

## Calidad del agua en el sur del Golfo de México de 1995 a 1997 (Sonda de Campeche).

Water quality in the South of Gulf of Mexico 1995 to 1997 (Campeche Sound).

**F. Vázquez Gutiérrez, H. M. Alexander Valdés y A. Frausto Castillo.**

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. A. P. 75-305 e-mail: felipe.mar.icmyl.unam.mx

### RESUMEN

En la Sonda de Campeche, se establecieron las distribuciones espacio-temporal de los parámetros fisicoquímicos básicos, concentración de metales traza e hidrocarburos a partir de las colectas de muestras realizadas a bordo del B/O "Justo Sierra" en octubre de 1995 (SGM-1), junio de 1996 (SGM-2) y marzo de 1997 (SGM-3). Debido a la proximidad del huracán Opal, se observó una anomalía de la temperatura superficial. Los aportes costeros de Tabasco, modifican la salinidad de las áreas próximas a la zona. Los diagramas T-S, mostraron una diferencia clara entre las épocas que se desarrollaron las campañas. Los valores de pH obtenidos para las campañas, se encontraron dentro de los límites establecidos para los estudios marinos. Los resultados del O<sub>2</sub> disuelto se mantuvieron dentro de los límites señalados para el desarrollo de los organismos marinos. La concentración de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> permitió identificar dos zonas en el área de estudio, una zona en la parte E, de concentración baja y otra en la parte W de alta concentración, con una surgencia frente al plegamiento que forman las isobatas de 180 a 1800m, en Punta Zapotitlán. La concentración alta de ortofosfatos, se identificó que proviene del aporte fluvial y de la surgencia frente a Punta Zapotitlán. Una concentración alta de coliformes totales y fecales cerca de la región de plataformas, fue cuantificada. Los resultados de productividad primaria se encuentran dentro de los valores reportados para otras zonas marinas. Los hidrocarburos alifáticos y aromáticos disueltos no presentaron riesgo para los organismos de la columna de agua. Las concentraciones de metales traza en agua sedimento que se reportan no son consideradas como tóxicas debido a que se encuentran por debajo de los límites señalados en normas nacionales y respecto a las concentraciones reportadas para otras zonas marinas.

**Palabras clave:** Hidrocarburos alifáticos, Hidrocarburos aromáticos, metales traza, Sonda de Campeche, calidad de agua.

### ABSTRACT

The spatial and temporary distribution of the basic physic-chemical parameters were established in the Campeche Sound. Hydrocarbons and trace metals concentration were determined in samples collected aboard the R/V Justo Sierra during October of 1995 (SGM-1), June 1996 (SGM-2) and March 1997 (SGM-3).

The proximity of hurricane Opal during the October 1995 sampling, produced an anomaly in the superficial temperature recorded. The associated coastal runoff from also modified the salinity in The area. The T-S diagrams, showed a clear difference among the seasons in which that the campaigns were developed. The pH values obtained for the campaigns, were inside the established limits for the marine studies. The results of the dissolved O<sub>2</sub> stayed inside the signal limits for the development of the marine organisms. The concentration of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> allowed to identify two areas in the study area, an area in the E part of low concentration and another in the W part of high concentration, with to upwelling in front of the ridges that form the isobaths from 180 to 1800 m, at Punta Zapotitlán. The high concentration of orthophosphates, was identified. It is due to comes from the fluvial contribution and of the upwelling in front of Punta Zapotitlán. A high concentration of total and fecal coliforms near the region of platforms was quantified. The results of primary productivity are close the values reported for other marine areas. The dissolved aliphatic and aromatic hydrocarbons not present a risk for the organisms of the column of water. The concentrations of metals in water found are not considered as toxic since they are below the limits in national normativity and other marine areas.

**key words:** Aliphatic hydrocarbons, aromatic hydrocarbons, trace metals, Campeche Sound, water quality.

## ÁREA DE ESTUDIO

La Sonda de Campeche forma parte de la plataforma continental al oeste de la Península de Yucatán en el sur del Golfo de México (Figura 1), y ha sido ampliamente descrita en diversos trabajos de investigación (Vázquez *et al.*, 2000, PEMEX-UNAM, 1998; 1999). Como características principales tiene un área aproximada de 90,000 km<sup>2</sup> y una profundidad máxima de 200 m, clima caluroso subhúmedo con precipitación media anual de 1,100 a 2,000 mm. Los vientos predominantes muestran una dirección E-SE con velocidad máxima promedio de 8 nudos, excepto para los meses del período de «nortes» donde los vientos presentan dirección N-NW con velocidades de 50 a 72 nudos. En el área se tienen tres estaciones climáticas: de junio a septiembre la estación de lluvias; de octubre a marzo la estación de nortes y de febrero a mayo la estación de secas.

La zona de estudio para las campañas oceanográficas corresponde a la Sonda de Campeche (Figura 1), de los 18° a los 21° de latitud norte y de los 90° 30' a los 94° 30' de longitud oeste. Se realizaron tres campañas oceanográficas a bordo del B/O «Justo Sierra», el cual se encuentra administrado por la UNAM, mediante el ICMYL; los derroteros de las campañas se muestran en la figura 1a, 1b y 1c, que corresponden a las muestras colectadas en octubre de 1996 (SGM-1), junio de 1996 (SGM-2) y marzo de 1997 (SGM-3), respectivamente.

## INTRODUCCIÓN

Debido a la importancia del área de estudio, se han realizado diversos estudios marinos generales principalmente de geomorfología, geofísica, física, química, así como estudios prospectivos y cuantitativos en las comunidades biológicas existentes en la zona. Estos estudios en conjunto han contribuido a establecer el marco de referencia ambiental de la Sonda de Campeche.

El carácter hidrográfico de la zona está afectada por las corrientes litorales, la fisiografía costera, y el aporte de las aguas epicontinentales y estuarinas presentes en la zona.

El sistema hidrográfico más importante en la región son el de los ríos Grijalva y Usumacinta y el aporte de la boca del Carmen de la Laguna de Términos (Vázquez *et al.*, 2000). Una de las características ambientales de mayor relevancia en la región, es la Laguna de Términos, área de transición sedimentológica entre las provincias deltáica (al oeste) y carbonatada (al este) del Golfo de México. Las principales fuentes de sedimentos al medio marino son el sistema fluvial Grijalva-Usumacinta y la de boca del Carmen de la Laguna de Términos (Vázquez *et al.*, 2000; Gutiérrez-Estrada y Castro del Río, 1988). La distribución de sedimentos determinan la existencia de tres hábitats o subsistemas ecológicos diferentes, descritos recientemente (PEMEX-UNAM, 1998; 1999).

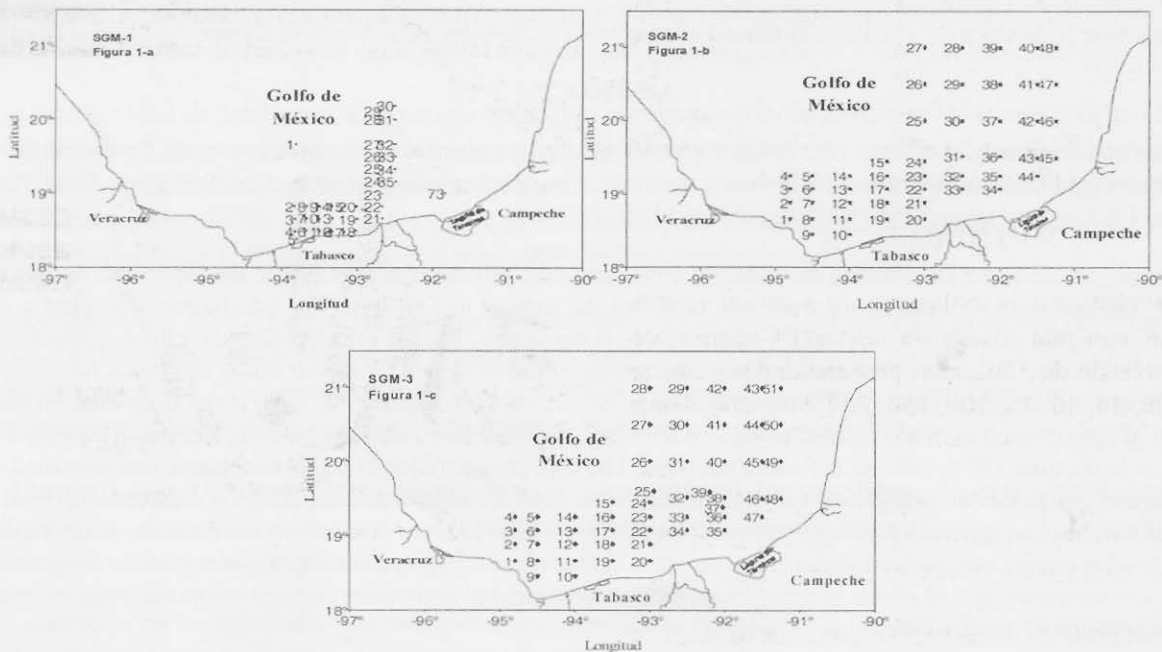


Fig 1. Área de Estudio Sonda de Campeche (Golfo de México) la numeración muestra las estaciones de muestreo.

