

## MONITOREO AMBIENTAL Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LAS COSTAS DEL GOLFO DE MÉXICO Y MAR CARIBE

### Informe Final



2014

### Coordinación General de Adaptación al Cambio Climático



Coordinado por:

Coordinación General de Adaptación al  
Cambio Climático

Elaborado por:

Comisión Nacional del Agua

Boulevard Adolfo Ruiz Cortines 4209, 2° piso. Col. Jardines  
en la Montaña, Del. Tlalpan C.P. 4210 Ciudad de México  
Tel. +52 (55) 54246400.

[www.inecc.gob.mx](http://www.inecc.gob.mx)

# **Monitoreo ambiental y evaluación de la calidad del agua en las costas del Golfo de México y Mar Caribe**

## **1. INTRODUCCIÓN**

Como una medida para detectar la posible contaminación de las costas del Golfo de México por el derrame de petróleo crudo procedente de la plataforma Deepwater Horizont en mar territorial de los Estados Unidos de América, la Subdirección General Técnica, a través de la Gerencia de Calidad del Agua, ha determinado iniciar un monitoreo de vigilancia para establecer las condiciones de las costas del Golfo de México y Mar Caribe relacionadas con parámetros de calidad del agua indicativos de la presencia de hidrocarburos, ya que según los pronósticos en los cambios de las trayectorias superficiales de las Corrientes del Lazo y del Golfo de México hasta el año 2010, no representan un riesgo potencial para considerar la presencia de hidrocarburos en el mar territorial Mexicano; sin embargo, para los meses de octubre y noviembre, periodo en el cual la dirección de la corriente superficial del Golfo de México cambia su trayectoria de norte a sur, se podría esperar un inminente riesgo de contaminación en el mar territorial, situación que aunada a la condición de intemperización del petróleo derramado y presencia de huracanes, podría impactar las costas mexicanas.

### **1.1 Derrame petrolero procedente de la Deep Water Horizont**

El accidente de la plataforma de extracción petrolera Deepwater Horizont, a 1,500 m de profundidad aproximadamente, ocurrida en abril de 2010, derramó cerca de 800,000 litros al día.

Según datos recabados por expertos, el área de la mancha, en junio de 2010 sobrepasaba los 23,740 km<sup>2</sup>. Además de llegar a las costas del sur de EUA, un filamento largo de la mancha principal se adentró en la corriente del Lazo, permitiendo su expansión al SE, con probabilidades de alcanzar la Corriente del Golfo. Este filamento se localizó aproximadamente a 555 km de Quintana Roo.



*Figura 1. Dispersión del derrame de la Deep Water Horizont en 2010*

## **2. ANTECEDENTES**

El Golfo de México es un sistema ambiental diverso y rico. Por sus dimensiones y características de cuenca semicerrada, resulta en un mar interior del Atlántico Tropical (Carson, 1980, tomado de V. Botello *et al.*, 2005). Presenta una diversidad de ambientes costeros templados, subtropicales y tropicales.

Geológicamente, el Golfo de México incluye 159,980 km de ríos entre los que sobresalen los dos mayores sistemas fluviales de Norteamérica: Mississippi en los Estados Unidos y Grijalva Usumacinta en México.

Según Botello *et al.*, (1997) (tomado de V. Botello *et al.*, 2005), la zona marino-costera mexicana del Golfo de México es una de las mayores cuencas de hidrocarburos con una producción superior a las 400,000 toneladas métricas por día, sujeta a un intenso tráfico de buques petroleros que movilizan más de 5 millones de barriles diarios y donde se vierten al mar cerca de 7 millones de barriles al año por el lavado de sus tanques, que ejercen una presión ambiental en los principales ríos, lagunas costeras y estuarios de la zona. 505 de los sistemas costeros mexicanos del Golfo de México rebasan el límite permisible de hidrocarburos disueltos para aguas superficiales no contaminadas según criterios de UNESCO (1976), en particular la laguna de Términos en Campeche que registró el nivel más alto de contaminación, seguida por el río Tuxpan y la laguna del Ostión en Veracruz. Las lagunas de Tabasco presentan niveles menores a la norma establecida por la UNESCO y pueden considerarse zonas no contaminadas por hidrocarburos (Botello *et al.*, 1996; Botello, 2000). El sistema estuarino del río Tonalá, ocupa el primer lugar con presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs). Los sedimentos, en aproximadamente la mitad de los sitios analizados, rebasan la norma establecida por la UNESCO (1976) para zonas no

contaminadas. Los estudios más detallados de organismos marinos (peces, moluscos y crustáceos) se desarrollaron en la década de 80-90 en la región del río Coatzacoalcos, donde se detectaron altas concentraciones de HAPs de elevada toxicidad y potencial carcinogénico, resultando uno de los sitios más contaminados por hidrocarburos del petróleo en el Caribe (Botello *et al.*, 1996). Esto indica que las aguas y los sedimentos del Golfo de México están más contaminados en relación con otras áreas en la Región del Gran Caribe (RGC), porque la mayoría de las concentraciones reportadas exceden el límite permisible propuesto por la UNESCO (1976) con la presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs). Estos resultados muestran la intensa actividad petrolera y los aportes persistentes de hidrocarburos del petróleo a los ecosistemas costeros mexicanos (Botello, *et al.* 1997) (tomado de V. Botello *et al.*, 2005).

Otra vía importante de contaminación por petróleo en la RGC son los derrames de petróleo causados por accidentes marítimos, la explotación de gas y las plataformas de petróleo *offshore* en el Golfo de México, como consecuencia de rotura de ductos, explosiones e incendios en los pozos, desbordamientos y el mal funcionamiento de los equipos.

El derrame de hidrocarburos más conocido en el Mar Caribe fue el ocurrido en el pozo de petróleo IXTOC I (1979) en el Banco de Campeche, al sureste del Golfo de México durante las operaciones de perforación de gas y petróleo. La explosión del pozo ocasionó la fuga de 30 mil barriles diarios de petróleo crudo ligero durante diez meses para un total de 475,000 toneladas métricas (PNUMA, 1994; IOCARIBE, 1997). El petróleo derramado contaminó gran parte del litoral del Golfo mexicano y dañó severamente su franja costera, constituida principalmente de playas arenosas e islas de barreras que protegían las lagunas costeras, estuarios y humedales, ecosistemas que aún no se han estabilizado (PNUMA, 1994; Botello *et al.*, 1996) (tomado de V. Botello *et al.*, 2005).

Otro de los problemas comunes en la región son los **agregados de alquitrán** que son el resultado final de la emulsificación e intemperismo de los hidrocarburos del petróleo al estar expuestos al ambiente marino y están reconocidos como un fenómeno global y son **indicadores alarmantes de la contaminación** de océanos y aguas costeras. Estos desechos presentan una degradación muy lenta pues poseen un área superficial degradable muy pequeña comparada con su volumen. Según Clark (1986), los lavados de tanques de buques petroleros y las operaciones navales de rutina constituyen el origen principal de los agregados de alquitrán. Sin embargo, el propio autor atribuye una fracción importante en la contaminación del mar por hidrocarburos, a las descargas domésticas e industriales procedentes de las fuentes terrestres.

Las costas del Golfo de México han sido clasificadas por Carranza *et al.* (1975) en cuatro grandes unidades morfotectónicas continentales. La primera comprende una extensión de 700 km, desde la desembocadura del río Bravo hasta Punta Delgada, Veracruz. Se trata de una costa de mar marginal.

La segunda cubre 300 km y se extiende desde Punta Delgada hasta la desembocadura del río Coatzacoalcos, Veracruz. También se trata de una costa de mar marginal con depositaciones subaéreas que forman dunas y cuyas porciones secundarias están constituidas por algunas formaciones arrecifales.

La tercera se localiza entre el delta del río Coatzacoalcos y la porción oriental de la laguna de Términos, Campeche. Tiene una extensión de 179 km y se caracteriza por la presencia de deltas como los del río Tonalá, el Grijalva-Mezcalapa, el San Pedro y el San Pablo.

La cuarta y última unidad comprende 1,100 km, desde Isla Aguada, Campeche, hasta Chetumal, Quintana Roo. Al igual que las anteriores, es una costa de mar marginal que presenta numerosos cañones y sumideros, con depositaciones marinas que originan playas e islas de barrera que dan lugar a las principales formaciones arrecifales de México.

La plataforma continental es una de las mayores morfoestructuras del piso oceánico del Golfo de México. Se trata de una terraza casi continua que bordea sus márgenes y que se encuentra geológica y fisiográficamente vinculada con la masa continental. Se constituye por numerosas depresiones, lomeríos, montañas, bancos coralinos, escarpes y por algunos cañones submarinos. Alcanza 80 km frente a la desembocadura del río Bravo; 45 km frente a Tampico y a la altura de la zona volcánica de los Tuxtlas, Veracruz, experimenta su máximo estrechamiento, de 6 a 16 km. A partir de allí, nuevamente empieza a ampliarse hasta alcanzar 130 km frente a la Isla del Carmen; 170 km frente a Campeche y unos 260 km en el extremo norte de la península de Yucatán (Linch, 1954; Lugo, 1985) (tomado de V. Botello *et al.*, 2005).

México posee 24 grandes *sistemas lagunares-estuarinos* entre su frontera con los Estados Unidos y Yucatán. Tamaulipas cuenta con el 41% de esta superficie estuarino-lagunar (231,000 ha); Veracruz, con el 19% (116,600 ha), Tabasco, con el 3% (24,800 ha) y Campeche, con el 37% (196,000 ha) (Contreras y Zabalegui, 1988) (tomado de V. Botello *et al.*, 2005).

*Lagunas costeras:* Laguna Madre en Tamaulipas, Pueblo Viejo, Tamiahua, Tampamachoco, Tuxpan, Tecolutla, Nautla, Tres Bocas, Misantla, Palmas y Boca del Río en Veracruz; Machona, Pueblo Ceiba y Mecoacán en Tabasco; Isla Chica y Boca de los Pargos en Campeche (Figura 2).

*Formaciones arrecifales:* Blanquita, en Islas de Lobos y de En Medio, en el área de Tampico-Tuxpan; la Gallega, la Galleguita, Anegada de Adentro, Isla Verde, Pájaros y Sacrificio, en el área de Veracruz; las Choapas, En medio, Anegada de Afuera, Cabezo y Rizo, en las cercanías de Antón Lizardo, y los de Arcas, Obispo, Triángulos, Banco Nuevo, Inglés, Arenas y Alacrán, en la plataforma de Campeche (Logan, 1969; Rezak y Serpell, 1972; Wells, 1978) (tomado de V. Botello *et al.*, 2005).

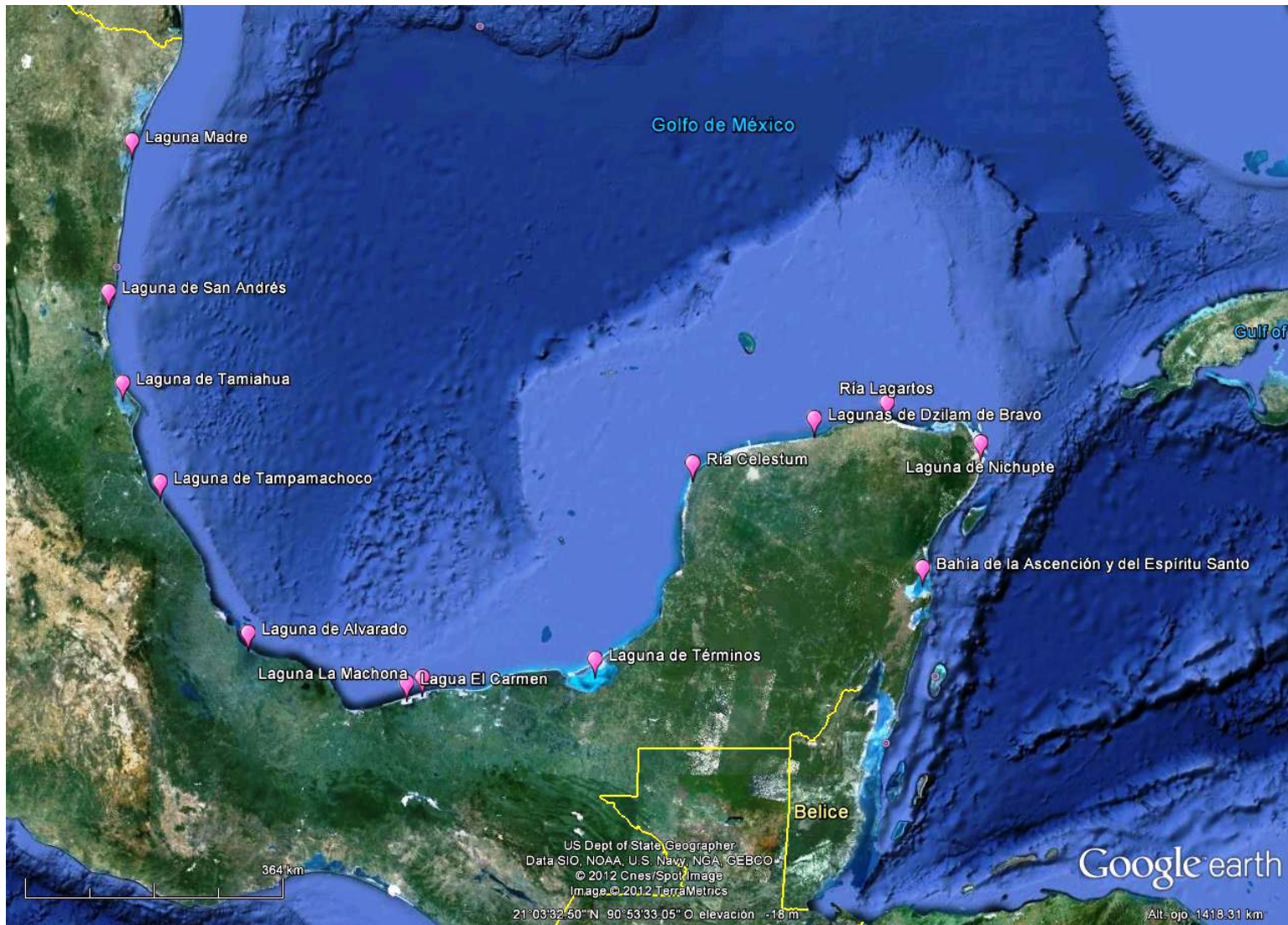


Figura 2. Sistemas lagunares del Golfo de México

## 2.1 Características del petróleo

El petróleo en los mares está sujeto a la acción de una serie de factores físicos, químicos y biológicos, que varían en importancia y ejercen su efecto de manera distinta sobre los diferentes componentes del petróleo y que además de su interacción, resulta complejo definir las fuentes de los hidrocarburos que están presentes en los sistemas costeros.

En aguas tropicales, la oxidación fotoquímica y la transformación microbiana son los factores más importantes para la degradación y el intemperismo del petróleo (Harvey, 1987) (tomado de V. Botello *et al.*, 2005).

Los aportes de petróleo en los océanos también pueden provenir de otras fuentes como son el transporte atmosférico, la quema de hulla y madera, así como la combustión de automotores, la cual produce hidrocarburos aromáticos policíclicos semejantes a los contenidos en el petróleo crudo. También en el Golfo de México se localizan sitios importantes de filtraciones naturales de petróleo como en las costas de Tamaulipas.

## 2.2. Composición química

Los principales componentes del petróleo son los hidrocarburos, que representan el 50-98% en relación a la composición total (Clarke y Brown, 1977). El carbono (80-87%) y el hidrógeno (10-15%) son los elementos principales y más abundantes en el petróleo, aunque otros como el azufre (0-10%), nitrógeno (0-1%) y el oxígeno (0-5%) están presentes en cantidades menores, ya sea en forma elemental o como constituyentes heterocíclicos y grupos funcionales. También existen metales traza como Vanadio, Níquel, Hierro, Aluminio y Cobre, cuya concentración depende del tipo de petróleo crudo y la región donde se formó.

De esta manera, los hidrocarburos del petróleo consisten en compuestos saturados de cadena lineal (alcanos), compuestos acíclicos (cicloalcanos) y compuestos aromáticos conteniendo cuando menos un anillo bencénico en su estructura molecular.

Los alcanos cíclicos consisten de compuestos en los cuales todos o algunos de los átomos de carbono están arreglados molecularmente formando anillos. La gran mayoría de estos compuestos cíclicos contienen una serie de constituyentes de importancia menor y que a semejanza de los isoprenoides también están formados por precursores específicos ya sea de plantas o animales (Posthuma, 1977) y además son empleados como “marcadores moleculares” de gran uso en estudios geoquímicos y del comportamiento de derrames (Albaigés y Albrecht, 1979) (tomado de V. Botello *et al.*, 2005).

Los alcanos son: Metano, etano, propano, n-butano, n-pentano, n-hexano, n-heptano, n-octano, n-nonano, n-decano, n-undecano, n-dodecano, n-tridecano, n-

tetradecano, n-pentadecano, n-hexadecano, n-heptadecano, n-octadecano, n-nonadecano, n-eicosano.

Cicloalcanos: Isobutano, isopentano, neopentano, isohexano, 3-metilpentano, 2,2 dimetilbutano, 2,3 dimetilbutano.

Los hidrocarburos aromáticos son menos abundantes que los saturados y contienen uno o más anillos bencénicos íntimamente ligados o conectados en su estructura molecular y pueden presentarse como no sustituidos o bien presentar una sustitución en un átomo de hidrógeno por grupos metilo, denominándose a este proceso *alquilación* y la cual se da con mayor grado en los hidrocarburos aromáticos de dos (naftaleno) o tres (antraceno y fenantreno) anillos bencénicos. El mejor conocido es el benceno.

Los constituyentes polares del petróleo se pueden agrupar, de acuerdo a Posthuma (1977), en seis clases: a) compuestos con azufre; b) compuestos con nitrógeno; c) porfirinas; d) compuestos con oxígeno; e) asfaltenos, y f) metales pesados.

Los compuestos azufrados comprenden al grupo más importante de los constituyentes polares y aunque el azufre se encuentra unido a grupos orgánicos, también pueden estar presentes concentraciones tan altas como el 1% de la composición total.

Los organosulfurados consisten de tioles, disulfuros, sulfuros cíclicos y tiofenos. Se debe resaltar que los benzotiofenos y dibenzotiofenos son constituyentes importantes en las fracciones de alto peso molecular en muestras ambientales (Jewell, 1980).

El nitrógeno está presente en todos los petróleos crudos en forma básica y no básica. Los compuestos básicos comprenden a las piridinas, quinoleínas, benzoquinoleínas y acridinas en tanto que los no básicos son los pirroles, índoles, carbazoles y benzocarbazoles (Clark y Brown, 1977; Posthuma, 1977) (tomado de V. Botello *et al.*, 2005).

A su vez la composición de los hidrocarburos que integran el petróleo varía según su lugar de origen:

- petróleos americanos: hidrocarburos de cadena abierta o alifáticos.
- petróleos de Pensilvania: hidrocarburos saturados (alcanos de  $n^{\circ}$  de C = 1 a 40)
- petróleos de Canadá: hidrocarburos no saturados.
- petróleos rusos: hidrocarburos cíclicos, con 3, 4, 5, ó 6 átomos de carbono en cadena abierta o cerrada.

### **2.3 Clasificación del petróleo**



La clasificación se basa en la clase de hidrocarburos que predominan en el petróleo crudo (Figura 3):

#### Petróleo de base parafínicas

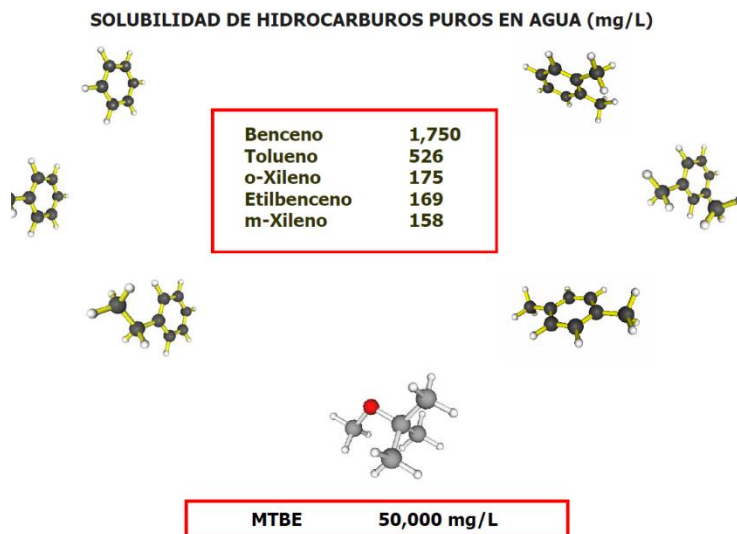
- Predominan los hidrocarburos saturados o parafínicos.
- Son muy fluidos de colores claros y bajo peso específico (aproximadamente 0,85 kg./lt).
- Por destilación producen abundante parafina y poco asfalto.
- Son los que proporcionan mayores porcentajes de nafta y aceite lubricante.

#### Petróleo de base asfáltica o nafténica

- Predominan los hidrocarburos etilénicos y diétilínicos, cíclicos ciclánicos (llamados nafténicos), y bencénicos o aromáticos.
- Son muy viscosos, de coloración oscura y mayor peso específico (aproximadamente 0,950 kg/lt)
- Por destilación producen un abundante residuo de asfalto. Las asfaltitas o rafealitas argentinas fueron originadas por yacimientos de este tipo, que al aflorar perdieron sus hidrocarburos volátiles y sufrieron la oxidación y polimerización de los etilénicos.

#### Petróleo de base mixta

- De composición de bases intermedias, formados por toda clase de hidrocarburos: Saturados, no saturados (etilénicos y acetilénicos) y cíclicos (ciclánicos o nafténicos y bencénicos o aromáticos).
- La mayoría de los yacimientos mundiales son de este tipo.



*Figura 3. Solubilidad de los hidrocarburos en agua*

El oxígeno en los petróleos crudos (0-2% se encuentran principalmente en las fracciones de destilación por encima de 400°C y constituye parte de los fenoles, ácidos carboxílicos, cetonas, ésteres, lactonas y éteres.

El petróleo también tiene una fracción significativa (0-20%) de materiales de alto peso molecular (1,000 a 10,000) constituido por moléculas mixtas de hidrocarburos con algunos compuestos polares, a los cuales se les denominan asfaltenos.

Finalmente, el Vanadio y Níquel son los elementos metálicos más abundantes en el petróleo y en ocasiones alcanzan concentraciones a las mil partes por millón. Pueden estar presentes ya sea como metales libres o bien formando complejos en los núcleos de las porfirinas (Clark y Brown, 1977) (tomado de V. Botello *et al.*, 2005).

## 2.4 Contaminantes petrogénicos

Los hidrocarburos del petróleo y sus derivados pueden penetrar en el mar en forma de crudos (no refinados) con una gran cantidad de compuestos insolubles. Los petróleos refinados, gasolinas y otros combustibles fósiles, tienen un alto contenido de compuestos solubles que pueden dispersarse a grandes distancias por las corrientes oceánicas (OMI, 1991). La contaminación petrogénica que incluye todos los subproductos del petróleo se manifiesta en dos formas:

- Contaminación crónica (descargas petrogénicas sistemáticas al mar por fuentes terrestres o marinas)
- Contaminación aguda –a menudo catastrófica- (derrames de hidrocarburos al mar).

La Región del Gran Caribe (RGC) sufre un daño considerable debido a vertimientos sistemáticos de hidrocarburos, pequeños derrames y especialmente la descarga de aguas de lavado de tanques en los supertanqueros que son transportadas por las corrientes oceánicas, para terminar como agregados de alquitrán en playas y arrecifes coralinos (OMI, 1991) (tomado de V. Botello *et al.*, 2005).

## 2.5 Contaminación de las costas con petróleo

La contaminación con petróleo de las costas puede dividirse en tres tipos:

- a) Depósitos de alquitrán sólido o semisólido (contaminación más común)
- b) Petróleo viscoso (probablemente petróleo pesado o crudo alterado por agentes atmosféricos)
- c) Petróleo líquido o fluido (petróleo o carburante como diesel)

Debe considerarse que el petróleo se evapora lentamente y con la acción de la luz y del aire se oxida o polimeriza espesándose. En consecuencia, el petróleo relativamente grueso que se encuentra en suelo puede resultar de un derrame de crudo o petróleo más ligero ocurrido hace mucho tiempo y a gran distancia de la costa.

Cuando se ha realizado muestreo de hidrocarburos en aguas subterráneas, la dispersión de estos se representa a continuación (Figura 4).

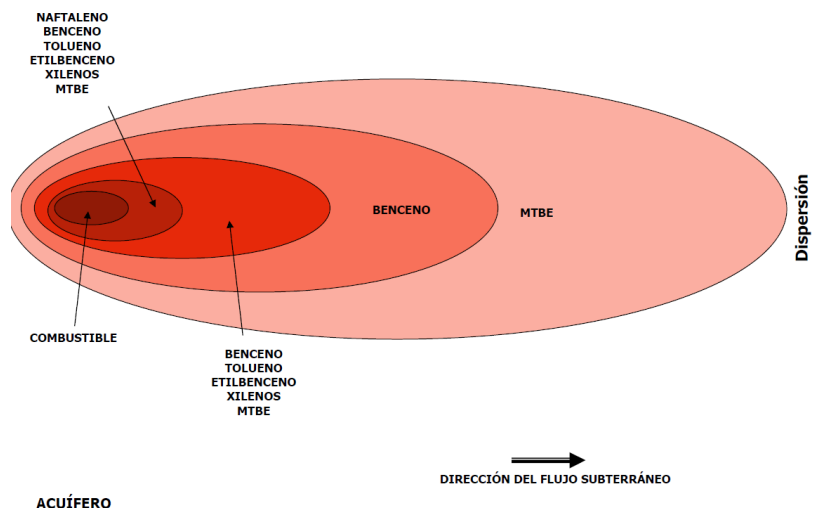


Figura 4. Dispersión de los hidrocarburos en agua

### **3. Explotación petrolera y descargas de petróleo en y al mar**

#### **3.1 Explotación petrolera**

Las fases principales del desarrollo incluyen los estudios geofísicos iniciales de amplias regiones para identificar los sitios de exploración, la perforación de pozos desde barcos o plataformas temporales, la perforación de pozos desde plataformas de producción fijas y la construcción de la infraestructura de transporte y procesamiento. Las unidades de producción pueden ser varios tipos de plataformas con pozos múltiples de producción y reinyección, tanques de almacenamiento, separadores y equipos de apoyo. Usualmente, se realiza el transporte a través del oleoducto y ocasionalmente, por barcaza o buque tanque, hasta las refinerías o instalaciones de procesamiento de gas que se encuentran en tierra.

Típicamente, la exploración consiste en estudios geofísicos de áreas muy extensas, realizados desde aviones o barcos, muestras del fondo tomadas empleando varios métodos, estudios sísmicos con explosivos o diferentes aparatos de concusión, y perforaciones de prueba para obtener datos geológicos. Después se perforan las formaciones seleccionadas desde los barcos de perforación o las plataformas temporales, se perforan pozos adicionales para delinear los descubrimientos de petróleo o gas, y se realizan pruebas de producción muy amplias para determinar los parámetros de los recursos. Los pozos iniciales se tapan hasta que entren en producción. El complejo de producción puede incluir una o más plataformas de producción, con pozos de producción e inyección, procesamiento primario y tanques de almacenamiento, plataformas de perforación, unidades sumergibles y oleoductos para recolectar el petróleo y transportarlo hasta la costa.

Las plataformas de producción y perforación son instalaciones independientes con helipuertos, vivienda para los trabajadores, fuentes de energía, tanques de almacenamiento, etc. El proceso de producción requiere un sistema amplio de apoyo, basado en tierra, incluyendo la vivienda de los trabajadores, suministros, eliminación de desechos y refinación. Las plataformas y barcos de perforación reciben sus suministros por transporte marítimo y aéreo. A menudo, la producción inicial se transporta a la costa en tanqueros o barcas. Para los yacimientos pequeños este sistema puede continuar, si no es económico utilizar un oleoducto.

Los efluentes incluyen los desechos sanitarios y domésticos tratados, lodos y ripio de perforación tratados, aguas producidas, y fuentes puntuales y no puntuales en tierra. Costa afuera, las emisiones atmosféricas son producidas por los generadores y bombas a diesel, los reventones con fuego o liberación de gas sulfuroso y las emisiones que ocurren durante la transferencia. En tierra, las emisiones atmosféricas son producidas por la operación de las refinerías de petróleo, las plantas de procesamiento de gas y la descarga de los buques. El ruido, algo normal en la operación de un complejo industrial grande, es continuo en las instalaciones, tanto en la costa como en tierra.

Pueden ocurrir eventos catastróficos que incluyen: los reventones con fuego o liberación de gas sulfuroso (sulfuro de hidrógeno), el colapso de la plataforma, la rotura del oleoducto y el choque del tanquero.

El trastorno del fondo como resultado del sacado de las muestras, ubicación de las plataformas y excavación para los oleoductos, aumenta la dispersión de las partículas en la columna de agua. En las áreas costaneras, los sedimentos levantados pueden contener metales pesados y otros contaminantes. Usualmente, son más saladas las aguas producidas que el agua del mar, y tienen poco o nada de oxígeno disuelto, además pueden contener metales pesados, azufre elemental, sulfuros y compuestos orgánicos, incluyendo hidrocarburos. Los lodos de perforación y los aditivos que se descargan están contaminados con las aguas de la formación e introducen hidrocarburos, metales pesados y otros contaminantes a la columna de agua. Las descargas de desechos sanitarios serán muy variadas, pero, usualmente, son menos diluidos que los desechos municipales. Las actividades rutinarias de producción causan la contaminación crónica y de bajo nivel por hidrocarburos de las aguas alrededor de las plataformas. Eventos como derrames durante la transferencia o en los puntos de carga, fallas del oleoducto, derrames de los tanqueros, o reventazones de los pozos, pueden causar severa contaminación de la columna de agua.

([http://es.wikipedia.org/wiki/Impacto\\_ambiental\\_potencial\\_del\\_desarrollo\\_de\\_petr%C3%B3leo\\_y\\_gas\\_costa\\_afuera](http://es.wikipedia.org/wiki/Impacto_ambiental_potencial_del_desarrollo_de_petr%C3%B3leo_y_gas_costa_afuera))

### **3.2 Descargas petroleras**

Los principales parámetros contaminantes localizados en las descargas son infiltraciones de petróleo crudo o productos elaborados, sólidos suspendidos, amoníaco, fenoles, sulfuros, alto pH, trazas de tetraetilo de plomo, mercaptanos, altas DBO y DQO.

En términos generales, las aguas de desecho de una refinería se manejan mediante cinco sistemas de drenaje: (1) Drenaje aceitoso, destinado a colectar todos los desechos de agua de proceso no corrosivos, los cuales generalmente se distribuyen a un sistema de separadores API, donde principalmente se recupera aceite; (2) Drenaje químico, que recolecta los desechos corrosivos del proceso químico, altamente contaminados; (3) Drenaje sanitario, que descarga por lo general sus desechos a una fosa séptica cuyo efluente se conduce al sistema de aguas aceitosas; (4) Drenaje para manejo de aguas de enfriamiento y (5) Drenaje pluvial, el cual maneja agua de lluvia.

De acuerdo al PNUMA (1994), entre las principales cargas contaminantes de origen industrial se identifican aquellas procedentes de refinerías de petróleo, fábricas de azúcar de caña y alimentos, destilerías de alcohol, cervecerías, papeleras y las industrias químicas (orgánica e inorgánica). Las refinerías de

petróleo contribuyen con el 70% del total de las cargas industriales de DBO<sub>5</sub> y con el 80% de las cargas contaminantes de petróleo.

#### **4. SIGNIFICADO SANITARIO DE LOS PARÁMETROS INDICADORES SELECCIONADOS**

##### **4.1 Grasas y aceites**

En esta categoría se incluyen las grasas, aceites, ácidos grasos libres, ceras, parafinas, aceites minerales y otros compuestos solubles en solventes, como son el éter y el cloroformo. Las grasas y aceites son compuestos muy estables y difíciles de degradar biológicamente. En las descargas domésticas, tienen su origen en la mantequilla, manteca, margarina, aceites vegetales, ciertas carnes, etc. Por otra parte, en las descargas municipales e industriales se encuentran grasas y aceites minerales provenientes de talleres, gasolineras, industrias, etc. En general, estos compuestos originan problemas de mantenimiento en los sistemas de recolección y tratamiento, interfiriendo además con la actividad biológica y afectando la transferencia de oxígeno atmosférico.

##### **4.2 Hidrocarburos totales de petróleo**

El término hidrocarburos totales de petróleo (TPH's) se usa para describir a un grupo de varios cientos de sustancias químicas derivadas originalmente del petróleo crudo. Los TPH's son una mezcla de sustancias químicas. Se les llama hidrocarburos porque casi todos los componentes están formados enteramente de hidrógeno y carbono. Los crudos de petróleo pueden tener diferentes cantidades de sustancias químicas; asimismo, los productos de petróleo también varían dependiendo del crudo de petróleo del que se produjeron. La mayoría de los productos que contienen TPH's se incendian. Algunos TPH's son líquidos incoloros o de color claro que se evaporan fácilmente, mientras que otros son líquidos espesos de color oscuro o semisólidos que no se evaporan. Muchos de estos productos tienen un olor característico a gasolina, kerosén o aceite. Debido a que en la sociedad moderna se usan tantos productos derivados del petróleo (por ejemplo, gasolina, kerosén, aceite combustible, aceite mineral y asfalto), la posibilidad de contaminación ambiental es alta. La contaminación con productos de petróleo estará constituida por una variedad de estos hidrocarburos. Debido al gran número de hidrocarburos involucrados, generalmente no es práctico medir cada uno de ellos. Sin embargo, es útil medir la cantidad total del conjunto de hidrocarburos que se encuentran en una muestra de suelo, agua o aire.

La cantidad de TPH's que se encuentra en una muestra sirve como indicador general del tipo de contaminación que existe en el sitio. Se ha dividido a los TPH's en grupos de hidrocarburos basado en el comportamiento similar en el suelo o el agua. Estos grupos se conocen como fracciones de hidrocarburos del petróleo. Cada fracción contiene muchos componentes individuales.

##### **4.3 Carbono Orgánico Total**

La materia orgánica desempeña un papel importante en los sistemas acuáticos. Afecta los procesos biogeoquímicos, ciclo de nutrientes, la disponibilidad biológica, transporte de sustancias químicas y sus interacciones. También tiene implicaciones directas en la planificación del tratamiento de aguas residuales y agua potable. El contenido de materia orgánica se mide como el Carbono Orgánico Total (COT) y Carbono Orgánico Disuelto (COD), que son componentes esenciales del ciclo del carbono. La materia orgánica en el agua presenta miles de componentes, incluyendo las partículas macroscópicas, coloides, macromoléculas disueltas y compuestos específicos.

#### **4.4 Cadmio**

El cadmio se encuentra en forma natural en pequeñas cantidades en el aire, agua y suelo. Dado que es un metal que no se descompone, se acumula con el tiempo. Puede ser liberado en el aire cuando el carbón o petróleo se queman. También puede ser liberado del escape de los automóviles, las industrias que procesan metales, baterías y fabricación de pinturas. Una vez que el cadmio se encuentra en el aire, se propaga con el viento y se deposita en el suelo o en aguas superficiales. El cadmio está también presente como impureza en varios productos, incluyendo los fertilizantes del fosfato, los detergentes y los productos de petróleo refinados.

**(<http://www.idph.state.il.us/envhealth/factsheets/cadmium.htm>)**

#### **4.5 Cromo**

El contenido de cromo en el agua salina varía fuertemente y se encuentra por lo general en el intervalo de 0.2 a 0.6 ppb. El fitoplancton contiene aproximadamente 4 ppm de cromo y los peces marinos entre 0.03-2 ppb. El tejido de moluscos contiene aproximadamente 0.7 ppm en peso seco. El fitoplancton marino tiene un factor de concentración de aproximadamente  $10^4$ .

El cromo no se produce libremente en la naturaleza. El mineral de cromo fundamental es la cromita. Los compuestos de cromo se encuentran en cantidades traza en el agua y se presentan en el agua superficial por actividades industriales como el la refinación de metales y sus aleaciones. Las aguas residuales generalmente contienen alrededor de 5 ppm de cromo. El cromo hexavalente es muy tóxico para la flora y la fauna.

**(<http://www.lenntech.com/periodic/water/chromium/chromium-and-water.htm>)**

#### **4.6 Cobre**

En el mar, el cobre se encuentra alrededor de  $2.5 \times 10^{-4}$  mg/L. Su presencia disminuye en los océanos mar adentro. Las fuentes naturales de cobre en el mar se encuentran en los peces y otros organismos muertos que, al depositarse en el fondo, forman sedimentos ricos en cobre y material orgánico.

#### **4.7 Hierro**

El agua de mar contiene aproximadamente de 1-3 ppb de hierro. La adición de hierro soluble puede aumentar la productividad en las capas superficiales del océano. Su solubilidad en agua salina es muy baja.

<http://translate.google.com.mx/translate?hl=es&langpair=en%7Ces&u=http://www.lenntech.com/periodic/water/iron/iron-and-water.htm>

#### **4.8 Níquel**

El agua de mar contiene aproximadamente 0.5 a 2 ppb de níquel. Se presenta en el agua como  $\text{Ni}^{2+}$  y algunas veces como  $\text{NiCO}_3$ , ya sea disuelto o acompañado con ligandos inorgánicos. O puede estar unido a partículas.

El níquel puede ser transportado al agua por fuentes puntuales y no puntuales. Las descargas difusas de níquel pueden provenir de plantas de energía, incineradoras de residuos y las industrias metálicas. También en agricultura se aplican compuestos de níquel (como los fertilizantes fosfatados).  
<http://www.lenntech.com/periodic/water/nickel/nickel-and-water.htm>

#### **4.9 Plomo**

El plomo está entre los metales no ferrosos reciclados y su producción secundaria ha aumentado de forma constante. Sus características físicas y químicas se aplican en las industrias de la fabricación, de la construcción y de productos químicos. Su forma es fácilmente maleable y dúctil. Hay ocho categorías de uso: baterías, complementos de la gasolina, productos rodados y sacados, aleaciones, pigmentos y compuestos, cable para forros y municiones.

#### **4.10 Vanadio**

El Vanadio puede ser encontrado en el ambiente, en algas, plantas, invertebrados, peces y muchas otras especies. En mejillones y cangrejos se acumula fuertemente, el cual puede ser acumulado en concentraciones de  $10^5$  a  $10^6$  veces mayores que las concentraciones que son encontradas en el agua salada.

El Vanadio causa la inhibición de ciertas enzimas de animales, lo cual tiene varios efectos neurológicos. Próximo a los efectos neurológicos el Vanadio puede causar desordenes respiratorios, parálisis y efectos negativos en el hígado y los riñones.



Las pruebas de laboratorio en pruebas con animales han mostrado, que el Vanadio puede causar daño en el sistema reproductivo de animales machos, y el Vanadio puede causar alteraciones del ADN en algunos casos, pero no puede causar cáncer en animales.

<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/v.htm>

#### **4.11 Zinc**

El zinc se presenta de forma natural en el agua. La media de concentración de cinc presente en el agua de mar es de 0.6-5 ppb. Las algas, entre 20 y 700 ppm, los peces de mar y las conchas 3-25 ppm, las ostras 100- 900 ppm y las langostas 7-50 ppm. El zinc elemental no reacciona con las moléculas de agua. Las sales de zinc causan turbiedad cuando están presentes en grandes cantidades en el agua.

Los minerales del zinc más significativos son la esfalerita (ZnS) y smithsonita (ZnCO<sub>3</sub>). Estos compuestos van a parar al agua cuándo se encuentran cercanos minerales de este tipo. Alrededor de 3/4 partes del suministro total de zinc se usa en forma metálica. El resto se aplica en la industria en forma de derivados. Las aguas residuales industriales que contienen zinc, proceden de procesos de la industria galvánica, producción de pilas, etc.. El cloruro de cinc se aplica para la producción de pergamino, el óxido de zinc es un constituyente de pinturas y catalizadores.

La mayor parte del zinc presente en las aguas residuales no procede de fuentes puntuales, sino que procede principalmente de aguas superficiales ricas en zinc. Las llantas de coches que contienen zinc y los aceites de motores que provienen de tanques de zinc liberan compuestos de este elemento a las carreteras. Los compuestos del zinc están presentes en fungicidas e insecticidas, y por lo tanto van a parar al agua. Cuando se toman medidas de seguridad inadecuadas, el zinc puede liberarse como consecuencia de derrames en vertederos de desechos.

El lodo que proviene de las plantas de tratamiento de aguas residuales se aplica en agricultura, horticultura y silvicultura, y por lo tanto las concentraciones de zinc no deben sobrepasar los límites de 3 g/kg. <http://www.lenntech.es/cinc-y-agua.htm>

#### **4.12 Mercurio**

El mayor efecto negativo de la contaminación ambiental por mercurio se produce a nivel acuático, debido a que el metilmercurio se acumula en la vida acuática con el tiempo en concentraciones y niveles más elevados. El grupo de pescados, moluscos y crustáceos es el principal suministrador de mercurio a la dieta.

Algunas formas de actividades humanas liberan Mercurio directamente al suelo o al agua, por ejemplo la aplicación de fertilizantes en la agricultura y los vertidos de

aguas residuales industriales. Todo el Mercurio que es liberado al ambiente eventualmente terminará en suelos o aguas superficiales.  
<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/hg.htm>

#### **4.13 Cobalto**

El Cobalto es un elemento que ocurre de forma natural en el medio ambiente en el aire, agua, suelo, rocas, plantas y animales. Este puede también entrar en el aire y el agua y depositarse sobre la tierra a través del viento y el polvo y entrar en la superficie del agua a través de la escorrentía cuando el agua de lluvia corre a través del suelo y rocas que contienen Cobalto.

Los humanos añaden Cobalto por liberación de pequeñas cantidades en la atmósfera por la combustión de carbón y la minería, el procesado de minerales que contienen Cobalto y la producción y uso de compuesto químicos con Cobalto.

Los isótopos radiactivos del Cobalto no están presentes de forma natural en el medioambiente, pero estos son liberados a través de las operaciones de plantas de energía nuclear y accidentes nucleares. Porque esto tiene relativamente una vida de desintegración media corta estos no son particularmente peligrosos.

El Cobalto no puede ser destruido una vez que este ha entrado en el medioambiente. Puede reaccionar con otras partículas o ser absorbido por las partículas del suelo o el agua. El Cobalto se mueve sólo bajo condiciones ácidas, pero al final la mayoría del Cobalto terminará en el suelo y sedimentos.

<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/co.htm>

## **5. AREA DE ESTUDIO**

La Red Nacional de Medición de la Calidad del Agua (RENAMECA) de la Comisión Nacional del Agua, tiene como atribución realizar el monitoreo sistemático y permanente en los principales cuerpos de agua de México, determinando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que permitan entender la tendencia en la calidad de las aguas de México.

Para este propósito, en la red existen los siguientes sitios de monitoreo de vigilancia: a 2 y 4 kilómetros mar adentro de la boca del Puerto de Altamira, Laguna Costera de Tamiahua (Boca de Corazones), Laguna Costera en Pánuco (El Moralillo) en Tamaulipas, Laguna Costera Pueblo Viejo (Cuauhtémoc), Barra de Boca del Río, el estuario y la barra de Coatzacoalcos, la barra de Tuxpan, barra de Nautla, barra de Tecolutla, Playas Villa del Mar, Mocambo y el estero de Martínez de la Torre en Veracruz, y la laguna Bacalar y la laguna Xul-Ha en Quintana Roo.

Se analizaron los resultados de calidad del agua obtenidos en el periodo del 2005 al 2009, concluyendo que solo algunos de los sitios establecidos podrían ser utilizados para detectar impactos de hidrocarburos sobre la calidad del agua.

### **5.1 Criterios de selección de sitios**

Con base en el Manual del Calibrador vigente en la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 1997), se realizó una evaluación ambiental en los estados de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo, para seleccionar los sitios que pudieran ser utilizados como monitoreos de posibles impactos por la presencia de hidrocarburos y para caracterizar las condiciones de la costa. Los criterios establecidos fueron:

- En asentamientos humanos
- Destinos turísticos
- Playas prioritarias
- Áreas naturales protegidas
- Desarrollos industriales
- Zonas de cultivo (peces, camarón, moluscos bivalvos)

Los resultados de la evaluación ambiental indicaron las siguientes características:

**Tabla 1. Características de los sitios de muestreo en Tamaulipas.**

Sitio de monitoreo	Existen zonas de cultivo de molusco	Existe Área Natural Protegida	Existe actividad de pesca en el sitio	Existe actividad turística en el sitio
Playa Bagdad				
Laguna Madre				
La Pesca				
Barra del Tordo				
Laguna de San Andrés				
Laguna de Tamiahua				
Rancho Nuevo				
Puerto Altamira				
Miramar, Campamento Tortuguero				
Miramar, Plaza Gobernadores				

**Tabla 2. Características de los sitios de muestreo en Veracruz.**

Sitio de monitoreo	Existen zonas de cultivo de molusco	Existe Área Natural Protegida	Existe actividad de pesca en el sitio	Existe actividad turística en el sitio
Playa Coatzacoalcos				Turismo local
Playa Tecolutla				Turismo local
Villa del Mar				Turismo local
Playa Tuxpan				Turismo local

**Tabla 3. Características de los sitios de muestreo en Tabasco.**

Sitio de monitoreo	Existen zonas de cultivo de molusco	Existe Área Natural Protegida	Existe actividad de pesca en el sitio	Existe actividad turística en el sitio
Playa Sánchez Magallanes			Pesca ribereña	Turismo local
Laguna Pajonal			Pesca ribereña	Turismo local
Laguna La Machona			Pesca ribereña	Turismo local
El Bari			Pesca ribereña	Turismo local
Barra de Tupilco			Pesca ribereña	Turismo local
Puerto Dos Bocas			Pesca ribereña	Turismo local
Laguna Mecoacán	Sí		Pesca ribereña	Turismo local
Puerto Chiltepec			Pesca ribereña	Turismo local
Playa Pico de Oro			Pesca ribereña	Turismo local
Desembocadura Río Grijalva			Pesca ribereña	Turismo local
Barra de San Pedro			Pesca ribereña	Turismo local
Fraccionamiento Miramar			Pesca ribereña	Turismo local

**Tabla 4. Características de los sitios de muestreo en Campeche.**

Sitio de monitoreo	Existen zonas de cultivo de molusco	Existe Área Natural Protegida	Existe actividad de pesca en el sitio	Existe actividad turística en el sitio
Península de Atasta (Emiliano Zapata)	No	Área Natural Protegida de Flora y Fauna Laguna de Términos	Pesca ribereña	Turismo local
Carmen Zacatal	No	Área Natural Protegida de Flora y Fauna Laguna de Términos	Pesca ribereña	Turismo local
Puerto Real-Isla Aguada	No	Área Natural Protegida de Flora y Fauna Laguna de Términos	Pesca ribereña	Turismo local
Sabancuy	No	Área Natural Protegida de Flora y Fauna Laguna de Términos	Pesca ribereña	Turismo local
Punta Xen (campamento tortuguero)	No	No	No	No
Champotón	No	No	Pesca ribereña	Turismo local
Seyba Playa (Payucan)	No	No	Pesca ribereña	Turismo local
Campeche (Playa Bonita)	No	No	Pesca ribereña	Turismo local
Isla Arena	No	Área Natural Protegida Los Petenes	Pesca ribereña	Turismo local

Punta Xen.- Campamento Tortuguero que se dedica a proteger los huevos de tortuga y posterior liberación de las crías.

Turismo local.- Las playas son usadas por bañistas locales o de las comunidades aledañas.

**Tabla 5. Características de los sitios de muestreo en Yucatán.**

Sitio de monitoreo	Existen zonas de cultivo de molusco	Existe Área Natural Protegida	Existe actividad de pesca en el sitio	Existe actividad turística en el sitio
Celestum			Pesca ribereña	Turismo local
Chabihau			Pesca ribereña	Turismo local
Dzilam de Bravo			Pesca ribereña	Turismo local
El Cuyo			Pesca ribereña	Turismo local
Coloradas			No	No
Progreso			Pesca ribereña	Turismo local
San Felipe			Pesca ribereña	Turismo local
Sisal			Pesca ribereña	Turismo local
Telchac			Pesca ribereña	Turismo local

**Tabla 6. Características de los sitios de muestreo en Quintana Roo.**

Sitio de monitoreo	Existen zonas de cultivo de molusco	Existe Área Natural Protegida	Existe actividad de pesca en el sitio	Existe actividad turística en el sitio
Bocana de Chacmochuc	No	Programas de ordenamiento ecológico territorial del Estado de Quintana Roo: 1. Corredor Cancún-Tulum, 4. Región Costa Maya, 6. Municipio de Isla Mujeres, 7. Municipio de Cozumel y 8. Municipio Solidaridad.	Si	Turismo Internacional
Cozumel	No	Programas de ordenamiento ecológico territorial del Estado de Quintana Roo: 1. Corredor Cancún-Tulum, 4. Región Costa Maya, 6. Municipio de Isla Mujeres, 7. Municipio de Cozumel y 8. Municipio Solidaridad.	Si	Turismo Internacional
El Rey	No	Programas de ordenamiento ecológico territorial del Estado de Quintana Roo: 1. Corredor Cancún-Tulum, 4. Región Costa Maya, 6. Municipio de Isla Mujeres, 7. Municipio de Cozumel y 8. Municipio Solidaridad.	Si	Turismo Internacional
Isla Blanca	No	Programas de ordenamiento ecológico territorial del Estado de Quintana Roo: 1. Corredor Cancún-Tulum, 4. Región Costa Maya, 6. Municipio de Isla Mujeres, 7. Municipio de Cozumel y 8. Municipio Solidaridad.	Si	Turismo Internacional
Playa del Carmen	No	Programas de ordenamiento ecológico territorial del Estado de Quintana Roo: 1. Corredor Cancún-Tulum, 4. Región Costa Maya, 6. Municipio de Isla Mujeres, 7. Municipio de Cozumel y 8. Municipio Solidaridad.	Si	Turismo Internacional
Playa Linda	No	Programas de ordenamiento ecológico territorial del Estado de Quintana Roo: 1. Corredor Cancún-Tulum, 4. Región Costa Maya, 6. Municipio de Isla Mujeres, 7. Municipio de Cozumel y 8. Municipio Solidaridad.	Si	Turismo Internacional
Playa Maya	No	Programas de ordenamiento	Si	Turismo

		ecológico territorial del Estado de Quintana Roo: 1. Corredor Cancún-Tulum, 4. Región Costa Maya, 6. Municipio de Isla Mujeres, 7. Municipio de Cozumel y 8. Municipio Solidaridad.		Internacional
Playa Niño	No	Programas de ordenamiento ecológico territorial del Estado de Quintana Roo: 1. Corredor Cancún-Tulum, 4. Región Costa Maya, 6. Municipio de Isla Mujeres, 7. Municipio de Cozumel y 8. Municipio Solidaridad.	Si	Turismo Internacional
Playa Norte	No	ANP Costa occidental de isla mujeres, punta Cancún y punta Nizuc.	Si	Turismo Internacional

Los sitios propuestos y sus coordenadas geográficas se presentan en la Tabla 7 y su ubicación en la Figura 5.

**Tabla 7. Ubicación geográfica de los sitios de monitoreo en las costas del Golfo de México.**

No.	Nombre del sitio	Latitud	Longitud
<b>TAMAULIPAS</b>			
1	Playa Bagdad	25° 49' 38"	97° 09' 04"
2	Laguna Madre	24° 28' 30"	97° 40' 50"
3	La Pesca	23° 47' 25"	97° 44' 10"
4	Barra del Tordo	23° 01' 29"	97° 45' 40.2"
5	Laguna de San Andrés	22° 40' 26.3"	97° 50' 11.6"
6	Laguna de Tamiahua	21° 15' 40.34"	97° 25' 9.78"
7	Rancho Nuevo	23° 10' 55.5"	97° 46' 00.7"
8	Puerto Altamira	22° 29' 52"	97° 51' 14"
9	Miramar, Campamento Tortuguero	22° 18' 00"	97° 48' 31"
10	Miramar, Plaza Gobernadores	22° 17' 12"	97° 48' 03"
<b>VERACRUZ</b>			
11	Playa Coatzacoalcos	18° 09' 22.2"	94°25'35.8"
12	Playa Tecolutla	20°28'49.5"	97°00'22.5"
13	Villa del Mar	19°10'54.4"	96°07'24.9"
14	Playa Tuxpan	20°58'43.1"	97°18'35.1"
<b>TABASCO</b>			
15	Playa Sánchez Magallanes	18°17'56"	93°51'09"
16	Laguna Pajonal	18°20'30"	93°43'35"
17	Laguna La Machona	18°23'13"	93°35'26"
18	El Bari	18°12'49"	94°07'37"
19	Barra de Tupilco	18°25'39"	93°25'52"
20	Puerto Dos Bocas	18°26'23"	93°13'24"
21	Laguna Mecoacán	18°25'29.1"	93°08'47"
22	Puerto Chiltepec	18°26'33.2"	93°06'10"
23	Playa Pico de Oro	18°27'02.1"	92°52'14.8"
24	Desembocadura Río Grijalva	18°37'02.4"	92°41'17.6"
25	Barra de San Pedro	18°38'54.8"	92°28'38.8"
26	Fraccionamiento Miramar	18°29'41.3"	92°47'04.1"
<b>CAMPECHE</b>			
27	Champotón	19°21'29"	90°43'28"
28	Emiliano Zapata	18°40'22"	92°18'38"
29	Isla Aguada	18°46'40"	91°31'49"
30	Isla Arena	20°41'59"	90°27'17"
31	Playa Bonita	19°47'38"	90°37'18"
32	Punta Xen	19°12'40"	90°52'10"
33	Payucan	19°39'37"	90°42'15"
34	Sabancuy	18°19'42"	91°11'07"
35	Zacatal	18°36'48"	91°51'33"
<b>YUCATÁN</b>			
36	Celestum	20°51'49"	90°23'59"
37	Chabihau	21°21'24.9"	89°07'16.0"
38	Dzilam de Bravo	21°23'27.1"	88°53'25.88"
39	El Cuyo	21°31'02.6"	87°40'41.2"
40	Coloradas	21°36'33.2"	88°00'23.2"
41	Progreso	21°17'19.00"	89°39'40.88"
42	San Felipe	21°34'05.8"	88°14'13.1"
43	Sisal	21°09'59"	90°02'01"
44	Telchac	21°20'38.0"	89°15'43.0"
<b>QUINTANA ROO</b>			
45	Bocana de Chacmochuc	21°24'59"	86°49'40"
46	Cozumel	20°31'02"	86°56'44"
47	El Rey	21°03'37"	86°46'44"
48	Isla Blanca	21°19'46"	86°47'52"
49	Playa del Carmen	20°37'46"	87°03'58"
50	Playa Linda	21°08'45"	86°47'17"
51	Playa Maya	20°12'13"	87°25'52"
52	Playa Niño	21°11'37"	86°48'21"
53	Playa Norte	21°15'34"	86°45'06"



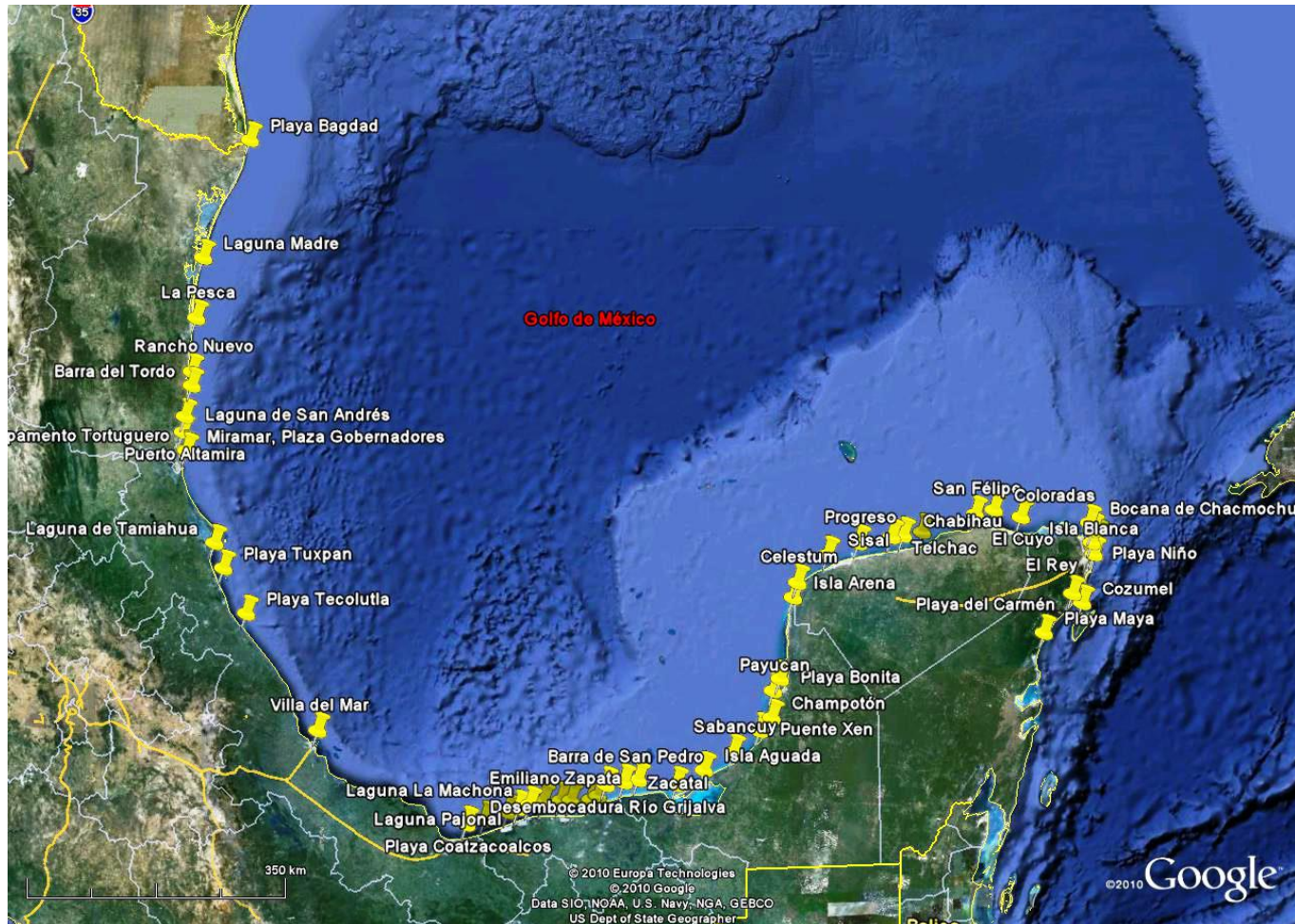


Figura 5. Ubicación de los 53 sitios de monitoreo seleccionados para la primera campaña de muestreo y análisis de las costas del Golfo de México.

## 5. OBJETIVO GENERAL

Establecer una Red de Monitoreo de Vigilancia, dirigida a detectar los posibles impactos en la zona costera de México, debido al derrame de la plataforma Deepwater Horizon en mar territorial de los Estados Unidos de América o por derrames e impactos por petróleo u otros contaminantes.

## 6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Primera Etapa (2010):

Establecer las condiciones actuales de sitios estratégicamente ubicados a través de la costa del Golfo de México, respecto a la presencia de hidrocarburos.

Seleccionar los sitios representativos que sirvan de monitores para detectar los impactos por derrame de crudo.

Segunda Etapa (2011-2014)

Con base en los resultados obtenidos en la primera etapa, definir la red de monitoreo de vigilancia cuyos resultados periódicos servirán para la toma de decisiones de las autoridades, y se establezcan las medidas preventivas y/o correctivas adecuadas para minimizar el impacto al ecosistema costero.

## 7. METODOLOGÍA

Se monitorearon 53 sitios en total con la siguiente distribución: 10 en Tamaulipas, 4 en Veracruz, 12 en Tabasco, 9 en Campeche, 9 en Yucatán y 9 en Quintana Roo.

Muestreo en agua:

Es de fundamental importancia considerar el análisis en la matriz agua, ya que representa el medio donde se llevan a cabo interacciones entre los componentes bióticos y abióticos, incluidos los contaminantes.

La primera actividad realizada para la selección de sitios fue la evaluación ambiental, con la guía del llenado de formatos que se presenta en el **Anexo 1**.

Una vez analizados los resultados de la evaluación ambiental, se establecieron los sitios de monitoreo con base en esta información.

Cabe aclarar que los laboratorios participantes Centro de Referencia Especializado en Aguas Salinas (Altamira, Tamaulipas), Laboratorio de Calidad del Agua del Organismo de Cuenca Golfo Centro (Xalapa, Veracruz), Laboratorio

de Calidad del Agua del Organismo de Cuenca Frontera Sur (Tuxtla Gutiérrez, Chiapas), Laboratorio de Calidad del Agua del Organismo de Cuenca Península de Yucatán (Mérida, Yucatán y Laboratorio Nacional de Referencia (D. F.), con el apoyo de muestreadores acreditados de los laboratorios de Calidad del Agua de las Direcciones Locales en Campeche y Quintana Roo, todos de la CONAGUA, se encuentran acreditados bajo la NMX-EC-17025-IMNC-2005 “*Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración*”.

En campo se determinó el Cuadro Ambiental, que incluye la determinación de Temperatura (ambiente y agua), salinidad, oxígeno disuelto, pH (5 parámetros).

En Laboratorio se determinaron los siguientes parámetros: Grasas y Aceites, Hidrocarburos totales del petróleo, Carbono Orgánico Total, Cadmio, Cromo, Cobre, Hierro, Níquel, Plomo, Vanadio, Zinc, Mercurio, Cobalto (13 parámetros). Las metodologías aplicadas se presentan en la Tabla 8.

En total se determinaron 15 parámetros.

**Tabla 8. Normas Mexicanas aplicadas en los diversos laboratorios participantes.**

PARAMETRO	METODOLOGÍA
Temperatura agua (°C)	NMX-AA-007-SCFI-2000
pH (unidades)	NMX-AA-008-SCFI-2000
Oxígeno Disuelto (mg/L)	NMX-AA-012-SCFI-2001
Salinidad (ppt)	Indirecta de electrodo de conductividad
Grasas y Aceites (mg/L)	NMX-AA-005-SCFI-2000
Hidrocarburos totales del petróleo (mg/L)	NMX-AA-117-SCFI-2001 EPA 481.1-1996
Mercurio (µg/L)	ICP
Cadmio (µg/L)	ICP
Cobre (µg/L)	ICP
Níquel (µg/L)	ICP
Plomo (µg/L)	ICP
Zinc (µg/L)	ICP
Cromo hexavalente (µg/L)	ICP
Cobalto (µg/L)	ICP
Carbono Orgánico Total (mg/L)	

Los resultados obtenidos se compararon con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89, para protección de la vida acuática en Agua Marina (zonas costeras).

**Tabla 9. Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua para Protección de la Vida Acuática en Zonas Costeras.**

<b>PARAMETRO</b>	<b>CRITERIO PARA PROTECCION DE LA VIDA ACUÁTICA</b>
Temperatura agua (°C)	Condiciones Naturales $\pm$ 1.5
pH (unidades)	No podrá haber variaciones mayores a 0.2 unidades de pH, tomando como base el valor natural estacional
Oxígeno Disuelto (mg/L)	5.0
Salinidad (ppt)	No Determinado
Grasas y Aceites (mg/L)	No Determinado
Hidrocarburos totales del petróleo (mg/L)	0.1
Mercurio (mg/L)	0.00002 (La concentración promedio de 4 días de esta sustancia no debe exceder este nivel más de una vez cada 3 años).
Cadmio (mg/L)	0.0009
Cobre (mg/L)	0.003 (La concentración promedio de una hora de esta sustancia no debe exceder este nivel más de una vez cada 3 años).
Níquel (mg/L)	0.008 (La concentración promedio de 4 días de esta sustancia no debe exceder este nivel más de una vez cada 3 años).
Plomo (mg/L)	0.006 (La concentración promedio de 4 días de esta sustancia no debe exceder este nivel más de una vez cada 3 años).
Zinc (mg/L)	0.09 (La concentración promedio de 4 días de esta sustancia no debe exceder este nivel más de una vez cada 3 años).
Cromo hexavalente (mg/L)	0.05 (La concentración promedio de 4 días de esta sustancia no debe exceder este nivel más de una vez cada 3 años).
Cobalto (mg/L)	No Determinado
Carbono Orgánico Total (mg/L)	No Determinado

## 8. RESULTADOS

### 8.1 Estado de Tamaulipas

En la Tabla 10 se presentan los resultados de cuadro ambiental para los 10 sitios de monitoreo en el estado de Tamaulipas. En la Figura 6 se presenta la ubicación de los sitios de monitoreo para este estado.

Como se puede observar, ningún parámetro de campo excede los criterios establecidos, lo que indica que las condiciones ambientales son adecuadas para el desarrollo de la vida acuática en cuanto a estos parámetros. Sin embargo, de acuerdo a la evaluación ambiental realizada en campo, se detectaron restos de alquitrán en 9 de los 10 sitios monitoreados en Tamaulipas, lo que indica la presencia de restos de productos o derivados del petróleo, aunque no se puede determinar el origen (si es producto mexicano o es debido al derrame de la empresa Deep Water Horizont).

Respecto a los resultados de laboratorio, en la Tabla No. 11 se presentan en color rojo las concentraciones que rebasan los Criterios Ecológicos para protección de la Vida Acuática.

Se observa que el elemento traza Fierro rebasa el criterio en Playa Bagdad, La Pesca, Barra del Tordo, Laguna de San Andrés, Laguna de Tamiahua, Puerto Altamira, Campo Tortuguero y Plaza Gobernadores en Miramar, o sea en ocho de diez sitios de monitoreo, indicando una contaminación que puede afectar la biota acuática.

El níquel es otro de los parámetros que rebasan el criterio ecológico para protección de la vida acuática, presentando problemas en Barra del Tordo, Laguna de Tamiahua y Puerto Altamira (3 de 10 sitios muestreados), presentando un riesgo para la biota presente.

El parámetro indicador grasas y aceites se presenta en ocho de los 10 sitios muestreados (se exceptúan Playa Bagdad y Altamira), denotando una contaminación por desechos municipales (mezcla de industriales y domésticos), aunque no se detectaron películas visibles de éstas.

Respecto a los hidrocarburos, se encontraron por debajo del límite de detección del equipo analizador, pero de acuerdo a la presencia de alquitrán y grasas y aceites, se deben considerar estos 10 sitios para una segunda campaña de monitoreo.

En relación al contenido de Carbono Orgánico Total, se tiene que en 8 de los 10 sitios se detectan cantidades considerables de este parámetro, indicando tendencia a la eutroficación. Estos son: Playa Bagdad, La Pesca, Barra del Tordo, Laguna de San Andrés, Laguna de Tamiahua, Puerto Altamira, Miramar (Campamento Tortuguero y Plaza Gobernadores).

**Tabla 10. Resultados de cuadro ambiental y Grasas y Aceites de los sitios de monitoreo en las costas del Golfo de México en el estado de Tamaulipas.**

Sitio/ Parámetro	CECA Prot. Vida acuática	Año de muestreo	Playa Bagdad	Laguna Madre	La Pesca	Barra del Tordo	Laguna de San Andrés	Laguna de Tamiahua	Rancho Nuevo	Puerto Altamira	Miramar. Campamento Tortuguero	Miramar. Plaza Gobernadores
T amb. (°C)	Cond. Nat. ± 1.5°C	2010	26	26	25.5	27.1	26.5	24.5	28.5	25.5	25.6	25.7
		2011	30.5	24.9	28.9	24.0	27.5	27.6	24.8	25.0	25.3	25.0
T agua (°C)	Cond. Nat. ± 1.5°C	2010	22.1	22.1	24.7	27.6	25.9	26.8	27.1	24.4	25.4	25.7
		2011	28.1	23.8	22.8	23.3	23.4	28.0	22.2	24.9	24.4	24.5
pH (unidades)	Sin variaciones mayores de 0.2 unidades	2010	8.35	8.26	8.31	8.27	8.24	8.28	8.22	8.18	8.18	8.31
		2011	8.12	7.98	7.96	7.75	8.13	7.60	7.55	7.81	8.00	7.94
O. D. (mg/L)	5.0	2010	7.7	8.1	6.5	6.7	6.5	6.5	6.5	6.5	7.7	6.7
		2011	6.5	6.9	8.3	7.2	7.2	7.2	6.4	6.7	6.9	6.7
Salinidad (ppt)	ND	2010	35.8	34.7	35.2	35.3	35	32.4	35.4	35.6	35.5	35.5
		2011	37.3	37.5	36.7	36.6	36.7	36.8	36.5	36.7	36.6	36.6
Grasas y Aceites (mg/L)	ND	2010	0	0.48	0.11	0.85	0.12	0.11	0.77	1.16	0.42	0
		2011	< 4.93	< 4.93	< 4.93	< 4.93	< 4.93	< 4.93	< 4.93	< 4.93	< 4.93	< 4.93

NA = No determinado

**Tabla 11. Resultados de hidrocarburos y metales pesados de los sitios de monitoreo en las costas del Golfo de México en el estado de Tamaulipas.**

Sitio/ Parámetro	CECA Prot. Vida acuática	Año de muestreo	Playa Bagdad	Laguna Madre	La Pesca	Barra del Tordo	Laguna de San Andrés	Laguna de Tamiahua	Rancho Nuevo	Puerto Altamira	Miramar. Campamento Tortuguero	Miramar. Plaza Gobernadores
Hidrocarburos totales del petróleo (mg/L)	0.1 [i]	2010	< 3.3	< 3.3	< 3.3	< 3.3	< 3.3	< 3.3	< 3.3	< 3.3	< 3.3	< 3.3
		2011	< 5.2145	< 5.2145	< 5.2145		< 5.2145				< 5.2145	< 5.2145
Carbón Orgánico Total (mg/L)	ND	2010	822	< 100	1080	1270	1050	1480	< 100	1098	1268	1440
		2011	NA	NA	NA		NA				NA	NA
Cadmio (µg/L)	0.9 [ii]	2010	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0
		2011	< 10.00	< 10.00	< 10.00		< 10.00				< 10.00	< 10.00
Cromo (µg/L)	ND	2010	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0
		2011	NA	NA	NA		NA				NA	NA
Cobre (µg/L)	3.0 [iii]	2010	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0
		2011	< 20.00	< 20.00	< 20.00		< 20.00				< 20.00	< 20.00
Hierro (µg/L)	50	2010	1010.5	< 50.0	202.7	367.8	94.4	591.5	< 50.0	479.75	100.4	68.9
		2011	NA	NA	NA		NA				NA	NA
Níquel (µg/L)	8.0 [iv]	2010	< 10.0	< 10.0	< 10.0	12.03	< 10.0	16.55	< 10.0	11.21	< 10.0	< 10.0
		2011	< 10.00	< 10.00	< 10.00		< 10.00				26.72	< 10.00
Plomo (µg/L)	6.0 [iv]	2010	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0
		2011	< 50.00	< 50.00	< 50.00		< 50.00				< 50.00	< 50.00
Vanadio (µg/L)	ND	2010	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0
		2011	NA	NA	NA						NA	
Zinc (µg/L)	90.0 [iv]	2010	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0
		2011	87.91	64.01	54.35		50.45				< 50.0	< 50.00
Mercurio (µg/L)	0.02 [iv]	2010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	ND	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
		2011	0.00142	< 0.0010	< 0.0010		0.00291				< 0.0010	0.01770
Cobalto (µg/L)	ND	2010	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0
		2011	< 10.00	< 10.00	< 10.00		< 10.00				< 10.00	< 10.00

ND = No determinado

NA = No Analizado

[i] Como Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares (Sólo son una parte de los que se cuantifican con los Totales)

[ii] Como Cd (II)

[iii] La concentración promedio de una hora de esta sustancia, no debe exceder este nivel, más de una vez cada 3 años

[iv] La concentración promedio de 4 días de esta sustancia, no debe exceder este nivel, más de una vez cada 3 años

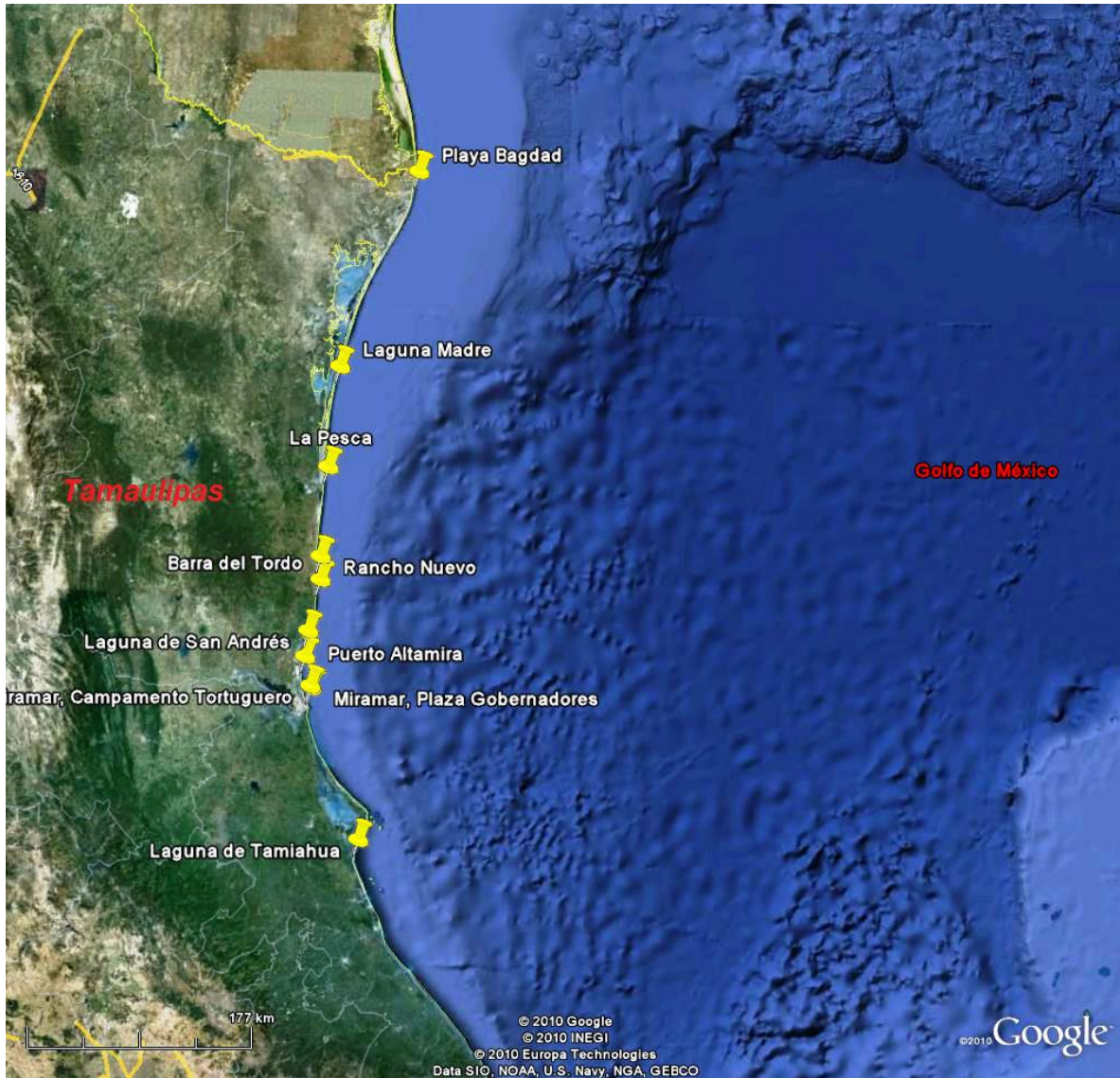


Figura 6. Ubicación de los sitios de muestreo en Tamaulipas.



## TAMAULIPAS



**Panorámica de la Playa de Altamira, Tams., donde se observa gran cantidad de sólidos en suspensión durante el trabajo de muestreo. De acuerdo a resultados, existen problemas con las concentraciones de Hierro, Níquel**



**Se detectaron restos de alquitrán adherido a las rocas y la arena de la playa**



**Panorámica de la Playa Barra del Tordo. Se presentan problemas por las concentraciones de fierro, níquel y grasas y aceites.**



**Se detectaron restos de alquitrán adherido a las rocas y la arena de la playa**



**Panorámica del Campo Tortuguero en La Pesca. Se presentan problemas de fierro y grasas y aceites.**



**Se detectan restos de alquitran sobre la playa**



**Panorámica de la escollera en la Laguna Madre. Se detecta presencia de grasas y aceites.**



**Se detectaron restos de alquitran sobre la playa**



***Panorámica de la Laguna de San Andrés que presenta problemas de fierro y grasas y aceites.***



***Panorámica de Playa Bagdad que presenta una concentración de fierro que rebasa el criterio ecológico para protección de la vida acuática.***

***Se detecta presencia de alquitrán sobre la playa***



***Panorámica de la Playa Miramar. Con presencia de fierro y níquel.***



***Se detectó la presencia de alquitrán sobre la playa***



***Panorámica de la laguna de Tamiahua con presencia de fierro, níquel y grasas y aceites.***



***Se detectó alquitrán sobre la playa***

## 8.2 Estado de Veracruz

En la Tabla 12 se presentan los resultados de cuadro ambiental para los cuatro sitios de monitoreo en el estado de Veracruz. En la Figura 7 se presenta la ubicación de los sitios de monitoreo para este estado.

Como se puede observar, en las Playas de Tecolutla y Tuxpan el oxígeno disuelto es abatido por debajo del Criterio Ecológico para protección de la vida acuática, poniendo en riesgo a la biota circundante al área. Los demás parámetros no exceden los criterios establecidos.

Respecto a los resultados de laboratorio, en la Tabla No. 13 se presentan en color rojo las concentraciones que rebasan los Criterios Ecológicos para protección de la Vida Acuática.

Se observa que el elemento traza Hierro rebasa el criterio en las playas de Coatzacoalcos, Tecolutla y Tuxpan, en tres de cuatro sitios de monitoreo, indicando una contaminación que puede afectar la biota acuática.

El cobre es otro de los parámetros que rebasan el criterio ecológico para protección de la vida acuática, presentando problemas en Tecolutla y Tuxpan (2 de 4 sitios muestreados), presentando un riesgo para la biota presente.

El parámetro indicador grasas y aceites se presenta en las cuatro playas muestreadas (Coatzacoalcos, Tecolutla, Villa del Mar y Tuxpan) denotando una contaminación por desechos municipales (mezcla de industriales y domésticos), aunque no se detectaron películas visibles de éstas. Respecto a los hidrocarburos, se encontraron por debajo del límite de detección del equipo analizador.

Respecto al contenido de Carbono Orgánico Total, se tiene que los 4 sitios presentan tendencias a la eutroficación: Playas de Coatzacoalcos, Tecolutla, Villa del Mar y Tuxpan.

**Tabla 12. Resultados de cuadro ambiental y Grasas y Aceites de los sitios de monitoreo en las costas del Golfo de México en el estado de Veracruz.**

Sitio/Parámetro	CECA Prot. Vida acuática	Año de muestreo	Playa Coatzacoalcos	Playa Tecolutla	Villa del Mar	Playa Tuxpan
T amb. (°C)	Cond. Nat. ± 1.5°C	2010	23.8	24.6	27.8	26.2
		2011	39.7	26.1	25.2	25.1
T agua (°C)	Cond. Nat. ± 1.5°C	2010	23.4	25.9	27.1	25.9
		2011	38.10	24.30	26.8	23.2
pH (unidades)	Sin variaciones mayores de 0.2 unidades	2010	8.19	8.08	8.21	8.1
		2011	8.11	8.88	8.14	7.75
O. D. (mg/L)	5.0	2010	6.45	3.83	6.67	3.86
		2011	6.21	6.67	6.38	6.81
Salinidad (ppt)	ND	2010	31.7	34.4	33.9	33.9
		2011	34.70	34.8	34.5	34.8
Grasas y Aceites (mg/L)	ND	2010	18.34	17.36	14.26	20.23
		2011	3.44	1.72	1.79	2.10

ND = No determinado

**Tabla 13. Resultados de hidrocarburos y metales pesados de los sitios de monitoreo en las costas del Golfo de México en el estado de Veracruz.**

Sitio/Parámetro	CECA Prot. Vida acuática	Año de muestreo	Playa Coatzacoalcos	Playa Tecolutla	Villa del Mar	Playa Tuxpan
Hidrocarburos totales del petróleo (mg/L)	0.1 [i]	2010	< 3.3	< 3.3	< 3.3	< 3.3
		2011	< 5.2145	< 5.2145	< 5.2145	< 5.2145
Carbón Orgánico Total (mg/L)	ND	2010	835	1326	784	1138
		2011	NA	NA	NA	NA
Cadmio (µg/L)	0.9 [ii]	2010	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0
		2011	< 10.00000	< 10.00000	< 10.00000	< 10.00000
Cromo (µg/L)	ND	2010	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0
		2011	NA	NA	NA	NA
Cobre (µg/L)	3.0 [iii]	2010	< 20.0	124.85	< 20.0	59.15
		2011	< 20.00	< 20.00	< 20.00	< 20.00
Hierro (µg/L)	50	2010	51.8	197.5	< 50.0	88.9
		2011	NA	NA	NA	NA
Níquel (µg/L)	8.0 [iv]	2010	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0
		2011	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00
Plomo (µg/L)	6.0 [iv]	2010	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0
		2011	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00
Vanadio (µg/L)	ND	2010	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0
		2011	NA	NA	NA	NA
Zinc (µg/L)	90.0 [iv]	2010	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0
		2011	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00
Mercurio (µg/L)	0.02 [iv]	2010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
		2011	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Cobalto (µg/L)	ND	2010	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0
		2011	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00

ND = No determinado

NA = No Analizado

[i] Como Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares (Sólo son una parte de los que se cuantifican con los Totales)

[ii] Como Cd (II)

[iii] La concentración promedio de una hora de esta sustancia, no debe exceder este nivel, más de una vez cada 3 años

[iv] La concentración promedio de 4 días de esta sustancia, no debe exceder este nivel, más de una vez cada 3 años

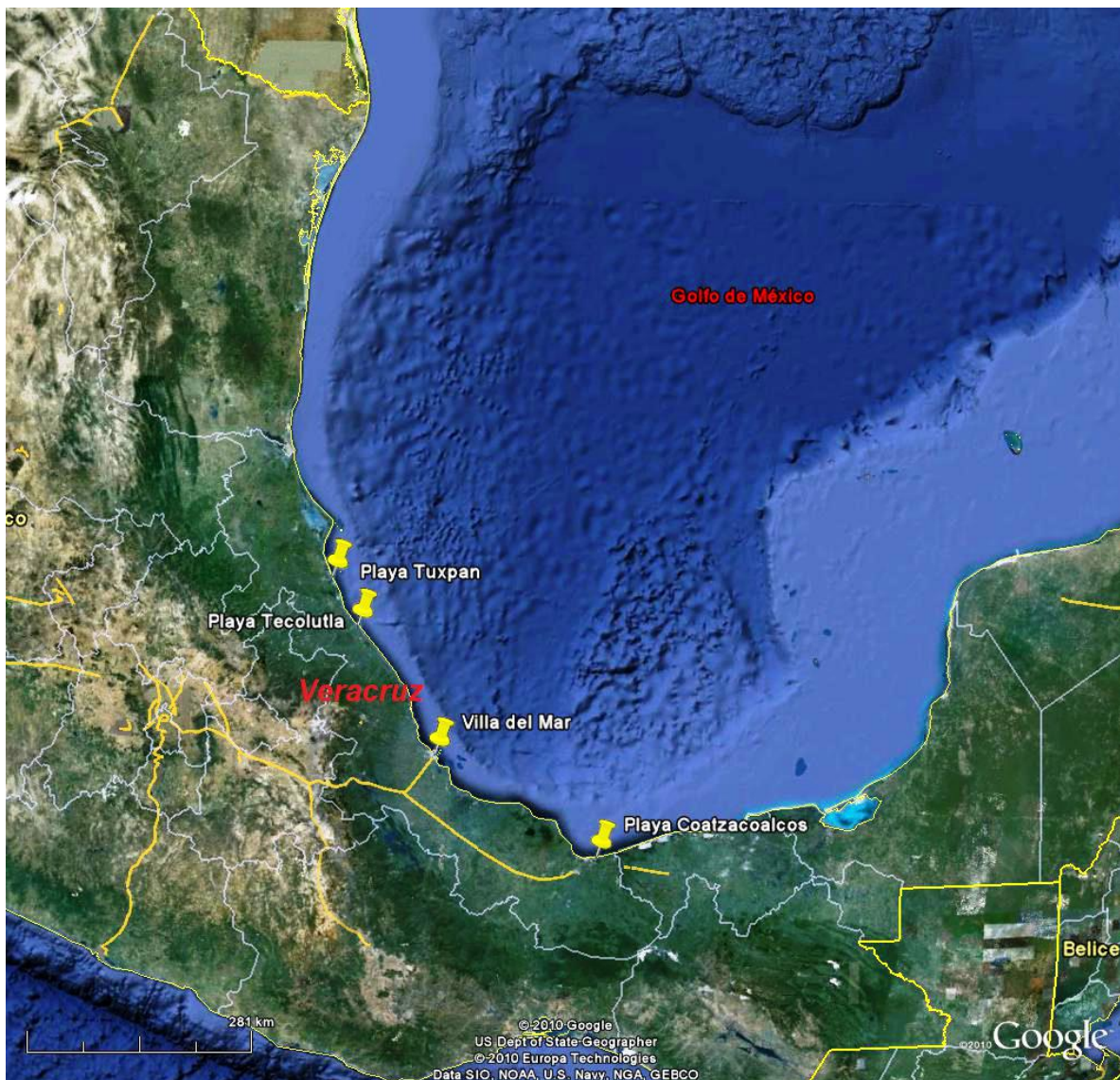


Figura 7. Ubicación de los sitios de monitoreo en el estado de Veracruz.



## VERACRUZ



***Panorámica de la Playa de Coatzacoalcos, Veracruz, con problemas de fierro y grasas y aceites de acuerdo a resultados de laboratorio.***



***Panorámica de la Playa de Villa del Mar, Veracruz, con problemas de presencia de grasas y aceites.***



***Panorámica de la Playa de Tecolutla, Veracruz, presentando fierro, cobre y grasas y aceites.***



***Panorámica de la Playa de Tuxpan, Veracruz, con presencia de fierro, cobre y grasas y aceites.***

### 8.3 Estado de Tabasco

En la Tabla 14 se presentan los resultados de cuadro ambiental para los 11 sitios de monitoreo en el estado de Tabasco. En la Figura 8 se presenta la ubicación de los sitios de monitoreo en este estado.

Como se puede observar, el parámetro indicador grasas y aceites se presenta en Laguna La Machona, Laguna de Mecoacán y El Bari, denotando una contaminación por desechos municipales (mezcla de industriales y domésticos), aunque no se detectaron películas visibles de éstas.

Respecto a los resultados de laboratorio, en la Tabla No. 15 se presentan en color rojo las concentraciones que rebasan los Criterios Ecológicos para protección de la Vida Acuática.

Se observa que el elemento traza Fierro rebasa el criterio en 11 de los 12 sitios de monitoreo (se exceptúa la playa Pico de Oro), indicando una contaminación que puede afectar la biota acuática.

El níquel es otro de los parámetros que rebasan el criterio ecológico para protección de la vida acuática, presentando problemas en 11 de los 12 sitios muestreados (a excepción de la Laguna de Mecoacán), presentando un riesgo para la biota presente.

En la Barra de San Pedro, se presenta cobre en la columna de agua con una concentración de 20.83 µg/L, rebasando el criterio ecológico para protección de la vida acuática, poniendo en riesgo a la biota acuática.

En el sitio denominado El Bari, se presenta una concentración de hidrocarburos de 6.18 mg/L, que indica la presencia de residuos de petróleo, por lo que se convierte en un sitio prioritario a seguir siendo muestreado.

Respecto al Carbono Orgánico Total, los sitios que presentan tendencias a la eutroficación son: Sánchez Magallanes, Laguna La Machona, Barra de Tupilco, Puerto Dos Bocas, Playa Pico de Oro y Fraccionamiento Miramar.

**Tabla 14. Resultados de cuadro ambiental y Grasas y Aceites de los sitios de monitoreo en las costas del Golfo de México en el estado de Tabasco.**

Sitio/ Parámetro	CECA Prot. Vida acuática	Año de muestreo	Sánchez Magallanes	Laguna Pajonal	Laguna La Machona	El Bari	Barra de Tupilco	Puerto Dos Bocas	Laguna Mecoacán	Barra San Pedro	Puerto Chiltepec	Playa Pico de Oro	Desemb. Río Grijalva	Fracc. Miramar
T amb. (°C)	Cond. Nat. ± 1.5°C	2010	27.1	27.2	30.3	26.6	26.5	29.1	23.8	NA	26.7	29.0	29.2	29.0
		2011	31.18	32.68	29.98	29.98	33.08	30.88	38.42	30.38	31.78	34.42	34.42	35.2
T agua (°C)	Cond. Nat. ± 1.5°C	2010	26.1	26.8	25.6	26.0	27.9	27.93	26.2	NA	25.9	27.7	26.8	28.3
		2011	25.87	32.01	26.90	32.01	25.30	25.87	7.81	28.41	28.6	27.10	31.08	26.99
pH (unidades)	Sin variaciones mayores de 0.2 unidades	2010	8.0	7.0	8.0	8.0	8.0	8.0	7.0	NA	7.0	7.0	7.0	7.0
		2011	8.62	8.37	8.39	7.58	8.61	8.21	7.81	7.54	7.23	7.42	7.44	7.35
O. D. (mg/L)	5.0	2010	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		2011	3.82	4.36	4.43	NA	4.45	3.92	7.83	7.33	7.80	8.92	7.33	10.23
Salinidad (ppt)	ND	2010	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA		NA	NA	NA	NA
		2011	NA	NA	NA	NA	NA	NA	24.67	35.53	28.67	35.3	35.47	35.13
Grasas y Aceites (mg/L)	ND	2010	< 5.8	< 5.8	11.45	7.04	< 5.8	< 5.8	6.85		< 5.8	< 5.8	< 5.8	< 5.8
		2011	< 5.8	< 5.8	< 5.8	9.41	< 5.8	< 5.8	< 5.8	7.79	< 5.8	27.05	8.75	< 5.8

ND = No determinado  
NA = No Analizado

**Tabla 15. Resultados de hidrocarburos y metales pesados de los sitios de monitoreo en las costas del Golfo de México en el estado de Tabasco.**

Sitio/ Parámetro	CECA Prot. Vida acuática (mg/L)	Año de muestreo	Sánchez Magallanes	Laguna Pajonal	Laguna La Machona	El Bari	Barra de Tupilco	Puerto Dos Bocas	Laguna Mecoacán	Barra San Pedro	Puerto Chiltepec	Playa Pico de Oro	Desemb. Río Grijalva	Fracc. Miramar
Hidrocarburos totales del petróleo (mg/L)	0.1 [i]	2010	< 3.3	< 3.3	< 3.3	6.18	< 3.3	< 3.3	< 3.3	< 3.3	< 3.3	< 3.3	< 3.3	< 3.3
		2011	< 5.2145	< 5.2145	< 5.2145	< 5.2145	< 5.2145	< 5.2145	< 5.2145	< 5.2145	< 5.2145	< 5.2145	< 5.2145	< 5.2145
Carbón Orgánico Total (mg/L)	ND	2010	840	< 100	188	< 100	870	902	< 100	< 100	< 100	916	< 100	596
		2011	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Cadmio (µg/L)	0.9 [ii]	2010	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0
		2011	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0
Cromo (µg/L)	ND	2010	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0
		2011	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Cobre (µg/L)	3.0 [iii]	2010	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	20.83	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0
		2011	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0
Hierro (µg/L)	50	2010	614	1420.5	1645.5	951.5	412	412	729	20704	1920.5	< 50.0	702.5	2461
		2011	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Níquel (µg/L)	8.0 [iv]	2010	27.02	15.91	12.4	11.15	13.26	13.26	< 10.0	25.14	14.95	18.96	21.24	20.82
		2011	< 10.00	46.48	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	18.31	12.30	< 10.00	10.65
Plomo (µg/L)	6.0 [iv]	2010	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0
		2011	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00
Vanadio (µg/L)	ND	2010	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0
		2011	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Zinc (µg/L)	90.0 [iv]	2010	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0
		2011	< 50.00	87.26	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00	200.60	< 50.00	53.00
Mercurio (µg/L)	0.02 [iv]	2010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	ND	< 0.0010
		2011	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Cobalto (µg/L)	ND	2010	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0
		2011	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00

ND = No Determinado

NA = No Analizado

[i] Como Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares (Sólo son una parte de los que se cuantifican con los Totales)

[ii] Como Cd (II)

[iii] La concentración promedio de una hora de esta sustancia, no debe exceder este nivel, más de una vez cada 3 años

[iv] La concentración promedio de 4 días de esta sustancia, no debe exceder este nivel, más de una vez cada 3 años



*Figura 8. Ubicación de los sitios de monitoreo en el estado de Tabasco.*



Barra de Tupilco



***Panorámica de la Playa en Barra de Tupilco, que presenta concentraciones de fierro y níquel***



El Bari



***Panorámica de la Playa El Bari, que presenta problemas de grasas y aceites, fierro, níquel e hidrocarburos en columna de agua.***



Laguna La Machona



***Panorámica de la Laguna La Machona, con problemas de grasas y aceites, fierro, níquel.***



Laguna Pajonal



***Panorámica de la Laguna Pajonal, con presencia de fierro y níquel.***



Playa Sánchez  
Magallanez



***Panorámica de la Playa Sánchez Magallanes con presencia de fierro y níquel.***



Puerto Dos Bocas



***Panorámica de la Playa en Puerto Dos Bocas, con problemas de fierro y níquel.***



## 8.4 Estado de Campeche

En la Tabla 16 se presentan los resultados de cuadro ambiental para los 9 sitios de monitoreo en el estado de Campeche. En la Figura 9 se presenta la ubicación de los sitios de monitoreo en este estado.

Como se puede observar, el parámetro indicador grasas y aceites se presenta en la columna de agua de Isla Aguada, uno de los 9 sitios muestreados, denotando una contaminación por desechos municipales (mezcla de industriales y domésticos), aunque no se detectaron películas visibles de éstas.

Respecto a los resultados de laboratorio, en la Tabla No. 17 se presentan en color rojo las concentraciones que rebasan los Criterios Ecológicos para protección de la Vida Acuática.

Se observa que el elemento traza Fierro rebasa el criterio en 4 de los 9 sitios de monitoreo (Champotón, Emiliano Zapata, Isla Aguada y Zacatal), indicando una contaminación que puede afectar la biota acuática.

El níquel es otro de los parámetros que rebasan el criterio ecológico para protección de la vida acuática, presentando problemas en 6 de los 9 sitios muestreados (Emiliano Zapata, Isla Aguada, Isla Arena, Punta Xen, Sambacuy y Zacatal), presentando un riesgo para la biota presente.

En el sitio denominado Playa Bonita, se presenta una concentración de hidrocarburos de 3.74 mg/L, que indica la presencia de residuos de petróleo, por lo que se convierte en un sitio prioritario a seguir siendo muestreado.

Respecto al Carbono Orgánico Total, se tiene que los sitios que presentan tendencias a la eutroficación son: Champotón, Isla Aguada, Isla Arena, Playa Bonita, Punta Xen, Payucan y Sambacuy.

**Tabla 16. Resultados de cuadro ambiental y Grasas y Aceites de los sitios de monitoreo en las costas del Golfo de México en el estado de Campeche.**

Sitio/ Parámetro	CECA Prot. Vida acuática	Año de muestreo	Champotón	Emiliano Zapata	Isla Aguada	Isla Arena	Playa Bonita	Punta Xen	Payucan	Sabancuy	Zacatal
T amb. (°C)	Cond. Nat. ± 1.5°C	2010	25.5	24.5	30.0	28.5	28.0	30.0	27.5	30.5	28.0
		2011	32.5	34.0	35.7	33.3	42.0	34.0	33.5	33.1	35.5
T agua (°C)	Cond. Nat. ± 1.5°C	2010	25.5	23.9	25.6	26.6	26.2	25.5	25.5	25.9	25.4
		2011	31.2	29.3	30.6	29.8	30.0	30.2	31.0	30.7	29.8
pH (unidades)	Sin variaciones mayores de 0.2 unidades	2010	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
		2011	8.05	8.11	8.25	9.93	8.02	8.10	8.16	8.21	14.00
O. D. (mg/L)	5.0	2010	7.78	7.51	8.57	8.38	7.57	8.22	5.79	7.9	8.4
		2011	6.66	5.40	6.95	1.94	6.87	5.80	7.06	5.80	5.61
Salinidad (ppt)	ND	2010	17.4	27.5	21.3	32.5	31.4	32.3	32.8	25.9	34.0
		2011	22.7	34.8	35.9	35.6	35.8	36.2	36.2	36.2	31.5
Grasas y Aceites (mg/L)	ND	2010	< 1.56	< 1.56	3.13	< 1.56	< 1.56	< 1.56	< 1.56	< 1.56	< 1.56
		2011	2.24	2.95	9.58	17.50	<1.56	12.56	18.05	20.43	2.53

ND = No determinado

**Tabla 17. Resultados de hidrocarburos y metales pesados de los sitios de monitoreo en las costas del Golfo de México en el estado de Campeche.**

Sitio/ Parámetro	CECA Prot. Vida acuática	Año de muestreo	Champotón	Emiliano Zapata	Isla Aguada	Isla Arena	Playa Bonita	Punta Xen	Payucan	Sabancuy	Zacatal
Hidrocarburos totales del petróleo (mg/L)	0.1 [i]	2010	< 3.3	< 3.3	< 3.3	< 3.3	3.74	< 3.3	< 3.3	< 3.3	< 3.3
		2011	< 5.2145		< 5.2145	< 5.2145	< 5.2145	< 5.2145	< 5.2145	< 5.2145	< 5.2145
Carbón Orgánico Total (mg/L)	ND	2010	860	< 100	288	1220	816	1156	962	177.5	< 100
		2011	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Cadmio (µg/L)	0.9 [ii]	2010	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0
		2011	< 10.00000		< 10.00000	< 10.00000	< 10.00000	< 10.00000	< 10.00000	< 10.00000	< 10.00000
Cromo (µg/L)	ND	2010	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0
		2011	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Cobre (µg/L)	3.0 [iii]	2010	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0
		2011	< 20.00		< 20.00	< 20.00	< 20.00	< 20.00	< 20.00	< 20.00	< 20.00
Hierro (µg/L)	50	2010	70.9	6445	88.35	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	2042
		2011	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Níquel (µg/L)	8.0 [iv]	2010	< 10.0	56.7	22.73	13.71	< 10.0	12.79	< 10.0	14.62	27.08
		2011	< 10.00		< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	18.31
Plomo (µg/L)	6.0 [iv]	2010	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0
		2011	< 50.00		< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00
Vanadio (µg/L)	ND	2010	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0
		2011	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Zinc (µg/L)	90.0 [iv]	2010	< 50.0	58.25	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0
		2011	< 50.00		101.70	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00	53.21
Mercurio (µg/L)	0.02 [iv]	2010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	0.00175	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
		2011	0.01720		< 0.0010	< 0.0010	0.01554	0.00377		0.00336	< 0.0010
Cobalto (µg/L)	ND	2010	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0
		2011	< 10.00		< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00

ND = No determinado

NA = No Analizado

[i] Como Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares (