



# Estudio prototipo de caracterización del impacto que produce el difusor de una descarga industrial sobre el medio marino

S.M. Ortiz-Gallarza, A.Gil-Zurita, R. García-Hernández, S. Vergara-Méndez y M.L. García-Leal  
*Gerencia de Control Ambiental y Sustentabilidad. Subdirección de Protección Ambiental. Instituto Mexicano del  
Petróleo. Cerecón, SA de CV. Universidad Autónoma Metropolitana.*  
Email: [sortiz@www.imp.mx](mailto:sortiz@www.imp.mx) y [smogy@hotmail.com](mailto:smogy@hotmail.com)

(recibido: marzo de 1997; aceptado: febrero de 2000)

## Resumen

Para establecer límites máximos permisibles de contaminantes descargados en el mar por vertimientos antropogénicos, las autoridades involucradas en la protección y reglamentación ambiental han fijado características particulares de descarga a cada empresa. Además de cuidar que no se excedan los niveles establecidos, debe evaluarse el efecto de estas sustancias sobre el medio. En este contexto, se realizan estudios interdisciplinarios integrales de caracterización del impacto en el medio marino a causa de las industrias. Una de ellas, la cual vierte al litoral noroeste del golfo de México mediante un difusor submarino, solicitó un primer estudio de este género. En este estudio prototipo se efectuaron estimaciones físicas, químicas, biológicas y geológicas en una red de 49 estaciones en seis transectos posicionados a bordo de una embarcación y con teodolitos desde la costa a cinco niveles (superficie, 4, 8, 12 y 16 m de profundidad) y durante lluvias, secas y nortes. Se determinaron metales pesados en agua, sedimentos, organismos y muestras combinadas de la descarga. Se realizaron mediciones continuas de corrientes, salinidad y temperatura en las boquillas del difusor a partir de registros de dos corrientímetros S4 InterOcean. Con vuelos en helicóptero se registraron las variaciones de desplazamiento de la pluma de contaminantes en diversas condiciones climáticas. Se adquirieron imágenes del satélite LANDSAT TM para obtener información de diferentes regiones del espectro electromagnético y para corroborar observaciones sobre el comportamiento de la pluma de descarga. Además de los métodos convencionales para graficación y manejo de la información, se empleó visualización tridimensional, la cual permitió interpretar patrones estacionales y de difusión. Por los excelentes resultados obtenidos con esta metodología, se presenta a la consideración de los especialistas este estudio como un prototipo para la determinación de impacto en ambientes marinos costeros.

Descriptores: evaluación de impacto, descargas industriales al mar.

## Abstract

*To establish maximum permissible limits of pollutants discharged into the sea from industrial wastewater, the authorities involved in the environmental protection and regulation had established particular characteristics for their discharges in each enterprise. In addition to taking care of the conservation of those limits, the effect of these substances on the environment needs to be evaluated. Along this line, integral multidisciplinary studies of impact characterization on the marine environment induced by the industry have been carried out. One of the industrial enterprises that discharges into the northwestern coastline of the Gulf of Mexico through a submarine diffuser, requested the execution of the first study of this kind. This prototype study included physical, chemical, biological and geological determinations in a network of 49 sampling sites along six transects positioned from a boat, and with theodolites from the coast; covering five depth levels (surface, 4, 8, 12 and 16 m) during rainy, dry and northern winds*



*seasons. Heavy metals in the water, sediments, and organisms and in combined samples of the industrial discharge were determined. Continuous measurements of marine currents, salinity and temperature in the nozzles of the diffuser were performed by means of two S4 InterOcean current meters. Helicopters flights were made to observe the displacement variations of the pollutants plume under various climatic conditions. LANDSAT TM satellite images were acquired to obtain information on diverse regions of the electromagnetic spectrum and to verify observations on the behavior of the discharge plume. Besides the conventional methods of plotting and information processing, tri-dimensional visualization was applied with the purpose of interpreting seasonal and diffusion patterns. Because of the excellent results obtained with this methodology, this study is made available to specialists as a prototype for determining the coastal marine environmental impact.*

*Keywords: environmental impact evaluation, industrial effluents discharged into the sea.*

## Introducción

En el litoral tamaulipeco, las industrias contribuyen al deterioro ambiental porque desechan aguas no tratadas; entre ellas están: Humex, Novaquim, Petrocel y PPQ. En 1988, SEDUE estimó un gasto residual de 22, 16, 98 y 69 L/s, respectivamente; la última aporta 34% de los desechos y opera desde 1960. Produce pigmento a partir de bióxido de titanio; el proceso de ácido sulfúrico se sustituyó en 1976 por el de cloruro-ilmenita. El agua proviene del río Tamesí (SARH, 1987 en: Du Pont, SA, de CV, 1988); con un gasto de 121.6 L/s proyectable a 202.7 L/s, antes se desinfecta, clarifica, filtra, suaviza y desmineraliza. El agua residual se descarga al mar en un difusor submarino de 3 km. La tasa del efluente es de 6.375 m<sup>3</sup>/min y tiene un tratamiento de sedimentación. El hierro es la especie clave a diluir, dada su abundancia (SEDUE en: Rangel, 1988).

La SARH (1979), determinó el límite de hierro de 0.3 mg/l. La descarga tiene pH de 1.0, sólidos disueltos de 145,000 ppm y hierro (26,600 ppm). Para que el agua residual mantenga el pH marino, se requiere una dilución a 2,000 X (IMASA, 1981; IDDECSA, 1982). En 1985, la construcción de la escollera norte modificó las corrientes y tuvo que aplicarse el modelo DKHPLM de la EPA, para estimar la dilución, resultando que un difusor con 80 boquillas de descarga horizontal de 1 3/8" y 6 m de separación, proporcionaría la dilución esperada.

## Antecedentes

En 1988, de una producción de 46 789 ton, 29 807 ton correspondieron a bióxido de titanio (ANIQ, 1989), que se obtiene de la ilmenita, convirtiendo de tetracloruro de titanio, por hidrólisis y resultando sulfatos, carbonatos, tetracloruros y metales pesados entre los desechos (SEDUE, 1989), por lo que se han señalado efectos nocivos de la descarga en el ambiente (Mares, 1985; Rangel, 1988).

En Pori, Finlandia la planta de dióxido de titanio Vuori-kemia, vierte hacia el Golfo de Botnia (Häkkinä, 1981). La descarga con sulfato ferroso y metales pesados disminuye el pH, la dilución depende del viento, la estratificación y las corrientes. Hay bajo pH a distancias considerables (10-12 km); con menos de 7 en un radio de 1-3 km (Lehtonen, 1976; Häkkinä, 1981). Voipio y Niemistö (1975), Lehtonen (1976) y Niemistö (1983) señalaron que el hidróxido de hierro genera un color pardo-amarillento. La turbidez por hidróxido de fierro es mayor en niveles profundos (Lehtonen, 1976; Häkkinä, 1981). Por los contenidos de titanio y vanadio en los sedimentos y los moluscos, el área afectada se extiende a 75-80 km (Häkkinä, 1980b; 1983b).

El efluente es tóxico, principalmente por la acidez, los flóculos de hidróxido férrico sofocan y obstruyen los aparatos respiratorios y digestivos e interfieren en la absorción de nutrientes (Lehtinen, 1980; 1983; Häkkinä, 1983a; Lehtinen y Klingstedt, 1983). Disminuyeron las capturas de arenque (Sandberg, 1973; Tulkki et al., 1983) y las poblaciones de fitoplancton, la productividad primaria y el zooplancton, sufrieron efectos nocivos (Knutzen, 1983). Sin embargo, Voipio y Niemistö (1975) y Westerling y Oravainen (1977) no encontraron evidencias adversas en el zooplancton. En la fauna béntica se reportó daño, principalmente en el área de liberación. En 1975-1978 el efecto fue intenso hasta 8 km<sup>2</sup> alrededor del difusor, con ausencia o baja abundancia. En 1981 hubo indicios de recuperación (Häkkinä et al., 1978; Häkkinä, 1980a; Mankki y Kosonen, 1982).

## Área de estudio

En la costa de Tamaulipas, frente a Altamira, entre los 22° 18' 36" y 22° 22' 11" Latitud Norte y los 97° 46' 33" y 97° 50' 08" Longitud Oeste (Fig. 1), el clima es cálido subhúmedo, con lluvias máximas en septiembre (228.8 mm en promedio) y mínimas en marzo (14.5 mm) (CODEPAN, 1982). Los máximos de temperatura van de junio a agosto, con promedio de 28.2° C y mínimos en febrero, con 14.2° C



(Secretaría de Marina, 1974). La precipitación es de 1 034 mm/año, marzo es el mes más seco con 5.9 mm/mes y junio el más lluvioso con 176 mm/mes. La evaporación tiene promedio de 1 617 mm/año, mínimas de 70.1 a 95.7 mm/mes en diciembre, enero y febrero y máximas de 169 a 176 mm/mes de abril a junio (García, 1973). La velocidad máxima del viento de julio a diciembre es de 18.9 km/h. La dirección predominante de la corriente de 1986 a 1990, fue Norte-Noroeste en lluvias, con velocidades de 10 a 20 cm/s (Olivares, com. pers., Dpto. de Oceanografía, Comisión Federal de Electricidad, Altamira, Tamaulipas).



**Figura 1. Localización de las estaciones de muestreo. Costa de Altamira, Tamps. Las estaciones 1-5 y 45-51 son sólo geológicas**

### Material y métodos

La red de muestreo de 5 km<sup>2</sup> tuvo distancias de 1 km entre puntos, el transecto central fue el tendido del difusor; cinco transectos perpendiculares a la costa y el sexto paralelo, con estaciones al Norte y al Sur (Fig. 1). Primero se marcaron las estaciones costeras, a partir de ellas se trazaron los transectos por triangulación con teodolitos.