Uno de los hábitats cercano a la zona costera tiene la influencia permanente del río Grijalva-Usumacinta y de la boca del Carmen de la Laguna de Términos, esta última origina un delta de intermareas hacia la Boca del Carmen (Gutiérrez-Estrada y Castro del Río, 1988) resultado del flujo neto en la Laguna de este a oeste (Kjerve *et al.*, 1988) determinando aguas turbias (transparencia de 7 a 42%), alta concentración de sedimentos suspendidos (25.2 mg/L) (Carranza-Edwards *et al.*, 1993), ausencia de plantas bénticas, sedimentos limoarcillosos (10-60% de  $\text{CaCO}_3$ ), alto contenido de materia orgánica (10%), pH de 7.6 a 8.3, oxígeno disuelto < 4 mL/L, salinidad superficial de 32.2 a 37 UPS, temperatura superficial de 22.8 a 27.7°C y temperatura de fondo de 23.3 a 28°C. El segundo hábitat es un área marina somera al oeste de Yucatán con aguas claras (transparencia de 50 a 99%), macroalgas y sedimentos arenosos (70-90% de  $\text{CaCO}_3$ ), bajo contenido de materia orgánica ( $\pm 10\%$ ), pH de 7.7 a 8.9, oxígeno disuelto > 4 mL/L, salinidad superficial y de fondo de 35.7 a 37.2 UPS, temperatura superficial de 26.1 a 28.8°C y temperatura de fondo de 24.2 a 28.1°C. El tercer hábitat es la zona marina profunda con sedimentos limoarcillosos, pH superficiales de 8.1, salinidad superficial de 35.1 a 36.5 y temperaturas superficiales de 25.6 a 29.5°C. Existe un intercambio de materia y energía a través de procesos fisicoquímicos, biológicos y ecológicos como lo señalan Gutiérrez Estrada y Castro del Río (1988), Kjerve *et al.* (1988), Lizárraga-Partida y Bianchi (1988), Soberón-Chávez *et al.* (1988), Vázquez-Gutiérrez *et al.* (1988), Yáñez-Arancibia y Sánchez-Gil, (1988a), Yáñez-Arancibia y Sánchez-Gil, (1988b), Carranza Edwards *et al.* (1993), Vázquez *et al.* (2000).

### METODOLOGÍA

Las muestras en la columna de agua fueron colectadas con una rosetta de General Oceanic con botellas Niskin de 3.5L, a las profundidades estándar (5, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 500, 800, 1000, 2000 m; Grashoff *et al.*, 1983).

Las muestras microbiológicas en la columna de agua se colectaron con bolsas plásticas Niskin a una profundidad de 10 m y se analizaron a bordo.

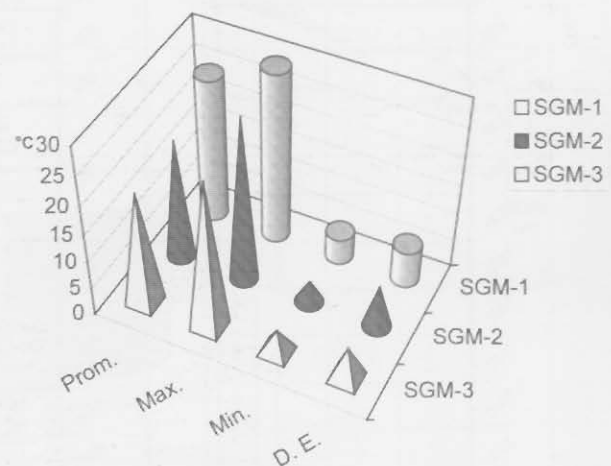
La temperatura, conductividad, salinidad y profundidad, se midieron en cada estación con un perfilador CTD, Neil Brown MARK IV, el cual permite

tomar datos cada segundo. El oxígeno disuelto se determinó por el método de Winkler modificado por Carrit y Carpenter (1966; Grashoff, *et al.*, 1983). Los resultados obtenidos en las campañas SGM-1, SGM-2 y SGM-3, fueron analizados y determinados en base en la norma internacional de los estudios marinos (UNESCO, 1983; Millero, 1996) y fueron las siguientes: temperatura (°C), salinidad (UPS, unidades prácticas de salinidad), pH, nutrientes ( $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\mu\text{mol/kg}$ ); oxígeno disuelto ( $\mu\text{mol/L}$ ), porcentaje de saturación de oxígeno (%SATO<sub>2</sub>), utilización aparente de oxígeno (UAO), clorofilas ( $\text{mg/m}^3$ ), coliformes totales y fecales (NMP), metales traza en agua (ppb o  $\mu\text{g/kg}$ ), hidrocarburos en agua (ppb o  $\text{mg/kg}$ ).

### RESULTADOS

#### Temperatura

Los resultados de la temperatura de las campañas oceanográficas SGM-1, 2 y 3, permiten observar una clara diferencia de la profundidad a la cual se alcanza la termoclina durante las diversas épocas climáticas que se trabajó (época de nortes y época de secas-lluvias) (Figura 2). También, se observó la influencia de los aportes fluviales provenientes de la zona costera de Tabasco, principalmente a las profundidades de 5 y 50 m, los cuales provocan una disminución drástica de la temperatura en la zona costera de Tabasco. Durante la campaña SGM-1, debido a la proximidad del huracán Opal, se observó una anomalía de la



**Figura 2.** Valores estadísticos de la temperatura (D.E. Se refiere a la desviación estándar)

temperatura superficial ( $29.85 - 27.67^{\circ}\text{C}$ ), presentándose valores altos, los cuales no corresponden a los reportados para la época (Leipper, 1970).

La termoclina durante la campaña SGM-3, se encontró más profunda (100 m) respecto a las otras campañas. Durante la campaña SGM-2, la termoclina fue la más somera (entre los 10 m y 30 m). Para las campañas oceanográficas SGM-1, 2 y 3, se presentaron isoterms de  $21.30^{\circ}\text{C}$ ,  $23.00^{\circ}$  y  $25.00^{\circ}\text{C}$ , respectivamente, con una distribución similar al contorno de la isóbata de los 200 m, dividiendo dos zonas de influencia a nivel superficial,

la oceánica y la nerítica, las cuales al chocar provocan la formación de núcleos discretos de baja temperatura, que se observan, principalmente en la parte central del área de estudio (Villalobos y Zamora, 1977).

Frente a Punta Zapotitlán, se observó para las campañas SGM-2 y 3 un núcleo de agua con temperaturas bajas, debido al plegamiento de las isobatas de 180 a 1800 m (Bouma y Bryant, 1971). La isoterma de los  $17.80^{\circ}\text{C}$  prevalece a esta profundidad. A los 500 m (Figura 3). El núcleo frente a Punta Zapotitlán se ha intensificado, y se ha formado un núcleo extenso en la parte central de la zona de estudio. A los 1000 m de profundidad, el núcleo frente a Punta Zapotitlán, permanece y un segundo núcleo se

ha formado hacia la zona E, del área de estudio (Figura 5). La posible presencia de un giro anticiclónico, durante la campaña SGM-3, a los 100 m de profundidad quedó establecida, el cual probablemente provenga de la capa de agua profunda (Nowlin, 1972).

### Salinidad

Se observó con claridad, el aporte fluvial en la zona costera de Tabasco a las profundidades de 5 y 50 m, lo cual dio como resultado una disminución de la salinidad, principalmente para la campaña SGM-1. Los datos de la salinidad mostraron un valor máximo de 36.870 UPS y un mínimo de 29.900 UPS, el valor medio de salinidad para esta campaña fue de 35.625 UPS (Tabla 1). El valor mínimo está asociado con la influencia de los ríos que desembocan en la costa de Tabasco (PEMEX, 1991; Vázquez *et al.*, 1994). El valor máximo de salinidad se aproxima a los valores reportados durante las campañas oceanográficas YUM III (septiembre/1988) de 37.029 UPS, y YUM IV (octubre-noviembre/1988) de 36.604 UPS (Inst. Mexicano del Petróleo, 1995).

En la Campaña oceanográfica SGM-2 los resultados de la salinidad mostraron un valor máximo de 37.180 UPS y un mínimo de 31.800 UPS, el valor medio de salinidad para esta campaña

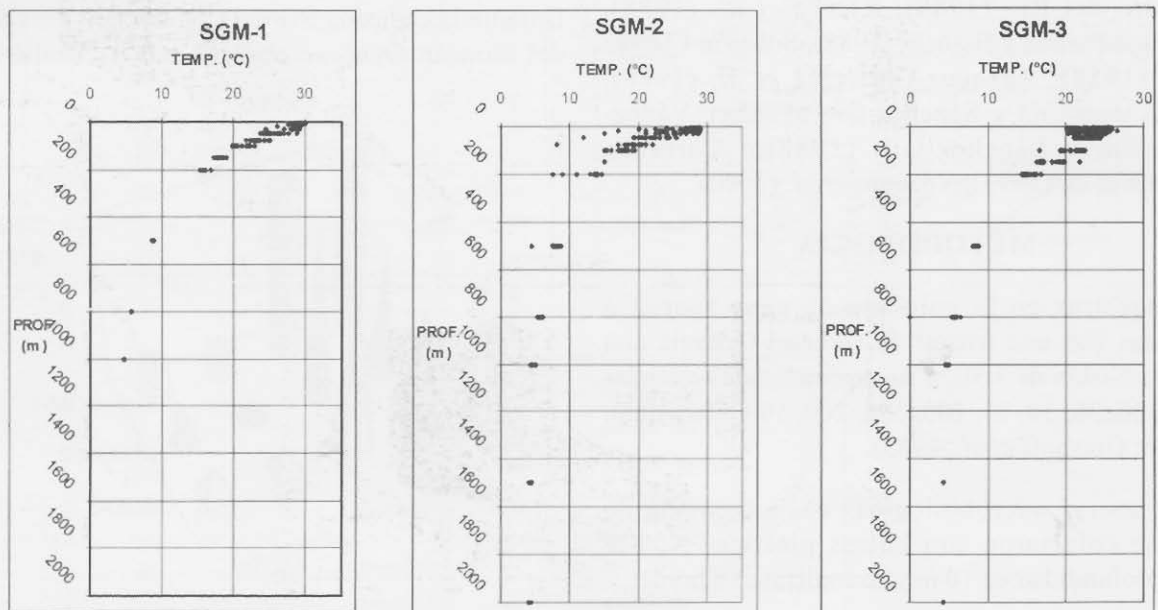


Figura 3. Variación vertical de la temperatura



ELEMENTO	NOM- ECOL- 001-1997	COSTAS DE LOS E.U.A. (SUPERFICIE)	EUR OPA*	"BUCCANEE R FIELD" COSTAS DE TEXAS
Ag	2	—	—	0.028 - 119
Al	200	—	—	—
As	40	—	25	0.32
Ba	500	—	—	6.4 - 3500
Cd	0.9	—	—	0.057 - 32
Cu	3	0.26	5	0.85 - 120
Cr	50 (Cr VI)	—	15	0.83 - 260
Co	—	0.015 - 0.089	—	—
Fe	50	0.003 - 335	—	260 - 2900
Hg	0.02	—	—	0.16 - 0.4
Mn	—	0.004 - 1.153	—	0.04 - 4.3
Ni	8	—	30	0.35 - 1200
Pb	6	—	25	0.78 - 760
V	—	—	—	—
Zn	90	0.001 - 0.157	40	15 - 610

**Tabla 1.** Estadística básica de valores de salinidad (UPS), para la Sonda de Campeche

fue de 35.847 UPS. Nuevamente, el valor mínimo fue debido a la influencia de los ríos que desembocan en la costa de Tabasco (PEMEX, 1991; Vázquez *et al.*, 1994). Para las campañas SGM 2 y 3 (Figura 4), se observó un gradiente de salinidad positivo hacia la parte E de la zona costera y en la laguna de Términos, motivado por las bajas profundidades y la alta evaporación.

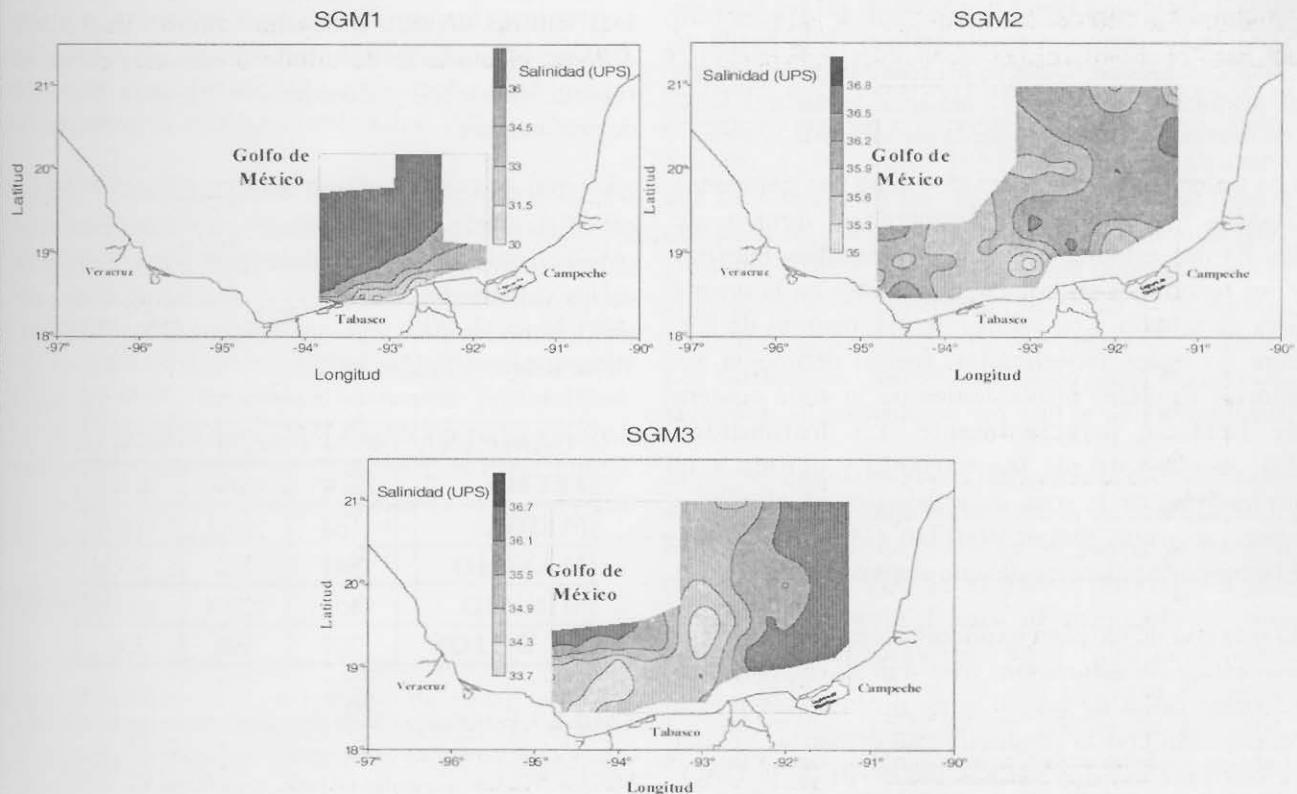
Los cambios horizontales de 5 y 50 m de profundidad, para la campaña SGM-3, muestran una división de dos zonas, que concuerdan con la isóbata de los 200 m y coincide con la presencia de la fractura Xicalango.

El valor mínimo es resultado de la influencia de los ríos que desembocan en la zona de Sánchez Magallanes y al río Grijalva (PEMEX, 1991; Vázquez *et al.*, 1994). El valor mínimo de salinidad, fue diferente al valor reportado durante las campañas oceanográficas OGMEX I (marzo/1987) de 34.202 UPS, CHAPO III (35.104; marzo/1984) y YUM I (enero/1988; 24.932 UPS).

Se presentaron núcleos de alta concentración frente a las costas de Punta Zapotitlán debido al plegamiento de las isobatas de 180 a 1800 m. No se observó la formación de giros anticlónicos y ciclónicos, como con la temperatura.

**pH.**

Los datos de este parámetro mostraron un valor máximo de 8.368 (SGM-1) y un mínimo de 6.090 (SGM-2), el valor medio de pH para estas campañas (Tabla 2) fue de 8.17 (SGM-3). El valor mínimo de pH, se aproxima al valor reportado durante las campañas: YUM III (sep/1988) de 7.75 y YUM IV (octubre-noviembre/1988) de 7.70 y es menor con respecto al reportado



**Figura 4.** Distribución horizontal de la salinidad en el área de estudio a 5m de profundidad para las Campañas Oceanográficas SGM-1, SGM-2 y SGM-3.

para la campaña oceanográfica ECOESMAR II (septiembre/1988) de 8.350. El valor mínimo de pH, es menor al valor reportado en la campaña oceanográfica OGMEX II (julio/1987) de 7.600 y al reportado para la campaña YUM II (abril-mayo/1988) de 7.50. El valor máximo es menor al reportado para las campañas YUM III de 8.50; YUM IV de 9.25 y ECOESMAR II de 8.700. El máximo de pH en las aguas superficiales, está relacionado con el proceso de la fotosíntesis (Millero, 1996) y está acorde con el valor promedio reportado para aguas marinas ( $8.2 \pm 0.1$ ; Millero, 1996); los valores más bajos obtenidos en superficie, están relacionados con los aportes fluviales, provenientes de las costas de Tabasco.

CAMPAÑA	SGM 1	SGM 2	SGM 3
FECHA	IX/95	VI/96	III/97
MEDIA	35.625	35.847	35.642
MÁXIMO	36.87	37.18	36.88
MÍNIMO	29.9	31.8	33.77
No. DATOS	207	306	344

**Tabla 2.** Estadística básica de valores de pH (en la escala NBS) de las campañas oceanográficas en la Sonda de Campeche, México. \*Datos de pH convertidos de la escala de pH total ( $\text{pH}_T = -\log [\text{H}^+]_T$ ) del agua de mar a la NBS, con base en la ecuación propuesta por Millero F. J., 1996.

Los valores de pH, obtenidos para las campañas SGM-1, 2 y 3, se encontraron dentro de los límites establecidos para los estudios marinos y los reportados en cruceros anteriores en la misma área de estudio. Los valores de pH menores de 8.2, para las aguas superficiales, fueron debidos a los aportes fluviales provenientes de la zona costera de Tabasco, principalmente. La profundidad del mínimo de pH fue variable y debido a la profundidad de la zona de estudio, no se alcanzó a observar con mayor claridad (Millero, 1996). El mínimo de pH, coincidió con el máximo de oxígeno.

El máximo de oxígeno expresado como mmol/L y el porcentaje de saturación, para ambas campañas se encontró cerca de los 50 m de profundidad y está relacionado con la productividad primaria, lo cual se confirma con los valores negativos de la UAO. Inmediatamente después, el  $\text{O}_2$  disminuye hasta una profundidad de aproximadamente 500 m, alcanzando valores menores a las 150 mmol/L,

y posteriormente se incrementa a concentraciones mayores de 200 mmol/L (Figura 5).

### Oxígeno Disuelto, % de Saturación de Oxígeno y Utilización Aparente de Oxígeno.

Los datos de este parámetro (ver Tabla 3) mostraron un valor máximo de 263.4 mmol/L (SGM-3) y un mínimo de 105.9 mmol/L (SGM-3), el valor medio fue de 188.0 mmol/L (SGM-1). El valor mínimo del oxígeno disuelto, es menor al valor reportado durante la campaña YUM IV (octubre-noviembre/1988) de 196.3 mmol/L y al YUM III (septiembre/1988) de 232.0 mmol/L. El valor máximo, es menor al reportado para las campañas YUM IV de 472.9 y YUM III (Inst. Mexicano del Petróleo, 1995) de 343.5 mmol/L, se aproximan a los datos reportados por Villalobos y Zamora (1975), para las mismas épocas. Se observó un gradiente positivo de concentración de la costa a la zona central, en Punta Zapotitlán de la campaña SGM-2

La proximidad del huracán Opal, no presentó una fuerte influencia sobre la concentración del oxígeno disuelto, para la campaña SGM-1. Los valores de este parámetro fueron más altos durante el otoño que durante el verano, como lo reporta Villalobos y Zamora (1975), para los 5 m de profundidad.

La Utilización Aparente del Oxígeno (UAO), es utilizada para reconocer que cantidad del oxígeno calculado teóricamente  $[\text{O}_2]^*$  puede desviarse de los valores medidos  $[\text{O}_2]_{\text{medido}}$  por la inyección de aire, efectos térmicos y la presión atmosférica (Millero, 1996; Riley y Chester, 1971).

CAMPAÑA	SGM 1	SGM 2	SGM 3
FECHA	IX/95	VI/96	III/97
MEDIA	188	227.1	189.9
MÁXIMO	247	312	263.4
MÍNIMO	115.5	129.4	105.9
No. DATOS	207	306	336

**TABLA 3.** Estadística básica de valores de oxígeno disuelto ( $\mu\text{mol/L}$ ) de campañas oceanográficas, Sonda de Campeche, México. \*Datos originales en ppm, transformados a mmol/L en base al trabajo de Benson y Krause (1984). Solubilidad del  $\text{O}_2 = 210.8 \text{ mmol/L}$  (4.7 ppm), a  $S=35$ ,  $P=1 \text{ atm}$  y 100% de humedad.

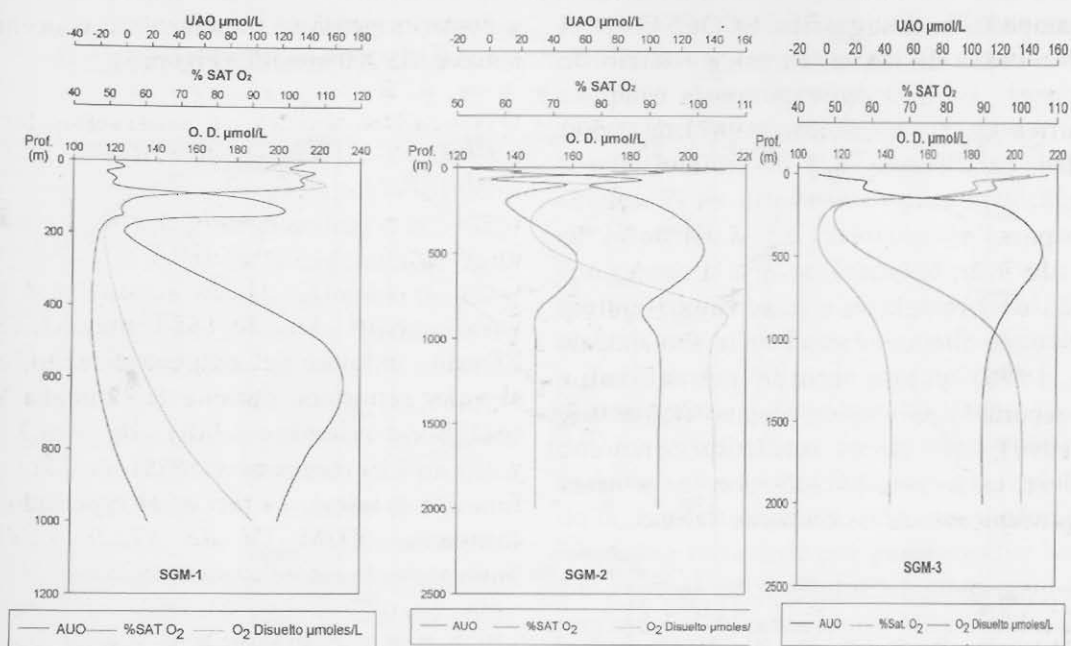


FIGURA 5. Grafica de Oxígeno Disuelto, % de Saturación de Oxígeno y Utilización Aparente de Oxígeno.

Las aguas superficiales de los océanos están supersaturadas en un 3%. En áreas de surgencia la concentración de  $\text{O}_2$  puede ser un 20% menor a la de saturación, lo cual se observa con los valores positivos de UAO (Figura 5); mientras que valores negativos señalan un exceso de oxígeno disuelto debido a factores biológicos principalmente (Millero, 1996; Riley, 1989).

El máximo de oxígeno expresado como  $\text{mmol/L}$  y el porcentaje de saturación, para ambas campañas se encontró cerca de los 50 m de profundidad y está relacionado con la productividad primaria, lo cual se confirma con los valores negativos de la UAO. Inmediatamente después, el  $\text{O}_2$  disminuye hasta una profundidad de aproximadamente 500 m, alcanzando valores menores a las 150  $\text{mmol/L}$ , y posteriormente se incrementa a concentraciones mayores de 200  $\text{mmol/L}$  (Figura 5).

### Nitratos

Los Nitratos mostraron un valor máximo de 35.9  $\text{mmol/L}$  (SGM-2) y un mínimo de  $<0.01$   $\text{mmol/L}$  en los tres cruceros. Los valores más bajos de Nitrato se presentaron en el SGM-3 con un máximo de 19.24  $\mu\text{mol/L}$ . El cambio vertical de este parámetro presentó un intervalo entre 7.905 y 8.368  $\mu\text{mol/L}$ , 7.709 y 8.277  $\mu\text{mol/L}$ , 7.710 y 8.217  $\mu\text{mol/L}$ ,

respectivamente. Se observó una disminución de los nitratos con respecto a la profundidad, para las campañas la Figura 6 muestra los valores bajos a nivel superficial, después se observa un incremento de los nitratos aproximadamente a partir de los 50 m de profundidad, el cual es debido a la remineralización de la materia orgánica, por los microorganismos (Millero, 1996; Stumm y Morgan, 1995). La concentración alta de nitratos en las aguas profundas se debe a que éstas se vuelven viejas y acumulan más  $\text{NO}_3^-$  (Millero, 1996). Asimismo, las concentraciones altas de  $\text{NO}_3^-$  en superficie se deben a los aportes fluviales, provenientes de las costas de Tabasco. Las variaciones fueron amplias en todos los niveles, la menor se presentó a los 100 m de profundidad.

Se identificaron dos zonas respecto a la concentración de nitratos. Una zona en la parte E, de concentración baja y la segunda zona en la parte W de alta concentración, debida al aporte fluvial y a una posible surgencia frente al plegamiento que forman las isobatas de 180 a 1800 m (Bouma et al., 1971). Se observó con claridad el aporte fluvial proveniente de las costas de Tabasco, el cual tiene un papel importante para la calidad del agua de esta zona. Este efecto se detectó principalmente durante la campaña SGM-2, en la cual se obtuvieron valores altos de nitratos.

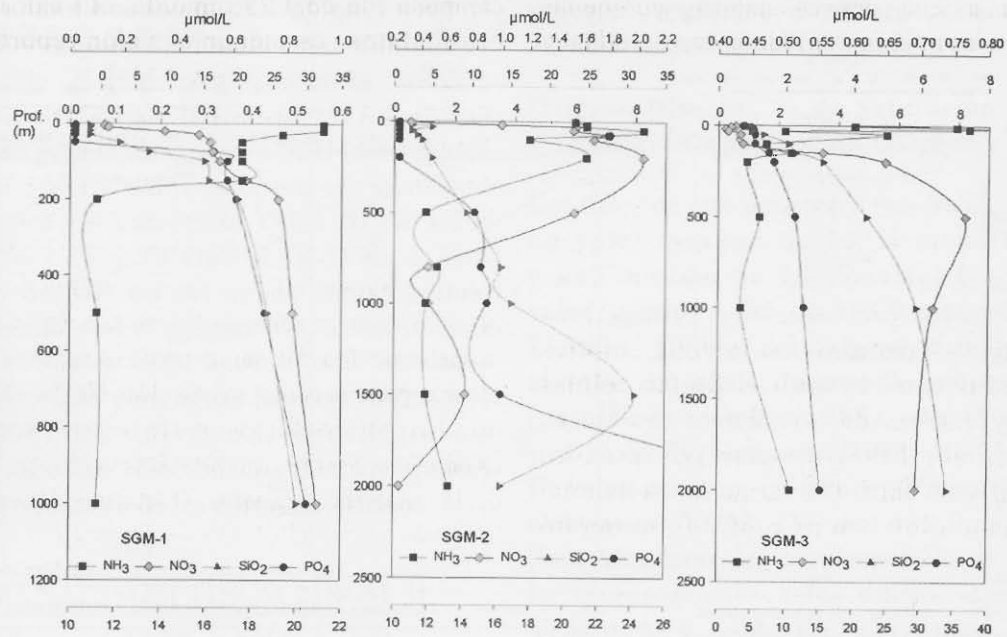


Figura 6. Grafica de nitrato, amonio, fosfatos y silicatos contra la profundidad de las campañas SGM-1, 2 y 3.

En un perfil de nitratos en función de la profundidad, se observó que el máximo de nitratos corresponde al mínimo de oxígeno y a la profundidad a la cual se presenta la termoclina, éstos cambios fueron observados para las estaciones 31 y 29 de las campañas SGM 1 y 2, respectivamente (las cuales se tomaron como base, debido a que fueron de las más profundas). En la parte superficial, cercana a plataformas se observó un posible giro ciclónico, el cual ha sido descrito con detalle anteriormente (Moulin, 1980; Cochrane, 1972).

### Nitritos

Las concentraciones de nitritos mostraron un valor máximo de 8.20 mmol/L (SGM-2) y un mínimo de  $<0.01$  mmol/L; en las tres campañas. Los datos de este parámetro mostraron un valor máximo de 1.13 mmol/L en el SGM-3 al igual que en la concentración de nitratos fueron más bajas.

La disminución de este parámetro es debido principalmente a la oxidación del amonio hasta nitrito y enseguida a nitrato o la reducción del nitrato hasta amonio (Millero, 1996; Sverdrup *et al.*, 1970).

La variación de los nitritos con respecto a la profundidad para esta campaña (Figura 6) muestra en superficie valores en el intervalo  $<0.01$  mmol/L a 1.5 mmol/L; se observó una constancia de los nitritos, la cual

continúa hasta los 1000 m. Las concentraciones de  $\text{NO}_2^-$  en general son bajas o se encuentran ausentes debido, a que es un ion inestable, y los organismos tienen mayor preferencia por el amonio y nitratos para satisfacer sus necesidades fisiológicas (Millero, 1996). Las variaciones fueron mínimas debido a que la mayor parte de los datos se encontró cerca del límite de detección de la técnica química analítica usada. La concentración en las capas superficiales de los nitritos, se encontró en general menor o cercana al límite de detección ( $<0.01$  mmol/L). La variación de este nutriente con respecto a la profundidad fue casi constante.

### Amonio

Los datos de este parámetro mostraron un valor máximo de 3.16 mmol/L (SGM-2) y un mínimo de  $<0.01$  mmol/L, el valor medio para esta campaña fue de 1.13 mmol/L. El valor mínimo de amonio es menor al reportado para la campaña oceanográfica ECOESMAR II (septiembre/1985; 0.35 mmol/L); el valor máximo, fue mayor al reportado para esta misma campaña. El valor reportado para las aguas marinas de  $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$  es de 1 a 50 mmol/L (Millero, 1996; Sverdrup *et al.*, 1970). En este punto es necesario señalar que existe poca información de éste parámetro a nivel internacional y nacional, debido a la



dificultad que se tiene para sus análisis y porque las muestras se contaminan rápidamente (Striklan y Parson, 1977; Millero, 1996).

La disminución de este parámetro es debida principalmente al proceso de nitrificación (Millero, 1996; Stumm y Morgan, 1995; Sverdrup *et al.*, 1970) que se realiza a lo largo de la columna de agua y el cual produce iones nitratos, así como también, a su asimilación por diversos productores primarios; los valores altos en la zona eufótica están asociados con la autólisis de las células muertas, provenientes de organismos biológicos diversos (Millero, 1996), proceso que produce iones amonio y fosfato. La variación horizontal del ion amonio a los 5 m de profundidad mostró diversos núcleos de alta concentración con una orientación hacia el NW y la parte central del golfo. Se observó un núcleo en la zona E de 2.11 mmol/L, cercano a otro núcleo que se encuentra ubicado frente a la laguna de Términos; el primer núcleo puede estar asociado a un giro ciclónico, por las concentraciones altas presentes y porque se han detectado dichas formaciones en esta zona (Moulin, 1980). No se observó con claridad un aporte fluvial de este ion, para este nivel.

Los datos de este parámetro mostraron un valor máximo de 1.44 mmol/L y un mínimo de <0.01 mmol/L, el valor medio del amonio para esta campaña fue de 0.28 mmol/L, para la campaña SGM-3 (Figura 7). La variación de la concentración del amonio con respecto a la profundidad (Figura 6) para todas las estaciones, presentó una disminución de la concentración a medida que la profundidad aumenta; aproximadamente a los 1000 m permanece cercana al límite de detección

La concentración de este parámetro se encontró dentro de los límites establecidos para las aguas marinas ( $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+ = 1 - 50 \text{ mmol/L}$ ; Millero, 1996; Sverdrup *et al.*, 1970) y los valores reportados durante otras campañas oceanográficas en la zona de estudio.

### Ortofosfatos

Los datos de fosfato para la campaña SGM-1 mostraron un valor máximo de 0.97 mmol/L y un mínimo de <0.01 mmol/L, el valor medio para la campaña fue de 0.18 mmol/L. En la campaña SGM-2 se encontró un valor máximo de 29.6 mmol/L y un mínimo de <0.01 mmol/L, el valor medio de ortofosfatos para esta

campaña fue de 1.25 mmol/L. El valor mínimo de ortofosfatos, es menor al valor reportado en la campaña oceanográfica SGM-3. Los datos de este parámetro mostraron un valor máximo de 36.3 mmol/L y un mínimo de <0.01 mmol/L, el valor medio (Figura 7) de ortofosfatos para esta campaña fue de 2.8 mmol/L. La variación de los ortofosfatos con respecto a la profundidad para esta campaña mostró valores bajos a nivel superficial, después se observó un incremento de los nitratos aproximadamente a partir de los 50 m de profundidad, el cual para esta campaña se continuó hasta los 1000 m. El incremento de los ortofosfatos en las capas superficiales, es debido a los aportes fluviales y a la remineralización de la materia orgánica, (Stumm y Morgan, 1995). El cambio vertical de este parámetro fue heterogéneo. En general se presentó un incremento con la profundidad (Figura 6).

El valor de 29.6 mmol/L en la zona superficial durante la campaña SGM-2, es debido, principalmente al aporte fluvial de las costas de Tabasco. SGM-3,

Se identificó una zona de alta concentración de ortofosfatos, debida al aporte fluvial y a una posible surgencia frente al plegamiento que forman las isobatas de 180 a 1800 m (Bouma *et al.*, 1971) frente a Punta Zapotitlán.

En un perfil de  $\text{PO}_4^{3-}$ , en función de la profundidad, se observó que el máximo corresponde al mínimo de oxígeno, pH y a la profundidad a la cual se presenta la termoclina, éstos cambios fueron observados para las estaciones 31, 29 y 30 de las campañas SGM-1, 2 y 3 respectivamente (Figura 1) (las cuales se tomaron como base, debido a que fueron de las más profundas). El máximo de ortofosfatos ocurre a la profundidad donde se oxida la materia orgánica, por tal motivo se encuentra un mínimo de oxígeno.

Se observó para la campaña SGM-3, un giro ciclónico a los 50 y 100 m de profundidad, caracterizado por alta concentración de ortofosfatos (Cochrane, 1972; Moulin, 1980).

### SiO<sub>2</sub> disuelto.

Los datos de la campaña SGM-1 mostraron un valor máximo de 32.5 mmol/L y un mínimo de 5.4 mmol/L, el valor medio para esta campaña fue de 11.9 mmol/L. Los valores del SiO<sub>2</sub> varían de 0 a 200 mmol/L

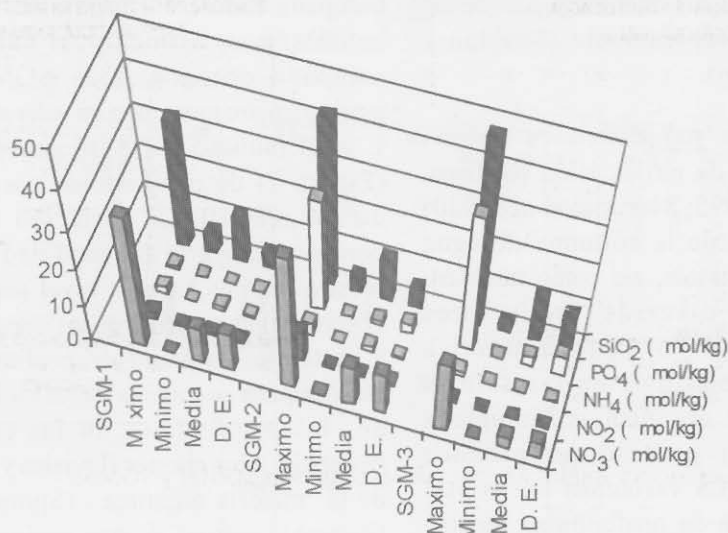


Figura 7. Representación gráfica la estadística básica de los nutrientes en cada campaña.

en el agua de mar (Millero, 1996). Los datos del SGM-2 presentaron un valor máximo de 42.7 mmol/L y un mínimo de 4.1 mmol/L, el valor medio de SiO<sub>2</sub> para esta campaña fue de 11.2 mmol/L. La mayor variación se presentó a los 5 y 20 m de profundidad, la cual coincidió con lo observado en el perfil de este parámetro en función de la profundidad (Figura 7); la capa profunda de mezcla alcanzó los mayores valores de SiO<sub>2</sub>, lo cual se debió al intercambio de agua entre las diversas masas de agua presentes a estas profundidades, así como a la redisolución del material proveniente de los exo-esqueletos de las diatomeas muertas. Los valores altos de SiO<sub>2</sub> estuvieron asociados a los aportes fluviales de la zona costera de Tabasco.

Los datos del SGM-3 (Figura 7) para SiO<sub>2</sub> mostraron un valor máximo de 48.3 mmol/L y un mínimo de 2.0 mmol/L, el valor medio de SiO<sub>2</sub> para esta campaña fue de 11.9 mmol/L, durante esta época se alcanzó a percibir un ligero afloramiento de agua rica en este nutriente, semejante a la observada para los nitratos y ortofosfatos (Figuras 6 y 7), provenientes de una posible surgencia frente al plegamiento que forman las isobatas de 180 a 1800 m (Bouma *et al.*, 1971).

A los 100 m, se presentaron tres núcleos de alta concentración: uno frente a Punta Zapotitlán, debido al plegamiento de las isobatas de 180 a 1800 m (Bouma *et al.*, 1971); el segundo frente a las costas de Tabasco; el tercer núcleo en la zona central del Golfo y presentó las características de un anillo ciclónico. La variación de la concentración del SiO<sub>2</sub>,

con respecto a la profundidad para todas las estaciones, se encuentra representada en la figura 6. Se observó un incremento de la concentración a medida que la profundidad aumentó, aproximadamente después de los 50 m y hasta los 1000. Se observó una mayor dispersión de los datos, con respecto a las campañas SGM-1 y 2; los mayores valores en superficie, están asociados al aporte fluvial.

La concentración del SiO<sub>2</sub> se incrementó con el aumento de la profundidad (Figura 6) estaciones 30, 27 (SGM-2) y 30 (SGM-3); Millero, 1996; Sverdrup *et al.*, 1970. Se observó un aporte proveniente del sistema fluvial de Tabasco, así como de la Laguna de Términos. La zona E de estudio, presentó concentraciones bajas de este nutriente. Se observó para la campaña SGM-3, un giro ciclónico a los 50 y 100 m de profundidad, caracterizado por una alta concentración de ortofosfatos (Cochrane, 1972; Moulin, 1980), semejante al reportado para los ortofosfatos. También se identificó una posible surgencia frente al plegamiento que forman las isobatas de 180 a 1800 m (Bouma *et al.*, 1971) frente a Punta Zapotitlán.

#### Coliformes totales y fecales

Las aguas costeras reciben descargas de aguas negras que no solamente contienen grandes cantidades de heces fecales, sino además desperdicios de fábricas procesadoras de alimentos, etc. Esto ha conducido al aumento de organismos patógenos

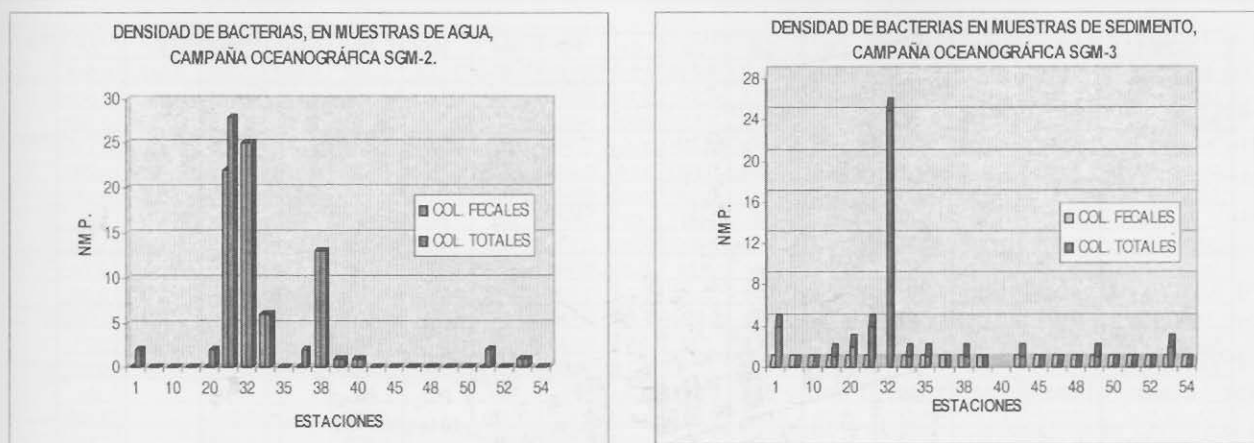


Figura 8. Grafica del NMP de Coliformes Totales y Fecales de las campañas SGM-2 y SGM3.

en el medio acuático estuarino y en aquellas aguas marinas adyacentes a las desembocaduras oceánicas (Weibel, *et al.*, 1974).

Las bacterias coliformes fecales y totales para las muestras de agua se encuentran más altas en las estaciones 22 y 32 (Figura 8), estaciones que se encuentran dentro del área de plataformas. Para la estación 38 esta presentó la misma cantidad de coliformes totales y fecales (13 NMP).

Con respecto a las bacterias heterótrofas en las muestras de agua las unidades formadoras de colonias más altas se presentaron en la estación 38 y 39 (Figura 8). Respecto al contenido de coliformes totales y fecales en agua de mar se observó que los resultados no son altos al ser comparados con la norma NOM-ECOL-001-1996, no obstante, para la zona marina, estos microorganismos deberían de estar casi ausentes. Respecto al contenido de coliformes totales y fecales en agua de mar, se observó que los resultados no son altos al ser comparados con la norma para aguas de la CNA (1989; 200NMP; NOM-ECOL-001-1996). La concentración alta encontrada cerca de la zona de plataforma, es indicativa, de que existe un mal funcionamiento o mantenimiento deficiente de las plantas de tratamiento de aguas de descarga.

**Hidrocarburos Disueltos.**

La concentración de los hidrocarburos analizada no presentó riesgo para los organismos de la columna de agua. La diferencia en el contenido de

hidrocarburos alifáticos y aromáticos entre las dos campañas, permite señalar que existe un aporte puntual de plataformas y ríos. La presencia de algunos organismos marinos (fitoplancton) (Keunish, 1989), puede influir en el contenido de algunos hidrocarburos alifáticos. En contraste con otros estudios, en el presente se analizaron en forma individual los hidrocarburos. Los resultados obtenidos de hidrocarburos en agua mostraron gran diferencia en las dos campañas. Se observó un mayor contenido de hidrocarburos poliaromáticos, durante la campaña SGM-2, en las muestras de agua se observó un máximo de HPA's de 0.0574 ppm (57.4 ppb) y mínimo de 0.0088 ppm (8.8 ppb), no se observaron concentraciones de HPA's cerca del área de plataformas durante esta campaña (Tabla 4).

Respecto a los hidrocarburos alifáticos totales (HAT) se observó un mínimo de 0.0025 ppm (2.5 ppb) y un máximo de 0.250 ppm (123 ppb). Las concentraciones reportadas, se encontraron

CAMPAÑA	SGM 2	SGM 3
FECHA	XI/96	III/97
MEDIA	31.9	++
MÁXIMO	57.4	0.001
MÍNIMO	8.8	++
No. DATOS	31	51

Tabla 4. Estadística básica de valores de hidrocarburos aromáticos (ppb) en agua.



SGM-1	Al	As	Ba	Cd	Co	Cu	Cr	Fe	Mn	Hg	Ni	Ag	Pb	V	Zn
Media Sup.	0.026	0.053	10.818	0.414	0.012	0.416	0.261	0.156	0.064	0.001	0.487	0.007	0.016	0.042	0.515
Máximo Sup.	0.037	0.090	17.000	0.521	0.015	0.570	0.370	0.231	0.120	0.001	0.918	0.011	0.039	0.050	0.800
Mínimo Sup.	0.019	0.030	8.000	0.124	0.010	0.150	0.080	0.086	0.020	0.001	0.231	0.003	0.008	0.040	0.160
Media Prof.	0.027	0.066	11.091	0.433	0.012	0.463	0.304	0.163	0.075	0.001	0.528	0.008	0.021	0.040	0.735
Máximo Prof.	0.044	0.090	19.000	0.526	0.014	0.620	0.440	0.231	0.140	0.001	0.950	0.012	0.053	0.070	4.200
Mínimo Prof.	0.020	0.030	8.000	0.064	0.011	0.090	0.030	0.077	0.030	0.001	0.178	0.003	0.003	0.000	0.090
SGM-2	Al	As	Ba	Cd	Co	Cu	Cr	Fe	Mn	Hg	Ni	Ag	Pb	V	Zn
Media Sup.	0.023	0.094	11.250	0.289	0.012	0.237	0.243	0.130	0.067	0.001	0.533	0.011	0.056	0.049	0.554
Máximo Sup.	0.028	0.12	17	0.344	0.015	0.98	0.38	0.152	0.12	0.0008	0.646	0.015	0.08	0.08	0.74
Mínimo Sup.	0.019	0.08	9	0.012	0.011	0.11	0.14	0.106	0.03	0.0007	0.042	0.007	0.01	0.04	0.38
Media Prof.	0.022	0.094	10.762	0.336	0.012	0.222	0.247	0.127	0.068	0.001	0.522	0.010	0.057	0.043	0.553
Máximo Prof.	0.029	0.12	15	2.87	0.017	0.86	0.41	0.154	0.13	0.0009	0.601	0.016	0.082	0.06	0.71
Mínimo Prof.	0.02	0.08	9	0.007	0.011	0.09	0.14	0.097	0.03	0.0007	0.042	0.005	0.016	0.04	0.35
SGM-3	Ag	Al	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn		Ni		Pb		Zn
Media Sup.	0.034	0.025	11.563	0.079	0.078	0.265	0.437	0.173	0.020		0.272		0.007		0.126
Máximo Sup.	0.038	0.000	11.250	0.107	0.114	1.856	0.964	0.166	0.042		0.476		0.013		0.150
Mínimo Sup.	0.019	0.024	11.250	0.054	0.013	0.125	0.321	0.021	0.005		0.065		0.001		0.006
Media Prof.	0.035	0.027	13.466	0.079	0.021	0.211	0.458	0.551	0.026		0.155		0.017		0.106
Máximo Prof.	0.056	0.034	20.000	0.107	0.025	0.875	0.982	4.589	0.087		0.389		0.039		0.000
Mínimo Prof.	0.019	0.023	11.250	0.027	0.014	0.125	0.327	0.021	0.001		0.065		0.004		0.033

Tabla 5. Estadística Básica de los metales disueltos ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) en agua de las campañas SGM-1, 2 y 3

menores a la solubilidad de algunos de los compuestos en agua (ejemplo: n-octano = 0.546 ppm, Tissot y Welte, 1978). La concentración de hidrocarburos poliaromáticos fue menor que la de los alifáticos.

El pireno se detectó cerca de boca de Santana del Sistema lagunar Carmen – Pajonal - Machona, Tabasco; el criseno en el área cercana a Dos Bocas, Tabasco; el coroneno se cuantificó cerca de Punta Zapotitlán; el benzo(a)antraceno se detectó, también, cerca de Punta Zapotitlán.

Solamente fueron detectados tres compuestos alifáticos de los 21 hidrocarburos utilizados como estándares. Aproximadamente el 62.5% de las muestras (que presentaron contenido de hidrocarburos aromáticos) se encuentran por arriba del límite; que se maneja para aguas oceánicas (30 ppb; PEMEX, 1991; Saliot, 1981; Marchand y Monfort, 1979). Los principales hidrocarburos alifáticos que se presentaron durante esta campaña, fueron el n-tetradecano, hexadecano y tricosano. En la estación 39, se encontró el más alto contenido de hidrocarburos seguida de las estaciones 26, 35, 22, 30 y 34; excepto la estación 26, las demás estaciones se encuentran asociadas a las actividades petroleras. La predominancia de los hidrocarburos alifáticos de alto peso molecular, encontrada para esta campaña, está de acuerdo con otros trabajos reportados donde se menciona la mayor permanencia de estos compuestos orgánicos en áreas petroleras (Capuzzo,

1987), recordando que dichos compuestos también pueden provenir de algunos organismos marinos (Scribe *et al.*, 1991).

#### Metales

Se analizaron los siguientes metales: Ag, Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, V, Zn, en las campañas oceanográficas SGM-1, SGM-2 y SGM-3.

