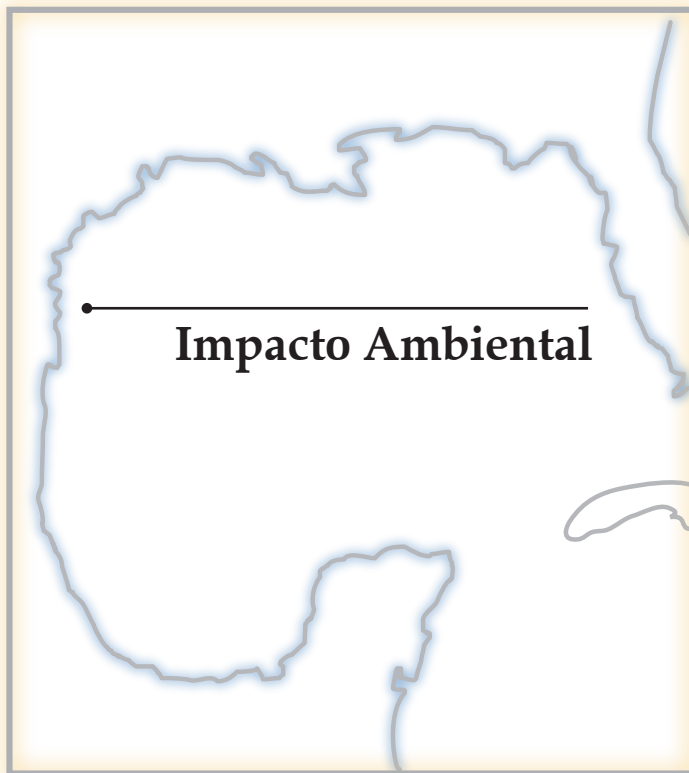




Bravo Alvarez, H., R. Sosa Echeverría, P. Sánchez Alvarez, R. Soto Ayala, y A.L. Alarcón Jiménez., 2005. Precipitación ácida en la costa del Golfo de México, p. 535-552. In: A. V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, 2da Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.

Precipitación Ácida en la Costa del Golfo de México

**Humberto Bravo Alvarez¹, Rodolfo Sosa Echeverría¹,
Pablo Sánchez Alvarez¹, Rogelio Soto Ayala²,
y Ana Luisa Alarcón Jiménez¹**

¹ Centro de Ciencias de la Atmosfera, UNAM

32

RESUMEN

Los estudios sobre deposición ácida en la costa del Golfo de México se iniciaron en 1986 cuando se realizó el proyecto de colaboración entre la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), la Secretaría de Marina y la UNAM. Actualmente se llevan a cabo estudios sobre la deposición ácida en la zona arqueológica de El Tajín, Veracruz; en la Estación de Ecología Costera de El Morro de la Mancha, Ver.; en la Fortaleza de San Juan de Ulúa en el puerto de Veracruz y en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Veracruzana (II-UV) en Mocambo, Veracruz. La metodología de muestreo y análisis que se utiliza corresponde a la señalada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA) y al Programa Nacional de Deposición Ácida de los Estados Unidos (US-NADP). En lo referente a la formación de la lluvia ácida, ésta se da por la reacción de sus precursores, óxidos de nitrógeno (NOx) y óxidos de azufre (SOx), con la humedad de la atmósfera, además de la influencia por la temperatura y radiación solar. Dichas reacciones no son instantáneas, por lo cual se requiere de cierto tiempo de mezclado, transformación y transporte que puede ir de varias horas hasta algunos días. Por esta razón, los receptores de la deposición ácida muchas veces se localizan a varios cientos de kilómetros de la zona donde las nubes en formación incorporaron las emisiones de estos precursores. Los resultados de pH obtenidos durante el año 2003 para las cuatro estaciones de muestreo mencionadas en el Estado de Veracruz, muestran un incremento en la acidez desde el puerto de Veracruz hacia el norte: en San Juan de Ulúa se obtuvo un pH ponderado de 5.23; en el Instituto de Ingeniería de la UV, de 5.05; en El Morro de la Mancha de 4.74, mientras que en la zona arqueológica del Tajín se presentó un pH de 4.67. (Lo anterior indica el impacto potencial que puede presentar la Zona Arqueológica de El Tajín por efecto de la lluvia ácida). Estos resultados ponen de manifiesto la importancia que tiene la deposición ácida en el deterioro del material de construcción utilizado tanto en los monumentos como en la fortaleza, ya que dicho material consiste principalmente de roca caliza, susceptible a deteriorarse por efecto de la lluvia ácida. La deposición ácida no es el único mecanismo que incide en el deterioro del material de construcción de las estructuras ya mencionadas, también la contaminación por bacterias y otros elementos biológicos deben ser evaluados para conocer el impacto que ocasionan en el material. En la Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM se están iniciando estudios de deterioro debido a agentes biológicos (algas y bacterias).

ABSTRACT

The first bilateral project to measure air chemistry over the Gulf of Mexico was carried out in the year 1986, the participant institutions were the National Oceanic and Atmospheric Administration (US-NOAA), Secretaría de Marina (NAVY), Environmental Pollution Section Center for Atmospheric Research CCA, and the National Autonomous University of Mexico (UNAM). The importance in determining the acidic characteristics of the rain water in areas where potential effects may have a great importance because the potential effects on Mexican prehispanic and hispanic monuments give birth to the actual research, the goal is: "Evaluate the potential effect of acidic deposition on cultural heritage monuments located on the coastal area of Veracruz on the Mexican Gulf and the Caribbean Coast". Actually the SCA is engaged in the acid deposition determination on: the archeological area of "El Tajín"; the Research Station "La Mancha" on the Morro de la Mancha of the Ecology Institute; the "Fortress San Juan de Ulúa"; and the Institute of Engineering of Veracruz University, in the City of Veracruz. The methodology used was the recommended by Environmental Protection Agency (US-EPA) and National Acidic Deposition Program (NADP). The acid deposition is generated from its precursors: NO_x (HNO_3), SO_x (H_2SO_4) combined with rain atmospheric moisture, temperature and sun radiation; however, it is very often that the receptors of acid rain are far away from the sources of these pollutants. The results obtained in the year 2003 shows that the more acidic deposition was present at the Tajín site with an weighted average pH of 4.67. "La Mancha site" south of "The Tajín" with a pH of 4.74. The "Fortress San Juan de Ulúa" the average pH was 5.23, at the Institute of Engineering, the average pH was 5.05. These results indicated that the acid deposition is present on the coast the Gulf of Mexico, and its possible effects are expected on the monuments subject to deposition with acidic characteristic. Using a chamber for accelerated deterioration, superficial recession was obtained ($1.1 \text{ mg/cm}^2/\text{year}$) for exposed material from El Tajín archaeological site. The Environmental Pollution Section (SCA) is beginning the study of the biodegradation on the same monuments due bacterial and others biological agents.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, en muchas naciones tienen gran importancia los efectos que causa la contaminación atmosférica en los ecosistemas con los que cuenta un país, desde los bosques, hasta los materiales constituyentes de monumentos y obras de arte, herencia cultural que las diversas regiones del planeta deben proteger y conservar.

México no es la excepción en cuanto a la existencia de ecosistemas que pueden deteriorarse si no se adoptan medidas efectivas para minimizar este efecto; sin embargo, para tomar tales medidas, es necesario primero caracterizar la contaminación atmosférica en el sitio de interés, y después seleccionar las mejores alternativas para disminuir el efecto que los contaminantes atmosféricos causan sobre los recursos ubicados en dicho sitio.

En la zona costera del Golfo de México se localizan monumentos arqueológicos muy importantes, cuyo material de construcción es carbonato de calcio, material susceptible de deteriorarse si las características químicas de la precipitación son ácidas. En consecuencia,

es fundamental, además de caracterizar el pH de la precipitación, conocer los principales contaminantes que existen en la atmósfera, como resultado de su emisión por fuentes potenciales, ubicadas cerca del sitio de interés, o bien, por haber sido transportados por el viento desde regiones más distantes. La concentración de partículas, su contenido en sulfatos, nitratos, y otros iones, así como gases que dan lugar a la precipitación ácida, son algunos parámetros que se deben conocer para tomar algunas medidas pertinentes, para minimizar los impactos negativos y diseñar estrategias de control para aquellas fuentes que se identifiquen como generadoras potenciales de contaminantes de precursores de la deposición ácida (Bravo *et al.*, 1991, 1998a, 1998b).

En México se han realizado en la Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México (SCA-CCA-UNAM), investigaciones sobre el efecto que la lluvia ácida ha originado sobre los monumentos de la zona arqueológica de Tulum, en Quintana Roo (Bravo, 2000a y b). Tales investigaciones han

hecho uso de una cámara de intemperismo acelerado, que permite simular algunas condiciones climatológicas en el sitio de interés, con la finalidad de reproducir más fehacientemente el efecto que causa la deposición ácida

en el material de construcción de estos monumentos. Los resultados encontrados permiten concluir que, en efecto, el deterioro del material se favorece con la acidez de la precipitación (Bravo, 2000a b y c).

ANTECEDENTES

Los primeros estudios sobre la precipitación ácida en la ciudad de México se iniciaron en el año 1980 por H. Bravo *et al* (1987) con el apoyo del Capitán Silvino Aguilar Anguiano, Director del Servicio Meteorológico Nacional. Estos estudios indicaron la necesidad de modificar el sistema de colección de las muestras de precipitación, ya que inicialmente se usaron jarras abiertas, tanto para la colección de lluvia como de la deposición seca conjuntamente, generando resultados poco representativos de la situación real en esta área de estudio de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM). Posteriormente, en 1984, se instaló el primer colector automático de precipitación ácida, en la Universidad Nacional Autónoma de México, el cual ya permitía la separación tanto de la lluvia como de la deposición seca. Actualmente, en varias regiones del país, se encuentran localizados varios de estos colectores, ya que el interés por estudios de este tipo se ha incrementado.

Los estudios sobre química atmosférica y lluvia ácida en la costa del Golfo de México, generados por parte de investigadores mexicanos, adscritos al SCA-CCA UNAM, datan de 1986 (Bravo *et al.*, 1988a y b; Parungo *et al.*, 1988,

1990; Quintana *et al.*, 1988), cuando se llevó a cabo una investigación oceanográfica en el Golfo de México, del 20 de julio al 22 de agosto de dicho año.

En este estudio participaron instituciones tales como el Laboratorio Oceanográfico en Veracruz, de la Secretaría de Marina (SM), y la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) de los Estados Unidos; las actividades consistieron en la identificación, el transporte, la transformación y la ocurrencia de contaminantes atmosféricos, así como en la determinación del pH de la precipitación en las regiones costeras del Golfo de México.

Esta colaboración bilateral entre científicos de los Estados Unidos y México, originó resultados muy importantes para el conocimiento de la relación océano-atmósfera en el Golfo de México.

Actualmente se realizan estudios sobre la deposición ácida en El Tajín, La Mancha, la Fortaleza de San Juan de Ulúa, la Universidad Veracruzana en el estado de Veracruz, y en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM).

MECANISMO DE FORMACIÓN DE LA LLUVIA ÁCIDA

Se conoce como lluvia ácida aquella precipitación pluvial cuya concentración de iones H^+ , expresada en unidades de pH, es menor a 5.65. El término pH es la abreviatura de "potencial de ion hidrógeno" y representa una medida del grado de acidez o alcalinidad de una solución. La magnitud de esta acidez o alcalinidad se determina potenciométricamente o por medio de indicadores visuales. La relación entre este valor y la concentración del ion hidrógeno es:

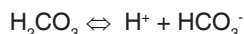
$$pH = -\log [H^+].$$

La convención de definir con el término de lluvia ácida a aquella precipitación que presenta un pH menor a 5.65, a diferencia de lo que comúnmente se define como solución ácida (aquella que posee un valor de pH menor a 7.0), se debe a que el agua presente en la atmósfera, en forma de pequeñas gotas, ya tiene cierta acidez natural. Esto es debido a que en el ambiente existen ciertos gases en forma natural, tales como el dióxido de carbono (CO_2), el nitrógeno (N_2), el oxígeno (O_2), etc., algunos de los cuales pueden reaccionar con el agua

de lluvia impartándole características ácidas, como es el caso del dióxido de carbono. Este gas al ponerse en contacto con el agua da lugar a la formación de ácido carbónico (H_2CO_3):



El ácido carbónico es un ácido débil que se disocia sólo parcialmente en ion hidrógeno y ion bicarbonato:



Al sumar las dos ecuaciones químicas anteriores, se obtiene:



Esta ecuación indica, por lo tanto, que una lluvia "limpia", por naturaleza tendrá cierto grado de acidez al ponerse en contacto con el dióxido de carbono de la atmósfera. El valor de pH de 5.65 resulta al resolver las ecuaciones anteriores en términos de concentración y de las constantes de equilibrio de las reacciones involucradas.

Cuando el pH de la lluvia es menor al valor antes mencionado, significa que el contenido de H^+ aumentó respecto al observado naturalmente, y en estas condiciones se habla de una lluvia con características propiamente ácidas. Los principales contribuyentes de iones H^+ en la atmósfera son fundamentalmente el ácido sulfúrico (H_2SO_4) y el ácido nítrico (HNO_3), ya que son ácidos fuertes (es decir, se encuentran totalmente disociados) y, en menor grado, algunos ácidos orgánicos. La formación de la lluvia ácida por el contacto de SO_x y NO_x con el agua en la atmósfera, no es inmediata, sino que se requiere cierto tiempo de mezclado y transformación, que puede ir de varias horas a algunos días. Por esta razón, los receptores de la precipitación ácida muchas veces se localizan a varios cientos de kilómetros viento abajo de la zona donde las nubes en formación incorporaron las emisiones de los contaminantes ya mencionados (precursores de precipitación ácida).

METODOLOGÍA DE MUESTREO Y ANÁLISIS

Sitios de Muestreo

La Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera (SCA-CCA-UNAM) cuenta con 4 estaciones para la colección de la deposición húmeda y seca en el estado de Veracruz. Los sitios de muestreo se encuentran localizados en los siguientes lugares:

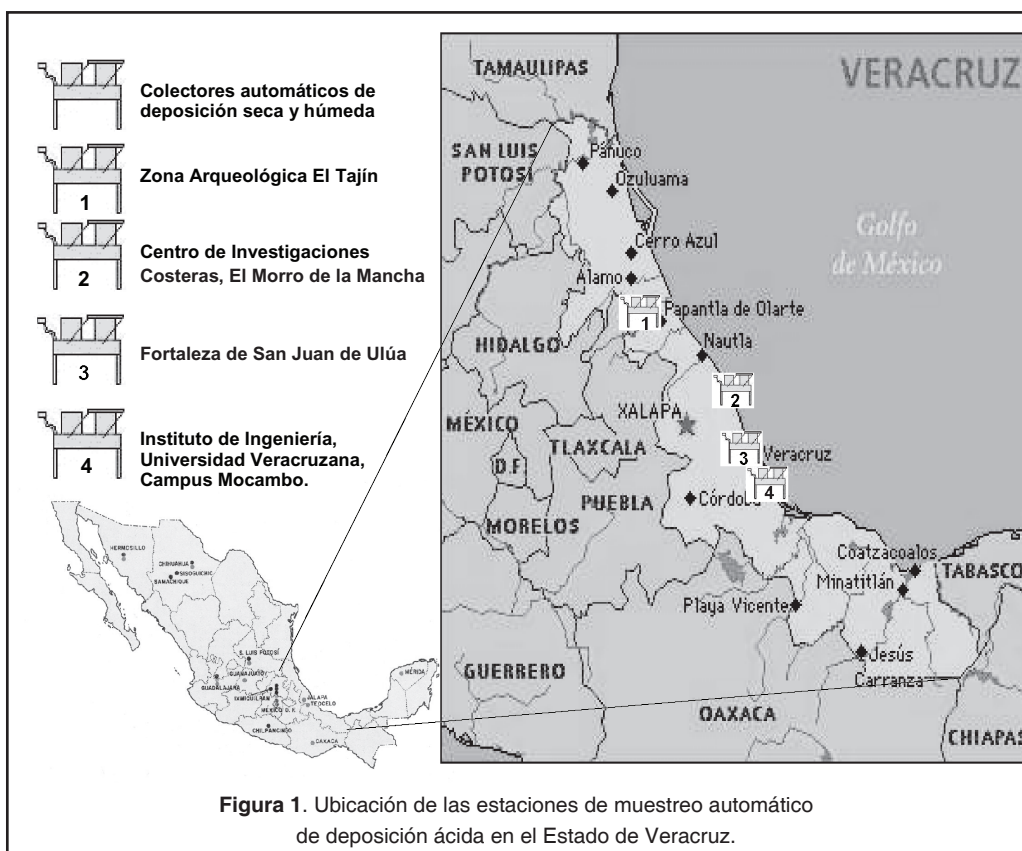
- La zona arqueológica de "El Tajín"
- La estación del Instituto de Ecología, A. C., en el Morro de la Mancha
- La Fortaleza de San Juan de Ulúa
- El Instituto de Ingeniería de la Universidad Veracruzana, Campus Mocambo

La figura 1, muestra la ubicación de estas estaciones.

Protocolo del Muestreo y Análisis de Precipitación Húmeda y Seca

El muestreo de la precipitación húmeda y seca y su correspondiente análisis de aniones y cationes fue establecido de acuerdo con el protocolo que para este objeto han sugerido la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency) (USEPA, 1994) y el Programa Nacional de Deposición Ácida (National Acidic Deposition Program) (NADP, 2000), de los Estados Unidos, con el propósito de obtener información confiable y comparable con la obtenida por estas instituciones. En la figura 2 se muestran las actividades contempladas en este protocolo.

Los sistemas de colección de lluvia recomendados por la NADP consisten en un dispositivo de dos cubetas en las que se recolecta la precipitación seca y húmeda, separadamente. Este sistema cuenta con un mecanismo automático



de tapado y destapado de cada una de las cubetas, para evitar el mezclado de las partículas con la lluvia. El activador de este dispositivo es un sensor que al detectar la ocurrencia de lluvia, envía una señal al motor de un mecanismo que a su vez desplaza la tapa de la cubeta de colección de lluvia, o muestra “húmeda”, mientras que la cubeta “seca”, permanece cubierta. Al finalizar el evento de lluvia, el sensor envía nuevamente otra señal a este mecanismo para que ahora cubra la cubeta “húmeda” y destape la “seca”, de tal forma que ahora esta última queda en posición de muestreo de partículas. Con este sistema es fácil separar los dos tipos de muestra, ya que si se mezclaran, no sería factible distinguir que proceso atmosférico incorporó las diferentes especies químicas, si la deposición seca o la húmeda.

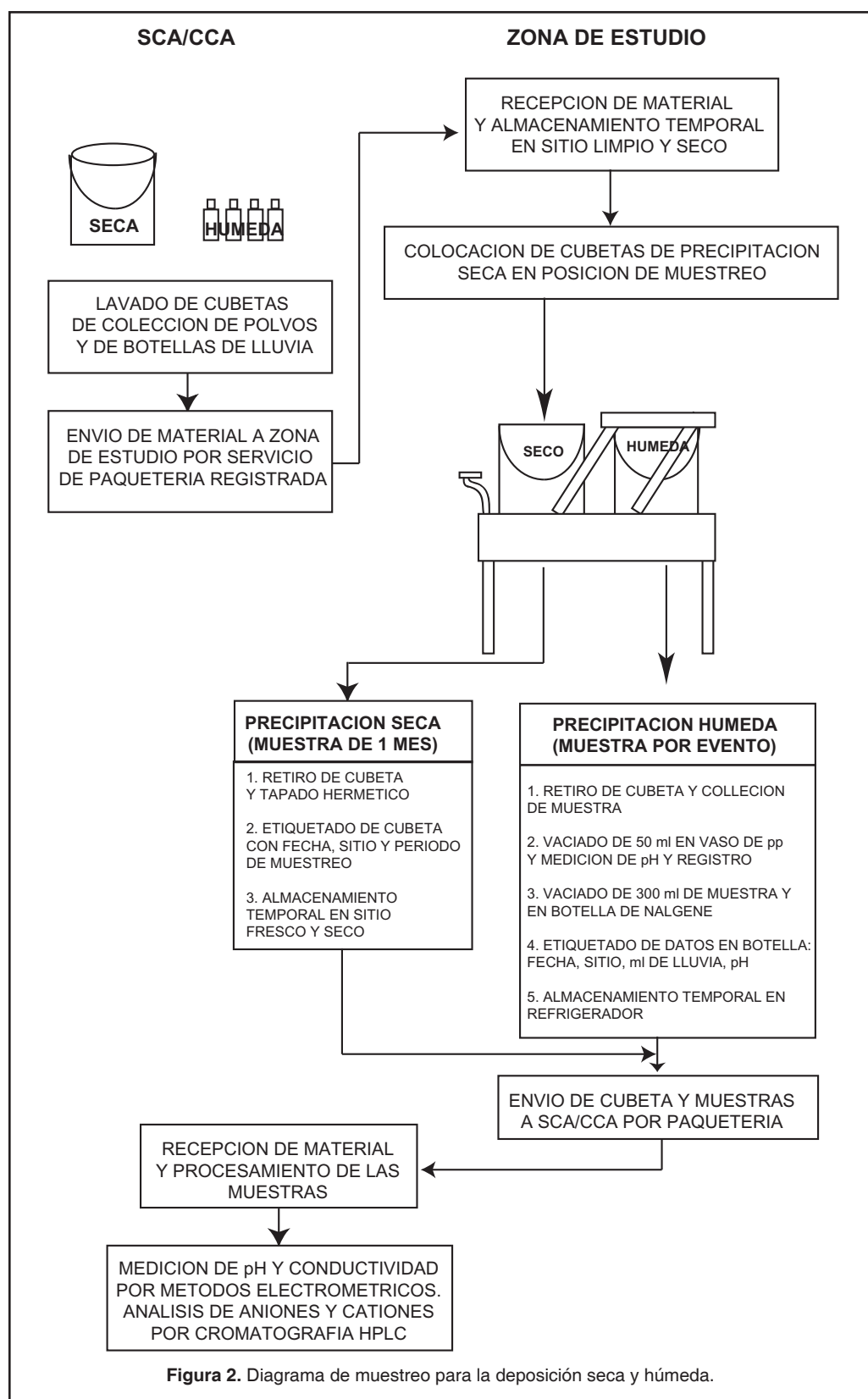
El programa de muestreo se adoptó de la experiencia y de las recomendaciones indicadas en la literatura especializada para este tipo de estudios y consiste en la colección de muestras acumuladas de precipitación húmeda a lo largo de 6 días. Se ha encontrado que en estudios sobre la incorporación de nutrimentos y otros

compuestos en suelos forestales y agrícolas, por mecanismos de precipitación húmeda, este tipo de colección “acumulada” es aceptado por la NADP y otros grupos de investigación, sin embargo, en nuestra red se procura la colección por cada evento de lluvia.

Una vez recolectada la muestra, el operador lava, usando guantes de látex, las paredes de la cubeta “húmeda” con agua desionizada en abundancia. Después de esto, el exceso de agua se elimina por sacudimiento y la cubeta se coloca nuevamente en posición de muestreo.

En el caso de las muestras de precipitación seca, la cubeta se remueve cada mes y su contenido se lava con agua desionizada para su posterior análisis en el laboratorio. Este programa de muestreo mensual es el recomendado por la US-EPA y la NADP.

Una vez colectada el agua de enjuague de la cubeta “seca” (250 ml), ésta se lava de acuerdo con el mismo procedimiento que la cubeta “húmeda”.



Las muestras se almacenan a una temperatura de 4°C durante todo el trayecto hasta la entrega al laboratorio de acuerdo al protocolo de cadena de custodia. A las muestras recibidas en el laboratorio se les determinan los parámetros siguientes: pH, conductividad, así como la concentración de sulfatos, nitratos, cloruros, potasio, amonio, sodio, magnesio y calcio. La conductividad se determina de acuerdo con los métodos de referencia recomendados por la US-EPA.

El transporte (con cadena de custodia) de las muestras está sujeto a un programa interno de control de calidad con apego a las recomendaciones de la US-EPA. Este programa se apoya tanto en la obtención de réplicas y/o duplicados, como en la realización de balances iónicos entre los aniones y los cationes. El manejo de los datos de laboratorio, y los diversos análisis estadísticos y de relaciones iónicas se realiza por computadora. Las concentraciones se reportan en mg/L y en $\mu\text{eq/L}$. La deposición se expresa en kg/ha, en concordancia con la NADP.

CASO DE ESTUDIO: ZONA ARQUEOLÓGICA DE EL TAJÍN

La zona arqueológica de El Tajín, se localiza en el municipio de Papantla de Olarte, Veracruz, México, sus coordenadas geográficas son: 20°28'35" latitud Norte y 97°22'39" longitud oeste (Fig. 1), tiene una altura sobre el nivel del mar de 100 m y su superficie abarca una extensión de 1056 hectáreas. Papantla de Olarte se localiza en la zona norte del estado de Veracruz, sobre un conjunto montañoso de la Sierra Madre Oriental, conocido como Sierra de Papantla, donde la topografía es irregular, con cerros de poca altura. Se ubica entre dos lomas y dos ríos: Cazones y Tecolutla.

El nacimiento de El Tajín se remonta al año 1000 A.C., pero las primeras construcciones se inician en el año 100 de nuestra era. El Tajín se consolidó como el centro ceremonial más importante de la región del golfo, un lugar que si bien no contó con la grandeza militar y comercial de otras metrópolis de Mesoamérica, si supo trascender por su arquitectura e ingeniería.

Las condiciones climatológicas registradas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), que prevalecieron en el Municipio de Papantla de Olarte en los últimos 14 años, son las siguientes:

- Temperatura media anual promedio: 24.2 °C.
- Precipitación total anual promedio: 1180.7 mm.

- Porcentaje de humedad relativa promedio durante el día: 80%.

En la muestra del material de construcción de la zona arqueológica de El Tajín, proporcionado por los responsables de restauración de la zona, se llevó a cabo un estudio para evaluar el efecto de la lluvia ácida sobre el material de construcción de los monumentos de dicha zona arqueológica. Para ello, se utilizó una cámara de intemperismo acelerado. Previo a este estudio se determinó en la roca caliza la densidad y la porosidad (de acuerdo con los procedimientos indicados en ISRM (1979) y RILEM (1980)). El porcentaje de absorción de agua se determinó de acuerdo con el estándar de la ASTM, C 97-47 (1985).

Antes de su irrigación con lluvia ácida, las muestras de roca caliza se cortaron, pulieron y limpiaron, para eliminar todo material biológico o extraño que pudiera provocar la contaminación del agua que incidiría sobre ellas (Fig. 3).

Para conocer la composición de la roca caliza, a una porción del material se realizó su análisis de difracción por rayos-X.

Colección del Agua de Lluvia

El sitio elegido para la colección del agua de lluvia se localiza a la entrada de la Zona Arqueológica de El Tajín. En este sitio se instaló un colector automático de precipitación

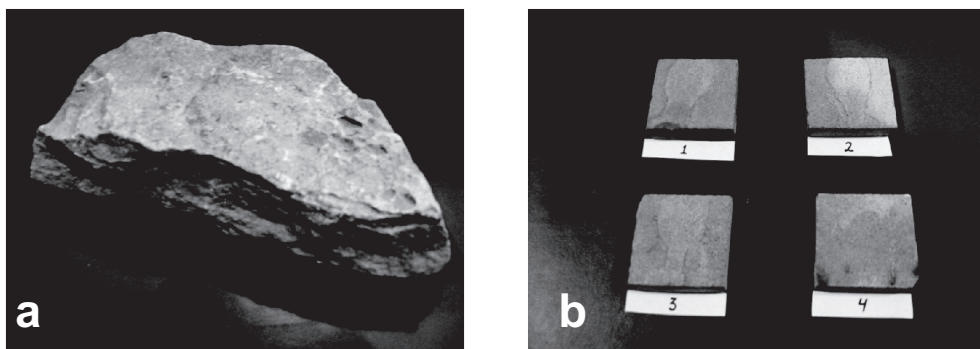


Figura 3. Muestra del material antes (a) y después (b) de la preparación para su exposición en la cámara de intemperismo acelerado de deposición ácida.

húmeda/seca (Aerochem-Metrics), proporcionado por la SCA-CCA-UNAM. La figura 4, muestra la fotografía del colector automático utilizado. Además se instaló una estación meteorológica automática (Davis Weather Monitor II), que permitió determinar parámetros tales como el porcentaje de humedad relativa, la precipitación pluvial, la temperatura y la presión atmosférica. Esta estación meteorológica cumple con las recomendaciones de la US-EPA, y presenta la gran ventaja de no requerir la atención minuciosa y constante del personal, ya que posee un sistema de adquisición de datos "data logger", cuya capacidad de almacenamiento es hasta de un mes registrando los valores cada 15 minutos.



Figura 4. Estación meteorológica automática y colector automático para deposición húmeda y seca en el Campamento de Arqueólogos de la Zona Arqueológica de El Tajín, Veracruz.

Durante el año 2003 se colectaron muestras de agua de lluvia, las cuales se enviaron posteriormente al laboratorio de la SCA-CCA-UNAM para su análisis. Para la colección de las muestras de agua de lluvia, se utilizaron recipientes de polipropileno (Nalgene).

Inmediatamente después de la colección se mide el volumen de precipitación, así como el pH de cada una de las muestras (utilizando un pHmetro Corning, modelo 3D). Los recipientes se tapaban perfectamente, y las muestras se colocan en refrigeración a 4°C, de acuerdo con las recomendaciones de la EPA referentes a la recolección y manejo de las muestras. Las muestras de agua se envían periódicamente a la ciudad de México para su análisis químico en el laboratorio de la Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera-UNAM.

En el laboratorio se les determina nuevamente el pH, así como la conductividad. Las concentraciones iónicas de Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , NO_3^- y SO_4^{2-} , se cuantificaron mediante un cromatógrafo de líquidos de alta presión (Waters 515).

Para la determinación de los pH's de las muestras en el laboratorio se utiliza un pHmetro Benchtop pH/ISE Meters, modelo 420 A. ATI. ORION. Antes de la medición de las muestras se lleva a cabo una autocalibración con dos soluciones buffer, cuyos pH's son 4 y 7, respectivamente.

Determinación de la Conductividad

Para la medición de conductividad se utiliza un conductímetro YSI, modelo 32 (Scientific Division. Yellow Springs Instrument Co., Inc.), el cual tiene incorporado un termistor y una celda de conductividad ($K=1.0 \text{ cm}^{-1}$). Este aparato permite medir conductividades entre $0.1 \mu\text{S}$ y 200 mS , las muestras pueden ser leídas en un intervalo de temperatura de -5°C a 50°C .

Antes de la determinación de la conductividad de las muestras, el aparato se calibra con una solución de KCl, $5 \times 10^{-4} \text{ M}$. La conductividad teórica de esta solución es de $73.9 \mu\text{S}$. La conductividad real (C.R.) de las muestras de agua de lluvia, se calculó de la manera siguiente:

$$\text{C.R.} = \frac{73.9 \times \text{C.E.}}{\text{C.S.}}$$

Donde C.E. y C.S. son las conductividades de la muestra de agua de lluvia y de la solución estándar de KCl, respectivamente.

Las determinaciones de conductividad se llevaron a cabo a 25°C .

Determinación de Aniones y de Cationes

Para cuantificar los iones en las muestras de agua de lluvia se utilizó un cromatógrafo de líquidos de alta presión (Waters Modelo 515). A continuación se describen las características de algunos componentes básicos del cromatógrafo utilizado en esta investigación.

- Bomba Waters, modelo 510 HPLC pump, de doble pistón, con un intervalo de presión de 0-6000 psig.
- Detector de conductividad Waters 431.
- Integrador de datos Waters 746.
- Columnas: para la determinación de aniones se utiliza una columna IC-Pak A HR, de alta resolución, con dimensiones $4.6 \text{ mm} \times 75 \text{ mm}$. El material de empaque es resina de polimetacrilato con un grupo

funcional de amonio cuaternario. El tamaño de partícula es de $6 \mu\text{m}$, y la capacidad es de $30 \pm 3 \mu\text{eq/ml}$.

En cuanto a los cationes se utiliza una columna PCPX-100 (Hamilton), con dimensiones $4.6 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$, con tamaño de partícula $10 \mu\text{m}$, y una capacidad de $12.0 \pm 0.2 \mu\text{eq/ml}$. El material de empaque es resina de divinilbenceno-estireno con un grupo funcional de ácido sulfónico.

En vista de que el análisis por HPLC es muy sensible y cualquier impureza puede afectar los resultados, todos los reactivos utilizados en el análisis son grado cromatográfico, el agua desionizada (conductividad $18.2 \mu\text{S}$) y las muestras de lluvia se pasan a través de un filtro millipore de $0.22 \mu\text{m}$.

Los recipientes en los que se preparan las soluciones son de polipropileno para evitar que se contamine como los que se presenta en los recipientes de vidrio.

Preparación del Eluyente

La fase móvil para el análisis de aniones se prepara de la manera siguiente:

Se pesa 0.3322 g de ácido ftálico, se disuelven en 100 ml de acetona (grado cromatográfico) y se afora a 1 litro con agua desionizada. Se mezcla y se ajusta a un $\text{pH} = 5$ con NaOH (1M).

Para el análisis de cationes la preparación de la fase móvil es como sigue: Se pesa 0.0292 g de EDTA, se disuelve y se afora a 1 litro con agua desionizada. Posteriormente se adicionan $175 \mu\text{l}$ de ácido nítrico ULTREX.

En otro matraz volumétrico de 1 litro se colocaron 13 ml de la solución anterior y 120 ml de acetonitrilo. Se añadió agua filtrada hasta la marca y se agitó perfectamente. Se filtró esta solución a través de una membrana millipore de $0.22 \mu\text{m}$. La solución así obtenida constituyó la fase móvil.

Preparación de los Estándares

Para preparar las soluciones estándar de 1000 ppm de cada uno de los aniones (Cl^- , NO_3^- y

SO_4^{2-}), se utilizan las cantidades de sales que se indican en la tabla 1.

Tabla 1. Cantidades de sales para la preparación de los estándares.

Sal	Masa (g)
NaCl	0.1649
NaNO_3	0.1371
Na_2SO_4	0.1479

Se disuelven cada una de estas sales en matraces volumétricos de 100 ml, con agua desionizada filtrada, y se afora hasta la marca. Estas disoluciones se pueden utilizar hasta un mes después de su preparación.

A partir de estas disoluciones de 1000 ppm, se realizan mezclas de aniones en cantidades adecuadas para generar las soluciones estándar. Se verifica que las concentraciones de los iones en las muestras de agua de lluvia queden comprendidas en el intervalo de concentraciones elegido para preparar las soluciones estándar, para garantizar la validez de los resultados.

Cámara de Intemperismo Acelerado

Diseño, Construcción y Prueba

La cámara de intemperismo acelerado (Fig. 5) se diseñó tomando en consideración que debería constituir un sistema cerrado, y que todas las muestras expuestas en su interior reciban la solución de agua ácida con la misma concentración iónica. Asimismo, dentro de ella, las condiciones de temperatura y humedad se deben mantener prácticamente constantes durante el período de irrigación (Bravo *et al.*, 2003 a y b).

Otra característica a considerar, y que tiene relación directa con los materiales utilizados en la cámara, fue la de garantizar que éstos no constituyeran fuentes de contaminación de ninguna clase.

De esta manera, los materiales y equipos utilizados en la construcción de la cámara fueron los siguientes:



Figura 5. Cámara de intemperismo acelerado de deposición ácida.

- Cámara de acrílico, con dimensiones: 104 cm x 120 cm x 78.5 cm.
- Manguera de Tygon para realizar las conexiones diversas. Este material se recomienda cuando se utilizan soluciones ácidas.
- Soportes de acrílico para las muestras. El conjunto soporte-muestra, se colocó dentro de un recipiente de plástico circular, con un diámetro de 15 cm.
- Tubo de vidrio para la distribución del agua ácida (longitud: 83 cm). Este tubo tiene 5 salidas laterales que permiten irrigar las 3 muestras y el blanco.
- Llaves de plástico de uso hospitalario para regular el flujo volumétrico del agua ácida, que incide sobre las muestras.
- Recipiente receptor de plástico (32 cm x 21 cm x 10 cm) para el agua desionizada, que al evaporarse, mantiene la humedad constante, dentro de la cámara (80%).
- Resistor de 250 W, sumergido en el agua desionizada y conectado a un reóstato (CONTROVAC, S.A. POWERSTAT, Variable Autotransformer: de: V. 120, out V. 0-140), para regular la intensidad de corriente eléctrica en el resistor.

- h) Lámpara de luz infrarroja: THERATHERM de 250 W. OSRAM. Esta lámpara permite mantener, dentro de la cámara, la temperatura constante (26°C).
- i) Un controlador de intensidad luminosa (dimmer), acoplado a la lámpara de luz infrarroja.
- j) Bomba centrífuga: Little Giant Pump Co. Model 3-MD; 115 V ~ 60 Hz. 1 Phase. Thermally Protected, que permite enviar el agua ácida desde el bidón inferior al superior. Se aconseja utilizar esta bomba cuando se manejan soluciones salinas.
- k) Barotermohigrógrafo: Davis. Perception II. Permite conocer los valores de la presión atmosférica, temperatura y humedad, en cualquier instante, dentro de la cámara.
- l) Tres bidones de plástico de 60 litros. En estos recipientes se almacena el agua ácida, para su posterior irrigación.
- m) Un flotador, de plástico, colocado dentro del bidón que envía el agua ácida al tubo de distribución. Este aditamento permite mantener el nivel del agua ácida dentro de ciertos límites, para asegurar que la presión hidrostática del fluido no tenga grandes variaciones.
- n) Cuatro recipientes de polipropileno de un galón cada uno. En ellos se colecta el efluente, después de la irrigación de las muestras, para su análisis químico.

Antes de realizar las pruebas de irrigación con la lluvia ácida, fue necesario llevar a cabo pruebas previas para ajustar parámetros tales como: el flujo volumétrico del agua; la posición del dimmer para asegurar que la temperatura fuese de 26°C, dentro de la cámara; la posición del reóstato, para mantener la humedad constante, etc.

Preparación del Agua Ácida

El agua que se utiliza para la irrigación de las muestras, se prepara de la manera siguiente: En un bidón de 60 litros, perfectamente limpio, se colocan, aproximadamente, 30 litros de

agua desionizada, y a continuación, se adicionan las cantidades de sales necesarias (para facilitar esta operación se preparan soluciones concentradas de las sales, y de allí se toman los volúmenes requeridos) para la preparación de la solución. Se añade más agua desionizada para llevar el volumen a 50 litros, aproximadamente, y se agita perfectamente la mezcla.

A continuación se mide el pH de la solución, y con base en este valor, se añade el volumen necesario de HNO_3 , 0.1 M, para llevar el pH de la solución a un valor cercano a 4.6.

La razón para que la solución tuviera este valor de pH se debe a que una de las muestras analizadas de El Tajín, poseía este valor, el cual fue el más pequeño obtenido en el tiempo de muestreo.

Después de la adición de HNO_3 , la solución se agita perfectamente y se vuelve a determinar el pH, para asegurar que el valor es el requerido.

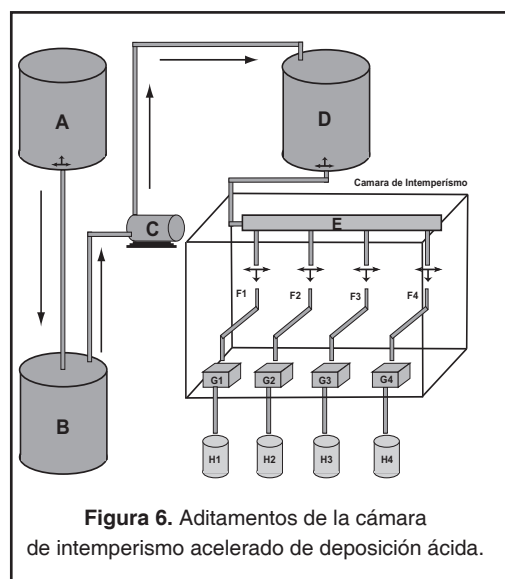
Descripción del Proceso

De acuerdo con la figura 6; que muestra un diagrama de la cámara de intemperismo acelerado, el proceso de irrigación se llevó a cabo de la siguiente manera:

El agua ácida se preparó en el recipiente A. De aquí se envió al recipiente B, por gravedad, y de éste al recipiente D, mediante la bomba C. A medida que el agua pasaba de un recipiente a otro, se agitaba el agua de los bidones mediante barras magnéticas, para asegurar la completa disolución de las sales.

Del recipiente D, el agua se enviaba al tubo de distribución E. El flujo volumétrico del agua enviada a las muestras, se controlaba mediante las válvulas F, intercaladas entre las muestras y el tubo de distribución.

El agua ácida se hacía gotear sobre cada una de las muestras y el blanco (G4), al utilizar para este fin cubiertas de jeringas hipodérmicas empotradas en los contenedores de plástico, y a las cuales se les horadó para simular el efecto de goteo.



Se ajustó la gota de tal manera que, al caer sobre la muestra, bañara a ésta perfectamente.

El efluente se enviaba a los recipientes de polipropileno H, para posteriormente ser analizada, no sin antes agitarlo perfectamente.

Para mantener la temperatura constante, se ajustaba la intensidad de la luz infrarroja (de una lámpara colocada en el interior de la cámara), mediante un dimmer.

La elección apropiada de la posición del reóstato permitía de la misma manera graduar la rapidez de evaporación del agua y, por ende, controlar la humedad dentro de la cámara.

El barotermohigrógrafo, permitía llevar un control adecuado de las variables: presión, temperatura y humedad dentro de la cámara, en cualquier instante.

El flotador, como ya se indicó anteriormente, mantenía el nivel de agua en el recipiente D prácticamente constante para asegurar una irrigación más uniforme.

Durante el día, las rocas se irrigaban 8 horas continuas, y durante las 16 horas restantes se sujetaban al periodo de secado, al mantener la luz infrarroja activa, así como la humedad.

A las muestras de agua recolectadas en el efluente, se les determinaba el volumen recolectado, el pH, la conductividad y la concentración de aniones y de cationes. La inclusión del blanco fue muy importante para observar el efecto químico de deterioro que sufrieron las muestras.

Para la cuantificación de los iones por HPLC, se filtraba cierta cantidad del efluente a través de un filtro Durapore de 0.22 μm y se inyectaba al cromatógrafo.

A medida que el experimento progresa, el agua del recipiente A se va consumiendo, de tal manera que es necesaria la preparación de más agua ácida para su reemplazo. Sin embargo, es muy difícil mantener la misma concentración iónica del agua entre un bidón y otro, y es por ello, que el análisis del blanco es fundamental para conocer estos cambios.

Después de haber expuesto las muestras de roca caliza al efecto del agua ácida, se colocaron en una estufa durante 2 h, a una temperatura de 105°C, para eliminar completamente el agua. Se colocaron en un desecador a peso constante, y se les determinó su masa. Es importante mencionar asimismo, que también se midieron las masas iniciales de las muestras, antes de su irrigación con lluvia ácida artificial (Bravo *et al.*, 2004; Ruiz, 2004).

CARACTERÍSTICAS ÁCIDAS DEL AGUA DE LLUVIA

Para cada uno de los sitios de estudio (El Tajín, El Morro de la Mancha, San Juan de Ulúa y la Universidad Veracruzana Campus Mocambo) se presentan a continuación los valores ponderados mensuales y los ponderados para los meses reportados del pH, conductividad, concentración de cloruros, nitratos y sulfatos (Figs. 7 a 26). Los valores ponderados se obtienen

sumando los productos de las concentraciones de los iones de interés por su volumen, y dividiendo entre el volumen total recolectado en ese periodo encontrados en las muestras de agua de lluvia de cada uno de los sitios de estudio, para cada uno de los meses del año 2003.

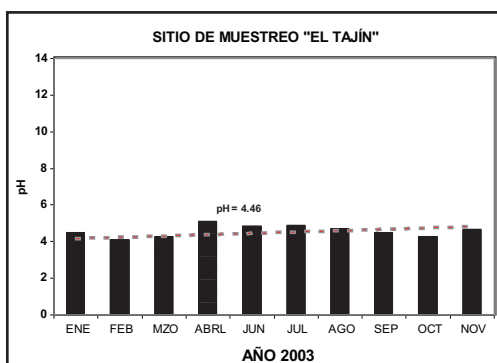


Figura 7. Valores ponderados de pH para la Zona Arqueológica de El Tajín.

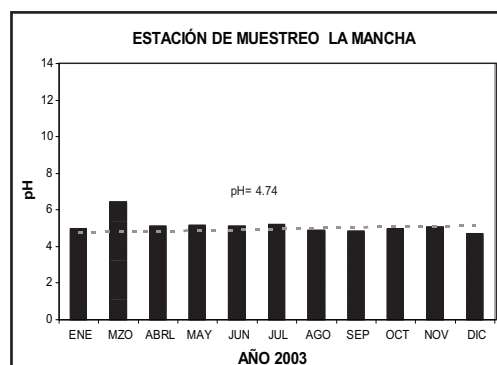


Figura 8. Valores ponderados de pH para El Morro de la Mancha.

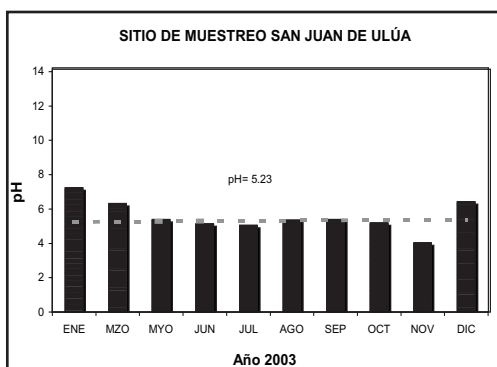


Figura 9. Valores ponderados de pH para San Juan de Ulúa.

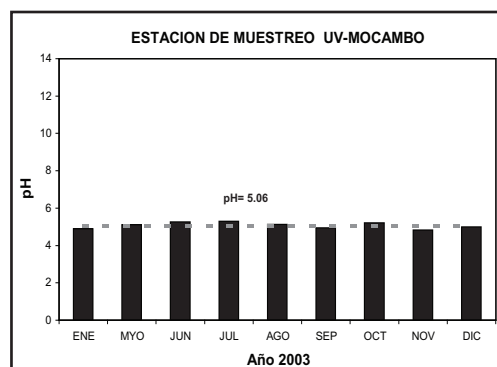


Figura 10. Valores ponderados de pH para la Universidad Veracruzana Campus-Mocambo.

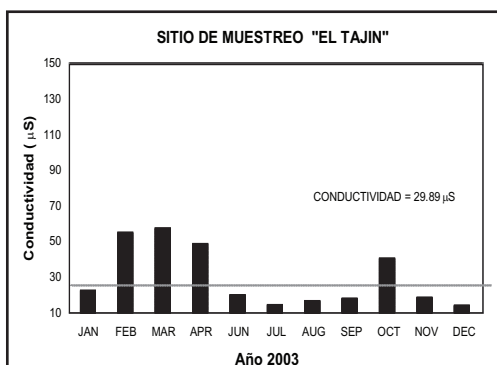


Figura 11. Valores ponderados de conductividad para la Zona Arqueológica de El Tajín.

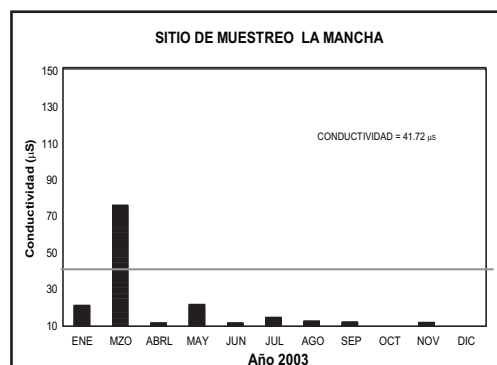
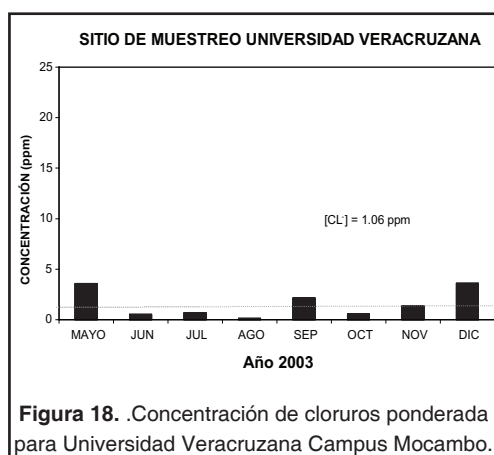
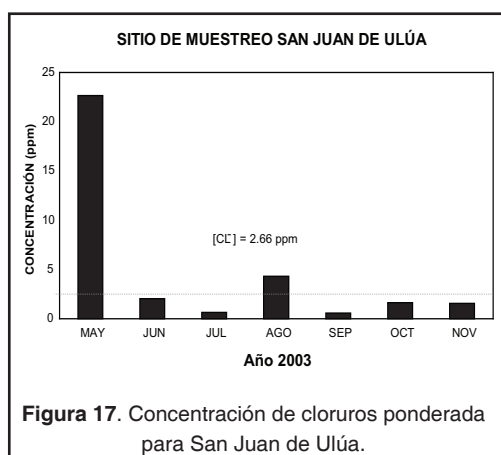
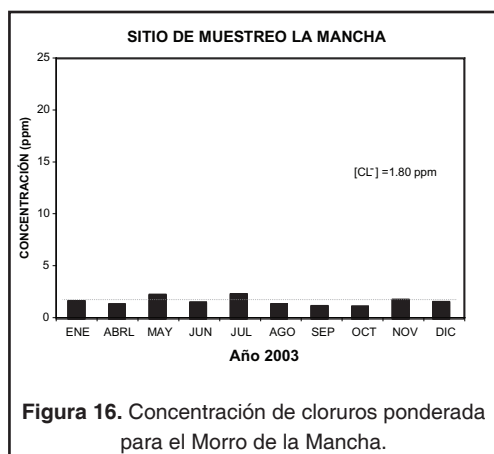
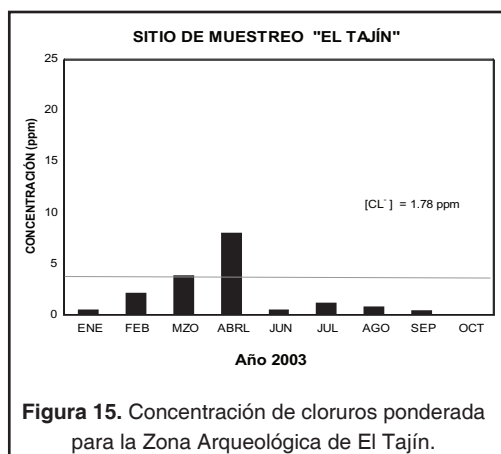
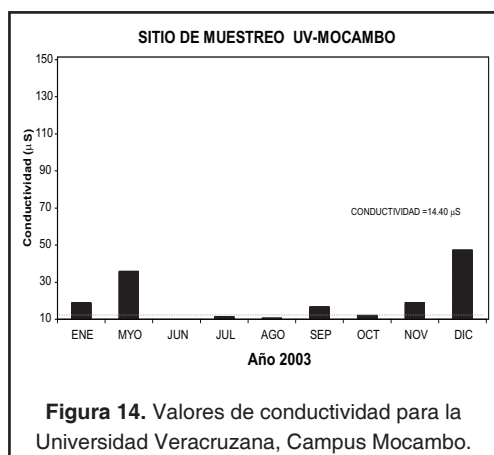
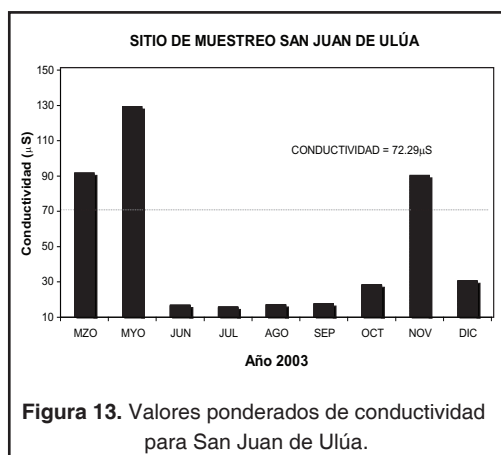
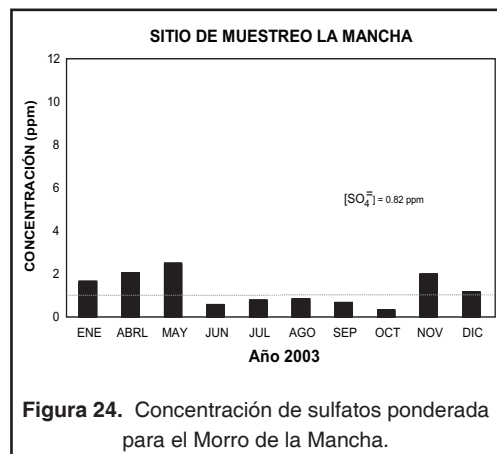
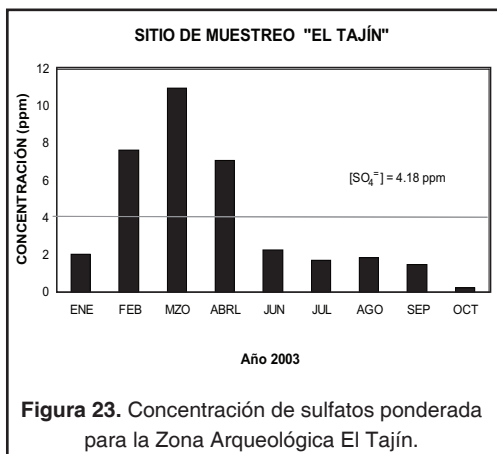
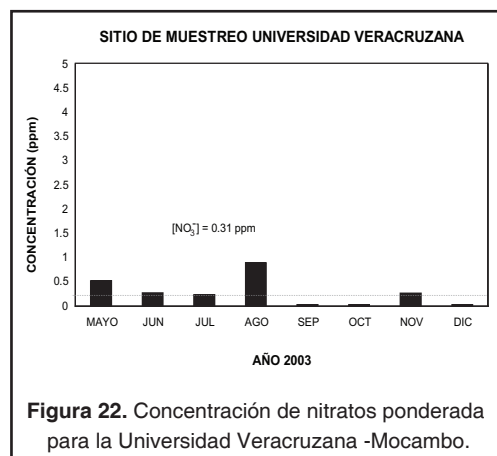
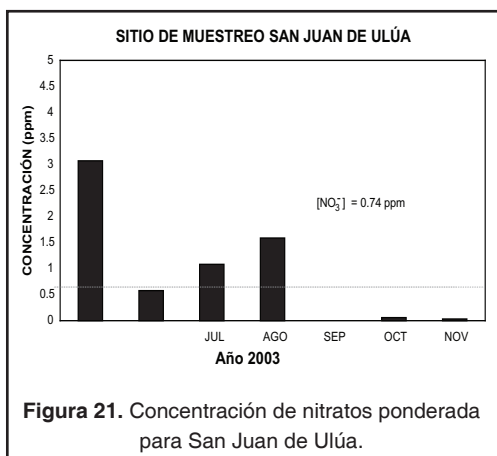
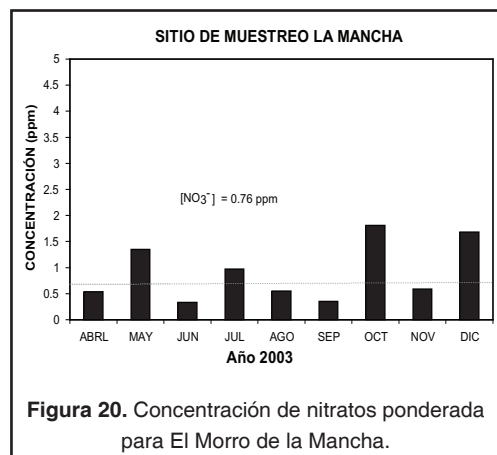
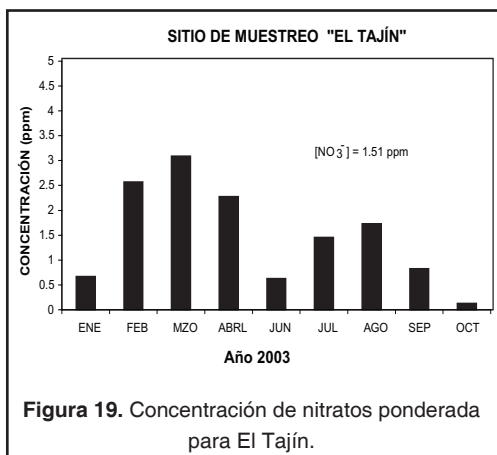


Figura 12. Valores ponderados de conductividad para el Morro de la Mancha.





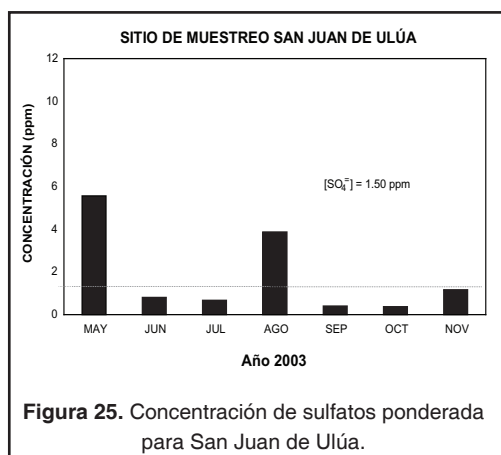


Figura 25. Concentración de sulfatos ponderada para San Juan de Ulúa.

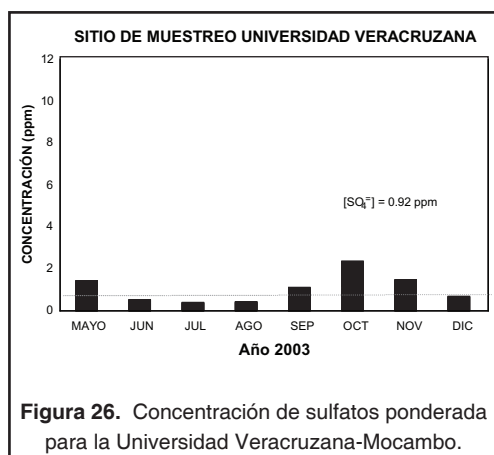


Figura 26. Concentración de sulfatos ponderada para la Universidad Veracruzana-Mocambo.

Deterioro del Material Calizo por Efecto de la Lluvia Ácida

Con el objeto de conocer el grado de deterioro del material calizo (conocido como recesión superficial), constituyente de los monumentos de la zona arqueológica de El Tajín, se realizó un experimento en la cámara de intemperismo acelerado, diseñada y construida en la SCA-CCA-UNAM. En esta cámara se expusieron 3 muestras de roca caliza, provenientes de la Zona Arqueológica de El Tajín, al efecto de lluvia ácida sintética, preparada en el laboratorio, con una concentración iónica similar a las muestras de agua de lluvia provenientes de dicho lugar. El pH del agua se ajustó a uno de los valores más bajos de pH encontrados en las muestras de agua de lluvia colectada en El Tajín. De esta manera se aseguró que el experimento originaría un deterioro más acentuado que a valores mayores de pH.

En el experimento se simularon las condiciones de temperatura y humedad relativa promedio existentes en el Tajín. El flujo volumétrico del agua que incidió sobre las muestras se estableció con base en la precipitación pluvial del lugar y el tiempo de exposición requerido. El experimento simuló un periodo de exposición a la lluvia ácida de 10 años, en condiciones normales.

Con base en la concentración del ion calcio determinada en el efluente después de la irrigación de las muestras de roca caliza por la lluvia ácida, fue posible evaluar cuantitativamente el deterioro que sufrió el material pétreo.

En la tabla 2 se muestran los valores de recesión superficial para cada una de las muestras, así como el valor promedio con su incertidumbre.

Tabla 2. Deterioro superficial de CaCO_3 a partir del ion calcio.	
Muestra	D(mg/cm ² /año)
A	1.12
B	1.12
C	0.09
$D \pm \Delta D =$	1.05 ± 0.09

Por otra parte, y en vista de que se midieron las masas de las muestras de roca caliza antes y después de su irrigación con lluvia ácida, fue posible calcular también la recesión superficial de cada una de las muestras mediante este método. La tabla 3 presenta los resultados obtenidos.

Tabla 3. Deterioro superficial de CaCO_3 por la diferencia en masas de las muestras.	
Muestra	D(mg/cm ² /año)
A	1.18
B	1.12
C	0.90
$D \pm \Delta D =$	1.12 ± 0.04

CONCLUSIONES

Con relación a los valores de pH ponderados se encontró que la acidez de las muestras se incrementa en el orden siguiente: San Juan de Ulúa (pH=5.23), Universidad Veracruzana (pH= 5.05), Morro de la Mancha (pH = 4.74) y Zona Arqueológica de El Tajín (pH = 4.67). Los valores encontrados indican la presencia de deposición ácida, impactando así en el deterioro de los materiales de construcción de la Zona Arqueológica de El Tajín, así como la fortaleza de San Juan de Ulúa. De los 57 eventos de lluvia que se determinaron en la Universidad Veracruzana, sólo 6 de ellos presentaron un valor superior a un pH de 5.6, de 73 eventos de lluvia registrados en San Juan de Ulúa, 22 presentaron un pH superior a 5.6. En el Morro de la Mancha, 8 eventos presentaron un pH superior a 5.6, de un total de 98 eventos; mientras que en la Zona Arqueológica de El Tajín se detectaron solamente 4 con un pH superior a 5.6 de un total de 52.

Respecto a los resultados obtenidos de recesión superficial, se puede observar que los valores, por ambos métodos, difieren aproximadamente en 7%. Esta diferencia se puede atribuir a las incertidumbres asociadas con las técnicas experimentales utilizadas. El método gravimétrico presenta el inconveniente de que hay posibilidad de pérdida de material al manipular éste para determinar su masa. Desde este punto de vista, se puede considerar que el método cromatográfico da lugar a una mejor exactitud en la determinación de la recesión superficial (los coeficientes de correlación obtenidos en las curvas de calibración fueron de 0.99 o mejores).

En la Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM se están iniciando estudios de deterioro debido a agentes biológicos (algas y bacterias).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la participación de los responsables de los muestreos en campo: Dr. Juergen K. Bruggerman† Director del Proyecto de Restauración en El Tajín y al custodio Alejandro Santéz del INAH en la Zona Arqueológica de El Tajín; al Sr. Enrique López Barradas, en el Morro de la Mancha, al M. en I. José Hernández Téllez, en la Fortaleza de San Juan de Ulúa y al Ing. Arturo Gómez del Instituto de Ingeniería de la Universidad Veracruzana, Campus Mocambo. Al Ingeniero Daniel Goeritz, delegado del INAH en Veracruz,

por las facilidades y autorización del acceso a los sitios bajo su responsabilidad. Se extiende el reconocimiento a los estudiantes de la Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM: Ing. Jaime Ruíz Barrios, Valeria Ramírez Blancarte, Laura Negrete Martínez, Jorge D. Santacruz Morhy, Oscar González Tenorio, Elizabeth Cruz Jiménez, Ruth Hernández Galicia, Olga D. González Campos y Natasha C. Villaseñor Hernández.

LITERATURA CITADA

ASTM, 1985. Standard Methods of Test for Absorption and Bulk Specific Gravity of Natural Building Stone. No. C97-47. American Society for Testing Materials. Part XVI, pp. 1-3.

Bravo, A.H., 1987. La Contaminación del Aire en México. Fundación Universo Veintiuno A.C. México, D.F. 250 p. (ISBN 968-6198-048).

Bravo, A.H., F. Perrin, G. R. Sosa, G. Torres, y R. Torres, 1988a. Measurements of O₃, total hydrocarbons, H₂S and SO₂ Concentrations, p. 7-20. In: F. Parungo and J. Miller (Eds.). Air Chemistry Studies Over the Gulf of Mexico. NOAA Technical Memorandum ERL ESG-29. Environmental Sciences Group. Boulder, Colorado.

- Bravo, A.H., F. Perrin, R. Camacho, M.I. Saavedra, R. Sosa, G. Torres, y R. Torres, 1988b.** Aerosols mass concentrations, p. 72-77. *In*: F. Parungo and J. Miller (Eds.). Air Chemistry Studies Over the Gulf of Mexico. NOAA Technical Memorandum ERL ESG-29. Environmental Sciences Group. Boulder, Colorado.
- Bravo, A.H., M.I. Saavedra, P. Sánchez, R. Sosa, y R. Torres, 1991.** Impact of the Acidic Deposition in the Decay of Mexican Mayan Monuments (Preliminary Study). Paper 91-143.2, 84th Air & Waste Management Association. Vancouver, B.C. June 16-21.
- Bravo, A.H., M.I. Saavedra, P. Sánchez, R. Torres, y L.M. Granada, 1998a.** Identificación del origen genérico de los precursores de la lluvia ácida mediante el análisis comparativo entre los iones contenidos en las muestras de precipitación con iones típicos de agua marina. Anuario Latinoamericano de Educación Química. Universidad Nacional de San Luis, Argentina. 6 p.
- Bravo, A.H., M.I. Saavedra, P. Sánchez, R. Torres, y L.M. Granada, 1998b.** A preliminary study of the acid rain distribution along the coast of the Gulf of Mexico. *Jaina Boletín Informativo*, 9(3): 7-8.
- Bravo A.H., A.R.Soto, J.R. Torres, y A.P. Sánchez, 2000a.** Effects of Wet Acidic Deposition on Maya Monuments, Mexico. 93rd Annual Meeting & Exhibition of the Air & Waste Management Association. Salt Lake City, UTAH. June.
- Bravo, A.H., M.I. Saavedra, P. Sánchez, R. Torres, L.M. Granada, R. Soto, y J. Harris, 2000b.** Efecto potencial de la lluvia ácida en monumentos mayas. *Ciencia y Desarrollo*, 49-57. Julio-Agosto.
- Bravo, H.A., M.I. Saavedra, R.J. Torres, P.A. Sánchez, y L.M.M. Granada, 2000c.** Chemical composition of precipitation in a Mexican Maya region. *Atmospheric Environment*, 34(8): 1197-1204.
- Bravo A.H., R. Soto, R.Torres, y P. Sánchez, 2001.** Surface recession due to acid rain on the Maya monuments: Tulum, Mexico. *The PARI Journal. Pre-Columbian Art Research Institute*, 2(1): 14-16.
- Bravo A.H., A.R. Soto, E.R Sosa, y A.P. Sánchez, 2003a.** Efecto de la lluvia ácida en el material constituyente de los monumentos mayas mexicanos. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 4(3):195-205.
- Bravo A.H., A.R. Soto, E.R. Sosa, A., P. Sánchez, A. Alarcón, y B.J. Ruíz, 2003b.** Degradación del material pétreo de la zona arqueológica de El Tajín, Veracruz, México, por efecto de la lluvia ácida. *Revista de la Sociedad Química de México*, 47(4): 328-330.
- Bravo H., R. Sosa, R. Soto, P. Sánchez, A. Alarcón, J. Ruiz, y J. Kahl, 2004.** Acid deposition effects on archeological monuments in Mexico. 13th World Clean Air and Environmental Protection Congress. August 22-27. London UK.
- EPA, 1994.** Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems. Vol. V. Precipitation Measurement Systems. EPA-600/R-94/038e. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.
- ISRM, 1979.** Commission on Standardization of Laboratory and Field Test. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* 16(2): 143-156.
- NADP, 2000.** National Atmospheric Deposition Program/ National Trends Network, <http://nadp.sws.uiuc.edu>
- Parungo, F., H. Bravo, W.C. Keene, y J.N. Galloway, 1988.** Ion Concentrations and pH of rainwater, p. 93-105. *In*: F. Parungo and J. Miller (Ed.). Air Chemistry Studies Over the Gulf of Mexico. NOAA Technical Memorandum ERL ESG-29. Environmental Sciences Group. Boulder, Colorado.
- Parungo, F., N. Clarence, S. Hoyt, y H. Bravo A., 1990.** The investigation of air quality and acid rain over the Gulf of Mexico. *Atmospheric Environment*, 24A(1): 109-123.
- Quintana, B.A., F. Parungo, H. Bravo A., 1988.** Sulfate, nitrate, and biological particles in aerosols, p. 53-71. *In*: F. Parungo and J. Miller (Eds.). Air Chemistry Studies Over the Gulf of Mexico. NOAA Technical Memorandum ERL ESG-29. Environmental Sciences Group. Boulder, Colorado.
- Ruiz Barrios, J., 2004.** Efecto de la lluvia ácida en el material pétreo constituyente de los monumentos de la zona arqueológica de El Tajín, Veracruz, México. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales de Aragón, UNAM. 69 p.
- RILEM, 1980.** Essais Recommandés pour Mesurer l'Alteration des Pierres et Evaluer l'Efficacité des Méthodes de traitement. *Materiaux et Constructions*, 13(75): 216-220.

Hernández Arana, H.A., 2005. Enfoque multivariado no paramétrico para determinar la influencia de la variabilidad natural y las actividades petroleras sobre el macrobentos del banco de Campeche, p. 553-564. In: 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, 2da Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.

Enfoque Multivariado No Paramétrico para determinar la Influencia de la Variabilidad Natural y las Actividades Petroleras sobre el Macrobentos del Banco de Campeche

33

Héctor A. Hernández Arana

El Colegio de la Frontera Sur- Chetumal

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la influencia de las perturbaciones naturales producidas durante la época de lluvias y nortes e identificar la influencia de las actividades petroleras sobre el macrobentos del banco de Campeche. El diseño de muestreo consistió en dos transectos perpendiculares y dos paralelos a la costa con 12 estaciones por transecto separadas de 7 a 8 km, sobre gradientes naturales de profundidad y ambientes sedimentarios, la influencia de las descargas de los ríos y dentro del área de explotación petrolera. Se analizaron dos fracciones de macroinfauna así como la concentración de hidrocarburos, metales traza, materia orgánica, carbonatos y granulometría del sedimento. Las hipótesis de no diferencia en la composición comunitaria de las fracciones de macroinfauna para datos de abundancia y biomasa entre épocas de muestreo y estaciones agrupadas de acuerdo a distancia y densidades de plataformas petroleras fue rechazada. Las diferencias temporales y en relación con las actividades petroleras para el caso de una fracción de la macroinfauna fue resultado de un incremento en la dispersión de las réplicas en el espacio multivariado. Sin embargo las diferencias para otra de las fracciones fue producto de diferencias entre las medias de los grupos. El grupo de los metales fue el que explicó la mayor variación en los datos, lo que respalda la hipótesis de la influencia de las actividades petroleras. Las actividades petroleras al parecer tienen una influencia extensa sobre las comunidades de infauna la cual puede deberse a un ambiente naturalmente perturbado sobre el que se impone el impacto adicional humano.

ABSTRACT

This study aimed to estimate the influence of natural disturbance caused by the rainy seasons, cold front storms and oil related activities on the macrobenthic community of the Campeche Bank. The sampling design was of two across and two along shelf transects following natural gradients of depth and sediment type, within the area of river discharge influence and oil production. At each transect 12 stations were allocated 7-8 km apart each. Two fraction of infauna were sampled as well as oil hydrocarbons, trace metals, organic matter, carbonate content and grain size of sediment. The general hypothesis of no differences in community composition for the two fractions of infauna for abundance and biomass data between sampling dates and stations

grouped into distance to and density of oil platforms was rejected. Temporal differences and oil-activities related differences for one of the fractions of the fauna was due to an increased in the dispersion of samples on a multivariate space. However differences for the other fraction was due to mean differences between groups. Metals explained the largest variation in the data, which support the hypothesis of oil-related influences on the benthos. Oil-related activities have an extensive influence over the benthic community and it is considered that the human disturbance acts upon a natural disturbed community.

INTRODUCCIÓN

El sur del Golfo de México incluye el banco y bahía de Campeche, extensos ambientes de plataforma continental que reciben el impacto de diversas perturbaciones. Las principales perturbaciones naturales se atribuyen a los "nortes" y la descarga de ríos los cuales influyen sobre los ambientes sedimentarios, modifican la extensión de la provincia de transición terrígena-carbonatada (Yañez Arancibia y Sanchez Gil, 1983) y controlan las interacciones costa-plataforma-océano (Fuentes Yaco *et al.*, 2001). A este marco de procesos físicos se acopla un hábitat béntico heterogéneo en el que los patrones espaciales y temporales del macrobentos son controlados por el ambiente sedimentario y el régimen de perturbación (Hernandez Arana *et al.*, 2003). Adicionalmente se sospecha que actividades petroleras también contribuyen a los cambios en la estructura del macrobentos y constituyen el principal aporte de hidrocarburos fósiles a los sedimentos recientes del área de transición (Gonzalez *et al.*, 1992; Vazquez-Botello *et al.*, 1993).

Varios estudios ecológicos han descrito los procesos naturales que influyen sobre las comunidades bénticas en el Sur del Golfo de México (Soto y Escobar-Briones, 1995; Soto *et al.*, 1998), pero no se habían estudiado los efectos que las actividades petroleras pueden ocasionar sobre el macrobentos (Vazquez *et al.*, 2000). Los primeros esfuerzos por evaluar este impacto se enfocaron a estimar la influencia de las chapopoterías sobre la macrofauna (Gonzalez-Macias, 1989) y el efecto de los hidrocarburos sobre las poblaciones de camarón (Soto y Gracia, 1987); sin embargo los diseños de muestreo no fueron adecuados a la escala a la que los impactos ocurren y tampoco incorporan la variabilidad natural. Esta problemática fue abordada recientemente por Hernandez Arana (2003) quien demuestra que las actividades petroleras tienen una influencia sobre la estructura del macrobentos y esta puede separarse de la variabilidad natural presente.

Los estudios para evaluar la influencia de las actividades petroleras sobre el bentos indican que un diseño de muestreo adecuado en combinación con un análisis multivariado son robustos para detectar patrones de ordenación relacionados con las actividades petroleras (Olsgard y Gray, 1995). Recientemente se desarrolló una técnica de análisis multivariado de varianza no paramétrico (NPMANOVA) con base a medidas de distancia y permutaciones aleatorias, para contrastar los efectos de los factores principales así como las interacciones entre éstos (Anderson, 2001a). Esta prueba multivariada es sensible a las diferencias en la dispersión de los datos (heterogeneidad de varianzas) y se ha propuesto que estas diferencias en dispersión en el patrón de ordenación multivariado son resultado de las perturbaciones, las cuales producen un incremento en la variabilidad de la composición comunitaria (Warwick y Clarke, 1993).

El presente trabajo busca evaluar la influencia de las perturbaciones naturales producidas durante la época de lluvias y nortes, e identificar la influencia de las actividades petroleras sobre el macrobentos del banco de Campeche con base a: 1) Distancia de estaciones de muestreo a la plataforma petrolera más cercana, y 2) densidad de plataformas petroleras en un radio de 5 km del punto de muestreo. Para alcanzar estos objetivos se propone emplear el enfoque de análisis multivariado para probar la hipótesis general de no diferencia entre épocas de muestreo y distancia/densidad de plataformas petroleras; estimar la interacción de estos dos factores principales; determinar si las diferencias son producidas por cambios en las medias o por cambios en la variabilidad de los datos; y seleccionar entre un número de variables naturales e indicadores de actividades petroleras las que mejor describan la ordenación multivariada de las muestras.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se encuentra entre los 19° 00' a 19° 40' de latitud norte y 91° 40' a 92° 30' de longitud oeste, dentro de la región de transición sedimentaria del banco y la sonda de Campeche. Las características sedimentarias y los procesos físicos de esta región están descritas en Hernández Arana (2003) y Monreal Gómez *et al.* (1992). El área de estudio incluye la mayor zona de producción petrolera en México, con aproximadamente 8000 km² en donde se localizan chapopoterías naturales y más de 200 plataformas (Valdés y Ortega Ramírez, 2000). El diseño de muestreo consistió en dos transectos perpendiculares (A, B) y dos paralelos (C, D) a la costa, sobre gradientes naturales de profundidad, influencia de las descargas de los ríos y ambientes sedimentarios (Fig. 1). Sobre cada transecto se ubicaron 12 estaciones separadas de 7 a 8 km y cada par de transectos se interceptó en la zona de mayor densidad de plataformas petroleras.

El muestreo se realizó en noviembre de 1999 y abril de 2000. Las muestras se colectaron con un nucleador de 0.16 m² y 0.25 m² para noviembre y abril respectivamente. La profundidad de la columna de agua y la salinidad del fondo se registró al momento de colectar la muestra en cada estación. Del núcleo recuperado se tomaron sub-muestras para determinar materia orgánica, contenido de carbonato, tamaño de grano del sedimento, concentraciones de hidrocarburos fósiles y metales traza. Para el caso de la infauna se colectaron dos fracciones; la macroinfauna pequeña se muestreó con un núcleo de 0.01 m² x 20 cm de profundidad y se tamizó con una malla de 0.5 mm. La macroinfauna grande fue recuperada del sedimento restante y se tamizó con una malla de 2.0 mm. Detalles del análisis de laboratorio para cada variable se describen en Hernández Arana (2003) y Hernández Arana *et al.* (2003).

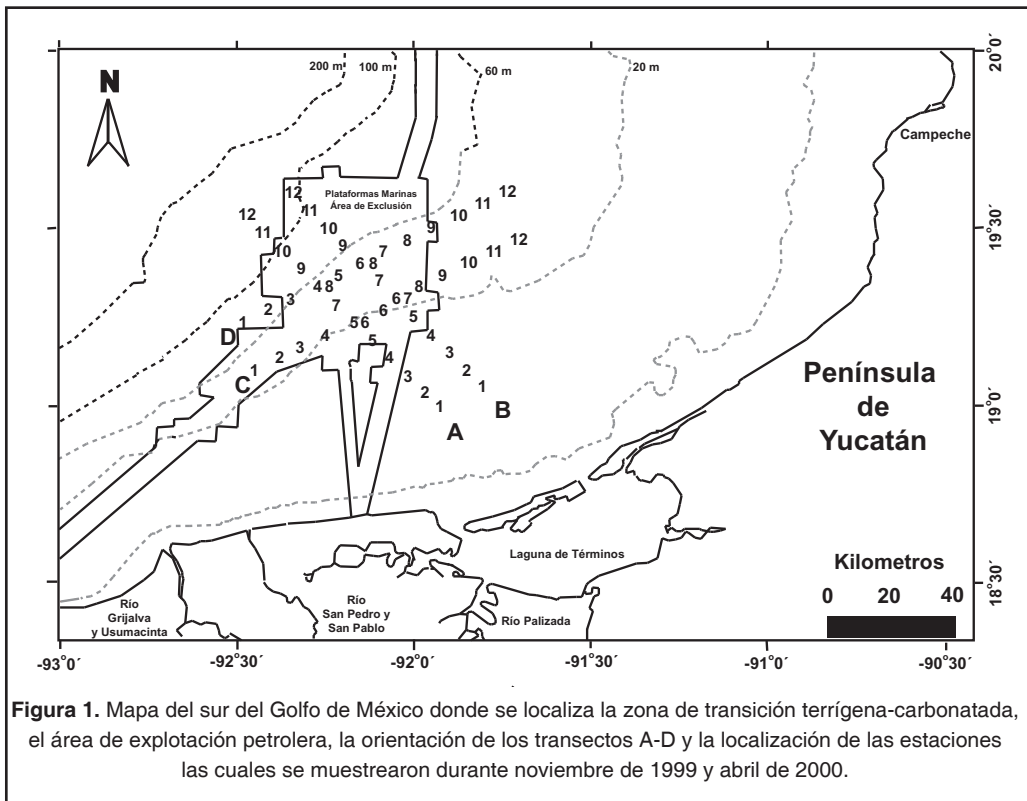


Figura 1. Mapa del sur del Golfo de México donde se localiza la zona de transición terrígena-carbonatada, el área de explotación petrolera, la orientación de los transectos A-D y la localización de las estaciones las cuales se muestrearon durante noviembre de 1999 y abril de 2000.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para probar las hipótesis de que estaciones localizadas en áreas de relativamente alta densidad de plataformas y estaciones cercanas a plataformas petroleras tienen menor abundancia, biomasa, una composición comunitaria reducida y mayor variabilidad, las estaciones se agruparon con base a: 1) número de plataformas petroleras en un radio de 5 km en; alta densidad (4-12), baja densidad (1-3) y cero plataformas. 2) distancia a la plataforma más cercana en; < 3km, 3-8 km y >8 km. Las distancias se seleccionaron con base a las máximas distancias a las que se han reportado influencias alrededor de una plataforma petrolera (Olsgard y Gray, 1995).

Los análisis estadísticos se hicieron con base a un diseño balanceado, ortogonal de dos factores. El factor 1 corresponde a la época de muestreo, con dos niveles y el factor 2 corresponde a grupos de densidad y distancia a plataformas con tres niveles. El tamaño de muestra ($n=11$) fue seleccionado de manera aleatoria del total de estaciones para cada grupo. El análisis sigue la lógica descrita por Anderson (2001a, b y c) y Anderson y Willis (2003). Por medio de un análisis de varianza y análisis de dispersión multivariada no paramé-

trico se probaron las hipótesis de no diferencias entre fechas de muestreo; entre grupos de densidad y distancia y la interacción de fechas de muestreo con grupos de densidad/distancia para evaluar la independencia del efecto de los factores principales. Estos resultados se respaldaron con un análisis de ordenación (análisis canónico por correspondencia tipo restringido o CAP), seguido por un análisis multivariado de regresión múltiple para establecer las variables ambientales que explican la variabilidad presente en la matriz de disimilitudes de Bray Curtis sobre datos de abundancia y biomasa. La matriz de datos ambientales contiene 22 variables agrupadas en 1) profundidad, 2) distancia a plataformas petroleras, 3) salinidad de fondo, 4) granulometría del sedimento (seis variables), 5) materia orgánica, 6) carbonato, 7) hidrocarburos (cinco variables) y 8) metales traza (seis metales normalizados por hierro). Las variables ambientales fueron transformadas para cumplir con el criterio de normalidad usando $\log_{10}$ para mediciones continuas y arco-seno para variables expresadas como porcentaje o proporción (Sokal y Rohlf, 1995). Los análisis se efectuaron con los programas estadísticos NPMANOVA, NPDISP, CAP y DISTLM *forward* (Anderson, 2003a,b,c y d).

RESULTADOS

Análisis de Varianza

Multivariado no Paramétrico

La hipótesis de no diferencia en la composición comunitaria de la macroinfauna pequeña y grande para datos de abundancia y biomasa entre épocas de muestreo y estaciones agrupadas de acuerdo a 1) distancia a plataformas petroleras y 2) densidad de plataformas fue rechazada.

Para el criterio de distancia a plataformas, no se encontró interacción multivariada significativa entre los factores época de muestreo y distancia. La composición comunitaria registrada en Noviembre de 1999 tanto para datos de abundancia como de biomasa fue muy diferente a la de Abril de 2000. De igual modo la distancia a plataformas petroleras tuvo un efecto

significativo sobre la composición comunitaria (Tabla 1). El grupo de estaciones localizadas > 8km de una plataforma petrolera fue significativamente diferente de la registrada en el grupo de estaciones localizadas de 0-3 km y de 3-8 km de distancia de plataformas petroleras. Los grupos de 0-3 km y 3-8 km no difirieron entre sí para la fracción de 0.5 mm de talla, sin embargo para la fracción de 2.0 mm de talla los grupos de estaciones > 8 km y 3-8 km fueron los que mostraron diferencias significativas.

Para el criterio de densidad de plataformas, en el caso de la macroinfauna pequeña solo se registraron diferencias entre las épocas de muestreo. No se encontró interacción multivariada significativa entre los factores época de muestreo y densidad. La composición comunitaria registrada en Noviembre de 1999 tan-

Tabla 1. Análisis de varianza multivariado no paramétrico de dos factores para probar diferencias e interacción entre épocas de muestreo y la influencia de las actividades petroleras con base en:
a) distancia a la plataforma mas cercana y **b)** densidad de plataformas en un radio de 5 km para datos de abundancia y biomasa de macroinfauna de dos tallas.

a) Fuente	df	F	P	b) Fuente	F	P
Abundancia macroinfauna 0.5 mm						
Epoca	1	3.2018	0.0001	Epoca	2.4775	0.0005
Distancia	2	1.7709	0.0059	Densidad	1.3183	0.1136
Ep x Dist	2	1.0733	0.3587	Ep x Dens	0.9582	0.5399
Biomasa macroinfauna 0.5 mm						
Epoca	1	3.0920	0.0001	Epoca	2.4122	0.0005
Distancia	2	1.7533	0.0054	Densidad	1.2661	0.1417
Ep x Dist	2	1.0634	0.3696	Ep x Dens	0.9198	0.6029
Abundancia macroinfauna 2.0 mm						
Epoca	1	4.2324	0.0001	Epoca	4.5318	0.0001
Distancia	2	2.2361	0.0005	Densidad	1.5419	0.0396
Ep x Dist	2	0.6826	0.8738	Ep x Dens	0.9177	0.5880
Biomasa macroinfauna 2.0 mm						
Epoca	1	3.2346	0.0002	Epoca	3.4922	0.0001
Distancia	2	1.9891	0.0014	Densidad	1.5314	0.0318
Ep x Dist	2	0.7695	0.8151	Ep x Dens	0.7459	0.8491

to para datos de abundancia como de biomasa fue muy diferente a la de Abril de 2000. La densidad de plataformas petroleras en un radio de 5 km tuvo un efecto significativo para la macroinfauna grande, pero no para la macroinfauna pequeña (Tabla 1). La composición comunitaria de las estaciones con cero plataformas en un radio de 5 km fue significativamente diferente de la registrada en las estaciones con densidades de plataformas petroleras de 4 o más. Las otras combinaciones pareadas no fueron significativamente diferentes.

Análisis de Dispersión Multivariada no Paramétrica

La comparación de la dispersión multivariada entre los grupos de estaciones para cada factor analizado se uso para determinar si las diferencias detectadas con el NPMANOVA se debe a diferencias en la heterogenidad en las

varianzas o a diferencias entre las medias de los grupos. La hipótesis de no diferencia en la dispersión multivariada de dos fracciones de macroinfauna para datos de abundancia y biomasa entre épocas de muestreo y estaciones agrupadas de acuerdo a tres grupos de distancia a plataformas petroleras mostró resultados variables (Tabla 2). La abundancia de la macroinfauna pequeña no presentó diferencias significativas en la dispersión multivariada para ninguno de los factores, fecha de muestreo y distancia a plataformas. De modo que las diferencias significativas registradas por NPMANOVA indican que el efecto de la época de muestreo y la distancia a la plataforma más cercana produjo un cambio en las disimilaridades promedio entre los grupos y no un cambio en la variabilidad interna de la composición comunitaria dentro de cada grupo. La gráfica de ordenación del análisis CAP (se incluyen todas las estaciones muestreadas en ambas épocas) apoya los resultados del análisis NPMANOVA y NPDISP y se observa la separación de los

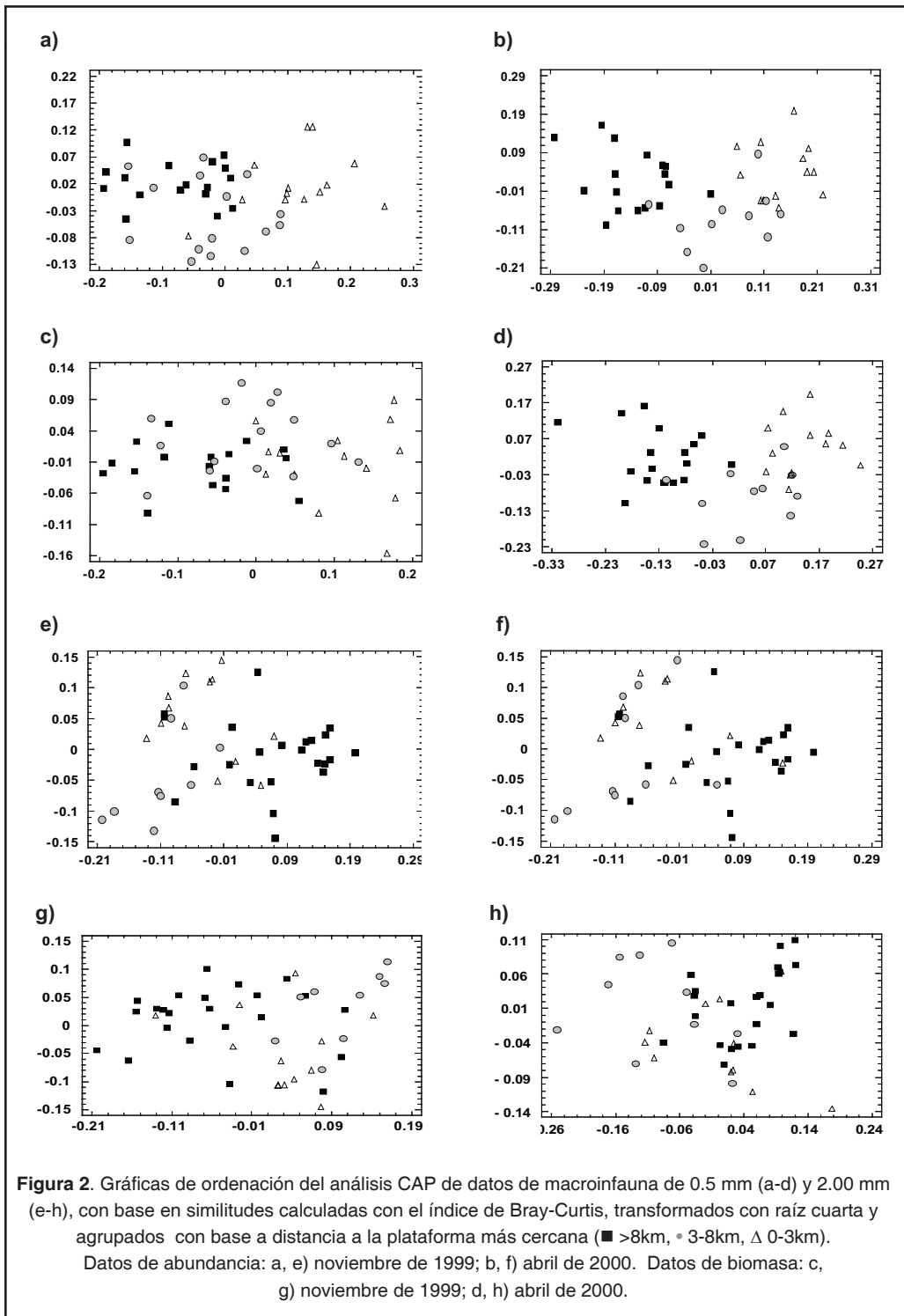
Tabla 2. Análisis de dispersión multivariado no paramétrico de dos factores para probar diferencias e interacción entre épocas de muestreo y la influencia de las actividades petroleras con base en: a) distancia a la plataforma mas cercana y b) densidad de plataformas en un radio de 5 km para datos de abundancia y biomasa de macroinfauna de dos tallas.

a) Fuente	df	F	P	b) Fuente	F	P
Abundancia macroinfauna 0.5 mm						
Epoca	1	2.6169	0.1125	Epoca	2.0407	0.1631
Distancia	2	2.5926	0.0851	Densidad	1.4070	0.2467
Ep x Dist	2	1.2114	0.3050	Ep x Dens	2.2463	0.1118
Biomasa macroinfauna 0.5 mm						
Epoca	1	4.1811	0.0452	Epoca	3.1786	0.0808
Distancia	2	2.1747	0.1237	Densidad	1.2924	0.2757
Ep x Dist	2	1.0735	0.3505	Ep x Dens	2.2676	0.1096
Abundancia macroinfauna 2.0 mm						
Epoca	1	16.1644	0.0001	Epoca	18.4291	0.0002
Distancia	2	2.2573	0.1178	Densidad	3.1493	0.0503
Ep x Dist	2	1.1260	0.3253	Ep x Dens	1.7032	0.1872
Biomasa macroinfauna 2.0 mm						
Epoca	1	15.9577	0.0001	Epoca	19.6628	0.0001
Distancia	2	3.0878	0.0562	Densidad	3.8402	0.0285
Ep x Dist	2	0.9696	0.3820	Ep x Dens	1.0627	0.3522

tres grupos de distancia siendo la separación de los grupos más clara para abril de 2000 y menos para noviembre de 1999 (Fig. 2 a y b). La biomasa de la macroinfauna pequeña y la abundancia y biomasa de la macroinfauna grande presentaron diferencias significativas en la dispersión multivariada para época de muestreo pero no para distancia a plataformas. Por lo tanto las diferencias significativas registradas por NPMANOVA indican que el efecto de la época de muestreo produjo un cambio en la variabilidad de la composición comunitaria, en donde el muestreo de noviembre de 1999 resultó ser más variable, y el efecto de la distancia a la plataforma más cercana produjo un cambio en las disimilaridades promedio entre los grupos, lo cual es más evidente para las muestras de abril de 2000 (Fig. 2 c y d).

La hipótesis de no diferencia en la dispersión multivariada de dos fracciones de macroinfauna para datos de abundancia y biomasa entre

épocas de muestreo y estaciones agrupadas de acuerdo a tres densidades de plataformas petroleras en un radio de 5 km también mostró resultados variables (Tabla 2). La abundancia y biomasa de la macroinfauna pequeña no presentó diferencias significativas en la dispersión multivariada para fecha de muestreo y para densidad de plataformas petroleras. Por tanto, las diferencias encontradas con el análisis NPMANOVA entre épocas de muestreo se deben a cambios en las disimilaridades promedio entre los grupos y no un cambio en la variabilidad interna de la composición comunitaria dentro de cada grupo. La abundancia y biomasa de la macroinfauna grande presentó diferencias significativas en la dispersión multivariada para ambos factores época de muestreo y densidad de plataformas. Esto significa que las diferencias encontradas por el NPMANOVA se deben a cambios en la variabilidad de la composición comunitaria, en donde el muestreo de noviembre de 1999 y el grupo de estaciones con alta



densidad de plataformas en un radio de 5km resultó tener mayor variabilidad en su composición comunitaria. Las gráficas de ordenación del análisis CAP (se incluyen todas las estacio-

nes muestreadas en ambas épocas) apoya los resultados del análisis NPMANOVA y NPDISP, donde se observa que los grupos de estaciones con densidades media y altas de platafor-

mas petroleras en un radio de 5 km se encuentran más dispersos (Fig. 2 a-d).

Análisis Multivariado de Regresión Múltiple

La relación de ocho grupos de variables ambientales con la ordenación multivariada de familias de macroinfauna por medio del procedimiento de selección adelantada (forward selection) mostró que el conjunto global de variables explicó desde 47 hasta 62% de la varianza total en los datos, aunque la mayoría

de los grupos de variables no fueron estadísticamente significativos (Tabla 3). El grupo de metales (Mn, Zn, Cu, Cr, Ba, Ni) y el grupo de variables del tamaño de grano (porcentajes de arena, limo, arcilla, tamaño medio de grano, desviación estándar, área específica del sedimento) fueron importantes ($p > 0.5$) en explicar la variación en los datos de familias de macroinfauna, pero la proporción acumulada de variación explicada no rebasó el 30%. La mayor varianza explicada (25%) por las concentraciones de metales se dio para la macroinfauna grande muestreada en abril de 2000 tanto para datos de abundancia como biomasa.

Tabla 3. Análisis de regresión múltiple tipo "forward selection" multivariado no paramétrico con base a distancias para determinar la relación de ocho grupos de variables ambientales con la matriz triangular de similitud de Bray-Curtis para datos de abundancia y biomasa de macroinfauna grande (> 2.0 mm) muestreados durante dos épocas.

Abundancia noviembre de 1999 macroinfauna grande; datos ambientales transformados					
Variable	SS(Trace)	Pseudo-F	P	Prop	cumulative
Metales	2.7499	1.5565	0.0034	0.1855	0.1855
Tamaño de grano	1.8255	1.0391	0.4079	0.1232	0.3087
Hidrocarburos	1.1822	0.7824	0.8476	0.0798	0.3884
Materia orgánica	0.4973	1.683	0.0949	0.0335	0.422
Salinidad	0.2229	0.7479	0.6602	0.015	0.437
Distancia plataformas	0.2175	0.7225	0.6909	0.0147	0.4517
Profundidad	0.2097	0.6886	0.7207	0.0141	0.4658
Carbonato	0.127	0.4075	0.9234	0.0086	0.4744
Biomasa noviembre de 1999 macroinfauna grande; datos ambientales transformados					
Variable	SS(Trace)	Pseudo-F	P	Prop	Cumulative
Metales	2.8377	1.4794	0.0054	0.178	0.178
Tamaño de grano	2.0565	1.0855	0.3052	0.129	0.3069
Hidrocarburos	1.2936	0.7955	0.856	0.0811	0.3881
Materia orgánica	0.6063	1.9213	0.045	0.038	0.4261
Salinidad	0.2731	0.8612	0.5631	0.0171	0.4432
Distancia plataformas	0.2171	0.6767	0.7543	0.0136	0.4568
Profundidad	0.2304	0.7106	0.715	0.0145	0.4713
Carbonato	0.18	0.5455	0.8657	0.0113	0.4826

Tabla 3 (Continuación). Análisis de regresión múltiple tipo "forward selection" multivariado no paramétrico con base a distancias para determinar la relación de ocho grupos de variables ambientales con la matriz triangular de similitud de Bray-Curtis para datos de abundancia y biomasa de macroinfauna grande (> 2.0 mm) muestreados durante dos épocas.

Abundancia abril de 2000 macroinfauna grande; datos ambientales transformados					
Variable	SS(Trace)	Pseudo-F	P	Prop	Cumulative
Metales	2.6062	2.4577	0.0001	0.2906	0.2906
Tamaño de grano	1.2439	1.215	0.1441	0.1387	0.4293
Hidrocarburos	0.923	1.1	0.3281	0.1029	0.5322
Materia orgánica	0.2769	1.6958	0.0886	0.0309	0.5631
Salinidad	0.1786	1.0982	0.3584	0.0199	0.583
Distancia plataformas	0.1871	1.1584	0.327	0.0209	0.6038
Profundidad	0.1676	1.0399	0.405	0.0187	0.6225
Carbonato	0.139	0.8561	0.5664	0.0155	0.638
Biomasa abril 2000 macroinfauna grande, datos ambientales transformados					
Variable	SS(Trace)	Pseudo-F	P	Prop	Cumulative
Metales	2.6728	2.225	0.0001	0.2705	0.2705
Tamaño de grano	1.4256	1.2328	0.1021	0.1443	0.4148
Hidrocarburos	1.0539	1.1145	0.2869	0.1067	0.5215
Materia orgánica	0.261	1.4021	0.1731	0.0264	0.5479
Salinidad	0.1937	1.0426	0.4023	0.0196	0.5675
Distancia plataformas	0.1885	1.0153	0.4313	0.0191	0.5866
Profundidad	0.1766	0.949	0.4903	0.0179	0.6044
Carbonato	0.1703	0.9113	0.525	0.0172	0.6217

DISCUSIÓN

Los resultados encontrados durante el presente estudio muestran que hay una fuerte influencia de los cambios temporales sobre la comunidad del macrobentos en la zona de transición del banco de Campeche. Esta influencia de la variabilidad natural se reflejó en menor abundancia, biomasa y número de taxa en el muestreo de noviembre y un subsecuente incremento en abril. Estudios previos sobre la variabilidad natural en el sur del Golfo de México han demostrado diferencias temporales marcadas sobre el macrobentos del banco de Campeche, las cuales se reflejan en disminución de la biomasa como resultado del efecto de los nortes (Soto y

Escobar-Briones, 1995; Soto *et al.*, 1998). Sin embargo esta influencia de los nortes no es tan marcada en la zona de transición como en la zona carbonatada, aparentemente como resultado de una perturbación continua causada por las descargas de los ríos el cual incrementa durante la época de lluvias (Hernandez Arana *et al.*, 2003). Estos cambios temporales en la estructura del macrobentos acoplados a incrementos en las descargas de ríos son típicos de plataformas continentales afectadas por grandes ríos como el Amazonas (Aller y Stupakoff, 1996), el río Changjiang (Rhoads *et al.*, 1985) y el río Fly (Alongi *et al.*, 1992). Evidentemente

el sistema Grijalva-Usumacinta no se compara en caudal y extensión a los ríos mencionados; sin embargo muestra una variabilidad temporal asociada a la presencia o ausencia de este tipo de perturbación natural.

El segundo factor de interés para este estudio fue la influencia que las actividades petroleras tienen sobre la estructura del macrobentos en el sur del Golfo de México. Hernández Arana, (2003) demostró la existencia de un impacto derivado de estas actividades, sin embargo no pudo separar esta influencia de la ocasionada por las perturbaciones naturales como las descargas de los ríos y las tormentas de invierno. El análisis multivariado de varianza no paramétrico corroboró el efecto de las actividades petroleras el cual se refleja en una diferente composición comunitaria entre grupos de estaciones ubicadas cerca de plataformas petroleras (0-3 km) o grupos de estaciones localizadas en áreas donde la densidad de plataformas es mayor a tres en un radio de 5 km. Por el hecho de que las interacciones entre los factores principales no haya resultado significativo para ninguna de las dos fracciones de macrobentos se puede considerar que las actividades petroleras tienen una influencia independiente de la perturbación natural.

Los resultados de este trabajo difieren de lo que ha sido reportado para el norte del Golfo de México en donde las actividades petroleras tienen una influencia espacial limitada sobre el macrobentos a la cercanía de las plataformas (Rabalais *et al.*, 1992; Montagna y Harper, Jr., 1996). En el Sur del Golfo de México al parecer esta influencia se extiende hasta los tres km. Esto está de acuerdo con lo establecido para el Mar del Norte en donde se han reportado efectos moderados hasta los 2 km y efectos sutiles hasta los 6 km (Olsgard y Gray, 1995; Daan y Mulder, 1996; Grant y Briggs, 2002). El impacto que las actividades petroleras puedan tener sobre el macrobentos al parecer está en relación con la historia y la intensidad de explotación humana así como a la historia de perturbación natural (Daan y Mulder, 1996). En áreas donde las actividades petroleras son intensas o se han llevado a cabo por varias décadas se espera que exista un traslape de influencias de plataformas individuales; sin embargo esto no había sido probado con anterioridad. Este trabajo al usar como criterio para evaluar la influencia

de las actividades petroleras a la densidad de plataformas en un radio de 5 km demuestra este posible traslape de influencias.

En el contexto de la evaluación de impactos ambientales, Warwick y Clarke (1993) proponen que uno de los impactos de la perturbación es el incremento en la variabilidad de los datos. Pearson y Mannvik (1998) en su estudio sobre cambios a largo plazo en comunidades bénticas del Mar del Norte muestran que áreas influenciadas por actividades petroleras presentan fluctuaciones mayores en densidades de algunas poblaciones bénticas y diversidad en la estructura del bentos que en áreas alejadas de esta influencia humana. Los resultados obtenidos a través del análisis NPDISP muestran que los datos de abundancia y biomasa de la macroinfauna grande presentaron diferencias temporales y diferencias en relación con las actividades petroleras como resultado de un incremento en la dispersión de las réplicas en el espacio multivariado. Sin embargo las diferencias para la macroinfauna pequeña son producto de diferencias entre las medias de los grupos. Este tipo de respuesta quizá refleje mayor sensibilidad de la macroinfauna grande a la perturbación natural como el incremento en la sedimentación de material fino o cambios en la estabilidad de la columna de agua y de tipo humano como a la mayor densidad de plataformas y al traslape de influencias.

La relación de los patrones multivariados con las variables ambientales tanto naturales como de origen humano mostraron un grado de asociación débil. A pesar de esa asociación débil fue claro que el grupo de los metales fue el que explicó la mayor variación en los datos, lo que respalda la hipótesis de la influencia de las actividades petroleras sobre la infauna, medido indirectamente a través de su contribución a la carga de metales en el sedimento. La mayor variación explicada por los metales fue para la macroinfauna grande, esto refuerza la idea de que la macroinfauna grande podría ser más susceptible al impacto de las actividades petroleras. Estudios sobre la toxicidad de lodos de perforación con base diesel usados en el Mar del Norte sobre animales bénticos ha demostrado que son los hidrocarburos policíclicos aromáticos los responsables del efecto tóxico más que los metales (Grant y Briggs, 2002). Sin embargo en el sur del Golfo de México aparen-

temente los lodos de perforación usados son base agua (PEMEX comunicación personal) por tanto no contendrían cantidades importantes de hidrocarburos, pero los metales quizá entonces serían los más tóxicos. Las concentraciones de hidrocarburos totales registradas para este trabajo estuvieron en el intervalo de no detectados en áreas alejadas de la plataformas petroleras hasta $> 100 \mu\text{g g}^{-1}$ en estaciones cercanas a plataformas petroleras y más del 90% correspondió a la mezcla compleja no resuelta (UCM) lo que indica un origen de petróleo (Hernández Arana, 2003). Las variables del sedimento fueron importantes para la macroinfauna pequeña durante el muestreo de abril de 2000. Esta diferencia entre las variables ambientales que explican los patrones multivariados entre una época y otra muestran que hay una variabilidad temporal asociada quizá a los cambios en las descargas de los ríos y la posterior influencia de las tormentas de invierno cuya influencia sobre el sedimento se refleja en cambios sutiles en la composición

y tallas del sedimento en el área de transición del sur del Golfo de México.

Las técnicas multivariadas no paramétricas empleadas para probar las hipótesis de la influencia natural y humana sobre el macrobentos en el sur del Golfo de México probaron ser robustas para determinar el efecto de los factores principales y explorar las interacciones potenciales entre ellos. Este conjunto de técnicas permitió establecer que si hay influencia de las actividades petroleras sobre el macrobentos en el Banco de Campeche y que esta influencia es adicional a la influencia natural derivada de las descargas de los ríos y las tormentas de invierno. El diseño de muestreo refuerza la idea de la necesidad de aplicar diseños con una escala regional para el estudio del impacto de las actividades petroleras, sobre todo en áreas donde la variabilidad natural podría enmascarar las influencias derivadas de las actividades humanas (Olsgard y Gray, 1995; Pearson y Mannvik, 1998).

LITERATURA CITADA

- Aller, J.Y., e I. Stupakoff, 1996.** The distribution and seasonal characteristics of benthic communities on the amazon shelf as indicators of physical processes. *Continental Shelf Research*, 16: 717-751.
- Alongi, D.M., P. Christoffersen, F. Tirendi, y A.I. Robertson, 1992.** The influence of freshwater and material export on sedimentary facies and benthic processes within the Fly Delta and adjacent Gulf of Papua (Papua New Guinea). *Continental Shelf Research*, 12: 287-326.
- Anderson, M.J., 2001.** A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, 26: 32-46.
- Anderson, M. J. 2003a.** CAP: a FORTRAN computer program for canonical analysis of principal coordinates. New Zealand, Department of Statistics, University of Auckland.
- Anderson, M. J. 2003b.** DISTLM forward: a FORTRAN computer program to calculate a distance-based multivariate analysis for a linear model using forward selection. New Zealand, Department of Statistics, University of Auckland.
- Anderson, M. J. 2003c.** NPDISP: a FORTRAN computer program for non-parametric multivariate dispersions (for any two factor ANOVA design) using permutation tests. New Zealand, Department of Statistics, University of Auckland.
- Anderson, M. J. 2003d.** NPMANOVA: a FORTRAN computer program for non-parametric multivariate analysis of variance (for any two factor ANOVA design) using permutation tests. New Zealand, Department of Statistics, University of Auckland.
- Anderson, M.J., y T.J. Willis, 2003.** Canonical analysis of principal coordinates: a useful method of constrained ordination for ecology. *Ecology*, 84: 511-525.
- Botello, A.V., C. Gonzalez, y G. Diaz, 1991.** Pollution by petroleum hydrocarbons in sediments from continental shelf of Tabasco State, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 47: 565-571.
- Daan, R., y M. Mulder, 1996.** On the short-term and long-term impact of drilling activities in the Dutch sector of the North Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 53: 1036-1044.
- Fuentes Yaco, C., D.A. Salas de Leon, M.A. Monreal-Gomez, y F. Vera-Herrera, 2001.** Environmental forcing in a tropical estuarine ecosystem: the Palizada river in the southern Gulf of Mexico. *Marine Freshwater Research*, 52: 735-744.

- Gonzalez, C., A.V. Botello, y G. Diaz, 1992.** Presence of aliphatic hydrocarbons in sediments and organisms from Campeche Bank, Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 24: 267-270.
- Gonzalez-Macias, C., 1989.** Las comunidades bentónicas y su relación con afloramientos naturales de hidrocarburos en el Golfo de México: Crucero Chapo I. *Universidad y Ciencia*, 6: 7-28.
- Grant, A., y A.D. Briggs, 2002.** Toxicity of sediments from around a North Sea oil platform: are metals or hydrocarbons responsible for ecological impacts? *Marine Environmental Research*, 53: 95-116.
- Hernandez Arana, H.A., 2003.** Influence of natural and anthropogenic disturbance on the soft bottom macrobenthic community of the Campeche Bank, Mexico. PhD thesis. University of Plymouth, UK. 210 p.
- Hernandez Arana, H.A., A.A. Rowden, M.J. Attrill, R.M. Warwick, y G. Gold Bouchot, 2003.** Large-scale environmental influences on the benthic macroinfauna of the southern Gulf of Mexico. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 58: 825-841.
- Monreal Gomez, M.A., D.A. Salas de Leon, A.R. Padilla Pilotze, y M.A. Alatorre Mendieta, 1992.** Hidrografía and estimation of density currents in the southern part of the Bay of Campeche, Mexico. *Ciencias Marinas*, 18: 115-133.
- Montagna, P., y D.E. Harper Jr., 1996.** Benthic infaunal long-term response to offshore production platforms in the Gulf of Mexico. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53: 2567-2588.
- Olsford, F., y J.S. Gray, 1995.** A comprehensive analysis of the effects of offshore oil and gas exploration and production on the benthic communities of the Norwegian continental shelf. *Marine Ecology Progress Series*, 122: 277-306.
- Pearson, T.H., y H.P. Mannvik, 1998.** Long-term changes in the diversity and faunal structure of benthic communities in the North Sea: natural variability or induced instability? *Hydrobiologia*, 375/376: 317-329.
- Rabalais, N.N., B.A. McKee, D.J. Reed, y L.D. Mee, 1992.** Fate and effects of produced water discharges in coastal Louisiana, Gulf of Mexico, USA, p. 355-369. In: Ray, J.P., Engelhardt, F.R. (Eds.), *Produced Water*, Plenum Press, New York.
- Rhoads, D.C., D.F. Boesch, T. Zhican, X. Fengshan, 1985.** Macrobenthos and sedimentary facies on the Changjiang delta platform and adjacent continental shelf, East China Sea. *Continental Shelf Research*, 4: 189-213.
- Sokal, R.R., y F.J. Rohlf, 1995.** Biometry, W. H. Freeman and Co., New York. 887 p.
- Soto, L.A., y E. Escobar-Briones, 1995.** Coupling mechanisms related to trophic benthic production in the SW Gulf of Mexico, p. 233-242. In: Eleftheriou, A., A.D. Ansell, C.J. Smith. (Eds.), 28th European Marine Biology Symposium, Olsen and Olsen, Fredensborg, Institute of Marine Biology of Crete, Iraklio, Crete.
- Soto, L.A., y A. Gracia, 1987.** Evaluación de los efectos de hidrocarburos fósiles sobre las poblaciones de camarones peneidos en el Banco de Campeche. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, 14: 133-146.
- Soto, L.A., S. Manickhand-Heileman, E. Flores, S. Licea, 1998.** Processes that promote decapod diversity and abundance on the upper continental slope of the southwestern Gulf of Mexico, p. 385-400. In: Klein, J.C.V.V., and F.R. Schram. (Eds.) *The Biodiversity crisis and Crustacea Fourth International Crustacean Congress*, A. A. Balkeman/Rotterdam/Brookfield, Amsterdam, The Netherlands.
- Valdes, V.M., y R. Ortega Ramirez, 2000.** Issues and challenges in the requalification of offshore platforms in Mexico. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 122: 65-71.
- Vazquez, F., R. Rangel, A.M. Quintero-Marmol, J., Fernandez, E. Aguayo, A. Palacio, y V.K., Sharma, 2000.** Southern Gulf of Mexico, p. 467-482. In: C.R.C. Sheppard, (Ed.) *Seas at the Millennium: an Environmental Evaluation*, 1, Elsevier Science Ltd., Amsterdam.
- Vazquez-Botello, A., G. Ponce-Velez, y G. Diaz-Gonzalez, 1993.** Hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH's) en áreas costeras del Golfo de México. *Hidrobiológica*, 3: 1-15.
- Warwick, R.M., y K.R. Clarke, 1993.** Increased variability as a symptom of stress in marine communities. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 172: 215-226.
- Yañez Arancibia, A., y P. Sanchez Gil, 1983.** Environmental "behavior" of Campeche Sound ecological system, off Terminos Lagoon Mexico: Preliminary results. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, 10: 117-136.

De la Lanza Espino, G., y J.C. Gómez Rojas, 2005. Calidad de agua e indicadores fitoplanctónicos en tres ambientes acuáticos costeros al noroeste del Golfo de México, p. 565-574. In: 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, 2da Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.

Calidad de Agua e Indicadores Fitoplanctónicos en Tres Ambientes Acuáticos Costeros al Noroeste del Golfo de México

34

Guadalupe de la Lanza Espino y Juan Carlos Gómez Rojas

Instituto de Biología. UNAM

RESUMEN

La compleja dinámica de los sistemas acuáticos costeros hace difícil actualmente diferenciar la eutrofización de origen natural de la cultural, por lo cual se puede considerar a los organismos del fitoplancton como una herramienta de apoyo en la evaluación de las condiciones físicoquímicas o calidad del agua. Con base en esto, el presente estudio tuvo como objetivo analizar las características abióticas-bióticas de tres ambientes acuáticos de un sistema fluvio lagunar costero al noroeste de México (laguna las Marismas, estuario del río Pánuco y laguna Pueblo Viejo). Una baja proporción N:P, señaló un enriquecimiento de fósforo ($10 \mu\text{M}$), factor que determinó el predominio de las cianofitas. La composición de especies mostró una clara diferencia en los tres sitios de estudio, identificándose un total de 15 que han sido consideradas como posibles indicadoras de enriquecimiento por fósforo, entre las más importantes están las cianofitas *Anabaenopsis elenkinii*, *Merismopedia tenuissima*, *Oscillatoria limnetica*, *Synechocystis aquatilis*, así como las clorofitas, *Scenedesmus bijuga*, *Spermatozopsis exultans* y la bacilarofita *Cylindrotheca closterium*, como indicadoras dadas las altas densidades celulares, contenido de clorofila "a" y fósforo total.

ABSTRACT

The complex dynamics of coastal aquatic systems does actually difficult to differentiate the natural eutrophication of cultural eutrophication, by which they can be considered to the phytoplankton as monitoring in the evaluation of the physicochemical or water quality conditions. Based on this, the present study had an objective to analyze the abiotic-biotic characteristic of three fluvio lagoonar aquatic environments at the northwest of Mexico (Marismas Lagoon, Panuco River estuarine and Pueblo Viejo Lagoon). A low proportion N: P, indicated a significant enrichment of total phosphorus ($10 \mu\text{M}$) in the three environments, which could be the factor determined the predominance of the cyanophyta. The composition of species showed a clear difference in the three places of study, being identified a total of 15 species that have been considered as possible indicators of enrichment by phosphorus; between those we found as cyanophytes *Anabaenopsis elenkinii*, *Merismopedia tenuissima*, *Oscillatoria limnetica*, *Synechocystis aquatilis*, chorophytes *Scenedesmus bijuga*, *Spermatozopsis exultans* and basilarofita *Cylindrotheca closterium* as bioindicators conditions associated to high cell densities, chlorophyl "a" content and total phosphorus.

INTRODUCCIÓN

El enriquecimiento de materiales en los sistemas acuáticos costeros ha aumentado en las últimas décadas, ya sea como parte de su evolución o por causas antropogénicas que aceleran sus procesos evolutivos; motivo por el cual es importante evaluar su condición eutrófica. Tradicionalmente se han utilizado metodologías fisicoquímicas para determinar la calidad del agua con resultados que refieren condiciones en periodos cortos de tiempo, situación que requiere de relacionarse con organismos, debido a su exposición al medio acuático. Huszar *et al.* (1998) mencionan que las especies del fitoplancton pueden ser más útiles para la clasificación trófica de ambientes lacustres y por su parte De la Lanza Espino *et al.* (2000) sugieren que las algas microscópicas fitoplanctónicas reflejan mejor las condiciones ambientales del medio acuático, ya que responden rápidamente a los cambios que pueden ocurrir por procesos naturales o por actividades humanas, que modifican la estructura de sus comunidades.

La composición específica puede ser influenciada por el estado trófico, resultado de la disponibilidad de nutrientes inorgánicos nitróge-

nados y del fósforo, siendo este último el que estimula el crecimiento de la comunidad fitoplanctónica, así como la presencia de especies que prefieren ambientes eutróficos. Kelly y Whitton (1998) sugieren que las diferencias nutricionales de las clorofitas, cianofitas y bacilarofitas pueden inducir cambios en la dominancia de estos grupos; lo cual da una idea de las condiciones ambientales y niveles de calidad del agua.

Los estudios sobre bioindicadores en México son escasos; recientemente De la Lanza Espino *et al.* (2000) realizaron una compilación bibliográfica sobre organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación, en la cual se describen aquellos con posibilidades de ser usados en el monitoreo.

Por lo arriba expuesto, este estudio analizó la presencia de especies fitoplanctónicas y su relación con el enriquecimiento de nutrientes, en tres ambientes acuáticos costeros de una misma cuenca fluvial (río Pánuco) al noreste de México.

ÁREA DE ESTUDIO

En general el clima de la región es tipo AW1(e), según García (1973), el cual corresponde a un clima cálido subhúmedo, con temperatura media de 22°C, y un promedio anual de 20 a 25°C con máximas en mayo y junio y sus mínimas en enero y febrero. La precipitación mayor es entre junio y octubre, siendo muy escasa en los meses restantes; la precipitación media anual es de 1,039 mm (INEGI, 1994).

calcáreos. El agua tiene poco movimiento y en época de lluvias recibe agua dulce y agua marina en máximas pleamares. En este sistema se muestrearon cuatro estaciones; al norte cerca de la boca que la comunica con el mar (22°27' N y 97°52' W), al sur (22°24' N y 97°52' W) y dos al centro (22°26' N y 97°52' W). La laguna Las Marismas recibe descargas de un poblado industrial petroquímico (Fig. 1).

Laguna las Marismas

Se localiza aproximadamente a 15.5 km al norte de la desembocadura del río Pánuco. Es un cuerpo salobre separado del mar por un cordón litoral. La laguna es somera con un sustrato fangoso en su extremo sur y fangoso arenoso en el norte, con formaciones de balánidos

El Río Pánuco o Moctezuma-Pánuco

Es uno de los más caudalosos e importantes ríos mexicanos; la mayor parte de su cuenca, pertenece a la porción central oriental de México, y el resto, que es la porción de su curso bajo, al declive hacia el Golfo de México, donde alcanza su máximo volumen.

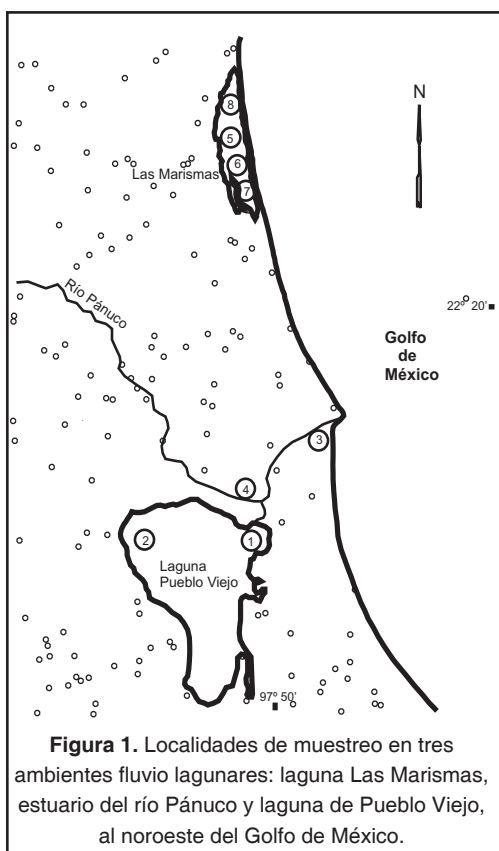


Figura 1. Localidades de muestreo en tres ambientes fluvio lagunares: laguna Las Marismas, estuario del río Pánuco y laguna de Pueblo Viejo, al noroeste del Golfo de México.

Existe escasa información de tipo ambiental acerca del estuario del río Pánuco, a pesar de que está considerado entre los más contaminados del país (INEGI, 1994). De los trabajos ambientales efectuados en la zona, está el de Miramar (1987) relacionado con las actividades en el puerto industrial, que menciona la influencia de esas actividades sobre el ecosistema marino adyacente al río Pánuco.

Para desarrollar el presente estudio se consideraron dos estaciones de muestreo en el estuario localizadas a $22^{\circ}12' N$ y a $97^{\circ}52' W$, así como a $22^{\circ}15' N$ y $97^{\circ}48' W$, (Fig. 1).

La Laguna de Pueblo Viejo

Está ubicada en la planicie costera al NW del Golfo de México, aproximadamente a 18 km al oeste de la desembocadura del río Pánuco, entre los paralelos $22^{\circ}05' N$ y $22^{\circ}13' N$ y $97^{\circ}50' W$ y $97^{\circ}57' W$, con una extensión aproximada de 14,2 km de largo y 1,25 km de ancho y una profundidad de uno a 2,5 m.

De la Lanza Espino y Cantú Ramírez (1986) con base en el índice de diversidad de pigmentos, así como por el contenido de clorofilas mencionan que es una laguna que presenta condiciones de eutrofia durante la época de nortes.

Cabe destacar que la cantidad de los principales metales en agua reportados por JICA-CNA (2000) para las dos épocas climáticas son bajos, que señalan no existe contaminación en agua; sin embargo en sedimento existe alto contenido de mercurio en el río Pánuco y laguna Pueblo Viejo (0.03 a 1.8 mg/kg y 0.7 mg/kg, respectivamente) (Tabla 1).

En esta laguna se consideraron dos estaciones de muestreo, una en el canal principal que comunica a la laguna con el río Pánuco, y la otra cercana a dos poblados ($22^{\circ}11' N$ y $97^{\circ}51' W$) (Fig. 1).

MÉTODO

Se eligieron ocho estaciones (septiembre del 2000) que representaron la influencia de actividades antropogénicas y en ellas se tomaron muestras de agua superficial a través de una botella Niskin para análisis fisicoquímicos y de fitoplancton. Se realizaron análisis *in situ* de temperatura, salinidad y pH. El oxígeno disuelto, DQO, ortofosfatos, fósforo total, nitratos, nitritos y clorofila "a", se determinaron según criterios de la APHA (1998). Para fitoplancton se tomaron 250 ml de agua de la botellas Niskin, a las que se adicionó lugol como preservador.

Posteriormente se identificaron y analizaron cuali y cuantitativamente por medio del vaciado de dos mililitros de cada muestra en una cubeta de sedimentación, utilizando un fotomicroscopio invertido Leitz Wetzlar/Diavert con barrido de transectos diametrales de acuerdo a Hasle (1978).

Se trabajó con un intervalo de confianza aceptable de acuerdo a Round (1990-1991 y Lara-Villa *et al.*, 1996), con el recuento de 100 a 300 células por muestra. Las células

Tabla 1. Contenido de metales en el río Pánuco y la laguna Pueblo Viejo durante dos épocas climáticas (JICA-CNA, 2000).

	Secas		Lluvias	
	Río Pánuco	Laguna Pueblo Viejo	Río Pánuco	Laguna Pueblo Viejo
Fenoles (mg/l)	< 0.001	<0.01	<0.001	<0.001
Cianuros (mg/l)	< 0.006	<0.006	<0.01	<0.01
Cr (mg/l)	< 0.1	<0.01-0.024	< 0.03	<0.03
Cr6+ (mg/l)	<0.002	<0.002	<0.003	<0.003
Cd (mg/l)	<0.002	<0.002	<0.005	<0.005
Pb (mg/l)	<0.01-0.01	<0.01	0.0014-0.0049	0.00003-0.0016
Cu (mg/l)	<0.005	<0.05	0.0034-0.0058	0.0035-0.0043
Zn (mg/l)	0.028	0.019-0.023	0.0017-0.0021	<0.0005-0.0012
Ni (mg/l)	<0.005	<0.005	0.0010-0.0050	0.0002-0.0003
As (mg/l)	0.002-0.004	0.001-0.004	<0.02	<0.02
Hg-T (mg/l)	<0.001	<0.001	<0.0003	<0.0003

fragmentadas pero con contenido celular se determinaron como completas de acuerdo al criterio de Stoermer *et al.* (1987). La determinación de la estructura de las comunidades, se

obtuvo de acuerdo al índice de diversidad (H') de Shannon y Wiener (Washington 1984; Lara-Villa *et al.*, 1996).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la fisicoquímica de los tres ambientes se destacaron las siguientes características: el intervalo de temperatura fue de 26.75 a 29.5°C en la época de lluvias, que según García (1973) corresponde a una condición térmica tropical. La salinidad para la laguna Pueblo Viejo y laguna las Marismas fue de 11.5 y de 17.4 ups, respectivamente (Tabla 2), niveles que corresponden a un medio mesohalino y en cuanto el estuario del río Pánuco fue de 3.64 ups u oligohalino (según criterio de Carriker, 1967).

El oxígeno disuelto fue en general, semejante a lo registrado en otros cuerpos de agua costeros, oscilando entre 75.9% para Pueblo Viejo y 81% de saturación tanto para la laguna las Marismas como para estuario del río Pánuco; condiciones satisfactorias para la vida acuática desde el punto de vista ecológico, tomando lo referido por Thurston *et al.* (1979) e incluso lo establecido en normas y criterios oficiales mexicanos.

Los nutrientes tanto nitrogenados como fosforados (Tabla 2) estuvieron dentro del intervalo normal registrado para sistemas lagunares, incluso semejante a lo evaluado por Contreras y Gutiérrez (1989) hace 13 años y más recientemente por Amezcua (1998); la excepción fue el fósforo total en la laguna las Marismas, donde alcanzó hasta 10 µM. En el caso de los ortofosfatos éstos fueron semejantes entre el presente estudio y los registros de JICA-CNA (2000); sin embargo, los contenidos de nitrógeno fueron más altos en los registros de JICA-CNA (2000) en sus niveles máximos, pero semejantes en el más bajo (Tabla 2).

A pesar de que el fósforo total fue alto, los tres ambientes pueden ser considerados en un estado de trofía normal, tomando como base lo referido por De la Lanza-Espino (1994); la excepción fue el estuario del río Pánuco si se toman los criterios limnológicos establecidos por Wetzel (1975) de no más de 3.0 µM.

Tabla 2. Parámetros fisiocquímicos en tres ambientes acuáticos de un sistema fluvio lagunar costero al noroeste del Golfo de México.

	Presente Estudio			Temporada de Secas (JICA-CNA, 2000)		Temporada de Lluvias (JICA-CNA, 2000)	
	Laguna Las Marismas	Estero del Río Pánuco	Laguna Pueblo Viejo	Río Pánuco	Laguna Pueblo Viejo	Río Pánuco	Laguna Pueblo Viejo
Traspacidad (m)				0.5-0.8	0-0.6	0.3-0.4	0.3-0.7
Temperatura °C	26.75	29.84	28.21	23.7-25.1	24.1-26.4	26.8-29.2	27.1-28.9
Salinidad (ups)	17.5	3.64	11.50	3.06-33.31	13.85-18.82	< 2	<2-10.60
pH	8.0	7.81	7.57	8.2-8.6	8.1-8.3	7.6-7.0	7-8.3
Oxígeno (mg/l)	5.85	6.0	5.50	9.2-15	7.2-11	4.9-5.5	5.8-6.4
Saturación de O ₂ (%)	81.0	81.0	75.90				
DQO (mg/l)	9.0	0.85	1.65				
Ortofosfatos (µM)	3.7	320	2.90	1.94-2.58	1.61-2.26	1.94-4.19	1.42-3.23
Fósforo Total (µM)	10.0	3.90	3.20	3.87-8.06	2.58-3.87	2.77-5.48	1.71-3.55
Nitritos NO ₂ (µM)	0.4	0.7	0.50	0.71-1.43	0.71-0.71	0.50-0.71	<0.14-0.50
Nitratos NO ₃ (µM)	1.4	16.4	10.70	11.43-15	0.71-10	13.57-60	0.71-43.57
Clorofila (mg/m ³)	39.7	4.75	4.40				
NH ₄ -N (mg/l)				0.71-2.86	0.71-2.86	<0.50-1.43	0.50-2.14
N-T (mg/l)				40-51.43	19.29-46.43	26.43-85.71	25-48.57
COD (mg/l)				2.7-7.8	1.0-1.3	3.6-4.4	1.3-6.8
SS (mg/l)					25-130	43-380	13-130
TOC (mg/l)						2.5-7.5	2.2-10

Las proporciones N:P para Pueblo Viejo y estuario del río Pánuco fueron 3.9 y 5.3, respectivamente, con un aparente déficit de nitrógeno dado el bajo cociente y en consecuencia una tendencia a la eutrofia tomando como base el criterio de Wu (1984). Los niveles de ortofosfatos y nitratos fueron normales comunes en lagunas costeras.

La carga orgánica evaluada a través de la DQO fue baja en general, con una máxima en laguna Las Marismas de escaso significado bajo el punto de vista de la contaminación y cuyo posible aporte puede ser de la vegetación local, tanto emergente como sumergida e incluso periférica (De la Lanza-Espino y Cantú-Ramírez, 1986 y De la Lanza-Espino 1990).

El contenido de clorofila "a" fue 8.6 veces mayor en la laguna Las Marismas que en laguna Pueblo Viejo y estuario del río Pánuco (Tabla 2), con una concentración alta de 39.7 mg/m³ semejante a lagunas muy productivas (De la Lanza Espino y Lozano Montes, 1999). Además, coincidió con el máximo de DQO (9 mg/l) que permite suponer que la materia orgánica procedió del fitoplancton; sin embargo, por las concentraciones de fósforo total, ortofosfatos, clorofila "a" y alta densidad de células (Fig. 2), la laguna Las Marismas puede ser considerada en condiciones de eutrofia.

JICA-CNA (2000) registraron contenidos de 2.7-7.8 mg/l de carbono orgánico total (equivalente a 6.1-21.8 mg de DQO) en el río Pánuco

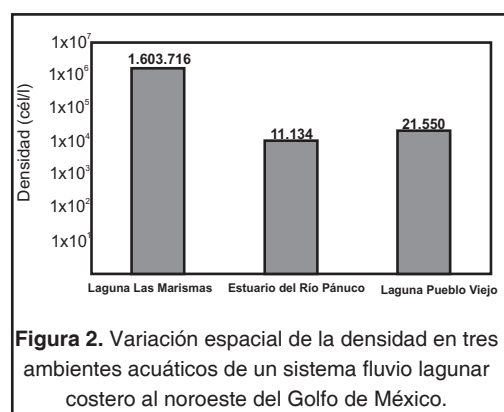


Figura 2. Variación espacial de la densidad en tres ambientes acuáticos de un sistema fluvio lagunar costero al noroeste del Golfo de México.

y de 2.2-10 mg/l TOC (equivalente a 5.9-27.0 mg/l de DQO, aproximadamente) en la laguna Pueblo Viejo; niveles superiores a los aquí registrados y que pueden ser consecuencia de la metodología empleada y el día en que fueron realizados los muestreos, tomando en cuenta que ambas estudios corresponden al mismo año. Otra justificación puede ser la ubicación de las estaciones y la hora del muestreo donde hay descargas residuales intermitentes y en la laguna descargas puntuales urbanas no registradas.

El contenido de clorofila "a" fue parecido al determinado por JICA-CNA (2000) tanto para el estuario del río Pánuco como de la laguna Pueblo Viejo; sin embargo la concentración en la laguna Las Marismas fue mayor.

Según la información de JICA-CNA (2000) la fisicoquímica de Pueblo Viejo y río Pánuco señala un proceso de concentración en época de sequías con incremento de clorofila "a" y una de dilución y baja de clorofila "a" en época de lluvias, como puede verse en los intervalos de variación de los parámetros en la tabla 2.

En los tres ambientes acuáticos se determinó un predominio de cianofitas, representando entre el 72.5 % en laguna Pueblo Viejo, el 78 % en el estuario del río Pánuco y el 96 % en laguna Las Marismas (Fig. 3), señalando esta última un estado de eutrofía. Registros hechos por otros autores corroboran esta condición, por ejemplo Trifonova (1998) observó que en aguas eutrofizadas las cianofitas representan el 75% de la biomasa total, Lepistö y Rosenström, (1998) incluso mencionan que las cianofitas son el grupo más importante en cuerpos lacustres con 2.8 μM de fósforo total y Padišák (1998) designa que las condiciones hipertrófi-

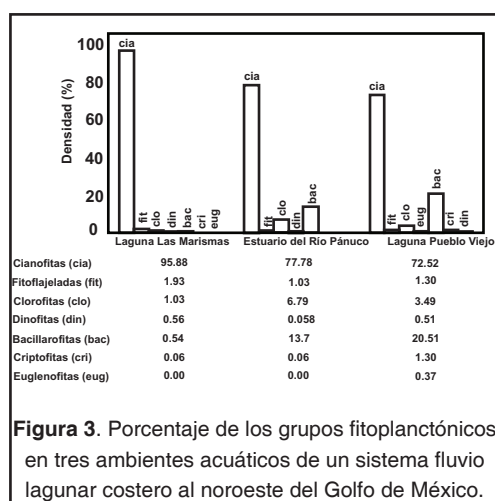


Figura 3. Porcentaje de los grupos fitoplanctónicos en tres ambientes acuáticos de un sistema fluvio lagunar costero al noroeste del Golfo de México.

cas se caracterizan por florecimientos de cianofitas. Recientemente Downing *et al.* (2001) mencionan que hay una probabilidad del 80 % de que predominen las cianofitas en ambientes con 3.2 μM de fósforo total. La especie cianofita predominante en la laguna de Pueblo Viejo y la laguna Las Marismas fue *Merismopedia tenuissima* con el 26 y 40.76 % de la densidad, respectivamente.