En el mar se consideraron las señales, triangulando hasta a 1 km de la costa con Loran y GPS desde un barco (Fig. 2).

Las campañas fueron representativas de las condiciones de “secas”, “lluvias” y “nortes” en mayo, julio y noviembre de 1992, en dos embarcaciones con motor fuera de borda con ecosonda Furuno FG-200 y Loran LC-90-Mark II Furuno, además un buque laboratorio con GPS, empleando intercomunicadores en las maniobras.



**Figura 2. Metodología de campo aplicada en Altamira, Tamps. 1992**

Las corrientes se determinaron con mediciones eulerianas de corrientímetros InterOcean S4 en el inicio y final del último tramo del difusor, que proporcionaron velocidad y dirección de las corrientes, salinidad y temperatura.

La toma de agua fue con botellas Niskin y Van Dorn con termómetros reversibles, en escalas a 5 niveles (0, 4, 8, 12 y 16 m). La salinidad se midió en salinómetro de inducción; el pH en potenciómetro; oxígeno disuelto con Winkler modificado; nitritos con el método de Shinn; nitratos por reducción de nitratos a nitritos en columna cadmio-cobre; nitrógeno con la técnica de fenol-hipoclorito, todos descritos en Strickland y Parsons (1972); fósforo total, sólidos y metales pesados (Fe, Mn, Cr<sup>total</sup>, Cr<sup>6</sup> y Al) de acuerdo a APHA (1985).

Los pigmentos fotosintéticos y la producción orgánica primaria se tomaron a 2/5 de la lectura de Secchi, según Strickland y Parsons (1972) con cálculos de SCOR-UNESCO (1968).

La recolección de plancton fue en arrastres circulares, oblicuos. La red de fitoplancton de diámetro basal de 50 cm, manga de 1.20 de longitud y 54 micras de luz de malla. La red de zooplancton midió 50 cm X 2.0 m y 315 micras de luz de malla. Los arrastres simultáneos duraron 1 y 5 minutos, respectivamente, a dos nudos. Se refirió el volumen con flujómetros Khalsico 005 SW 130 (Smith y Richardson, 1977).



Se colectaron 500 ml de muestra de fitoplancton, fijada con formol al 4% (Hernández, 1985). Se utilizó un microscopio invertido Reichert-Jung 1820 y cámaras de sedimentación de 25 cm<sup>3</sup>. Por el método de Utermöhl (1958), con alícuotas de 1 ml y sedimentación por 24 hrs. La identificación se basó en claves especializadas; para diatomeas: Cupp (1943), Yamaji (1976) y Bastida y Stupak (1979) y dinoflagelados: Steindiger y Williams (1970) y Ferguson (1968).

El zooplancton se preservó con formaldehído al 4%, neutralizado con borato de sodio (Smith y Richardson, 1977). Se tomaron alícuotas con Fraccionador Folsom. La biomasa se evaluó en peso húmedo por volumen desplazado, los resultados se expresaron en g/L. Los organismos se determinaron bajo el microscopio estereoscópico según Fleminger (1956), González y Bowman (1965), Park (1970) y Björnberg (1981); Mayer (1910), Russell (1953), Sears (1954), Kramp (1961; 1968) y Segura (1984).

Se aplicaron índices de diversidad de Shannon-Wiener, de similitud de Sorensen, de uniformidad y la tabla de categorías de Sotomayor y Avendaño (1982) para fitoplancton (Salazar-Vallejo, 1991; Pielou, 1975, Krebs, 1978).

Los sedimentos se obtuvieron manualmente y por buceo autónomo. En análisis granulométrico fue según Ingram (1971) (Contreras y Campos, 1990). La fracción fina con Galehouse (1970) y fórmulas de Folk y Ward (1957), la materia orgánica según Walkeley y Black (1934), modificado por Jackson (1958) (García-Bazán, 1990).

Los metales pesados en sedimentos se analizaron según Chester y Voutsinou (1981). Los metales biodisponibles se determinaron por adición de estándares. La extracción de titanio se efectuó en una solución de HCl-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.5 N y la lectura por espectrofotometría de absorción atómica.

Para la evaluación del macrobentos se colectaron muestras por buceo autónomo. Con la misma técnica se recolectaron organismos para el análisis de metales pesados bioacumulados en tejido vivo. Se emplearon tamices de 0.5 y 1.0 mm de luz de malla. Las muestras se preservaron con formol al 10% neutralizado con borato de sodio. Los poliquetos se determinaron a nivel de género. Se calcularon los índices de diversidad de Shannon y de uniformidad de Pielou (Brower y Zar, 1984), así como el índice de Sorensen (Brower y Zar, 1984). La curva lognormal según Gray y Mirza (1979) y el índice trófico de la infauna (Fauchald y Jumars, 1979) con la fórmula de Ward (1979) y las categorías de Bascom et al. (1978).

Los metales pesados en organismos se analizaron de acuerdo a FAO/UNESCO (1981) y a Goldberg et al. (1983).

Semanalmente, a muestras compuestas de la descarga se les determinó salinidad, pH, sólidos y metales pesados.

Se aplicaron técnicas de procesamiento digital en imágenes LANDSAT-TM 4-5 y prospecciones en helicóptero

en los muestreos, para corroborar las condiciones en las imágenes de satélite y las mediciones (Figs. 3 y 4).



Figura 3. Participantes en el estudio y tareas Altamira, Tamps. 1992

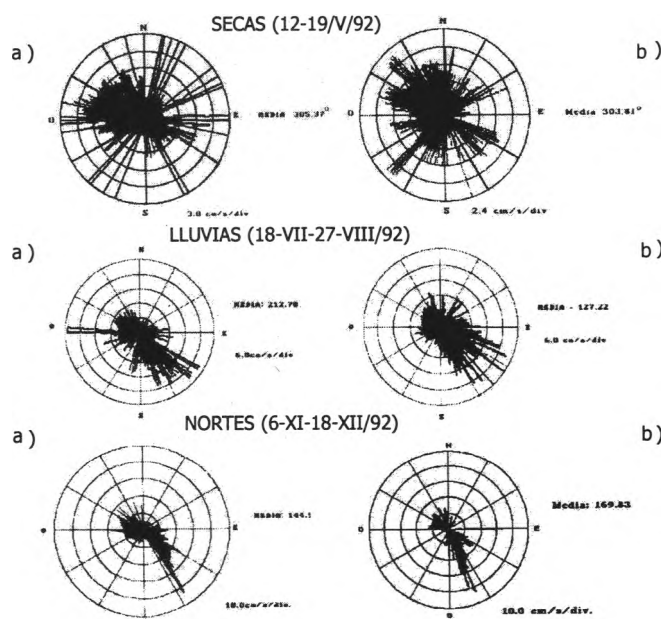


Figura 4. Dirección de las corrientes marinas por época, a) en el inicio del difusor, b) en el final del difusor. Mediciones obtenidas con dos corrientímetros S<sub>4</sub> InterOcean

Tabla 1. Resumen general de los resultados promedio de velocidad y dirección de las corrientes, salinidad y temperatura y sus variaciones al inicio (I) y final (F) del difusor, durante secas (S), lluvias(L) y nortes (N), corrientímetros S<sub>4</sub> InterOcean

Parámetro/ Valor	Época	Lugar	Vel. Med.	Vel. Max.	Dir.	S	dS	T	dT
			cm/s	cm/s	o	o/oo	o/oo	oC	oC
	S	I	4.26	12.0	306NW	35.51	0.15	22.54	0.8
	S	F	3.90	10.0	304NW	35.40	0.20	22.31	0.6
	S	I	5.65	40.0	152SE	34.73	2.00	23.52	3.5
	S	F	5.48	40.0	163SE	35.25	2.00	22.80	3.0
	S	I	4.88	18.0	175SE	34.96	1.20	22.62	5.8
	S	F	4.97	15.0	169SE	34.31	1.20	22.20	3.0
	L	I	5.75	25.0	212S	37.57	10.00	23.02	8.2
	L	F	5.37	30.0	127SE	34.95	1.20	22.64	8.0
	L	I	4.85	18.0	312NW	36.41	2.00	23.73	4.0
	L	F	4.86	10.0	290 NW	35.12	0.50	23.54	3.0
	N	I	13.93	18.0	209SW	34.38	0.25	26.82	0.2
	N	F	2.93	5.0	189S	34.30	0.20	27.00	0.3

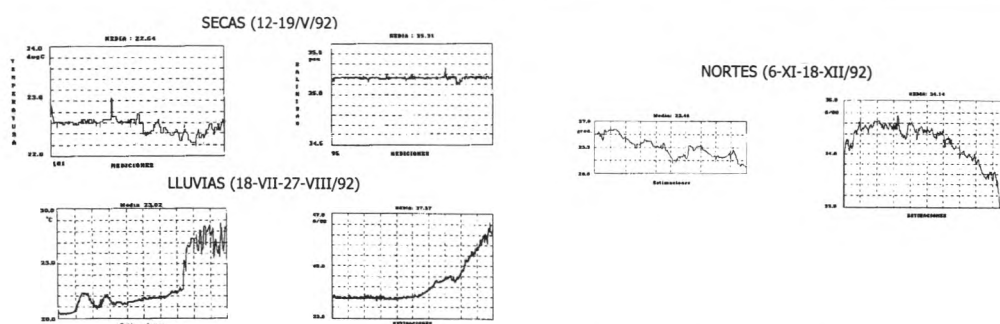


Figura 5. Variaciones de temperatura y salinidad por época. Mediciones efectuadas con dos corrientímetros S<sub>4</sub> InterOcean

La graficación tridimensional se realizó con el software Wavefront Data Visualizer (SEDEMAR, 1992a; 1992b; 1992c); la utilización de gráficas tridimensionales proporcionó la imagen simultánea de la distribución espacial a cinco niveles.

## Resultados y discusión

Las corrientes presentaron patrones bien definidos en cada período: secas (mayo), lluvias (julio) y nortes (noviembre). Las velocidades promedio no alcanzaron los 15 cm/seg requeridos para obtener la dilución del modelo de la EPA con el difusor. Las corrientes dispersan la descarga en la dirección predominante (Tabla 1).

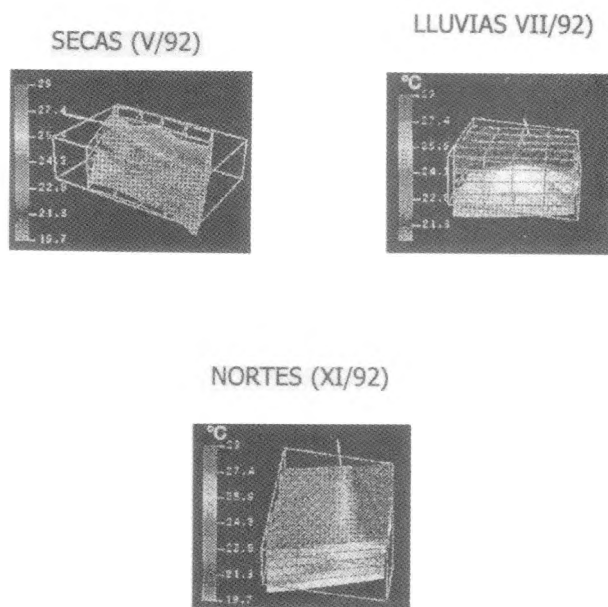
Las variaciones de temperatura fueron altas, con un incremento de hasta 8° C; la salinidad se incrementó en 1‰ (Fig. 5). Las mediciones de temperatura y salinidad de los corrientímetros, señalaron la descarga como pulsos discontinuos con variaciones drásticas en períodos

breves, de una magnitud capaz de modificar los patrones normales de salinidad de la región, abatiéndola hasta el rango de agua salobre (Fig. 5). Las fluctuaciones de temperatura fueron significativas (Fig. 5), este comportamiento es atribuible a la descarga. Con base en la salinidad, temperatura y densidad, se consideró que hay alteraciones en el área de estudio por la presencia de núcleos y variaciones amplias en períodos cortos, asociados a las descargas del difusor y de otras industrias (Figs. 6 Y 7).

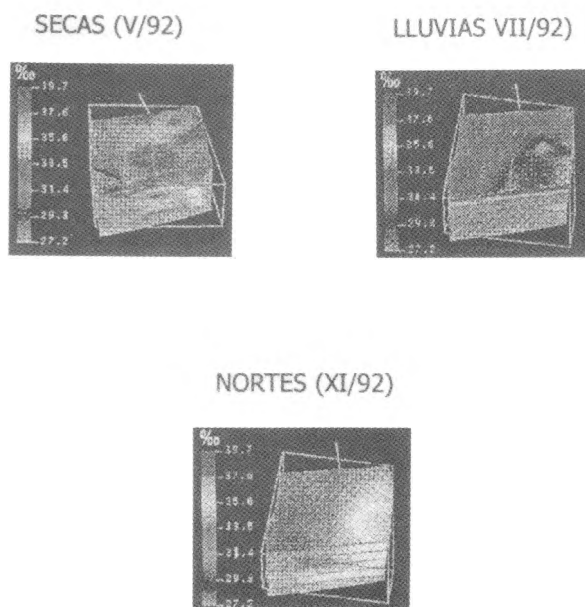
El río Pánuco influyó sobre la temperatura en lluvias y los vientos en nortes y la descarga durante las 3 épocas (Figs. 6a, 6b y 6c). Las variaciones no coinciden con las reportadas en el Golfo de México (Moulin-Ruiz, 1980a; Capurro, 1972; Nowlin, 1971; Mc Lellan, 1967; Leipper, 1954 y Parr, 1935).

La baja salinidad se adjudica a la descarga y a la influencia del río Pánuco; en áreas cercanas a las descargas fluviales en el Golfo de México se han registrado

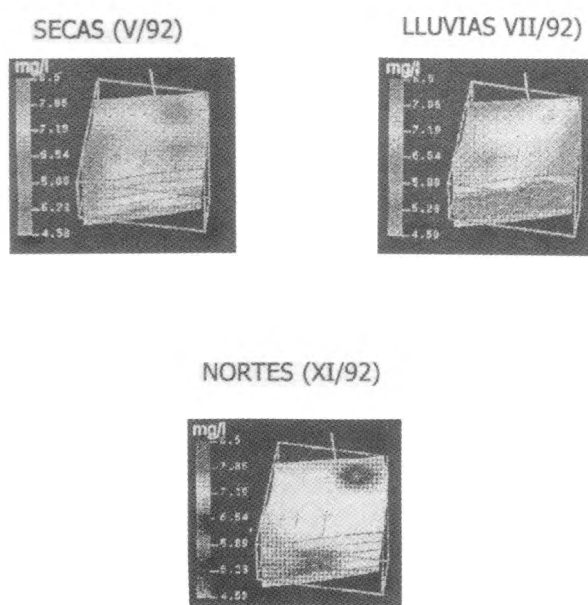




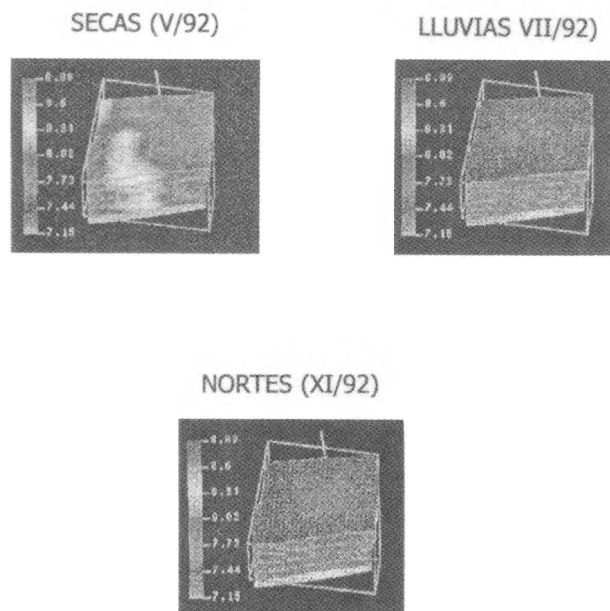
*Figura 6. Variaciones de temperatura por época Costa de Altamira, Tamps.*



*Figura 7. Variaciones de salinidad por época Costa de Altamira, Tamps.*



*Figura 8. Variaciones de oxígeno disuelto por época Costa de Altamira, Tamps.*



*Figura 9. Variaciones de pH por época Costa de Altamira, Tamps.*

salinidades hasta de 32.16‰ (Nowlin y Mc Lellan, 1967), niveles de 27.16 o 39.74 en la columna de agua, se consideran anómalos (Moulin-Ruiz, 1980a op cit.; Capurro, 1972 op cit.; Nowlin, 1971 op cit.; Mc Lellan, 1967 op cit.; Leipper, 1954 op cit.; Williams, 1954 y Parr, 1935 op cit.). Las aguas de la descarga estuvieron indicadas por los

núcleos de bajos y altos valores de densidad, principalmente en el período de secas (Ortiz-Gallarza et al., 1994).

El oxígeno disuelto mostró concentraciones altas en los tres períodos, con estratificación en lluvias (Figs. 8a, 8b y 8c). Los registros fueron ligeramente menores cerca del difusor, las concentraciones se equipararon a las normales

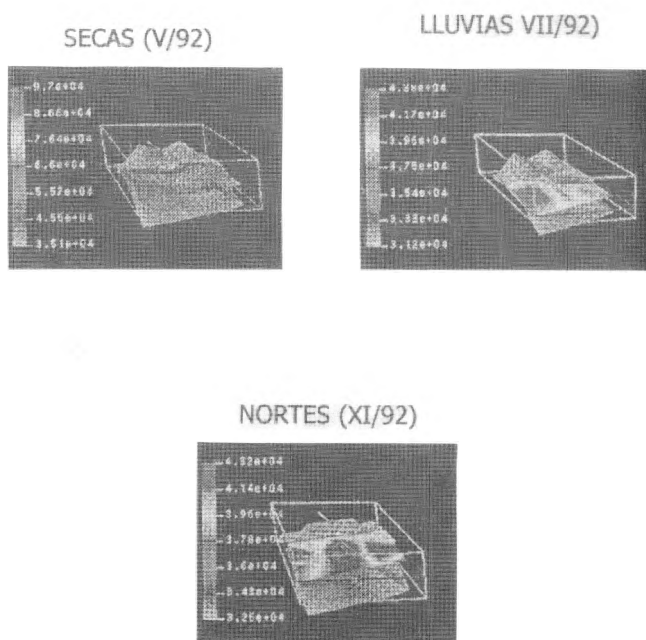


Figura 10. Sólidos totales por época (mg/l)  
Costa de Altamira, Tamps.

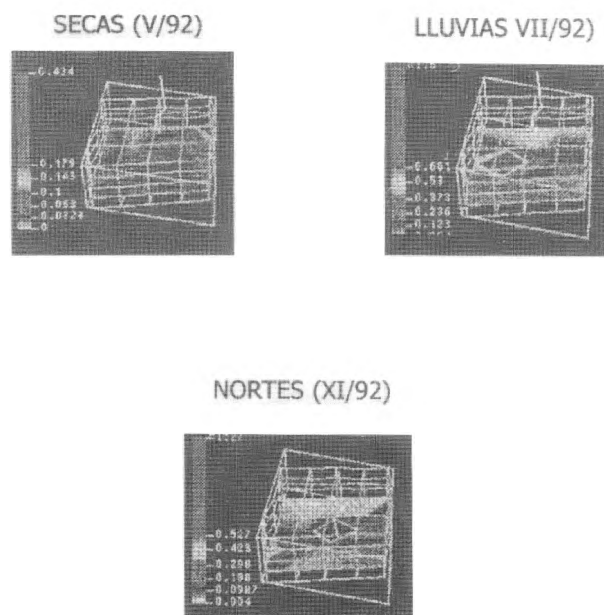


Figura 11. Variaciones de hierro en agua por época  
(mg/l) Costa de Altamira, Tamps.

(Moulin-Ruiz, 1980a op cit.; Nowlin y Mc Lellan, 1967 op cit.; Nowlin, 1971 op cit.; Williams, 1954 op cit.).

El pH presentó alteraciones derivadas de las descargas. Los valores en "secas" fluctuaron entre 6.7 y 8.9; 7.9 en promedio. El menor promedio se registró a 16m de profundidad (7.85). Durante lluvias el pH fue de 7 a 7.89 y el promedio de 7.8 (Fig. 9). En nortes, el promedio fue de 7.70 y la variación de 7.29 a 4 m de profundidad en el área del difusor, a 7.94 en la superficie. La acidez ha afectado poblaciones de peces en Escandinavia y Canadá (Schofield, 1976 y Beamish, 1974 en: Waldichuck, 1977). Se registraron niveles de pH muy bajos, principalmente en la zona más cercana a la descarga. En general, dichos valores mostraron una variación que sólo se ha registrado en lagunas costeras (Ortiz-Gallarza et al., 1991). En el Golfo de México antes de 1960 el pH fluctuó entre 8.1 y 8.28 entre superficie y 35 m de profundidad (Williams, 1954 op cit.).

Los nutrientes (N-NO<sub>2</sub>, N-NO<sub>3</sub>, N-NH<sub>4</sub>, P-PO<sub>4</sub> y P-Total) señalaron la intromisión de agua dulce del río y residual (Ortiz-Gallarza et al., 1994 op cit.), aunque se encontraron en intervalos normales (De La Lanza, 1990; Pimentel y Estrada, 1986; Moulin, 1980a op cit.; 1980b; SEDEMAR, 1980), sólo se excedieron en las descargas y en la zona influenciada por el río Pánuco; mostraron una descarga a cielo abierto al noroeste de la red, principalmente los ortofosfatos (Segar et al., 1982 en: SEDEMAR, 1990a).

En el área del difusor a profundidades asociadas a las boquillas, los sólidos resultaron más elevados, señalaron la influencia de aportes de otros efluentes y del río. Sobrepasaron entre 22.9 y 99.9 veces el límite para el giro de colorantes y pigmentos (750 mg/l). La fluctuación fue de 22,470 a 74,950 mg/l, con gradiente de disminución, mostrando influencia de las corrientes en la dispersión (Figs. 10a, 10b y 10c).

Los sólidos suspendidos presentaron niveles mayores en las inmediaciones del difusor, principalmente a 12 m, en las boquillas. Se señaló el efecto de las descargas principalmente al norte, pero las concentraciones se conservaron dentro del límite permisible.

Los sólidos incrementan la turbidez del agua; inhiben la penetración de la luz solar y la fotosíntesis; también pueden ocasionar la muerte de los peces por taponamiento de las vías respiratorias o la de los organismos bentónicos, a causa de obstrucción por acumulación en su hábitat, lo cual les produce asfixia (IMP, 1987). En áreas portuarias, donde se desarrollan actividades pesqueras, se han registrado valores del orden de 108.54 mg/l, en octubre de 1987 (SEDEMAR, 1990a). La OMS (Rodier, 1981) considera una concentración admisible de 1,500 mg/l.

La diferencia entre los sólidos totales en la columna de agua y en las muestras compuestas de la descarga, indica la influencia de otras industrias procedentes de Altamira y del río Pánuco.

Hierro, manganeso y aluminio presentaron concentraciones detectables, con mayores niveles en el área del



Tabla 2. Concentraciones de metales pesados en organismos (ug/g)

	Temporadas de 1992		
	Estiaje (mayo)	Lluvias (julio)	Nortes (noviembre)
Hierro			
Arca zebra	0	0	0
Oliva sayana	252 53	675-1116	0
Pteria colymbus	0	876	0
Polinices (N.) duplicatus	0	0	2016 13
Spondylus ictericus	0	0	953 74
Spengleria rostrata	0	0	108 06
Manganeso			
Arca zebra	31 31	0	0
Oliva sayana	0	30 4-41 4	0
Pteria colymbus	0	215 63	0
Polinices (N.) duplicatus	0	0	35 3
Spondylus ictericus	0	0	85 84
Spengleria rostrata	0	0	127 1
Aluminio			
Arca zebra	101 01	0	0
Oliva sayana	0	88 13-125 6	0
Pteria colymbus	0	424 2	0
Polinices (N.) duplicatus	0	0	152 21
Spondylus ictericus	0	0	153 51
Spengleria rostrata	0	0	475 6
Cromo			
Arca zebra	No detectable	0	
Oliva sayana	0	5 65-17 3	
Pteria colymbus	0	7 45	
Polinices (N.) duplicatus	0	0	7 05
Spondylus ictericus	0	0	7 27
Spengleria rostrata	0	0	7 82
Vanadio			
Arca zebra	No detectable	0	0
Oliva sayana	0	No detectable	0
Pteria colymbus	0	No detectable	0
Polinices (N.) duplicatus	0	0	No detectable
Spondylus ictericus	0	0	69 03
Spengleria rostrata	0	0	No detectable

difusor, al nivel de las boquillas, sobre todo el hierro (Fig. 11). El valor máximo de hierro superó 25.5 veces el permisible para protección a la vida acuática en aguas costeras. El aluminio sólo fue detectable en secas cerca del difusor.

En las muestras compuestas de la descarga (mayo-diciembre de 1992) el pH fue inferior en 3.9 unidades al permisible para la industria de colorantes y pigmentos. La salinidad promedio fue baja y sus variaciones semanales marcadas. Los

sólidos totales promedio excedieron 33.3 veces el máximo permisible para dicho giro industrial. Los sólidos suspendidos superaron 2.38 veces el valor permisible y 18.08 veces, considerando el máximo. Se determinó que: los valores semanales máximos de hierro, superaron en 1.16 veces el límite permisible (10,000 mg/l) por las autoridades ambientales. El manganeso sobrepasó 3.19 veces el valor fijado (351 mg/l) de acuerdo al máximo semanal y 1.16

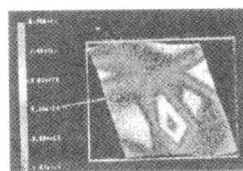


veces al promedio. El aluminio se mantuvo en promedio dentro del rango permisible (270 mg/l) y lo rebasó 1.52 veces respecto al valor máximo semanal. El cromo total en promedio se conservó dentro del valor permisible (67

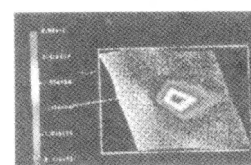
Tabla 3. Metales pesados promedio en moluscos (ug/g)

Metal	Temporada 1992			
	Mayo	Julio	Noviembre	Promedio
Hierro	252.525	889.000	1359.31	999.54
Manganeso	31.313	95.79	82.74	81.00
Aluminio	101.010	212.66	260.40	217.20
Cromo	n.d	10.12	7.38	7.50
Vanadio	n.d	n.d	23.01	9.86
Titanio	n.d	n.d	n.d	n.d

SECAS (V/92)



LLUVIAS VII/92)



NORTES (XI/92)

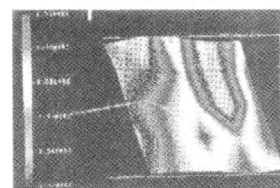
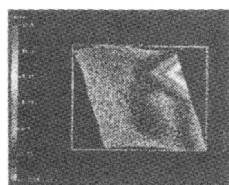
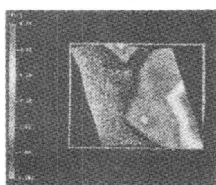


Figura 12. Variaciones de hierro en sedimentos (ppm) Costa de Altamira, Tamps.

SECAS (V/92)



LLUVIAS VII/92)



NORTES (XI/92)

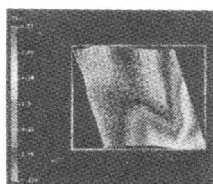
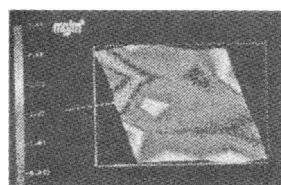
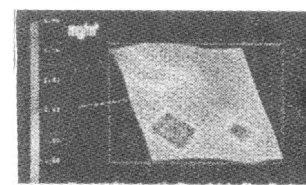


Figura 13. Variaciones del índice de fineza por época. Sedimentos de la Costa de Altamira, Tamps.

SECAS (V/92)



LLUVIAS VII/92)



NORTES (XI/92)

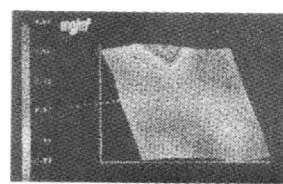


Figura 14. Clorofila a por época (mg/m<sup>3</sup>) Costa de Altamira, Tamps.

mg/l), pero su valor máximo semanal se excedió del límite 1.25 veces. El vanadio excedió el valor tolerable (44 mg/l) 7.39 veces en su valor semanal más alto y 2.54 veces en el promedio. El titanio permaneció en el intervalo aceptable.

El cromo hexavalente, en general, fue no detectable. El 76% de las concentraciones en organismos correspondió al hierro, 6% al manganeso, cerca del 17% al aluminio y menos de 1% a cromo y vanadio. Presentaron mayores concentraciones en nortes el hierro, el aluminio y el vanadio, mientras que manganeso y cromo en lluvias. El hierro y el manganeso superaron los valores registrados por diversos autores en distintas especies y localidades y los metales restantes (aluminio, cromo, vanadio y titanio), mostraron algunas concentraciones equiparables a las registradas en sitios impactados (tablas 2 y 3).

Existe contaminación por hierro (Fig. 12), manganeso, aluminio, cromo, vanadio y titanio en los sedimentos, su origen se asocia a la descarga, a la carga del río Pánuco y a otras industrias de los márgenes del río y las costas aledañas. La acumulación de cromo en los sedimentos dada su toxicidad puede catalogarse de alto potencial de riesgo.

Los factores de acumulación de metales en sedimentos con referencia a los organismos fueron mayores para hierro y manganeso, seguidos de aluminio, vanadio y cromo. El orden de los factores de acumulación de metales pesados fue: 1) sedimentos; 2) organismos y 3) columna de agua (tabla 4).

El predominio de arena y el bajo porcentaje de material orgánico, así como los grados de clasificación moderados



Tabla 4. Factores de acumulación de los metales pesados en los compartimientos agua, sedimentos y organismos

Metal	Agua-Sedimentos	Agua-Organismos	Org.-Sedimentos
Fe	331.57 x 102	97.05 x 102	0.034 x 102
Mn	61.35 x 102	21.99 x 102	0.028 x 102
Al	1,078.6 x 102	517.14 x 102	0.021 x 102
Cr	-	-	0.014 x 102
V	-	-	0.019 x 102
Ti	-	-	-

sobre los malos en las arenas, se debieron a procesos dinámicos del oleaje y a la fluctuación de mareas y corrientes, lo cual genera alta energía y ocasiona inestabilidad ambiental. Se observó alta correspondencia entre las áreas de mayor contenido de metales pesados y carbono orgánico, así como de porcentajes altos de limos y arenas finas. El índice de fineza se comportó como un indicador adecuado, que ponderó el diámetro de la partícula en la acumulación de metales pesados y de carbono orgánico en los sedimentos (Fig. 13).

Los valores más altos de pH en los sedimentos se presentaron en la línea de costa en sedimentos de mayor diámetro, caracterizados por menores concentraciones de carbono orgánico y de metales pesados y con menor influencia de las descargas.

Los pigmentos fotosintéticos, el índice de Margalef y la productividad primaria, registraron la influencia del patrón de corrientes en cada temporada y del aporte de la descarga; en el extremo final del difusor se registraron bajos valores y los feopigmentos resultaron elevados (Fig. 14). La poliquetofauna indica afectación por los vertimientos de las aguas residuales, una zona sin vida macrofaunal sobre el sitio de mayor influencia; en general, aumentó con el incremento de la distancia al difusor (Fig. 15).

Los moluscos bentónicos tan solo fueron 25 ejemplares de 6 especies distintas, se encontró alterada la composición, abundancia y distribución de la malacofauna, pero no fue posible establecer una fuente única de contaminación.

Con respecto al fitoplancton dominaron las especies de la clase Bacillariophyta en lluvias y nortes; las diatomeas centrales superaron a las pennales (Fig. 16). Las mayores densidades en células/L se presentaron en nortes. El índice de diversidad de Shannon-Wiener denota bajos valores para los tres muestreos en la descarga. El índice de similitud indica mayor similitud en lluvias y nortes y con base en las categorías de Sotomayor y Avendaño (1982) se define a las comunidades como madura en secas, inmadura en lluvias y en nortes en equilibrio entre una comunidad madura y otra inmadura ya que hay dos masas de agua claramente diferenciadas.

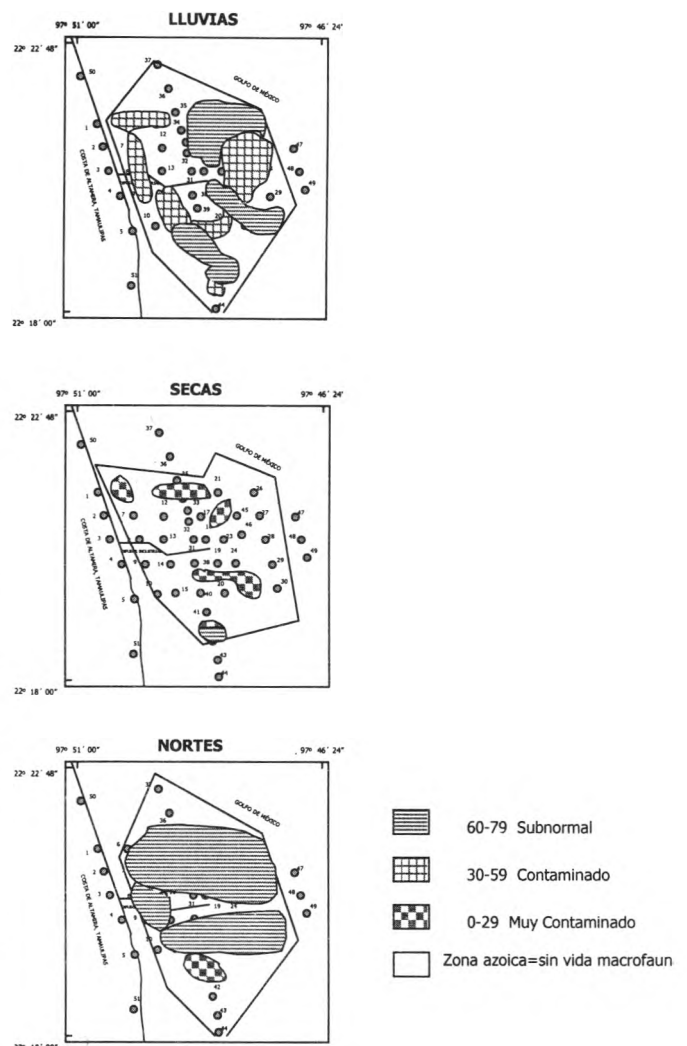


Figura 15. Índice trófico de la infauna de poliquetos. Costa de Altamira, Tamps.

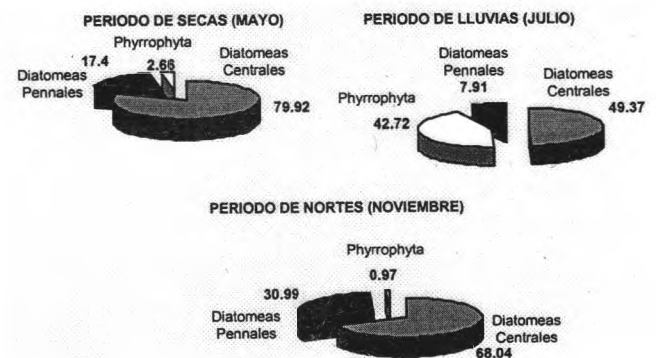


Figura 16. Abundancia relativa de los grupos fitoplanctónicos por época



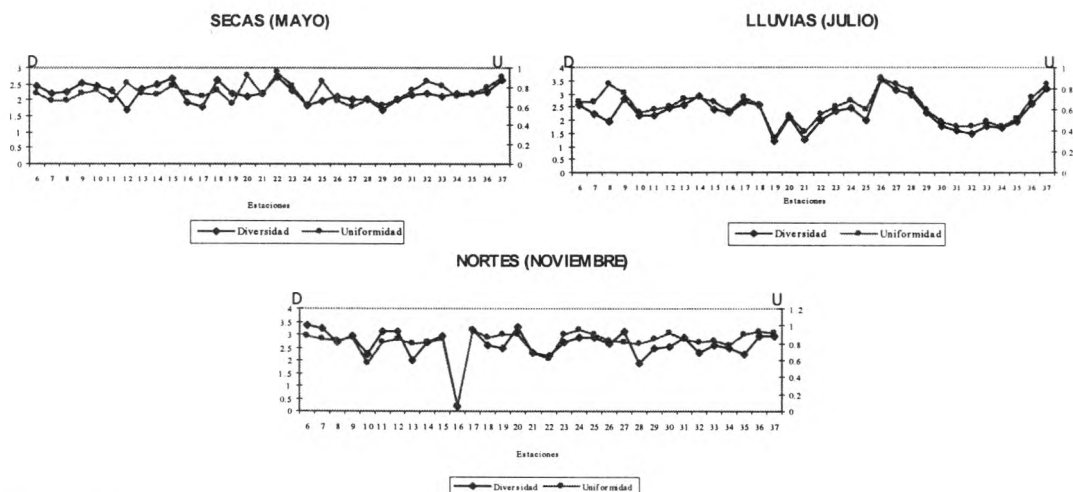


Figura 17. Índices de diversidad y uniformidad de la comunidad de zooplancton por época

El zooplancton estuvo influenciado por el patrón de circulación de corrientes estacionales. La densidad y biomasa zooplanctónica mostró un marcado decremento de secas a nortes. Las bajas densidades y biomasa zooplanctónicas en las proximidades del emisor durante las tres épocas, señalan una alteración del sistema, generada en parte por las amplias variaciones registradas en la mayoría de los parámetros. La diversidad fue baja en las tres campañas con la mayor uniformidad en secas y nortes (Fig. 17). La alta abundancia de *Euterpina acutifrons* y las altas concentraciones de nitratos en lluvias, indicaron que el sistema presenta tendencia a la eutroficación por los aportes de ese período. En cuanto a similitud, las comunidades fueron relativamente homogéneas en secas, lluvias y nortes.

Se infirió que sólo las primeras boquillas del difusor operan eficazmente y que la últimas, por pérdida de presión, son propensas a taponarse por las condiciones del ambiente marino y aunque el gasto total (202 L/s) es emitido por las boquillas que quedan en operación, las velocidades de descarga rebasan el valor máximo permisible de 5 m/s para lograr una dilución inicial adecuada, de acuerdo a los criterios expuestos de Grace (1978) y Metcalf (1979).

La mejor medida para mitigar el impacto es el establecimiento de plantas de tratamiento específico para las descargas que vierte cada industria, así como para el drenaje municipal.

Para PPQ de Du Pont, se recomienda un tren de tratamiento que comprenda precipitación química, lagunas de aireación y sedimentación (SEDUE, 1989). En la tabla 5 se incluye la eficiencia de remoción porcentual de algunos métodos. La reducción transforma cromo y mercurio a formas menos agresivas. La precipitación remueve aluminio, antimonio, arsénico, berilio, cadmio, cromo, cobalto, fierro, plomo, manganeso, mercurio, molibdeno, estaño, zinc y plata. La coagulación/floculación y la adsorción en resinas también son métodos

eficientes (SEDUE, 1989 op cit.). Además Nelson y Spangler (op cit.) demostraron la posibilidad de mineralizar y degradar microbiológicamente compuestos como fenil y metil mercurio, a productos no tóxicos. Otra alternativa más reciente sugiere el empleo de microorganismos como levaduras, para bioconcentrar los metales pesados y facilitar la eliminación y recuperación (CEPIS, 1988 en: SEDUE, 1989 op cit.).

Tabla 5. Eficiencia de remoción % de metales de importancia sanitaria mediante diversos tratamientos

Metal	Proceso de tratamiento						
	1	2	3	4	5	6	7
Sb	50	51	81	76	44	40	90
As	87	50	85	45	55	50	99
Be	83	-	-	-	71	-	50
Cd	78	99	89	98	67	74	97
Cu	87	80	93	75	42	64	63
Cr	96	92	98	52	43	64	91
Hg	53	10	75	75	57	50	99
Ni	93	96	70	73	19	40	25
Ag	90	10	67	45	17	46	-
Pb	98	50	84	98	47	81	93
Se	87	-	99	-	-	-	75
Zn	88	68	91	72	55	40	90
Tl	52	-	93	-	-	-	44
CN-	60	60	84	16	-	48	95

Procesos de tratamiento: 1 sedimentación, 2 coagulación, 3 precipitación química, 4 flotación, 5 filtración, 6 lodos activados, 7 lagunas aireadas. Fuente: Environmental Protection Agency, 1983. Handbook of Treatability. USA. (SEDUE, 1989).



### Agradecimientos

Este estudio se efectuó en la Secretaría de Marina, cuando los autores prestaban sus servicios en la Dirección General de Oceanografía Naval, institución que junto con la empresa Du Pont, SA de CV proporcionó todos los medios para llevarlo a cabo. El Centro Científico de IBM de México, bajo la dirección de la Dra. Olga Álvarez, colaboró en el procesamiento digital de las imágenes Landsat y en la visualización tridimensional. El apoyo del corporativo de Du Pont y de la Planta de Pigmentos y Productos Químicos de Altamira fue proporcionado a través de los ingenieros Raúl Muñoz Leos y Eduardo Lash. En la Secretaría de Marina el Almirante Gilberto López Lira (+ q.e.p.d.) promovió la participación de los autores desde la fase de planeación y diseño, hasta la culminación, el Ph. D. Alberto M. Vázquez de la Cerda aportó oportunos y acertados comentarios sobre los resultados obtenidos. El Centro de Datos y Servicios Oceánicos tuvo la coordinación administrativa y técnica, desarrollada por Antonio Gil Zurita y Silvia Margarita Ortíz Gallarza, respectivamente. La Estación de Investigación Oceanográfica de Tampico encabezada por René García Hernández, efectuó el trabajo de campo y los análisis de laboratorio. El personal del Centro de Datos y Servicios Oceánicos participó activamente en la integración de todos los informes. Las personas que aportaron el trabajo interdisciplinario de este estudio son muy numerosas, por esa causa no es posible enlistarlas, pero a todas ellas y a quienes proporcionaron los medios para desarrollarlo, nuestro más sincero agradecimiento. La M. en C. Eugenia Lezcano del INE y los ingenieros Héctor Garduño e Ignacio Castillo pertenecientes a la CNA recibieron la versión final del estudio completo, misma que hicieron llegar a la M. en C. Julia Carabias Lillo, quien amablemente envió a la Dirección de Oceanografía un reconocimiento especial por la calidad del trabajo logrado, de acuerdo a los lineamientos de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Finalmente, el Instituto Mexicano del Petróleo efectuó las gestiones para la publicación final del documento en esta revista, así como el hardware y el software para la elaboración de la versión final del mismo.

### Referencias

- ANIQ (1989). *Anuario Estadístico de la Industria Química en 1988*. México.
- APHA (1985). *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*. American Public Health Association. American Water Works, Pollution Control Federation. Washington.
- Bascom W., Mearns A.J. y Word J.Q. (1978). Establishing Boundaries Between Normal, Changed and Degraded Areas, en: *Annual Report 1978. Southern California Coastal Water Research Project*, pp. 81-94.
- Bastida R. y Stupak M.E. (1979). *Las diatomeas de las comunidades incrustantes del Puerto del Mar de Plata*. Anales CIDEPINT, Argentina.
- CODEPAN (1982). *Plan de ordenación de la zona conurbada de la desembocadura del Río Pánuco. Anexo Estadístico*. Comisión de Ordenación de la Desembocadura del Río Pánuco.
- Björnberg T.K. (1981). Copepoda, en: *Atlas del zooplankton del Atlántico Suboccidental*. INIDEP, D. (Boltovskoy D. ed.). pp. 587-679. Mar de Plata
- Brower J.H. y Zar J.M. (1984). *Field and Laboratory Methods for General Ecology*. Brown Publishers. USA.
- Brower J.H. y Zar J.M. (1980). *Field and Laboratory Methods for General Ecology*. W.M.C. Brown Company. USA.
- Capurro L.A. (1972). *La circulación oceánica en el Golfo de México*. Memorias del IV Congreso Nacional Oceanográfico. México.
- CEPIS (1988). *Manual de evaluación y manejo de sustancias tóxicas en aguas superficiales*. Centro Panamericano de Ingeniería Ambiental y Ciencias del Ambiente.
- Chester B.G. y Voutsinou F.G. (1981). *The Initial Assessment of Trace Metal Pollution in Coastal Sediments*. Mar. Poll. Bull. 12(3):84-91.
- Contreras B.G. y Campos J. (1990). *Manual operativo de geología marina*. Departamento de Geología Marina, Secretaría de Marina.
- Cupp E. (1943). *Marine Plankton Diatoms of the West Coast of North America*. University of California Press. USA.
- De la lanza G. (1991). *Oceanografía de mares mexicanos*. AGT. México.
- Du Pont SA de CV. (1988). Proyecto de relocalización de una estación de bombeo actual de agua cruda de la Laguna de la Puerta al Río Tamesí. Manifestación de impacto ambiental. Aviso de proposición de acción.
- FAO/UNESCO. (1981). *Manual of Methods for the Marine Environment*. FAO-UNESCO. Rome, Italy.
- Fauchald y Jumars P.A. (1979). The Diet of Worms: a Study of Polychaeta Feeding Guilds. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 16:1-190.
- Ferguson E.J. (1968). *Dinoflagellates of the Caribbean Sea and Adjacent Areas*. University of Miami. EUA.
- Fleminger A. (1956). Taxonomic and Distributional Studies on the Epipelagic Calanoid Copepods (Crustacea) of the Gulf of Mexico. Doctoral Dissertation, Harvard University. 317 pp.
- Folk R.L. y Ward W.C. (1957). Brazos River Bay, a Study in the Significance of Grain size Parameters. *Journal Sed. Pet.* 27: 3-27.



- Galehouse J.S. (1970). Sedimentation Analysis, en: *Procedures in Sedimentary Petrology*. (Carver R.E. ed.), pp.69-94. University of Georgia, USA.
- García-Bazan E. (1990). Métodos de determinación de materia orgánica, en: *Manual operativo de geología marina*. Departamento de Geología Marina, pp. 97-119. Secretaría de Marina.
- García E. (1973). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía. UNAM. México.
- Goldberg D.E., Koide M., Hodge V., Russell F.A. y Martin J.H. (1983). Mussel Watch: 1977-1978. Results on Trace Metals and Radionuclides. *Est. Coast and Shelf Sci.* 16:69-93.
- González J.G. y Bowman T.E. (1965). Planctonic Copepods from Bahía Fosforescente, Puerto Rico, and Adjacent Waters. *Proc. U.S. Nat. Mus.* 117(3,513):241-304.
- Grace R.A. (1978). *Marine Outfall Systems: Planning, Design and Construction*. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs. New Jersey. USA.
- Gray J.S. y Mirza F.B. (1979). A Possible Method for the Detection of Disturbance on Marine Benthic Communities. *Mar. Poll. Bull.*, 10:142-146.
- Häkkinen K. (1983a). Yhteenveto Porin edustalla ja Selkämerellä tehdyistä tutkimuksista, jotka saattavat valaista selkämeren ekosysteemissä tapahtuneita muutoksia. A Summary of the Investigations made off Pori and in the Bothnian Sea, which may Elucidate the Changes in the Ecosystem of the Bothnian Sea. *Meri* 12:21-83.
- Häkkinen K. (1983b). Titanium and Vanadium as Indicators of Pollution from the Titanium Dioxide Plant. *Andra svensk-finska Seminariet om Bottniska viken*, Luleå, Sweden, June 16-17, 1981. *SNV* 1618:174-178.
- Häkkinen K. (1981). Vuorikemian titaanidioksiditehtaiden jätevedet Porin edustan merialueella. The Effluents from the Vuorikemia Plant in the Sea area off Pori. *Vesihallituksen monistesarja* 1981:84:1-65.
- Häkkinen K. (1980a). Vuorikemian titaanidioksiditehtaiden jätevesien vaikutuksista Porin edustan pohjaeläimistöön. Effects of the Effluents from Vuorikemia Titanium Dioxide Plant on the Benthic Fauna off Pori. *Studies in 1978 on Benthic Fauna. Vesihallituksen monistesarja* 1980:43:1-23.
- Häkkinen K. (1980b). Pohjasedimenttien raskasmetalleista Porin edustan Merialueella. Heavy Metals in Benthic Sediment and Fauna in the Sea area off Pori. *Vesihallituksen Tiedotus* 190:1-39.
- Häkkinen K., Hiltunen P. y Mölsä. H. (1978). Vuorikemian-titaanidioksiditehtaiden jätevesien vaikutuksista Porin edustan merialueen pohjaeläimistöön. Effects on the Benthic Fauna off Pori of effluents from the Vuorikemia TiO<sub>2</sub> plant. *Studies in 1978 on Benthic Fauna. Vesihallituksen tiedotus* 144:5-100.
- Hernández B.D. (1985). Estructura del fitoplancton del Golfo de California. *Ciencias Marinas*. 11(2):23-38.
- IDDECSA (1982). Estudio del impacto ecológico del agua residual de la Planta de Pigmentos y Productos, en: *Químicos mediante bioensayos. Investigación, diseño, desarrollo, evaluación y construcción en ingeniería ambiental*, S.A.
- IMASA (1981). Estudios oceanográficos y de difusión del emisor de la Planta de PPQ en Altamira, Tamaulipas. Informe de la primera y segunda etapas, en: *Difusor de la descarga residual de Pigmentos y Productos Químicos*, SA de CV. Ingeniería del Medio Ambiente, SA.
- IMP (1987). *Memorias del curso internacional "Impacto Ambiental"*. Subdirección de Desarrollo Profesional. Instituto Mexicano del Petróleo.
- Knutzen J. (1983). A Review of the Effects on Aquatic Ecosystems of Acid Iron Waste from the Production of Titanium Dioxide by the Sulphate Process. *NIVA Rep.* 0-82012:1-72.
- Kramp P. (1968). The Hydromedusae of the Pacific and Indian Ocean. Sections I and III *Dana Rep.* 13(72):1-200.
- Krebs C.J. (1978). *Ecology. The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. Harper & Row Publishers.
- Lehtinen K.J. y Klingstedt G. (1983). X-ray Microanalysis in the Scanning Electron Microscope on Fish Gills affected by Acidic Heavy Metal Containing Industrial Effluents. *Aquat. Toxicol.* 3:93-102.
- Lehtinen K.J. (1980). Effects on Fish Exposed to Effluent from a Titanium Dioxide Industry and Tested with Rotatory-flow Technique. *Ambio*. 9:31-33.
- Lehtonen H. (1976). *Tutkimus Kemira Oy: Porin tehtaiden jätevesien kalataloudellisista Vaikutuksista sekä kalataloudellinen tarkkailu- ja hoito-suunnitelma*. An Investigation on the Effects on Fisheries of the Effluent from the Pori works of the Company Kemira Oy, and the Programme for Monitoring and Maintaining the fish Stocks. Riista ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimusosasto, tiedonantoja n:o 6/1976:1-292.
- Leipper D.F. (1954). Physical Oceanography of the Gulf of Mexico In: *Gulf of Mexico its Origin, Waters and Marine Life. Fishery Bulletin of the Fish and Wildlife Service*, Vol 55. USA.119-137.
- Mankki J. y L. Kosonen. (1982). Kemira Oy Vuorikemian tehtaast. Porin edustan pohjaeläimistö 1981. The Vuorikemia works of the company Kemira Oy. The Benthic Fauna off Pori in 1981. *Kokemäenjoen vesistön vesien-suojeluyhdistys r.y., Julkaisu n:o* 134:1-28.
- Mares L. (1985). Contaminación de plantas vasculares (*Verbesina encelioides*, *Croton punctatus* y *Palafoxia*



- rosea) con  $\text{Fe}^{+++}$  en Altamira, Tamaulipas. Tesis profesional de la escuela de Ciencias biológicas, Universidad del Noreste.
- Mayer A.G. (1910). *Medusae of the World*. Carnegie Foundation, Washington.
- Metcalf & Eddy, Inc. (1979). *Water Resources and Environmental Engineering: Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*. McGraw-Hill.
- Moulin-Ruiz J. (1980a). *Observaciones hidrológicas frente al Litoral de Tamaulipas en el Golfo de México*. Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía. México.
- Moulin-Ruiz J. (1980b). *Estudio de las aguas costeras de la ciudad de Campeche, Camp*. Dirección General de Oceanografía. Secretaría de Marina.
- Niemistö L. (1983). Selkämeren ja Mäntyluodon edustan sedimenttitutkimukset. Sediment Investigations in the Bothnian Sea and off Pori. Meri:98-110.
- Nowlin W.D. (1971). Water Masses and General Circulation of the Gulf of Mexico. *Oceanology*. Contribution No. 452, 173-178.
- Nowlin W.D. y McLellan H. J. (1967). A Characterization of the Gulf of Mexico Waters in Winter. *Journal of Marine Research*. 25:29-59.
- Ortiz-Gallarza S.M., Gil-Zurita A., García M.R., Hernández J., Segura-Gortares y Vázquez-De La Cerda A.M. (1994). Caracterización del ambiente acuático en la zona de descarga del difusor submarino de Du Pont, SA de CV, Planta Altamira. Informe Final. 162 pp. y Anexo de Figuras. Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía Naval. Estación de Investigación Oceanográfica de Tampico y Dirección Centro de Datos y Servicios Oceánicos. Centro Científico de IBM de México.
- Ortiz-Gallarza S.M., De La Lanza-Espino G. y García-Hernández M.R. (1991). Análisis hidrológico y bentónico de la Laguna Superior, Oaxaca, México. *Universidad y Ciencia*. Vol. 8. No. 16.
- Park T.S. (1970). Calanoid Copepods from the Caribbean Sea and Gulf of México. Two new Species and new Records from Plankton Samples. *Bull. Mar. Sci.* 20(2):472-546.
- Parr A. E. (1935). Report on Hydrographic Observations in the Gulf of Mexico and Adjacent Straits made during the Yale Oceanographic Expedition on the Mabel Taylor in 1932. *Bulletin of Brigham Oceanography*. Collect. 5(1).
- Pielou E.C. (1975). *Ecological Diversity*. John Wiley & Sons. New York.
- Pimentel D.L. y Estrada S. (1986). Hidrología de la Sonda de Campeche durante el mes de mayo de 1981. *Física y Química del Océano*, Vol. III, No. 3. Dirección General de Oceanografía. Secretaría de Marina. 204 pp.
- Rangel V.R. (1988). Bioensayos con aguas residuales de Du Pont, SA de CV. División Pigmentos y Productos Químicos Planta Altamira, Tamps. México, para determinar el límite de tolerancia media de la lebrancha (*Mugil curema*) Cuvier y Valenciennes. Tesis profesional de la Universidad del Noreste, Escuela de Ciencias Biológicas, Tampico, Tamps.
- Rodier J. (1981). *Análisis de las aguas, aguas naturales, aguas residuales, aguas de mar*. Ediciones Omega. Barcelona.
- Russell F. (1953). *The Medusae of the British Isles: Anthomedusae, Leptomedusae, Limnomedusae, Thachymedusae and Narcomedusae*. Cambridge Univ. Press. New York.
- Salazar-Vallejo S.I. (1991). *Contaminación marina: Métodos de evaluación biológica*. Centro de investigaciones de Quintana Roo. Fondo Pub. Ed. Gob. Quintana Roo, Chetumal.
- Sandberg I. (1973). Silakanmädin suurtoho. Extensive Destruction of the Roe of the Baltic Herring. *Suomen kalastuslehti* 80(70):187-188.
- Sears M. (1954). Hydromedusae of the Gulf of Mexico. *US. Fish and Wildlife Serv.* 55(89):273-274.
- Secretaría de Marina (1974). *Atlas oceanográfico del Golfo de México y Mar Caribe*. Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo. México.
- SEDEMAR (1992a). *Caracterización del ambiente acuático en la zona de descarga del difusor submarino de Du Pont, SA de CV, Planta Altamira*. Primer informe parcial correspondiente a la campaña de mayo de 1992. Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía Naval. Estación de Investigación Oceanográfica de Tampico y Dirección Centro de Datos y Servicios Oceánicos.
- SEDEMAR (1992b). *Caracterización del ambiente acuático en la zona de descarga del difusor submarino de Du Pont, SA de CV, Planta Altamira*. Segundo informe parcial correspondiente a la campaña de julio de 1992. Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía Naval. Estación de Investigación Oceanográfica de Tampico y Dirección Centro de Datos y Servicios Oceánicos.
- SEDEMAR (1992c). *Caracterización del ambiente acuático en la zona de descarga del difusor submarino de Du Pont, SA de CV, Planta Altamira*. Tercer informe parcial correspondiente a la campaña de noviembre de 1992. Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía Naval. Estación de Investigación Oceanográfica de Tampico y Dirección Centro de Datos y Servicios Oceánicos.
- SEDEMAR (1990a). *Estudio de calidad del agua del Puerto de Guaymas, Sonora y proximidades*. Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía Naval. DGO/DPCM/GUAY/87. 181 pp.



- SEDEMAR (1980). *Contribución al conocimiento de características fisicoquímicas de las aguas del Caribe Mexicano. Química del Océano. Dirección General de Oceanografía. Secretaría de Marina. México.*
- SEDUE (1989). *Normas técnicas ecológicas que establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales de origen industrial en cuerpos de agua. Subsecretaría de ecología/centro de investigación y de estudios avanzados del Instituto Politécnico Nacional.*
- SEDUE (1988). *Reportes parciales de resultados del análisis de las descargas de las empresas Humex, Novaquim, Petrocel y Du Pont. SEDUE. Delegación de Tamaulipas, Laboratorio Regional de Tampico.*
- Segura P.L. (1984). *Morfología, sistemática y zoogeografía de las medusas (Cnidaria: Hidrozoa y Scyphozoa) del Pacifico Tropical.*
- Smith E.P. y Richardson S.I. (1977). *Standard Techniques for Pelagic Fishes and Larvae Surveys.* FAO Tec. Pap.
- Sotomayor N.O y Avendaño H. (1982). *Análisis de la estructura fitoplanctónica en función de su similitud específica en el área de Tamaulipas, México. Secretaría de Marina. D.G.O.N, Vol. I No.1. 47-74.*
- Steidinger K.A. y Williams J. (1970). *Dinoflagellates. Vol. I. Memories of the Hourglass Cruises. Marine Research Laboratory Florida, Department of Natural Resources, St. Petersburg, Florida U.S.A.*
- Strickland J.D.H. y Parsons T.R. (1972). *A Practical Handbook of Seawater Analysis. Bull. Fish. Res. Bd. Canadá.*
- Tulkki P., Parmanne R. y Häkkinen K. (1983). *Reasons for Decline in Trawler Catches of Baltic Herring in the Bothnian Sea. Conclusions of Investigations. Meri:7-20.*
- Utermöhl H. (1958). *Zur Veroukommnung der Quantitativen Phytoplantun Metod. Milt. Inv. Limnol.*
- Voipio A. y Niemistö L. (1975). *Mäntyluodon edusta Kemira Oy:n Vuorikemian tehtaiden jätevesien vastaanottajana. The Area off Mäntyluoto as a Recipient of Effluents from the Vuorikemia Works of the Company Kemira Oy. Meri:1-45.*
- Waldichuk M. (1977). *La contaminación mundial del mar: una recapitulación. Comisión Oceanográfica Intergubernamental/UNESCO.*
- Walkeley A. y Black I.A. (1934). *An Examination of the Degthareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Cromic Acid Titration Method. Soil Science 27:29-38.*
- Westerling H. y Oravainen R. (1977). *Kemira Oy Vuorikemian tehta. Vuosiyhteenveto jätevesien purkualueen tarkkailusta vuodelta 1976. The Vuorikemia Works of the Company Kemira Oy. Annual Report of the Monitoring of the Recipient Water Area in 1976. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. Julkaisu n:o 80:1-10.*
- Williams R.H. (1954). *Distribution of Chemical Constituents of Sea Waters in the Gulf of Mexico. In: Gulf of Mexico its Origin, Waters and Marine Life. Fishery Bulletin of the Fish and Wildlife Service, Vol.55, 143-151.*
- Ward J.Q. (1979). *The Infaunal Trophic Index, en: Annual report 1978. Coastal Water Research Project. El Segundo, California.*
- Yamaji I. (1976). *Illustrations of the Marine Plankton of Japan. Hoikusha publishing. Co. LTD. 20, 1 -Chome Uchijy, Uhuji Machl, Higushi-Hachi, Osaka 540, Japan.*



---

**Semblanza de los autores**

**Silvia Margarita Ortiz-Gallarza.** Graduada en Biología en la UAM-Xochimilco, cursó los créditos de la maestría en Biología en la Facultad de Ciencias-UNAM. Cuenta con 17 años de experiencia en el desarrollo de estudios de investigación oceanográfica y ambiental. Sus áreas de incidencia son: oceanografía biológica, contaminación marina, ecología y manejo de zonas costeras, indicadores bénticos de contaminación, evaluación de impacto ambiental, entre otras. Ha efectuado procesamiento digital, interpretación y análisis de imágenes de satélite y aplicaciones de SIG en investigación ambiental. Asistencia a 19 cursos específicos, a 22 congresos nacionales e internacionales, desarrollo de 12 publicaciones nacionales e internacionales. En la UNAM ha laborado en la Facultad de Ciencias y el laboratorio de Invertebrados, asimismo, ha participado en estudios malacológicos de faunística y ecología. En el Instituto de Biología, Laboratorio de Química y Productividad Acuática-UNAM, recibió capacitación y actualización metodológica y de trabajo de campo. Ha participado en 41 cruceros y muestreos, 12 estudios y cerca de 60 informes técnicos para la Secretaría de Marina; 24 salidas de campo/muestreos, 2 estudios de ordenamiento costero para la Secretaría de Pesca. Ha participado en la elaboración de 17 informes técnicos de 1994 a 2000, en el Instituto Mexicano del Petróleo, incidiendo desde las fases de trabajo de campo, laboratorio y gabinete.

**Antonio Gil-Zurita.** Egresó de la ENEP-Iztacala, UNAM con la licenciatura en Biología. Cursó el 50 % de los créditos de la maestría en Computación en la Fundación Arturo Rosenblueth entre 1992 y 1993. Cursó la maestría en Oceanografía Física en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM en 1998-1999. Actualmente, desarrolla su tesis dentro del programa para la formación y desarrollo del factor humano del Instituto Mexicano del Petróleo. Sus áreas de especialización comprenden: oceanografía física, programación en diversos lenguajes como Cobol, Fortran, Pascal y C++, evaluación de impacto ambiental en ambientes marinos, reconocimiento de patrones, proceso digital de imágenes de satélite y sistemas de información geográfica, ordenamiento ecológico, ecología de poblaciones y comunidades zooplanctónicas, capacitación especializada para el procesamiento digital, etc. Asistencia a 36 cruceros y muestreos, 15 estudios y 50 informes técnicos para la Secretaría de Marina. Muestreos y desarrollo de un Sistema de Información Ambiental para el Instituto Mexicano del Petróleo.

**René García-Hernández.** Obtuvo su licenciatura en Oceanología en la Escuela Superior de Ciencias Marinas de Ensenada. Cursó créditos de maestría en Administración Pública en la Universidad Tecnológica de México entre 1989 y 1992. Sus áreas de especialización comprenden: oceanografía geológica, evaluación de impacto ambiental en ambientes marinos, administración, análisis de información oceanográfica y estadística, contaminación costera. Ha participado en diversos congresos nacionales e internacionales, así como en 25 cruceros y muestreos, 8 estudios y 36 informes técnicos para la Secretaría de Marina. Desarrolló estudios, salidas de campo, muestreos y estudios de impacto ambiental para numerosas empresas, entre ellas, Petróleos Mexicanos. Cuenta con más de 10 años de experiencia en el ámbito de la consultoría y gestión ambiental, efectuando tanto estudios de impacto, como evaluaciones y monitoreos periódicos, estudios de remediación y de manejo de áreas contaminadas o susceptibles a la contaminación, tanto industrial, como urbana. Actualmente, dirige una consultora dedicada a trabajos de remediación de sitios e impacto ambiental.

**Santiago Vergara-Méndez.** Egresado de la Facultad de Ingeniería, UNAM con la licenciatura en Geología. Cursó en 1998 créditos de la maestría en Geología Ambiental en la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, unidad Ticomán, IPN. Sus áreas de especialización incluyen: oceanografía geológica, manejo de zonas costeras, evaluación de impacto en ambientes marinos, reconocimiento de patrones, fotointerpretación, caracterización de sitios, proceso de imágenes de satélite y sistemas de información geográfica, elaboración de cartas y mapas relativos a modelos digitales de elevación y de profundidad, parámetros ambientales y rasgos fisiográficos. Participó en 2 estudios de ordenamiento costero para la Secretaría de Pesca. Cuenta con 6 años de experiencia laboral en la Dirección General de Oceanografía de la Secretaría de Marina, donde participó en cruceros y muestreos oceanográficos y detección de contaminación; colaboró en el área de geología en muestreos y análisis sedimentológicos. En el Instituto Mexicano del Petróleo participó durante 3 años en estudios de ordenamiento ecológico, impacto, caracterización y diagnóstico de sitios. Asistió a algunos cursos de propósito específico relacionados con riesgo geológico, ordenamiento ecológico, así como a congresos nacionales.

**María de Lourdes García-Leal.** Egresada como licenciada en Hidrobiología de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, ha laborado en la Dirección General de Oceanografía Naval de la Secretaría de Marina, en el Centro Acuícola del Departamento el Hombre y su Ambiente, que depende de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco y en las Consultoras Ambientales Ecodesarrollo y Ecoplaneación Consultores. Su participación en proyectos interinstitucionales con la Universidad Veracruzana y la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, incluye trabajo oceanográfico relativo a bacteriología, química, sedimentología y biología, a bordo del buque Onyuku en las costas de Veracruz y Tabasco. Ha trabajado en gabinete, principalmente en digitalización de costas y sitios de muestreo, cálculo de isolíneas, desarrollo de análisis gráficos y numéricos. Sus áreas de especialización comprenden oceanografía biológica, caracterización de ambientes acuáticos, manejo de zonas costeras, evaluación de impacto ambiental en ambientes acuáticos, reconocimiento de patrones, análisis, interpretación y digitalización de fotografías aéreas e imágenes de satélite, técnicas numéricas y cartográficas empleadas en estudios de ordenamiento ecológico y en la elaboración de mapas.