Los valores máximos y mínimos de cada metal se encuentran reportados en la Tabla 6. El Co, Hg y V no fueron cuantificados en 50% de las muestras. El cobalto solamente fue detectado en las estaciones 24, 25 y 73 (Figura 1), las cuales se encuentran cercanas a la zona de plataformas; mientras que el mercurio se detectó en las estaciones 23F, 24 y 73; el vanadio se cuantificó en las estaciones 6F, 11, 12, 23, 24 y 73. Las estaciones 6, 11 y 12, se encuentran frente a las costas de Tabasco (Figura 1), asociadas a las actividades petroleras. Las concentraciones elevadas superficiales de estos tres metales estuvieron asociadas a los aportes de ríos, zona de plataformas y en fondo a la oxidación de la materia orgánica o al aporte antropogénico (por precipitación, formación de coloides, etc.; Stumm y Morgan, (1995).

La presencia de los metales durante las campañas fue en el orden siguiente de concentración:

SGM-1 Ba > Zn > Ni > Cu > Cd > Fe > Mn > V > Cr > Al > Pb > Co > Ag > As > Hg



ELEMENTO	PROMEDIO	INTERVALO	PERFIL DE DISTRIBUCIÓN
Ag	0.04	0.003 - 1.5	TIPO NUTRIENTE
Al	2	0 - 7.0	MÍNIMO EN SUPERFICIE
As	4	1.12 - 6.0	TIPO NUTRIENTE
Ba	20	May-93	TIPO NUTRIENTE
Cd	0.113	0.02 - 0.25	TIPO NUTRIENTE
Cu	0.254	0.032 - 0.381	TIPO NUTRIENTE
Cr	0.208	0.104 - 0.260	TIPO NUTRIENTE
Co	0.032	<0.005 - 0.092	MÍNIMO EN SUPERFICIE
Fe	0.056	0.006 - 0.140	MÍNIMO EN SUPERFICIE
Hg	0.001	0.0004 - 0.0020	?
Mn	0.028	0.011 - 0.165	DISMINUYE CON LA PROF
Ni	0.469	0.117 - 0.705	TIPO NUTRIENTE
Pb	0.0021	0.0001 - 0.0363	MÁXIMO EN SUPERFICIE
V	1.4	1.019 - 1.783	MÍNIMO EN SUPERFICIE
Zn	0.392	0.003 - 0.588	TIPO NUTRIENTE

**Tabla 6.** Concentración de metales traza en agua de mar ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )<sup>\*</sup>. & Millero, 1996; Kennish, 1989.

SGM-2 Ba > Zn > Ni > Cd > Cr > Cu > Fe > As > Mn > Pb > V > Al > Ag = Co > Hg

SGM-3 Ba > Cu > Fe > Cr > Ni > Cd > Co > Ag > Al > Mn > Pb

En general, las concentraciones de metales en superficie fueron menores a las de fondo (Tabla 5) debido a que la mayor parte de ellos a excepción del Al, Ag, Cd, Cr, Hg, V y Pb, son elementos de tipo nutriente (Tabla 6), ya que son utilizados por diversos organismos del medio ambiente, lo cual origina que las concentraciones en superficie se mantengan bajas, generalmente en el orden de microgramos a picogramos (dependiendo del metal), también son removidos por la materia orgánica particulada producida biológicamente, al formar diversos complejos.

Los metales analizados tienen un aporte superficial proveniente de: la atmósfera, ríos, zonas costeras y son rápidamente removidos del agua de mar.

El tiempo de residencia de estos elementos es corto (140 años para el Fe a  $2.1 \times 10^6$  años para la plata), tomando en cuenta sus diversas interacciones (formación de complejos, pares iónicos, precipitación, etc.; Stumm y Morgan, 1995), Mientras que la concentración de Zinc, fue mayor durante la campaña SGM-2, se observó que la concentración de plata se encuentra por arriba del valor promedio del agua de mar. La concentración de manganeso, se encontró por arriba del valor promedio reportado para el agua de mar (Tabla 6) siendo heterogénea la variación en el fondo y superficie. Debido a las diversas interacciones químicas y biológicas que presenta (Stumm y Morgan, 1995).

La concentración de plomo, se encontró por arriba del valor promedio reportado para el agua de mar (Tabla 6), lo cual se puede deber a las actividades de perforación que se desarrollan en el área (Boesch y Rabalais, 1987); contrario al cambio en la campaña SGM-1, se observó un incremento a medida que se acercan a la zona de plataformas.

En la campaña SGM-3 las concentraciones de cromo, fueron más homogéneas y en general se encontraron dentro del valor promedio reportado para el agua de mar. En contraste a este último elemento, el cobre se encontró por arriba del valor promedio del agua de mar (Tabla 6), su variación en superficie y fondo fue homogénea. El hierro, en general se encontró por arriba de la concentración promedio del agua de mar, su variación en superficie fue más homogénea que en el fondo. La concentración de manganeso (Tabla 6), se encontró dentro del valor promedio reportado para el agua de mar, fue más heterogénea a la variación en el fondo que en superficie, debido a las diversas interacciones químicas y biológicas que presenta y que es similar a la del hierro (Stumm y Morgan, 1995).

Contrario a lo que se esperaría, la concentración de níquel, fue menor al valor promedio reportado para el agua de mar (Tabla 6), la variación en fondo y superficie fue ligeramente heterogénea, ocasionada por las actividades petroleras. Finalmente la concentración de Plomo, se encontró por arriba del valor promedio reportado para el agua de mar (Tabla 6), principalmente las muestras de fondo, lo cual se puede deber a las actividades de perforación que se desarrollan en el área (Boesch y Rabalais, 1987).

ELEMENTO	NOM-ECOL-001-1997	COSTAS DE LOS E.U.A. (SUPERFICIE)	EUROPA*	"BUCCANEER FIELD"
				COSTAS DE TEXAS
Ag	2	---	---	0.028 - 110
Al	200	---	---	---
As	40	---	25	0.32
Ba	500	---	---	6.4 - 3500
Cd	0.9	---	---	0.057 - 32
Cu	3	0.26	5	0.55 - 120
Cr	50 (Cr VI)	---	15	0.83 - 260
Co	---	0.015 - 0.089	---	---
Fe	50	0.003 - 335	---	260 - 2900
Hg	0.02	---	---	0.16 - 0.4
Mn	---	0.004 - 1.153	---	0.84 - 4.3
Ni	8	---	30	0.35 - 1200
Pb	6	---	25	0.78 - 760
V	---	---	---	---
Zn	90	0.001 - 0.157	40	15 - 610

TABLE 7. Concentración de metales traza en agua de mar y normas nacionales (mg/kg). <sup>c</sup>Stumm y Morgan, 1995; <sup>d</sup>Protección para los organismos marinos, Mance, 1987; <sup>e</sup>Boesch y Rabalais, 1987.

La concentración de metales en superficie, en general fue menor a la de fondo para la mayoría de los metales traza (0.05 – 50  $\mu$ M) analizados. Las concentraciones altas en el fondo para el área de estudio se deben a las actividades petroleras, a la oxidación bacteriana de la materia orgánica, re-suspensión de sedimentos (principalmente durante la época de nortes y ciclones) y aporte de fluvial de la Laguna de Términos y los ríos de Tabasco.

La distribución horizontal presentó para algunos metales, un área de alta concentración en la parte E (Cd, Fe, Mn, Pb), debida a las actividades petroleras que se desarrollan en la zona. No obstante las concentraciones que se reportan no son consideradas como tóxicas debido a que se encuentran por debajo de los límites señalados como tóxicos en normas nacionales y respecto a las concentraciones reportadas para otras zonas marinas, además de encontrarse por debajo de los límites marcados como LC<sub>50</sub>; las concentraciones obtenidas en este estudio se encuentran dentro de los valores reportados para otra zona de plataformas petroleras en Texas (Tabla 7).

### CONCLUSIONES

Se estudiaron los parámetros básicos oceanográficos durante las campañas oceanográficas SGM – 1 a 3 (1995 – 1997) en la Sonda de Campeche y áreas aledañas. La termoclina se forma a diferentes

profundidades de acuerdo a la época del año y condiciones meteorológicas. Durante el huracán Opal (Septiembre 1995) se observó una anomalía de la temperatura de las capas superficiales. Frente a Punta Zapotitlan, Ver., se observa una surgencia ocasionada por el plegamiento de las isobatas de 180 a 1,800 m. Los valores de pH, oxígeno disuelto, nutrientes, se encuentran dentro de los intervalos reportados en otras campañas oceanográficas en la zona y en otras áreas marinas; se identificó un aporte fluvial de ortofosfatos disueltos y sólidos suspendidos, provenientes de las costas de Tabasco y la laguna de Términos. La concentración de coliformes totales y fecales durante las épocas de muestreo presentó algunos valores por arriba del límite de la normatividad nacional en la zona cercana a las plataformas petroleras, motivado por el mal funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas negras.

La concentración de los hidrocarburos aromáticos disueltos fue menor a la de los alifáticos disueltos, se encontraron valores mayores de hidrocarburos totales disueltos mayores al valor base señalado por Marchand y Monfort (30 ppb). En agua fueron detectados los compuestos poliaromáticos pireno, coroneno y benzo(a)antraceno.

La concentración de los metales disueltos se encuentra dentro de los intervalos reportados en otras áreas marinas. El bario y zinc fueron de los metales más abundantes en las tres campañas oceanográficas. Las concentraciones de metales disueltos fueron menores en superficie que en agua de fondo. Se observa un aporte de metales proveniente de los aportes fluviales de las costas de Tabasco, sur De Veracruz y la laguna de Términos. La concentración de níquel y vanadio se encontró dentro de los límites señalados para aguas marinas.

Los parámetros analizados en la Sonda de Campeche, muestran en general una zona Norte y Este de valores bajos de algunos nutrientes, bacterias coliformes y metales disueltos y una zona Oeste de valores más elevados de estos parámetros. Para algunos parámetros estudiados es notoria la influencia fluvial de las costas de Tabasco y la laguna de Términos. La presencia de las plataformas marinas en el área de estudio muestra poca influencia sobre el cuerpo de agua marino, durante las épocas de estudio.

**LITERATURA CITADA**

- APHA, AW WA and WEF. 1995. Standar Methods. 18th edition. 1011p
- Benson, B.B; and Krause, Jr. D; 1984. The concentration and isotopic fractionation of oxygen dissolved in fresh water and seawater in equilibrium with the atmosphere. *Limnology and Oceanography* 29: 620-632.
- Bouma, A. H., y W. R. Bryant. 1971. Review of geology and geophysics of the Gulf of Mexico as it relates to the GEP programme. UNESCO. Coloquio sobre Investigaciones y Recursos del Mar Caribe y Regiones Adyacentes. París. pp. 225-230.
- UNESCO. 1976. Guide to operational procedures for the IGOSS Pilot project on marine Pollution (petroleum) monitoring. Manual and Guide. No. 7.
- Carranza Edwards, A, L. Rosales Hoz and A. Monreal Gómez, 1993. Suspended sediments in the southeastern Gulf of Mexico. *Marine Geology*, 112:257-269.
- Capuzzo, J. M. 1987. Biological effects of petroleum hydrocarbons: assessments from experimental results. In: Boesch D. F. and Rabalais N. N. (eds.), Long-Term Environmental effects of offshore oil and gas development. Elsevier Applied Science. London. pp. 343-410.
- Carrit, E.E. and J.H. Carpenter. 1966. Comparison and evaluation of currently employed modifications of the Winkler method for determining dissolved oxygen in water. *J. Mar. Res.* 24: 286-318.
- Cochrane, J. D. 1972. Separation of an anticyclone and subsequent development in the Loop Current (1969). In: L.R.A. Capurro and J.L. Reid (Eds.), Contributions on the Physical Oceanography of the Gulf of Mexico. Gulf. Publ. Co., Houston, Texas. pp. 91-106.
- Grasshoff, K., M. Ehrhardt, y K. M. Kremling. 1983. Methods of sea water analysis., 2nd. edition, Verlag Chemie, Republic of Germany.
- Gutiérrez-Estrada, M. y Castro del Río, A. 1988. Origen y desarrollo geológico de la Laguna de Términos. p. 89-110 In Yáñez-Arancibia, A. and Day, J.W.Jr., (eds) *Ecología de los ecosistemas costeros en el Sur del Golfo de México: La región de la Laguna de Términos.* Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM, Coast. Ecol. Inst. LSU. Editorial Universitaria, México.
- Instituto Mexicano del Petróleo; 1995. Evaluación de las principales corrientes de aceite crudo de la región marina de PEMEX-Exploración y Producción, eob 8789.2. Subdirección General de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Transformación Industrial. Gerencia de Tecnología de Procesos. División de Procesos de Petróleo. Septiembre de 1995.
- Kennish, M. J. (ed). 1989. Practical Handbook of Marina Science. CRC, Press, Boca Raton, FL.
- Kjerve, B., K. E. Magill y J. E. Sneed. 1988. Modeling of circulation and dispersion in Terminos Longoon, Cap. 6:11-130. In: Yáñez-Arancibia A. y J. W. Day, Jr. (Eds) *Ecología de los ecosistemas costeros en el sur del Golfo de México: La región de la Laguna de Términos.* Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM, Coast. Ecol. Inst. LSU. Editorial Universitaria, México, 518p.
- Leipper, D.F. 1970. A sequence of current patterns in the Gulf of Mexico. *J. Geophys. Res.* 75: 637-657.
- Lizárraga-Partida, M. L. y A. Bianchi. 1988. Dinámica y caracterización de las bacterias heterótrofas en la Laguna de Términos. In: Yáñez-Arancibia A. y J. W. Day, Jr. (Eds) *Ecología de los ecosistemas costeros en el Sur del Golfo de México: La región de la Laguna de Términos.* Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM, Coast. Ecol. Inst. LSU. Editorial Universitaria, México, 15: 259-276.
- Millero, F. J. 1996. Chemical Oceanography. 2nd Ed. CRS, Press Inc. USA 571p.
- Norma Oficial Mexicana, NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. SEMARNAP. Diario Oficial de la Federación. Lunes 6 de enero de 1997.



- Moulin, J. P., 1980. Observaciones hidrológicas frente al litoral de Tamaulipas en el Golfo de México. Secretaria de Marina, Dir. Gral. Ocean., México:1-48.
- Nowlin, W. 1972. Winter circulation patterns and property distributions. In: Capurro, L. R. A. and I. Reid (eds.). Contribution on the Physical Oceanography of Gulf of Mexico. Texas A & M. Univ. Oceanogr. Studies Gulf Publ. Co. Houston Texas, 2, p. 3-51.
- PEMEX, 1991. Evaluación de la calidad del agua y sedimentos y algunos aspectos biológicos en el litoral del Golfo de México. Gerencia de Protección Ambiental PEMEX. 139 pp.
- PEMEX-UNAM, 1998. Diagnostico actual de la calidad del ambiental de la zona costera del Golfo de México (Sonda de Campeche, Zona costera de Atasta, Dos Bocas y Sistema Lagunar de Tabasco) donde se localizan las plataformas petroleras y chapopoterías naturales. Informe Final Campañas Oceanográficas SGM-1 a 3.
- PEMEX-UNAM, 1999. Evaluación prospectiva para el programa de monitoreo continuo del efecto de la actividad petrolera en el Golfo de México. Monitoreo ambiental para el proyecto de modernización y optimización del Campo Cantarell. Informe Final de la Campaña Oceanográfica SGM-4.
- Riley J.P. and R. Chester. 1971. Introduction to Marine Chemistry. Academic Press. London. 465p.
- Riley, J. P. 1989. Chemical Oceanography. 2nd. ed. Academic Press, New York Vol. 9,10.
- Saliot, A. 1981. Natural hydrocarbons in sea water. In: Duursma E. K. y Dawson R. (eds.). Marine Organic Chemistry. Elsevier Oceanography Series, 31.
- Scribe, P., Barouxis, A., Tronczynski J. y Saliot, A. 1991. Application of hydrocarbon biochemical markers to the study of particulate matter in a high turbidity estuary. In: Berthelin J. (ed.), Diversity of Environmental Biogeochemistry. Elsevier, Netherlands. 537p.
- Soberón-Chávez, G., A. Yañez-Arancibia y J. W. Day, Jr. 1988. Fundamentos para un modelo ecológico preliminar de la Laguna de Términos, Cap. 20: 381-414. In: Yañez-Arancibia A. y J. W. Day, Jr. (eds.) Ecología de los ecosistemas costeros en el sur del Golfo de México: La región de la Laguna de Términos. Inst. Ciec. del Mar y Limnol. UNAM, Coast. Ecol. Inst. LSU. Editorial Universitaria, México, D. F.
- Strickland, J. D. H. y A. Parsons. 1977. A practical handbook of seawater analysis., 2nd. edition. The Alger Press Ltd, Ottawa.
- Stumm, W. Y J. J. Morgan. 1995. Aquatic Chemistry. 2nd. ed., New York, pp. 295-299.
- Sverdrup, H. U., M. Jhonson, y R. H. Fleming. 1970. The Oceans. Their physics, chemistry and general biology. 5ta. (ed) Prentice- Hall Inc. United States, 1087p.
- Tissot, B. P. y Welte, D. H. 1978. Petroleum Formation and Occurrence. Springer-Verlag. Germany. 538p.
- UNESCO. 1983. Unesco Tech. Pap. In Mar. Sci. No. 44.
- Vázquez, G. F., Dorantes, V. H., Alexander, V. H., Frausto, C. A. 1988. Estudio hidrológico de las aguas costeras, frente a las bocas de la laguna de Términos, Campeche. En dos épocas climáticas diferentes. Parte-I. An. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México, 15(2): 183-194.
- Vázquez, G. F., M. Gutiérrez E., J. E. Aguayo C., H. Fernández P., A. Díaz R., H. Alexander V., C. Alfaro, R., A. Frausto C., J. Fuentes J., P. Gómez L., A. Mercado P. y G. Salvador L. 1994. El sistema lagunar el Carmen-Pajomal-La Machona del estado de Tabasco: su hidrodinámica, la estabilidad de sus bocas y de su línea de costa. Universidad Nacional Autónoma de México. 132p.
- Vázquez, F., R. Rangel, A. Mendoza Q., J. Fernández E. Aguayo, A. Palacios y V. K. Sharma, 2000. Southern Gulf of México, p. 467-482. In: C. Sheppard Seas at the Millennium an Environmental Evaluation, Vol. I. Pergamon an imprint of Elsevier Science.



- Villalobos-Figueroa y M. E. Zamora-Sánchez. 1975. Importancia biológica de la Bahía de Campeche. In: R. Pérez-Rodríguez, (ed). Mem 1er. Simp. Lat. Ocean. Biol. México D.F., 25-29nov. 1974, pp. 375-394.
- Villalobos-Figueroa y M. E. Zamora-Sánchez. 1977. Importancia biológica de la Bahía de Campeche y de la Península de Yucatán (segunda parte) Mem. II Simp. Lat Ocean. Biol. Cumaná Venezuela, Nov 24-28, 1975. Publ. Univ. Oriente., pp. 79-117.
- Weibel, S., R. Anderson, y R. Woodward 1974., Urban land runoff as a factor in strewn pollution. four. Water Pollut. Control Fed., 914-924. 36:
- Yañez-Arancibia, A. y P. Sanchez-Gil, 1988a. Caracterización ambiental de la Sonda de Campeche frente a la Laguna de Términos, Cáp. 3: 41-50. In: Yañez-Arancibia A. y J.W. Day, Jr. (Eds) Ecología de los ecosistemas costeros en el sur del Golfo de México: La región de la Laguna de Términos. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM, Coast. Ecol. Inst. LSU. Editorial Universitaria, México DF.
- Yañez-Arancibia, A. y P. Sánchez-Gil. 1988b. Ecología de los recursos demersales marinos: Fundamentos en costas tropicales. AGT Editor, S. A. México, 228p.