El segundo lugar estuvo representado por las bacilariofitas, registradas tanto para el ambiente mesohalino de la laguna Pueblo Viejo con el 20.5 % (predominando *Cylindrotheca closterium* con el 6.5 % de la densidad), como el oligohalino del estuario del río Pánuco con el 13.7% (Fig. 3) y en los últimos lugares, las clorofitas, fitoflageladas, criptofitas, dinofitas, euglenofitas, en ese orden decreciente.

A pesar de lo anterior, hay que tomar en cuenta que cada sistema acuático tiene un equilibrio hidrobiológico particular y hacer comparaciones puede resultar riesgoso. Las cianofitas han sido consideradas como bioindicadoras de eutrofía, como ha sido el caso del presente estudio; según Lepistö y Rosenström, (1998), también las clorofitas son comunes en lagos eutróficos con 2.8 μM de fósforo total, e incluso en reservorios hipertróficos con intervalos de 7.4 a 11.6 μM de fósforo total (Dasí *et al.*, 1998); con base en esto es posibles considerar como especies indicadoras a *Scenedesmus bijuga*, y *Spermatozopsis exultans*, que en la laguna de Pueblo Viejo y la laguna Las Marismas representaron 0.8 a 1.3% de la densidad, respectivamente.

Los tres ambientes acuáticos se pudieron diferenciar tanto con base en las variables físico-químicas, como con base en la composición de especies, sumando entre los tres cuerpos de agua 15 especies indicadoras, así como ocho especies que comparten los tres ambientes (Tabla 3). En la laguna de Pueblo Viejo se identificaron 39 especies en total, con 13 especies y nueve géneros importantes, dominando las bacilarofitas (Tabla 2). Dentro de los posibles indicadores de contaminación están: *Cryptomonas* sp. y *Aulacoseira granulata* típicas de ambientes eutróficos (Kilham y Kilham, 1975; Lima *et al.*, 1979; Lepistö y Rosenström, 1998); así como *Euglena polymorpha*, *Scenedesmus quadricauda* (Trifonova, 1998; Abdul-Hussein y Mason, 1988), *Cyclotella* sp., típica de ambientes de oligotróficos a moderadamente eutróficos (Trifonova, 1998; Dasí *et al.*, 1998; Reynolds, 1998). Prescott (1962) menciona que la presencia de *E. polymorpha*

y *Lepocinclis* sp. están relacionadas con contenidos altos de materia orgánica.

En el estuario del río Pánuco, se identificaron en total 44 especies con 11 importantes (Tabla 3), siendo de las bacilarofitas las más representativas y en segundo lugar las cianofitas y clorofitas. Las especies características en el río y clasificadas como de ambientes eutrofizados fueron: *Gomphosphaeria aponina* (Abdul-Hussein y Mason, 1988; Dasí *et al.*, 1998; Lepistö y Rosenström, 1998). Reynolds (1998), considera a *Actinastrum hantzschii* como una especie de ambientes hipertróficos; sin embargo *Gymnodinium verruculosum*, de ambientes oligotróficos.

En la laguna las Marismas se identificó el mayor número de especies con 53 en total, destacando 20 como distintivas (Tabla 3), 18 cianofitas, seguidas por las bacilarofitas con 14.

Tabla 3. Géneros y especies característicos de un sistema lagunar costero al noroeste del Golfo de México. Los géneros y especies en negritas son propuestas de bioindicadores fitoplanctónicos.

Laguna Las Marismas	Estuario del Río Pánuco	Laguna de Pueblo Viejo
<i>Amphora Cofaeformis</i> <i>Amphora proteus</i> <i>Amphora</i> sp. <i>Anabaena</i> sp. *Ankistrodesmus falcatus <i>Aulacomonas submarina</i> *Chaetoceros gracilis *Chaetoceros muelleri <i>Chroococcus</i> sp. *Chroococcus turgidus <i>Fitoflagelada</i> sp. <i>Fitoflagelada</i> sp. <i>Golenkinia radiata</i> <i>Nitzschia eglei</i> <i>Nitzschia parvuloides</i> *Oscillatoria erythraea Prorocentrum dentatum <i>Prorocentrum minimum</i> <i>Synechococcus</i> sp. <i>Treubaria setigerum</i>	<i>Achnanthes</i> sp. *Actinastrum hantzschii <i>Chlorococcal</i> sp. *Gomphosphaeria aponina *Gymnodinium verruculosum <i>Navicula</i> sp. <i>Nitzschia gandersheimiensis</i> <i>Scenedesmus bicaudatus</i> <i>Scenedesmus quadricauda</i> <i>Spirulina laxa</i> <i>Spirulina laxissima</i>	<i>Amphora</i> sp. *Aulacoseira granulata *Cyclotella sp. *Cryptomonas sp. <i>Chaetoceros subtilis</i> <i>Cocconeis placentula</i> <i>Cyclotella litoralis</i> <i>Dinofita</i> sp. <i>Diploneis bombus</i> <i>Entomoneis alata</i> *Euglena polymorpha <i>Glenodinium</i> sp. <i>Hantzschia amphioxys</i> *Lepocinclis sp. <i>Monoraphidium elongatum</i> <i>Nitzschia sigma</i> <i>Nitzschia</i> sp. *Scenedesmus quadricauda <i>Surirella</i> sp. <i>Synechococcus cedrorum</i> <i>Synechococcus</i> sp. <i>Synedra ulna</i>
* Género y especies indicadoras		
Especies frecuentes y dominantes en los tres ambientes		
<i>Merismopedia tenuissima</i> <i>Oscillatoria limnetica</i> <i>Cylindrotheca closterium</i>	<i>Merismopedia punctata</i> <i>Anabaenopsis elenkinii</i> <i>Spermatozopsis exultans</i>	<i>Scenedesmus bijuga</i> <i>Synechocystis aquatilis</i>

Las especies registradas como indicadoras de contaminación, según la literatura, fueron: *Chaetoceros gracilis* y *Chaetoceros muelleri*; Turpin y Harrison (1979) mencionan que pueden ser características de elevadas concentraciones de amonio. Abdul-Hussein y Mason, (1988) identifican a *Ankistrodesmus falcatus* como la especie más importante en ambientes eutróficos; así como *Scenedesmus bijuga* en ambientes lacustres eutróficos (Trifonova, 1998).

La diversidad, tanto en la laguna de Pueblo Viejo como en el estuario del río Pánuco, fue de 1.85 y 2, respectivamente; según el criterio de

Hendley, (1977), ambos sitios presentarían una contaminación moderada. Comparativamente, Ali *et al.* (2000) reportan una diversidad de 1.72 como indicador de condiciones moderadas de contaminación en el río Nilo. En la laguna Las Marismas la diversidad fue de 0.72 que según consideraciones de Hendley (1977) fue altamente contaminada, a pesar de que dichos valores están dentro de los límites de variación de la diversidad de especies en lagunas costeras tropicales, los cuales están comprendidos entre 0.04-4.7 bits/ind según Santoyo, (1994). Sin embargo hay que tomar en cuenta las particularidades del marco biofísico local.

CONCLUSIONES

Dado que las condiciones fisicoquímicas de los tres ambientes cumple con las normas y criterios de la calidad del agua éstos se consideran como satisfactorios para la vida acuática; sin embargo, el mayor contenido de fósforo total, así como la carga orgánica determinaron una tendencia a la eutrofización en la laguna Las Marismas. Aunque los altos contenidos de fósforo en ambientes costeros es una condición normal de su evolución; estos estados de eutrofia normal son importantes desde el punto ecológico ya que pueden ser el factor que determine el predominio de especies fitoplanctónicas (cianofitas) tolerantes a diferentes grados de eutrofia, las cuales serían una herramienta importante en la caracterización ambiental de sistemas acuáticos contaminados. Las microalgas comunes e importantes en los tres am-

bientes acuáticos fueron las cianofitas *Merismopedia tenuissima*, *Merismopedia punctata*, *Oscillatoria limnetica*, *Anabaenopsis elenkinii*, *Synechocystis aquatilis*, así como las clorofita *Scenedesmus bijuga*, *Spermatozopsis exultans* y la basilarofita *Cylindrotheca closterium* las cuales son consideradas como especies de ambientes oligotróficos a moderadamente eutróficos; la presencia de éstas, así como las características de densidad, contenido de clorofila "a" y fósforo total indicaron fluctuaciones en la calidad del agua, y pueden ser consideradas como especies indicadoras. Localmente se observa que en laguna Las Marismas y la laguna de Pueblo Viejo tienen el mayor número de especies indicadoras, mientras que en el río Pánuco sólo se presentaron tres.

LITERATURA CITADA

- Abdul-Hussein, M.M., y C.F. Mason, 1988. The phytoplankton community of a eutrophic reservoir. *Hydrobiología*, 169: 165-277.
- Ali, G.H, E. El-Taweel Gamila, M.G. Mahasen y M.A. Ali, 2000. Microbiological and chemical study of the Nile River water quality. *International Journal Environmental Studies*, 58:47-69.
- Amezcuca, M.A., 1998. Poliquetos bénticos indicadores de la calidad del agua y sedimento del río Pánuco, Tamaulipas, México, Tesis Profesional, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, UNAM. México. 135 p.
- APHA, 1998. Standard Methods for the Examination of water and Wastewater., 20th Edition, AWWA-WPCF 849 p.
- Carriker, M.R., 1967. Estuaries, p. 4-42. In: Lauff Git (Eds.) Publication 83 American Association for the Advancement of Science Washington D.C.
- Contreras, F., y F. Gutiérrez, 1989. Hidrobiología, nutrientes y productividad primaria en lagunas costeras, p. 57-78. In: J. Rosa-Vélez y F. González-Farías (Eds.) Temas de Oceanografía Biológica en México. Universidad Autónoma de Baja California.

- Dasí, M.J., M.R. Maricle, A. Camacho, J.M. Soria y E. Vicente, 1998.** Summer phytoplankton assemble across trophic gradients in hard-water reservoirs. *Hydrobiologia*, 369/370: 27-43.
- De la Lanza Espino, G. y M.C. Cantú Ramírez, 1986.** Cuantificación de clorofilas y aplicación del índice de diversidad de pigmento (D430/D665) para estimar el estado biótico de la Laguna de Pueblo Viejo. Ver. *Universidad y Ciencia*, 3 (5):31-41.
- De la Lanza Espino, G., 1990.** Algunos aspectos sobre hidrológica y calidad del agua, p.181-199. In: G.E. de la Lanza y J.L. Arredondo Figueroa (Eds.) *La Acuicultura en México: de los conceptos a la producción*. Ediciones Especiales del Instituto de Biología, UNAM.
- De la Lanza Espino, G., 1994.** Química, p. 127-182. In: G De la Lanza-Espino y C Cáceres Martínez (Eds.) *Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano*, Universidad Autónoma de Baja California, 525 p.
- De la Lanza Espino, G. y H. Lozano Montes, 1999.** Comparación fisicoquímica de las lagunas de Alvarado y Términos. *Hidrobiológica*, 9(1):15-30.
- De la Lanza Espino, G., S. Hernández, y J.S. Carbajal, 2000.** Organismos Indicadores de la Calidad del Agua y de la Contaminación (Bioindicadores), SEMARNAP, CNA, IB, UNAM, P y V., México D.F., 633 pp.
- Downing, J.A., S.B. Watson y E. McCauley, 2001.** Predicting cyanobacteria dominance in lake. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58(10): 1905-1908.
- García, E., 1973.** Modificaciones al sistema de clasificación climática de Copen para adaptarlo a las condiciones de la república Mexicana. Instituto de Geofísica, UNAM. México. 246 p.
- Hasle, G.R., 1978.** Using the inverted microscope, p. 191-196. In: A. Sournia, (ed.) *Phytoplankton Manual*. UNESCO, Paris. 337 p.
- Hendley, N., 1977.** The species diversity index of some in-shore diatoms communities and its use in assessing the degree of pollution insult on parts of the North Coast of Cornwall, p. 355-378. In: J. Cramme, (ed) *Fourth Symposium on Recent and Fossil Marine Diatoms*.
- Huszar, V.L.M., L.H.S. Silva, P. Domingos, M. Marinho y S. Melo, 1998.** Phytoplankton species composition in more sensitive tha OCED criteria to the trophic status of three Brazilian tropical lakes. *Hydrobiologia*, 369/370: 59-71.
- INEGI, 1994.** Estadísticas del Medio Ambiente. INEGI., México. 447 p.
- JICA-CNA, 2000.** The study on development of the national water quality monitoring program in coastal areas in the united mexican states. Final Report 20 p.
- Kelly, M.G. y B.A. Whitton, 1998.** Biological monitoring in river. *Hydrobiologia*, 384(1-3): 55-67.
- Kilham, S.S y P. Kilham, 1975.** *Melosira granulata* (Ehr.) Ralf: morphology and ecology of a cosmopolitan freshwater diaton. *Verh. Int. Ver. Limnol.*, 19: 2716-2721.
- Lara-Villa, M.A., J.L. Moreno-Ruiz y E.J. Amaro-Mauricio., 1996.** Fitoplancton: conceptos básicos y técnicas de laboratorio. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México. 227 p.
- Lepistö, L. y U. Rosenström., 1998.** The most typical phytoplankton taxa in four types of boreal lakes. *Hydrobiologia*, 369/370: 89-97.
- Lima, W.C., J.G. Tundisi y M. Marins., 1979.** A systemic approach to the sensitivity of *Melosira italica* (Ehrs) Kutz. *Revista Brasileira de Biología*, 39: 559-563.
- Miramar, R.L., 1987.** Estudio de los posible efectos que sobre la productividad primaria ejercen las actividades del puerto industrial de Altamira, Tamaulipas, Tesis Profesional, Facultad de Ciencias, UNAM, 90 p.
- Padisák, J., 1998.** Selection of phytoplankton association in lake Balaton, Hungary, in response to eutrophication and restoration measures, with special reference to the cyanoprokaryotes. *Hydrobiologia*, 384: 41-53.
- Prescott, G.W., 1962.** *Freshwater Algae*. Brown, Dubuque. 977 p.
- Reynolds, C.S., 1998.** What factors influence the species composition of phytoplankton in lake of different trophic status?. *Hydrobiología*, 369/370: 11-26.
- Round, F.E., 1990.** The effect of liming on the benthic diatom populations in three upland Welsh lakes. *Diatom Research*, 5 (1): 129-140.
- Round, F.E., 1991.** Epilithic diatoms in acid water streams flowing into the reservoir Llyn Brianne. *Diatom Research*, 6 (1): 137-145.
- Santoyo, H., 1994.** Fitoplancton y productividad, p. 221-245. In: G. De la Lanza Espino y C. Cáceres Martínez (Eds.) *Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano*, Universidad Autónoma de Baja California. 525p.
- Stoermer, E.F., J.P. Kociolek, C.L. Schelske y D.J. Conley., 1987.** Quantitative analysis of siliceous microfossils in the sediments of lake Erie's central basin. *Diatom Research*, 2 (1): 113-134.

Trifonova, I.S., 1998. Phytoplankton composition and biomass structure to trophic gradient in some temperate and subarctic lakes of north-western Russia and the Prebaltic. *Hydrobiologia*, 369/370:99-180.

Turpin, D.H. y P.J. Harrison, 1979. Limiting nutrient patchiness and its role in phytoplankton ecology. *Journal Experimental Marine Biology and Ecology*, 39: 151-166.

Thurston, R.V., R.C. Russo, JR. C.M. Felterolf, T.A. Edsall, y Jr. Y.M. Barber., 1979 A Review of the EPA Red Book: Quality Criteria for Water. Water Quality Section, American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. 313 p.

Washington, H.G., 1984. Diversity, biotic and similarity indices. A review with special relevance to aquatic ecosystems. *Water Research*, 18: 653-694.

Wetzel, R.G., 1975. Limnology. Saunders College Publishing, Philadelphia. 745 pp.

Wu, J.T., 1984. Phytoplankton as bioindicator for water quality in Taipei. *Botany Bulletin of Academia Sinica*, 25: 205-214.

Evaluación del Impacto Ambiental de la Central Nucleoeléctrica Laguna Verde a 15 Años de Operación

35

Jaime A. Silva Jiménez ¹ y Alfonso V. Botello ²

¹ Gerencia de Centrales Nucleoeléctricas, Ingeniería Ambiental-CFE

² Instituto de Ciencias del Mar y Limnología

RESUMEN

En el presente estudio se muestran los resultados de los análisis químicos, físicos biológicos y radiológicos llevados a cabo por el Laboratorio de Monitoreo y Dosimetría Ambiental, a fin de evaluar los impactos ambientales de la operación de la Central Nuclear de Laguna Verde (CNLV) desde su etapa preoperacional (1980-88) hasta el 2003. Los resultados indican que los niveles de radiación se han mantenido dentro de las variaciones naturales, debajo de los límites normativos, y no han representado ningún peligro para los ecosistemas aledaños ni para los habitantes de la región. De igual manera, los análisis sobre la productividad marina, los parámetros fisicoquímicos, y las comunidades de fito y zooplancton en la zona de descarga, muestran sólo variaciones naturales a lo largo de 24 años; lo que indica que el impacto de la descarga del agua de enfriamiento es menor que el calculado por los modelos de difusión de la pluma térmica. Finalmente se resalta el problema sobre la disposición de los desechos radioactivos como producto de la operación de los reactores, haciéndose notar que los de nivel alto se almacenan en albercas de decaimiento dentro de la CNLV por toda la vida útil de la misma, por su parte, los desechos de nivel bajo y medio se depositan y almacenan en contenedores de alta integridad donde al cabo de 2 años su radioactividad decae hasta un 97%.

ABSTRACT

Results of physico-chemical, biological and radiological analysis carried out by the Environmental Monitoring and Dosimetry Laboratory of the Laguna Verde Nuclear Power Plant in order to evaluate the impacts of her operation on the environment since 1980 up 2003 are shown in this paper. These indicate that levels of radiation, not jeopardizing the ecosystem in the nearby of the plant as well as the health of the inhabitants or the region. Also, the analyses of primary productivity, diversity of phyto and zooplankton and fisheries stocks indicate a null variability during the last 24 years. Thus, the ecological impact produced by ther thermal discharge is minimum in accordance with the dispersion models. Finally, the disposition of nuclear wastes is discussed pointed out that the high level wastes are stored in decay pools inside the plant, and the wastes of low and medium level are placed and stored in high integrity containers at least during two years, where the loss radiactivity up to 97%.

INTRODUCCIÓN

En julio de 1990 dio inicio la operación comercial de la unidad 1 de la Central Nuclear de Laguna Verde (CNLV), con una capacidad de producción de 654 MW eléctricos netos, generados a partir de uranio enriquecido como combustible y agua en ebullición como moderador y refrigerante (BWR). En abril de 1995 entró en operación la unidad 2 con capacidad y características similares.

Las emisiones de radionúclidos artificiales liberados al ambiente por la CNLV en forma gaseosa o líquida, se encuentran reglamentadas, a nivel nacional, por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS), y a nivel internacional por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), que vigila el cumplimiento de los acuerdos y convenios de seguridad nuclear, y por la World Association of Nuclear Operators (WANO), que agrupa a todos los operadores de reactores nucleares en el mundo, y busca mantener en un nivel inmejorable la seguridad.

De acuerdo con los estándares de estos organismos, el control de tales liberaciones debe ser óptimo y las dosis de exposición al medio deben de ser tan bajas como razonablemente sea posible (IAEA, 1986; USNRC, 1992, CNSNS, 1994). El procedimiento para garantizar tales estándares incluye la determinación de las condiciones naturales del lugar, antes del inicio de operaciones de la planta, e iniciar un programa de monitoreo ambiental; el cual continua durante toda la vida útil del reactor (LANL, 1987; Jaquish y Bryce, 1989).

La presente contribución es una síntesis de tales estudios, los cuales se enfocaron al análisis del transporte atmosférico de materiales radioactivos, al efecto de la descarga de agua al mar adyacente y a la evaluación de las condiciones ambientales generales y a los recursos bióticos en particular.

ÁREA DE ESTUDIO

La Central Nucleoeléctrica Laguna Verde se localiza en la costa nororiental del estado de Veracruz, México, en los 19°43'30"N y los 96°43'09"W. Topográficamente el sitio es plano, limitado al Este por el Golfo de México y al Oeste por montañas de baja elevación, de 500 m aproximadamente en los primeros 5 km de la costa y elevaciones de alrededor de 1,400 m a 60 km de la misma (Fig. 1).

El clima del área, de acuerdo a la clasificación climática de Köppen (modificada por E. García, 1981), es Aw1 (w) (i)w", tropical (marítimo) cálido húmedo con lluvias en verano, el mes con mayor precipitación es julio y el más seco enero. Durante el invierno e inicio de la primavera se presentan frentes de aire polar, mientras que en el verano perturbaciones tropicales.

METODOLOGÍA

La evaluación del impacto ambiental potencial producido por la CNLV, durante las fases de construcción y operación, incluyó el análisis de los siguientes tres componentes.

Niveles de Radiación

Las liberaciones de efluentes líquidos y gaseosos son parte muy importante de la verificación de los sistemas de operación en las instalaciones nucleares. Debido a que los límites

máximos de dosis radiactivas fijadas para la población, como resultado de la operación normal de la central, representan un porcentaje muy pequeño de las dosis que por radiación ionizante recibe normalmente la población de fuentes naturales o preexistentes, es necesario conocer estas actividades y dosis, así como las variaciones que se presentan en el área antes de la puesta en operación de la planta: estas mediciones son la base para evaluar, durante la etapa operacional, cualquier cambio en los ni-

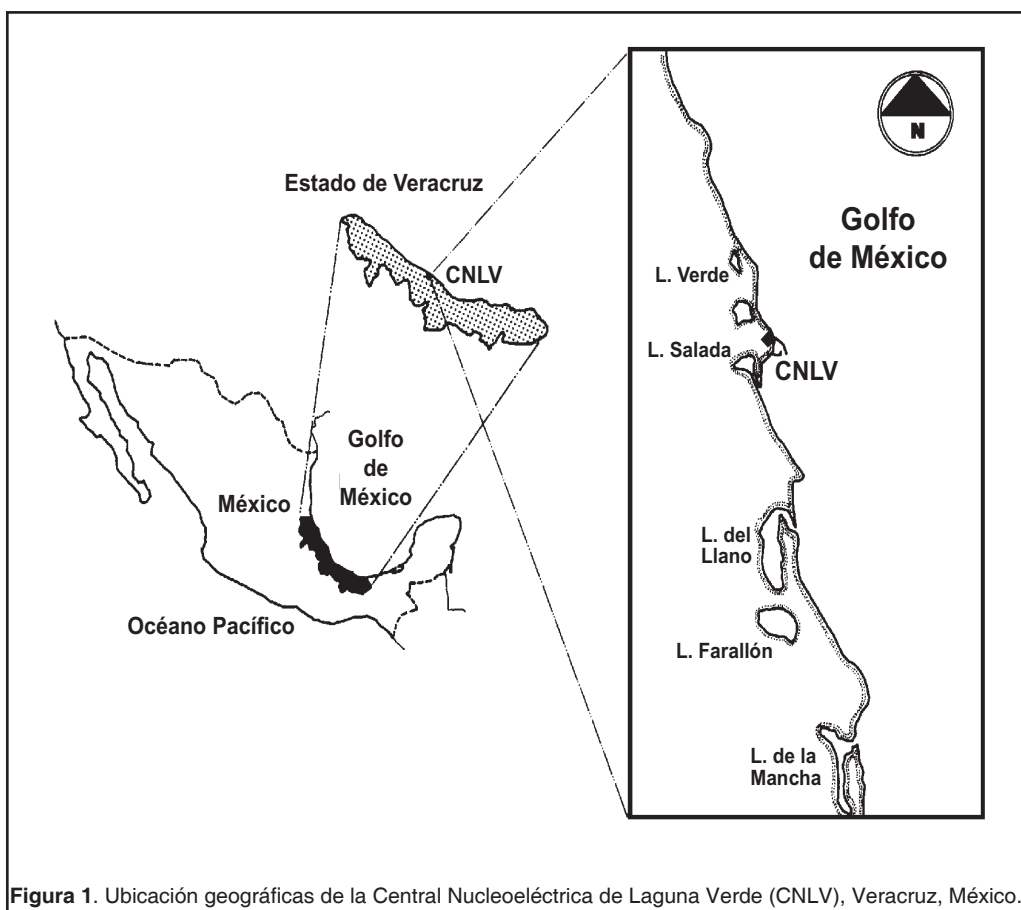


Figura 1. Ubicación geográficas de la Central Nucleoeléctrica de Laguna Verde (CNLV), Veracruz, México.

veles de radiación en el ambiente, y para poder cuantificar el impacto radiológico producido.

Lo anterior fue posible gracias al Programa de Monitoreo Radiológico Ambiental (PMRA), que cumpliendo requisitos normativos, inició su ejecución en la etapa preoperacional, enfocado al estudio previo de las condiciones radiológicas naturales (niveles de radiación) y cuya continuidad se da hasta la fecha en la etapa operacional. Dicho programa fue diseñado y realizado por el Laboratorio de Monitoreo y Dosimetría Ambiental de la Comisión Federal de Electricidad. La fase preoperacional se ejecutó entre los años 1980 y 1988. Se analizaron las diferentes rutas de exposición que podrían seguir tanto los efluentes líquidos como los gaseosos. Las estaciones de muestreo para los diferentes compartimientos analizados se muestran en las figuras 2, 3 y 4 y comprenden estaciones localizadas en un radio de 3 y 10 km del sitio de ubicación de la planta y de 70 km para las estaciones de referencia.

Posteriormente, una vez en operación comercial la CNLV, se continuó con el PMRA en su fase operacional. En la tabla 1 se presentan los tipos de análisis realizados en cada compartimiento ambiental, así como las técnicas empleadas para tal fin, y en las figuras 5 y 6 se muestra el número de análisis realizados en los periodos pre y operacional, así como los análisis obligatorios y complementarios efectuados en 2003, que comprendieron muestras de aire, partículas atmosféricas, agua de lluvia, suelo y depósito de polvos, bioacumulación en vegetales y productos agrícolas, como maíz, frijol, caña de azúcar, tomate, papaya y mango; y productos de origen animal, principalmente leche y carne de res.

También fueron analizadas muestras de agua de mar y productos alimenticios de origen marino, como peces, crustáceos, moluscos y algunos bioindicadores como las algas macrofitas (*Sargassum* sp), y sedimentos de origen marino, arenas de playa y pozos de agua dulce. Estas

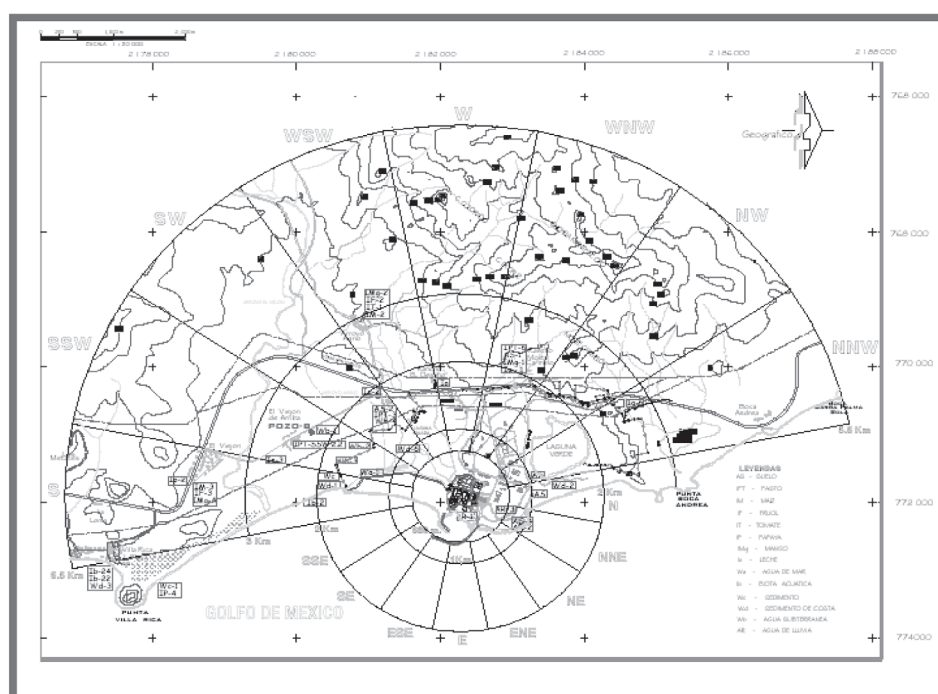


Figura 2. Estaciones de muestreo a 3 km.

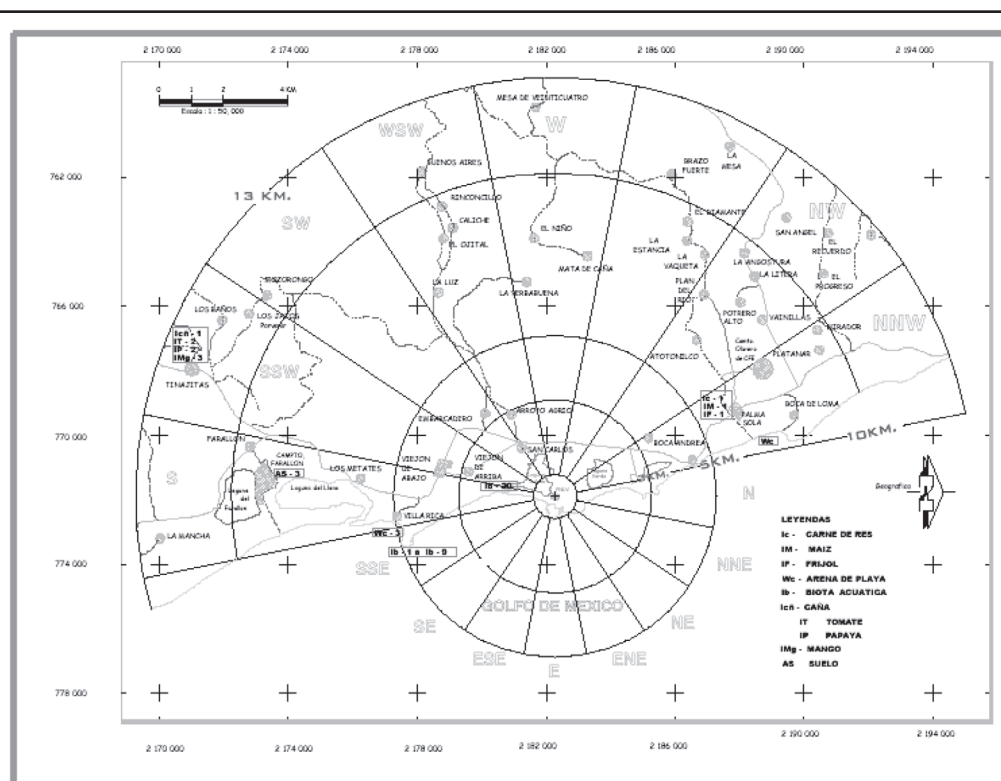


Figura 3. Estaciones de muestreo a 10 km.

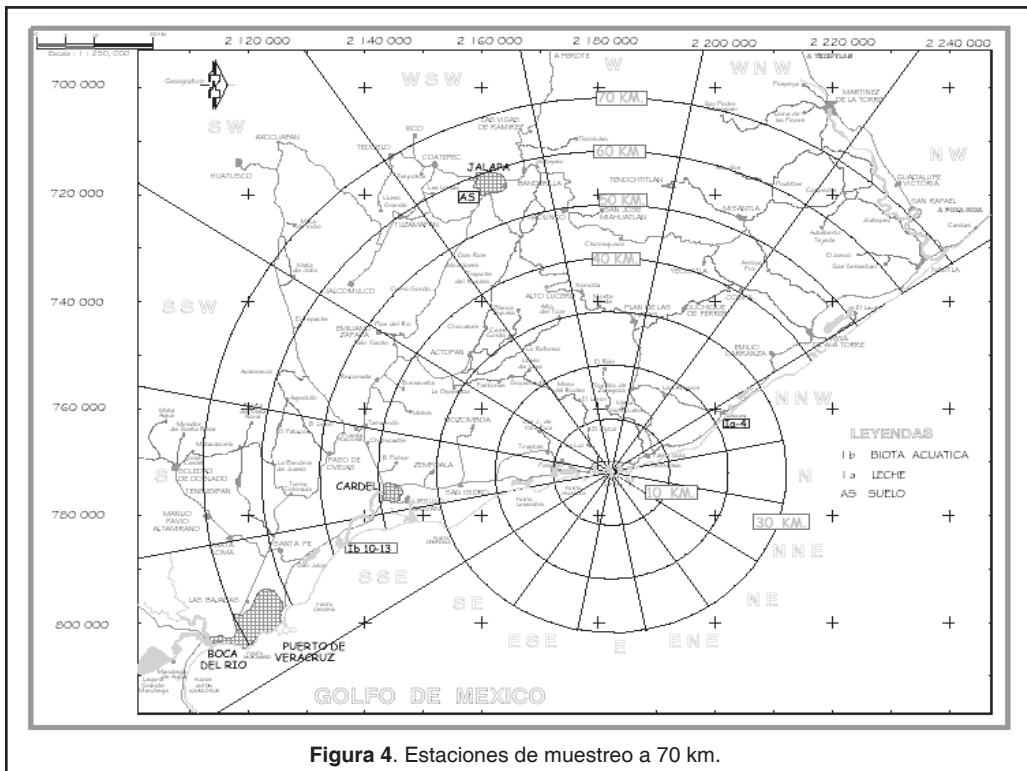


Figura 4. Estaciones de muestreo a 70 km.

mediciones, como se ha mencionado, continúan en la etapa operacional de la planta, y los últimos resultados incluyen hasta el año 2003.

un modelo de difusión térmica (Stolzembach y Harleman, 1972), para descargas superficiales en aguas someras.

Descarga Térmica

Una descarga térmica, para fines de impacto ecológico, es aquella cuyo propósito primario es la disposición del calor originado por procesos de intercambio en el interior de la planta, y cuyos contaminantes provienen de la adición de biocidas o sustancias inhibitoras de la corrosión (Langford, 1990).

Aunque es difícil definir los límites de una descarga, en el presente caso la descarga de la CNLV se inicia con el aumento de la temperatura que se produce en el condensador y termina hasta el punto en que el efluente se mezcla y enfría en el mar, de tal forma que su temperatura por encima de la temperatura ambiente del mar sea menor a 2.5°C, correspondiendo este valor a la variación diaria máxima en esta zona del Golfo de México. Con base en lo anterior, la predicción del tamaño, la dirección y el decaimiento de la pluma térmica se realizó aplicando

Programa de Monitoreo Ecológico

El Programa de Monitoreo Ecológico (PME), pretende establecer los impactos que la operación de los sistemas de enfriamiento pudiera causar en los ecosistemas y organismos del área marina adyacente, mediante la comparación de los datos actuales con los obtenidos en la etapa preoperacional. De esta manera, se han verificado los cambios en la distribución, abundancia y diversidad de las poblaciones y se ha determinado la naturaleza y extensión de dichos cambios.

El PME se ha desarrollado desde 1984 hasta la fecha, teniendo una continuidad de 20 años, 5 antes de la operación de la CNLV y 15 después. El programa incluye factores abióticos como: temperatura, transparencia, salinidad, pH, oxígeno disuelto, nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos, silicatos y ortofosfatos. Estos factores son el marco de referencia para deli-

Tabla 1. Tipo de análisis realizados en diferentes compartimentos ambientales en el área de influencia de la CNLV (1981-2003).

Tipos de Efluente	Análisis	Técnica
Atmosféricos		
Aire	Rapidez de exposición	Cámaras de Ionización Dosímetros Termoluminiscentes
Partículas atmosféricas	Radioiodos, Tritio y β total (Gross Beta)	Proporcionales de flujo Centelleo líquido
Lluvia, precipitación radioactiva (Fallout), Depósitos, polvo, suelos	Radionúclidos naturales y artificiales: series del Torio y Uranio, Cs-137, 134 y Sr-90, 89	Espectrometría Gamma Análisis radioquímicos (Sr-89, Sr-90)
Vegetación y productos agrícolas	Radionúclidos naturales y artificiales	Centelleo líquido Análisis isotópico Gamma Análisis radioquímica Sr-89, Sr-90 y H-3
Productos animales	Radionúclidos naturales y precipitación radioactiva	Espectrometría Gamma, Análisis radioquímicos Centelleo líquido Sr-89, Sr-90, H-3
Líquidos		
Agua de mar	Radionúclidos naturales y artificiales	Espectrometría Gamma Análisis radioquímicos Sr-89, Sr-90, H-3
Organismos marinos	Radionúclidos naturales y artificiales	Espectrometría Gamma Análisis radioquímicos Sr-90
Sedimentos marinos, Arena de playas	Radionúclidos naturales y artificiales Rapidez de exposición	Espectrometría Gamma Análisis radioquímicos Cámara de Ionización
Mantos acuíferos	Tritio y radionúclidos naturales Artificiales Radioiodos	Espectrometría Gamma Análisis radioquímicos (Radioiodos H-3)

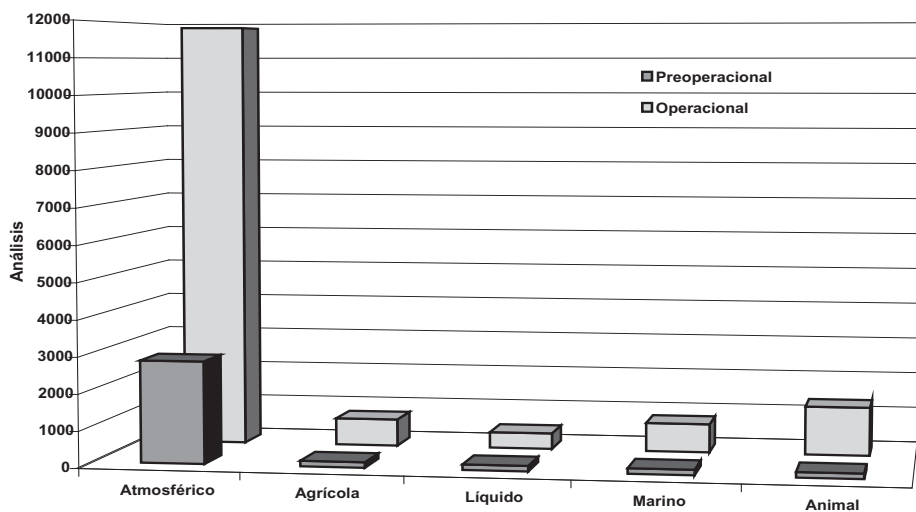


Figura 5. Número de análisis realizados en los periodos preoperacionales (1981-1988) y operacional (1989-2003).

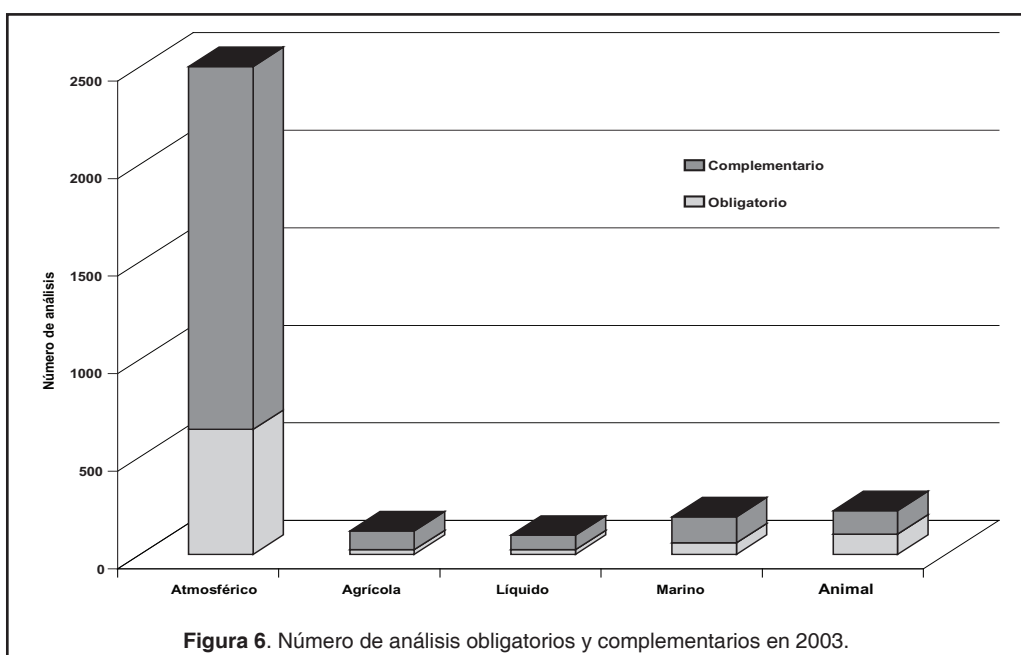


Figura 6. Número de análisis obligatorios y complementarios en 2003.

mitar las variaciones naturales de la producción primaria, clorofila "a", densidad y diversidad de fitoplancton, zooplancton, ictioplancton, bentos

y comunidades de peces comerciales. En la figura 7 se presenta la ubicación de las estaciones de muestreo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Niveles de Radiación

El transporte atmosférico de materiales radioactivos desde una central nuclear hacia el ambiente circundante representa la ruta directa de exposición hacia el hombre. Varios radionúclidos presentes en el ambiente se encuentran distribuidos a nivel mundial, con dos fuentes de origen: natural y artificial, la última, principalmente a partir de pruebas de armamento nuclear (Eisenbud, 1987). Los principales radionúclidos naturales pertenecen a los productos de decaimiento del U^{238} y Th^{232} , junto con otros de origen cosmogénico o que están presentes en rocas como el B^7 o el K^{40} . En cambio, los radionúclidos artificiales producidos en la operación de centrales nucleoelectricas, pueden ser liberados al medio por descargas operacionales, efluentes del reactor, reprocesado de combustible o almacenamiento de desechos radiactivos.

En la figura 8, se anota el promedio anual integrado de la actividad beta total en partículas suspendidas en aire de 1978 al 2003, se ob-

serva que ningún dato rebasó el límite del valor máximo del rango de mediciones del periodo preoperacional ($0,04 - 3,5 \text{ mBq/m}^3$), excepto los registrados entre 1980 y 1981, atribuibles a las pruebas atómicas y a la detonación de armamento nuclear en China. En general, los valores son similares a los preoperacionales, es decir, la actividad beta total en partículas en el aire se ha mantenido con las mismas variaciones observadas en años anteriores. En esta figura también se observan las concentraciones elevadas de la actividad beta total producida en 1986 por el accidente nuclear de la Central de Chernobyl en la Ex Unión Soviética.

La tabla 2, muestra que las mediciones de actividad beta total promedio para la etapa preoperacional y 2003 son similares ($0,50$ y $0,58 \text{ mBq/m}^3$). El Cs^{137} y H^3 en aire son elementos que pueden ser atribuidos tanto a lluvias radiactivas (fallout) originadas por las pruebas de armamento nuclear, como a la operación de la CNLV. Sin embargo, lo que actualmente se mide es el fallout, ya que las concentraciones detectadas se encuentran dentro del rango de valores pre-

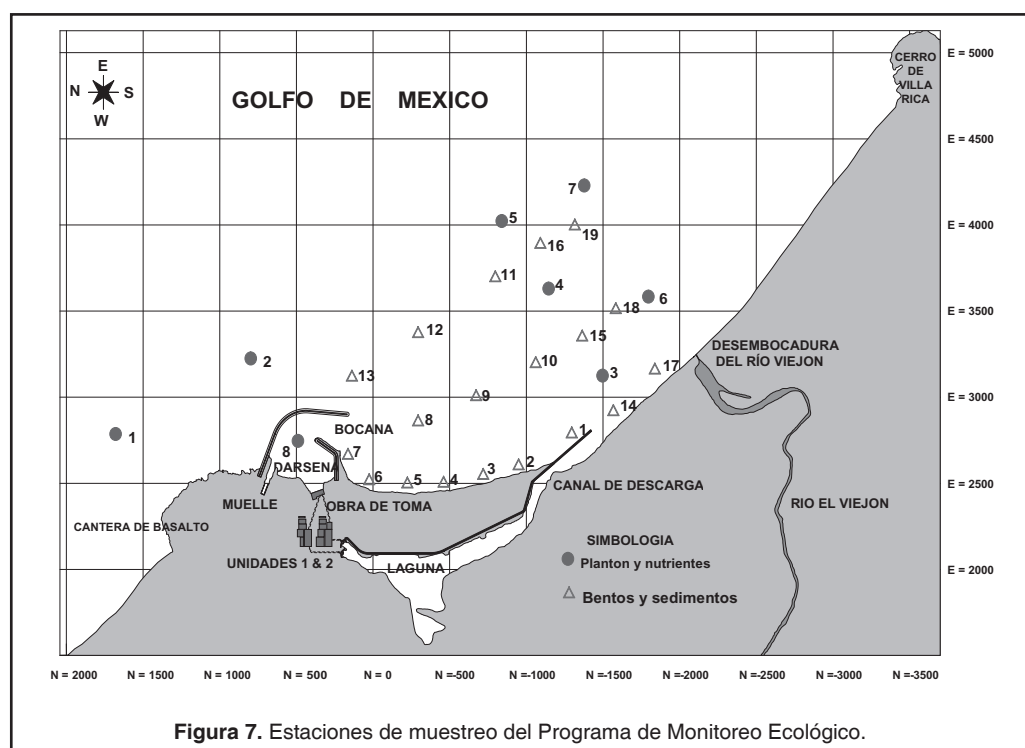


Figura 7. Estaciones de muestreo del Programa de Monitoreo Ecológico.

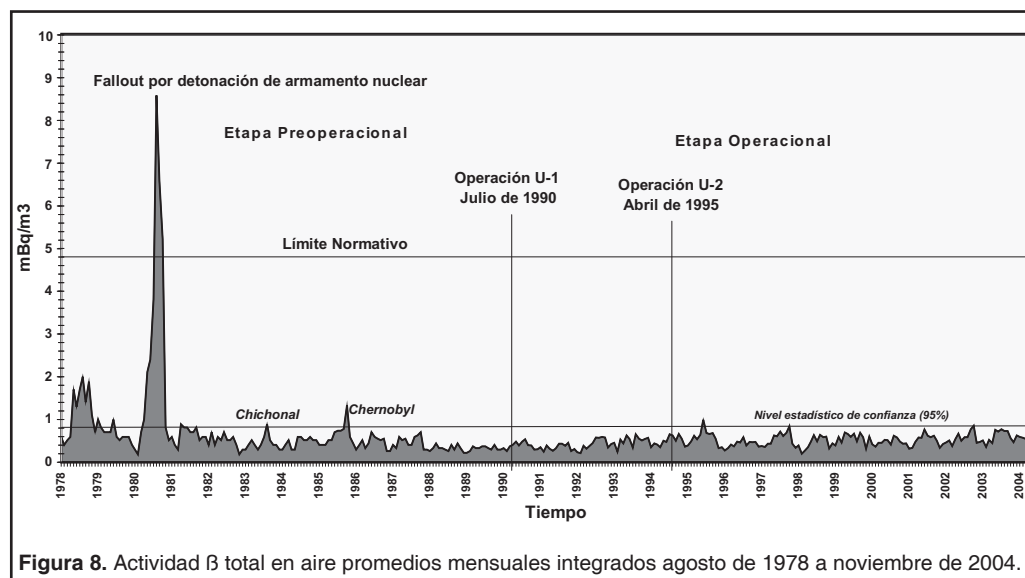


Figura 8. Actividad β total en aire promedios mensuales integrados agosto de 1978 a noviembre de 2004.

operacionales. Además, los valores medidos están muy por debajo de las concentraciones máximas permisibles establecidas por la US Nuclear Regulatory Commission (1992).

La tabla 3, que corresponde a la presencia de radioisótopos en productos de origen animal principalmente carne de res y leche, también presenta valores promedios muy similares

durante los periodos mencionados. La tabla 4 muestra los niveles de radioisótopos de origen natural y artificial en especies acuáticas de importancia comercial y de consumo humano. Los valores promedio de la etapa preoperacional y los de 2003 son similares, pudiéndose afirmar que la operación de la CNLV no ha incrementado la concentración de radioisótopos artificiales en estas especies.

Tabla 2. Comparación de los resultados del período preoperacional y el período operacional de 2003 (Efluentes atmosféricos).

Tipo de Muestra	Tipo de Análisis		Preoperacional		2003	
		LLD	Media	Intervalo	Media	Intervalo
Aire - Irradiación externa						
Exposición Integrada, mR/año	TLD	2	71,2	40 - 155	70,7	52,8 - 136,7
Aire - Inhalación						
Partículas en aire, mBq/m ³	β total	0,02	0,50	0,04 - 3,5	0,58	0,16 - 1,4
Muestras Trimestrales Integradas por Estación						
Partículas en aire, mBq/m ³	Be-7*	0,15	1,81	0,47 - 8,51	2,94	1,67 - 5,0
	K-40*	0,04	<0,53	N / A	0,28	0,16 - 0,40
	Cs-137**	0,02	0,02	0,01 - 0,07	<0,02	N / A
Tritio en aire, Bq/mL	H-3***	0,004	<0,33	N / A	<0,004	N / A
Aire - Depósito						
Suelo, Bq/Kg Base seca	K-40*	16,3	222,9	105,2 - 323,9	260,4	128,2 - 361,9
	Ac-228*	2,9	25,5	3,7 - 67,6	21,6	11,8 - 27,6
	Pb-212*	22,4	25,5	3,7 - 67,6	21,3	10,3 - 27,1
	Bi-212*	14,8	25,5	3,7 - 67,6	21,6	9,2 - 29,3
N/A = No aplicable; * Radionúclido natural; ** Radionúclido de Fallout; ***Radionúclido atribuible a la CNLV LLD = Límite Inferior de Detección (Low Limit Detection) TLD = Dosimetría Termoluminiscente (Thermoluminescent Dosimetry) Fuente: RPPMRA, 1989; RAPMRA, 2003.						

La tabla 5, al igual que las anteriores, indica que la concentración de radionúclidos artificiales en productos agrícolas de alto consumo humano (maíz, frijol y caña de azúcar) no se ha visto incrementada por las actividades de la CNLV en su etapa operacional.

En la figura 9 se observan los niveles de exposición medidos con TLD (Dosimetría Termoluminiscente) en las etapas pre y operacional (1982-2003). Es notable la similitud de la exposición y el patrón de comportamiento en ambas etapas. Es de notarse que los promedios de las estaciones alrededor de la CNLV oscilan en los 600 µGy/año, y el promedio de la estación de referencia Xalapa es de 975 µGy/año. Es decir, una persona que viva en los alrededores de la CNLV recibe una dosis por exposición de 600 µGy/año, más 43 µGy/año que podría recibir por la operación de la CNLV, suman un total de 643 µGy/año. Por otro

lado, una persona por el simple hecho de vivir en Xalapa recibe en promedio una dosis por exposición de 975 µGy/año debida a los rayos cósmicos, ya que esta población se encuentra a 1400 msnm.

En la figura 10, se observan los valores de rapidez de exposición obtenida con el sistema de monitoreo en tiempo real Gamma Tracer (GT) en la estación climatológica de la CNLV, durante 2003, y cuyo promedio de 87,8 nSv/hr está en el intervalo establecido durante la etapa pre-operacional con la técnica de dosimetría termoluminiscente.

Las mediciones anteriores y los resultados obtenidos hasta 2003 indican el funcionamiento correcto de la CNLV. A la fecha, no se ha registrado impacto ambiental radiológico alguno, en los ecosistemas circundantes, ocasionado por la operación de la misma.

Tabla 3. Comparación de los resultados del período preoperacional y el período operacional de 2003 (Productos de origen animal).

Tipo de Muestra	Tipo de Análisis		Preoperacional		2003	
		LLD	Media	Intervalo	Media	Intervalo
Productos de Origen Animal						
Pastos, Bq/Kg (Base Húmeda)	K-40*	9,8	N / E	N / A	224,0	147,6 – 364,2
	Pb-214*	0,5	N / E	N / A	0,6	0,3 – 1,3
	Bi-214*	1,3	N / E	N / A	1,1	0,3 – 5,6
	Ac-228*	1,3	N / E	N / A	0,8	0,5 – 1,2
	Bi-212*	1,7	N / E	N / A	5,9	1,6 – 12,4
	Pb-212*	0,3	N / E	N / A	3,4	0,4 – 10,8
	Tl- 208*	0,7	N / E	N / A	1,2	0,1 – 4,1
	Be-7*	2,6	N / E	N / A	12,2	1,8 – 37,3
	I-131***	0,5	N / E	N / A	<0,5	N / A
Leche, Bq/L	K-40*	5,4	43,7	10,4 – 102,9	48,2	37,5 – 58,8
	I-131***	0,04	<1,1	N / A	<0,04	N / A
	Cs-137**	0,03	0,8	0,2 – 1,9	0,1	0,03 – 0,1
	Sr-90**	0,03	0,03	0,01 – 0,14	<0.03	N / A
Carne de Res, Bq/Kg Base Seca	K-40*	14,7	406,9	289,3 – 640,1	342,6	211,9 – 452,2
	Cs-137**	0,3	2,3	0,3 – 3,2	<0,3	N / A
N/A = No aplicable; N/E = No efectuado * Radionúclido natural; ** Radionúclido de Fallout; ***Radionúclido atribuible a la CNLV LLD = Límite Inferior de Detección (Low Limit Detection) Fuente: RPPMRA, 1989; RAPMRA, 2003.						

Descarga Térmica

En el área de influencia de la CNLV la magnitud más baja registrada de la velocidad de las corrientes marinas fue de 0,1 m/s. Por consiguiente, el modelo de difusión térmica se corrió a esta velocidad y a 0,20 y 0,45 m/s, a fin de obtener las áreas máxima, media y mínima de influencia. En la tabla 6 se muestran las áreas en km² para las isotermas de 2,5°C, definidas como el tamaño de la “pluma térmica”, dando valores de 3,63, 1,52 y 1,03 km² para velocidades de corriente de 0,1, 0,2 y 0,45 m/s. La evaluación del impacto ambiental que ocasionaría la descarga térmica se realizó comparando los valores anteriores con los de plumas térmicas reales.

Durante 2003, la pluma térmica máxima medida se presentó en el mes de enero (Fig. 11) cuya isoterma de 2,5°C registró un área de 3,0 km² la cual representa el 82,6% de lo predicho en la evaluación del impacto térmico utilizado para fines del licenciamiento. El perfil de isotermas muestra que la “capa caliente” fluctuó entre 1,8 y 2,0 m de espesor y alcanzó los 3,5 km de longitud (Fig. 12).

Los límites espaciales de la pluma térmica dependen de factores como el tamaño de la descarga, la hidrografía, las condiciones climatológicas, la localización y las condiciones de operación (Langford, 1990). Para el caso de la CNLV, las condiciones climatológicas, especialmente la velocidad del viento, las corrientes

Tabla 4. Comparación de los resultados del periodo preoperacional y el periodo operacional de 2003 (Biota Acuática-Peces, Base Seca).

Tipo de Muestra	Tipo de Análisis		Preoperacional		2003	
		LLD	Media	Intervalo	Media	Intervalo
Robalo Bq/Kg	K-40*	16,3	366,9	37,4-691,9	397,1	344,5 – 490,3
	Cs-137**	0,4	1,4	0,3-4,1	0,6	0,2 – 1,1
Pámpano Bq/Kg	K-40*	16,3	519,6	97,0 – 647,5	395,6	276,7 – 514,6
	Cs-137**	0,4	0,7	0,1-1,4	0,1	N / A
Cazón Bq/Kg	K-40*	16,3	519,6	399,2 – 691,9	466,9	425,9 – 535,5
	Cs-137**	0,4	1,1	0,2-3,2	0,7	0,5 – 0,8
Huachinango Bq/Kg	K-40*	16,3	513,2	254,4 -1017,5	448,1	381,2 – 515,0
	Cs-137**	0,4	1,3	0,9-3,5	0,4	N / A
Ronco Bq/Kg	K-40*	16,3	460,3	98,1 – 657,5	372,7	335,0 – 412,9
	Cs-137**	0,4	0,9	0,04 - 2,4	0,3	N / A
Cangrejo Bq/Kg	K-40*	14,8	144,7	97,0 – 209,6	215,3	N / A
	Pb-214*	0,6	6,0	3,4 – 11,3	4,9	N / A
	Bi-214*	1,9	15,5	3,4 – 11,3	4,1	N / A
	Ac-228*	4,1	15,5	4,0 – 30,7	8,7	N / A
	Be-7*	1,5	<3,3	N / A	<1,5	N / A
	Pb-212*	1,0	N / D	N / A	1,6	N / A
N/A = No aplicable; N/D = No determinado; N/E = No efectuado * Radionúclido natural; ** Radionúclido de Fallout; ***radionúclido atribuible a la CNLV LLD = límite inferior de detección Fuente: RPPMRA, 1989; RAPMRA, 2003.						

marinas y el oleaje, son las que determinan el comportamiento de la pluma térmica. Debido a estos factores las plumas térmicas reales representan el 82,6 78,9 y 68,0 % del área máxima, media y mínima esperadas.

Programa de Monitoreo Ecológico

En la tabla 7 se resumen los resultados de las características más importantes del PME durante su etapa preoperacional (1982-1988) y en los 15 años de operación de la CNLV.

Características Abióticas

Salinidad: La comparación de los resultados que se anotan en la tabla 7 indica que la di-

ferencia en promedios para las etapas pre y operacional fue de apenas 4 décimas y respecto a 2003 fue de 3 décimas.

Temperatura: Este factor de vital importancia para el desarrollo y distribución de muchos organismos presentó un promedio en la etapa operacional de 25,6 y de 26,1 °C en 2003. El resultado del análisis de varianza indicó que entre las estaciones no existieron diferencias significativas, a pesar de ser el parámetro que más influencia recibe de la descarga de la CNLV. En la Tabla 7 se muestra la diferencia entre los promedios de las etapas pre y operacional que fue de sólo 1 décima, indicando que la pluma térmica no tiene influencia directa más allá de los 500 m del punto de descarga.

Tabla 5. Comparación de los resultados del periodo preoperacional y el período operacional de 2003 (Suelo y productos agrícolas).

Tipo de Muestra	Tipo de Análisis		Preoperacional		2003	
		LLD	Media	Intervalo	Media	Intervalo
Suelo	K-40*	16,3	222,9	105,2 - 329,9	260,4	128,2 – 362,0
	Pb-214*	0,7	22,4	9,9 - 52,9	21,4	11,2 – 27,1
	Bi-214*	2,1	22,4	9,9 - 52,9	19,1	10,4 – 25,2
	Be-7*	4,7	<4,7	N / A	<4,7	N / A
	Cs-137**	0,6	7,0	0,2 - 18,5	3,6	0,2 – 9,1
	Sr-90**	0,2	2,0	0,1 – 6,5	2,9	N / A
Productos Agrícolas						
Maíz Bq/Kg	K-40*	5,9	127,2	78,8 - 318,2	128,7	123,6 – 132,3
	Sr-90**	0,03	0,03	0,01 - 0,07	<0,03	N / A
Frijol Bq/Kg	K-40*	5,9	483,0	260,1 – 891,7	525,5	514,5 – 536,5
	Sr-90**	0,06	0,11	0,02 – 0,47	<0,05	N / A
Caña de azúcar Bq/Kg	K-40*	14,7	386,5	188,8 - 884,3	167,2	159,8 – 174,7
	Be-7*	2,2	<2,2	N / A	6,3	N / A
	Cs-137**	0,7	N / D	N / A	<0,22	N / A
	H-3***	3,9	N / E	N / A	<3,9	N / A
	Sr-90**	0,3	N / E	N / A	<0,3	N / A
Jitomate Bq/Kg	K-40*	10,4	1569,1	1026,2-1142,3	1304,2	1242,8 – 1365,7
	Sr-90**	0,11	0,12	0,11 – 0,24	<0,11	N / A
N/A = No aplicable; N/D = No determinado; N/E = No efectuado * Radionúclido natural; ** Radionúclido de Fallout; ***radionúclido atribuible a la CNLV LLD = limite inferior de detección Fuente: RPPMRA, 1989; RAPMRA, 2003..						

pH: El pH presentó un promedio de 8,3 durante 2003; en la etapa operacional 8,2 y de 8,3 en el periodo preoperacional. Esto indica que se ha mantenido muy estable, sin haber presentado alteraciones drásticas debidas al funcionamiento de la CNLV.

Oxígeno: El análisis de varianza puso de manifiesto la estabilidad del mismo, ya que no hubo diferencias significativas entre las estaciones. En 2003, el valor promedio fue de 6,5 mg/l, en la etapa preoperacional de 6,5 mg/l y en la etapa operacional de 6,2 mg/l (Tabla 7). La mayoría de los datos estuvo cercana a la saturación y en algunos casos alcanzó niveles de sobresaturación. Debe notarse que

los promedios son mayores de 5,7 mg/l establecido para zonas de alta fotosíntesis por Raymont en 1980.

Nutrientes (nitratos, nitritos, amonio, sílice y ortofosfatos): De manera general, los valores promedio de estos parámetros son muy similares en las etapas pre y operacional y en 2003 (Tabla 7) y al comportamiento casi igual en las etapas mencionadas (Figs. 13, 14, 15 y 16). Esto fue confirmado al no presentarse diferencias significativas en el análisis de varianza, que pudieran indicar cambios drásticos en el área de estudio y que se pudieran atribuir a las descargas de la CNLV.

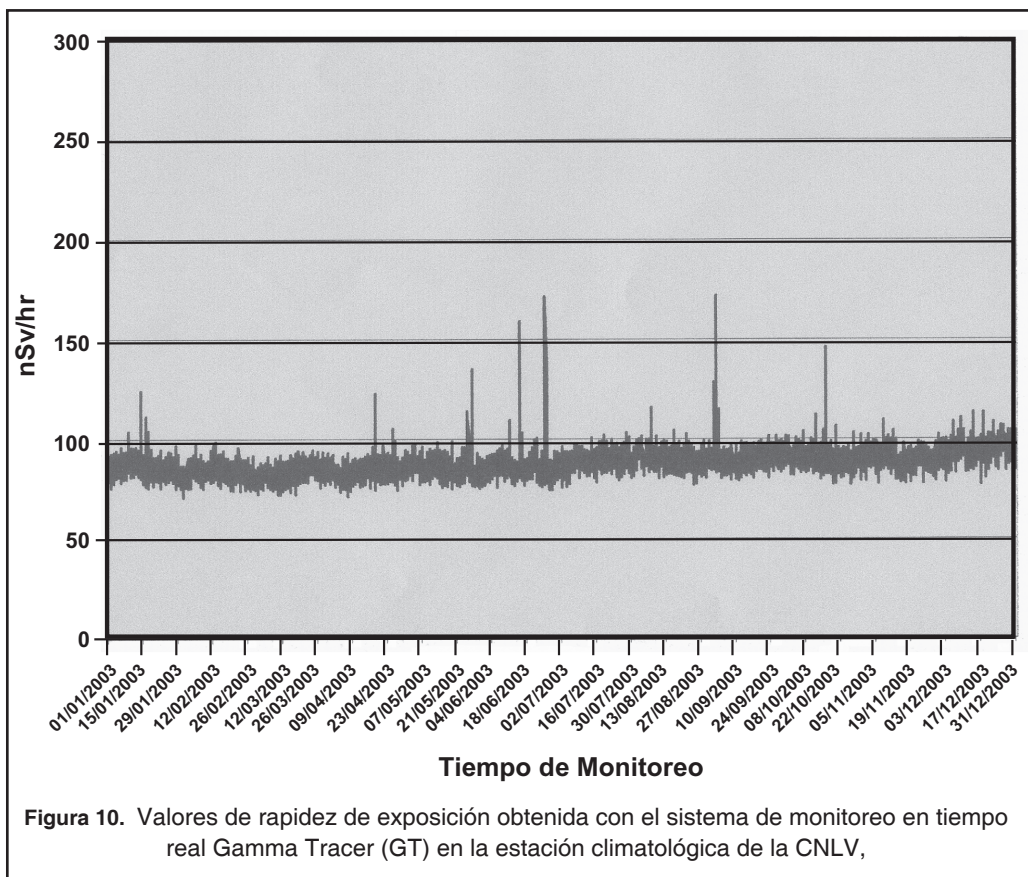
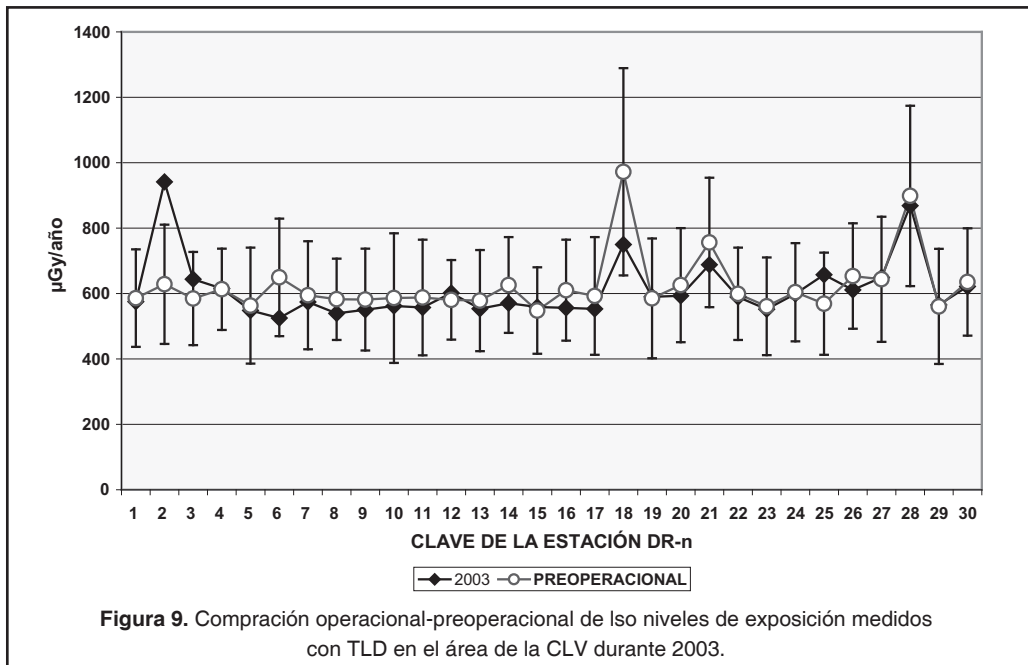


Tabla 6. Comparación del modelo de difusión térmica de Stolzenbach-Harleman con mediciones reales del 2003.

Variable	Modelo de Fusión Térmica			Plumas Térmicas Reales		
	Max	Med	Min	Max	Med	Min
Área de la Pluma Térmica km²						
Isoterma + 0.5 °C	6,80	4,02	2,64	7,3	4,0	1,9
Isoterma + 1.5 °C	4,96	2,32	1,74	5,7	2,0	1,2
Isoterma + 2.5 °C	3,63	1,52	1,03	3,0	1,2	0,7
Porcentaje de Área *	100	100	100	82,6	78,9	68,0
Propiedades Físicas						
Velocidad del Viento Km/h	N/A	N/A	N/A	2,6	11,9	17
Dirección del Viento	N/A	N/A	N/A	N	N	S
Corrientes Marinas m/s	0,10	0,20	0,45	0,11	0,09	0,11
Dirección Corrientes	S-N	S-N	S-N	NE	SE	NW
Espesor Capa Caliente m	1,93	1,93	1,93	1,8	2,0	1,5
Condiciones de Operación de las Dos Unidades de la CNLV						
Volumen Descarga m ³ /s	60	60	60	64,0	64,0	64,0
Potencia Térmica %	U-1	100	100	100	100	100
	U-2	100	100	100	100	100
N/A = No aplicable, el modelo usa temperatura del agua calculada a partir de datos meteorológicos. * = porcentaje de la isoterma + 2.5 °C considerando los respectivos tamaños máximo, medio y mínimo, modelados y reales						

Características Bióticas

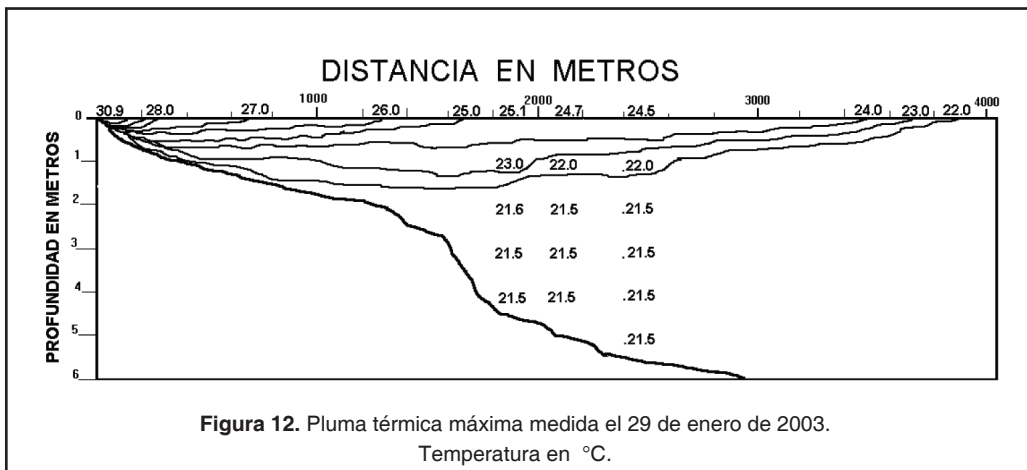
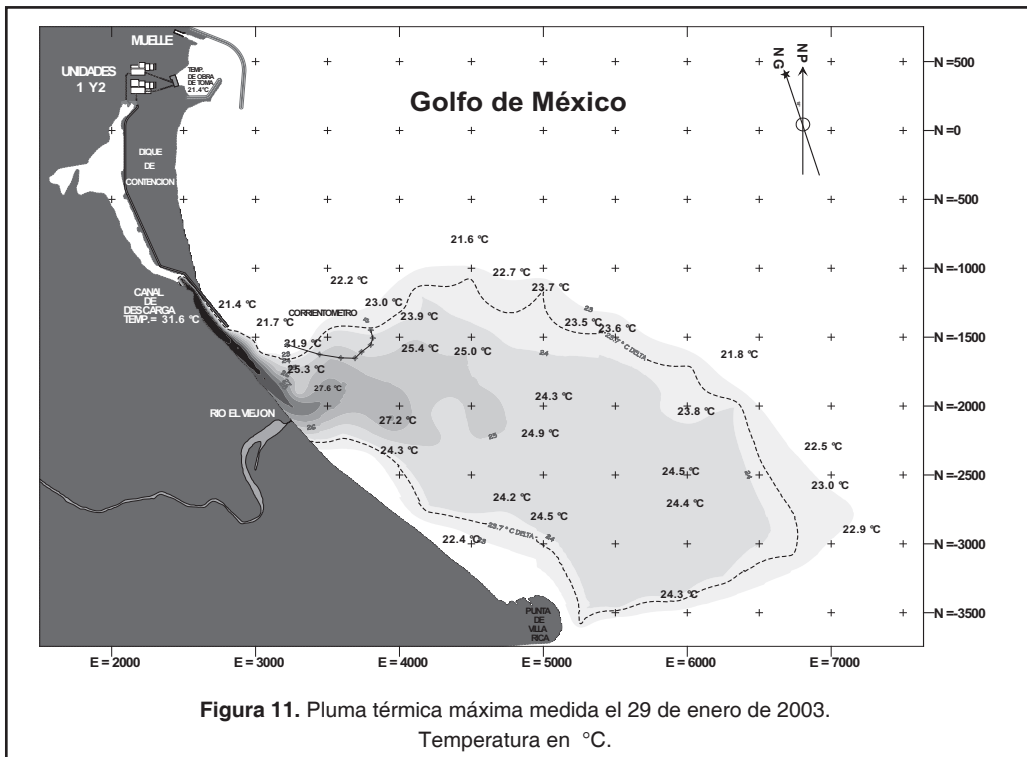
Fitoplancton: El análisis estadístico de la densidad del fitoplancton mostró dos grupos de estaciones, cercanas y lejanas de la costa, con promedios de 269 y 70 células/ml en la etapa operacional. Signoret *et al.* (1977), señalan que las variaciones en la densidad del fitoplancton son fenómenos naturales que se deben en gran medida a la influencia que tienen las condiciones meteorológicas sobre la zona costera, principalmente la remoción de los sedimentos por la acción de los vientos. De igual manera, los valores promedio obtenidos para determinar la diversidad del fitoplancton fueron muy similares en la etapa preoperacional y en 2003 (Tabla 7).

Zooplancton: el análisis de varianza mostró que no hubo diferencias significativas entre estaciones. En cuanto a la densidad, el valor medio fue de 2,451 ind/m³ en 2003, de 2,565

ind/m³ en la etapa operacional y de 3,157 ind/m³ en la etapa preoperacional. En cuanto a la diversidad, el valor promedio fue similar en 2003 que en las etapas anteriores (Tabla 7) y los análisis de similitud mostraron altos porcentajes a través del tiempo, lo que indica que la comunidad zooplanctónica es estable.

Por todo lo anterior, puede afirmarse que el impacto ambiental de la descarga de la CNLV sobre el ecosistema marino adyacente, es mínimo y se restringe a un área menor de 500 m de radio del punto de la descarga.

Pesquerías: Siendo el necton el último eslabón de la cadena trófica en el ecosistema costero, puede verse afectado de manera directa por la descarga del agua de enfriamiento de la CNLV, ya sea por la pérdida de hábitats, disponibilidad de alimento o que pudiera ser atrapado en las mallas de la obra de toma. Por lo tanto, se hizo necesaria una eva-



luación del comportamiento de las pesquerías en el área de la CNLV, mediante el estudio de la producción pesquera en Villa Rica, Veracruz, comunidad de pescadores más cercana a la central. Los datos de la etapa preoperacional abarcan 9 años (1980-1988) y las capturas totales oscilaron entre 40 y 72 toneladas anuales con un promedio de 56,7 toneladas/año (Fig. 17).

Las cinco especies más abundantes dentro de este periodo fueron, en orden decrecien-

te, sierra, cazón, peto, huachinango, y robalo. Para 2003, la captura total anual fue de 49,0 toneladas, siendo la décima más abundante de la etapa operacional (1989-2003) pero muy cercana al promedio de 56,7 toneladas de la etapa preoperacional.

A diferencia de esta etapa, en 2003 las especies con mayores volúmenes de captura fueron tiburón, cazón, robalo, sierra, peto y huachinango. Por lo tanto, las actividades pesqueras en la Villa Rica no han sido afecta-

Tabla 7. Comparación de resultados del PME de 2003, etapa operacional y preoperacional.

Variable	Anual 2003		Operacional		Preoperacional	
	Promedio	No datos	Promedio	No datos	Promedio	No datos
Características Abióticas						
Salinidad ‰	35,7	48	35,8	2639	35,4	966
Temperatura °C	26,1	48	25,6	1755	25,7	803
Transparencia m	4,8	10	4,0	531	4,2	243
pH	8,3	16	8,2	1316	8,3	494
Oxígeno mg/l	6,5	48	6,2	2516	6,5	947
Clorofila "a" µg/l	0,7	16	0,6	856	1,4	345
Nitritos µg/at/l	0,04	32	0,07	1635	0,12	846
Nitratos µg/at/l	0,5	31	0,7	1612	1,9	846
Amonio µg/at/l	1,5	32	1,4	1639	1,9	814
Silicatos µg/at/l	10,1	30	7,7	963	7,8	407
Ortofosfatos µg/at/	0,3	32	0,2	1669	0,4	814
Características Bióticas						
Fitoplancton						
Densidad No. Cel/ml	372	6	248	305	254	137
Géneros/muestreo	32	10	16	510	20	230
Diversidad H' bits/ind	4,2	10	2,7	510	2,87	230
Equidad J' bits/ind	0,8	10	0,7	510	0,7	230
Zooplancton						
Densidad ind/m³	2451	16	2565	863	3157	407
Biomasa g/m³	0,05	16	0,27	863	0,74	367
Diversidad H' bits/ind	1,3	16	1,5	863	1,3	407
Equidad J' bits/ind	0,3	16	0,3	863	0,3	407
Ictioplancton						
Larvas ind/100 m³	N /E	N /E	35	176	28	112
Huevos ind/m³	N /E	N /E	231	176	569	112
N /E = No Efectuado Fuente: EIA, 1993.						

das por la descarga de la CNLV y se ha mantenido el volumen y el patrón de capturas du-

rante casi 22 años, sin mostrar tendencias de modificación de su estructura.

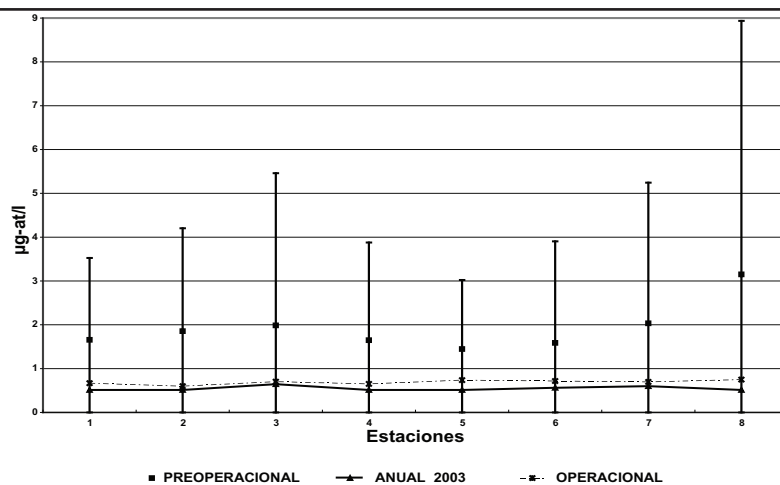


Figura 13. Concentración de nitratos.

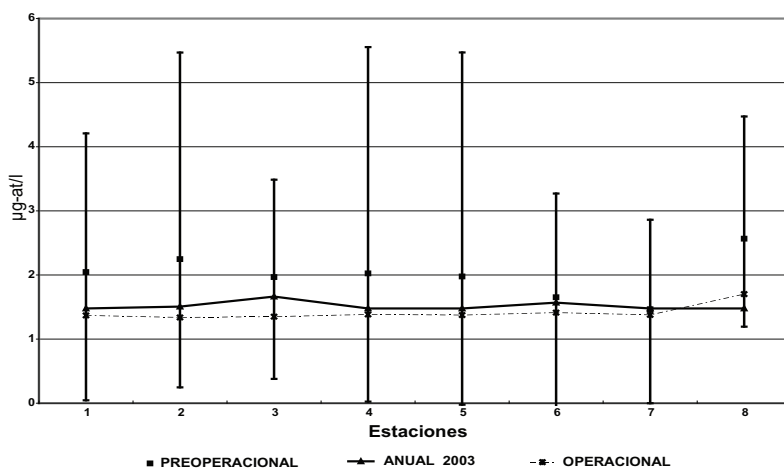


Figura 14. Concentración de amonio.

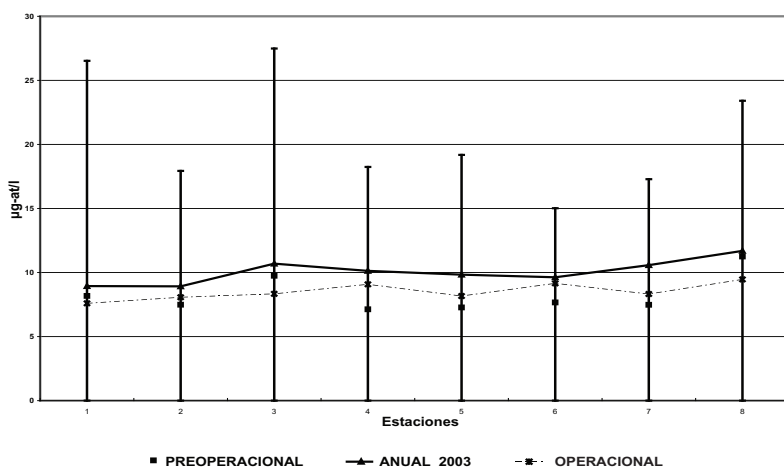
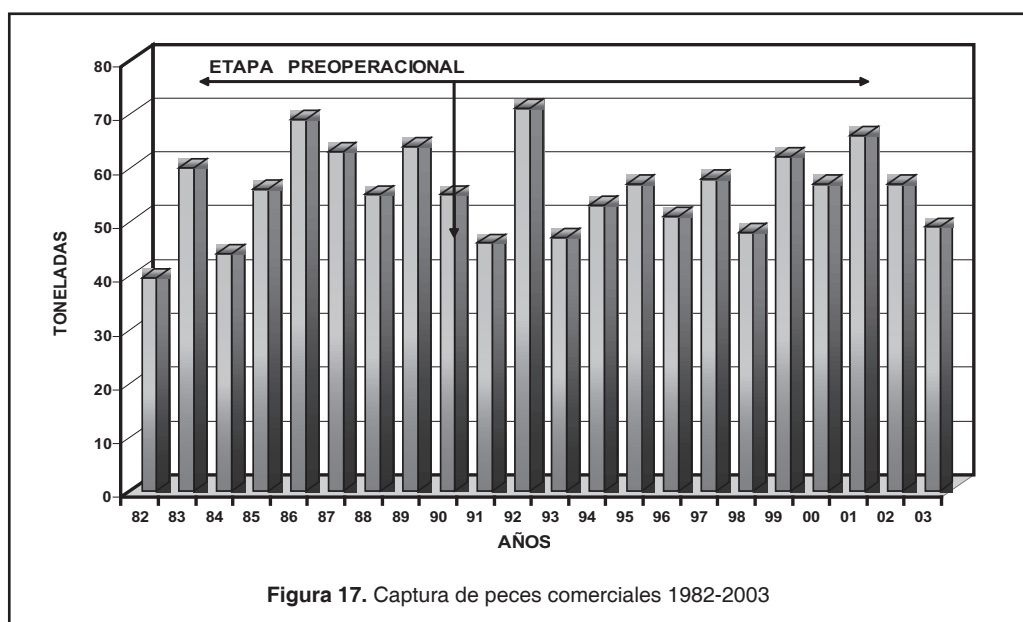
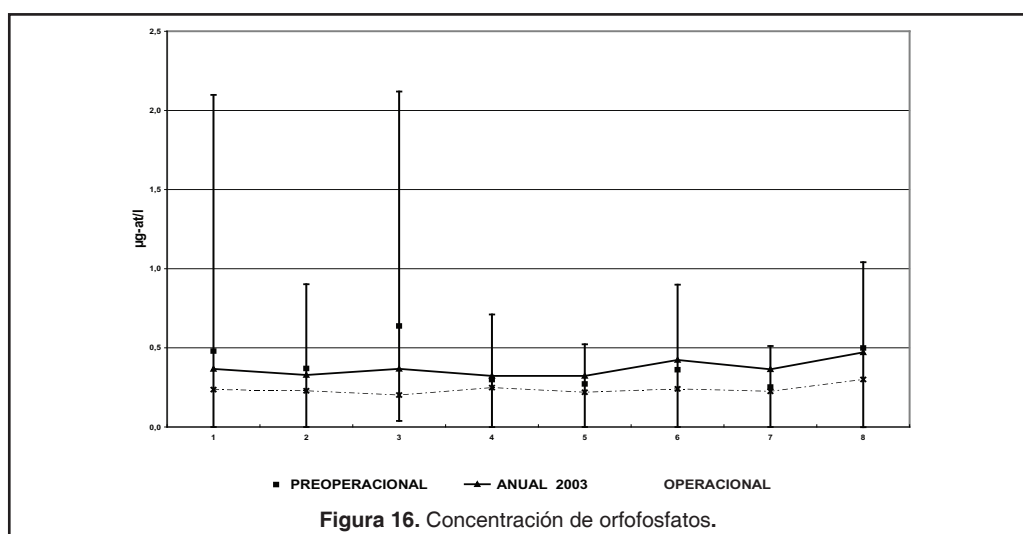


Figura 15. Concentración de sílice.



CONCLUSIONES

Después de 15 años de operación de la CNLV, 1988-2003, los análisis realizados para evaluar los impactos ambientales (Radiológicos y Ecológicos) producidos por la CNLV mostraron lo siguiente:

- La actividad beta total detectada durante 2003 tiene el mismo comportamiento que en años anteriores y sus variaciones están comprendidas dentro de las que se han observado de 1981 a la fecha.
- En las muestras pertenecientes al monitoreo de rutas de exposición al hombre, no se detectaron radionúclidos que contribuyeran a incrementar la dosis de radiación.
- Los únicos radionúclidos artificiales que se han detectado son Cs^{137} y Sr^{90} . Sin embargo, no son atribuibles a la operación de la CNVL, por dos razones: su origen es la detonación de armamentos nucleares y han llegado al área por lluvias radioacti-

vas, y segundo, las concentraciones medidas están dentro de los límites establecidos en la etapa preoperacional.

- El área de la pluma térmica (+ 2.5°C) abarcó de 3,0 km² a 0,7 km² equivalentes al 82,6 y 68,0% de las áreas establecidas en la evaluación del impacto ambiental y que sirvieron para el licenciamiento. El espesor de la “capa caliente” no rebasó los 2,0 m. Los factores ambientales con mayor influencia son el viento y las corrientes marinas.
- Las características bióticas, que pudieron haber sido afectadas por la descarga del agua de enfriamiento, no mostraron dife-

rencias significativas entre las etapas pre y operacional, al igual que los promedios de densidad de organismos e índices de diversidad.

- La producción pesquera de 2003, en Villa Rica Ver. poblado más próximo a la CNLV, fue similar al registrado en la etapa preoperacional, manteniendo su misma estructura de captura.
- Por lo tanto, el impacto ambiental de la descarga del agua de enfriamiento de la CNLV es mínimo, estadísticamente no detectable y se restringe a una área menor de 500 m de radio alrededor de la descarga.

CONSIDERACIONES: DISPOSICIÓN DE LOS DESECHOS RADIACTIVOS

La operación de la CNLV produce residuos radioactivos sólidos, líquidos y gaseosos de bajo, medio y alto nivel. Los residuos sólidos son aquellos materiales que han tenido contacto con sustancias radiactivas durante los trabajos normales de operación y mantenimiento, y son generalmente de bajo y medio nivel, como equipo de trabajo (ropa, guantes, zapatos, herramientas); y de alto nivel, como los ensambles de combustible gastado, extraídos del reactor, al término de su vida útil. Los residuos líquidos y gaseosos son generalmente, de baja y mediana intensidad. Entre los líquidos se tienen a los drenes del equipo y del piso, los desechos químicos y las aguas mezcladas con detergentes. Los residuos gaseosos son generados a partir de gases no condensables que acompañan al vapor y que se separan de él en el condensador.

El tratamiento que de ellos se hace en la CNLV, a grandes rasgos, es el siguiente: los residuos líquidos son colectados en los drenajes específicamente diseñados para ello, y sometidos a un proceso de filtrado mediante resinas de intercambio iónico. Posteriormente, se descargan al exterior previa verificación de que su nivel radiactivo no alterará los niveles naturales del ambiente.

Los residuos gaseosos son extraídos del condensador y transportados a un equipo de tratamiento, donde permanecen el tiempo neces-

rio para que decaiga su actividad a un nivel tal que puedan ser desalojados a la atmósfera.

Los residuos sólidos de bajo nivel se mezclan con asfalto, se colocan en tambores especiales de acero y se envían al almacén de desechos durante el tiempo necesario para garantizar que su actividad ha bajado a los niveles naturales. Los de nivel mediano se envasan en contenedores de alta integridad y se envían al mismo sitio.

El problema más complejo de las centrales nucleares se presenta con los ensambles de combustible irradiado que son extraídos del reactor. La CNLV, al igual que muchos reactores, cuenta con albercas localizadas al lado del reactor, con capacidad para almacenar el combustible gastado durante los 40 años de operación. El almacenamiento es temporal en espera de que disminuya la actividad de los radioisótopos, de vida corta y media, contenidos en las pastillas del combustible. Bastan alrededor de 18 meses para que la radiactividad de los ensambles disminuya en más de 97%.

La solución definitiva implica una variedad de opciones: Introducir los ensambles en contenedores de diseño específico, incorporarlos dentro de sólidos como vidrio o cerámica para darles una configuración insoluble y estable y evitar su diseminación; enviarlos a una planta de reprocesamiento para recuperar uranio y plutonio y

aprovecharlos en la fabricación de nuevo combustible y además, se recuperarían otros radioisótopos útiles en la medicina, la agricultura y la industria, pero en última instancia, de una u otra forma, deberán enviarse a un depósito final de desechos radiactivos.

En la actualidad el almacenamiento es técnicamente posible, como lo demuestran los depósitos de Olkiluoto, Finlandia; Yucca Mountain, EU y Oskarshamn, Suecia; que están siendo desarrollados bajo la filosofía de las barreras múltiples, que se define de esta forma: Una seguridad sólida se conforma con el almacenamiento geológico profundo, reforzado con barreras naturales y de ingeniería (Thegerström, 2004). Cualquiera que sea la alternativa elegida por la CNLV para salvaguardar los residuos radioactivos (dentro de 25 años), en ningún caso se tomará una decisión que constituya un riesgo para la población o para la preservación del ambiente.

Es indudable que la utilización de la energía nuclear para producir electricidad ha causado grandes polémicas en muchas personas las cuales pueden estar influidas por falta de información. En la Conferencia Mundial sobre Medio Ambiente realizada en Río de Janeiro Brasil (junio de 1992), se puso de manifiesto que el aumento en el consumo de carbón y combustibles fósiles en la industria energética, conducirá a impactos ambientales negativos a escala mundial, principalmente al aumento de las lluvias ácidas y los efectos de invernadero.

Desde este punto de vista, cabe resaltar que el ciclo completo de la energía nuclear, desde la minería del uranio hasta la disposición de los desechos, incluyendo la construcción y operación de los reactores, emite de 2 a 6 gramos de carbono por kilowatt/hora, mientras que el carbón, el petróleo y el gas natural emiten dos órdenes de magnitud arriba. De esta forma, si todas las plantas nucleares del mundo, que producen el 17% del total de energía eléctrica, fueran reemplazadas por plantas convencionales se emitirían a la atmósfera 600 millones de toneladas de carbono al año, que es el doble de la cantidad estimada que se evitaría por el Protocolo de Kyoto en el año 2010 (ElBaradei, 2004).

En conclusión, las centrales nucleoelectricas se han caracterizado por un alto nivel de seguridad y la gran importancia que otorgan a la preservación del ambiente. Ambas preocupaciones mantienen a la industria nuclear a la vanguardia de las existentes, cuando el problema por resolver sea el de producir grandes cantidades de energía eléctrica, con amplios márgenes de seguridad.

Con base en los resultados de los programas de monitoreo ambiental, anteriormente mostrados, y de acuerdo a las consideraciones anteriores, la operación durante 15 años de la Central Nucleoelectrica Laguna Verde adquiere una especial relevancia en el desarrollo del país, convirtiéndola en una fuente alterna de energía limpia.

LITERATURA CITADA

CNSNS, 1994. Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias. Especificaciones técnicas de operación "Central Laguna Verde U-1, U-2". México, D.F.

Eisenbud, M., 1987. Environmental Radioactivity, London, U.K. Academic Press.

ElBaradei, M., 2004. Nuclear power an evolving scenario. IAEA Bulletin, Vol 41, N° 1. Vienna, Austria.

EIA, 1993. Evaluación del impacto ambiental. Central Laguna Verde. Comisión Federal de Electricidad, Laguna Verde, México.

García, E., 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (adaptación a condiciones de la República Mexicana). UNAM, México, D. F.

IAEA, 1986. International Atomic Energy Agency. Principle for limiting releases of radioactivity effluents into the environment. Saf. Ser. 77 Vienna.

Jaquish, R. E., y R. W. Bryce, 1989. Environmental report for calendar year 1998. Hanford site PNL 6825-UC-41. Richland, WA.

Langford, T. E. 1990. Ecological Effects of Thermal Discharges. Elsevier Applied Sciences Publishers Ltd.

LANL, 1987. Los Álamos National Laboratory. Environmental Surveillance at Los Álamos during 1986. LA-10992-ENV. Los Álamos. NM

Raymont, J. L., 1980. Plankton and Productivity in the Oceans. Vol. 1 Phytoplankton. 2nd. Ed. Pergamon Press, Oxford.

RPPMRA, 1989. Reporte Preoperacional del Programa de Monitoreo Radiológico Ambiental Central Laguna Verde, Comisión Federal de Electricidad, Laguna Verde, México.

RAPMRA, 2003. Reporte Anual del Programa de Monitoreo Radiológico Ambiental Central Laguna Verde, Comisión Federal de Electricidad, Laguna Verde, México.

Signoret, et al., 1977. Fitoplancton. Informe final de las investigaciones sobre plancton y ciertos parámetros físico-químicos del ambiente marino de la región de Laguna Verde, Ver. Centro de Ciencias del Mar y Limnología.

Stolzembach, K.D., y D.R. Harleman, 1972. Physical modeling of heated discharges, Chapter 10. *In: Engineering Aspects of Heat Disposal from Power Generation.* Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, MA. USA.

Thegerström, C., 2004. Sweden plans for nuclear waste. IAEA Bulletin, Vol 41, N° 1. Vienna, Austria.

USNRC, 1992. US Nuclear Regulatory Commission. Title 10. Energy. Parts 0 to 50, app. 8. Washington, DC

Diagnóstico del Impacto y Lineamientos Básicos para los Programas de Mitigación y Manejo de Humedales

36

Claudia M. Agraz-Hernández ¹ y Francisco J. Flores-Verdugo ²

¹Centro EPOMEX, Universidad Autónoma de Campeche

² Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

RESUMEN

En el presente trabajo, se describen la importancia ecológica y económica que representan los humedales para los sistemas costeros tropicales; haciendo énfasis en sus servicios, usos y funciones de éstos ambientes. Se describe su relación directa con la productividad y la captura de peces y crustáceos de importancia comercial, así como el valor económico en beneficios directos e indirectos que se obtienen de ellos, principalmente de los bosques de manglar. Los impactos de las diversas actividades humanas (industriales, agrícolas y turísticas) señalan un constante deterioro y pérdida por deforestación de importantes áreas de manglar en los estados de Veracruz, Tabasco y Campeche en el Golfo de México y otros estados en el litoral del Pacífico Mexicano. Finalmente se describen ampliamente la importancia de los diagnósticos ambientales en éstos ambientes, los planes de restauración, tipos de reforestación, la factibilidad y los costos de restauración, así como las consideraciones fundamentales para su conservación y manejo, y las principales normas oficiales mexicanas que regulan y protegen a los humedales costeros.

ABSTRACT

The ecological and economic importance of the wetlands are described with emphasis in its services, uses and functions of them for the tropical coastal ecosystems. The direct relationships with productivity and the capture of fishes and crustaceans, as well as the economic values in direct and indirect benefits from them, (mainly mangrove forest) are widely described. The impacts of human activities (industrial, agriculture and tourism) pointed out the constant loss of important mangrove areas in Veracruz, Campeche and Tabasco states in the Gulf of Mexico and other places in the Mexican Pacific. Finally, the importance of the environmental diagnosis for these systems, the plans and types of restoration and reforestation including costs and factibility are also described including the basic considerations for its preservation as well as the Official Mexican regulations for their protection.

INTRODUCCIÓN

Los humedales costeros comprenden diversos ambientes tanto naturales como artificiales que se caracterizan por estar permanentemente o temporalmente inundados por agua dulce, estuarina (salobre) o salina e incluyen las regiones marinas que no excedan los 6 metros de profundidad con respecto al nivel medio del mar (Convenio RAMSAR, 1970). Bajo esta definición quedan comprendidos los ecosistemas que son considerados como los más productivos de la biosfera; manglares, ecosistemas lagunares-estuarinos, praderas de pastos marinos, macroalgas y arrecifes de coral. Estos ecosistemas presentan una flora y fauna exclusiva, registrando una gran variedad de especies de crustáceos, moluscos, peces, insectos, aves, reptiles y mamíferos. A nivel mundial los manglares comprenden en 75% de las zonas de mareas en los bosques tropicales y subtropicales (16 millones de hectáreas. Flores-Verdugo *et al.*, 2003). Los manglares son halófitas facultativas que pueden crecer a dife-

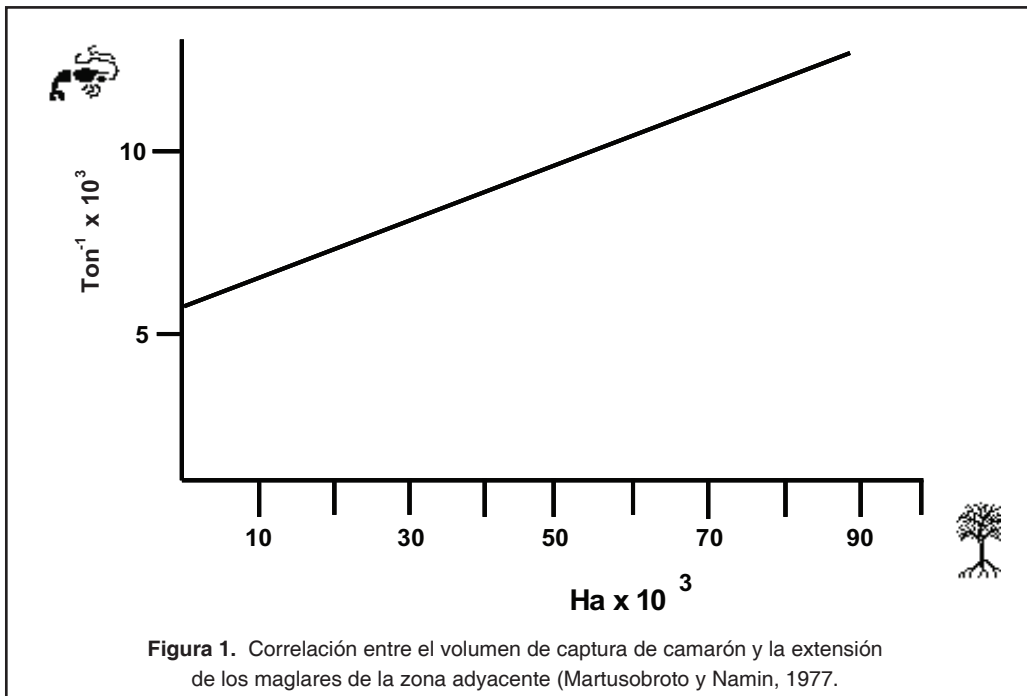
rentes salinidades desde dulceacuícola hasta hipersalinas. Las unidades taxonómicas de estos ecosistemas se componen por 56 especies en 12 familias (11 especies en el nuevo mundo y 45 especies en el viejo mundo). En México se tienen registradas 5 especies (*Rhizophora mangle*, *Rhizophora harrisonii*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*). Este tipo de bosques han desarrollado ciertas adaptaciones fisiológicas, que le permiten sobrevivir bajo una zona de transición (continente-mar), tales como: mecanismo de fijación al suelo, respiración por raíces y raíces aéreas, viviparidad y criptoviviparidad, especialización al medio de dispersión y desarrollo de estructuras xerofíticas en relación a la salinidad del suelo (exclusión, excreción o acumulación). Las praderas de pastos marinos son ecosistemas de elevada complejidad que interactúan funcionalmente con los ecosistemas adyacentes como manglares y corales.

SERVICIOS, USOS Y FUNCIONES DE LOS AMBIENTES CRÍTICOS

Los beneficios de los manglares, pastos marinos, arrecifes coralinos, macroalgas y ecosistemas lagunares-estuarinos comprenden una gran variedad de bienes, servicios, usos y funciones de valor para la sociedad, la flora y fauna silvestre. Así como, en el mantenimiento de sistemas y procesos naturales. Los principales beneficios se pueden agrupar principalmente en: Un sistema natural que funciona en el control de inundaciones, barreras de huracanes e intrusión salina; control de erosión y protección de costas, mejoran la calidad del agua al actuar como filtro biológico removiendo nutrientes y toxinas, como refugio de flora y fauna silvestre incluyendo especies en peligro de extinción, endémicas y migratorias; como hábitat de apoyo a pesquerías al ser zonas de alimentación, refugio y crecimiento de juveniles de crustáceos y alevines, vías de comunicación, banco de genes, de valor estético y recreativo, de significado cultural y educativo, prevención de la formación de suelos ácidos, microclimas, contribuyen a mantener sistemas y procesos naturales como respuesta a cambios en el nivel del mar, como trampa de

carbono, manteniendo los procesos de acreción, sedimentación y formación de turbas. Específicamente los bosques de manglar a su vez funcionan como un excelente evapotranspirador, supliendo significativamente la humedad atmosférica, convirtiendo esta humedad en una fuente de enfriamiento natural para las comunidades aledañas.

Los manglares y pastos marinos a través de su hojarasca contribuyen con cantidades importantes de materia orgánica a la cadena trófica del detritus. Diversos autores, mencionan que existe una correlación positiva entre la extensión de la zona de mareas y el volumen de captura de peces y camarones en las aguas adyacentes como se ha observado en Malasia, Filipinas, India, Luisiana y Japón (Martusobroto y Namin, 1977; Turner, 1991). Asimismo, diversas especies de crustáceos y peces dependen de los manglares y praderas de pastos marinos durante sus estadíos juveniles (Fig. 1). Por tal motivo, es razonable inferir que existe una correlación inversa entre la captura pesquera con la destrucción de los bosques de mangle, ma-



nejándose que por cada hectárea de manglar se pierden en captura aproximadamente 774 Kg. de peces y crustáceos de importancia comercial (Fig. 2), adicionalmente el manglar es utilizado como alimento de forraje para el ganado en el Medio Oriente.

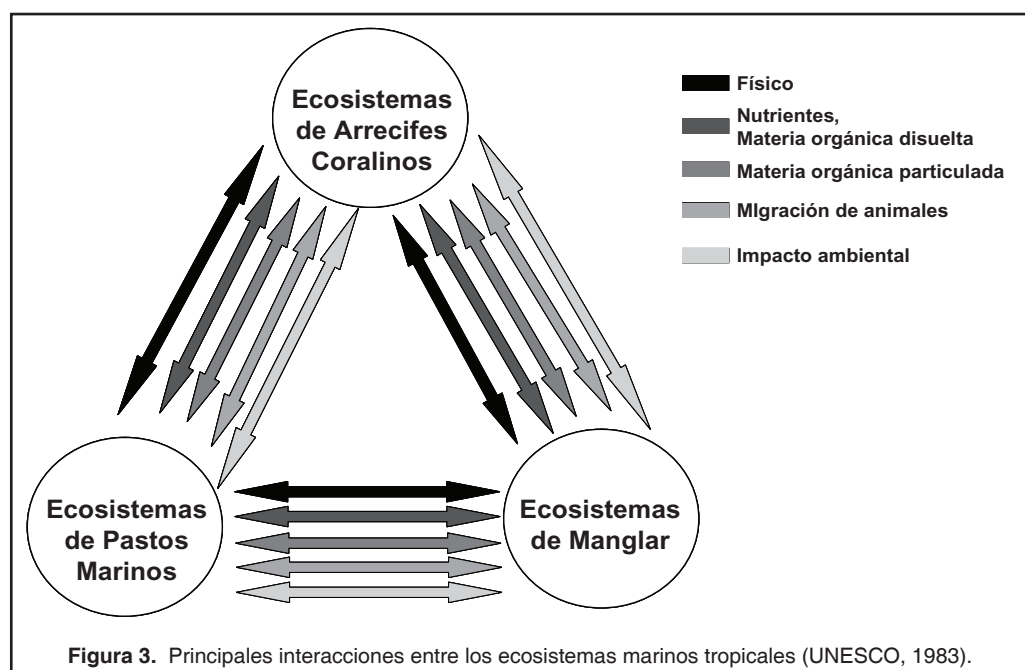
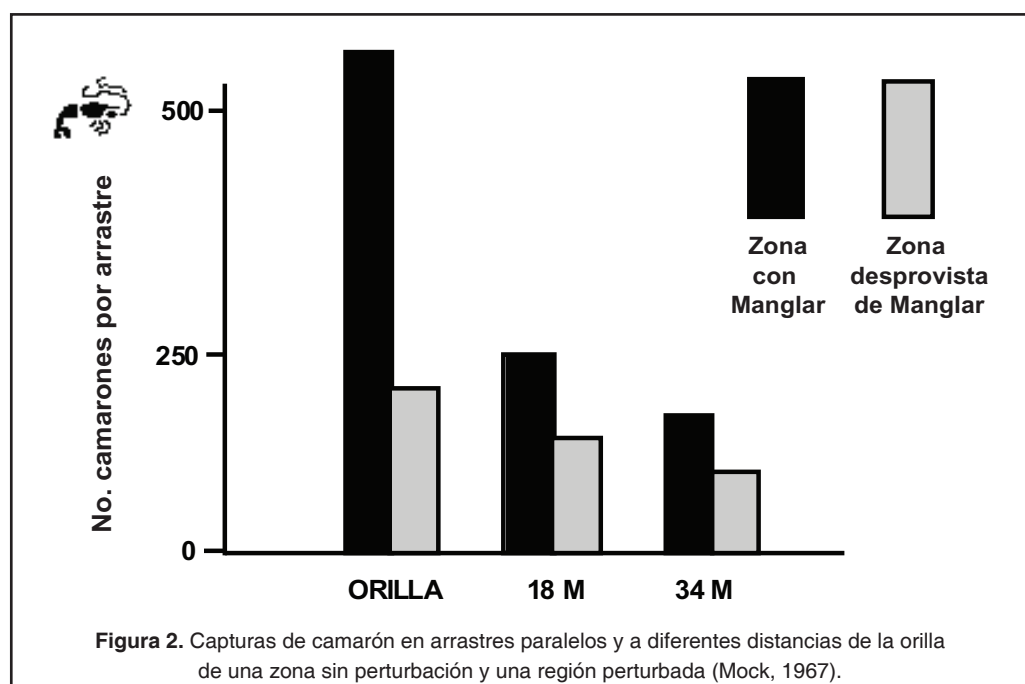
Los humedales del Caribe están asociados al turismo, siendo considerados como una de las principales fuentes de ingreso de diversos países. Por otra parte, los manglares son fuente de energía, proporcionan material para construcción, extracción de sales, taninos (tinción, curtiembre, desinfectantes y astringentes) y otros tintes e incluso alimento. Se calcula un valor económico y ecológico en beneficios directos e indirectos en específico para los bosques de mangle entre los \$10,000 a \$125,000 dólares por hectárea.

Interacciones Funcionales de los Manglares-Pastos Marinos- Arrecifes Coral

Las interacciones de los manglares con las praderas de pastos marinos y arrecifes de coral, han sido descritas por diversos autores desde un punto de vista ecológico, biológico-

pesquero e hidrológico (Kitheka, 1997, Wafar, 1997, Drake, 1996, Orden, 1988). El grado de interacción estará en función del grado de comunicación de los manglares con el mar, la dinámica de las corrientes y la distancia entre estos ecosistemas (Fig. 3). Este tipo de interacciones pueden ser clasificadas bajo dos grupos con base a su geomorfología:

- Manglares con influencia de mareas con comunicación continua al mar, presenta acoplamiento funcional con ecosistemas costeros adyacentes, tales como las praderas de pastos marinos y arrecifes de coral. Básicamente esta interacción entre ecosistemas se efectúa a través de la materia orgánica que es exportada de zona de manglar a pastos marinos-arrecifes de coral. Asimismo, por la participación de organismos que en algún periodo de su vida transcurren en estos bosques. Un ejemplo claro son las evidencias que existen de que los manglares de diversas regiones del Caribe y del Pacífico Occidental se encuentran funcionalmente relacionados con los ecosistemas lagunares costeros, pastos marinos y corales, participando en los ciclos de vida de diversos organismos acuáticos, así como manteniendo la calidad del agua en los ecosistemas coralinos.



- Manglares con comunicación estacional o restringida al mar y comunicación indirecta a las vías fluviales. Este tipo de ecosistemas funcionan principalmente como una trampa de carbono y nutrientes al concentrarlos estos en el interior. Diversos autores

consideran que del 85 al 90% de carbono total se queda en el bosque o el cuerpo de agua adyacente.

- Manglares que presentan ambos comportamientos (inciso a y b) de manera estacional.

Interacción de las Actividades Antropogénicas con los Ambientes Críticos: Impactos Directos e Indirectos

Las interferencias humanas directas e indirectas han modificado los ecosistemas de manglar, pastos marinos y arrecifes coralinos de México, transformándolos en ecosistemas de baja productividad y biodiversidad a través de cambios en su composición biológica y en sus funciones ambientales, así como en sus atributos y bienes. Un claro ejemplo ha sido la disminución de la calidad del agua en los cuerpos acuáticos adyacentes con el aumento de la turbidez, sedimentación y eutrofización. Los bosques de manglar, praderas de pastos marinos y arrecifes coralinos, a pesar de ser reconocidos como ecosistemas altamente productivos, presentan un creciente deterioro.

La transformación de extensas zonas inundables (marismas y manglares) por las diversas actividades humanas se pueden clasificar de la siguiente manera: a) Externas, tales como: el asolvamiento, salinización, eutrofización, desviación del patrón hidrológico, escurrimientos contaminados con pesticidas y derivados del petróleo y b) Internas como: la desecación o relleno de humedales, desecación de humedales por canalización y dragado, cambio en el patrón hidrológico por fragmentación del humedal, cambios del hábitat por su transformación a estanquería u otros usos, cambios en el patrón hidrológico por canalización excesiva y apertura o clausura total o parcial de bocas al mar, deforestación de manglares y otros bosques pantanosos, acidificación de suelos, quema y contaminación por plomo. Asimismo, la compactación del sedimento por tráfico ganadero en marismas y otros humedales, con su consecuente deterioro.

Para los manglares de México existen pocas evidencias de pasos efectivos para frenar los impactos en estos ecosistemas por las diversas actividades antropogénicas que actúan directamente sobre ellos o en su cuenca, así como otros usos que implican su destrucción (*Causas*: Falta de coordinación entre las agencias involucradas en el manejo del recurso costero, autorizaciones de concesión y construcción en zonas costeras, escasez de inspectores para la ejecución y ejercicio de las leyes de

una manera adecuada, entre otros). Se tiene estimado para nuestro país una pérdida en la cobertura del 14% en bosques de manglar (de 1993 al 2000). Aunque se desconoce la pérdida de pastos marinos y de los arrecifes coralinos a nivel nacional, existen evidencias locales de pérdida de éstos ecosistemas por actividades asociadas a operaciones de relleno y dragados e indirectamente por la influencia de escolleras y contaminación urbana.

La información sobre la pérdida de estos ambientes costeros en cada uno de los estados no se encuentra disponible en las estadísticas oficiales. Sin embargo, se estima que durante el periodo de 1966 a 1991, el litoral del Golfo de México presenta en sus bosques de manglar el mayor porcentaje de deforestación (12.68%) con respecto al litoral del Pacífico (9.3%). Para esas fechas, los estados del litoral del Golfo de México que tenían mayor pérdida eran Campeche, Tabasco y Veracruz con 29%, 26% y 22% respectivamente y su deterioro era atribuido a actividades agropecuarias, desarrollo de infraestructura por el sector público y privado (camino, terraplenes, pasillos, marinas, canales dragados, aeropuertos costeros, plantas de tratamiento, y descargas de aguas residuales), turísticos y portuarios, el desarrollo acuícola y los problemas ocasionados por la apertura artificial de bocas, construcción de termoeléctricas, asentamientos humanos, descargas de aguas urbanas e industriales construcción de carreteras, actividad petrolera y efectos agrícolas (erosión del suelo, incrementando turbidez-disminución de la fotosíntesis), aporte de fertilizantes, pesticidas y otras sustancias que pueden ser adversas para los manglares, praderas de pastos y arrecifes de coral. En el caso del estado de Quintana Roo la pérdida en la cobertura de manglar durante el periodo de 1993 al 2000, fue de un 6.5%. Sin embargo, dicho porcentaje es considerado relevante por su escasa extensión con respecto al resto de los otros estados (16, 971 ha). Esta limitación en la distribución, abundancia y poca estructura que define a este tipo de bosques en el estado de Quintana Roo, es atribuida principalmente a que los árboles realizan su crecimiento sobre suelos de origen calcáreo (típico de la Península de Yucatán), con altas tasas de filtración a través de la roca calcárea, ausencia de ríos superficiales, escasa influencia de mareas y por el efecto de huracanes. Por otra parte, este tipo de suelos no permite la formación de tur-

ba, retención del sedimento, reciclamiento de sus nutrientes y poca disponibilidad de fósforo (esencial para su crecimiento y óptimo desarrollo). De tal manera que la comunidad vegetal depende de los escurrimientos subterráneos con manifestaciones de superficie como cenotes o rías en la franja litoral. Las principales causas de deterioro para el estado de Quintana Roo, son debido a las actividades turísticas (al desarrollo de hoteles), descarga de drenajes y aguas residuales, rellenos, asentamientos urbanos y construcción de carreteras.

Para el litoral Pacífico, las mayores pérdidas de manglar son registradas para los estados de Sinaloa (14.4%), Nayarit (11.8%) y Guerrero (12.5%). Esta deforestación básicamente se debe a las actividades de la expansión de la frontera agrícola y ganadera, acuacultura (en particular la camaricultura), construcción de carreteras, asentamientos humanos y descargas de aguas urbanas y agrícolas.

Importancia del Diagnostico Ambiental en Ecosistemas Considerados como Críticos

Los estudios conocidos como diagnósticos ambientales en ecosistemas considerados como críticos, permiten establecer las líneas de acción prioritarias para elaborar modelos predictivos, desarrollar medidas de mitigación y establecer criterios sólidos para definir las estrategias de manejo más adecuadas para la región con base a la vocación más apropiada de uso de estos recursos y con el menor efecto en el entorno natural. Asimismo, efectuando el diagnostico se definirán los criterios necesarios para las futuras restauraciones en el ecosistema que se detecten como impactados.

Por lo anterior, el diagnostico ambiental para este tipo de ecosistemas deberá contemplar, el análisis del balance de fuerzas entre el régimen hidrológico de la cuenca continental y la suma de fuerzas de las corrientes y mareas oceánicas existentes, mismas que determinan la mezcla de aguas dulce y salada recreando las condiciones estuarinas, determinantes en

los humedales costeros y las comunidades vegetales que soportan. Por motivos pragmáticos de manejo de los estudios de impacto ambiental y ordenamiento deberán considerar un estudio integral de la unidad hidrológica donde se ubican los humedales. La unidad hidrológica esta constituida por el cuerpo lagunar costero y/o estuarino, los humedales asociados a él (manglares, marismas, pantanos), las unidades ambientales terrestres circundantes, las bocas permanentes o estacionales, la barrera, playa y características externas como los aportes por ríos, arroyos permanentes o temporales, escurrimientos terrestres, aportes del manto freático, zona de influencia de oleaje y corriente litoral.

Para poder llevar a cabo un diagnostico ambiental completo en el ecosistema de manglar se deben considerar como básicos los siguientes aspectos:

- Determinar la estructura forestal del bosque.
- Determinar los tipos fisonómicos y la distribución microtopográfica de las especies en los bosques de manglar.
- Determinar las diferentes unidades ambientales y tipos fisonómicos de manglar.
- Determinar los patrones de los parámetros químicos y físicos del agua intersticial y biológicos a través de cada perfil en el bosque.
- Identificar bioindicadores que determinen los patrones de los parámetros químicos y biológicos a través de cada perfil en el bosque.
- Determinar las actividades y usos que impactan el ecosistema.

Específicamente para los diagnósticos en la península de Yucatán y Golfo de México, deberá considerarse además el análisis del patrón hidrológico del manto freático y su influencia sobre los humedales costeros, tasa de filtración, amplitud y frecuencia de mareas.

Principales Medidas de Mitigación de Impacto y Restauración en Ambientes Críticos

- a) Analizar las características generales del área de estudio (mapeo detallado del hábitat).
- b) Evaluar el impacto potencial en el bosque o pradera (Análisis tendiente a cuantificar la localización y el tamaño de pérdida de hábitat).

- c) Elaboración de planes de restauración e identificación de alternativas.

Específicamente en bosques de manglar el llevar a cabo una reforestación, restauración, aforestación o la permanencia de un borde (en una parte propia de la cobertura vegetal), con un mínimo de 20 m de ancho o que corresponda al ancho aproximado al manglar tipo borde de zonas adyacentes a la región, mitigará de manera significativa los efectos por actividades externas a estos.

PLANES DE RESTAURACIÓN

Las principales razones para efectuar un programa de restauración; son la recuperación para restablecer el hábitat lo mas cercano al original, como apoyo a las pesquerías, barrera contra la erosión, inundación e impacto por huracanes, así como, área disponible para el refugio, reproducción o crecimiento de flora y fauna silvestre local o migratoria. Asimismo, estos programas resultan benéficos para las comunidades locales y pescadores, debido a que prácticamente todas las labores (tales como: actividades en el manejo de las áreas de acopio temporal y colecta y siembra de las plántulas e hipocotilos) que se desarrollan en este, serán contratadas y realizadas directamente por las mismas comunidades (denominados "mangleros"). De tal manera que, los beneficios directos representan el mejorar el ecosistema e indirectos aumentar el nivel de vida, educación

y organización social de dichas comunidades ("Una nueva fuente de trabajo").

Específicamente la restauración en bosques de manglar tiene tres tendencias: reforestación, la restauración hidrológica y la combinación de las dos anteriores. Es necesario considerar para su éxito en cualquiera de los casos, la distribución del bosque, el hidroperiodo (frecuencia y duración de inundación por mareas, los ríos de la región, y las variaciones micro topográficas), salinidad y la micro topografía en el rango específico de la especie. Así como, la disponibilidad de agua dulce y nutrientes, el patrón e intensidad del oleaje, características y química del sedimento, presencia o ausencia de contaminantes en agua y sedimento y principalmente la detección y mitigación del estrés provocado por actividades antropogénicas.

TIPOS DE REFORESTACIÓN

1.- Reforestación *in situ*: Aplicable en zonas de manglar donde las condiciones no han sido modificadas, tomando en cuenta el rango de distribución micro topográfica e hidroperiodo específico de los propágulos y plántulas del bosque adyacentes a la zona de reforestación.

2.- Área de acopio temporal: Establecer durante los programas de reforestación un área de acopio temporal con hipocotilo/propágulos y plántulas para aumentar el por-

centaje de sobrevivencia que la siembra directa. Sin embargo, es importante destacar que con estos programas de reforestación el costo por plántula aumenta.

3.- Rehabilitar el patrón hidrológico mediante bordos, canales (unidades de reforestación) o puentes y alcantarillados en donde sea necesario rehabilitar el patrón hidrológico, con la finalidad de disminuir las condiciones anóxicas y concentraciones de sales en el sedimento.

FACTIBILIDAD Y COSTOS EN LA RESTAURACIÓN

El programa de la Unión Nacional de Medio Ambiente establece un valor a sus recursos de \$215,000 dólares/ha, con costos de reforestación nacional en promedio de \$1,236 dólares/ha. El rango en costos estimado por hora/hombre van de 450 a 1,800 horas/hombre/ha para la recolección e instalación de los propágulos, en plántulas se duplica el costo desde 2,550 a 3,100 horas/hombres/ha y en árboles > 4 m en altura, el costo se incrementa drásticamente hasta \$216,300 dólares (Thorhaug, 1990). Los costos de reforestación varían dependiendo del tipo de material biológico (propágulo, plántulas o árboles) a utilizar y el espaciado entre los propágulos, plántulas o árboles, con un rango de \$1,140 a \$6,545 dólares/hectárea. Los costos de reforestación se incrementan substancialmente de usar propágulos a árboles de 0.5 a 1.5 m de altura (Pulver, 1976).

De tal manera que, al reducir el espacio entre plántulas y plántula en una 1/3 de la distancia original (de 0.9 a 0.61 m) se duplica el número de trasplante (de 12,100 a 26,896 plántulas/ha) y con una mayor reducción (0.3 m) lo incrementa hasta 110,889 plántulas/ha. Saenger (1996) cotiza un costo por plántula transplantada de \$4.50 dólar, con una sobre vivencia del 80% (sin área de acopio temporal).

En el Caribe se estimó un costo de \$1,400 a \$4,200 dólares/ha dependiendo del materia utilizado (propágulo o plántula) y la distancia entre plántulas, llegando a ser de \$11,460 dólares cuando se reforestó con árboles de 3 años de edad (Warner *et al.*, 2001). En un programa de reforestación en el Área Natural Protegida Laguna de Términos, Campeche. México; se calculó un costo por plántula de \$3.1 dólares, incluyendo el diagnóstico ambiental de 2 parcelas de 12 ha a reforestar, espaciado entre plántula/hipocotilo de 1.5 metros, su monitoreo por cinco años; así como, un área de acopio temporal de 0.5 ha (con capacidad de 68,000 plántulas)(Agraz-Hernández *et al.*, 2004a y b).

Los costos de reforestación mencionados son muy variables, por los diferentes precios en la mano de obra local de cada país (e incluso entre regiones), por las características de cada sitio (disponibilidad y acceso (vía terrestre o acuática)) y extensión a reforestar, material bio-

lógico (tipo), tipo de vivero y técnicas utilizadas. Millan (1999) menciona que en ocho proyectos de restauración desarrollados en la bahía del Vizcaíno, Miami. Florida, se presentó un rango en costo de entre \$5,300 a \$200,000 dólares por hectárea. Por otra parte, es importante considerar que los planes de reforestación deberán incluir registro de las condiciones físicas y químicas del agua del sistema lagunar/estuario y del agua intersticial del área de trasplante (anterior y posterior al trasplante) y las características del sedimento para que en un futuro optimicen este (mayor éxito a menor costo (producción de plantas viables)), así como un programa de monitoreo después del trasplante por un tiempo mínimo de 5 años.

Es relevante mencionar que los proyectos de reforestación, restauración y/o manejo sustentable de manglares en México son escasos o limitados a nivel experimental o en informes de baja difusión. Sin embargo, algunos esfuerzos se han realizado o están en proceso en las costas de la península de Yucatán, Nayarit, Sinaloa, Colima, Chiapas, Guerrero, Baja California Sur, y probablemente otros estados (agencias gubernamentales, instituciones de investigación y educativas, sector social e iniciativa privada) (Flores-Verdugo *et al.*, 2003; Agraz-Hernández *et al.*, 2004b)

En áreas donde se planea realizar alguna obra deberá considerarse los siguientes puntos:

- 1) Deberá dejarse parches de vegetación original. Esto es no solo por aspectos estéticos, si no de tipo funcional. Únicamente se desmontarán las áreas necesarias para las construcciones o vías de acceso conforme se avance en la obra o actividad de que se trate, realizando inmediatamente después las actividades de excavación, nivelación y relleno. En todo caso se cumplirán las disposiciones del Reglamento de Ecología y Gestión Ambiental del Municipio que le corresponda.
- 2) Las acciones de desmonte, excavación y formación de terraplenes para la construcción de caminos, deberán realizarse

evitando la remoción innecesaria de vegetación y el movimiento de grande volúmenes de tierra.

- 3) Se evitarán las construcciones en áreas inundables y en sitios donde puedan causar afectaciones directas a las praderas de pastos marinos y sistema arrecifal.
- 4) Toda construcción deberá ser diseñada preferentemente de acuerdo con la tipología del lugar, integrándose al entorno natural y respetando las normas para la comunicación visual en la vía pública vigente.
- 5) De las áreas no construidas deberá procurarse la conservación y en su caso la restitución y mejoramiento de la cubierta vegetal existente. Los espacios abiertos construidos deberán disponer de áreas verdes.
- 6) Cuando en los sitios con política de aprovechamiento, se causen afectaciones en los recursos naturales, se deberán realizar acciones de restauración.
- 7) Deberá garantizar la integridad de los procesos ecológicos que mantienen la viabilidad de las especies marinas de interés comercial.
- 8) El desarrollo industrial, urbano, turístico y camaronícola de alto impacto, deberá estar orientado bajo una visión integral, que comprenda la cuenca hidrológica para evitar que se pongan en riesgo las condiciones naturales de los humedales costeros
- 9) Evitar el deterioro de los ambientes críticos por el cambio de uso de suelo, canalización indiscriminada, apertura de bocas en lagunas y esteros, e interrupción o desvío de agua dulce o circulación en el humedal costero que incrementa el asolvamiento, el aumento en la salinidad.
- 10) Considerar los servicios y funciones que los ambientes críticos (manglares, praderas de pastos marinos y arrecifes de coral) desarrollan, tanto por los estudios de

impacto ambiental, así como en los ordenamientos ecológicos, con el propósito de dimensionar los efectos negativos de alteraciones cercanas o a distancia por la actividades humanas y naturales.

Consideraciones Fundamentales para la Conservación y Manejo en los Ambientes Críticos

Una planificación integral (características ecológicas, condiciones sucesionales, aspectos silviculturales, faunísticos e hidrobiológicos) es considerada como fundamental en el éxito de los programas de conservación y sustentabilidad en el ecosistema de manglar, debido a la vulnerabilidad y excesiva fragilidad de estos ecosistemas. De tal manera que, todo plan de desarrollo y acciones incidentales que puedan llegar a estresar o afectar el ecosistema de manglar, deberá considerar los siguientes puntos en los planes de manejo y planificación:

- 1) Una red y una práctica zonificación (a nivel de detalle) de las áreas de manglar desde un punto de vista forestal y pesquero (mapas).
- 2) Aplicar planes y programas de investigación básica desde un punto de vista integral, con criterios ecológicos, silviculturales, inventarios forestales y estimulación de regeneración natural, zoológicos e hidrológicos.
- 3) Mantener la topografía y las características del sustrato en el bosque y los canales de agua.
 - Evitar procesos que puedan conducir a un cambio en la tasa de sedimentación del área específica (sedimentación excesiva y erosión). Mantener el equilibrio natural entre la acumulación, erosión y sedimentación
 - Evitar la alteración de las características químicas y físicas del ecosistema.
- 4) Mantener los patrones naturales, temporales y espaciales en los parámetros quími-

cos (salinidad, potencial redox y nutrientes) de las aguas superficiales y subterráneas. Especialmente en zonas donde el agua disponible depende exclusivamente de los escurrimientos terrestres ó áreas donde las características "karticas" del sedimento no permiten la disponibilidad del agua vía superficial, como la Península de Yucatán.

- 5) Evitar toda actividad que induzca cambios en el patrón hidrológico del ecosistema (en los tiempos de residencia del agua (estancamiento).
- 6) Establecer planes de restauración o reforestación en las áreas que aseguren la permanencia de los bosques.
- 7) Establecer veda temporal, para el aprovechamiento de las especies de manglar con base a estudios que se desarrollen a mediano plazo. Dichos estudios deberán proporcionar las tasas de crecimiento por es-

pecie y por ende los tiempos de rotación, de acuerdo a las condiciones específicas del bosque por explotar (esquemas de ordenación y manejo)

- 8) Refuerzo en las acciones de protección y vigilancia en los lugares tradicionales de aprovechamiento o impacto por actividades antropogénicas. Así como, zonas de acopio, distribución y venta de los productos extraídos del bosque de manglar.
- 9) Crear un Comité Nacional de Manglar que forme parte de un cuerpo asesor en política y gestión de los manglares
- 10) Vigilancia de las leyes que protejan los manglares existentes (establecer obligaciones de zonas de protección ("zonas de compensación") a cualquier agente que desee modificar de alguna manera estos ecosistemas.

NORMAS OFICIALES MEXICANAS QUE REGULAN Y PROTEGEN LOS HUMEDALES COSTEROS

Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximas permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales y bienes nacionales, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1997.

Norma Oficial Mexicana NOM-002-PESC-1993, para ordenar el aprovechamiento de las especies de camarón en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 31 de diciembre de 1993 y su modificación publicada el 30 de julio de 1997 en el Diario Oficial de la Federación.

Norma oficial Mexicana NOM-009-PESC-1993, que establece los procedimientos, para determinar las épocas y zonas de veda para la captura de las diferentes especies de flora y fauna acuática en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 4 de marzo de 1994.

Norma Oficial Mexicana NOM-012-RECNAT, que establece los establecimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento de leña para uso doméstico, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 26 de junio de 1996.

Norma Oficial Mexicana NOM-013-PESC-1994, para aprovechar las especies de caracol en aguas de jurisdicción federal de los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de abril de 1995.

Norma Oficial Mexicana NOM-015-PESC-1994, para regular la extracción de las existencias naturales de ostión en los sistemas lagunares-estuarinos del estado de Tabasco, publicada, en el Diario Oficial de la Federación el 24 de abril de 1995.

Normas Oficiales Mexicanas NOM-022-RECNAT-2001, establece las especificaciones para la preservación, conservación

y restauración de los humedales costeros. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 10 de abril de 2003, y su versión modificada publicada en el Diario Oficial de la Federación el 07 de mayo del 2004.

Normas Oficiales Mexicanas NOM-059-ECOL-1994, que determina las especies y subespecies de flora y fauna silvestres terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras, y las sujetas a protección especial y que establecen especificaciones para su protección, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 16 de mayo de 1994, y su modificada publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de marzo del 2000.

Normas Oficial Mexicana NOM-060-ECOL-1994, que establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos ocasionados en los suelos y cuerpos de agua por el aprovechamiento forestal, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13 de mayo de 1994.

Norma Oficial Mexicana NOM-061-ECOL-1994, que establece especificaciones para mitigar los efectos adversos ocasionados en la flora y fauna silvestre por el aprovechamiento forestal, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13 de mayo de 1994.

Norma Oficial Mexicana NOM-062-ECOL-1994, que establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos sobre la biodiversidad que se ocasionen por el cambio de uso del suelo de terrenos forestales a agropecuarios, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13 de mayo de 1994.

NOM-089-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de las actividades de cultivo acuícola.

Así como:

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de impacto ambiental, establece que para la realización de obras o actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, se requiere una autorización previa de la SEMARNAT.

Ley de Aguas Nacionales, Artículo 86 fracción II, y Artículo 155 del Reglamento de la misma Ley en los que se establece la responsabilidad de CNA para la formulación de programas integrales de protección de los recursos hidráulicos en cuencas hidrológicas y acuíferos, específicamente en humedales, así como el inventario de éstos, promoción de reservas de aguas nacionales o ecológicas que se requieran para la conservación de humedales, la expedición de condiciones para preservar, proteger y restaurar humedales, y otorgar permisos para desecar terrenos en humedales.

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), estableció: *“La Estrategia de Conservación Mundial dio como principal recomendación que el manejo global de lagunas costeras, estuarios, humedales (manglares y pantanos), y marismas, es garantizar la integridad de los procesos ecológicos que mantienen la viabilidad de las especies marinas de interés comercial”*.

Reglamento de la Ley Forestal, se define para los efectos de la propia Ley a la superficie con vegetación de humedales costeros (*con énfasis en los bosques de manglar*) como zonas de conservación y que, por sus características físicas y biológicas están sometidas a un régimen de protección y aprovechamiento restringido siempre que no se ponga en riesgo el suelo, la calidad de agua y la biodiversidad.

LITERATURA CITADA

- Agraz-Hernández, C.M., F.J. Flores-Verdugo y J. Ordoñez-Sulu, 2004a.** Dasometría de *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans* en un ecosistema de manglar al sureste de la Reserva de la Biosfera "Los Petenes", Campeche. Campeche. México. Informe Técnico del proyecto: "Diagnostico ambiental de un ecosistema de manglar en la Reserva de la Biosfera "Los Petenes", Campeche. Campeche. Centro de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche.
- Agraz-Hernández, C.M., F.J. Flores-Verdugo, H. Cazares-Rivas, J. Ordoñez, R. Zetina-Tapia, J. Osti-Saenz, V. Canche-Barbosa, C.E. Puc-Panti, J. Brito-Gomez, y M.A. Rosado-Galvez, 2004b.** Reforestación y Monitoreo de 17.5 ha. en un ecosistema de manglar al norte de la Laguna de Términos. Campeche. Informe Preliminar. Centro de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche.
- Drake, S.F., 1996.** The International Coral Reef Initiative: A strategy for the sustainable management of coral reefs and related ecosystems. *Coastal Management*, 24 (4): 279-299.
- Kitheka, J.U., 1997.** Coastal tidally-driven circulation and the role of water exchange in the linkage between tropical coastal ecosystems. *Estuaries, Coastal and Shelf Science*, 45: 177-187.
- Marsubroto, P., y N. Namin, 1977.** Relation between tidal forest (mangrove) and commercial shrimp production in Indonesia. *Mar. Res. Indo.*, (18):81-85.
- Millan, E., 1999.** Technique note. Lewis Environmental Services Inc. and Environmental Laboratory US Army Engineer Research and Development Center (ERDC).
- Ogden, J.C., 1988.** The influence of adjacent systems on the structure and function of coral reefs, p. 1223-129. *In:* J.H. Choat, D. Barnes, M.A. Borowitzka, J.C. Coll, P.J. Davies, P. Flood, B.G. Hatcher y D. Hopley (Eds.). Proceedings of the 6 th Int. Coral Reefs Symp. Townsville, Australia, 8-12 august 1988. .
- Pulver, T.R., 1976.** Transplant techniques for sapling mangrove trees, *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, and *Avicennia germinans*, in Florida. Florida Marine Resources Publication 22. Tallahassee, FL. Florida Department of Natural Resources.
- Saenger, P., 1996.** Mangrove restoration in Australia: a case study of Brisbane International Airport, p. 36-51. *In:* C. Field (Ed.), Restoration of Mangrove Ecosystem. ISME/ITTO, Okinawa.
- Thorhaug, A., 1990.** Restoration of Mangroves and Seagrasses — Economic Benefits for Fisheries and Mariculture, p. 265-281. *In:* J.J. Berger (Ed.), Environmental Restoration Science and Strategies for Restoring the Earth. Island Press, Washington, D.C.
- Turner, R.E., 1991.** Factors affecting the relative abundance of shrimp in Ecuador. p. 121-139. *In:* S. Olsen, y L. Amaga (Eds.) A Sustainable Shrimp Mariculture Industry for Ecuador. Technical Report Series TR-E-6. Internat. Coas. Res. Man. Proj. Univ. Rhode Island, Gobierno de Ecuador y USAID.
- UNESCO, 1983.** Coral reefs, seagrass beds and mangroves: Their interaccion in the coastal zones of the Caribbean. Report of a Workshop. Held data West Indies Laboratory, St. Croix, U.S. Virgin Islands. May, 1982. Montevideo Uruguay.
- Wafar, M., 1997.** Carrying capacity of coral reefs, p. 65-70.. *In:* Regional Workshop on the Conservation and Sustainable Management of Coral Reefs. M.S. Swamithan Res. Found., Chennai. India.
- Warner, B., C.M. Agraz-Hernández y F.J. Flores-Verdugo. 2001.** Creación y Restauración de Humedales, *In:* F.J. Abarca y M. Herzig (Eds.). Manejo y Conservación de los Humedales en México. North American Wetland Conservation Council (NAWCC), US Fish & Game Service, PRONATURA, Society of Wetland Scientist (SWS), Ramsar, Ducks Unlimited of Mexico AC (DUMAC), SEMARNAT, Environment Canada (ECan) y Wildlife Habitat Conservation de la Canadian Wildlife Service (WHCCWS). 24 p.

León Burgos F., y V. Parra Tabla, 2005. La evaluación del impacto ambiental en proyectos de tipo lineal. Experiencias y aportaciones de la Comisión Federal de Electricidad en el estado de Campeche, p. 609-628. In: 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, 2da Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.

La Evaluación del Impacto Ambiental en Proyectos de Tipo Lineal. Experiencias y Aportaciones de la Comisión Federal de Electricidad en el Estado de Campeche

37

Fidencio A. León Burgos ¹ y Victor Parra Tabla ²

¹ Comisión Federal de Electricidad

² Universidad Autónoma de Yucatán

RESUMEN

Los Proyectos de tipo lineal son aquellos que ocupan una poligonal de poca amplitud, pero de gran longitud, con afectaciones ambientales de poca extensión y en su mayoría puntuales. Como parte inherente al suministro del servicio público de energía eléctrica, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) ejecuta este tipo de proyectos (líneas de transmisión L.T.) para los que debe obtener la correspondiente autorización y elaborar la Manifestación de Impacto Ambiental indicada en la legislación mexicana. El propósito del presente trabajo es mostrar las contribuciones que la CFE hace en esta materia mediante la aplicación de una Guía Específica presentando como ejemplo, los resultados del grupo de proyectos en ejecución en el estado de Campeche: L.T. Escárcega Potencia-Sabancuy II, L.T. Sabancuy II-Sabancuy y L.T. Sabancuy II Entronque Champotón-Sabancuy.

ABSTRACT

The linear projects are those accomplished in a narrow width but in a very long transect. As part of the mechanisms to generate electricity, the Federal Electricity Commission (FEC) execute these types of projects, through the inherent approval of the Environmental Impacts Declaration indicated in the Mexican legislation. Thus, the main objective of this paper is to indicate the contributions of the Federal Electricity Commission to evaluate the environmental impacts by using the Specific Guidelines in a group of projects actually in execution in Campeche state as: L.T. Escárcega Potencia- Sabancuy II , L.T. Sabancuy II- Sabancuy y L.T. Sabancuy II Entronque Champotón- Sabancuy

*La Comisión Federal de Electricidad cuenta con el visto bueno de la autoridad competente para su aplicación en tanto se publiquen las actualizaciones de las guías sectoriales.

INTRODUCCIÓN

Los proyectos de carácter lineal, para los efectos del presente trabajo son aquellos que se caracterizan por ocupar una superficie delimitada por una poligonal de poca amplitud (ancho) y gran longitud; dentro de este tipo de proyectos se pueden listar las vías generales de comunicación tales como la ferroviaria, telefonía convencional y carretera, también recaen en esta categoría la instalación y operación de ductos para transporte de materiales diversos (gas, petróleo, agua), así como la transmisión de energía eléctrica. En su mayoría, este tipo de proyectos son de alto impacto en la sociedad, ya que se desarrollan para la atención de necesidades específicas de la población relacionadas con los servicios públicos básicos, que afectan directamente la mejora de la calidad de vida y que resultan imprescindibles para el desarrollo de cualquier actividad económica. Sin embargo, para llevar a cabo la construcción y operación de este tipo de proyectos se debe atender a lo especificado en la legislación mexicana que resulte aplicable y en forma particular, se debe contar con la correspondiente autorización en materia de impacto ambiental, cuyo otorgamiento está distribuido en los niveles de competencia Federal, Estatal o Municipal en función de la naturaleza de la obra o actividad, de su extensión y de las reglamentaciones aplicables y vigentes a cada una de ellas.

El desarrollo de este tipo de proyectos produce impactos que inciden en diversos componentes ambientales, con distinta duración, extensión, magnitud y reversibilidad según sea la función específica para la que se realicen. Sin embargo, de manera genérica se puede mencionar que los impactos más significativos incluyen pérdida de superficies de suelo fértil, cambios en la hidrología superficial, aumento de los niveles de ruido, cambios en el paisaje, destrucción directa de flora silvestre, destrucción indirecta de fauna silvestre, fragmentación de hábitat, erosión, incidencia directa e indirecta de cambios en la distribución espacial de la población humana y afectación de recursos arqueológicos (Saavedra, 2002). En general, mientras mayor sea la longitud de la línea de transmisión, mayores serán los impactos ambientales, siendo las causas principales

de estos impactos el desbroce (remoción) de la vegetación de los derechos de vía, la construcción de caminos de acceso y la construcción de las cimentaciones de las torres y el mantenimiento del derecho de vía (Gallipoliti, 2001).

En este contexto, la Comisión Federal de Electricidad (CFE), tiene a su cargo la prestación del servicio público de energía eléctrica, para lo cual debe realizar la construcción de la infraestructura necesaria para llevar la energía eléctrica desde los sitios de generación, hacia los centros de consumo, esta infraestructura es la que integran las subestaciones eléctricas y las líneas de transmisión. Las subestaciones eléctricas son instalaciones perfectamente delimitadas en un predio que usualmente se ubica en sitios bien comunicados (zonas agropecuarias, industriales, de equipamiento o urbanas) y que en consecuencia han sufrido perturbación previa del sistema ambiental; por otro lado, las líneas de transmisión, en la mayoría de las ocasiones, tienen trayectorias que cruzan por áreas donde existen sistemas ambientales con buen grado de conservación o recuperación.

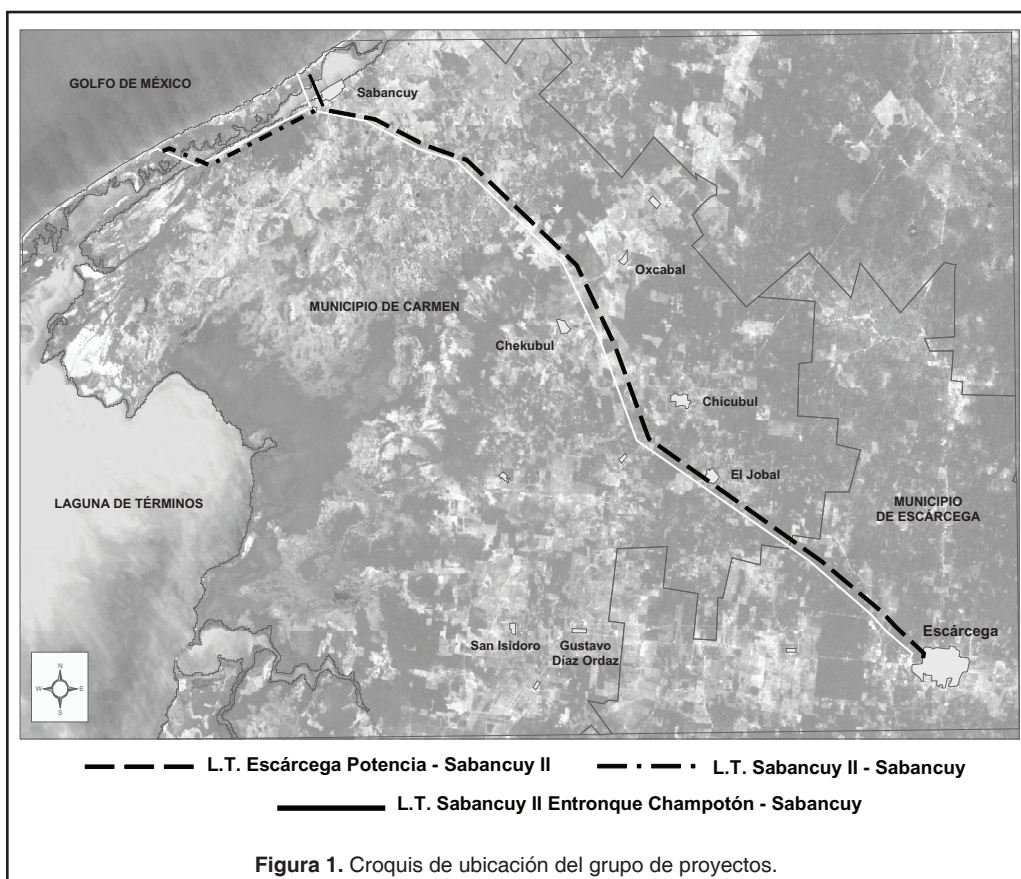
Dado que la naturaleza de la instalación está relacionada con la industria eléctrica, su construcción, operación y mantenimiento requiere de la autorización en materia de impacto ambiental en los términos establecidos en la normativa aplicable (DOF, 200 y 2001) para lo cual debe elaborarse la correspondiente Manifestación en Materia de Impacto Ambiental, en la cual deben señalarse todas las consideraciones que derivadas de la ubicación del proyecto puedan aplicar, *v.gr.*: la posible afectación de vegetación forestal, afectación de humedales o vegetación costera, la afectación de tipos de vegetación de difícil regeneración y su posible ubicación en áreas naturales protegidas.

Para la elaboración de las Manifestaciones de Impacto Ambiental (MIA), la CFE, se apoya en prestadores de servicios o instituciones académicas de reconocida calidad en dicha área, a fin de que la calidad de la información presentada a la autoridad permita la adecuada evaluación de las condiciones y circunstancias en que se realizarían los trabajos de construc-

ción y operación de la instalación, así como de las medidas de prevención, mitigación y/o compensación que deban realizarse para la minimización de los impactos ambientales que se identifiquen en forma particular para cada proyecto.

Derivado de lo anterior, la CFE, a través de sus áreas: Subdirección de Construcción y Coordinación de Proyectos de Transmisión y Transformación, desarrolló una Guía de Elaboración de Manifestaciones de Impacto Ambiental Específica para Proyectos de Construcción, Operación y Mantenimiento de Líneas de Transmisión de Energía Eléctrica, la cual involucra una evaluación del impacto ambiental con un nivel superior de detalle, y que es usada como base para los estudios de impacto ambiental que para este tipo de proyectos se presenta para evaluación de la autoridad competente.

El propósito del presente trabajo es indicar las contribuciones que la CFE hace a la evaluación del impacto ambiental mediante la aplicación de la Guía de Elaboración de Manifestaciones de Impacto Ambiental Específica para Proyectos de Construcción, Operación y Mantenimiento de Líneas de Transmisión de Energía Eléctrica, los resultados de su aplicación en el grupo de proyectos L.T. Escárcega Potencia – Sabancuy II, L.T. Sabancuy II – Sabancuy y L.T. Sabancuy II Entronque Champotón – Sabancuy (Fig.1), las medidas de prevención, mitigación y compensación propuestas con base en la identificación y estimación del impacto ambiental, así como las acciones específicas que hasta la elaboración del presente se han implementado para llevar a cabo las mismas.



MARCO CONCEPTUAL

La evaluación del impacto ambiental se basa en la identificación de la o las interacciones (impactos) que existen entre las actividades que se realizarán en la construcción y operación del proyecto y el sistema ambiental, con la finalidad de anticipar los futuros impactos negativos y positivos, aumentando los beneficios y disminuyendo las alteraciones ambientales no deseadas (CFE, 2002). La identificación de los impactos permitirá definir acciones que prevengan el mayor número posible de ellos.

Cada impacto debe ser valorado sobre una base lógica, medible y fácilmente identificable que considere e identifique los atributos, del impacto ambiental, para lo cual se asume que cualquier impacto tiene como mínimo tres atributos básicos e indispensables para definir las características directas e inmediatas de una interacción: *Magnitud* (intensidad de la afectación en el área del proyecto), *Extensión* (área de afectación del impacto respecto a la zona total del área de influencia del proyecto) y la *temporalidad de la interrelación* (CFE/UADY, 2002).

De manera adicional, para los efectos de la evaluación de impacto ambiental que solicita la CFE para sus proyectos de líneas de transmisión, se consideran cuatro atributos complementarios que son aquellos que toman en cuenta las relaciones de orden superior entre impactos: *Sinergia* (interacciones entre impactos para generar uno de orden superior), *Acumulación* (efectos aditivo de un impacto con otros ya existentes en el área del proyecto), *Controversia* (oposición de los sectores sociales a los proyectos), así como la *Mitigabilidad* (existencia y eficiencia de medidas de reducción del impacto) (CFE/UADY, 2002).

Los impactos que no pueden ser prevenidos, y para los cuales las medidas de mitigación no puedan reducir completamente, se consideran impactos residuales para los cuales deben establecerse medidas de compensación, preferentemente en la misma zona de influencia de la obra o actividad que lo genera.

En proyectos de carácter lineal, la superficie ocupada por el proyecto (enmarcada en

una poligonal de poco ancho y gran longitud) ocasiona que puedan ubicarse en dos o más unidades ambientales que pueden tener diferentes grados de conservación, lo cual ocasiona que la interrelación Actividad Constructiva–Componente ambiental, así como el impacto ambiental identificado sean de diferente significancia para cada unidad ambiental, disminuyendo para aquellas unidades ambientales con mayor grado de perturbación y aumentando para las unidades con mayor grado de conservación del sistema ambiental. De esta manera, la evaluación del impacto ambiental considerando a todo el proyecto como una unidad tiende a enmascarar el impacto que la obra o actividad ocasiona en el sistema ambiental y en sus unidades ambientales.

La Guía de Elaboración de Manifestaciones de Impacto Ambiental Específica para Proyectos de Construcción, Operación y Mantenimiento de Líneas de Transmisión usada por la CFE establece que la significancia del impacto ambiental identificado para una misma interrelación Actividad Constructiva–Componente Ambiental sea evaluado para cada unidad ambiental por separado, dando la posibilidad de identificar los impactos realmente significativos para cada una de ellas y permitiendo que las medidas de mitigación que se establezcan considere las condiciones particulares de cada unidad ambiental.

Un ejemplo claro de la diferencia que este proceso establece, es el impacto al componente ambiental flora (subsistema biótico) de un proyecto lineal cuya trayectoria ocupe un 75% de una unidad ambiental con uso de suelo agropecuario y el restante 25% ocupe unidades ambientales con vegetación forestal. Si la evaluación del impacto se realiza en forma integral a toda la superficie del proyecto, el impacto se identificaría con significancia de baja a moderada, mientras que la evaluación del impacto ambiental hecha para cada unidad permitiría identificar un valor de significancia bajo para las unidades con uso agropecuario y con valor de significancia alto para las unidades con vegetación forestal. Esta ejemplificación puede extenderse a la mayoría de los componentes del sistema ambiental (flora, fauna, suelo).

Esta diferenciación permite acotar con precisión los sitios donde se aplicaría la medida de mitigación y/o compensación (unidades ambientales con valor de significancia moderado y alto), esta perspectiva tiene, entre otros, los siguientes beneficios:

1. Permite a la autoridad una visión más cercana a la realidad del impacto ambiental ocasionado por el proyecto,
2. La identificación y diferenciación de las unidades ambientales con valores bajos de significancia de los impactos identificados, permite a la autoridad el énfasis de la evaluación hecha en las unidades ambientales que presentan impactos con valores altos de significancia, lo que hace eficiente

la propia evaluación del estudio ambiental presentado

3. Dado que las medidas de mitigación o compensación se plantean considerando las condiciones particulares de cada unidad ambiental, se aumenta su probabilidad de éxito, en beneficio del propio sistema ambiental.
4. Debido a que la extensión de la medida de compensación sería similar a la extensión del impacto ambiental identificado, evita al promovente inversiones innecesarias para implementar medidas de mitigación en unidades ambientales que no requieren de las mismas

MÉTODO

La Manifestación de Impacto Ambiental del grupo de proyectos L.T. Escárcega Potencia – Sabancuy II, L.T. Sabancuy II – Sabancuy y L.T. Sabancuy II Entronque Champotón – Sabancuy (9), fue elaborada por la Universidad Autónoma de Yucatán (Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia/Licenciatura en Biología) a solicitud de la Comisión Federal de Electricidad, usando como base la Guía de Elaboración de Manifestaciones de Impacto Ambiental Específica para Proyectos de Construcción, Operación y Mantenimiento de Líneas de Transmisión.

La secuencia de actividades y la metodología seguida para la elaboración de la Manifestación de Impacto Ambiental (CFE/UADY, 2002) se indica a continuación, misma que fue desarrollada por el Grupo de Trabajo del Departamento de Ecología de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY).

- I. Descripción de las actividades de construcción, operación y mantenimiento del grupo de proyectos.

Esta información fue proporcionada por la CFE a la UADY para que fuera tomada como base para la evaluación del impacto ambiental, quedando a cargo de la UADY identificar las Interacciones entre estas y los componentes de las unidades ambientales (Tabla 1)

- II. Descripción de los subsistemas físico, biótico y socioeconómico.

La descripción del Subsistema Físico dentro del área de influencia (clima, geología y geomorfología, suelo, y la hidrología superficial y subterránea) se realizó de manera genérica para toda el área del proyecto.

La descripción del Subsistema Biótico (tipos de vegetación terrestre y acuática, así como la fauna terrestre y acuática) se realizó en forma particular para cada una de las unidades ambientales usadas como referencia para la evaluación del impacto. Para la descripción se realizó con base en los datos obtenidos en muestreos realizados en el área de influencia. Para la flora se obtuvieron: identificación de los tipos de vegetación, distribución en el área del proyecto, composición florística, identificación de especies con alguna categoría de protección (NOM-059-SEMARNAT-2001), estructura por tipo de vegetación, valores de importancia por especie, composición y riqueza, así como el índice de equidad. Para la fauna silvestre se identificó: el listado faunístico, los valores de riqueza específica por grupo faunístico, la identificación de especies en alguna categoría de protección (NOM-059-SEMARNAT-2001, CITES), la abundancia y densidad por gru-

Tabla 1. Actividades que se realizan en la construcción, operación y mantenimiento del grupo de proyectos L.T. Escárcega Potencia – Sabancuy II, L.T. Sabancuy II – Sabancuy y L.T. Sabancuy II Entronque Champotón– Sabancuy.

Etapas	Actividad
Preparación del Sitio	Contratos de servidumbre de paso
	Contratación del personal
	Desmante a matarrasa
	Tala y poda selectiva
Construcción Obra Civil	Contratación de personal
	Instalación de talleres y almacenes
	Uso de maquinaria pesada
	Adquisición y transporte de insumos y materiales
	Excavaciones y/o barreración y anclaje
	Colado de cimentaciones
	Relleno y compactado de cimentaciones
	Pilotaje en cuerpos de agua
Construcción Obra Electromecánica	Armado y montaje de estructuras
	Vestido de estructuras
	Tendido de cables de guarda y conductor
	Instalación de sistema de tierras
	Pruebas y puesta en servicio
Operación y Mantenimiento	Mantenimiento del derecho de vía
	Mantenimiento de estructuras y cables
	Operación de la línea de transmisión

po faunístico, así como la abundancia, distribución, densidad relativa y temporadas de reproducción de las especies en riesgo; en forma particular se desarrollo esta infor-

mación para la unidad ambiental denominada Estero (fauna acuática).

Para la Descripción del Subsistema Socioeconómico se utilizaron los límites políticos de los municipios donde se ubican los proyectos (Escárcega y Carmen, en el estado de Campeche). Las fuentes de consulta fueron Anuarios INEGI y Planes de Desarrollo Estatales y Municipales.

III. Identificación de Unidades Ambientales.

Debido a que las unidades de los Subsistemas Físico y Socioeconómico son demasiado grandes en relación con la superficie que ocuparía el grupo de proyectos (derecho de vía), se tomó como criterio para la identificación y delimitación de las unidades ambientales los tipos de vegetación y uso de suelo, que eran directamente afectadas por la trayectoria de las alternativas de ubicación del proyecto.

Las unidades ambientales identificadas usando este criterio, son: Selva Mediana Subperennifolia, Tular, Sabana, Manglar y Selva Baja Caducifolia. En forma adicional, debido a que la L.T. Sabancuy II – Sabancuy y la L.T. Sabancuy II Entronque Champotón – Sabancuy cruzan el estero Sabancuy, en donde será necesario ubicar estructuras de soporte de la línea, se identificó la unidad ambiental denominada (para efectos de la evaluación) Estero.

IV. Delimitación del área de estudio.

Considerando que en la zona donde se ubica el grupo de proyectos no existen topografías que puedan ser utilizadas para la delimitación de microcuencas, se procedió a identificar los tipos de vegetación y uso del suelo como el criterio para delimitar el área de influencia del grupo de proyectos, la cual se conformó con los límites de todos los manchones de vegetación y uso del suelo por los que pasó el eje de la trayectoria. Esta delimitación se realizó mediante el uso de una imagen de satélite Landsat TM y el plano del inventario forestal del año 2000, elaborado por la SEMARNAT, manejados con el software Arcview 3.0.

V. Caracterización del Sistema Ambiental Regional.

La caracterización consistió en la descripción cualitativa del sistema ambiental y la construcción de un modelo de simulación para estimar de manera cuantitativa los efectos que tendrá la construcción y operación de las tres líneas de transmisión sobre los usos del suelo y la riqueza de especies, para ello se utilizó el programa Stella Research Versión 7.0.3 para Windows (Stella Research High Performances Systems, 2001), esto con la finalidad de evaluar si la introducción de los proyectos afectará significativamente al sistema ambiental (Fig. 2).

VI. Identificación de los Factores y Componentes de las Unidades Ambientales.

Se identificaron los Factores que componen cada Subsistema y sus respectivos componentes ambientales (Tabla 2).

VII. Análisis de Alternativas.

Para evaluar las diferencias entre las alternativas de trayectoria presentadas para las líneas que integran el grupo de proyectos, se utilizaron los datos recaba-

dos para factores del Subsistema Biótico (fauna y flora), y establecer la comparación entre los sistemas ambientales que ocupan dichas alternativas. Esta comparativa se realizó mediante la medida de similitud simple: coeficiente de similitud de Sørensen (Ss) (10).

$$Ss = \frac{2a}{2a + b + c}$$

donde:

Ss = coeficiente de similitud de Sørensen, y

a + b + c = matriz de presencias y ausencias:

		MUESTRA A	
		No. de especies presentes	No. de especies ausentes
MUESTRA B	No. de especies presentes	(a) Número de especies en el sitio a y sitio b	(b) Número de especies en el sitio b pero no en el sitio a
	No. de especies ausentes	(c) Número de especies en el sitio a pero no en el sitio b	(d) Número de especies ausentes en ambos sitios

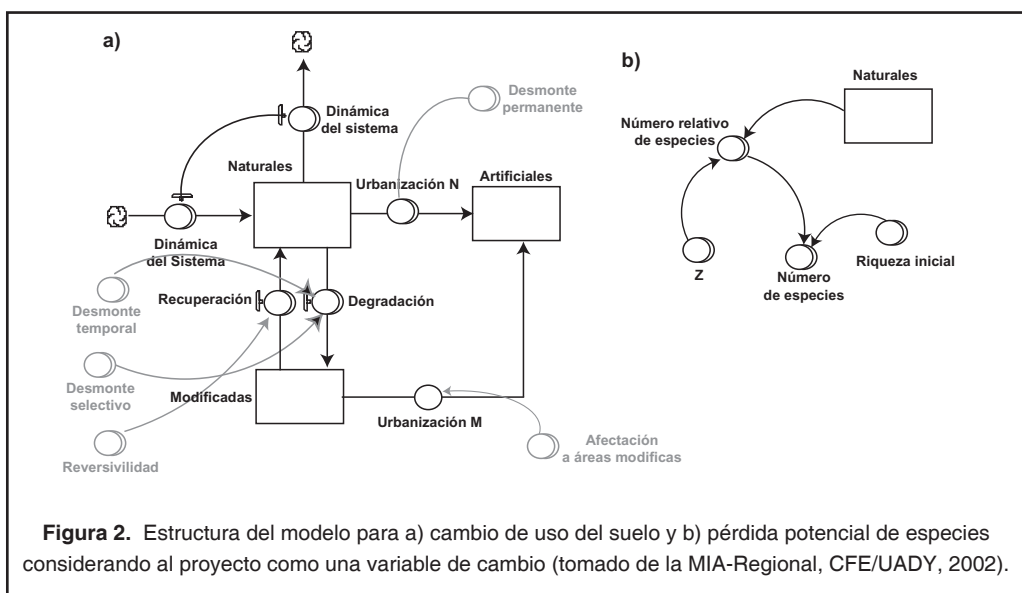


Figura 2. Estructura del modelo para a) cambio de uso del suelo y b) pérdida potencial de especies considerando al proyecto como una variable de cambio (tomado de la MIA-Regional, CFE/UADY, 2002).

Tabla 2. Factores y componentes de los Subsistemas Ambientales identificados dentro del área de Influencia de la construcción, operación y mantenimiento del grupo de proyectos L.T. Escárcega Potencia – Sabancuy II, L.T. Sabancuy II – Sabancuy y L.T. Sabancuy II Entronque Champotón – Sabancuy.

Subsistema	Factor Ambiental		Componentes Ambientales	
Medio físico	Aire		1. Calidad	
			2. Ruido	
	Suelo		3. Características fisicoquímicas	
			4. Características fisicoquímicas de la laguna	
	Hidrología		5. Características fisicoquímicas de la sabana	
			6. Productividad de la laguna y de la sabana	
Medio biótico	Vegetación (Selva mediana subperennifolia, sabana, tular y manglar)			7. Distribución
				8. Abundancia
				9. Cobertura Vegetal
				10. Estrato arbustivo
				11. Estrato arbóreo
				12. Especies en estatus
				13. Especies de interés comercial
	Fauna terrestre en selva mediana subperennifolia	Anfibios y reptiles		14. Riqueza
				15. Abundancia
				16. Especies en estatus
		Aves		17. Riqueza
				18. Abundancia
				19. Especies en estatus
		Mamíferos		20. Riqueza
				21. Abundancia
				22. Especies en estatus
	Fauna terrestre en la sabana	Anfibios y reptiles		24. Riqueza
				25. Abundancia
				26. Especies en estatus
		Aves		27. Riqueza
				28. Abundancia
				29. Especies en estatus
		Mamíferos		30. Riqueza
				31. Abundancia
			32. Especies en estatus	

Tabla 2 (Continuación). Factores y componentes de los Subsistemas Ambientales identificados dentro del área de Influencia de la construcción, operación y mantenimiento del grupo de proyectos L.T. Escárcega Potencia – Sabancuy II, L.T. Sabancuy II – Sabancuy y L.T. Sabancuy II Entronque Champotón – Sabancuy.

Subsistema	Factor Ambiental		Componentes Ambientales
Medio biótico	Fauna terrestre en el tular	Anfibios y reptiles	33. Riqueza
			34. Abundancia
			35. Especies en estatus
		Aves	36. Riqueza
			37. Abundancia
			38. Especies en estatus
		Mamíferos	39. Riqueza
			40. Abundancia
			41. Especies en estatus
	Fauna terrestre del manglar	Anfibios y reptiles	42. Riqueza
			43. Abundancia
			44. Especies en estatus
		Aves	45. Riqueza
			46. Abundancia
			47. Especies en estatus
		Mamíferos	48. Riqueza
			49. Abundancia
			50. Especies en estatus
	Fauna acuática de la laguna (incluye el manglar)	Necton	51.- Distribución
			52.- Abundancia
		Bentos	53.- Distribución
			54.- Abundancia
	Fauna acuática de la sabana	Necton	55.- Distribución
			56.- Abundancia
		Bentos	57.- Distribución
			58.- Abundancia
Medio Socioeconómico	Social		59.- Cambios demográficos
			60.- Calidad de vida
			61.- Paisaje
	Económico		62.- Actividades agropecuarias y forestales
			63.- Economía local
			64.- Economía regional

VIII. Identificación de las interacciones Actividad Constructiva–Componente Ambiental

Para la identificación de la Interrelación Actividad Constructiva – Componente Ambiental elaboró una matriz de Causa – Efecto, de las actividades del proyecto (columnas) con los diferentes componentes ambientales (renglones).

Con esa base se describieron las interacciones detectadas en el cribado de la matriz.

IX. Cálculo del valor de impacto ambiental para cada interrelación detectada

Para cada interacción se asignó un valor comprendido dentro del rango de 1 a 9 a los atributos básicos y a los atributos complementarios se les asignó un rango de 0 a 9 (ya que estos pueden no existir en alguna interrelación).

Cuando dos actividades actúan sobre el mismo componente ambiental y la misma superficie, pero en diferente tiempo de ejecución, la evaluación del impacto se realizó en la actividad que se ejecuta en primer término (a excepción que la segunda actividad provoque un impacto significativamente mayor que la primera).

La evaluación del impacto considera la asignación de un valor a cada uno de los atributos de cada interacción identificada, valor que corresponden al efecto de una actividad sobre el factor o componente ambiental. Para la asignación de valores se considera la cantidad y calidad de información que soporte la predicción, la probabilidad de ocurrencia del impacto, la incertidumbre de la predicción y la relación entre el impacto y los estándares que puedan existir en normas ambientales. Una vez asignados los valores a cada atributo del impacto, se obtiene el valor (significancia) parcial del impacto identificado en la interacción Actividad Constructiva–Componente ambiental.

La escala usada para asignar el valor a cada uno de los criterios (básicos y complementarios) fue la siguiente: 0 Nulo (solo en atributos complementarios); 1 Nulo a Muy Bajo; 2 Muy Bajo; 3 Bajo; 4 Bajo a Moderado; 5 Moderado; 6 Moderado a Alto; 7 Alto; 8 Muy Alto; 9 Extremadamente alto

La asignación de valores se realizó con base en la información generada para cada uno de los subsistemas, la construcción de los escenarios de sistema de cada unidad ambiental; a continuación se procedió a obtener la significancia parcial del impacto identificado en la interacción, para lo cual los efectos de la variable *j* (actividad) sobre la variable *i* (componente ambiental) se pueden describir a partir de los criterios de significancia, basados en el cálculo de dos índices:

$$\text{Índice Básico (MED}ij) = 1/27(**) (Mij + Eij + Dij)^2$$

$$\text{Índice Complementario (SAC}ij) = 1/27 (Sij + Aij + Cij)$$

Usando los valores de los Índices Básico y Complementario, se calcula la Significancia Parcial (*lij*) del impacto identificado en cada interacción, el cual está dado por la combinación de ambos criterios.

$$(lij) = (MEDij)(1-SACij)$$

En ausencia de criterios complementarios, el impacto queda definido únicamente por los criterios básicos, pero en el caso de estar presentes, la importancia del impacto se incrementa. Por último, el valor de Significancia Final (*Sij*) del impacto identificado en cada interacción consideró el valor asignado a la medida de mitigación (*Tij*) propuesta para el mismo:

$$Sij = lij (1 - 1/9 (Tij))$$

Los valores de Significancia Final (*Sij*) obtenidos para cada uno de los impactos se agruparon en rangos que permiten visualizar el porcentaje de impactos que resultan significativos en la ejecución de las actividades de construcción, operación y man-

²Valor máximo que puede ser asignado

tenimiento del grupo de líneas de transmisión.

$0.00 < (Sij) < 0.25$ = Significancia Baja (B)

$0.26 < (Sij) < 0.50$ = Significancia Moderada (M)

$0.51 < (Sij) < 0.75$ = Significancia Alta (A)

$0.76 < (Sij) < 1.00$ = Significancia Muy Alta (MA)

Una vez obtenido este valor, se identifican los impactos negativos con los valores más altos de significancia parcial (impactos significativos), para los cuales se deberán proponer las medidas de mitigación que se consideren pertinentes para reducirlos al mínimo (desde su fase de planeación) o bien, la selección de la alternativa del proyecto que provoque el menor deterioro ambiental posible.

Por último, el valor final del impacto identificado en una interrelación será la suma de los valores de los atributos básicos, acumulada a la suma de los atributos complementarios, menos el valor asignado a la Mitigación.

X. Propuesta de medidas de prevención, mitigación y compensación.

La identificación de los impactos, permite establecer las condiciones en que debe realizarse la construcción, operación y mantenimiento de los mismos, de tal forma que se prevenga la mayor cantidad de los impactos identificados, establecer las medidas de mitigación para la reducción de la extensión y magnitud de los mismos, así como realizar la compensación por los impactos que efectivamente se realicen durante la construcción.

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

En la evaluación del impacto ambiental del grupo de proyectos se identificaron 335 interacciones, de las cuales 140 generan un impacto bajo (139 negativos y 1 positivo), 172 generarán un impacto moderado (159 negativos y 13 positivos), 22 un impacto alto (20 negativos y 2 positivas) y por último un impacto 1 muy alto que es positivo y corresponde al impacto de la operación de las líneas en la economía regional, de acuerdo a esto, el 48% de los impactos tiene una significancia moderada negativa y el 41% baja negativa. (8). (Figs. 3 y 4)

De las 335 interacciones identificadas 172 corresponden a la fauna terrestre en los cuatro tipos de vegetación (Fig. 5) y los impactos evaluados, todos en sentido negativo, reflejan que los grupos más afectados por la construcción

de las Líneas de Transmisión, serán los anfibios y las aves, ya que sólo éstos presentan impactos altos, el primero con el 29% de sus impactos y el segundo con el 15 %; Sin embargo la mayoría de los impactos en el grupo de las aves son moderados con el 66% y para los anfibios son impactos bajos con el 57% (Fig. 6.)

De igual forma, los mamíferos presentan en particular un mayor número de impactos moderados con el 61%, por lo que se considera que los grupos más afectados serán las aves y los mamíferos, ya que para los reptiles el 98 % de sus impactos son bajos. (Fig. 7)

La Descripción de los Impactos Ambientales significativos del proyecto se incluye como anexo del presente trabajo.

MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y COMPENSACIÓN DE IMPACTOS SIGNIFICATIVOS DETECTADOS EN LA ELABORACIÓN DE LA MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

Para los impactos ambientales identificados para cada unidad ambiental se propusieron medidas destinadas a prevenir su ocurrencia, reducir su intensidad, extensión y/o magnitud, o en su caso, a compensar el impacto residual del proyecto.

La mayoría de estas medidas se integraron al proceso constructivo del grupo de proyectos, para que sean realizadas por el mismo constructor. Las medidas de mitigación y prevención cuyo tiempo de ejecución excede al de la construcción de los proyectos, son realizados por la

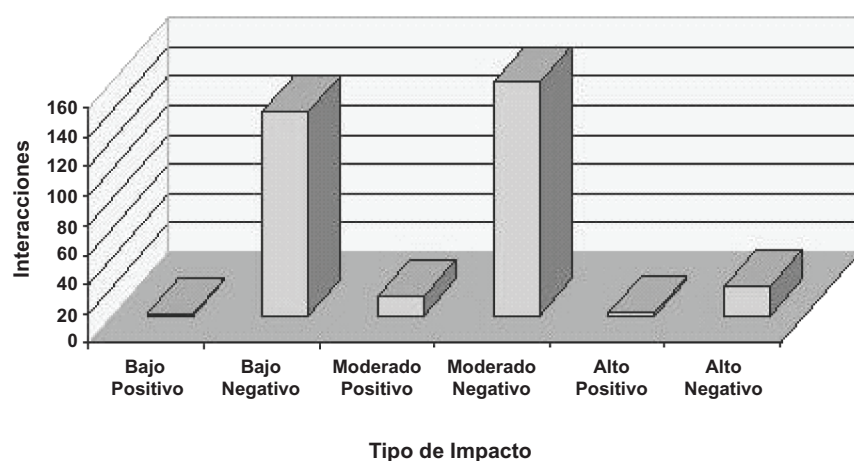


Figura 3. Distribución de los Impactos identificados para el grupo de proyectos L.T. Escárcega Potencia – Sabancuy II, L.T. Sabancuy II – Sabancuy y L.T. Sabancuy II Entronque Champotón – Sabancuy, según su sentido y valor de significancia.

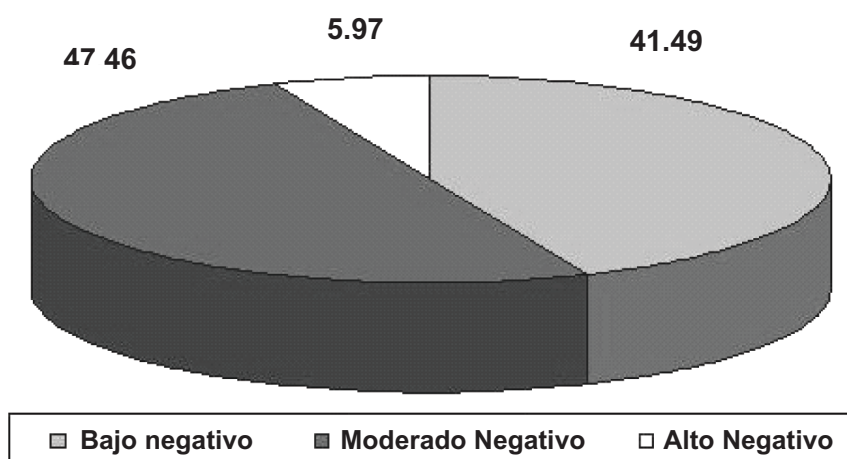


Figura 4. Porcentaje de la significancia de impactos ambientales negativos obtenidos en la evaluación del grupo de proyectos L.T. Escárcega Potencia – Sabancuy II, L.T. Sabancuy II – Sabancuy y L.T. Sabancuy II Entronque Champotón – Sabancuy.

CFE, directamente o a través de terceros. El resumen de dichas medidas se incluye como anexo del presente.

Es oportuno mencionar que con base en la información presentada por la CFE a la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, esta instancia emitió la Autorización en Materia de Impacto Ambiental en mayo de 2004, por lo que la aplicación de la Guía de

Elaboración de Manifestaciones de Impacto Ambiental Específica para Proyectos de Construcción, Operación y Mantenimiento de Líneas de Transmisión de Energía Eléctrica es un mecanismo probado en el proceso de dicha autorización.

El mecanismo de verificación del cumplimiento de las medidas de prevención, mitigación y compensación de los impactos ambientales, así

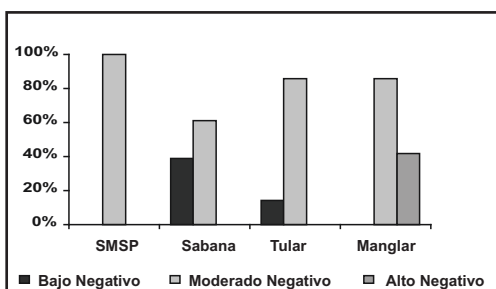


Figura 5. Distribución porcentual del número de impactos producidos sobre los diferentes tipos de vegetación por la construcción del Grupo de Proyectos L.T. Escárcega Potencia – Sabancuy II, L.T. Sabancuy II – Sabancuy y L.T. Sabancuy II Entronque Champotón – Sabancuy (Tomado de la MIA-Regional, CFE/UADY, 2002).

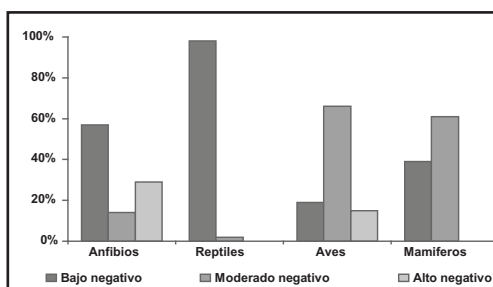


Figura 6. Distribución porcentual del número de impactos producidos sobre la fauna terrestre en la construcción del Grupo de Proyectos L.T. Escárcega Potencia – Sabancuy II, L.T. Sabancuy II – Sabancuy y L.T. Sabancuy II Entronque Champotón – Sabancuy (Tomado de la MIA-Regional, CFE/UADY, 2002).

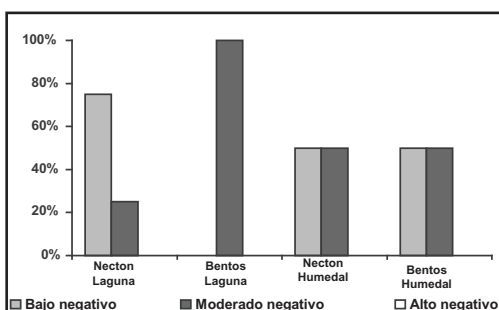


Figura 7. Distribución porcentual del número de impactos producidos sobre la fauna acuática por la construcción Grupo de Proyectos L.T. Escárcega Potencia – Sabancuy II, L.T. Sabancuy II – Sabancuy y L.T. Sabancuy II Entronque Champotón – Sabancuy (Tomado de la MIA-Regional, CFE/UADY, 2002).

como los indicadores correspondientes se integraron a un Programa de Vigilancia Ambiental que cuenta con la validación de la misma autoridad en materia de impacto ambiental.

En forma particular se debe mencionar que las medidas de mitigación y compensación que requieren de especialistas en algún grupo florístico o faunístico para su ejecución con el nivel de éxito esperado, se realiza a través de prestadores de servicios o instituciones de reconocida experiencia en la materia. A este respecto y para la ejecución de medidas de mitigación y compensación establecidos para la ejecución del grupo de proyectos objeto de la evaluación de impacto ambiental descrita en

el presente trabajo, se han firmado convenios con la Universidad Autónoma de Campeche para realizar un Programas de Reforestación con especies de manglar dentro del “Área de Protección de Fauna y Flora Silvestre Laguna de Términos” y con la Universidad Veracruzana para realizar un programa de identificación y traslocación de ejemplares de mono aullador (*Alouatta pigra*) que queden aislados en parches de vegetación que genere la construcción de los proyectos.

De igual manera y en atención a los establecidos en la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, la propia Autorización en Materia de Impacto Ambiental y la Autorización para el Cambio de Uso del Suelo en Terrenos Forestales, se hacen gestiones de colaboración para que la Comisión Nacional Forestal realice acciones de Reforestación y Conservación de suelos en el estado de Campeche y preferentemente en la zona donde se ubica el grupo de proyectos, en una proporción aproximada de dos hectáreas de compensación por cada hectárea afectada.

Para evaluar el éxito de acciones de conservación de fauna silvestre que se realizan durante la construcción, la CFE, a través de la UADY, realizará el monitoreo de los mismos parámetros evaluados para establecer la descripción del estado de este grupo de organismos que se describe en la caracterización del Subsistema Biótico (fauna terrestre) incluida en la MIA elaborada para este grupo de proyectos.

El monitoreo se realiza durante la ejecución de las actividades de construcción y posterior al término de la misma. De esta manera, tomando el estado inicial (descrito en la MIA) y el que se obtiene del monitoreo durante las actividades de construcción, se podrá presentar una aproximación del efecto de esas actividades en la distribución de la fauna del área de estudio; estos mismos datos, comparados con los que se obtengan después de terminada la construcción permitirán evaluar si la inclusión de la línea de transmisión en el Sistema Ambiental

tiene algún efecto sobre los componentes ambientales relacionados con la fauna silvestre.

De esta manera, se proveerá de información a la autoridad emisora de las autorizaciones en materia de impacto ambiental y se retroalimentará a la misma CFE para las futuras propuestas de acciones de conservación de este grupo durante el desarrollo de proyectos de construcción de líneas de transmisión de energía eléctrica.

CONCLUSIONES

La prestación del servicio público de energía eléctrica a la población en general es una acción prioritaria para asegurar la calidad de vida de la población, ya que incide directa e indirectamente en todos los aspectos de vida cotidiana, por lo que el desarrollo de proyectos para la incorporación de la infraestructura necesaria para otorgarlo es de vital importancia; pero no por esa razón debe perderse de vista la necesidad de la conservar el medio ambiente en donde se realizan dichos proyectos. Así, es necesario encontrar un punto en el cual el costo beneficio sea equitativo debido a la igualdad en la relevancia de uno y otro aspecto.

En este sentido, la aplicación de la metodología planteada en la Guía de Elaboración de Manifestaciones de Impacto Ambiental Específica para Proyectos de Construcción, Operación y Mantenimiento de Líneas de Transmisión de Energía Eléctrica es una herramienta eficaz, no solo en la gestión de la Autorización en Materia de Impacto Ambiental que por obligación se debe obtener para el desarrollo de este tipo de proyectos, sino también para establecer las condiciones en que dichos proyectos deben ser realizados.

Por otra parte, la intervención de instituciones académicas o de investigación en la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental para los proyectos de construcción, operación y mantenimiento de líneas de transmisión es un mecanismo que se utiliza como estrategia para asegurar que la evaluación del impacto ambiental se realizará con la participación de especialistas en cada uno de los aspectos que deben considerarse en la elaboración del mismo, lo

cual brinda a la autoridad, a la sociedad y a la propia CFE la certeza de la imparcialidad en la estimación de los impactos ambientales que podría generar el proyecto, así como el establecimiento de las medidas de prevención, mitigación y compensación que sean técnicamente viables y al mismo tiempo oportunas en la reducción del posible impacto ambiental.

De esta manera, se ejecutan proyectos con un balance adecuado entre la importancia que reviste prestar el servicio de suministro de energía eléctrica a la población y la que tiene la conservación de los recursos naturales presentes en las regiones donde se realizarán los proyectos de construcción de infraestructura necesaria para prestar dicho servicio.

Sin embargo, no debe perderse de vista que tan solo la adecuada evaluación del impacto ambiental no asegura la ejecución ambientalmente amigable del proyecto en cuestión, sino que deben establecerse los mecanismos y procedimientos que aseguren que las medidas de prevención, mitigación y compensación que se planteen en los estudios se realicen en condiciones tales que aseguren el éxito esperado para cada una de ellas, lo cual se traducirá en la sostenibilidad con que se desea que el proyecto sea llevado a cabo.

Entre estos mecanismos para vigilar la ejecución de las actividades y acciones a realizar como medidas de prevención, mitigación y compensación, se encuentra el seguimiento y vigilancia que la CFE realiza durante todo el proceso constructivo, para asegurar que las mismas se lleven a efecto, en forma puntual y

oportuna. Igualmente importante es la realización de monitoreos de los efectos que sobre el sistema ambiental tienen la ejecución de las medidas de prevención, mitigación y compensación, mediante el uso de indicadores, los

cuales permiten evaluar el éxito que se obtenga en cada una de ellas, de manera que retroalimente el proceso de evaluación de impacto ambiental.

AGRADECIMIENTOS

Es necesario hacer el reconocimiento de los participantes en la elaboración de la MIA a la que se hace referencia en el presente trabajo: Biol. Sachiko Chiriguchi Murayama, en el manejo de los Sistemas de Información Geográfica, y el M. en C. Octavio Pérez Maqueo, en la construcción de los Modelos del Sistema Ambiental y predicción de escenarios.

Las opiniones presentadas en este trabajo son responsabilidad exclusiva de los autores, y no necesariamente representa la posición u opinión de las instituciones involucradas en la realización del grupo de proyectos que se menciona en su contenido y a las que se hacen referencia en el mismo.

LITERATURA CITADA

Brower, J., y J. Zar, 1977. Field and Laboratory Methods for General Ecology. Iowa. W.M.C. Brown Co. Pub. 195 p.

Comisión Federal de Electricidad (CFE), 2002. Guía de Elaboración de Manifestaciones de Impacto Ambiental Específica para Proyectos de Construcción, Operación y Mantenimiento de Líneas de Transmisión de Energía Eléctrica (Documento Interno). México.

Comisión Federal de Electricidad (CFE) / Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), 2003. Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Regional para el grupo de proyectos L.T. Escárcega Potencia – Sabancuy II, L.T. Sabancuy II – Sabancuy y L.T. Sabancuy II Entronque Champotón – Sabancuy. Mérida, Yucatán, México.

Diario Oficial de la Federación (DOF), 2000. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. México. 30/05/2000.

Diario Oficial de la Federación (DOF), 2001. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. México. 07/12/2001.

Espinoza, G., 2001. Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental. Banco Interamericano de Desarrollo/ Centro de Estudios para el Desarrollo. Chile

Gallipoliti, V. A., 2001. Efectos Ambientales Asociados a Líneas de Transporte Eléctrico. Tesis de Graduación para la maestría en Ecología y Gestión Ambiental (Extracto). Facultad de Arquitectura y Urbanismo – Ciencias Exactas Naturales y Agrimensura. Argentina.

Instituto Nacional de Ecología, 2000. La Evaluación del Impacto Ambiental, Logros y retos para el desarrollo Sustentable 1995 – 2000. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México.

Saavedra de Madrid, C., 2002. Construcción de Obras Viales, Su impacto Sobre el Ambiente. Diario El Universal de la Universidad Tecnológica de Panamá. Año 3, Publicación 07. Panamá.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2002. Guías para la presentación de la manifestación de impacto ambiental del sector del Sector Eléctrico (Modalidad Particular y Modalidad Regional). México.

ANEXO

**DESCRIPCIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS
DEL GRUPO DE PROYECTOS L.T. ESCÁRCEGA POTENCIA-SANBANCUY II,
L.T. SAN BANCUY-SABANCUY Y L.T. SABANCUY II ENTRONQUE
CHAMPOTÓN-SABANCUY**

De manera genérica se concluye que la mayoría de los impactos identificados serán de carácter acumulativo, debido a la presencia de líneas de transmisión en operación, en la misma zona de influencia del grupo de proyectos. Los impactos mencionados son solo los significativos, para los impactos de moderados a bajos y se considera la realización de medidas de prevención que no se describen en este documento.

**Impactos Significativos
al Subsistema Físico (terrestre)**

La mayor parte de los impactos se consideraron de bajos a moderados, la calidad del aire se verá afectada principalmente por las excavaciones y/o barrenación y anclaje y por el desmonte a matarrasa sobre todo si esta actividad se realiza durante la época seca del año. Se consideró que la contratación de personal puede afectar a la calidad del aire y del suelo por la defecación al aire libre. También es factible la contaminación del suelo por la disposición inadecuada de los residuos sólidos generados durante las actividades constructivas.

El ruido se generará principalmente por el uso de la maquinaria pesada, este impacto se consideró de carácter puntual y temporal.

El suelo también podría verse afectado por el derrames accidentales de aceites y grasas provenientes de la maquinaria usada, así como por la compactación que la misma origina a su paso.

Como consecuencia del desmonte y tala selectiva se podrían alterar puntualmente las características del suelo, principalmente por el cambio de la cobertura vegetal.

**Impactos Significativos
al Subsistema Físico (acuático)**

El Estero de Sabancuy se ve afectado por la instalación de la cimentación (a base de pilotes) que se construirán para la instalación de las seis estructuras que se requieren dentro del ese cuerpo de agua para las L.T's. Sabancuy II - Sabancuy y Sabancuy II Entronque Champotón - Sabancuy. Esta actividad provocará resuspensión de sedimentos, con el consecuente efecto en las variables físicas de la columna de agua (incremento de sólidos en suspensión, reducción de la transparencia, probable reducción del oxígeno disuelto y del pH, sin embargo este impacto será de escasa duración, intensidad magnitud.

El uso de maquinaria dentro de la laguna y el transporte de materiales, equipo y personal, mediante lanchas con motores fuera de borda, durante la instalación de las líneas L.T. Sabancuy II - Sabancuy y L.T. Sabancuy II Entronque Champotón - Sabancuy, ocasionará resuspensión del sedimento que provocará una turbidez temporal y tendrá un efecto directo en la reducción de la cantidad de luz que llega a la columna, y con ello en la productividad, sin embargo este impacto es moderado a nivel local pero de baja extensión y duración, debido al efecto de la dilución y las corrientes que dispersan los materiales resuspendidos.

El uso de equipos de combustión interna genera el riesgo de vertimiento accidental de hidrocarburos al cuerpo de agua, siendo los organismos más expuestos a este impacto los filtradores (bivalvos de los géneros *Anomalocardia*, *Tagelus* y *Laevicardium*).

El tipo de cimentaciones que construirán para la instalación de las estructuras dentro del cuerpo de agua no se interfiere con hidrodinámica.

mica del estero; sin embargo, como prevención a este impacto, no se realizará la instalación de estructuras en el canal de mareas.

Impactos Significativos al Subsistema Biótico (flora)

Unidad Ambiental Selva mediana subperennifolia

Los impactos significativos identificados para esta Unidad Ambiental se originan en la etapa de preparación del sitio de construcción, particularmente las que se refieren al desmonte a matarrasa (remoción de toda la capa vegetal) en las áreas de instalación de estructuras y camino sobre el derecho de vía, debido a que esta actividad afecta los diferentes estratos de la vegetación causando la pérdida de individuos maduros (en etapa reproductiva), individuos en reclutamiento y dificulta el establecimiento de nuevos organismos (banco de germoplasma) que contribuyan a la regeneración de la zona afectada. Esta actividad también ocasiona la fragmentación del hábitat y afecta la distribución espacial de las especies y su cobertura.

Esta actividad repercute en la acumulación del impacto cuando se agrega a la pérdida de cubierta vegetal originada por las actividades agropecuarias que se llevan a cabo en esta zona.

Este incide tanto en el estrato arbóreo como en el arbustivo, el cual se ve afectado por la pérdida de reservorios de semilla de los organismos derribados, el cual se suma a las pérdidas ocasionadas por causas naturales o antropogénicas. Un impacto ocasionado por la misma actividad es la afectación a especies que se encuentran en alguna categoría de protección.

La actividad de desmonte (ya sea permanente o temporal) también involucra una afectación al medio socioeconómico, debido a la remoción de los volúmenes forestales (madera aprovechable) que se retirará del derecho de vía del proyecto. La mayor significancia de estos impactos se identifica en dos tramos de la trayectoria de la L.T. Escárcega Potencia - Sabancuy

II (en conjunto, 1,235.6 metros) que se caracterizan por tener un buen estado de conservación y donde se registró una gran riqueza de especies de fauna. Los tramos referidos son: los km 7+581.34 al km 8+616.94 y en el km 16+735.61 al km 16+935.61 tomando como inicio la S.E de Escárcega Potencia.

Unidad Ambiental Sabana

Los impactos significativos en esta unidad ambiental se consideran de bajos a moderados, debido a que este ecosistema se encuentra altamente perturbado por las actividades ganaderas, la actividad que tendrá un mayor efecto es el desmonte a matarrasa (remoción de toda la capa vegetal) en las áreas de instalación de estructuras y camino sobre el derecho de vía. Los impactos ambientales son similares a los mencionados en la Unidad Ambiental "Selva Mediana Subperennifolia", difiriendo en que el impacto de mayor extensión es sobre el estrato arbustivo que es el más abundante en esta unidad ambiental y debido a que se extiende en 9,802.52 m de la trayectoria de la LT Escárcega Potencia – Sabancuy

Unidad Ambiental Tular

Esta unidad tiene una distribución limitada dentro del área de influencia del proyecto, ya que se encuentra en manchones inmersos en la vegetación de Sabana. Al igual que en las unidades ambientales anteriores, el impacto mayor se origina por la pérdida de vegetación durante la etapa de preparación del sitio. Debido a que esta zona es de carácter inundable, se encuentran especies vegetales (*Conocarpus erecta*) que están consideradas en la categoría de protección especial en la NOM-059-SEMAR-NAT-2001, la alta humedad también favorece el establecimiento de numerosas epífitas, siendo las más afectadas las bromelias (*Tillandsia streptophylla*, *T. Recurvata* y *T. Polycostachia*)

Unidad Ambiental Manglar

Esta unidad se distribuye en las áreas inmediatas a ambos lados de la laguna de Sabancuy y se verá afectado por el desmonte a matarrasa y el mantenimiento del derecho de vía de las tres líneas de transmisión, como se menciona

a continuación. Esto afectará de manera significativa la cobertura de las cuatro especies de manglar (81.3 cm) presentes en el área del proyecto (*Conocarpus erecta*, *Avicenia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Rhizophora mangle*),

Esta unidad ambiental, al igual que las anteriores recibirá el mayor impacto en la etapa de preparación del sitio, sin embargo, el impacto se considera de mayor magnitud ya que la modificación de la cobertura afecta toda la dinámica del sistema, debido a la compleja red de interacciones biológicas existentes en los manglares y las especiales condiciones de crecimiento (inundaciones periódicas por efectos de las mareas) y la instalación del proyecto podría cambiar los flujos y reflujos del agua, provocando una eventual sedimentación que bloquee los sistemas respiratorios (neumatóforos) de los manglares, redundando en un impacto indirecto (pérdida de cobertura en áreas fuera de las ocupadas por los proyectos).

Por otra parte, la pérdida del dosel de vegetación expone al suelo, favoreciendo la desecación por evaporación o la pérdida del suelo por erosión hídrica.

Impactos Significativos al Subsistema Biótico (Fauna Terrestre)

Con base en la riqueza de especies de fauna registrada en el área del proyecto, se prevé que el mayor impacto sobre las poblaciones de vertebrados se presente en las unidades ambientales: Sabana, Manglar y Tular.

En la Unidad Ambiental Selva Mediana Subperennifolia, se considera que el impacto es moderado ya que a pesar de que este tipo de vegetación es importante como sitio de alimentación y refugio de muchas especies de fauna, existe una considerable fragmentación del hábitat, el cual resulta de la remoción de la vegetación para dedicar esas superficies a actividades agropecuarias.

La principal afectación a la fauna será por la modificación de su hábitat que se genera por la eliminación de la cobertura vegetal y por el ruido que se generará durante la etapa constructi-

va, ocasionando su alejamiento de los cuerpos de agua temporales existentes en la zona del proyecto, mismos que son de particular importancia durante la época seca.

El uso de maquinaria pesada durante las actividades de desmonte y la actividad de poda selectiva causan impacto significativo en las poblaciones de especies pequeñas y con movimiento restringido (anfibios, reptiles y roedores), esto por la pérdida y disminución de sitios adecuados de reproducción, de ubicación de madrigueras y afectación directa de ejemplares.

Las especies presentes en el área del proyecto, principalmente mamíferos y aves de talla mayor (en su mayoría consideradas en la NOM-059-SEMARNAT-2001) serán afectadas por la disminución de las áreas de alimentación y de percha que se derivan de la eliminación de grandes árboles dentro del derecho de vía del grupo de proyectos.

Un impacto ambiental intrínseco a la instalación de líneas de transmisión es la afectación a las aves, como resultado de colisiones con los cables de guarda, en el caso del grupo de proyectos, la significancia de este impacto se incrementa por su localización en una zona costera (aves acuáticas residentes y migratorias), situación que se evidencia por la existencia de un Área de Interés para la Conservación de las Aves (www.conabio.gob.mx) y que se suma al efecto la línea de transmisión en operación que se encuentra en la misma área que el grupo de proyectos; este impacto es uno de los impactos significativos detectados en la Unidad Ambiental "Tular" sitio en donde existe una gran diversidad de especies de aves, tanto migratorias como residentes que la utilizan como zona de alimentación durante la época seca.

Impactos Significativos al Subsistema Biótico (Fauna Acuática)

El impacto a esta fracción del Subsistema solo se dará en la construcción operación y mantenimiento de la L.T. Sabancuy II – Sabancuy y la L.T. Sabancuy II Entronque Champotón – Sabancuy, que son las que requerirán la

instalación de estructuras dentro del estero Sabancuy.

La actividad que causara el mayor impacto es el pilotaje dentro del cuerpo de agua del estero, debido a la resuspensión de partículas que ocasionará la perforación, esto es además de la destrucción directa de la fauna bentónica en los sitios de colocación de cada una las estructuras. Este impacto, aunque es de carácter permanente y afecta una cantidad considerable de organismos (estimado de 1,019 org/m²), no tiene una gran extensión y resulta irrelevante (6 estructuras en áreas de 8 x 8 metros) en comparación con la superficie del fondo del estero. Se identificó que entre los organismos (invertebrados) que se afectarán se encuentran los siguientes géneros: *Cerithidea*, *Strombus*, *Bulla*, *Regula*, *Melongena* (Mollusca:Gasteropoda), *Laevicardium*, *Lucina*, *Macoma*, *Anomalocardia* (Mollusca:Bivalvia), *Luidia*, *Ophionereis* y *Lytechinus* (Echinoderma)

El impacto que la construcción, operación y mantenimiento del grupo d proyectos sobre el necton será de baja intensidad por la capacidad de desplazamiento de los organismos que componen este grupo y de poca duración, ya que solo se suscitara durante la etapa de construcción de la cimentación (pilotes) de las estructuras de las líneas de transmisión y una vez finalizada la actividad se espera que se restablezca la distribución de los peces, entre los que se encuentran: *Cynoscion nebulosus* (corvina), *Centropomus undecimalis* (Robalo) *Mugil cephalus* (liseta, lisa) *Harengula jaguana* (sardineta jaguana, sardina escamuda), *Lutjanus griseus* (pargo mulato), *Archosargus rhomboidalis* (sargo, posta), *Selene vomer* (papelillo) y *Elops saurus*.

Impactos Significativos

al Subsistema Socioeconómico

Actividades Agropecuaria y Forestal

El impacto ocasionado a las actividades agropecuaria y forestal deriva de la creación del derecho de vía para la construcción, instalación y mantenimiento del grupo de proyectos, superficie que si bien sigue siendo propiedad de los

legales poseedores de los predios en la que se establecen, se establecen restricciones en cuanto a la altura de la vegetación (silvestre y cultivos) que puede mantenerse debajo de los cables conductores, por motivos de seguridad operacional de la instalación, por esta razón, el cambio de uso de suelo de áreas agropecuarias y forestales a la instalación de infraestructura eléctrica disminuye la superficie dedicada a estas actividades y en consecuencia se considera un impacto negativo moderado.

Entre los propietarios de predios por los que cruza las trayectorias de las líneas de transmisión se encuentran propietarios privados y ejidatarios, los cuales recibirán un beneficio económico en retribución a la instalación de la línea de transmisión en sus propiedades.

Economía Local

Las actividades de suscripción de los contratos de servidumbre de paso con los propietarios de predios por los que cruza la trayectoria, la generación de empleos no especializados, la adquisición de materiales de construcción y la contratación de los servicios necesarios para la construcción del grupo de proyectos generará un impacto positivo en la economía local, pero este impacto será de poca duración (periodo de construcción del grupo de proyectos).

Economía Regional

La garantía en el suministro del servicio público de energía eléctrica en el sitio de consumo (Ciudad del Carmen) generará un evidente impacto positivo en la capacidad de desarrollo de empresas y la consecuente conservación y creación de fuentes de trabajo que ocasionen flujo de recursos económicos en la región.

La instalación del proyecto también incide en forma directa en la mejora de la calidad de vida de las poblaciones que dependen del suministro de energía en la isla de Ciudad del Carmen y a las zonas cuyo suministro depende directamente de las instalaciones de transformación ubicadas en la isla, al garantizarse la prestación actual y futura del servicio público de energía eléctrica, junto con los beneficios intrínse-

cos hacia la población, por lo que se considera un impacto con alto valor de significancia.

Cambios Demográficos

Dado que la cantidad de personal empleado en la construcción es reducido (estimado de 306), la mano de obra para trabajos que no requieren de personal calificado (cerca del 60% del personal requerido) será contratada en la misma zona donde se ubica el proyecto, con lo que no se generaran cambios significativos en la demografía de la zona de estudio.

Paisaje

El paisaje de la zona se verá afectado por la construcción y operación del grupo de proyectos; siendo la instalación permanente de

las estructuras y los cables conductores en áreas donde exista presencia de espectadores (carreteras, poblaciones) donde se suscita el mayor impacto.

La significancia de este impacto se considera particularmente alto en la zona donde se ubica en la Unidad Ambiental "Estero", debido reducción del valor paisajístico que ocasiona al cruzar el cuerpo de agua y al carácter acumulativo con el impacto causado por las líneas existentes

La calidad del paisaje también se ve disminuida en las zonas donde es factible para los espectadores observar la remoción de vegetación que se realiza para la construcción del proyecto, siendo este impacto mayor en las áreas donde se removió vegetación de selva mediana subperennifolia y en las áreas de manglar.

Saavedra Vázquez, T.E., 2005. Normatividad en zonas costeras, p. 629-664. In: 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, 2da Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.

Normatividad en Zonas Costeras

Teresa E. Saavedra Vázquez

Delegación Federal SEMARNAT-Veracruz

38

RESUMEN

En el presente trabajo se compilan las principales normas , acuerdos legislativos, protocolos y convenios tanto nacionales, regionales como internacionales que regulan las zonas costeras mexicanas, en especial las del Golfo de México para su desarrollo , la protección y conservación de sus recursos naturales y pesqueros; así como la de sus principales sistemas acuáticos. Su revisión se actualizo hasta el año del 2003.

ABSTRACT

The main national, regional and international norms, legislative agreements, protocols and laws for the regulation, protection and conservation of the mexican coastal zones, specially the coasts of the Gulf of México and its natural and fisheries resources as well as their main aquatic systems , are compiled and actualized up to 2003 in this paper.

LA PLANEACIÓN NACIONAL DEL DESARROLLO Y LAS POLÍTICAS SECTORIALES EN LA ZONA COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO

El Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2001-2006 (PNMARN) tiene como propósito principal satisfacer las expectativas de cambio de la población, construyendo una nueva política ambiental de Estado para México.

Por primera vez, el Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales incluye los programas operativos ambientales de sus órganos desconcentrados, a saber: la Comisión Nacional del Agua, la Comisión Nacional Forestal y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Los objetivos, líneas de acción estratégicas y metas de estos Programas son congruentes, complementarios y están relacionados entre sí y con los pilares básicos de la nueva política ambiental, mismos que se destacan a continuación:

1. Formular, conducir y evaluar la política nacional de medio ambiente y recursos naturales.
2. Promover y fomentar el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.
3. Promover y fomentar la responsabilidad ambiental de los sectores productivos.
4. Vigilar el cumplimiento de la legislación ambiental y de los recursos naturales, así como promover mecanismos voluntarios para su cumplimiento.
5. Desarrollar y fomentar la investigación en materia ambiental.
6. Promover y fomentar la cultura, la educación, la capacitación y la participación social en materia de medio ambiente y recursos naturales.
7. Crear mecanismos e instrumentos para informar oportunamente a la sociedad en materia ambiental y de recursos naturales.
8. Detener y revertir el deterioro del medio ambiente y de los recursos naturales.
9. Asegurar la integralidad y operacionalidad de los componentes de la Política Ambiental, en un marco de mejora institucional.

ASPECTOS JURÍDICO-ADMINISTRATIVOS DISPOSICIONES GENERALES BASES CONSTITUCIONALES

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en los párrafos cuarto y quinto del Artículo 27, establece que *“corresponde a la Nación el dominio directo de todos los recursos naturales de la plataforma continental y los zócalos submarinos de las islas”* y que, *“son propiedad de la Nación, las aguas de los mares territoriales, en la extensión y términos que fije el derecho internacional, así como las aguas marinas interiores”*.

El ejercicio de esta soberanía, se extiende a la Zona Económica Exclusiva situada fuera del mar territorial y adyacente a éste. La Zona Económica Exclusiva se extiende a 200 millas náuticas, medidas a partir de la línea de base desde la cual se mide el mar territorial.

Por otra parte, el Artículo 42 Constitucional, en su fracción V, menciona a las aguas de los mares territoriales y las marítimas interiores como parte integrante del territorio nacional.

Otras disposiciones constitucionales relacionadas con la protección ecológica de las zonas costeras son:

Art. 4. Toda persona tiene derecho a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar”

Art. 25. En su párrafo sexto establece el mandato al sector público de fomentar el uso de los recursos productivos, cuidando de su conservación y del medio ambiente.

Art. 73. La reciente adición a la fracción XXIX G de este artículo, le otorga facultades al Congreso de la Unión para expedir leyes que establezcan la concurrencia del Gobierno, de los estados y de los municipios en el ámbito de sus respectivas competencias, en materia de protección al ambiente y de preservación y restauración del equilibrio ecológico.

Art. 115. Los estados adoptarán, para su régimen interior, la forma de Gobierno republicano, representativo, popular, teniendo como base de su división territorial y de su organización política y administrativa, el municipio libre, conforme a las bases siguientes, V. los municipios, en los términos de las leyes federales y estatales relativas, estarán facultados para:

- Formular, aprobar y administrar la zonificación y planes de desarrollo urbano municipal;
- Participar en la creación y administración de sus reservas territoriales;
- Participar en la formulación de planes de desarrollo regional, los cuales deberán estar en concordancia con los planes generales de la materia. Cuando la Federación o los estados elaboren proyectos de desarrollo regional deberán asegurar la participación de los municipios;
- Autorizar, controlar y vigilar la utilización del suelo, en el ámbito de su competencia, en sus jurisdicciones territoriales;
- Participar en la creación y administración de zonas de reservas ecológicas y en la elaboración y aplicación de programas de ordenamiento en esta materia;
- Celebrar convenios para la administración y custodia de las zonas federales.

Agrega el mismo precepto que los municipios para tal efecto y de conformidad con los fines señalados en el párrafo tercero del Art. 27 de nuestra Carta Magna, expedirán los reglamentos que fuesen necesarios.

Disposiciones

Específicas por Materia

Protección de los Recursos Acuáticos

Este es uno de los rubros regulados por diversas disposiciones, como se detalla a continuación:

a) Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), promulgada el 28 de enero de 1988, y con un decreto de adiciones y reformas de diciembre de 1996, es la primera Ley marco de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en lo que se refiere a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como la protección al ambiente en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, que se señalan posteriormente.

De conformidad con LGEEPA, el aprovechamiento de los recursos naturales que comprenden los ecosistemas acuáticos debe realizarse de manera que no afecte su equilibrio ecológico. De esta forma, esta Ley marco estipula las normas sobre el control de la contaminación que se aplican a todos los ecosistemas acuáticos, incluidos los mares. De esta forma, la SEMARNAT de acuerdo al artículo 130 de la LGEEPA podrá autorizar vertidos de aguas residuales en aguas marinas, observando lo previsto en la Ley de Aguas Nacionales y de acuerdo con las normas oficiales mexicanas correspondientes.

Por otro lado, cuando las descargas se originen en plataformas marinas o en fuentes móviles la SEMARNAT actuará en coordinación con la Secretaría de Marina. Asimismo, la SEMARNAT está facultada para emitir Normas Oficiales Mexicanas (NOMs) en lo relativo a la protección, conservación, exploración y explotación de recursos naturales marinos. Esta dependencia actuará coordinadamente con la Secretaría de Marina, de Energía, de Salud y de Comunicaciones y Transportes para que cada una contribuya a prevenir y controlar la contaminación marina.

Adicionalmente, hasta noviembre de 1996 esta ley no consideraba disposiciones específicas para la zona costera, sin embargo en diciembre de 1996 tuvo modificaciones y adiciones, entre las que se incluyen algunas relacionadas con la zona costera. A continuación se mencionan las principales:

- En los Artículos 88-97 del capítulo I (Título Tercero) se definen los criterios para el aprovechamiento sustentable del agua y los ecosistemas acuáticos incluyendo los costero-marinos, así como las normas para la prevención y control de la contaminación, de acuerdo con la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, Ley de Pesca, Ley de Salud y la Ley Federal del Mar, entre las más importantes.
- En los Artículos 117-133, Capítulo III, (Título Cuarto), se definen los criterios para la prevención y control de la contaminación del agua y los ecosistemas acuáticos incluyendo los costeros y marinos. Los artículos que regulan específicamente al medio marino son el 130-132. El Artículo 130 se relaciona con el vertido de aguas residuales en aguas marinas, el Artículo 131 se relaciona con la emisión de Normas Oficiales Mexicanas para la explotación, preservación y administración de los recursos naturales, vivos y abióticos, del lecho y el subsuelo del mar y de las aguas suprayacentes, así como las que deberán observarse para la realización de actividades de exploración y explotación en la ZEE. Finalmente el Artículo 132 se relaciona con la prevención y control de la contaminación del medio marino, así como la preservación y restauración del equilibrio de sus ecosistemas, de acuerdo a lo establecido en la misma LGEEPA, en la Ley de Aguas Nacionales, Ley Federal del Mar, las convenciones internacionales de las que México forma parte y las demás leyes aplicables.

Por otra parte, se establecen en este rubro disposiciones tendientes a la protección de los recursos acuáticos, en todos los ámbitos de uso, incluyendo la congruencia de aplicación de normas relativas a la exploración, explotación y administración de los recursos acuáticos

Adicionalmente, hasta noviembre de 1996 esta ley no consideraba disposiciones específicas para la zona costera, sin embargo en diciembre de 1996 tuvo modificaciones y adiciones, entre las que se incluyen algunas relacionadas con la zona costera. A continuación se mencionan las principales:

b) Ley de Aguas Nacionales

La Ley de Aguas Nacionales reglamentaria del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales (Diario Oficial de la Federación, 1º de diciembre de 1992), ha sido modificada y adicionada por el Decreto Presidencial publicado el 29 de abril de 2004, es de observancia general en todo el territorio nacional, sus disposiciones son de orden público e interés social y tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable (Artículo 1).

De conformidad con el Artículo 2 de la misma, las disposiciones de esta Ley son aplicables a todas las aguas nacionales, sean superficiales o del subsuelo. Estas disposiciones también son aplicables a los bienes nacionales que la presente Ley señala.

En este sentido, las disposiciones de esta Ley son aplicables a las aguas de zonas marinas mexicanas en tanto a la conservación y control de su calidad, sin menoscabo de la jurisdicción o concesión que las pudiese regir.

En los términos de lo dispuesto por esta Ley (Artículo 113), entre las aguas propiedad de la Nación, y que constituyen los Bienes Nacionales a cargo de la CNA destacan aquellas pertenecientes a las zonas costeras y que son:

- I. Las playas y zonas federales, en la parte correspondiente a los cauces de corrientes en los términos de la presente Ley;
- II. Los terrenos ocupados por los vasos de lagos, lagunas, esteros o depósitos naturales cuyas aguas sean de propiedad nacional;

Tabla 1. Gestión federal, estatal y municipal de la zona costera.**Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.****Atribuciones conferidas relacionadas con la protección de los ecosistemas costeros (Art 32 bis)***

Fomentar la protección, restauración y conservación de los ecosistemas y recursos naturales y bienes y servicios ambientales, con el fin de propiciar su aprovechamiento y desarrollo sustentable
Formular y conducir la política nacional en materia de recursos naturales, siempre que no estén encomendados expresamente a otra dependencia; así como en materia de ecología, saneamiento ambiental, agua, regulación ambiental del desarrollo urbano y de la actividad pesquera, con la participación que corresponda a otras dependencias y entidades;
Establecer, con la participación que corresponda a otras dependencias y a las autoridades estatales y municipales, normas oficiales mexicanas sobre la preservación y restauración de la calidad del medio ambiente; sobre los ecosistemas naturales; sobre el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y de la flora y fauna silvestre, terrestre y acuática; sobre descargas de aguas residuales, y en materia minera; y sobre materiales peligrosos y residuos sólidos y peligrosos;
Vigilar y estimular, en coordinación con las autoridades federales, estatales y municipales, el cumplimiento de las leyes, normas oficiales mexicanas y programas relacionados con recursos naturales, medio ambiente, aguas, bosques, flora y fauna silvestre, terrestre y acuática, y pesca; y demás materias competencia de la Secretaría, así como, en su caso, imponer las sanciones procedentes;
Proponer al Ejecutivo Federal el establecimiento de áreas naturales protegidas, y promover para su administración y vigilancia, la participación de autoridades federales o locales, y de universidades, centros de investigación y particulares
Organizar y administrar áreas naturales protegidas, y supervisar las labores de conservación, protección y vigilancia de dichas áreas cuando su administración recaiga en gobiernos estatales y municipales o en personas físicas o morales
Ejercer la posesión y propiedad de la nación en las playas, zona federal marítimo terrestre y terrenos ganados al mar;
Intervenir en foros internacionales respecto de las materias competencia de la Secretaría, con la participación que corresponda a la Secretaría de Relaciones Exteriores, y proponer a ésta la celebración de tratados y acuerdos internacionales en tales materias
Promover el ordenamiento ecológico del territorio nacional, en coordinación con las autoridades federales, estatales y municipales, y con la participación de los particulares;
Evaluar y dictaminar las manifestaciones de impacto ambiental de proyectos de desarrollo que le presenten los sectores público, social y privado; resolver sobre los estudios de riesgo ambiental, así como sobre los programas para la prevención de accidentes con incidencia ecológica;
Conducir las políticas nacionales sobre cambio climático y sobre protección de la capa de ozono;
Promover la participación social y de la comunidad científica en la formulación, aplicación y vigilancia de la política ambiental, y concertar acciones e inversiones con los sectores social y privado para la protección y restauración del ambiente;
Administrar, controlar y reglamentar el aprovechamiento de cuencas hidráulicas, vasos, manantiales y aguas de propiedad nacional, y de las zonas federales correspondientes, con exclusión de los que se atribuya expresamente a otra dependencia; establecer y vigilar el cumplimiento de las condiciones particulares que deban satisfacer las descargas de aguas residuales, cuando sean de jurisdicción federal; autorizar, en su caso, el vertimiento de aguas residuales en el mar, en coordinación con la Secretaría de Marina, cuando provenga de fuentes móviles o plataformas fijas; en cuencas, cauces y demás depósitos de aguas de propiedad nacional; y promover y, en su caso, ejecutar y operar la infraestructura y los servicios necesarios para el mejoramiento de la calidad del agua en las cuencas;
Controlar los ríos y demás corrientes y ejecutar las obras de defensa contra inundaciones;
Otorgar contratos, concesiones, licencias, permisos, autorizaciones, asignaciones, y reconocer derechos, según corresponda, en materia de aguas, forestal, ecológica, explotación de la flora y fauna silvestres, y sobre playas, zona federal marítimo terrestre y terrenos ganados al mar;
Fuente: * Ley orgánica de la Administración Pública Federal. Diario Oficial de la Federal del 29 de diciembre de 1976. Reformas del 25 de febrero de 2003 y 21 de mayo de 2003

Tabla 1 (Continuación). Gestión federal, estatal y municipal de la zona costera.**Secretaría de Marina****Atribuciones conferidas relacionadas con la protección de los ecosistemas costeros (Art. 30) ***

Ejercer la soberanía en aguas territoriales, así como la vigilancia de las costas del territorio, vías navegables, islas nacionales y la zona económica exclusiva;

VII.- Organizar y administrar el servicio de policía marítima;

Ejecutar los trabajos topohidrográficos de las costas, islas, puertos y vías navegables, así como organizar el archivo de cartas marítimas y las estadísticas relativas;

Intervenir en el otorgamiento de permisos para expediciones o exploraciones científicas, extranjeras o internacionales en aguas nacionales;

Programar y ejecutar, directamente o en colaboración con otras dependencias e instituciones, los trabajos de investigación oceanográfica en las aguas de jurisdicción federal;

Integrar el archivo de información oceanográfica nacional.

Fuente: * Ley orgánica de la Administración Pública Federal. Diario Oficial de la Federación del 29 de diciembre de 1976. Reformas del 25 de febrero de 2003 y 21 de mayo de 2003

III. Los cauces de las corrientes de aguas nacionales;

IV. Las riberas o zonas federales contiguas a los cauces de las corrientes y a los vasos o depósitos de propiedad nacional, en los términos previstos por el Artículo 3 de esta Ley;

V. Los terrenos de los cauces y los de los vasos de lagos, lagunas o esteros de propiedad nacional, descubiertos por causas naturales o por obras artificiales;

VI. Las islas que existen o que se formen en los vasos de lagos, lagunas, esteros, presas y depósitos o en los cauces de corrientes de propiedad nacional, excepto las que se formen cuando una corriente segregue terrenos de propiedad particular, ejidal o comunal, y

VII. Las obras de infraestructura hidráulica financiadas por el gobierno federal, como presas, diques, vasos, canales, drenes, bordos, zanjas, acueductos, distritos o unidades de riego y demás construidas para la explotación, uso, aprovechamiento, control de inundaciones y manejo de las aguas nacionales, con los terrenos que ocupen y con las zonas de protección, en la extensión que en cada caso fije "la Comisión".

En los casos de las fracciones IV, V y VII la administración de los bienes, cuando corres-

ponda, se llevará a cabo en coordinación con la Comisión Federal de Electricidad.

Cabe destacar que las aguas costeras constituyen un bien tutelado por la Nación, bajo declaración de patrimonio de utilidad pública, que requiere por su naturaleza e importancia la aplicación estricta de políticas de control y manejo.

La autoridad y administración en materia de aguas nacionales y de sus bienes públicos inherentes le corresponde al Ejecutivo Federal, quien la ejercerá directamente o a través de la Comisión Nacional del Agua, órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), tal como lo establece el artículo cuarto de este ordenamiento.

De esta forma, en el artículo octavo se expresa que las atribuciones conferidas al Secretario del Medio Ambiente y Recursos Naturales, son las siguientes:

I. Proponer al Ejecutivo Federal la política hídrica del país;

II. Proponer al Ejecutivo Federal los proyectos de ley, reglamentos, decretos y acuerdos relativos al sector;

III. Fungir como Presidente del Consejo Técnico de "la Comisión";

IV. Suscribir los instrumentos internacionales, que de acuerdo con la Ley sean de su competencia, en coordinación con la Secretaría de Relaciones Exteriores, e instrumentar lineamientos y estrategias para el cumplimiento de los tratados internacionales en materia de aguas;

V. Expedir las Normas Oficiales Mexicanas en materia hídrica en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, a propuesta de “la Comisión”, y

VI. Las que en materia hídrica le asignen específicamente las disposiciones legales, así como aquellas que le delegue el Titular del Ejecutivo Federal.

Por su parte, el legislativo le confirió a la Comisión Nacional del Agua las siguientes características y atribuciones:

“La Comisión” es un órgano administrativo desconcentrado de “la Secretaría”, que se regula conforme a las disposiciones de esta Ley y sus reglamentos, de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal y de su Reglamento Interior.

“La Comisión” tiene por objeto ejercer las atribuciones que le corresponden a la autoridad en materia hídrica y constituirse como el Órgano Superior con carácter técnico, normativo y consultivo de la Federación, en materia de gestión integrada de los recursos hídricos, incluyendo la administración, regulación, control y protección del dominio público hídrico.

En el ejercicio de sus atribuciones, “la Comisión” se organizará en dos modalidades:

a. El Nivel Nacional, y

b. El Nivel Regional Hidrológico Administrativo, a través de sus Organismos de Cuenca.

Las atribuciones, funciones y actividades específicas en materia operativa, ejecutiva, administrativa y jurídica, relativas al ámbito Federal en materia de aguas nacionales y su gestión, se realizarán a través de los Organismos de

Cuenca, con las salvedades asentadas en la presente Ley. (Artículo 9)

Entre las principales atribuciones de la CNA en su Nivel Nacional, destacan las siguientes en el marco del presente análisis:

- Fungir como la Autoridad en materia de la cantidad y de la calidad de las aguas y su gestión en el territorio nacional y ejercer en consecuencia aquellas atribuciones que conforme a la presente Ley corresponden a la autoridad en materia hídrica, dentro del ámbito de la competencia federal, con apego a la descentralización del sector agua, excepto las que debe ejercer directamente el Ejecutivo Federal o “la Secretaría” y las que estén bajo la responsabilidad de los Gobiernos de los estados, del Distrito Federal o municipios;
- Formular la política hídrica nacional y proponerla al Titular del Poder Ejecutivo Federal, por conducto de “la Secretaría”, así como dar seguimiento y evaluar de manera periódica el cumplimiento de dicha política;
- Integrar, formular y proponer al Titular del Poder Ejecutivo Federal, el Programa Nacional Hídrico, actualizarlo y vigilar su cumplimiento;
- Emitir disposiciones de carácter general en materia de aguas nacionales y de sus bienes públicos inherentes;
- Atender los asuntos y proyectos estratégicos y de seguridad nacional en materia hídrica;
- Administrar y custodiar las aguas nacionales y los bienes nacionales a que se refiere el Artículo 113 de esta Ley, y preservar y controlar la calidad de las mismas, en el ámbito nacional;
- Establecer las prioridades nacionales en lo concerniente a la administración y gestión de las aguas nacionales y de los bienes nacionales inherentes a que se refiere la presente Ley;

- Promover en el ámbito nacional el uso eficiente del agua y su conservación en todas las fases del ciclo hidrológico, e impulsar el desarrollo de una cultura del agua que considere a este elemento como recurso vital, escaso y de alto valor económico, social y ambiental, y que contribuya a lograr la gestión integrada de los recursos hídricos;
- Promover y propiciar la investigación científica y el desarrollo tecnológico, la formación de recursos humanos, así como difundir conocimientos en materia de gestión de los recursos hídricos, con el propósito de fortalecer sus acciones y mejorar la calidad de sus servicios, para lo cual se coordinará en lo conducente con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua;
- Proponer a la "Secretaría" las Normas Oficiales Mexicanas en materia hídrica;
- Vigilar el cumplimiento y aplicación de la presente Ley, interpretarla para efectos administrativos, aplicar las sanciones y ejercer los actos de autoridad en la materia que no estén reservados al Ejecutivo Federal;
- Participar en el sistema nacional de protección civil y apoyar en la aplicación de los planes y programas de carácter federal para prevenir y atender situaciones de emergencia, causadas por fenómenos hidrometeorológicos extremos;
- Realizar las declaratorias de clasificación de zonas de alto riesgo por inundación y elaborar los atlas de riesgos conducentes;
- Coordinar el servicio meteorológico nacional y ejercer las funciones en dicha materia;
- Mantener actualizado y hacer público periódicamente el inventario de las aguas nacionales, y de sus bienes públicos inherentes y de la infraestructura hidráulica federal; clasificar las aguas de acuerdo con los usos, y elaborar balances en cantidad y calidad del agua por regiones hidrológicas y cuencas hidrológicas;

- Presentar las denuncias que correspondan ante autoridades competentes cuando, como resultado del ejercicio de sus atribuciones, tenga conocimiento de actos u omisiones que constituyan violaciones a la legislación administrativa en materia de aguas o a las leyes penales;
- Otorgar los apoyos técnicos que le sean solicitados por "la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente" en el ejercicio de sus facultades en materia de reparación del daño a los recursos hídricos y su medio, a ecosistemas vitales y al ambiente;

Por otra parte, entre las principales reformas a esta Ley se destaca en su artículo séptimo, "que se declara de utilidad pública: La gestión integrada de los recursos hídricos, superficiales y del subsuelo, a partir de las cuencas hidrológicas en el territorio nacional, como prioridad y asunto de seguridad nacional; asimismo: La protección, mejoramiento, conservación y restauración de cuencas hidrológicas, acuíferos, cauces, vasos y demás depósitos de agua de propiedad nacional, zonas de captación de fuentes de abastecimiento, zonas federales, así como la infiltración natural o artificial de aguas para reabastecer mantos acuíferos acorde con las "Normas Oficiales Mexicanas" y la derivación de las aguas de una cuenca o región hidrológica hacia otras;

En el caso específico de las disposiciones de esta Ley relacionadas con el aprovechamiento y conservación de las zonas costeras, mismas que fueron sustancialmente modificadas de las que originalmente se establecieron al efecto, destacan las señaladas en su Título Séptimo: "Prevención y Control de la Contaminación de las Aguas y Responsabilidades por Daño Ambiental", y de las cuales se menciona lo previsto en el artículo 85 del presente ordenamiento:

En concordancia con las Fracciones VI y VII del Artículo 7 de la presente Ley, es fundamental que la Federación, los estados, el Distrito Federal y los municipios, a través de las instancias correspondientes, los usuarios del agua y las organizaciones de la sociedad, preserven las condiciones ecológicas del régimen hidrológico, a través de la promoción y ejecución de

las medidas y acciones necesarias para proteger y conservar la calidad del agua, en los términos de Ley.

El Gobierno Federal podrá coordinarse con los gobiernos de los estados y del Distrito Federal, para que estos últimos ejecuten determinados actos administrativos relacionados con la prevención y control de la contaminación de las aguas y responsabilidad por el daño ambiental, en los términos de lo que establece esta Ley y otros instrumentos jurídicos aplicables, para contribuir a la descentralización de la gestión de los recursos hídricos.

Las personas físicas o morales, incluyendo las dependencias, organismos y entidades de los tres órdenes de gobierno, que exploten, usen o aprovechen aguas nacionales en cualquier uso o actividad, serán responsables en los términos de Ley de:

- a. Realizar las medidas necesarias para prevenir su contaminación y, en su caso, para reintegrar las aguas referidas en condiciones adecuadas, a fin de permitir su explotación, uso o aprovechamiento posterior, y
- b. Mantener el equilibrio de los ecosistemas vitales.

Asimismo, en el Título Décimo de la Ley se establecen las Infracciones, Sanciones y Recursos que se aplicarán para el cumplimiento expedito de la misma, conforme a lo siguiente: La Autoridad del Agua" sancionará conforme a lo previsto por esta Ley, las siguientes faltas:

- I. Descargar en forma permanente, intermitente o fortuita aguas residuales en contravención a lo dispuesto en la presente Ley en cuerpos receptores que sean bienes nacionales, incluyendo aguas marinas, así como cuando se infiltren en terrenos que sean bienes nacionales o en otros terrenos cuando puedan contaminar el subsuelo o el acuífero. (Art. 119)

c) Ley de Bienes Nacionales y su Reglamento para el Uso y Aprovechamiento del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítimo Terrestre y Terrenos Ganados al Mar

En México la legislación aplicable a zonas costeras incluyendo tanto a las playas, la zona federal marítimo terrestre y los terrenos ganados al mar se encuentra incorporada básicamente a la "Ley General de Bienes Nacionales (LGBN) " y su "Reglamento para el Uso y Aprovechamiento del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítimo Terrestre y Terrenos Ganados al Mar".

De conformidad con lo dispuesto en las citadas disposiciones jurídicas, las playas, la zona federal marítimo terrestre y los terrenos ganados al mar, o a cualquier otro depósito que se forme con aguas marítimas, son bienes de dominio público de la Federación, inalienables e imprescriptibles y mientras no varíe su situación jurídica, no están sujetos a acción reivindicatoria o de posesión definitiva o provisional.

Corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) poseer, administrar, controlar y vigilar los bienes a que se refiere este artículo, con excepción de aquellos que se localicen dentro del recinto portuario, o se utilicen como astilleros, varaderos, diques para talleres de reparación naval, muelles, y demás instalaciones a que se refiere la Ley de Navegación y Comercio Marítimos; en estos casos la competencia corresponde a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.(Art 5º Rgto ZOFEMAT)

A su vez, para el debido aprovechamiento, uso, explotación, administración y vigilancia de las playas, la zona federal marítimo terrestre y los terrenos ganados al mar o a cualquier otro depósito que se forme con aguas marítimas, se considerarán sus características y uso turístico, industrial, agrícola o acuícola, en congruencia con los programas maestros de control y aprovechamiento de tales bienes, cuya elaboración estará a cargo de la Secretaría.(Art 6º Rgto ZOFEMAT).

En este sentido, cabe señalar que para los efectos de la legislación mexicana están considerados como bienes de dominio público de la Federación (LGBN, Art. 6), los siguientes:

Los bienes señalados en los Artículos 27, párrafos cuarto, quinto y octavo; 42, fracción IV, y 132 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos;

- Los bienes de uso común a que se refiere el Artículo 7 de esta Ley;
- Las plataformas insulares en los términos de la Ley Federal del Mar y, en su caso, de los tratados y acuerdos internacionales de los que México sea parte;
- El lecho y el subsuelo del mar territorial y de las aguas marinas interiores;
- Los terrenos ganados natural o artificialmente al mar, ríos, corrientes, lagos, lagunas o esteros de propiedad nacional

En tanto que el artículo séptimo de esta misma Ley señala que los bienes de uso común son los siguientes:

- I. El espacio aéreo situado sobre el territorio nacional, con la extensión y modalidades que establezca el derecho internacional;
- II. Las aguas marinas interiores, conforme a la Ley Federal del Mar;
- III. El mar territorial en la anchura que fije la Ley Federal del Mar;
- IV. Las playas marítimas, entendiéndose por tales las partes de tierra que por virtud de la marea cubre y descubre el agua, desde los límites de mayor refluo hasta los límites de mayor flujo anuales;
- V. La zona federal marítimo terrestre;
- VI. Los puertos, bahías, radas y ensenadas;
- VII. Los diques, muelles, escolleras, malecones y demás obras de los puertos, cuando sean de uso público;
- VIII. Los cauces de las corrientes y los vasos de los lagos, lagunas y esteros de propiedad nacional;
- IX. Las riberas y zonas federales de las corrientes;
- X. Las presas, diques y sus vasos, canales, bordos y zanjas, construidos para la irrigación, navegación y otros usos de utilidad pública, con sus zonas de protección y derechos de vía, o riberas en la extensión que, en cada caso, fije la dependencia competente en la materia, de acuerdo con las disposiciones legales aplicables;
- XI. Los caminos, carreteras, puentes y vías férreas que constituyen vías generales de comunicación, con sus servicios auxiliares y demás partes integrantes establecidas en la ley federal de la materia;
- XII. Los inmuebles considerados como monumentos arqueológicos conforme a la ley de la materia;
- XIII. Las plazas, paseos y parques públicos cuya construcción o conservación esté a cargo del Gobierno Federal y las construcciones levantadas por el Gobierno Federal en lugares públicos para ornato o comodidad de quienes los visiten, y
- XIV. Los demás bienes considerados de uso común por otras leyes que regulen bienes nacionales.

Actualmente la Ley General de Bienes Nacionales *define a la Zona Federal Marítimo Terrestre (ZOFEMAT)* como la faja de 20 metros de ancho de tierra firme, transitable y contigua a dichas playas, a las riberas de los ríos, desde la desembocadura de estos en el mar, hasta cien metros río arriba; asimismo, se incluyen también los cayos y arrecifes, lagos, lagunas o esteros que se comuniquen directa o indirectamente con el mar. Esta faja se contará a partir del punto a donde llegue el mayor embalse anual o límite de la pleamar, considerando la cota máxima observada durante treinta días consecutivos en una época del año en que no se presenten huracanes, ciclones o vientos de gran intensidad.

Este concepto también engloba a los Terrenos Ganados al Mar (TGM), que se identifican como la superficie de tierra que queda entre el límite de la nueva zona federal marítimo terrestre y el límite de la zona federal marítimo terrestre original. Los TGM son fáciles de apreciar a simple vista o identificarlos gracias a la existencia de mojoneras.

Estas disposiciones regulan el manejo y el desarrollo de las zonas costeras, por medio de concesiones para uso público y privado; el registro nacional de todos los concesionarios, estudios técnicos e inventarios nacionales de zonas costeras, así como sus planes de manejo.

La Ley General de Bienes Nacionales establece un régimen general para poder otorgar el derecho de uso de estos bienes de dominio público (que incluye las zonas costeras). Asimismo, el citado reglamento rige la administración y desarrollo de todas las zonas federales de tierras costeras (entendiéndose por aquéllas que se encuentran por arriba del nivel medio de la marea alta). Establece que los derechos de propiedad de la Nación son inalienables e intransferibles, y los derechos de uso dependen de los términos de la concesión, el pago de derechos de arrendamiento y la protección de ecosistemas importantes.

Por otra parte, cabe señalar, que de conformidad con el citado reglamento, la zona costero-marina del país, ha sido definida legalmente para su administración y manejo en la parte continental como la Zona Federal Marítimo Terrestre (ZFMT) (DOF., 8 enero 1986; DOF., 8 enero 1982) y en la parte marina como Mar Territorial (MT) y la ZEE. La aplicación de estos límites administrativos (ZFMT, MT y ZEE) para fines de manejo, tiene el inconveniente de no reflejar la extensión y límites naturales de la zona costero-marina. En el caso de la ZFMT, la zona costera puede extenderse más allá de los límites fijados por esta y en la zona marina a una distancia menor de los límites establecidos por el MT y ZEE. Por lo anterior es necesario ajustar los límites administrativos actuales o proponer otros acorde con la estructura y dinámica de la zona costera, como pueden ser las fronteras naturales en el continente y el mar, donde los procesos continentales y marinos respectivamente, tienen influencia espacial y temporal (DOF., 4 enero 1994).

d) Ley Federal de Pesca y su Reglamento

La Ley Federal de Pesca es reglamentaria del Art. 27 Constitucional tienen como objetivo fundamental fomentar y regular la pesca en beneficio social, mediante el uso y aprovechamiento óptimos de la flora y la fauna acuáticas en cualquiera de sus manifestaciones, para su explotación racional, distribución equitativa y adecuada conservación (Diario Oficial de la Federación, 25 de junio de 1992).

La Ley Federal de Pesca señala, que esta materia se rige además, por las leyes respectivas y por los tratados o convenios internacionales de los que México es parte, celebrados o que se celebren de conformidad con el artículo 133 constitucional. Las disposiciones de esta Ley se aplican a la flora y fauna acuáticas localizadas tanto en las aguas marítimas, como en las continentales.

Por otra parte, las normas de esta Ley que concede facultades a la Secretaría de Pesca, relativas a la protección ecológica de la flora y fauna acuáticas, se encuentran expresadas en sus artículos 16 y 17.

Para los efectos de este trabajo se destacan las siguientes disposiciones:

- a) Regular la introducción, en cuerpos de agua de jurisdicción federal, de especies ajenas a la flora y fauna acuáticas locales.
- b) Definir las normas técnicas sanitarias a que deberán sujetarse las especies acuáticas vivas para garantizar su sano desarrollo y comprobar las medidas de prevención y control en materia de sanidad acuícola, en coordinación con las dependencias competentes de la Administración Pública Federal.

El Reglamento de la Ley de Pesca (Diario Oficial de la Federación, 21 de julio de 1992) clasifica las actividades pesqueras en seis rubros: de Fomento, Didáctica, Comercial, Acuicultura, de Consumo Doméstico y Deportivo-recreativa.

Para dedicarse a cualquiera de estas actividades pesqueras con excepción de las consignadas en las fracciones V y VI, los solicitantes de concesiones, deberán acreditar su inscripción en el Registro Nacional de Pesca.

Cabe señalar, que entre las obligaciones de los concesionarios destaca la de coadyuvar con el Gobierno Federal en la preservación del medio ecológico y la conservación y reproducción de especies, así como apoyar los programas de repoblamiento del medio natural, en los términos y condiciones que fije la Secretaría de Pesca. (Art. 31. f. VII).

Los permisos que otorga la Secretaría de Pesca pueden aplicarse en casos de excepción y de acuerdo al interés nacional, para que embarcaciones extranjeras aprovechen el excedente de captura permisible únicamente en la zona económica exclusiva, pero en ningún caso se otorgarán permisos cuando se pretenda recolectar especies en peligro de extinción o especies con limitado potencial reproductivo (Arts. 36 a 38)

Asimismo, se requiere contar con la autorización de la Secretaría de Pesca para: introducir especies ajenas al hábitat local en agua de jurisdicción federal. A tal efecto, la Secretaría atenderá las políticas de prevención y control en materia de sanidad acuícola, así como de

fomento, enriquecimiento y desarrollo de la flora y fauna marinas, fluviales y lacustres (Art. 39, f. IV).

Por lo que se refiere a la acuicultura, se establecen reglas específicas para otorgar las concesiones correspondientes, en estricto apego a las normas sanitarias que para el efecto dicte la Secretaría de Pesca (Arts. 44-54).

Por otra parte establece regulaciones relacionadas con el establecimiento de zonas de veda y de refugio para flora y fauna acuáticas (Arts. 86-89), señalándose que la Secretaría fijará las normas expresas que determinaran las actividades que en dichas áreas y zonas podrán efectuarse, así como el carácter temporal o permanente de la misma.

Por último, las especies declaradas en veda no podrán ser objeto de pesca a excepción de los volúmenes que se autoricen para el abasto de la producción acuícola, así como para el fomento pesquero y exclusivamente para fines científicos o de investigación.

CONTAMINANTES CRÍTICOS

Plaguicidas

La LGEEPA, regula los plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas, en el capítulo relativo a la prevención y control de la contaminación del suelo. Aunque, las disposiciones fundamentales sobre fertilizantes y plaguicidas se encuentran en la Ley Federal de Sanidad Vegetal (Diario Oficial de la Federación. 5 de enero de 1994) que tiene por objeto regular y promover la sanidad vegetal. Por otra parte, la protección y conservación de las plantas y los animales contra la acción perjudicial de plagas y enfermedades, los fertilizantes y plaguicidas se hallan también regulados por la Ley General de Salud (Diario Oficial de la Federación, 7 de febrero de 1984, reformas de 5 de noviembre de 2004), desde el punto de vista de la protección de la salud humana, La Ley de Sanidad Animal (Diario Oficial de la Federación del 16 de junio de 2004); La Ley de Variedades Vegetales que por objeto fijar las bases y procedimientos para la protección de los derechos de los obtentores de variedades vegetales. Su aplicación e

interpretación, para efectos administrativos, corresponderá al Ejecutivo Federal a través de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. (Diario Oficial de la Federación 25 de octubre de 1996)

Las reglas básicas previstas en la legislación en esta materia, son las siguientes:

- a) Los plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas quedarán sujetos a las normas técnicas que expidan en forma coordinada la SEMARNAT y las Secretarías de Desarrollo Agropecuario, Alimentación y Pesca, de Salud y de Economía para evitar que causen desequilibrio ecológico.
- b) Se reglamentará la disposición final de los residuos, empaques y envases vacíos, a fin de evitar efectos adversos en los ecosistemas.
- c) En relación con la importación y exportación de plaguicidas, fertilizantes y sustan-

cias tóxicas, la SEMARNAT participará en el examen de las tarifas arancelarias relativas a la importación y exportación de los mismos, aunque establece que “no podrán otorgarse autorizaciones para la importación de plaguicidas, fertilizantes o sustancias tóxicas cuando su uso no esté permitido en el país en el que se hayan elaborado o fabricado” (LGEEPA. Art. 144).

d) La SEMARNAT promoverá ante las autoridades competentes el establecimiento de requisitos especiales para la fabricación en el país de dichas sustancia y productos, cuando su uso pueda causar desequilibrio ecológico

Además existe un conjunto de Normas Oficiales Mexicanas (NOM) expedidas para la regulación de estas sustancias, que revisite una gran importancia en este tema, ya que los efectos residuales de las mismas, se conducen a los recursos hídricos y en particular a los marinos.

Hidrocarburos del Petróleo

La regulación de los efectos de contaminación derivada de la explotación y transporte del petróleo tienen las siguientes bases normativas en la Ley Federal del Mar:

Esta Ley es reglamentaria de los párrafos Cuarto, Quinto, Sexto y Octavo del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en lo relativo a las zonas marinas mexicanas (Diario Oficial de la Federación, 8 de enero de 1986).

Las zonas marinas mexicanas son las siguientes: mar territorial, las aguas marinas interiores, la zona contigua, la zona económica exclusiva, la plataforma continental y las plataformas insulares y cualquier otra permitida por el derecho internacional.

Por lo que respecta a la protección y preservación del medio marino, se aplican tanto las disposiciones de esta Ley y su Reglamento, como las que en esta materia se señalan en: la Ley General de Salud, la LGEEPA y sus receptivos reglamentos, la Ley de Aguas

Nacionales y demás leyes y reglamentos aplicables vigentes, así como las normas pertinentes del derecho internacional para prevenir, reducir y controlar la contaminación del medio marino entre los que destacan el Plan Nacional de Contingencias para Combatir y Controlar Derrames de Hidrocarburos y otras Sustancias Nocivas en el Mar (Diario Oficial de la Federación, 8 de diciembre de 1981); Protocolo Relativo a la Cooperación para Combatir los Derrames de Hidrocarburos en la Región del Gran Caribe (Diario Oficial de la Federación, 5 de agosto de 1985), entre otros.

Asimismo, la soberanía de la Nación y sus derechos de soberanía, jurisdicciones y competencias dentro de los límites de las respectivas zonas marinas se ejercerán conforme a los ordenamientos señalados, en relación con:

- I. Las obras, islas artificiales, instalaciones y estructuras marinas.
- II. El régimen aplicable a los recursos marinos vivos, inclusive su utilización y conservación.
- III. El régimen aplicable a los recursos marinos no vivos, inclusive su utilización y conservación.
- IV. El aprovechamiento económico del mar, incluyendo la utilización de minerales disueltos en sus aguas, la producción de energía eléctrica o térmica derivada de las mismas, de las corrientes y de los vientos, la captación de energía solar en el mar, el desarrollo de la zona costera, la maricultura, el establecimiento de parques marinos nacionales, la promoción de la recreación y el turismo y el establecimiento de comunidades pesqueras.
- V. La protección y preservación del medio marino, incluyendo la prevención de su contaminación.
- VI. La realización de actividades de investigación científica marina.

Por otra parte, la particular importancia que reviste en las zonas marinas, la explotación, beneficio, aprovechamiento, refinación transportación, almacenamiento, distribución y venta

de los hidrocarburos y minerales submarino, requiere de aplicación de diversas regulaciones. Por ello, estas actividades se rigen tanto por las leyes reglamentarias del Art. 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo y en materia Minera y sus respectivos reglamentos, como por lo dispuesto en la Ley Federal del Mar (Diario Oficial de la Federación, 8 de enero de 1986).

Esta última Ley es reglamentaria de los párrafos Cuarto, Quinto, Sexto y Octavo del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en lo relativo a las zonas marinas mexicanas. Por lo que respecta a la industria petrolera la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo, publicada en el Diario Oficial de la Federación del 29 de noviembre de 1958 establece que la industria petrolera abarca:

- La exploración, explotación, refinación, transporte, almacenamiento, distribución y las ventas de primera mano del petróleo, el gas y los productos que se obtengan de la refinación de éstos. La elaboración, el almacenamiento, el transporte, la distribución y las ventas de primera mano del gas artificial.
- La elaboración, el almacenamiento, el transporte, la distribución y las ventas de primera mano de aquellos derivados del petróleo que sean susceptibles de servir como materias primas industriales básicas.

Estas actividades se llevan a cabo a través de PEMEX, institución pública descentralizada cuya estructura, funciones y régimen interno se ha modificado recientemente de acuerdo con la legislación aplicable en la materia.

Por otra parte, cabe señalar, que el Reglamento de la Ley Reglamentaria antes citada, establece que las actividades de exploración y explotación del petróleo se llevan a cabo a través de labores de reconocimiento y exploración superficial que son entre otras, las siguientes:

- Trabajos de geología; trabajos gravimétricos y magnetométricos; trabajos sísmológicos y perforación de pozos de tiro correspondientes; trabajos eléctricos y electromagnéticos; trabajos topográficos necesarios; perforación de pozos de sondeo; trabajos de geoquímica y muestreo de rocas; y cualesquiera otros trabajos tendientes a determinar las posibilidades de explotación petrolera.

Asimismo, la regulación de esta actividad incluye la emisión en 1974 del Reglamento de Trabajos Petroleros (Diario Oficial de la Federación, 27 de Febrero de 1974).

En esta disposición se establecen las funciones y obligaciones de PEMEX relativas a la protección ambiental, así como a la prevención y control de accidentes, entre las más importantes (UNAM-PEMEX, 1992).

CONTAMINACIÓN DEL AGUA

La LGEEPA, regula los aspectos relativos a la prevención y control de la contaminación del agua, en su Título Cuarto, denominado "Protección al Ambiente". Para ello, se establecen los siguientes criterios:

- Corresponde al Estado y a la sociedad prevenir la contaminación de ríos, cuencas, vasos, aguas marinas y demás depósitos y corrientes de aguas, incluyendo las aguas del subsuelo.
- El aprovechamiento del agua en actividades productivas susceptibles de producir contaminación, conlleva la responsabi-

lidad del tratamiento de las descargas, para reintegrarla en condiciones adecuadas para su utilización en otras actividades y para mantener el equilibrio de los ecosistemas.

- Las aguas residuales de origen urbano deben recibir tratamiento previo a su descarga a ríos, cuencas, vasos, aguas marinas y demás depósito o corrientes de agua, incluyendo las aguas del subsuelo.

La SEMARNAT en coordinación con las dependencias competentes deberá expedir las normas técnicas ecológicas requeridas para

regular el vertimiento de aguas residuales en redes colectoras, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósito o corrientes de agua, así como para infiltrarlas en terrenos.

La LGEEPA señala otras disposiciones relacionadas con los citados aspectos, destacando que la SEMARNAT deberá resolver sobre las solicitudes de autorización para descargar aguas residuales, sustancias o cualquier otro tipo de residuos en aguas marinas, fijando en cada caso las normas técnicas ecológicas, condiciones y tratamiento de las aguas y residuos, incluyendo residuos peligrosos (Diario Oficial de la Federación, 22 de octubre de 1993), de acuerdo al reglamento correspondiente. Cabe señalar, que este reglamento no ha sido emitido y se aplica el reglamento en la materia de la Ley predecesora (Ley Federal de Protección al Ambiente) y las normas técnicas ecológicas (ahora Normas Oficiales Mexicanas) que se refieren en el Anexo 2.

En el caso de que las descargas provengan de fuentes móviles o de plataformas fijas en el mar territorial y la zona económica con la

Secretaría de Marina para la expedición de las autorizaciones correspondientes.

Cabe destacar, que el Art. 131 del LGEEPA, establece que para la protección del medio marino, el Ejecutivo Federal emitirá los criterios para la explotación, conservación y administración de los recursos naturales vivos y abióticos del lecho y subsuelo del mar y de las aguas suprayacentes, así como los que deberán observarse para la realización de actividades de explotación en la zona económica exclusiva. Estos criterios aún no han sido formulados.

Por último, el Art. 132 dispone que la SEMARNAT se coordinará con las Secretarías de Marina, de Energía, de Salud, y la de Comunicaciones y Transportes, a efecto de que dentro de sus respectivas competencias, intervengan para prevenir, controlar, vigilar y abatir la contaminación del medio marítimo y preservar y restaurar el equilibrio de sus ecosistemas, con arreglo a lo que establece la LGEEPA, la Ley Federal del Mar y los demás ordenamientos aplicables y las normas vigentes del derecho internacional.

IMPACTO AMBIENTAL

De conformidad con lo dispuesto por la LGEEPA “la realización de obras o actividades públicas o privadas, que puedan causar desequilibrios ecológicos o rebasar los límites y condiciones señalados en los reglamentos y las normas técnicas ecológicas emitidas por la Federación para proteger el ambiente, deberán sujetarse a la autorización previa del Gobierno Federal, por conducto de la SEMARNAT o de las entidades federativas o municipios, conforme a las competencias que señala esta Ley, sí como al cumplimiento de los requisitos que se les impongan una vez evaluado el impacto ambiental que pudieran originar, sin perjuicio de otras autorizaciones que corresponda otorgar a las autoridades competentes” (Art. 28. LGEEPA).

La evaluación de impacto ambiental a que alude esta disposición, constituye uno de los instrumentos de política ecológica con que cuentan los Gobiernos Federal, Estatal y Municipal, y su papel fundamental consiste en que su elaboración se antepone por definición, a la ejecu-

ción de proyectos de obra y otras actividades de desarrollo. Es decir, tienen un carácter eminentemente preventivo.

La citada LGEEPA en sus artículos 28 al 35 faculta al Gobierno Federal, a través de la SEMARNAT para evaluar el impacto ambiental, por lo que toca a las materias reservadas a la Federación, señaladas en las obras de la tabla 2 y que incluyen todas aquellas actividades productivas que se desarrollan en las zonas costeras, por ejemplo viaductos marítimos, rellenos para ganar terrenos al mar, bocas de intercomunicación lagunar-marítima; desarrollos turísticos federales, proyectos acuícolas, entre otros. Por lo que respecta a las atribuciones de estados y municipios en materia de evaluación de impacto ambiental, se analiza posteriormente la legislación de carácter local correspondiente.

A través de un estudio denominado Manifestación de Impacto Ambiental (MIA), el

Tabla 2. Obras o actividades públicas o privadas que requieren autorización de la SEMARNAT en materia de impacto ambiental.

1	Hidráulicas
2	Vías generales de comunicación
3	Oleoductos, gasoductos, carbo ductos y poliductos
4	Industria del petróleo, petroquímica, química, siderúrgica
5	Papelera, azucarera, del cemento y eléctrica
6	Exploración , explotación y beneficio de minerales y sustancias reservadas a la Federación
7	Instalaciones de tratamiento, confinamiento o eliminación de residuos peligrosos
8	Aprovechamientos forestales en selvas tropicales y especies de difícil regeneración.
9	Plantaciones forestales, cambios de uso de suelo de actividades forestales, así como en selvas y zonas áridas
10	Parques industriales en donde se realicen actividades altamente riesgosas
11	Desarrollos inmobiliarios que afecten ecosistemas costeros
12	Obras y actividades en humedales, manglares, lagunas, ríos, lagos y esteros conectados con el mar, o en litorales y zonas federales.
13	Obras en áreas naturales protegidas de competencia de la Federación
14	Actividades Pesqueras, acuícolas o agropecuarias que pongan en peligro la preservación de una o más especies
15	Obras y actividades que correspondan a asuntos de competencia federal y que puedan causar desequilibrios ecológicos graves o irreparables

Fuente: LGGEPA y Reglamento de la Ley General del Equilibrio ecológico y la Protección al Ambiente en materia de impacto ambiental Diario Oficial de la Federación 30 de mayo de 2000

responsable de una obra o actividad pública o privada, declara el impacto ambiental que puede producir dicha actividad y propone las medidas para atenuar o evitar el impacto.

Para llevar a cabo la evaluación de las manifestaciones ambientales, la SEMARNAT ha instaurado un Procedimiento de Impacto Ambiental, que le permite dar cumplimiento a lo previsto en las citadas disposiciones.

El resultado de esta labor, se traduce en una resolución en la que se autoriza, condiciona o se niega la realización de dichas obras o actividades.

Por otra parte, el Reglamento en materia de Impacto Ambiental (Diario Oficial de la

Federación, 30 de mayo de 20007), tiene como objetivo fundamental establecer los mecanismos y procedimientos administrativos para asegurar la debida observancia de las disposiciones de la LGEEPA conforme a las cuales habrá de llevarse a cabo la evaluación del impacto ambiental, consistente en “ el procedimiento a través del cual la SEMARNAT establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites o condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el ambiente” (LGEEPA, art. 28). En la Tabla 3 se muestran las atribuciones conferidas a la Federación en esta materia.

ANÁLISIS DE LA LEGISLACIÓN LOCAL EN MATERIA AMBIENTAL DEL GOLFO DE MÉXICO

La LGEEPA, en su artículo 6º, señala que, con base en las disposiciones que para la distribución de competencia en las materias que regula esta Ley, expidan los congresos locales con arreglo a sus respectivas contribuciones, los ayuntamientos dictarán los bandos y reglamentos de policía y buen gobierno, a efecto de que en sus respectivas circunscripciones, se cumplan las disposiciones del citado ordenamiento.

Asimismo, en el ejercicio de sus atribuciones, las entidades federativas y en su caso, los municipios, observarán las disposiciones de esta Ley y los demás ordenamientos de que de ella se deriven y aplicarán las normas técnicas ecológicas que expida la Secretaría.

En cumplimiento a esta disposición las entidades federativas del país, cuentan con su ley en materia del equilibrio ecológico y la protección al ambiente en sus respectivas jurisdicciones.

Para el caso de las entidades federativas que integran el área del Golfo de México, la promulgación de leyes locales en materia ecológica ha seguido el siguiente orden:

“Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente del Estado de Yucatán”. (Decreto N°. 69, publicado en el Periódico Oficial del Gobierno del Estado, 21 de Diciembre 1989).

“Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente del Estado de Quintana Roo” (Decreto N°. 57, publicado en el Periódico Oficial del Gobierno del Estado, 14 de Abril 1989).

“Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Tabasco” (Decreto N°. 0044, publicado en el Periódico Oficial del Gobierno del Estado, 20 de diciembre 1989).

“Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Veracruz-Llave”

(Ley N°. 76, publicado en la Gaceta Oficial del Gobierno del Estado, 22 de mayo de 1990).

“Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Tamaulipas” (Ley publicada en el Periódico Oficial del Gobierno del Estado, 1º de febrero de 1992).

“Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Campeche” (Decreto del 21 de junio de 1994 y publicada en el Periódico Oficial del Gobierno del Estado, 2 de julio 1994).

A continuación se enuncian, en términos generales las disposiciones emanadas de las citadas leyes locales aplicables a la protección y manejo de las zonas costeras:

- La formulación y conducción de la política ecológica estatal.
- La preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente en el territorio de la entidad; salvo en asuntos reservados a la federación.
- La regulación del aprovechamiento racional y la prevención y control de la contaminación de las aguas de jurisdicción del estado.
- El ordenamiento ecológico estatal.
- La evaluación del impacto ambiental.

Por lo que toca al aspecto de evaluación de impacto ambiental el reglamento en la materia (diario Oficial de la Federación, 30 de mayo de 2000), señala que en las materias de competencia local que prevén los artículos 6º, 9º y 31 de la LGEEPA, las autorizaciones en materia de impacto ambiental serán expedidas por las autoridades competentes de los Estados, los Municipios o del Distrito Federal, en los términos de la Ley, las demás leyes locales y los demás ordenamientos aplicables (Tabla 3).

Tabla 3. Obras o actividades públicas o privadas que requieren autorización de los ejecutivos estatales en materia de impacto ambiental.

Materias Atribuidas a los Estados	Entidad Federativa	Fecha de Publicación Ley Local
La realización de obras o actividades públicas o privadas que puedan causar desequilibrios ecológicos o rebasar los límites y condiciones señalados en los reglamentos y en las normas técnicas emitidas por las Federación y el Gobierno del Estado, deberán sujetarse a la autorización previa del Ejecutivo del Estado de los municipios, en el ámbito de sus respectivas competencias, siempre que no se trate de materias reservadas a la Federación (Art. 29 de la LGEEPA). Corresponderá a los organismos y dependencias que el ejecutivo del Estado designe, evaluar el impacto ambiental, particularmente tratándose de las siguientes materias: I. Obra pública estatal II. Caminos rurales; III. Zonas y parques industriales; IV. Exploración, extracción y procesamiento de minerales y sustancias que constituyen depósitos de naturaleza semejante a los componentes de los terrenos V. Desarrollo turísticos estatales y privados VI. Instalación de tratamiento, confinamiento o eliminación de aguas residuales y de residuos sólidos no peligrosos. VII. Fraccionamientos, unidades habitacionales y nuevos centros de población VIII. Las demás que no sean competencia de la federación.	Yucatán	Diciembre 21, 1988
	Quintana Roo	Abril 14, 1989
	Tabasco	Diciembre 20, 1989
	Veracruz	30 de junio de 2000
	Tamaulipas	Febrero 1º, 1992
	Campeche	Julio 2, 1994
Fuente: Elaborado con base en volúmenes 1 y 2 de la Gaceta Ecológica Sedesol (SEDUE) e información de SEDESOL 1990-1994.		

Por otra parte, cabe señalar que en estas leyes no se contempla en forma expresa la protección y manejo de zonas costeras, pero en todas ellas queda presente el señalamiento de criterios a considerar en lo relativo a la prevención y control de la contaminación del agua.

Estos criterios destacan la competencia del estado y la sociedad para prevenir la conta-

minación de ríos, cuencas marinas y demás depósitos y corrientes de agua incluyendo las aguas del subsuelo. Asimismo, el aprovechamiento del agua en actividades productivas que produzcan su contaminación, conlleva la responsabilidad del tratamiento de las descargas, para reintegrarla en condiciones adecuadas para su utilización en otras actividades y para mantener el equilibrio de los ecosistemas.

NORMAS OFICIALES MEXICANAS APLICABLES EN LAS ZONAS COSTERAS

La Legislación ambiental aplicable y la Ley Federal de Normalización y Metrología, otorga a la Federación la facultad de expedir normas Oficiales Mexicanas en todas las materias objeto de la misma; de las cuales se aplican al caso de las zonas costeras las siguientes:

Recursos Naturales

Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001, Protección Ambiental —especies nativas de México de flora y fauna silvestres—Categorías de riesgo y especifica-

ciones para su inclusión , exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación del 6 de marzo de 2002.

NOM-126-SEMARNAT-2001, Que establece las especificaciones para la realización de actividades de colecta científica sobre material biológico de flora y fauna silvestres y otros recursos biológicos en el territorio nacional. Diario Oficial de la Federación del 20 de marzo de 2000.

Norma Oficial Mexicana NOM-022-SEMARNAT-2003. Que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar. Diario Oficial de la Federación del 10 de abril de 2003.

Agua

Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, Que establece los Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales en Aguas y Bienes Nacionales.(D.O.F. 6 Enero 1997). Esta Norma Oficial y sus usos, son de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales vertidas a aguas nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos. Esta NOM, no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes pluviales independientes.

Aire

Norma Oficial Mexicana NOM-075-SEMARNAT -1994, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles provenientes del proceso de los separadores agua-aceite de las refinerías de petróleo. Diario Oficial de la Federación, 26 de Diciembre 1995.

Pesca

NOM-002-PESC-1993, que ordena el aprovechamiento de las especies de camarón en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial de la Federación diciembre 4 de 1993.

NOM-008-PESC-1993, que ordena el aprovechamiento de las especies de pulpo en las aguas de jurisdicción federal del Golfo de México y Mar Caribe. Diario Oficial de la Federación diciembre 21 de 1993.

NOM-009-PESC-1993, Que establece el procedimiento para determinar las épocas de veda para la captura de las diferentes especies de la flora y fauna acuáticas, en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial de la Federación marzo 4 de 1994.

NOM-010-PESC-1993,. Que establece el procedimiento para determinar las épocas de veda para la captura de las diferentes especies de la flora y fauna acuáticas, en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial de la Federación marzo 4 de 1994.

NOM-011-PESC-1993,. Que establece los requisitos sanitarios para la importación de organismos acuáticos vivos en cualesquiera de sus fases de desarrollo, destinados a la acuacultura u ornato, en el territorio nacional. Diario Oficial de la Federación agosto 16 de 1994.

NOM-023-PESC-1993,. Que regula el aprovechamiento de las especies de túnidos con embarcaciones palangreras en aguas de jurisdicción federal del Golfo de México y el Caribe. Diario Oficial de la Federación agosto 4 de 1994.

Los avances señalados en materia de reglamentación y normatividad existente para la atención y manejo adecuado de las zonas costeras resultan insuficientes, dada la complejidad de la problemática ecológica en las mismas. La incidencia de actividades productivas de diversa índole, y sobre todo la naturaleza

heterogénea de las políticas y programas de desarrollo que se aplican en estas zonas, da como resultado inmediato, la insuficiente aplicación de las disposiciones ecológicas, lo que origina daños significativos a este patrimonio

Por otra parte, reviste primordial importancia promover ante las autoridades correspondientes, la emisión de normas tendiente a la regulación de las diferentes actividades productivas que inciden en las zonas costeras. Estas normas, deberán insertarse en un Plan o Programa Integral de Manejo de Zonas Costeras, que complete a su vez, un marco regional de planeación y de instrumentación de programas específicos.

Las líneas de acción de este programa se sustentarían en el ordenamiento ecológico la

evaluación de impacto ambiental, como instrumentos básicos de la planeación ecológica.

Este esquema integral de planeación ecológica, debería ser aplicado en las zonas costeras, sobre todo, si se considera que la evaluación del impacto ambiental complementaría esta fase de regulación y aprovechamiento racional de los recursos naturales, al tener en cuenta la actividad productiva y de los asentamientos humanos.

En suma, es menester contar con un marco normativo más amplio y acorde con las necesidades inherentes al manejo y protección de los recursos costeros. Un programa de carácter integral, que incluya ámbitos regionales y normas específicas, y considere modalidades críticas de contaminación.

MARCO DE REFERENCIA INTERNACIONAL

La gestión ambiental en el ámbito internacional, reviste una marcada importancia para el caso del Golfo de México, dado que se inscribe éste en la Región del Gran Caribe, siendo esta zona objeto de celebración de diversos convenios y programas de cooperación multilateral, tendiente a prevenir y en su caso, abatir el deterioro en la citada región.

En este sentido destaca la labor emprendida por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), que a través de sus programas de Mares Regionales; el Plan de Acción para el Medio Ambiente en América Latina y el Caribe, ha permitido caracterizar los problemas ambientales de la citada región. Uno de los aspectos más relevantes del diagnóstico ambiental llevado a cabo por los programas del PNUMA, se refiere al deterioro de los recursos marinos y costeros, enunciando su problemática como sigue:

Los manglares, pantanos, lagunas costeras y arrecifes coralinos, son ecosistemas todos ellos de particular fragilidad, ha sufrido degradaciones con frecuencia irreversibles por desarrollos mal planeados o problemas de contaminación, con la consiguiente merma de su potencial pesquero, los ecosistemas pelágicos se ha visto afectados por sobre pesca, derrame de hidrocarburos y vertidos de residuos.

Los recursos marinos y los ecosistemas pelágicos (inclusive los arrecifes y las zonas de reproducción) han sido afectados negativamente por la pesca excesiva, las prácticas pesqueras destructivas y una tecnología pesquera inapropiadas, por derrames de hidrocarburo y por el vertimiento de desechos. Las playas también se ha deteriorado debido a su uso excesivo e inapropiado para el esparcimiento, construcción y la extracción de arena.

La zona del Golfo de México padece varios de los problemas de carácter regional. Por este motivo, México ha participado en los amplios esfuerzos internacionales para la protección de los ecosistemas marinos, entre los que destacan numerosos acuerdos internacionales, convenciones y otras disposiciones en la materia, coronadas por la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar, celebrada en Montego Bay, Jamaica 1982, que constituye el mayor avance en reglas sobre protección del medio marino (Brañes, 1987 y 1994).

Cabe destacar, que al contrario de lo que ocurre a nivel nacional, donde resultan insuficientes las disposiciones específicas para la protección de los ecosistemas marinos, a nivel internacional se ha desarrollado un vasto campo de disposiciones y programas tendientes a la regulación ecológica del medio marino.

México ha suscrito y ratificado un número importante de estos acuerdos internacionales se señalan los más importantes en el Anexo 3.

Como puede observarse en el Anexo 3, es vasto el campo de disposiciones regionales en la manera, por lo que a continuación se presentan los ejemplos más representativos de estos mecanismos de cooperación internacional para proteger el medio marino:

Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (Montego Bay, 1982)

La Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar fue suscrita por 138 países el 10 de diciembre de 1982 en Montego Bay, Jamaica. Esta Convención fue resultado de un largo proceso que se inició en 1967 y que se extendió hasta 1982. Una importante etapa de este proceso estuvo constituida por la aprobación en 1970 por la Asamblea de las Naciones Unidas, de la declaración de las zonas de los fondos marinos y oceánicos y sus subsuelos fuera de los límites de jurisdicción nacional, así como sus recursos, como patrimonio común de la humanidad, y que su exploración y explotación se realizará en beneficio de toda la humanidad, independientemente de la situación geográfica de los Estados (Resolución 2749, XXV del 17 de diciembre de 1970).

El objetivo fundamental de esta Convención consiste en promover el establecimiento, en un marco de respeto a la soberanía de todos los estados, de un orden jurídico para los mares y océanos que facilite la comunicación internacional y promueva los usos con fines pacíficos de los mares y océanos, la utilización equitativa y eficiente de sus recursos, el estudio, la protección y la preservación del medio marino y la conservación de sus recursos vivos.

En el articulado de la Convención destacan las disposiciones sobre la Zona Económica Exclusiva (Parte V), Plataforma Continental (Parte VI); Alta mar (Parte VII); Fondos Marinos y Oceánicos (Parte XI); y la Parte XII sobre Protección y Preservación del Medio Marino.

En este rubro se destaca el establecimiento de normas generales para la protección y preservación del medio marino, haciendo énfasis en las siguientes obligaciones para los estados ribereños (Brañes, 1987):

“Dictar leyes y reglamentos para prevenir, reducir y controlar la contaminación del medio marino procedente de fuentes terrestres, incluidos los ríos, estuarios, tuberías y estructuras de desagüe, teniendo en cuenta las reglas y estándares, convenidos internacionalmente”... (Art. 207).

“Los estados ribereños dictaran leyes y reglamentos para prevenir, reducir y controlar la contaminación del medio marino resultante directa o indirectamente de las actividades relativas a los fondos marinos sujetas a su jurisdicción y de las islas artificiales, instalaciones y estructuras bajo su jurisdicción....” (Art. 208).

Se establecerán normas, reglamentos y procedimientos internacionales para prevenir, reducir y controlar la contaminación del medio marino resultante de las actividades de la zona...” (Art. 209).

“Los Estados dictarán leyes y reglamentos para prevenir, reducir y controlar la contaminación del medio marino por vertimiento ... (Art. 210).

“Los Estados, actuando por conducto de las organizaciones internacionales competentes o de una conferencia diplomática general, establecerán reglas y estándares de carácter internacional para prevenir, reducir y controlar la contaminación del medio marino causada por buques y promoverán la adopción, del mismo modo y siempre que sea apropiado, de sistemas de ordenación del tráfico destinados a reducir al mínimo el riesgo de accidentes que puedan provocar la contaminación del medio marino, incluido el litoral, o afectar adversamente por efecto de la contaminación a los intereses conexos de los Estados ribereños...” (Art. 211).

“Para prevenir, reducir y controlar la contaminación del medio marino desde la atmósfera o a través de ella, los Estados dictarán leyes

y reglamentos aplicables al espacio aéreo bajo su soberanía y a los buques que enarbolan su pabellón... (Art. 212).

En México la mayor parte de estas disposiciones se ha aplicado en forma incipiente, solo en lo respecta a la formulación de estándares.

Plan de Acción para el Programa Ambiental del Caribe

Proyecto APCEP / 2

El proyecto APCEP/2, denominado "Desarrollo de Metodologías Específicas para la preparación de la Evaluación del Impacto Ambiental del Gran Caribe (PNUMA-SEDUE 1989), recibió la máxima prioridad en la Reunión Inter-gubernamental sobre el Plan de Acción para el Programa Ambiental del Caribe (PAC), CELEBRADA EN Montego Bay, en Abril de 1981, y fue ratificado posteriormente en Cancún, Quintana Roo, México, durante la IV Reunión del Comité de Supervisión del PAC en 1985. México fue designado como país ejecutor y Cuba y Barbados como países coparticipantes.

Las actividades prevista en el proyecto se llevaron a cabo de 1985 a 1988, cumpliéndose los objetivos señalados en el mismo, entre los que destacan los siguientes:

- Desarrollar, mediante tres estudios de caso, metodologías de evaluación de impacto ambiental adecuadas a las características del medio ambiente coterro de los estados y territorios del Gran Caribe.
- Adiestrar técnicos de los países participantes en metodologías de evaluación de impacto ambiental.
- Celebrar un seminario taller para dar a conocer los trabajos realizados por los tres países involucrados, con la participación de expertos de la región del Gran Caribe.
- Preparar un informe del seminario-taller que incluya los estudios de caso señalados, las metodologías presentadas y las conclusiones obtenidas en las deliberaciones.

- Crear una base de datos alfa-numérica y cartográfica sobre ecosistemas marinos y costeros afectados por proyectos de desarrollo en la región, con el propósito de intercambiar información como herramienta para el establecimiento de políticas de desarrollo y gestión ambientalmente correctas.

Las conclusiones de este proyecto tienen gran importancia para los propósitos de este trabajo, destacándose las siguientes:

La evaluación del impacto ambiental es un instrumento de gran importancia, que debe ser considerado en los planes de desarrollo de todos los países del Caribe con objeto de prevenir oportunamente efectos negativos sobre los ecosistemas.

La planeación del uso del suelo en las zonas costeras del Gran Caribe reviste especial significación, y que con frecuencia se dan usos incompatibles que afectan particularmente los recursos marinos, de enorme importancia en la mayoría de los países de la región.

Se recomienda instaurar metodologías de planeación ambiental a dos niveles: uno macro, que estaría dado por los estudiosos de ordenamiento ecológico; y el otro el nivel específico, puntual, que sería abordado por los estudiosos de evaluación de impacto ambiental propiamente dicho.

Finalmente, hubo consenso por parte de los países participantes en el sentido de que la experiencia obtenida a través del intercambio de ideas y enfoques técnicos ha resultado del todo exitosa en cuanto al fortalecimiento de las relaciones entre estas naciones y, por extensión, del Programa Ambiental del Caribe. Por esta razón, los países participantes han considerado indispensable continuar y ampliar este proyecto.

Convenio para la Protección y Desarrollo del Medio Ambiente en la Región del Gran Caribe

Este convenio fue aprobado en una Conferencia de Plenipotenciarios convocada para ese efecto, que se llevó a cabo los días 21 a 24 de marzo de 1983 en Cartagena de Indias, Colombia y tiene como zona de aplicación del convenio, el medio marino del Golfo de México, el Mar Caribe y las zonas adyacentes del Océano Atlántico al sur de los 30 grados de latitud norte y dentro de las 200 millas marinas de las costas atlánticas de los Estados que son parte del convenio. Esta zona no incluye aguas interiores (Brañes, 1987).

El convenio establece en términos generales, la obligación de las partes para establecer medidas adecuadas para prevenir, reducir y controlar la contaminación de la zona de aplicación del convenio y para asegurar una ordenación racional del medio. Al igual que la citada Convención sobre Derecho del Mar, este convenio dispone regulaciones especiales, como las que a continuación se señalan:

- Obligación de las partes para adoptar las medidas necesarias para evitar la contaminación causada por buques, procedente de fuentes terrestres, la resultante de actividades en los fondos marinos, etc. El convenio establece además un sistema de cooperación científica y técnica, así como las previsiones relativas a que las partes contratantes evalúen el posible impacto de proyectos de desarrollo importantes sobre el medio ambiente, especialmente en las zonas costeras (Art. 12).

En nuestro país, este propósito se ha ido cumpliendo a medida que se instauran disposiciones relativas a la evaluación de impacto ambiental; como ya se ha destacado en el rubro anterior.

Aunado al convenio se aprobó un Protocolo relativo a la Cooperación para Combatir los Derrames de Hidrocarburos en la Región del Gran Caribe (Diario Oficial de la Federación,

5 de agosto de 1985), que como lo indica su denominación es aplicable a "los incidentes de derrame de hidrocarburos que tengan como resultado la contaminación del medio marino y costeros de la Región del Gran Caribe o que afecten adversamente a los intereses conexos de una o varias partes contrastante o constituyan un peligro considerable de contaminación".

En el citado Protocolo se prevé además, que las partes signatarias prepararán además, que las partes signatarias prepararán los cambios necesarios para extender el protocolo a la cooperación regional para la lucha contra los derrames de sustancias peligrosas distintas de los hidrocarburos.

Convenio sobre la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y Otras Materias

Este Convenio firmado el 15 de julio de 1975, establece el compromiso de las partes contratantes de adoptar todas las medidas posibles para impedir la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias que puedan constituir un peligro para la salud humana, dañar los recursos biológicos y la vida marina, reducir las posibilidades de esparcimiento o entorpecer otros usos legítimos del mar (Diario Oficial de la Federación, 15 de julio de 1975).

Para el caso de México, con el propósito de vigilar el cumplimiento de este convenio, el Ejecutivo Federal expidió el Reglamento para Prevenir y controlar la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias (Diario Oficial de la Federación, 23 de enero de 1979), confiriéndose a la Secretaría de Marina su aplicación y vigilancia.

Este reglamento regula "los vertimientos deliberados de materias sustancias o desechos en aguas marinas jurisdiccionales mexicanas" (Art. 1).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La gestión y manejo de la zona costera del Golfo de México y sus recursos requiere de la intervención de diversas instituciones, así como del establecimiento de responsabilidades compartidas y de la aplicación de múltiples instrumentos jurídicos a los niveles federal, regional y local.

En las últimas dos décadas se ha llevado a cabo, la aplicación de programas y acciones tendientes a la prevención y control del deterioro de los recursos marinos, asimismo, se han promulgado diversas disposiciones jurídicas aplicables a dicha materia.

En este sentido, México cuenta con un marco de políticas ambientales amplio y derivado de los principios y filosofía del desarrollo nacional, que se orienta a fomentar el crecimiento económico, respetando el equilibrio y conservación de los recursos naturales en que se sustenta.

La conservación y aprovechamiento de los recursos naturales y las acciones de prevención y control de la contaminación ambiental son los aspectos que cuentan con el mayor número de disposiciones jurídicas vigentes. Asimismo, como se ha destacado, existen diversos programas sectoriales, con objeto de atender los aspectos señalados de la gestión ambiental.

Los instrumentos señalados incorporan en forma general, la atención de las zonas costeras y sobre todo dirigen sus esfuerzos a los casos de derrames accidentales de hidrocarburos u otros casos coyunturales. Sin embargo, la falta de homogeneidad en los mismos, las carencias en los mismos, las carencias en lo referente a la expedición y aplicación de normas específicas para zonas costeras y sus recursos, tales como orientadas a la conservación y aprovechamiento de manglares y arrecifes coralinos, entre las más importantes exigen la reformulación e integración en su caso, de políticas, programas y disposiciones.

Los requerimientos más importantes para llevar a cabo lo anterior son los siguientes:

a) Elaborar un Programa Integral de Manejo de Zonas Costeras, que contemple aspectos

de planeación del desarrollo, instrumentos de políticas ecológica, como el ordenamiento ecológico, impacto y riesgo

b) Formular las Normas Oficiales Mexicanas y criterios técnicos ecológicos, para la regulación de las diversas actividades productivas y socioeconómicas que se realizan en las zonas costeras y sus recursos, de las siguientes actividades:

- Manejo y conservación ecológica de manglares y arrecifes coralinos
- Manejo y disposición final de desechos peligrosos.
- Vertimiento e incineración de residuos peligrosos y otros materiales en la región del Golfo de México.
- Extracción de agua potable en zonas costeras.
- Disposición de aguas residuales (Complementar las normas enunciada en el Anexo 2)
- Bancos de préstamo de materiales.
- Infraestructura hotelera.
- Caminos y vías de acceso a sitios costeros
- Infraestructura portuaria y marítima.
- Marinas turísticas
- Manejo y disposición de residuos municipales.
- Cambios de uso del suelo, particularmente en áreas de uso agrícola.

c) Promover la instauración de “Áreas Marinas Protegidas”, en el marco del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas, con objeto de salvaguardar los ecosistemas conteros y marinos representativos.

d) Revisión y actualización del marco jurídicos aplicable, con el propósito de incorporar disposiciones específicas, programas operativos, instrumentos de vigilancia, supervisión y seguimiento para el manejo de las zonas costeras y sus recursos.

e) Establecer mecanismos o crear una unidad administrativa encargada de dar seguimiento a la gestión del citado programa de manejo, con enfoque regional e inclusive multilateral, dadas las repercusiones en el derecho internación de la aplicación de un programa de esta naturaleza.

f) Promover la instalación de un Consejo Asesor, integrado con los especialistas, funcionarios, empresarios, instituciones académicas, fundaciones nacionales e internacionales y miembros de la sociedad civil interesados en la problemáticas de las zonas costeras.

g) Promover en el ámbito internacional el seguimiento del proyecto "Desarrollo de Metodologías Específicas para la Preparación de la Evaluación del Impacto Ambiental del Gran Caribe . (APCEP /2), ampliando su aplicación a toda la zona del Golfo de México, ya que el estudios de caso realizado comprende exclusivamente el Impacto Ambiental en el Área Metropolitana de la Desembocadura del Río Pánuco.

h) Ampliar y fortalecer las acciones de cooperación regional y el intercambio científico y tecnológico para la instauración de programas de cooperación multilateral.

ANEXO 1

SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) establece en su Artículo 76 que La Secretaría (SEMARNAT) integrará el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas, con el propósito de incluir en el mismo las áreas que por su biodiversidad y características ecológicas sean consideradas de especial relevancia en el país.

La integración de áreas naturales protegidas de competencia federal al Sistema

Nacional de Áreas Naturales Protegidas, por parte de la Secretaría, requerirá la previa opinión favorable del Consejo Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

De esta forma, las dependencias de la administración pública federal, los gobiernos de los estados, del Distrito Federal y de los municipios, deberán considerar en sus programas y

acciones que afecten el territorio de un área natural protegida de competencia federal, así como en el otorgamiento de permisos, concesiones y autorizaciones para obras o actividades que se desarrollen en dichas áreas, las previsiones contenidas en la presente Ley, los reglamentos, normas oficiales mexicanas que se expidan en la materia, en los decretos por los que se establezcan las áreas naturales protegidas y en los programas de manejo respectivos (Art 77)

Actualmente el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas se integra con 150 áreas decretadas que significan 17,8 millones de hectáreas, de las cuales aproximadamente 4 millones de hectáreas corresponden a las ANP'S de carácter marino. Para el caso que nos ocupa, se presenta en la Tabla 4 las áreas naturales protegida localizadas en la zona del Golfo de México.

Tabla 4. Áreas naturales protegidas localizadas en los estados del Golfo de México 2004.

Entidad	Municipio	Categoría Denominación	Fecha del Decreto	Superficie Ha	Ecosistema
Tamaulipas	Gómex Farias, Ocampo, Llera Jaumave	Reserva de la Biosfera (Estatal) El Cielo	13 / julio /1985	144,530	Bosque tropical, bosque de coníferas, bosque mesófilo
		Playa de Rancho Nuevo	16 / julio /2002	30	
Veracruz	Angel R. Cabada, Catemaco, Mecayapan, Pajapan, San Andrés Tuxtla, Santiago Tuxtla, Soteapan, Tatahuicapan	Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas	23 /noviembre/ 1998	155,122	Selva baja caducifolia , selva media perennifolia, bosque mesófilo
	Frente a Veracruz, Boca del Río y Alvarado	Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzán	24/ agosto/1992	52,238	Arrecife coralino
Tabasco	Centla, Huimanguillo y Jonuta	Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla	6 / agosto/ 1992	302,706	
Campeche	Carmen, Palizada y Champoton	Área de protección de flora y fauna.Laguna de Términos	6 / junio / 1994	705,016	Comprende al sistema lagunar-estuarino de mayor volumen y extensión en el país, con una gran biodiversidad
	Calkini, Hecelchakán, Tenabo y Campeche	Reserva de la Biosfera Los Petenes	Decretada por el Ejecutivo del estado 4 / junio / 1996. Recategorizada por la Federeación 24 /mayo/ 1999	282,858	Comprende un ecosistema único en su género, constituye una zona de gran valor ecológico por su biodiversidad y la variedad de ecosistemas independientes que se presentan en esta zona
	Campeche y Calakmul	Reserva de la Biosfera Calakmul	23 / mayo /1989	723,185	Selva alta, mediana y baja subperinnifolia, vegetación hidrófita
Campeche Yucatán	Celestum y Calkini	Celestum	27/ noviembre/ 2000	81,842	Mangle, vegetación dunas costeras, petenes, sabana, tulares. Selva baja inundable
Yucatán	San Felipe, Río Lagartos y Tzimin	Reserva de la Biosfera Ría Lagartos	21/ mayo /1999	60,348	Selva baja caducifolia, dunas costeras, manglar
	Frente a municipio Progreso	Parque Nacional Arrecife Alacranes	06 / junio / 1994	333,579	
Fuente: SEMARNAT. CONANP, 2004.					

Tabla 4 (Continuación). Áreas naturales protegidas localizadas en los estados del Golfo de México 2004.

Entidad	Municipio	Categoría Denominación	Fecha del Decreto	Superficie Ha	Ecosistema
Yucatán	Mérida	Parque Nacional Dzibilchantun	14 / abril /1987	539	
Yucatán y Quintana Roo	Valladolid , Solidaridad	Área de protección de flora y fauna Otoch Ma ´ax yetel kooh	5 / junio / 2002		
		Playa adyacente a la localidad denominada Ría Lagartos	29/octubre/1986 Recategorizada 16 / julio / 2002	131	
Quintana Roo	Felipe Carrillo Puerto y Cozumel	Reservas de la Biosfera:Sian Ka ´an	20/ enero /1986	538,147	
	Frente a los Municipios de Solidaridad y Felipe Carrillo Puerto	Arrecifes de Sian Ka ´an	02/ febrero/1998	34,927	Arrecife coralino
	Othón P. Blanco	Banco Chinchorro	19 / julio /1996	144,360	Arrecife coralino
	Cozumel	Parques Nacionales Arrecifes de Cozumel	19 / julio / 1996	11,988	Arrecife coralino
	Benito Juárez	Arrecife de Puerto Morelos	2 / febrero /1998	9,067	Arrecife coralino
	Isla Mujeres y Benito Juárez	Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc	19 /julio / 1996	8,673	Arrecife coralino
	Isla Mujeres	Isla Contoy	2 / febrero /1998	5,126	
	Felipe Carrillo Puerto	Tulum	23 / abril / 1981	664	
	Othón P. Blanco	Arrecifes Xcalak	27/ noviembre/2000	17,949	
	Felipe Carrillo Puerto yOthón P. Blanco	Áreas de Protección de Flora y Fauna Uaymil	17/noviembre/ 1994	89,118	Selva baja inunda- ble, manglar
	Lázaro Cárdenas e Isla Mujeres	Yem Balum	6 / junio / 1994	154,052	
	Isla Mujeres	Santuario Playa Isla Contoy	16 / julio / 2002	14	

Fuente: SEMARNAT. CONANP, 2004.

ANEXO 2

PRONTUARIO DE OTRAS DISPOSICIONES JURÍDICO-NORMATIVAS APLICABLES A LAS ZONAS COSTERAS

Normas, reglamentos, acuerdos u otras disposiciones aplicables a la regulación de los recursos pesqueros localizados en el Golfo de México y Mar Caribe.

En el marco jurídico antes señalado y desde 1992 en atención a lo dispuesto por la nueva Ley de Metrología y Normalización (1992), el Ejecutivo Federal a través de la Secretaría de Pesca emitió diversas disposiciones tendientes a la regulación de la explotación pesquera en la zona del Golfo de México y el Mar Caribe, que se relacionan directamente con la región, las cuales se mencionan brevemente a continuación:

- Decreto por el que se determinan como zonas de reserva y sitios de refugio para la protección, conservación, repoblación y desarrollo de las especies de tortuga marina, los lugares en los que dicha especie anida y desova, adyacentes a las playas que se indican (Diario Oficial de la Federación, 29 de octubre de 1986).
- Acuerdo por el que se establece veda para las especies y subespecies de tortuga marina en aguas de jurisdicción federal del Golfo de México y Mar Caribe, así como las del Océano Pacífico, incluyendo el golfo de California (Diario Oficial de la Federación, 31 de mayo de 1990).
- Acuerdo que norma el aprovechamiento de las especies de camarón de alta mar en aguas de jurisdicción federal del Golfo de México y Mar Caribe, así como las del Océano Pacífico (Diario Oficial de la Federación, 17 de mayo de 1991. Modificado por acuerdo Presidencial el 26 de septiembre de 1991).

En este acuerdo se considera "Que el aprovechamiento de las especies de camarón de alta mar en aguas de jurisdicción federal del Océano Pacífico, Golfo de México y Mar Caribe

ha generado el establecimiento de pesquerías comerciales de particular importancia económica y social que es necesario mantener, por los ingresos y divisas que generan y por el número de empleos productivos que sustentan, tanto en su fase extractiva, como en las de procesamiento, distribución y comercialización".

- Asimismo, considerando por una parte que durante las operaciones de pesca de camarón en alta mar con embarcaciones mayores podrían registrarse capturas incidentales de tortugas marinas, principalmente en el Golfo de México y el Mar Caribe. Y por otra, que existe veda total e indefinida para las especies de tortuga marina existentes en la zona, decretada desde 1990 por la SEDUE y la Secretaría de Pesca. Se ha considerado necesario tomar previsiones para evitar la captura incidental de tortugas en esta pesquería.

Por lo anterior, en el presente acuerdo se establecen las bases para el cumplimiento del citado objetivo.

- Acuerdo por el que se establecen medidas para la identificación y control de pescadores, cooperativistas y embarcaciones menores de diez toneladas brutas de registro autorizadas para la pesca comercial de camarón en sistemas lagunares estuarinos y bahías ubicados en los litorales del Océano Pacífico, Golfo de California y Golfo de México (Diario Oficial de la Federación, 17 de mayo de 1991).

El segundo considerando de este acuerdo establece: "Que el aprovechamiento de las diferentes especies de camarón en sistemas lagunares—estuarinos ha generado el establecimiento de diversas pesquerías en ambos litorales del país de particular importancia económica y social en las que participan más de trescientas sociedades cooperativas de producción pesquera, que es necesario mantener, por los ingresos y divisas que generan y por el

numero de empleos productivos que sustentan tanto en su fase extractiva como en las de procesamiento, distribución y comercialización”.

En el tercer considerando se destaca que el desenvolvimiento de las pesquerías de camarón en aguas protegidas se ha registrado una tendencia creciente tanto en el numero de pescadores como en la cantidad de embarcaciones existiendo alrededor de diecisiete mil embarcaciones autorizadas a operar en más de trescientas cooperativas, las que no obstante, de observarse un aparente incremento en los rendimientos de las capturas por embarcación, muchas de ellas enfrentan problemas financieros, por lo que se hace necesario tomar medidas pertinentes para identificar a las unidades de pesca que participan en estas pesquerías y para medir adecuadamente el esfuerzo pesquero que esta siendo aplicado al recurso y las capturas por unidad de esfuerzo.

De esta forma, el citado acuerdo establece sitios específicos para el desembarque de las capturas por cooperativa, de acuerdo a los lineamientos de la Secretaria de Pesca.

- Norma Oficial Mexicana de Regencia 002-PESC-1993 (Diario Oficial de la Federación, 1º de abril de 1993) por la que se establece el uso obligatorio de dispositivos excluidores de tortugas mexicanas en el Golfo de México y Mar Caribe mexicanos., Esta norma fue renovada el 14 de septiembre del mismo año con la denominación NOMEN-008-PESC-1993.

Esta disposición tiene por objeto establecer a partir del 1º de Abril de 1993, el uso obligatorio de cualquiera de los dispositivos excluidores de tortugas marinas que autorice la Secretaria de Pesca, en todas las operaciones de pescas comerciales de camarón con redes de arrastre en el Golfo de México y Mar Caribe mexicanos.

Asimismo, por Acuerdo del 23 de diciembre de 1993, se emitió la NOM-012-PESC'1993, para ordenar el aprovechamiento de las espe-

cies de camarón en aguas de jurisdicción federal, en la cual se establece el uso obligatorio de cualesquiera de los dispositivos excluidores de tortuga marina autorizados en todas las redes de arrastre utilizadas durante la realización de pesca comercial de camarón.

Cabe señalar, que se han citado igualmente, algunos de los esfuerzos realizados por el Ejecutivo Federal, tendientes a la Protección de la tortuga marina (Diarios Oficiales de la Federación del 31 de mayo de 1990; 8 de octubre de 1993; 2 de diciembre de 1993 y 23 de diciembre de 1993).

Estas normas se complementan con las disposiciones antes señaladas.

- Criterios de calidad del agua, CECCA.001/89 (Diario Oficial de la Federación, 2 de diciembre de 1989) que son el marco de referencia para instrumentar acciones de política ecológica por lo que concierne a los diferentes usos del agua ya que con base en estos criterios la autoridad competente califica a los cuerpos de agua como aptos para ser utilizados como fuente de abastecimiento de agua potable, en actividades recreativas con contacto primario, para riego agrícola, para uso pecuario, en la acuicultura o para la protección de la vida acuática.
- Normas Oficiales Mexicanas (antes normas técnicas ecológicas), que establecen los límites máximos permisibles de contaminantes contenidas en las descargas de aguas residuales de la industria a los diferentes cuerpos de agua. Entre las fuentes contaminantes de mayor importancia, se encuentran: la industria azucarera, la generación de energía en plantas termoeléctricas, la refinación del petróleo y sus derivados y la petroquímica básica, la industria textil, de celulosa, papel, beneficio del café; de preparación y envasado de conservas y mariscos, y de producción de harina y aceite de pescado.

ANEXO 3

ACUERDOS INTERNACIONALES FIRMADOS POR MÉXICO EN MATERIA AMBIENTAL EN ZONAS COSTERAS

Convención Internacional para la Reglamentación de la caza de la ballena (Diario Oficial de la Federación, 30 de junio de 1949).

Convenio Internacional para la Prevención de la Polución de las Aguas por Hidrocarburos (Diario Oficial de la Federación, 20 de junio de 1956)

Convención Sobre el Mar Territorial y la zona Contigua (Diario Oficial de la Federación, 15 de octubre de 1966).

Convención Sobre la Alta Mar Diario Oficial de la Federación, 19 de octubre de 1966)

Convención sobre Pesca y Conservación de Recursos Vivos en Alta Mar (Diario Oficial de la Federación, 22 de octubre de 1966)

Convención sobre Plataforma Continental (Diario Oficial de la Federación, 16 de diciembre de 1966)

Convención Constitutiva de la Organización Consultiva Marítima Intergubernamental (Diario Oficial de la Federación, 08 de Agosto de 1970)

Convención relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como habitada de Aves Acuáticas, Ramsar, Irán, el 2 de febrero de 1971. Protocolo de modificaciones, firmado en París el 3 de diciembre de 1982 /Diario Oficial de la Federación del 29 de Agosto de 1986)

Convenio sobre la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras Materias (Diario Oficial de la Federación, 15 de julio de 1975)

Acuerdo de Cooperación entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América sobre Contaminación del Medio Marino por Derrame de Hidrocarburos y

otras sustancias nocivas (Diario Oficial de la Federación, 18 de mayo de 1981).

PNUMA: Plan de Acción del Programa Ambiental del Caribe (Montego Bay, 1981).

Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (diario Oficial de la Federación, 1º junio de 1983)

Convenio Constitutivo de la Organización Latinoamericana de Desarrollo Pesquero (Diario Oficial de la Federación, 20 de julio de 1983).

Convenio para la protección y el Desarrollo del Medio Ambiente en la Región del Gran Caribe (Diario Oficial de la Federación, 2 de Agosto de 1985).

Conferencia de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD) celebrada en Río de Janeiro Brasil el 5 de Junio de 1992. En el marco de esta Conferencia, México suscribió los documentos: Convención Marco sobre Cambio Climático, Convención sobre Diversidad Biológica, Agenda XXI y la Declaración de Río.

Decreto de Promulgación de las enmiendas al Convenio Internacional Para Prevenir la Contaminación por Buques (Diario Oficial de la Federación, 26 de Octubre de 1993).

Convención Marco Sobre Cambio Climático. Firma 13 de junio de 1992. Ratificación 11 de marzo de 1993. Entrada en vigor 21 de marzo de 1994.

Convenio sobre Diversidad Biológica. Firma 13 de junio de 1992. Ratificación 11 de marzo de 1993. Entrada en vigor 29 de diciembre de 1993.

Convención Interamericana de Protección y Conservación de las Tortugas Marinas.

Firma 1 de diciembre de 1996. Ratificación 11 de septiembre de 2000. Entrada en vigor 2 de mayo de 2001.

Convención sobre Pesca y Conservación de los Recursos Vivos de Alta Mar. Firma 20 de abril de 1958. Entrada en vigor 1 de septiembre de 1996.

ANEXO 4

NORMATIVIDAD CONSULTADA

Autores

Brañes, R., 1987. Derecho Ambiental Mexicano, Fundación Universo XXI, México.

Brañes, R., 1994. Manual de Derecho Ambiental Mexicano, Fundación Universo XXI – Fondo de Cultura Económica. México.

UNAM-PEMEX, 1992. La Industria Petrolera ante la Regulación Jurídica-Ecológica en México. México, 1992.

Disposiciones Jurídicas

Acuerdo

Acuerdo de Cooperación entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América sobre Contaminación del Medio Marino por Derrame de Hidrocarburos y otras sustancias nocivas (Diario Oficial de la Federación, 18 de mayo de 1981).

Acuerdo por el que el Plan Nacional de Contingencia para Combatir y Controlar Derrames de Hidrocarburos y Sustancias Nocivas en el Mar será de carácter permanente y de interés social (Diario Oficial de la Federación del 15 de abril de 1981).

Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua, CECCA-001/89 (Diario Oficial de la Federación del 2 de diciembre de 1989)

Acuerdo por el que se establece veda para las especies y subespecies de tortuga marina en aguas de jurisdicción federal del Golfo de México y Mar Caribe, así como las del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California. (Diario Oficial de la Federación, 31 de Mayo de 1990).

Acuerdo que norma el aprovechamiento de las especies de camarón de altamar en aguas de jurisdicción federal del Golfo de México y Mar Caribe, así como las del océano Pacífico (Diario Oficial de la Federación, 17 de mayo de 1991). Modificado por Acuerdo Presidencial Publicado el 26 de septiembre de 1991.

Acuerdo por el que se establecen medidas para la identificación y control de pescadores, cooperativistas y embarcaciones menores de 10 toneladas brutas de registro autorizadas para la pesca comercial del camarón en sistemas lagunares-estuarinos y bahías ubicados en los litorales del Océano Pacífico, Golfo de California y Golfo de México (Diario Oficial de la Federación del 17 de mayo de 1991).

Acuerdo por el que la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, con la participación de la Secretaría de Turismo, procederá a planear el ordenamiento ecológico para el desarrollo turístico de la región denominada Corredor Cancún-Tulum (Diario Oficial de la Federación del 31 de Mayo de 1991).

Acuerdo por el que se crea la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Diario Oficial de la Federación del 16 de marzo de 1992).

Acuerdo por el que se adscriben orgánicamente las unidades administrativas de la Secretaría de Desarrollo Social (Diario Oficial de la Federación del 4 de junio de 1992).

Acuerdo que regula la organización y funcionamiento interno del Instituto Nacional de Ecología y de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. (Diario Oficial de la Federación, 17 de Julio de 1992).

Acuerdo por el que se crea con carácter permanente la Comisión Intersecretarial para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas. (Diario Oficial de la Federación del 2 de diciembre de 1993).

Bases de colaboración que celebran la Secretaría de Marina, la Secretaría de Desarrollo Social y la Secretaría de Pesca, con la finalidad de, implementar medidas de control y vigilancia de los campamentos tortugeros y dar el debido cumplimiento a lo establecido en los artículos noveno y décimo tercero del acuerdo por el que se establece veda para las especies y subespecies de tortuga marina en las aguas de jurisdicción federal del Golfo de México y del Mar Caribe, así como las del Océano Pacífico y el Golfo de California (Diario Oficial de la Federación del 8 de octubre de 1993).

Convenios, Convenciones y Conferencias Nacionales e Internacionales Suscritas por México

Convención Internacional para la Reglamentación de la Caza de la Ballena (Diario Oficial de la Federación del 30 de junio de 1949).

Convenio Internacional para la Prevención de la Polución de las Aguas por Hidrocarburos (Diario Oficial de la Federación del 20 de julio de 1956).

Convención sobre el Mar Territorial y la Zona Contigua (Diario Oficial de la Federación del 15 de octubre de 1966).

Convención sobre la Alta Mar (Diario Oficial de Federación del 19 de octubre de 1966).

Convención sobre Pesca y Conservación de los Recursos Vivos en Alta Mar (Diario Oficial de la Federación del 22 de octubre de 1966).

Convención sobre Plataforma Continental (Diario Oficial de la Federación del 16 de diciembre de 1966).

Convención Constitutiva de la Organización Consultiva Marítima Intergubernamental (Diario Oficial de la Federación del 8 de Agosto de 1970).

Convención relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas, Ramsar, Irán, el 2 de febrero de 1971. Protocolo de modificaciones, firmado en París el 3 de diciembre de 1982 (Diario Oficial de la Federación del 29 de Agosto de 1986).

Convenio sobre la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras Materias (Diario Oficial de la Federación del 15 de julio de 1975).

Acuerdo de Cooperación entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América sobre Contaminación del Medio Marino por Derrame de Hidrocarburos y otras Sustancias Nocivas (Diario Oficial de la Federación del 18 de mayo de 1981).

PNUMA, Plan de Acción del Programa Ambiental del Caribe (Montego Bay, 1981).

Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (Diario Oficial de la Federación del 10 de junio de 1983).

Convenio Constitutivo de la Organización Latinoamericana de Desarrollo Pesquero (Diario Oficial de la Federación del 20 de julio de 1983).

Convenio para la Protección y el Desarrollo del Medio Ambiente en la Región del Gran Caribe (Diario Oficial de la Federación del 2 de Agosto de 1985).

Protocolo relativo a la Cooperación para Combatir los Derrames de Hidrocarburos en la Región del Gran Caribe (Diario Oficial de la Federación del 5 de Agosto de 1985).

Conferencia de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD) celebrada, en Río de Janeiro Brasil el 5 de Junio de 1992. En el marco de esta Conferencia, México suscribió los siguientes documentos:

- Convención Marco sobre Cambio Climático
- Convenio sobre Diversidad Biológica.
- Agenda XXI
- La Declaración de Río
- Decreto de Promulgación de las enmiendas al "Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por Buques (Diario Oficial de la Federación del 26 de Octubre de 1993).

Disposiciones Constitucionales

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, 5 de Febrero de 1917. Editorial Porrúa 98a. edición, México, 1993.

Decretos

Decreto por el que se determinan como zonas de reserva y sitios de refugio para la protección, conservación, repoblación y desarrollo de las diversas especies de tortuga marina, los lugares en los que dicha especie anida y desova, adyacentes a las playas que se indican (Diario Oficial de la Federación, 29 de octubre de 1986).

Decreto por el que se reforma, adiciona y deroga diversas disposiciones de la Ley Orgánica de la Administración pública Federal (Diario Oficial de la Federación del 25 de mayo de 1992).

Decreto de Promulgación de las enmiendas al Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por Buques (Diario Oficial de la Federación del 26 de octubre de 1993).

Decreto por el que se reforma, adiciona y deroga diversas disposiciones de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal (Diario Oficial de la Federación del 28 de diciembre de 1994).

Legislación Federal

Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo (Diario Oficial de la Federación del 29 de noviembre de 1958).

Ley Orgánica de la Administración Pública Federal (Diario Oficial de la Federación del 29 de diciembre de 1976).

Ley General de Salud (Diario Oficial de la Federación del 7 de febrero de 1984).

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (Diario Oficial de la Federación del 28 de enero de 1988)

Ley de Aguas Nacionales (Diario Oficial de la Federación del 1º de Diciembre de 1992).

Ley Federal de Mar (Diario Oficial de la Federación del 8 de Enero de 1986).

Ley Federal sobre Metrología y Normalización (Diario Oficial de la Federación del 1º de julio de 1992)

Ley de Pesca (Diario Oficial de la Federación del 25 de junio de 1992)

Ley de Sanidad Fitopecuaria de los Estados Unidos Mexicanos (Diario Oficial de la Federación del 13 de diciembre de 1974)

Legislación Estatal

Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Yucatán. Decreto No 69 publicado en el Periódico Oficial del Gobierno del Estado del 21 de diciembre de 1989.

Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Quintana Roo. Decreto No 57 publicado en el Periódico Oficial del Gobierno del Estado del 14 de Abril de 1989.

Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Tabasco. Decreto No 044 publicado en el Periódico Oficial del Gobierno del Estado del 20 de diciembre de 1989.

Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Veracruz-Llave. Ley Núm. 76 publicada en la Gaceta Oficial del Gobierno del Estado del 22 de mayo de 1990.

Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Tamaulipas, Publicada el 1o de Febrero de 1992.

Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Campeche. Decreto del 21 de Junio de 1994 y publicada el 2 de Julio de 1994.

Marco Programático Institucional

Secretaría de Desarrollo Urbano (SEDUE) Comisión Nacional de Ecología (CONADE) 1988. Informe General de Ecología. México.

Secretaría de Desarrollo Urbano (SEDUE) Comisión Nacional de Ecología (CONADE) 1992. Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente 1989-1990. México.

Secretaría de Programación y Presupuesto: Plan Nacional de Desarrollo 1989-1994. México.

Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Plan de Acción para el Programa Ambiental del Caribe-Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Desarrollo de Metodologías específicas para la preparación de la Evaluación del Impacto Ambiental del Gran Caribe (APCEP/2). Gobiernos de México, Cuba y Barbados: México, 1989.

Secretaría de Pesca. Programa Nacional de Desarrollo de la Pesca y sus Recursos. 1990-1994. Diario Oficial de la Federación 17 de octubre de 1990.

Secretaría de Pesca. Programa de Desarrollo Integral de Acuacultura 1990-1994.

Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), Programa Sectorial de Protección del Medio Ambiente 1990-1994. Diario Oficial de la Federación 9 de Julio de 1990.

Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). Informe de la Situación General en materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. 1991- 1992. México, 1993

Secretaría de desarrollo Social (SEDESOL). Regulación y Gestión de Productos Químicos en México, enmarcados en el Contexto Internacional. México. Noviembre, 1992.

Versión Abreviada del Plan Nacional de Contingencia para Combatir y Controlar Derrames de Hidrocarburos y otras Sustancias en el Mar. Diario Oficial de la Federación del 8 de diciembre de 1981.

Poder Ejecutivo Federal. Plan Nacional de Desarrollo 1989-1994. Mayo 1996.

Programa de Medio Ambiente 1995-2000. Diario, Oficial de la Federación del 3 de abril de 1996.

Programa de Pesca y Acuicultura 1995-2000. Diario Oficial de la Federación del 13 de marzo de 1996.

Programa Hidráulico 1995-2000. Diario Oficial de la Federación del 10 de junio de 1996.

Programa Forestal y de Recursos Naturales 1995- 2000. Diario Oficial de la Federación.

Normas Oficiales Mexicanas en Materia Ambiental

Secretaría de Desarrollo Social Decreto de publicación de las Normas Oficiales Mexicanas: NOM- 001-ECOL/1993 A NOM-033- ECOL/1993 que establecen los límites máximos permisibles en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de diversas industrias. Diario Oficial de la Federación 18 de Octubre de 1993.

Secretaría de Pesca. Norma Oficial Mexicana de Emergencia 002-PESC-1993. por la que establece el uso obligatorio de dispositivos excluidores de tortugas mexicanas en el Golfo de México y Mar Caribe mexicanos. (Diario Oficial de la Federación del 1º de Abril de 1993). Esta norma fue renovada el 14 de septiembre del mismo año con la denominación NOMEM-008-PESC-1993.

Secretaría de Pesca. Norma Oficial Mexicana NOM-012-PESC-1993, por la que se ordena el aprovechamiento de las especies de camarón en aguas de jurisdicción federal, en la cual se establece el uso obligatorio de cualesquiera de los dispositivos excluidores de tortugas "marinas autorizados en todas las redes de arrastre utilizadas durante la realización de pesca comercial de camarón (Diario Oficial de la Federación 23 de diciembre de 1993)

Reglamentos

Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas. Diario Oficial de la Federación 29 de marzo de 1973.

Reglamento de Trabajos Petroleros, Diario Oficial de la Federación 27 de febrero de 1974.

Reglamento para Prevenir y Controlar la Contaminación del Mar por vertimiento de desechos y otras materias, Diario Oficial de la Federación 23 de Enero de 1979.

Reglamento de la Zona Federal Marítimo Terrestre y de los terrenos ganados al mar, Diario Oficial de la Federación del 17 de junio de 1982

Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Impacto Ambiental, Diario Oficial de la Federación 7 de Junio de 1988,

Reglamento Interior de la Secretaría de Desarrollo Social, Diario Oficial de la Federación 4 de Junio de 1992.

Reglamento de la Ley de Pesca. Diario Oficial de la Federación del 21 de Julio de 1992.

Programas y Reuniones Internacionales

Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) Plan de Acción del Programa Ambiental del Caribe Montego Bay; Jamaica, 1981.

Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Plan de Acción para el Medio Ambiente en América Latina y el Caribe, Propuesta revisada y aprobada para la Séptima Reunión Ministerial sobre el Medio Ambiente en América Latina y el Caribe, Puerto España, Trinidad y Tobago (22 y 23 de Octubre de 1990)"

Albert, L.A., L. Bozada-Robles, J. Uribe-Juárez, J. López-Portillo, R. Méndez-Alonzo, K. Antonio Soto, O. de los Reyes-Trejo y C. J. Torres-Nachón, 2005. Evaluación Instantánea de los Efectos del Derrame de Petróleo en el Área de Nanchital-Coatzacoalcos, Veracruz (22 de Diciembre de 2004), p. 665-680. 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. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.

Evaluación Instantánea de los Efectos del Derrame de Petróleo en el Área de Nanchital – Coatzacoalcos, Veracruz (22 de Diciembre de 2004)

39

**Lilia A. Albert¹, Lorenzo Bozada-Robles², Jorge Uribe-Juárez³,
Jorge López-Portillo⁴, Ricardo Méndez-Alonzo⁴,
Karlo Antonio Soto⁵, Octavio de los Reyes-Trejo⁶,
y Claudio J. Torres-Nachón⁷**

¹Consultora Internacional en Toxicología

²Sociedad Mexicana de Toxicología

³Consejo Estatal de Protección al Ambiente

⁴Instituto de Ecología, A.C.

⁵Museo de la Fauna de Veracruz

⁶Pronatura-Veracruz

⁷Municipio de Coatzacoalcos

RESUMEN

El presente estudio analizó los efectos instantáneos del derrame de crudo ocurrido el 22 de diciembre del 2004 en el área de Nanchital – Coatzacoalcos. A través de nueve navegaciones y tres recorridos terrestres a lo largo de la zona afectada se determinó una extensión de 2.5 ha de mangle cubierto con crudo; se observaron 16 especies de aves afectadas, principalmente pelícanos; los análisis químicos de sedimentos detectaron concentraciones de hidrocarburos totales de petróleo en una muestra superiores a lo establecido por la norma mexicana; estas concentraciones también excedieron notoriamente lo que se ha encontrado en otros países y los límites sugeridos por la UNESCO. Los impactos más importantes fueron registrados sobre el suelo y la vegetación (mangle y lirio acuático); asimismo se estimaron los impactos sobre fauna (mamíferos peces, aves, reptiles, anfibios e invertebrados), agua y aire. Aunque algunos impactos no pudieron ser evaluados a detalle, no se descarta la posibilidad de que estos puedan ser significativos, incluso en el largo plazo.

ABSTRACT

This study analyzed the instantaneous effects of the oil spill occurred on December 22nd of 2004 in the area of Nanchital – Coatzacoalcos, Veracruz, Mexico. Through nine boat-based surveys and three inspections along

the river margins it was determined that at least 2.5 ha of mangrove were covered with petroleum; sixteen bird species were observed to be stained with oil, and most of the animals affected were pelicans. Chemical analyses of sediments detected concentrations of petroleum in one sample which were above the established by Mexican regulations; this was also above the limits suggested by UNESCO. The most important impacts to the environment were registered over the soil and vegetation (mangrove and water hyacinth); also, we assessed the environment impacts on fauna (mammals, fish, birds, reptiles, amphibians and invertebrates), water and air. Although some impacts could not be addressed with detail, there is a possibility that these may be significant in the long term.

INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es inherente a las actividades humanas y el efecto ambiental más importante se presenta cuando la entrada de estos contaminantes rebasa la capacidad de los ecosistemas para asimilarlos y/o degradarlos; o bien, cuando los organismos ven saturados sus mecanismos de desintoxicación, lo que resulta en la pérdida de los hábitats y la biota.

Los daños ambientales provocados por accidentes relacionados con los derrames de hidrocarburos en ambientes acuáticos a gran y pequeña escala (México, 1978; Alaska 1989; Golfo Pérsico, 1991; España 2002, entre otros), han puesto de manifiesto no sólo los efectos considerados como irreversibles en el medio abiótico, sino que han demostrado que las secuelas siguen siendo evidentes en la biota mucho tiempo después de ocurridos. Por lo

anterior, hoy en día es insuficiente caracterizar el estado de un ecosistema con tan sólo determinar las concentraciones de contaminantes presentes, sino que se ha hecho necesario conocer cómo éstos afectan a la biota y de esta manera, poder explicar la relación entre la exposición de una población a contaminantes y los subsecuentes efectos biológicos; esta información conjunta obtenida a través de respuestas biológicas específicas, permite inferir la salud de un ecosistema.

Este estudio se realizó como diagnóstico instantáneo de referencia para estudios posteriores de seguimiento y evaluación de los trabajos de limpieza y restauración de las zonas afectadas por el derrame de petróleo en el área de Nanchital – Coatzacoalcos, Veracruz el 22 de Diciembre de 2004.

ÁREA DE ESTUDIO

Los municipios de Coatzacoalcos y Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río, se localizan en el Istmo Mexicano, en el sur del estado de Veracruz o Sotavento, en la región denominada Corredor Industrial - Uxpanapa (Fig. 1). La región comprende 12 municipios abarcando los parques industriales (química y petroquímica) aledaños a la Ciudad de Coatzacoalcos. En este corredor se ubican 7 de las 34 zonas urbanas más grandes del estado de Veracruz y el número de habitantes calculado para la zona es de aproximadamente 800,000 (Dirección de Desarrollo Institucional de Coatzacoalcos, 1998).

El desarrollo de la industria petrolera a partir de los años sesenta y sus significativos efectos

ambientales adversos, han sido ampliamente estudiados desde la perspectiva de la economía política. Desde hace treinta años se ha generado información sobre las fuentes de emisión de contaminantes al río Coatzacoalcos y acerca de los procesos geoquímicos en el ambiente (Long *et al.*, 1995; IMTA, 1996; Bahena-Manjarrez *et al.*, 2002; Botello *et al.*, 2004).

El 22 de diciembre de 2004, alrededor de las 9:40 AM se registró un incendio en el cuarto de control de la estación Mazumiapan, Municipio de Catemaco como consecuencia de una fuga en el sello de bombeo (empaquete). Una vez controlado y extinguido el fuego, se notificó un derrame de petróleo crudo en el oleoducto de 30" de diámetro que corre de Nuevo Teapa a Poza



Figura 1. Fotografía aérea del área de estudio en Nanchital-Coatzacoalcos, Veracruz

Rica, el cual tiene una longitud de 486 Km; la fuga de hidrocarburo se reportó en el Municipio de Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río en la casa de válvulas de la margen derecha del río Coatzacoalcos a las 10:27 hrs. Las válvulas de seccionamiento en el río Coatzacoalcos se cerraron a las 11.11 hrs. El derrame fue calculado en poco más de 5,000 barriles de crudo y abarcó un total de 14 kilómetros desde su origen en Nanchital (Arroyo Tepeyac, hasta la desembocadura del Río Coatzacoalcos).

MATERIALES Y MÉTODOS

Trabajo de Campo

Se realizaron nueve navegaciones y 3 recorridos por tierra a lo largo del área de estudio para documentar las zonas perturbadas y calcular la extensión aproximada del área afectada. Se utilizaron principalmente fotografías digitales georeferenciadas (GPS) como evidencia visual del incidente. Se realizaron observaciones de flora y fauna y se muestreos de agua y sedimentos (Morteo *et al.*, 2005).

Las navegaciones se realizaron en forma de transectos cubriendo ambas márgenes del río Coatzacoalcos; se hicieron 10 estaciones de muestreo cruzando el río desde 2 km al sur de Nanchital hasta su desembocadura (estaciones A0-A9). Se establecieron otras nueve estaciones, dentro y fuera del cauce del río, para obtener un muestreo representativo de la zona. En todos los casos se registró la fecha, hora y posición geográfica mediante un GPS. Los pará-

metros ambientales cualitativos evaluados en cada estación de muestreo fueron: la profundidad (m), tipo de vegetación; la iridiscencia en la superficie del agua (%), daño a la vegetación (%) y el ancho de la franja de daño (m).

Se recolectaron muestras de agua y sedimento en 14 estaciones de muestreo, con un control negativo río arriba, fuera de la zona de influencia del derrame. Todas las muestras se recolectaron conforme a las Normas Mexicanas NMX-AA-117-SCFI-2001 y NMX-AA-051-SCFI-2001. Las muestras de agua se recolectaron en los primeros 10 cm de la columna de agua; en el caso de los sedimentos, la mayoría se recolectaron de los primeros 10 cm con un nucleador de PVC de 3". Para la determinación de hidrocarburos totales del petróleo (HTP's) se recolectó un litro de muestra simple en un frasco de vidrio con ácido clorhídrico. Todos los envases, incluyendo el blanco de campo, se conservaron en hielo y posteriormente se mantu-

vieron en refrigeración a 4°C hasta su análisis. Los análisis de HTP y metales pesados se realizaron en laboratorios especializados y acreditados por la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA).

Se realizaron observaciones de aves a través de muestreos por puntos y transectos lineales. Se utilizaron binoculares de 7 x 50 y contadores manuales para identificar las especies presentes en la zona y el grado de afectación en sus poblaciones mediante la proporción de individuos manchados por el crudo.

Dependiendo de las características físicas del terreno, se observó el grado de intrusión del hidrocarburo (en metros) tierra adentro en siete estaciones de muestreo de manglar ubicadas en ambas márgenes del río Coatzacoalcos. Para cada estación se efectuó un transecto de diez metros de longitud paralelo a la orilla del Río; cada una de ellas fue geo-referenciada y cada individuo fue marcado con una cinta. Se contó el número de especies, el número de individuos por especie y el porcentaje de afectación para cada individuo. El porcentaje de afectación fue definido dependiendo de la especie, como el ancho de la banda en la que se impregnó el crudo, ya sea en raíces o zancos, o como el porcentaje de pneumatóforos afectados.

Evaluación de los Impactos Ambientales

La información generada se sintetizó en una gráfica de afectación de la zona de estudio. Se utilizó un método de análisis rápido, mediante una matriz de identificación de impactos ambientales. Este método supone que cualquier modificación o perturbación al ambiente tiene algún efecto; sin embargo, de acuerdo con la

evaluación que se realiza, se consideran significativos aquellos impactos que, por su duración, magnitud o extensión, tengan efectos permanentes o irreversibles en los recursos naturales. De acuerdo con las características de la zona, se determinaron los factores bióticos y abióticos presentes y los impactos ambientales sobre éstos. Las categorías de los impactos por evaluar fueron:

1) Duración: Se refiere a la duración del impacto; sus niveles son: Limitada - incluye los impactos con duración menor de un año y que sean reversibles. *Moderada* - aquellos impactos cuyos efectos permanezcan por más de un año, pero que sean reversibles. *Amplia* - impactos cuyos efectos sean permanentes o irreversibles.

2) Extensión: Se refiere a las dimensiones del área impactada; sus niveles son: Limitada - cuando el impacto alcanza menos del 10% de la distribución del recurso. *Moderada* - cuando el impacto alcanza entre 10 y 40% de la distribución del recurso. *Amplia* - cuando el impacto alcanza más del 40% de la distribución del recurso.

3) Magnitud: Se refiere al grado de afectación del impacto; conforme a sus niveles se clasifica en: Limitada - cuando el impacto es reversible y no compromete la continuación del ciclo de vida del recurso. *Moderada* - cuando el impacto es reversible, pero compromete la continuación del ciclo de vida del recurso. *Alta* - cuando el impacto es irreversible y compromete la continuación del ciclo de vida del recurso.

Los puntajes para los niveles de cada categoría se especifican en la tabla 1; cualquier impacto cuya suma de puntos en las tres categorías sea igual o mayor a 5 se consideró significativo.

Tabla 1. Matriz de claves para la evaluación del impacto ambiental.

Categoría	Limitada	Moderada	Alta/Amplia
Duración	1	2	3
Extensión	1	2	3
Magnitud	1	2	3

RESULTADOS

Los recorridos, navegaciones y las estaciones de muestreo para agua, sedimento y vegetación se observan en la figura 2.

Sedimentos

Se colectaron un total de 18 muestras de sedimento de las 19 estaciones. Los resultados de los análisis para determinar la concentración de hidrocarburos totales de petróleo (HTP) en sedimentos se presentan en la tabla 2. Este contaminante estuvo presente, incluso en la zona que presuntamente no fue afectada por el derrame del 22 de diciembre (A0). En la desembocadura, del río (estaciones D1 y B4), no se encontraron niveles detectables de hidrocarburos totales.

Por otra parte, sólo se encontraron concentraciones detectables no significativas de níquel las cuatro estaciones muestreadas (A0, A2, A7 y B5) y de plomo en las de una de ellas (A7).

Agua Superficial (Río y Mar)

Se colectaron un total de 20 muestras de agua superficial de las diferentes estaciones del río Coatzacoalcos. Los análisis de HTP's registraron concentraciones de 12 ppm de estos compuestos en las muestras analizadas; el 54% de las estaciones de muestreo presentaron iridiscencia superficial, en todos los casos mayor al

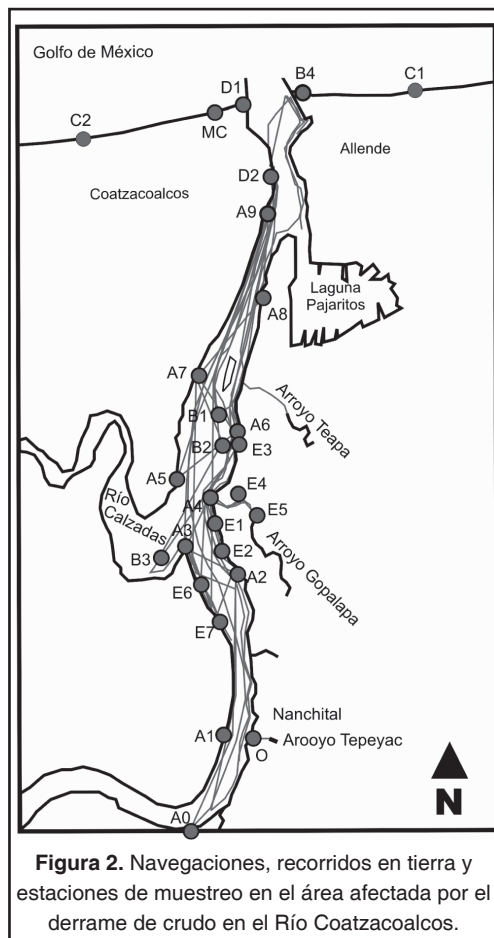


Figura 2. Navegaciones, recorridos en tierra y estaciones de muestreo en el área afectada por el derrame de crudo en el Río Coatzacoalcos.

90% de la superficie observada. No se encontraron concentraciones detectables de metales pesados en las muestras de agua analizadas.

Tabla 2. Resumen de resultados de los análisis de hidrocarburos totales de petróleo.
HTP = Hidrocarburos totales de petróleo; ND = No detectable

Muestra	% de Sólidos	HTP Base Seca mg/kg	HTP Base Húmeda mg/kg
A0	68.9	47.17	32.5
A2	69.6	89.66	62.4
A7	50.5	1,290.0	650.6
B5	75.9	ND	ND
C1	79.5	ND	ND
C2	79.1	ND	ND

Aire

Aún cuando no se tomaron muestras para detectar contaminantes en la atmósfera, es importante destacar que el fuerte olor a crudo fue persistente durante todas las visitas a la zona afectada (28 de diciembre del 2004 al 9 de enero del 2005); incluso en algunos puntos específicos, como el Malecón de Coatzacoalcos (MC), el personal del equipo de muestreo de campo presentó signos de irritación en ojos, nariz y garganta, aunque habían transcurrido varios días desde el derrame y la zona había estado expuesta a fuertes vientos, lo cual hace evidente la exposición a uno o más compuestos volátiles de composición y toxicidad desconocidas.

Vegetación

(Mangle, Lirio Acuático y Pastizal)

Se estimó un mínimo de 254 individuos de mangle impregnados de crudo en mayor o menor grado, lo que resultó en 25,400 m² de afectación. Se observó que la cantidad de crudo impregnada en las raíces aéreas del mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y en los pneumatóforos del mangle negro (*Avicennia germinans*) en la mayor parte de los casos no fue suficiente para interrumpir la función de las estructuras que permiten el intercambio de gases, lo cual no puso en peligro la viabilidad de los individuos en el corto plazo. En la zona más afectada (estaciones E1 y E2), cubierta en su mayoría por individuos de mangle negro, la cantidad de petróleo derramado cubrió alrededor del 60% de los pneumatóforos. En los recorridos hacia el interior de los parches de manglar se observó que el petróleo penetró entre 0.5 y 12 metros aproximadamente, en función de la microtopografía local; como los arroyos y la mayor parte del mangle se encuentran sobre la margen derecha del río, la intrusión de petróleo fue mayor en esta zona.

No se observaron daños sobre los pastizales ubicados en las márgenes del río; sin embargo, el lirio acuático de la zona afectada fue removido prácticamente en su totalidad debido a su elevado grado de contaminación por crudo.

Aves

Durante el recorrido por toda el área de estudio se observaron 534 individuos de 34 especies; el grupo con mayor representatividad correspondió a la familia Laridae (gaviotas) con un total de 181 individuos (33 %), seguido de la familia Pelecanidae (pelícanos) con 151 individuos registrados (28 %), y por último la familia Ardeidae (garzas) con 56 individuos (10 %); el resto fueron especies de otras familias. El 23% de los individuos presentaron manchas en distintas partes del cuerpo, plumaje y/o pico (Tabla 3).

El recorrido sobre los muelles y escolleras del Río Coatzacoalcos, mostró un total de 1,250 individuos, de los cuales el 85% (1,066 individuos), fueron de las familias, Laridae con 806 individuos (65%) y Pelecanidae con 260 individuos (21%). El 19% del total de los individuos observados presentaron manchas de hidrocarburo (Tabla 4). De los recorridos se obtuvo que el grupo más afectado fueron los pelícanos, ya que hasta un 80% de los individuos observados estaban contaminados.

Otros Grupos de Fauna (mamíferos, reptiles, anfibios, peces, e invertebrados)

El impacto del derrame de crudo sobre otros grupos de fauna fue difícil de evaluar ante la falta de pruebas fehacientes de la afectación, ya sea por observación de animales contaminados, mortandades masivas o por el resultado de pruebas toxicológicas. Sólo se obtuvieron registros de cangrejos manchados en las zonas con manglar, todos ellos vivos; también se obtuvieron informes y pruebas de varios ejemplares de ranas y serpientes impregnados de crudo, sin embargo, estos no fueron suficientes para evaluar el daño a nivel específico, poblacional, o por zona. Debido a lo anterior, la evaluación de los impactos se realizó con base en el grado de afectación al hábitat de estas especies.

Tabla 3. Aves observadas durante el primero recorrido sobre el Río Coatzacoalcos, el número total de individuos por especie, número de individuos por especie afectados por el derrame de hidrocarburo y porcentaje.

Familia	Especie	No Total de Individuos Observados	No. de Individuos Afectados	% de Individuos Afectados por Especie
Ardeidae	<i>Ardea herodias</i>	22	6	27%
	<i>Ardea alba</i>	11	4	36%
	<i>Egretta thula</i>	7	3	43%
	<i>E. tricolor</i>	8	6	75%
	<i>E. caerulea</i>	7	1	14%
	<i>Bubulcus ibis</i>	1	0	0%
Alcedinidae	<i>Chloroceryle amazona</i>	1	0	0%
	<i>Chloroceryle americana</i>	1	0	0%
	<i>Ceryle torquata</i>	1	1	100%
	<i>Ceryle alcion</i>	1	1	100%
Accipitridae	<i>Pandion haliaetus</i>	3	0	0%
	<i>Rostramus sociabilis</i>	2	0	0%
Anhingidae	<i>Anhinga anhinga</i>	18	4	22%
Cathartidae	<i>Cathartes aura</i>	6	0	0%
	<i>Cathartes burrovianus</i>	1	0	0%
	<i>Coragyps atratus</i>	15	0	0%
Emberizidae	<i>Seiurus noveboracensis</i>	1	0	0%
Falconidae	<i>Caracara plancus</i>	2	0	0%
Laridae	<i>Larus argentatus</i>	2	0	0%
	<i>Larus delawarensis</i>	5	0	0%
	<i>Larus atricilla</i>	116	20	17%
	<i>Sterna maxima</i>	12	5	41%
	<i>Sterna sandvicensis</i>	2	1	50%
	<i>Sterna caspia</i>	26	4	15%
	<i>Rynchops niger</i>	18	0	0%
Pelecanidae	<i>Pelecanus occidentalis</i>	151	65	43%
Phalacrocoracidae	<i>Phalacrocorax brasilianum</i>	3	1	33%
	<i>P. auritus</i>	3	1	33%
Picidae	<i>Centurus aurifrons</i>	2	0	0%
Recuvirostreridae	<i>Himantopus mexicanus</i>	71	0	0
Scolopacidae	<i>Calidris alba</i>	4	0	0%
	<i>Tringa flavipes</i>	1	0	0%
	<i>Actitis macularia</i>	9	0	0%
Threskiornithidae	<i>Eudocimus albus</i>	1	0	0%
Número de especies registradas	34	534	123	

Tabla 4. Aves observadas en las inmediaciones de la escollera y muelles en la ciudad de Coatzacoalcos, Veracruz.

Familia	Especie	No Total de Individuos Observados	No. de Individuos Afectados	% de Individuos por Especie Afectados
Ardeidae	<i>Ardea herodias</i>	1	1	100%
Accipitridae	<i>Pandion haliaetus</i>	4	0	0%
Cathartidae	<i>Cathartes aura</i>	9	0	0%
	<i>Cathartes burrovianus</i>	2	0	0%
	<i>Coragyps atratus</i>	140	0	0%
Falconidae	<i>Falco peregrinus</i>	1	0	0%
Laridae	<i>Larus argentatus</i>	25	5	20%
	<i>Larus atricilla</i>	600	60	10%
	<i>Sterna sandvicensis</i>	135	7	5%
	<i>Sterna maxima</i>	46	12	26%
Fregatidae	<i>Fregata magnificens</i>	4	0	0%
Pelecanidae	<i>Pelecanus occidentales</i>	260	140	50%
Phalacrocoracidae	<i>Phalacrocorax brasilianum</i>	23	11	15%
Gran total		1250	236	

Evaluación de los Impactos Ambientales

De acuerdo con los resultados de la evaluación de campo, y el análisis de la información, se generó una gráfica con el grado de afectación de las zonas de influencia del derrame (Fig. 3). La matriz de evaluación de los impactos ambientales se presenta en la tabla 5.

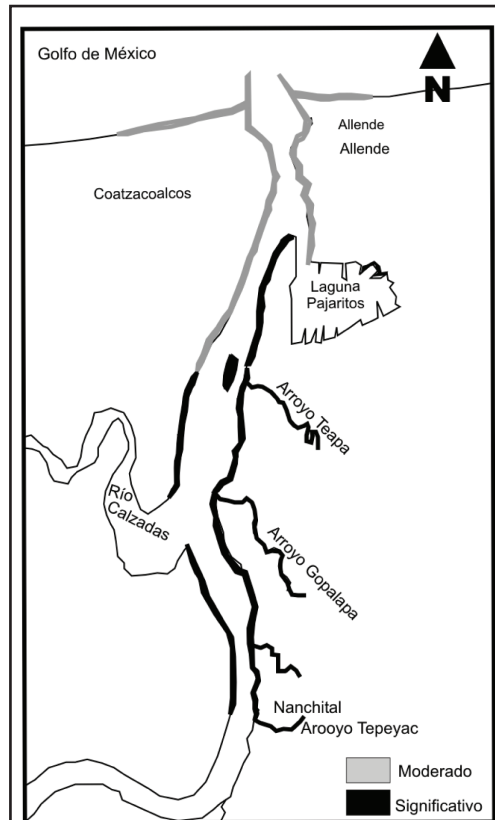


Figura 3. Mapa de identificación de impactos ambientales.

Tabla 5. Matriz general de impactos ambientales identificados.
 * = No se descarta que el impacto pueda ser significativo a largo plazo

Factor	Elemento	Evaluación del Impacto			Conclusión
		Duración	Extensión	Magnitud	
Abióticos	Suelo (Arena, Limo-Arcilla)	Moderada	Moderada	Moderada	Impacto significativo
	Agua superficial (Ríos y Mar)	Limitada	Amplia	Limitada	Impacto significativo
	Aire	Moderada	Moderada	Moderada	Impacto significativo
Bióticos	Vegetación (Mangle)	Amplia	Moderada	Moderada	Impacto significativo
	Vegetación (Lirio acuático)	Amplia	Moderada	Moderada	Impacto significativo
	Fauna (Aves)	Moderada	Moderada	Moderada	Impacto significativo
	Fauna (Peces)	Moderada	Amplia	Moderada	Impacto significativo
	Fauna (Mamíferos)	Indeterminada	Indeterminada	Indeterminada	Indeterminado*
	Fauna (Reptiles acuáticos)	Limitada	Moderada	Moderada	Impacto significativo
	Fauna (Invertebrados)	Indeterminada	Indeterminada	Indeterminada	Indeterminado*

DISCUSIÓN

Determinar la vulnerabilidad ambiental de un área ante un accidente como el derrame en cuestión es una tarea muy compleja debido a los numerosos factores que intervienen como el tipo y la cantidad de crudo derramado, y las técnicas de combate de derrame utilizadas para minimizar los efectos negativos del mismo.

Se sabe que los derrames de petróleo afectan directamente al ambiente costero y ocasionan entre otras, interferencias en los procesos de los organismos afectados, tales como la fotosíntesis y la respiración, el ciclo reproductivo y el desarrollo normal de dichos organismos; adicionalmente provocan mortalidad, principalmente por asfixia, contacto e intoxicación.

También son importantes los daños potenciales por la pérdida económica temporal de las

playas (turísticas), las alteraciones en el desarrollo normal de cualquier actividad (portuaria, industrial, forestal, turística u otra) que se realice en el lugar del derrame. Finalmente, aunque de forma indirecta, puede causar reducción en la productividad de las aguas costeras, y daños sociales y económicos a las comunidades cercanas por reducción de la pesca y/o contaminación de sus costas como parte de su espacio vital.

Sedimentos

Las cantidades de hidrocarburos totales obtenidas se compararon con las que indica el Proyecto de la Norma Oficial Mexicana de Emergencia NOM-138-ECOL-2002, que establece

los límites máximos permisibles de contaminación en suelos afectados por hidrocarburos, la caracterización del sitio y los procedimientos para la restauración, así como los criterios fundamentales de calificación en caso de derrames y su correspondiente saneamiento. Esta norma también establece los límites de aceptabilidad de contaminación de un terreno en función de su uso, así como los criterios específicos para cada uno. Por ejemplo, en el caso de los derrames de petróleo crudo, establece como límite máximo, para suelos agrícolas, 1,000 mg kg⁻¹ de HTP. Los otros dos tipos de suelos a que hace referencia esta norma son residenciales e industriales, dejando para este último, los valores más altos.

En el caso de que el producto derramado en la zona de estudio haya sido petróleo crudo, sólo la muestra A7, cuyo valor fue de 1,290 mg kg⁻¹, en base seca, presenta valores superiores los que establece dicha NOM. Esta muestra se obtuvo sobre la margen derecha del río, aproximadamente a la altura del islote.

Botello *et al.* (1996) reportó la concentración de hidrocarburos en sedimentos del río Coatzacoalcos, efectuadas en 1982-1983 (Tabla 6); dichos valores son consistentes con el valor máximo encontrado en este estudio.

Los sedimentos generalmente no concentran contaminantes en el mismo grado que lo hace la biota; de esa manera, a cierta distancia de su fuente de origen, algunas veces resulta difícil determinar o detectar los aportes antropogénicos de hidrocarburos a los sedimentos. El análisis de hidrocarburos totales de petróleo (HTP) sólo determina los que tienen enlaces de tipo alquílico y es "ciego" a los aromáticos, que se encuentran en mayor porcentaje en muchos hidrocarburos procesados y, comúnmente son más tóxicos.

A pesar de no analizar las concentraciones de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), el valor de 1,290 mg/kg excede con mucho a los que han sido reportados para HAP's en estuarios contaminados, los que pueden ser de hasta 8.8 mg/kg; por otra parte, aún los valores intermedios y aparentemente bajos de 47 y 89 mg kg⁻¹ encontrados en las muestras analizadas exceden con mucho ese valor. En zonas costeras no contaminadas, los niveles de HAPs en agua superficial es de 10µg/L (UNESCO, 1976). Mientras que la misma norma internacional registra para sedimentos costeros un valor de 70µg/g, y un valor mínimo de 4.02µg/g para provocar efectos biológicos (Long *et al.*, 1995).

Botello *et al.* (2004) realizaron una revisión de las concentraciones de metales en ríos y sistemas lagunares del Golfo de México, señalando las concentraciones de metales biodisponibles y las concentraciones mínimas para producir efectos biológicos adversos a los organismos; aunque los valores de este estudio no son comparables con los de (Long *et al.*, 1995), se puede anticipar que las concentraciones de contaminantes observadas en los sedimentos requieran verificación, debido a que los resultados obtenidos no pueden tomarse como definitivos. Esto se debe a que la poca representatividad de las muestras, y las limitantes metodológicas para caracterizar el hidrocarburo derramado. Adicionalmente, por los antecedentes de los derrames petroleros en la zona, las concentraciones obtenidas podrían no derivarse del derrame en cuestión.

Agua Superficial (Río y Mar)

El efecto más evidente del derrame de crudo sobre el agua del río fue la dilución del conta-

Tabla 6. Concentración de hidrocarburos fósiles en sedimentos del río Coatzacoalcos.

Localidad Río Coatzacoalcos	Rango de Valores de Hidrocarburos (ppm)			Concentración Total Promedio (ppm)
	Saturados	Aromáticos	Totales	
Marzo, 1982	11-597	47-1025	184-1053	457
Junio, 1982	73-1048	107-635	443-1544	780
Febrero, 1983	113-1562	41-1061	179-2623	802

minante debida su caudal y la dispersión debida al movimiento de su cause; sin embargo, la presencia de fuertes vientos del norte en las fechas inmediatamente posteriores al derrame, en conjunto con la circulación del río y la vegetación (principalmente el lirio), contribuyeron a controlar, en cierto grado, la dispersión del contaminante.

Botello *et al.* (1996) anotaron que los niveles promedio de hidrocarburos disueltos y dispersos en las aguas del río Coatzacoalcos corresponden a 14 ppb. Sin embargo, el petróleo presente en los ríos y escorrentías terrestres presenta un problema para su evaluación, pues la mayoría de esos hidrocarburos llega en forma diluida, adsorbido sobre material y, como ha estado sujeto a la intemperie, en su mayor parte los compuestos tóxicos se han perdido. Al llegar los ríos a los estuarios, más de la mitad del material suspendido se deposita rápidamente, se hace parte del sedimento y puede resuspenderse y tornarse así disponible para los microorganismos.

El estuario del río Calzadas recibe aportes pequeños, pero continuos, de hidrocarburos del petróleo, que se mezclan con los que proporcionan biogénicamente la vegetación y los organismos que habitan o circundan esta área. Adicionalmente, debe considerarse que el dragado de estuarios produce cambios en el régimen de corrientes, la circulación, la mezcla, y la salinidad; asimismo, aumenta la turbidez y resuspende en la columna de agua las sustancias tóxicas que se encuentran depositadas en los sedimentos.

Aunque los arroyos Teapa y Tepeyac, afluentes del Coatzacoalcos por su margen derecha, no son de gran extensión, constituyen cuerpos de agua superficial importantes en la zona, ya que han sido convertidos en colectores de descargas de aguas residuales de diferentes industrias. El gasto calculado para la zona de estudio comprende un total de $2'232,300 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$, y los volúmenes de aguas residuales medidos en 1996 por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) fueron del orden de $2,403.65 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$, lo cual implica que el 0.11% del río son aguas contaminadas. Si se considera únicamente el flujo que aporta la porción estudiada ($203,900 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$) entonces el 1.2% del agua de la zona estaría contaminada.

Las industrias ubicadas en la zona de este estudio emplean diferentes metales en su proceso de producción (cadmio, cromo, fierro, mercurio, plomo y zinc en petroquímica; además de los anteriores cobre y níquel en la refinación de petróleo; además de los anteriores, se usa manganeso en la de fertilizantes). Tanto las fuentes antropogénicas como las naturales aportan metales al agua, principalmente a través del ciclo hidrológico; el enriquecimiento de éstos en el ecosistema acuático bajo estudio se debe a las descargas industriales o municipales.

Los resultados obtenidos en cuanto a la cuantificación de contaminantes en el agua se deben limitantes en las técnicas analíticas utilizadas, ya que los límites de detección no eran adecuados para mostrar elementos en concentraciones bajas, y posiblemente el caudal del río contribuyó a diluir y dispersar los contaminantes hacia el Golfo de México. Por lo tanto, estos resultados no pueden compararse con los criterios internacionales.

Aire

La concentración de contaminantes en el aire es modificada continuamente por el viento, la humedad, la inversión y las precipitaciones. El viento (como los Nortes) generalmente favorece la dispersión de los contaminantes, ya que desplaza las masas de aire en función de la presión y la temperatura. El efecto que puede causar el viento depende de los accidentes del terreno o, incluso, de la configuración de los edificios en las zonas urbanizadas.

Al contrario del viento, la humedad tiene un papel negativo en la evolución de los contaminantes, ya que favorece la acumulación de humos y polvos. Por otra parte, el vapor de agua puede reaccionar con los contaminantes, generando productos más agresivos para la salud. En general, el problema principal de los hidrocarburos es su reactividad fotoquímica en presencia de la luz solar para dar compuestos oxidados que pueden ser toxicológicamente más activos.

Debido a la persistencia del olor a crudo en la zona hasta 12 días después del derrame, y

a los síntomas de intoxicación del equipo de trabajo, se concluye que la acción del viento no fue suficiente para dispersar algunas de las fracciones volátiles del crudo; es posible que por acción de la intemperización y la erosión, este olor persista en las zonas afectadas que no se limpiaron por completo.

Vegetación

(Mangle, lirio acuático y pastizal)

El impacto del derrame sobre el mangle se evaluó en términos de un esquema costo-beneficio. Si bien las manchas de crudo pueden ser removidas (impacto reversible), los métodos de limpieza podrían resultar más perjudiciales para los individuos que el mismo crudo, y utilizando un enfoque precautorio, la duración del impacto podría ser permanente. Tanto el grado de intrusión del contaminante, como la altura de la mancha en el árbol o en sus raíces fueron elevadas en algunos puntos de muestreo; esto se debió principalmente a las mareas y al oleaje producido por las embarcaciones de limpieza. Debido a la zonación que presenta el mangle en las márgenes del río, y a su anatomía y fisiología, ambas especies de mangle fueron afectadas en gran medida; sin embargo, esto no pareció ser una tendencia general, ya que las características del terreno propiciaron que esto ocurriera principalmente en los primeros metros de la ribera sobre el margen derecho.

El lirio acuático es un problema para navegación en algunas zonas del río Coatzacoalcos; adicionalmente, la presencia del lirio acuático como planta oportunista indica un alto grado de alteración del hábitat, que indica especialmente un incremento de nutrientes (eutrofización) ya sea por incorporación de fertilizantes o por descarga de aguas negras municipales. Sin embargo, también representa un hábitat para muchas especies y es un filtro potencial de contaminantes en la zona.

La vegetación de la zona se expuso al efecto de las fracciones solubles tóxicas del petróleo, a los productos fraccionados por el intemperismo del petróleo residual, al impacto de compuestos tóxicos en las poblaciones microbiales del suelo y al desencadenamiento de otros procesos en distintos niveles del ecosistema.

Estos factores particulares provocaron en una condición diferente a la vegetación ribereña en comparación con el resto de la zona costera, lo cual potencialmente puede tener efectos nocivos en el mediano plazo.

Aves

La forma de contaminación más evidente en las aves observadas fue por contacto con el agua y los sedimentos contaminados con crudo. Sin embargo, también es posible que la contaminación se haya dado de manera indirecta (por ejemplo, por contacto de las aves contaminadas con los polluelos, nidos y e incluso otras aves).

El problema más importante para las aves fue la pérdida de aislamiento en el plumaje, la que puede causar el enfriamiento del cuerpo y un "shock" térmico, e incluso la muerte. El grado de contaminación y la incorporación del crudo en las diferentes partes del cuerpo de las aves puede limitar la capacidad de flotación e incluso la de vuelo, haciéndolas más vulnerables a los depredadores y/o inhabilitándolas para conseguir alimento. Por otra parte, debido a sus hábitos de limpieza al acicalarse, las aves pueden ingerir el contaminante y, como resultado, disminuir su capacidad de alimentación o intoxicarse. Afortunadamente, las acciones de captura y limpieza de aves, principalmente pelícanos, por parte del Internacional Fund for Animal Welfare (IFAW), probablemente hayan ayudado a disminuir el efecto del contaminante en las aves que se encontraban en la zona.

Otras Grupos Faunísticos

Peces

Entre un 80 y 90% de las pesquerías del Golfo de México son dependientes del manglar durante uno o más de sus ciclos de vida. Bozada y Páez (1987) encontraron que en las capturas de macrofauna en la zona están representadas 69 especies de peces, de las cuales las más abundantes son el chivato (*Upeneus parvus*), el lenguado (*Syacium papillosum*) y el charrito (*Trachurus latham*). Sin embargo, duran-

te la época de invierno, precisamente la que comprende el periodo del derrame del 22 de diciembre, se observa una disminución general en la riqueza y abundancia de huevos, larvas y adultos de peces. Bozada y Páez (1987) encontraron que la pesca en la zona se encontraba afectada, ya que la macrofauna en general presentó menores valores de captura por hora y diversidad frente a la desembocadura del Coatzacoalcos, sin cambios estacionales detectables; esto se explicó por una fuerte influencia del caudal incrementado por el constante dragado en la zona estuarina y en el mar abierto frente a su desembocadura.

Los peces expuestos al crudo presente en el agua como consecuencia del derrame pudieron ser afectados directamente por la ingestión del crudo y su absorción a través del aparato respiratorio (agallas); además, a causa de los cambios en su ecosistema, puede haber efectos en sus huevos y sobre la supervivencia de larvas. Uno de los principales efectos observados en la reproducción de peces cuyos huevos han sido expuestos, incluso a concentraciones bajas de hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAP's), son las deformidades físicas, lo cual repercute en su aptitud para sobrevivir en el medio y pone en riesgo la viabilidad de las poblaciones. Sin embargo, no es posible aseverar que esto haya ocurrido en este caso, ya que no se hicieron pruebas de concentración de HAP's, ni se cuenta con especímenes de peces afectados.

Mamíferos

Estos animales tienden a moverse repetidamente entre los humedales y el río, por lo que son susceptibles al contacto con el crudo. Algunos estudios han mostrado que la sensibilidad de los mamíferos hacia los derrames de crudo es altamente variable y depende de la especie. La cantidad de daño se encuentra relacionada directamente con el grado de contaminación del pelaje y la piel, principalmente porque se afectan sus funciones en la termorregulación.

Algunas especies son susceptibles a los efectos tóxicos de la inhalación de los vapores del petróleo, los cuales puede causarles daños al sistema nervioso central, el hígado y los pulmones. Los animales también se encuentran en

riesgo de ingerir el crudo de acuerdo con sus diferentes hábitos y comportamiento, lo que reduce su habilidad de cazar o de ingerir alimentos, al dañarse las células del aparato digestivo.

Sin embargo, algunos de los principales efectos de la contaminación son indirectos. Algunos estudios incluso muestran indicios de problemas reproductivos, así como de carcinogénesis, mutagénesis y teratogénesis a largo plazo, relacionados con la exposición al crudo. También puede ocurrir la destrucción de los recursos alimentarios de especies que ni siquiera estuvieron en contacto directo con el crudo derramado. Es decir, los depredadores que consumen presas contaminadas están expuestos indirectamente al crudo por medio de la ingestión. Adicionalmente, como la exposición al crudo les confiere a los peces y otros animales un sabor y olor desagradables, los depredadores podrían negarse a consumir esas presas y empezar a sufrir efectos de inanición, o bien, migrar hacia áreas menos contaminadas y desaparecer de las zonas afectadas. Algunas veces, las poblaciones locales de presas de algunos organismos son aniquiladas, dejando sin recursos alimentarios a los depredadores.

Reptiles y Anfibios

Muchos reptiles que habitan en las zonas ribereñas donde se alimentan y reproducen, son directamente susceptibles a la contaminación por crudo. En los reptiles, el contacto directo con el crudo puede limitar o detener su movilidad, disminuyendo su capacidad de defensa y de alimentación. Los anfibios, por ejemplo, al estar en contacto con el crudo pueden morir asfixiados, ya que realizan el intercambio de gases a través de la piel (respiración).

Muchos reptiles consumen peces e insectos que se encuentran cerca de la superficie del agua, por lo cual están expuestos a ingerir directamente el crudo, o a consumir presas contaminadas, e intoxicarse. Por otra parte, la desaparición repentina de los componentes de su hábitat, así como su degradación paulatina a largo plazo, pueden ocasionar la extinción local de las poblaciones de reptiles y otras especies.

Invertebrados

La concentración de hidrocarburos puede ser de tal magnitud que impida la existencia de organismos en las áreas contaminadas; en este caso, se considera aguda y letal. Aunque las concentraciones de hidrocarburos en la zona sean bajas y no ejerzan un efecto visible e inmediato en las poblaciones, pueden impedir la sucesión ecológica, modificando drásticamente el hábitat. En estas condiciones, es más frecuente la acumulación de sustancias tóxicas en los organismos, cuyos efectos se observan a largo plazo y representan una mayor posibilidad de que estas sustancias se transmitan a las poblaciones humanas, en las que podrían causar efectos crónicos. En las zonas costeras, estos casos de contaminación crónica y subletal son los más importantes, tanto para las especies afectadas, como para la cadena trófica y las poblaciones humanas.

Bozada y Páez (1987) encontraron dos picos de máxima abundancia de larvas de camarón (*Penaeus sp.* y *Trachypenaeus sp.*) durante otoño e invierno. También describen que el desove ocurre todo el año, con un pico a finales de invierno y principios de primavera y otro en otoño. Éstos se presentaron en las zonas cercanas a las lagunas y junto al cauce de los ríos, principalmente el Coatzacoalcos, debido al aporte de materia orgánica. Estas especies pudieron verse afectadas ya que los sedimentos contaminados pueden impactar a los organismos que viven y se alimentan en el fondo de los ríos. Sin embargo, debido a la ausencia de datos a este respecto, no se tienen evidencias sobre su vulnerabilidad y los posibles efectos adversos de los contaminantes sobre ellos. El espectro de los impactos puede ser amplio e incluir mortalidad, alteraciones en la estructura de las poblaciones, cambios en las tasas metabólicas y alimentarias y alteraciones en la formación del exoesqueleto, entre otras.

CONCLUSIONES

La evaluación instantánea de los impactos del derrame mostró perturbaciones significativas en los factores bióticos y abióticos analizados. Sin embargo, las afectaciones al ambiente por derrames de hidrocarburos en el río Coatzacoalcos son muy antiguas y crónicas; de hecho, debido a los valores promedio de hidrocarburos en los sedimentos del río Coatzacoalcos, se puede considerar uno de los ecosistemas costeros más contaminados por actividades petroleras en México.

Las técnicas analíticas empleadas para cuantificar hidrocarburos y metales pesados en las muestras de sedimentos y agua, limitaron acentuadamente la evaluación de los impactos ambientales del derrame de hidrocarburo. Adicionalmente, aunque algunos impactos no pudieron ser evaluados a detalle, no se descarta la posibilidad de que estos puedan ser significativos a largo plazo.

LITERATURA CITADA

- Alloway, B.J., y D.C. Ayres, 1993. Chemical Principles of Environmental Pollution. Blackie Academic & Professional, London.
- Gobierno del Estado de Veracruz, 1998. Atlas Digital del Estado de Veracruz. 1998. Xalapa, Ver.
- Bahena, J.L., L. Rosales-Hoz y A. Carranza Edwards, 2002. Spatial and temporal variation on heavy metals in tropical estuary. *Environmental Geology*, 42:575-582.
- Botello, A.V., 1996. Características, composición y propiedades fisicoquímicas del petróleo, p. 203-210. In: AV Botello, JL Rojas-Galaviz, JA Benitez y D Zárate-Lomelí (Eds.) Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, Serie Científica 5, Epomex, Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, México. 666 p.
- Botello, A.V., 1996. Fuentes, Transformación y Caracterización Geoquímica del Petróleo en el Ambiente Marino, p 211-223. In: AV Botello, JL Rojas-Galaviz, JA Benitez y D Zárate-Lomelí (Eds.) Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, Serie Científica 5, Epomex, Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, México. 666 p.
- Lomelí (Eds.) Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, Serie Científica 5, Epomex, Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, México. 666 p.

- Bozada, L., y M. Páez, 1987.** La Fauna Acuática del Litoral. Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos. Centro de Ecodesarrollo – Universidad Veracruzana. 156 p.
- Dirección de Desarrollo Institucional de Coatzacoalcos, 2004.** [Http://148.235.146.228/Coatza/Conoce+Coatzacoalcos/Diagnostico+Situacional/](http://148.235.146.228/Coatza/Conoce+Coatzacoalcos/Diagnostico+Situacional/)
- Dirección General de Investigaciones de la Universidad Veracruzana – PEMEX Refinación, 2002.** Mejoramiento ambiental de la zona del arroyo Tepeyac, en Nanchital, Ver. [Http://www.uv.mx/invest/pemex.html](http://www.uv.mx/invest/pemex.html)
- Gallegos, M., 1986.** Petróleo y Manglar. Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos. Centro de Ecodesarrollo – Universidad Veracruzana. 102 p.
- Gold Bouchot, G., 2004.** Hidrocarburos en el sur del Golfo de México. p. 657-682. *In:* M. Caso, I. Pisanty y Ezcurra, E. 2004. Diagnóstico Ambiental del Golfo de México. Tomo I. SEMARNAT, INE, Instituto de Ecología, A.C., Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies.
- Halffter, G. et al. 1972.** Estudio de la contaminación en el bajo río Coatzacoalcos. Primeros trabajos. ENCB-IPN, México.
- IMTA, 1996.** Estudio de Caracterización de la Cuenca del Coatzacoalcos. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 233 pp.
- IPCS, 1998.** Environmental Health Criteria 202, Selected Non-Heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, World Health Organization, Geneva.
- IPEM/ARINKA/RAPAM, 2005.** Contamination of chicken eggs near the Pajaritos Petrochemical Complex in Coatzacoalcos, Veracruz, Mexico by dioxins, pcbs and hexachlorobenzene. IPEN/ARINKA/RAPAM. 28 p
- Kennish, M.J., 1997.** Practical Handbook of Estuarine and Marine Pollution. CRC Press. Florida. 524 p.
- Légorreta, J., 1983.** El proceso de urbanización en ciudades petroleras. CECODES, México.
- Long, E. R., D.D. MacDonald, S.L. Smith y F.D. Calder, 1995.** Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*, 19(1): 81-97.
- Morteo, E., L.A. Albert, L. Bozada-Robles, J. Uribe-Juárez, J. López-Portillo, R. Méndez-Alonzo, K. Soto, O. de los Reyes-Trejo, y C.J. Torres-Nachón. 2005.** Derrame de Petróleo del 22 de diciembre de 2004 en el Área de Nanchital – Coatzacoalcos: Informe Preliminar de la Afectación Ambiental. Consejo Estatal de Protección al Ambiente, Gobierno del Estado de Veracruz – Ignacio de la Llave. Xalapa, Veracruz, México. 127 p.
- Nolasco, M., 1979.** Ciudades perdidas de Coatzacoalcos, Minatitlán y Cosoleacaque. CECODES. México
- Ochoa, S.A., G.E. Halffter, y R. Ibarra, 1973.** Estudio de la contaminación en el Bajo Río Coatzacoalcos. Primeros trabajos. Primer Seminario sobre la Evaluación de la contaminación Ambiental. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables (Ed.). México, D.F. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas: 115-162.
- Paasivirta, J., 1991.** Chemical Ecotoxicology. Lewis Publishers, Chelsea, MI, EUA.
- Pérez-Zapata, J. et al., 1982.** La contaminación por plomo en habitantes de Coatzacoalcos". *An. Esc. Nac. Cienc. Biol., Méx.*, 1-4(26): 147-151.
- Restrepo, I., 1995.** Desarrollo Sustentable en Golfo y Caribe de México. Centro de Ecología y Desarrollo. México.
- Roberts, M. H., Jr., M. C. Newman, y R. C. Hale, 2002.** Overview of Ecological Risk Assessment in Coastal and Estuarine Environments. *In:* Newman C. M., M. H. Morris and R. C. Hale (Eds.). Coastal and Estuarine Risk Assessment. Lewis Publishers. Florida. 347 p.
- Rosas Pérez, I. A., 1974.** Cuantificación de mercurio en la biota relacionada con el Río Coatzacoalcos. Tesis. UNAM. 87 p.
- Stringer, R., I. Lubunska, y K. Brinden, 2001.** Contaminantes organoclorados y metales pesados en el ambiente alrededor del Complejo Petroquímico Pajaritos, Coatzacoalcos, México. Nota técnica 05/2000. Laboratorios de Investigación Greenpeace, Departamento de Ciencias Biológicas. Universidad de Exeter, Exceder, Reino Unido. 19 p.
- Toledo, A., A.V. Botello, y M. Herzig, 1987.** El Pantano: Una Riqueza que se Destruye. Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos. Centro de Ecodesarrollo – Universidad Veracruzana. 140 pp.
- Toledo, A., A.V. Botello, M. Herzig, L. Bozada y F. Contreras, 1989.** Impacts of Oil Industry in Mexican Coastal Areas, p. 1948-1955. *In:* Orville T. Magoon, Hugh Converse, Dallas Miner, L. Thomas Tobin and Delors Clark (Eds): COASTAL ZONE'89. Vol. 2. Proceedings of the Sixth Symposium on Coastal and Ocean Management. Charleston, South Carolina. July 11-14, 1989. Published by the American Society of Civil Engineers. New York.
- Toledo, A. et al. 1988.** Energía Ambiente y Desarrollo. Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos. Vol XV. Centro de Ecodesarrollo. México. 382 p.

University of Delaware (2004). Impacts on wildlife and other natural resources? <http://www.ocean.udel.edu/oilspill/wildlifeimpacts.html>

Vázquez-Botello, A., y F. Páez. 1986. La Contaminación: el problema crucial". Vol. I. Centro de Ecodesarrollo. México. 140 p.

Vázquez-Botello, A., S. Villanueva-Fragoso y L. Rosales-Hoz, 2004., Distribución y contaminación de metales en el Golfo de México, p. 683-7122. *In*: Caso, M., I. Pisanty y Ezcurra, E. 2004. Diagnóstico Ambiental del Golfo de México. Tomo I. SEMARNAT, INE, Instituto de Ecología, A.C., Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies.

Bozada Robles, L.M., y P.E. Namihira-Santillán, 2005. El derrame de petróleo del 22 de diciembre de 2004 en la cuenca baja del río Coatzacoalcos: estudio de caso, p. 681-696. *In*: 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, 2da Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.

El Derrame de Petróleo del 22 de Diciembre de 2004 en la Cuenca Baja del Río Coatzacoalcos: Estudio de Caso

40

Lorenzo M. Bozada Robles ¹ y Patricia E. Namihira-Santillán ²

¹ Universidad Istmo Americana, A.C.

² Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza una revisión histórica de los derrames de hidrocarburos y de sustancias tóxicas registradas en la Cuenca Baja del río Coatzacoalcos en los últimos 16 años. Se presenta una evaluación de los impactos ambientales, sociales y económicos originados por el derrame de hidrocarburos del 22 de diciembre del 2004. Finalmente se realiza un análisis crítico de las actividades empleadas para enfrentar contingencias transitorias por derrames de hidrocarburos y se plantea una prospectiva ambiental de la región.

ABSTRACT

A historical review of registered oil spills and toxic substances in the Lower Basin of the Coatzacoalcos River over the past 16 years is presented. It includes an evaluation of environmental, social and economic impacts arising from the oil spill of December 22, 2004. Finally, it critically analyzes the activities employed to confront contingent and transitory outcomes of oil spills and indicates the regions' future environmental prospects.

INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es inherente a las actividades humanas y el efecto más importante se presenta cuando la entrada de estos contaminantes rebasa la capacidad de carga de los ecosistemas para asimilarlos y/o degradarlos; o bien, cuando los mecanismos de desintoxicación de los organismos se ven saturados para eliminarlos, lo que se traduce en la pérdida de hábitats y de la biota.

El petróleo es una sustancia muy compleja, formada por miles de compuestos diferentes, principalmente de una mezcla de hidrocarburos (alifáticos y aromáticos), resinas, asfaltenos compuestos heterocíclicos azufrados, nitrogenados, oxigenados (Cazzarelli y Baeher, 2004). En base a que el petróleo se forma por procesos químicos que transforman material orgánico de diferentes fuentes, en ambientes geológicamente heterogéneos, existen diferencias notables en la composición de cada yacimiento y, por lo tanto, de cada tipo de petróleo (Gold Bouchot, 2004; Botello, 2005. com. epistolar).

Los daños ambientales provocados por accidentes relacionados con el derrame de hidrocarburos en ambientes acuáticos a pequeña y gran escala (México, 1978; Alaska 1989; Golfo Pérsico, 1991; España 2002), han puesto de manifiesto no sólo efectos considerados como irreversibles en el medio abiótico, sino que han demostrado que las secuelas siguen siendo evidentes en la biota años después de haber ocurrido. Por lo anterior, actualmente es insuficiente caracterizar el estado de un ecosistema con tan sólo determinar las concentraciones de contaminantes presentes, sino que se hace necesario conocer cómo éstos afectan a la biota y de esta manera, poder explicar la relación entre la exposición de una población a contaminantes y los subsecuentes efectos biológicos, cuya información conjunta obtenida a través de respuestas biológicas específicas, permitirá inferir la salud de un ecosistema (Roberts, *et al.*, 2000; Namihira-Santillán 2005; Botello, 2005.com. epistolar).

PERFIL SOCIOECONÓMICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

Los municipios de Coatzacoalcos y Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río, se localizan en el Istmo Mexicano, en el Sur del estado de Veracruz o Sotavento, en la subregión denominada Corredor Industrial-Uxpanapa. La región comprende 12 municipios abarcando la extensión total de Minatitlán, Las Choapas, Jáltipan y los parques industriales (química y petroquímica) aledaños a Coatzacoalcos. En este corredor se ubican 7 de las 34 zonas urbanas más grandes del estado de Veracruz; el número de habitantes calculado para la zona es de aproximadamente 800,000.

La problemática originada por el crecimiento poblacional de la región Corredor Industrial-Uxpanapa ha generando agudas presiones sociales como:

- Las carencias de agua potable, de vivienda, de servicios de salud y de infraestructura escolar.

- Las ciudades y municipios descargan sus desechos domésticos en los cuerpos de agua, principalmente en el río Coatzacoalcos, Tonalá, Calzadas y la laguna del Ostión, lo que ha provocado una alta y crónica contaminación bacteriana.
- La descarga al río Coatzacoalcos de los desechos industriales sin tratamiento y los frecuentes derrames accidentales, causaron el brusco descenso de la actividad pesquera en el río Coatzacoalcos con la transformación a una pesca de pequeña escala de litoral de media altura en el Golfo de México.
- El crecimiento anárquico de las ciudades trajo por consecuencias las ocupaciones de zonas ecológicas vitales como pantanos, dunas y manglares.

- Se aprecia una situación de pobreza aguda con un alto índice de desempleo y emi-

gración de la población al norte del país y a Norteamérica.

UNA VISIÓN HISTÓRICA SOBRE DERRAMES DE HIDROCARBUROS Y SUSTANCIAS TÓXICAS AL RÍO COATZACOALCOS

Las afectaciones al medio ambiente por derrames de hidrocarburos en el río Coatzacoalcos son muy antiguas y crónicas. La denuncia de la S.C.M. Pesquerías de Coatzacoalcos contra la Compañía Petrolera el Águila por contaminar el río en 1937, señala:

“...Pues con todo este petróleo que durante el año ha estado invadiendo las márgenes del río y claramente hemos ido notando que toda clase de cría de pescado que sube a su criadero las va matando con ese aceite que corre por el río para arriba y para abajo y ese es el motivo al cual nos referimos para el fin que les pongan medidas necesarias a la Cía. del Águila de este lugar, con el fin de que ya no sigan derramando tanto petróleo y como también la clase pescadora deja de ganarse la vida por estar invadiendo el río de petróleo por no poder echar sus redes al agua, porque si la echamos nos las quema el petróleo.”[...] Pues durante el tiempo que se lle-

na el río completamente de petróleo, deja el pescador de ganarse la vida...”

Los principales derrames de hidrocarburos y sustancias tóxicas registrados en el río Coatzacoalcos entre 1989 y 2005, se muestran en la Tabla 1.

Actualmente, PEMEX posee en el país una red de ductos de 54,000 km. para la actividad petrolera instalada en tierra y 2,000 km. de tipo submarino para el transporte de petróleo crudo, gas natural y otros productos refinados. Considerándose que cerca del 50% de los ductos registran alrededor de 30 años de operación, existe un alto riesgo adicional ocasionado por el establecimiento de poblaciones humanas en los derechos de vías, como son los casos en el Sur de Veracruz en el poblado de Mundo Nuevo (Congregación de Coatzacoalcos) y el municipio de Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río.

EL DERRAME DE PETRÓLEO DE DICIEMBRE DE 2004

El 22 de diciembre de 2004, alrededor de las 9:40 AM se registró un incendio en el cuarto de control de la estación Mazumiapan, municipio de Catemaco como consecuencia de una fuga en el sello de bombeo (empaquete). Una vez controlado y extinguido el fuego, se notificó un derrame de petróleo crudo en el oleoducto de 30" de diámetro que corre de Nuevo Teapa a Poza Rica, el cual tiene una longitud de 486 km; reportándose una fuga de petróleo crudo

en el municipio de Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río, en la casa de válvulas de la margen derecha del río Coatzacoalcos a las 10:27 hrs, cerrándose las válvulas de seccionamiento a las 11.11 hrs.

Como consecuencia del accidente, se produjeron lesiones en cinco trabajadores y el volumen derramado se calculó en 5,013 barriles (PEMEX. Boletín 16.02.2005).

RÍO COATZACOLACOS: UNA HISTORIA CIENTÍFICA OLVIDADA

Los esfuerzos de la comunidad científica mexicana encaminados a diagnosticar los impactos ambientales en los últimos cincuenta kilómetros del río Coatzacoalcos se inician en 1972, con la determinación de las fuentes de emisión industrial (Halffter *et al.*, 1972).

Los trabajos clásicos de Botello y Páez (1986) realizados hace dos décadas sobre la presencia de hidrocarburos en sedimentos en la cuenca baja del río Coatzacoalcos se muestran en la tabla 2.

Tabla 1. Principales derrames de hidrocarburos y sustancias tóxicas registrados en el río Coatzacoalcos entre 1989 y 2005.

Fecha	Lugar
11 de julio de 1989	Mortandad masiva por vertido de residuos de FERTIMEX-Unidad Coatzacoalcos al arroyo Colorado, afluente del Cosoleacaque.
17 de julio de 1989	Ruptura de ducto de 3 pulgadas que transportada FERTIMEX-Unidad Coatzacoalcos. Municipio de Cosoleacaque y Chinameca.
11 de marzo de 1991	Pajaritos, Coatzacoalcos.
2 de octubre de 1993	Poliducto de 12 pulgadas. Nanchital
1 y 19 de noviembre de 1995	Dos derrames de un poliducto de 12 en el arroyo Tepeyac. Municipio de Nanchital.
8 de noviembre de 1997	Fuga. Nanchital.
Diciembre de 1998	Incendio en el arroyo Tepeyac, a consecuencia de la ruptura de un poliducto de 12. Municipio de Nanchital.
17 de abril de 2001	Derrame de crudo que se vertieron en el arroyo Tepeyac, ocurrido en la red de ductos de PEMEX. Tramo de Nuevo Teapa, Poza Rica. Municipio de Nanchital.
22 de diciembre de 2004	Derrame de 5,000 barriles de hidrocarburos en el arroyo Tepeyac. Municipio de Nanchital.
3 de marzo de 2005	Se registran dos incendios en PEMEX. Comprende una fuga de hidrocarburos e incendio.
13 de marzo de 2005	Fuga de amoníaco en el ducto de 10 pulgadas que va de Cosoleacaque a la Terminal.
Fuente: Ricardo Castelo. Presidente Municipal de Nanchital	

Tabla 2. Presencia de hidrocarburos en sedimentos en la cuenca baja del río Coatzacoalcos.

Coatzacoalcos	Rango de Valores de Hidrocarburos (ppm)			Total Promedio (ppm)
	Saturados		Totales	
Marzo, 1982	11-597	47-1025	184-1053	457
Junio, 1982	73-1048	107-635	443-1544	780
Febrero, 1983	113-1562	41-1061	179-2623	802

Anotándose que en las estaciones comprendidas entre la desembocadura del río Coatzacoalcos en el Golfo de México y el Puente Coatzacoalcos I, la concentración de hidrocarburos aromáticos excede el valor de la n-parafinas; mientras que en la estación localizada frente a Nanchital los valores de n-parafinas son solo ligeramente mayores que los compuestos aromáticos, concluyéndose que los valores más altos de aromáticos se presentan en las zonas de descargas fijas o de intensa actividad petrolera.

Una anotación singular del trabajo de Botello *et al.* (*Op. Cit.*) comprendieron la determinación de los hidrocarburos polinucleares (PAHs) en 19 especies de organismos como peces, crustáceos y moluscos. Entre los PAHs identificados se cuentan Benzo (a) pireno y Benzo (ghi) perileno, los más peligrosos por su potencial carcinogénico y los riesgos para la salud.

Botello *et al.* (*Op. Cit.*) registraron en sedimentos la presencia de compuestos organoclorados (BHC, Aldrín, Dieldrín, Endrín, Hepacloro

y Lindano), resultando la concentración promedio de éstos muy baja (1.56 ppb). Mientras que en las concentraciones de plaguicidas detectadas en peces, moluscos y crustáceos analizados, los compuestos más abundantes son el HCH y Dieldrín, que se presentaron en el 100% de las muestras, siguiéndole en importancia el heptacloro epóxido y el DDT; los cuales se presentaron en 98% de las especies analizadas. Señalándose el contraste de que en los sedimentos no se pudo detectar la presencia de DDT. Otro aspecto sobresaliente reportado fue la estrecha relación entre la concentración de plaguicidas y el contenido de carbono orgánico, tipo de sedimentos, en base a que las mayores concentraciones de plaguicidas se presentaron en las fracciones limo arcillosas con alto contenido de carbono orgánico.

Botello *et al.* (Op. Cit.) efectuaron el análisis de mercurio de 15 muestras, de las cuales solo cuatro presentaron niveles detectables: en orden descendente éstos fueron las colectadas en el pantano de Santa Alejandrina (0.062 ppm), en tiradero Complejo Pajaritos (0.078 ppm), en arroyo Teapa (0.153 ppm) y la más alta en el estero de arroyo San Francisco (0.209 ppm) todos estos sitios corresponden a las zonas donde son vertidos directamente desechos provenientes de las industrias del corredor industrial de Coatzacoalcos.

Stringer *et al.* (2001), en sus estudios alrededor del Complejo Petroquímico Pajaritos, registraron en sedimentos la concentración de ocho

metales pesados, algunos de estos metales son empleados como catalizadores en procesos industriales como la oxícloración para la producción de 1,2 dicloroetano (cobre) fuente primaria para la producción de cloruro de vinilo; el mercurio en la producción de cloro y la presencia de plomo posiblemente este relacionada con la antigua producción de tetraetilo de plomo (Tabla 3). Stringer *et al.* (Op. Cit.) reportaron la presencia de organoclorados de tipo volátil (especialmente 1,2 dicloroetileno y cloruro de vinilo) y semivolatil en las descargas del Complejo Petroquímico Pajaritos, compuestos característicos de los procesos de producción de cloruro de vinilo. Asimismo, infieren que dado que la producción de 1,2 dicloroetileno inevitablemente genera dioxinas y furanos como subproducto no deseado, es muy probable la existencia de estos compuestos altamente tóxicos alrededor del Complejo Petroquímico Pajaritos.

Los resultados de los estudios realizados por Bahena-Manjarrez *et al.* (2002), sobre metales en sedimentos superficiales en los últimos 50 km del río Coatzacoalcos, se muestran en la tabla 4. Las diferentes propiedades estacionales de los sedimentos permiten diferenciarlos y aseverar que los sedimentos superficiales del Río Coatzacoalcos son dinámicos y se autodepuran durante la época de lluvia (septiembre).

Botello *et al.* (2004) realizaron una revisión de las concentraciones de metales en ríos y sistemas lagunares del Golfo de México, señalando

Tabla 3. Concentración de metales pesados en sedimentos alrededor del Complejo Petroquímico de Pajaritos (Stringer *et al.*, 2001).

Metales	mg/kg en peso seco	mg/kg en peso seco	Promedio mg/kg en peso seco
Cobalto	13	2	6.6
Cobre	131	19	70.2
Cromo	217	14	72.7
Manganeso	356	79	203.7
Mercurio	60.83	0.1	10.264
Níquel	58	8	30.2
Plomo	213	9	66.2
Zinc	602	41	238.03

Tabla 4. Valores promedio de metales en sedimentos superficiales (Bahena-Manjarrez *et al.*, 2002).

Metales	Cd	Co	Cu	Cr	Ni	Pb	V	Zn
Septiembre	0.97	19.50	22.24	40.41	9.96	34.89	39.96	90.00
Enrero	2.50	24.10	42.24	53.94	73.74	57.68	58.35	97.41
Abril	2.83	25.30	26.36	56.10	60.60	54.93	55.86	109.20
Agosto	2.40	16.10	26.30	59.60	23.50	11.32	87.73	87.73

las concentraciones de metales biodisponibles y las concentraciones mínimas para producir efectos biológicos adversos a los organismos (Tabla 5).

La Red Internacional para la eliminación de Compuestos Orgánicos Persistentes (IPEN), Red de Acción Sobre Plaguicidas y Alternativas en México - RAPAM (México), Organización y Desarrollo Social, S.C. (México), Arnika Association (República de Checoslovaquia) en 2005, aportan los primeros datos sobre la presencia de contaminantes orgánicos persistentes (COP) generados en huevos de gallina en México. Los huevos de gallinas de traspatio, recolectados alrededor del Complejo Petroquímico de Pajaritos en Coatzacoalcos mostraron altos niveles de dioxinas (PCDD/F) y hexaclorobenceno, así como elevados niveles de policlorobifenilos (PCB). El nivel de dioxinas fue seis veces mayor al límite de la Unión Europea (UE) en huevo y casi 19 veces más alto en comparación con niveles base ambientales. Los niveles de hexaclorobenceno fueron 1.5 veces mayores que el límite actual establecido para la Unión Europea en huevo y más de tres veces que el nuevo límite de esta sustancia química, como residuo de plaguicida, propuesto para la misma Unión Europea. De manera similar, las concentraciones de PCB encontradas son 1.5 mayores que los límites de la Unión Europea en huevo. Considerando la relación de los congéneres de dioxinas en los huevos, se anota que domina la 2, 3, 7,8, TCDD (la más tóxica) y que las corrientes predominantes de viento en la región de Coatzacoalcos van en dirección sur y sureste; siendo la fuente más evidente generadora de dioxinas y otras sustancias químicas en los huevos de gallina. El Complejo Petroquímico de Pajaritos y los incineradores de desechos asociados con dicho complejo petroquímico, son una fuente de afectación potencial a la comunidad de

Tabla 5. Concentración de metales en sedimentos del Río Coatzacoalcos (µg/g).

	Pb	Cr	Cd	Ni
	46.6	81	1.2	20.9
Coatzacoalcos I	39.71	ND	2.18	41.91
Biodisponible	6.58	ND	1.67	5.1
Coatzacoalcos II	43.41	71.8	1.84	34.76
Biodisponible	4.79	ND	0.33	2.59

* Basado en datos de Long et al., 1995

ND: No disponible

Paso a Desnivel (268 personas) del Municipio de Coatzacoalcos; la población que habita en Mundo Nuevo (9,021) en el mismo municipio, Nanchital de Lázaro Cárdenas con 27,218 habitantes en el municipio del mismo nombre e Ixhuatlán del Sureste con 13,294 habitantes, así como el casco urbano de la ciudad de Coatzacoalcos con 267,212 habitantes.

Por otra parte, la información relacionada con los impactos ambientales sobre la salud humana en la región de Coatzacoalcos es escasa y posiblemente la población este presentando sintomatología que aún no han sido detectada. Un reconocimiento de la problemática de la región ha sido expresado por el Director General del Instituto Nacional de Salud Pública quien señala:

“... la experiencia de otros casos de contaminación por hidrocarburos ha derivado en la aparición de males en la salud de los pobladores como son afecciones cancerígenas, abortos, malformaciones congénitas y en el caso de los niños, problemas de crecimiento y desarrollo físico...” (Diario de Xalapa, 30 de marzo del 2005)

EL ÁREA AFECTADA POR EL DERRAME DE PETRÓLEO EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO COATZACOALCOS

El río Coatzacoalcos nace en Oaxaca, tiene una longitud aproximada de 185 km. y drena una cuenca de 4,803 km². Recibe algunos afluentes importantes, especialmente por su margen derecho: el Coahuila, Uxpanapa y San Antonio. El Uxpanapa entra al cauce principal 5 km debajo de Minatitlán. Se trata de un río notable, que nace en Oaxaca, tiene una longitud aproximada de 185 Km y drena una cuenca de 4 803 km².

El río Huazuntlán nace en la Sierra de Santa Marta, en su recorrido, el canal principal recoge los aportes de otros ríos importantes como el Ozuluapa, Texizapa, Tilaza y Chacalapa y comprende una superficie de drenaje de 800 km². En su porción terminal el río se bifurca; el canal principal cambia de nombre a río Calzadas, el cual desemboca en el río Coatzacoalcos con un volumen estimado de 11 m³/s.

El gasto calculado para la zona de estudio comprende un total de 2 '232,300 L/s y los volúmenes de aguas residuales medidos en 1996 por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 1996) son del orden de 2,403.65 L/s .

El área impactada por el derrame del 22 de diciembre del 2004 comprendió el cauce

del río Coatzacoalcos desde la localidad de Nanchital, hasta su desembocadura en el Golfo de México, incluyendo el sistema de humedales del río Calzadas, con impactos no reconocidos a la zona litoral del Golfo de México y al sistema laguna del Ostión (Fig. 1) .



Figura 1. Fotografía aérea de la cuenca baja del río Coatzacoalcos.

LOS IMPACTOS OCASIONADOS POR EL DERRAME DE PETRÓLEO DEL 22 DE DICIEMBRE EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO COATZACOALCOS

La determinación de la concentración del hidrocarburo derramado realizado por la COEPA (2005) en tres muestras de sedimentos del cauce principal del río Coatzacoalcos, muestra valores en peso seco de 47.17 a 1,290 (promedio de 475.61) mg/kg. Por otra parte, registra concentraciones de hidrocarburos en la columna de agua de 12 ppm. Botello *et al.* (1986) anotaron que los niveles promedio de hidrocarburos disueltos y dispersos en las aguas del río Coatzacoalcos corresponden a 14 ppb.

Las determinaciones de hidrocarburos alifáticos y aromáticos fueron solicitadas por

Greenpeace al Laboratorio de Análisis Físicos y Químicos del Ambiente del Instituto de Geografía, UNAM, mediante el análisis cromatográfico de una muestra obtenida el 31 de diciembre de 2004, de la cual se analizaron hidrocarburos alifáticos (C₁₀ a C₃₀) y aromáticos policíclicos (HAPs-16 compuestos prioritarios que establece la EPA). La concentración de los hidrocarburos alifáticos C₁₀ -C₃₀ registraron valores de 2.74 mg/kg y las de HAPs de 5.40 mg/kg.

Los compuestos alifáticos encontrados en mayor cantidad son aquellos de tipo kero-

senos (C_{10} - C_{12}) y destilados ligeros (C_{12} - C_{20}). La obtención del índice de procedencia de los compuestos alifáticos de bajo peso molecular (C_8 - C_{20}) con respecto a los de alto peso molecular (C_{21} a C_{30}), indican que su origen es petrogénico (derrame) lo que adicionalmente es ratificado por el cálculo del índice de preferencia de carbono.

Los HPAs en el petróleo crudo o sus derivados exhiben un perfil de "tipo campana" formada por cada serie homóloga con grupos alquilo (Stout *et al.*, 2002), semejante a la mostrada por el cromatograma de la muestra de estudio y registrándose los 16 HPAs considerados prioritarios por la EPA.

Los compuestos poliaromáticos en base al número de anillos, mostraron el siguiente orden: 3 anillos > 4 anillos > 5 anillos > 6 anillos > 2 anillos, mientras que por compuestos, los que exhiben una mayor concentración son: Acenafteno y Pireno (0.57 mg/kg) y Fenantreno (0.55 mg/kg). De los compuestos que poseen 5 anillos, el de mayor concentración registrada fue el Benzo (a) Pireno (0.26 mg/kg), Benzo (b) Fluoranteno (0.23 mg/kg) y el Benzo (k) Fluoranteno (0.18 mg/kg), compuestos con potencial carcinogénico-mutagénico. El total de HAPs con 4-6 anillos es de 2.55 mg/kg.

La presencia de compuestos aromáticos de bajo peso molecular (2 y 3 anillos) comprende aproximadamente un poco más de la mitad de la concentración total de HPAs (2.84 mg/kg), por lo que se infiere que fueron incorporados al ambiente en tiempo reciente. Este tipo de HAPs, debido a sus propiedades fisicoquímicas, tienden a degradarse con mayor facilidad en sedimentos por diversos procesos geoquímicas de disipación de contaminantes como evaporación, dispersión o biodegradación y

que en la cuenca del río Coatzacoalcos son extremadamente acentuados.

Las posibles fuentes de HPAs en sedimentos, bien sean por combustión (pirolítico) o por derrame de petróleo crudo (petrogénico), pueden determinarse por medio de índices calculados a partir de las proporciones de determinados HPAs individuales (Zhang *et al.*, 2004). Para el análisis de la muestra de hidrocarburos del derrame del 22 de diciembre de 2004 del río Coatzacoalcos, se calcularon los siguientes índices de procedencia de compuestos poliaromáticos: Fenantreno/Antraceno (FEN/ANT), Fluoreno/Pireno (FLUO/PIR), Criseno/Benzo(a)Antraceno [CRIS/B(a)A] y compuestos de bajo peso molecular/alto peso molecular (BPM/APM) (Tabla 6).

Los resultados muestran que el índice (FLUO/PIR) señala un origen pirogénico; mientras que para los índices (FEN/ANT), y [CRIS/B(a)A] la fuente es petrogénica. Por su parte, el índice BPM/APM mostró un valor de 0.98; muy cercano a la frontera de la fuente de HPAs.

Con los resultados de HPAs se determinó la calidad de sedimentos propuesta por Buchman (1999). Los compuestos que rebasaron los criterios de efectos probables en la biota (PEL-probable effects level por sus siglas en inglés), fueron el Fenantreno y el Benzo(a) Antraceno. Sin embargo, estos criterios deben tomarse con cautela al momento de su aplicación, pues hay que tener en cuenta que están establecidos para estudios realizados en zonas templadas.

El impacto ocasionado por el derrame del 22 de diciembre del 2004 fue acentuadamente de tipo físico y existe una prioritaria necesidad de considerar los efectos ecotoxicológicos a cor-

Tabla 6. Índices de origen de HPAs.

Fuente de HPAs	HPAs BPM/APM	Fen/Ant	Fluo/Pir	Cris/B(a)A	FEN/ANT	FLUO/PIR	CRIS/B(a)A	APM/BPM
Pirogénica	< 1 ^{a)}	<10 ^{c)}	> 1 ^{b)}	< 1 ^{a)}		0.80	1.18	0.98
Petrog	> 1 ^{a)}	>10 ^{c)}	< 1 ^{b)}	> 1 ^{a)}	1.93			

^{a)} Socio *et al.*, 2000
^{b)} Zhang *et al.*, 2004
^{c)} Budzinski *et al.*, 1997

to, mediano y largo plazo, posiblemente derivados de la presencia de HAPs de 4 a 6 anillos como; Pireno, Benzo(a)Antraceno, Criseno, Benzo(b) Fluoranteno, Benzo(k) Fluoranteno, Benzo(a) Pireno, Indeno[123-cd], Dibenzo (ah) Antraceno y Benzo(ghi) Perileno que pueden acumularse en el sedimento y, tras su transformación, generar compuestos oxidados más tóxicos que los compuestos originales.

El informe de la Empresa Competitividad Ambiental, encargada de realizar la evaluación de extensión de daños ambientales para PEMEX presentado en mayo del 2005, reportó en sedimentos la existencia de TPHs (hidrocarburos totales del petróleo) de 300 a 800 ppm, mientras que los hidrocarburos poliaromáticos anotaron valores mayores a los límites esta-

blecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SS-2003 (Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación).

La extensión del derrame de hidrocarburos en la cuenca baja del río Coatzacoalcos realizados por COEPA (2005) se exhibe en la figura 2. PEMEX reconoció que se contaminaron 11.3 km. de la margen derecha del río Coatzacoalcos, 3 hectáreas del campo deportivo de Nanchital, 12 km. de playas en Coatzacoalcos y Allende, 500 m. del arroyo Tepeyac, Noreste de la laguna de Pajaritos y escolleras de la desembocadura al mar (PEMEX. Boletín 16 02 2005).

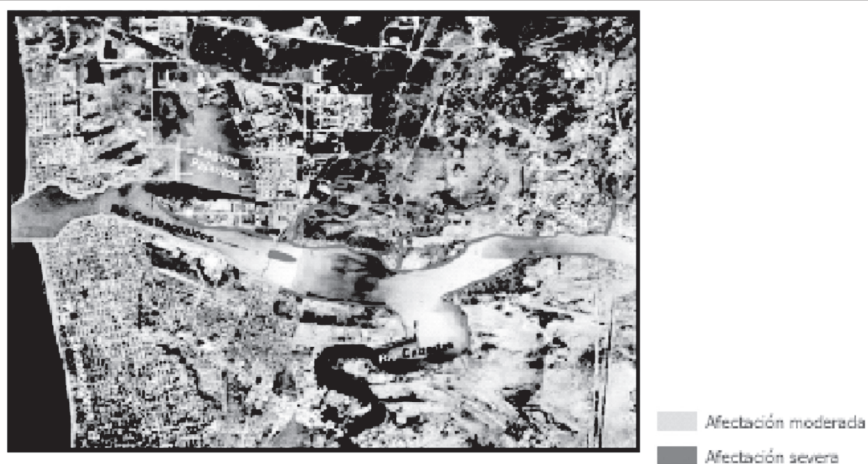


Figura 2. Afectación ambiental del derrame de petróleo del 22 de diciembre del 2004 en la cuenca baja del río Coatzacoalcos.

LOS IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS, AMBIENTALES Y A LA SALUD

El análisis socioeconómico de la cuenca baja del río Coatzacoalcos se efectúa con referencia a las funciones ecológicas del ecosistema. Este tipo de análisis se encuentra ausente en las estructuras actuales de planificación, haciéndose más notable su ausencia en el caso de las evaluaciones de las actividades petroleras.

Los Impactos a la Salud

Las primeras afectaciones no cuantificadas a la salud que se presentaron por el derrame de

petróleo del 22 de diciembre de 2004, fueron las causadas por emanaciones de compuestos volátiles, sobre esta situación el alcalde de Nanchital, Ricardo Castelo Castillo, informó que aproximadamente 15 mil habitantes de la ciudad resultaron afectados por las fuertes emanaciones del hidrocarburo. Se registraron al menos seis intoxicados, quienes fueron trasladados a instituciones hospitalarias para su atención. En Coatzacoalcos se desconoce el número de habitantes que presentaron irritación en garganta y ojos, durante el periodo que duró la recuperación manual del hidrocarburo

en el río Coatzacoalcos; sin embargo los síntomas de náuseas, irritación de ojos y el olor a hidrocarburo era perceptibles en la población. El 19 de enero del 2005 el nuevo presidente municipal de Nanchital señala:

“... PEMEX paga en promedio 300 pesos semanales a familias afectadas o damnificadas, que [...] sumaban 300 en un patrón oficial...” (Liberal del Sur, 20 de enero, 2005)

“... personal de los Servicios de Salud en el Estado visitó cuando menos 900 hogares y encontró problemas de vías respiratorias en cuando menos 350 personas, que ya son atendidas en el Hospital de PEMEX y las Clínicas del Sector Salud...” (Liberal del Sur, 20 de enero, 2005)

Los Impactos al Manglar

El personal del Departamento de Ornato, Parques y Jardines del municipio de Coatzacoalcos realizó un recorrido por el área afectada el 28 de diciembre del 2004, estimando mediante observaciones 254 individuos de mangle impactados por el derrame en mayor o menor grado, lo que suma aproximadamente 25,400 m² de mangle impactados (2.54 ha).

En el informe de COEPA (2005), se señala que durante el recorrido del 5 de enero del 2005, la zona afectada por el derrame de petróleo crudo en el río Coatzacoalcos y arroyos afectados presentan cobertura de manglar. Se observó que la cantidad de crudo incrustada en raíces aéreas (propias de la especie *Rhizophora mangle*, o mangle rojo) y en los pneumatóforos (estructuras de intercambio gaseoso de la especie *Avicennia germinans*, o mangle negro) en la mayor parte de los casos no fue suficiente para interrumpir la función de las estructuras que permiten el intercambio de gases. En la zona más afectada, cubierta en su mayoría por individuos de *A. germinans* (mangle negro), la cantidad de petróleo derramado cubrió alrededor del 60% de los pneumatóforos. En recorridos hacia el interior de la comunidad de manglar, se observó que el petróleo

penetró de 0.5 a 12 metros, aproximadamente, en función de la microtopografía local.

Diversos autores han evaluado a los manglares en términos económicos y solamente desde el punto de vista pesquero; el valor económico del manglar afectado hubiera traído beneficios en el orden los \$ 300,000 pesos M.N. por kilómetro lineal de manglar (\$ 26,350 dólares americanos) hasta un millón de pesos por kilómetro cuadrado de manglar (\$95,000 dólares americanos).

Los Impactos a las Poblaciones de Aves

Toledo (1988) anota que de las 1,000 a 1,018 especies de aves que reportan para México (Peterson y Chalif, 1973), en la región de Coatzacoalcos se detectan 202; esto indica que cerca del 20 % de todas las especies de aves registradas pudieran observarse en algún momento en la región de Coatzacoalcos.

COEPA (2005) a partir de las observaciones y conteos efectuados en la cuenca baja del río Coatzacoalcos, determinó que los individuos más afectados por el derrame de hidrocarburo pertenecen a especies de la familia Pelecanidae (Pelícanos y Cormoranes) y Laridae (Gaviotas), y en menor grado de la familia Ardeidae (Garzas) y de otras familias.

En diciembre del 2004 las autoridades de PEMEX, solicitaron apoyo al Fondo Internacional para la Protección de los Animales y su Hábitat (IFAW) en las labores de rescate y rehabilitación de fauna silvestre, afectada por el derrame de petróleo. En la operación en Coatzacoalcos durante 23 días de un hospital de rehabilitación para aves y reptiles, fueron atendidos 178 animales (149 pelícanos, 7 gaviotas, 4 garzas, 1 martín pescador, 1 gavilán, 7 víboras, 8 tortugas y 1 iguana), de los cuales una vez lavados y rehabilitados se liberaron 95. Reportándose la muerte de 14 especies durante su captura y traslado, principalmente de reptiles, así como el deceso de dos pelícanos durante su rehabilitación.

LAS PESQUERÍAS DE PEQUEÑA ESCALA DE LA REGIÓN DE COATZACOALCOS

Mathew (2001), registró que las características principales que definen a los pescadores en pequeña escala son:

- La pequeña escala de sus inversiones de capital y niveles de producción.
- El término pescadores artesanales no es adecuado para describir a los pescadores que utilizan pequeñas embarcaciones de motor y artes de pesca fabricados fuera de sus comunidades locales.
- La mayoría viven en comunidades dispersas a lo largo de las costas y gran parte de sus actividades pesqueras se realizan cerca de sus comunidades de origen. Teniendo poca influencia en el desarrollo y la aplicación de las políticas de ordenación pesquera y, por consiguiente, han tenido poca capacidad para proteger las pesquerías de que dependen de la invasión de pescadores en escala mayor, así como de las amenazas extremas como la contaminación marina.
- La ocupación de pesca en pequeña escala está estrechamente vinculado con la identidad personal y cultural de los pescadores. La pesca no es sólo un medio de asegurarse la subsistencia, sino más bien un modo de vida, fundamentando importantes valo-

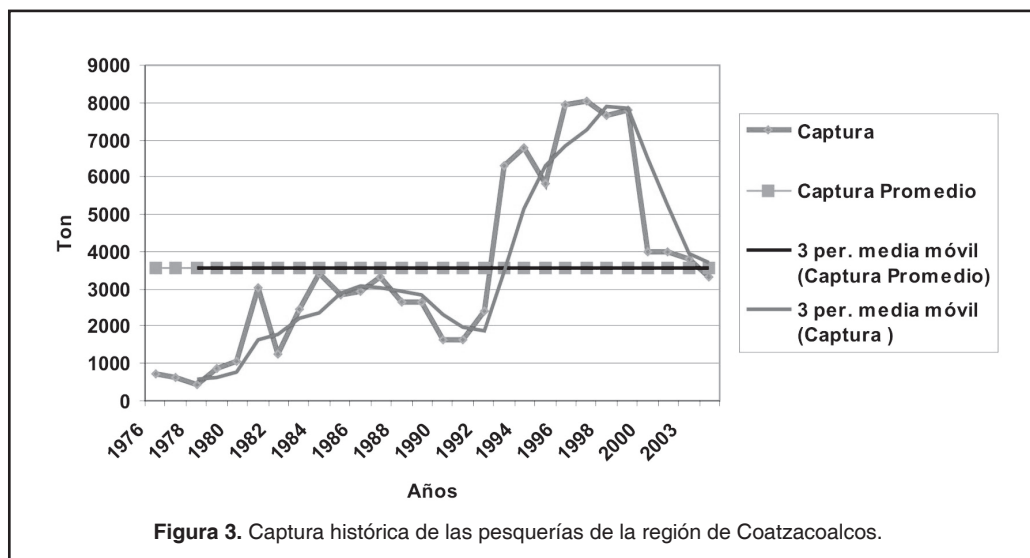
res y símbolos ocupacionales que a su vez cohesionan aspectos de identidad individual y cultural.

- La pesca en pequeña escala proporciona normalmente niveles notablemente más altos de producción y empleo. Asimismo, debido a sus niveles relativamente bajos de capitalización, los pescadores contribuyen con menos frecuencia a la sobrecapitalización, adicionalmente registran una mayor producción por unidad de consumo de energía fósil.

En el presente reporte se considera a la pesca como un sistema biotécnico-económico-social con el propósito fundamental de evaluar el impacto del derrame de petróleo del 22 de diciembre de 2004 en la cuenca baja del río Coatzacoalcos.

La serie histórica de la pesquería de la región de Coatzacoalcos en el periodo comprendido de 1976 a 2004 se exhibe en la figura 3. Los valores considerados comprenden recursos vivos de agua dulce y marinos (incluyendo crustáceos y moluscos).

La captura anual promedio para la región de Coatzacoalcos fue de 3,545.027 toneladas de peso vivo. La captura máxima se obtuvo en 1997 con 8,034.42 toneladas y la mínima en



1976 con 419.82 toneladas. Registrándose un cambio de la pesquería, originado por la transformación de la pesca de pequeña escala en aguas dulces o interiores a una de litoral de media altura en el Golfo de México.

Las pesquerías de escama de la región Coatzacoalcos se encuentran básicamente sostenida en orden de importancia por la captura de róbalo (*Centropomus spp.*), sierra (*Scomberomorus maculatus*), jurel (*Caranx hippos*), cojinuda (*Caranx crysos*), cintilla (*Trichurus lepturus*), bandera (*Bagre marinus*), trucha (*Cynoscion spp.*), tolete (*Sphyrna guachacho*), roncós (*Conodon spp.* y *Bairdiella spp.*), huachinangos (*Lutjanus campechanus*, *Lutjanus spp.*), bonito (*Euthynnus alleteratus*), esmedregal (*Seriola rivoliana*), Chivato (*Upeneus parvus*), charrito (*Trachurus lathami*), lenguados (*Syacium papillosum*), así como jai-bas (*Portunus spp.*, *Callinectes spp.*) y moluscos (*Rangia spp.*, *Melongena spp.*, *Mercenaria campechiensis*).

El Gobierno de Veracruz y la Subdelegación de Pesca en Veracruz de la SAGARPA, han implementado algunas medidas de regulación pesquera en la región de Coatzacoalcos donde sobresalen: la estricta restricción para la autorización de permisos de pesca a nuevas organizaciones, el fomento de la pesca de pequeña escala de media altura en el Golfo de México; el convencimiento a los integrantes de las organizaciones pesqueras para entregar sus permisos de pesca a cambio de apoyos económicos para realizar proyectos productivos diferentes a la pesca; y la veda establecida en el área comprendida entre la desembocadura del río Coatzacoalcos y el puente Coatzacoalcos I, debido a las actividades de navegación.

El sector pesquero de la región de Coatzacoalcos está conformado aproximadamente por 2500 pescadores organizados. El Subdelegado de Pesca en Veracruz de la SAGARPA, reconoció que se identificaron 54 organizaciones que ampararon un total de 1046 pescadores con autorización para dedicarse a esta actividad, que fueron impactados por el derrame de petróleo y que durante el periodo comprendido entre enero y abril del 2005, los volúmenes de captura han disminuido en un 34% con respecto a los registrados en 2004 (Diario del Istmo, 3 de mayo del 2005).

Durante el derrame de petróleo del 22 de diciembre del 2004, no se registraron mortandades masivas de la macrofauna en la cuenca baja del río Coatzacoalcos y el impacto sobre los pescadores en sus diferentes categorías (permisionarios, cooperativistas y libres), consistió en que paralizaron sus actividades de pesca en el Golfo de México, debido a que el petróleo derramado manchaba las embarcaciones y redes.

El mayor impacto biológico del derrame del 22 de noviembre del 2004, en la cuenca baja del río Coatzacoalcos se registró en las poblaciones de la microfauna (fito y zooplanctón, larvas, huevos) rompiéndose el circuito biológico del estuario para funcionar como área de reproducción, alimentación y protección de especies biológicas. El mayor impacto localizado se pronostica en la especie *Joturus pichardoi*, especie catadrómica, vedada su captura en el río Coatzacoalcos y que se reproduce en esta época del año.

En la cuenca baja del río Coatzacoalcos, cerca de mil quinientos hombres dedicados al oficio de pescadores fueron contratados por las empresas al servicio de PEMEX, para realizar las labores de limpieza y recuperación ambiental. La mayoría sin conocimiento alguno para realizar este tipo de trabajo y sin equipo de seguridad completo, cubriendo una jornada laboral mayor a 12 horas diarias en la limpieza de las márgenes del río Coatzacoalcos. Es importante enfatizar que los trabajadores contratados registraban edades entre los 70 y los 14 años, estos últimos conformaban el grupo de los "chaperos". Las empresas recolectoras de hidrocarburos pagaban entre 600 y 900 pesos a la semana por pescador-obrero, los "chaperos" solo cobraban la mitad del salario de los adultos. Los permisionarios (dueños de embarcaciones) proporcionaban la embarcación y al operario, cobrando dos mil quinientos pesos por día. Se observó que los trabajadores no contaban con la prestación de atención médica y en los casos de intoxicaciones y accidentes registrados estos fueron canalizados a través de la Cruz Roja por sus compañeros.

En otro escenario, se registró que alrededor de 60 embarcaciones que trabajan en transportación de mercancía o de productos derivados de petróleo estaban varadas en el puerto

de Coatzacoalcos, debido a que tenían el casco manchado de petróleo y las pérdidas diarias por no operar se calcularon en el orden de los 30 mil dólares (Reforma, 20 de enero del 2005).

Es hasta el 2 de mayo de 2005 que PEMEX realiza el pago de la indemnización a 1492 pescadores, de los cuales 806 recibieron tres salarios mínimos por 45 días, es decir seis mil trescientos dieciocho pesos y 686 que comprenden pescadores libres o de autoconsumo y trabajadores de los permisionarios, obtuvieron el pago de un salario mínimo por 45 días, lo que significa que cada uno de ellos recibió la cantidad de dos mil ciento ocho pesos.

..." Su cheque salió por la cantidad de seis mil ciento sesenta y seis pesos, sin embargo

solicitó que le permitieran leer y que le dieran una copia del documento que estaba firmando junto con el recibo, pero la gente de PEMEX Refinación se negó a ello, por lo que él se abstuvo de recibir indemnización. ..."

..." En ese papel que nos dieron a firmar, PEMEX se deslinda de toda responsabilidad futura que pudiera tener a consecuencia del derrame, incluso dice que hasta se procederá contra la persona que intente actuar contra PEMEX, yo me negué a firmar y no me dieron el cheque, pero muchos de los compañeros que no saben leer sí lo hicieron, sin pensar en las consecuencias futuras..." (Diario del Istmo, 3 de mayo del 2005).

UNA REFLEXIÓN FINAL

El análisis de la problemática ambiental de la cuenca baja del río Coatzacoalcos durante las últimas dos décadas, constituye uno de los ejemplos más palpables de los efectos de la implantación de la industria petrolera y petroquímica, en la región de Coatzacoalcos y uno de los mayores retos que afronta la sociedad mexicana actual.

Hoy, las conductas de PEMEX, de las Autoridades encargadas de vigilar y cuidar el medio ambiente de este país y del Gobierno de Veracruz sobre el derrame de hidrocarburo en la cuenca baja del río Coatzacoalcos del 22 de diciembre del 2004, nos muestra la nueva faceta del Estado Mexicano: la decisión de legitimar riesgos ambientales que, cada vez en mayor medida, no pueden percibirse en todas sus complejas dimensiones y, por lo tanto, no pueden controlarse. Los riesgos para el entorno en los que se involucra el sistema económico tienen el carácter de una acumulación de efectos imprevisibles, de transgresión de umbrales y de irreversibilidades cuya mezcla se vuelve explosiva para la toma de decisiones. Se produce así

una situación que algunos analistas sociales caracterizan como de "irresponsabilidad organizada", a partir de la cual las instituciones de las sociedades modernas, reconocen las realidades de las catástrofes ambientales y sociales que producen, negando al mismo tiempo su existencia, encubriendo los orígenes y evitando su control y la compensación a las sociedades afectadas. Sus propias consecuencias sobre el entorno y la casi imposibilidad de determinar con precisión las causas, dimensiones y actores involucrados, socavan los fundamentos mismos de los procesos de modernización que se pretenden impulsar a partir de decisiones que buscan incrementar la eficiencia productiva de la economía. En estas circunstancias se da un proceso de dilución de las responsabilidades: los más altos riesgos los producen las industrias, los capitaliza la economía, los legitima el sistema normativo y la política los vuelve inofensivos, desactivando su alto potencial explosivo de inconformidad social. Así, "los riesgos ambientales terminan por diluirse y por no ser responsabilidad de nadie... o de todos" (Toledo y Bozada, 2002).

LITERATURA CITADA

- Buchman, M.F., 1999.** NOAA Screening Quick Reference Tables. NOAA HAZMAT Report 99-1. Seattle WA, Coastal Protection and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration. 12 p.
- Budzinski, H. I. Jones, J. Belloco, C. Pierard, y P. Garrigues, 1997.** Evaluation of sediment contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Gironde estuary. *Marine Chemistry*, 58: 85-97
- Botello, A.V., y F. Páez, 1986.** La Contaminación: El Problema Crucial. Vol. I. Centro de Ecodesarrollo. México. 140p.
- Botello, A. V., S. Villanueva-Fragoso y L. Rosales-Hoz, 2004.** Distribución y contaminación de metales en el Golfo de México, p. 683-7122. *In:* M. Caso, I. Pisanty y E. Ezcurra (Eds.). Diagnóstico Ambiental del Golfo de México. Tomo I. SEMARNAT, INE, Instituto de Ecología, A. C., Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies. ESPACIOS
- Carrasco, T., 2005.** Paga Pemex a pescadores. Diario del Istmo, 3 de mayo del 2005.
- Cozzarelli, I. M., y A.L. Baehr, 2004.** Volatile fuel hydrocarbons and MTBE in the environment, p. 433-474. *In:* L.B. Sherwood (Ed.). Treatise on Geochemistry. Vol 9: Environmental Geochemistry. Elsevier L.T.D. United Kingdom.
- García, I., 2005.** Promete Pemex cubrir daños por derrame. Pemex prevé indemnización a barcos que se les restringió el derecho de zarpar debido a que sus cascos quedaron manchados de hidrocarburo. Reforma, 23 de enero de 2005.
- Gold Bouchot, G., 2004.** Hidrocarburos en el sur del Golfo de México, p. 657-682. *In:* M. Caso, I. Pisanty y E. Ezcurra (Eds.), Diagnóstico Ambiental del Golfo de México. Tomo I. SEMARNAT, INE, Instituto de Ecología, A.C., Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies.
- Gómez, G., 2005.** Se desploma 34% la producción pesquera. Liberal del Sur, 3 de mayo del 2005.
- Halffter, G.R., A. Ibarra, y A. Ochoa, 1972.** Estudio de la contaminación en el Bajo Río Coatzacoalcos. Primeros trabajos. ENCB-IPN, México.
- Herrera B.C, y J. Lastra, 2005.** Se equivocan Pemex y Profepa; el derrame traerá graves trastornos sociales: experto. La Jornada, 9 de enero de 2005.
- IMTA, 1996.** Estudio de Caracterización de la Cuenca del Coatzacoalcos. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 233 p.
- Instituto Nacional de Salud Pública, 2005.** Iniciarán estudio de impacto epidemiológico en esta zona. Diario de Xalapa, 30 de marzo del 2005.
- IPEM/ARINKA/RAPAM, 2005.** Contamination of chicken eggs near the Pajaritos Petrochemical Complex in Coatzacoalcos, Veracruz, Mexico by dioxins, PCBs and hexachlorobenzene. IPEN/ARINKA/RAPAM. 28 p.
- López Ch. G., 2005.** Con problemas de salud, 350 personas en Nanchital, a causa del derrame: Ocejo. Liberal del Sur, 20 de enero, 2005.
- Mathew, S., 2001.** Small-scale fisheries perspectives on an ecosystem-based approach to fisheries management. p. 1-17. *In:* Reykjavik Conference on Responsible Fisheries in the Marine Ecosystem, Reykjavik, Iceland, 1- 4 October, 2001.
- Morteo, E., L. A. Albert, L. M. Bozada Robles, J. Uribe-Juárez, J. López-Portillo, R. Méndez-Alonso, K. Soto, O. de los Reyes-Trejo, y C. J. Torres-Nachón. 2005.** Derrame de Petróleo del 22 de diciembre de 2004 en el Área de Nanchital –Coatzacoalcos: Informe Preliminar de la Afectación Ambiental. Consejo Estatal de Protección al Ambiente, Gobierno del Estado de Veracruz –Ignacio de la Llave. Xalapa, Veracruz, México. 127 p.
- Namihira-Santilán, P. E., 2005.** Determinación de Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos en sedimentos y organismos en el complejo lagunar del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. Tesis de Maestría. ICMYL, UNAM. En proceso
- Neilson, A. H., 2000.** Organic Chemicals. An Environmental Perspective. Lewis Publishers. Florida. 891 p.
- PEMEX, 2005.** Pemex enfrenta eficiente y oportunamente los accidentes ocurridos en Veracruz. Boletín 16.02.2005.
- Roberts, M. H. Jr., M. C. Newman, y R. C. Hale, 2002.** Overview of Ecological Risk Assessment in Coastal and Estuarine Environments. *In:* C.M. Newman, M. H. Morris, and R. C. Hale (Eds.). Coastal and Estuarine Risk Assessment. Lewis Publishers. Florida. 347 p.

Socio, H.H., PH Garrigues, y M. Ewald, 2000. Origin of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coastal and marine sediments: Case studies in Cotonou (Benin) and Aquitaine (France). *Marine Pollution Bulletin* 40(5): 387-396.

Stout, S. A., A. D. Uhler, K. J. McCarthy, y S. Embom-Mattingly, 2002. Chemical Fingerprints of Hydrocarbons, p. 137-260. *In*: B.L. Murphy, and R. D. Morrison (Eds.). *Introduction to Environmental Forensics*. Academic Press.

Stringer, R., I. Lubunska, y K. Brinden, 2001. Contaminantes organoclorados y metales pesados en el ambiente alrededor del Complejo Petroquímico Pajaritos, Coatzacoalcos, México. Nota técnica 05/2000. Laboratorios de Investigación Greenpeace, Departamento de Ciencias Biológicas. Universidad de Exeter, Exeter, Reino Unido. 19 p.

Toledo, A., y L.M. Bozada, 2002. El Delta del río Balsas. Medio ambiente, Pesquerías y Sociedad. México: INE-Colegio de Michoacán, A.C. 294 p.

Toledo, A., 1988. Energía Ambiente y Desarrollo. Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos. Vol. XV. Centro de Ecodesarrollo. México. 382 p.

Zhang, J., I., Cai, D. Yaun, y M. Chen, 2004. Distribution and sources of polynuclear aromatic hydrocarbons in Mangrove surficial sediments of Deep Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*, 49(5-6) : 479-486

**GOLFO DE MÉXICO CONTAMINACIÓN E IMPACTO AMBIENTAL:
DIAGNÓSTICO Y TENDENCIAS**

Se realizó en el Departamento de Difusión y Publicaciones
del Centro EPOMEX-Universidad Autónoma de Campeche.

Composición, diseño y proceso editorial
a cargo de Jorge Gutiérrez Lara

Se terminó de imprimir en el mes de diciembre de 2005,
en los talleres de *S y G editores SA de CV*

La edición consta de 1300 ejemplares
más sobrantes de reposición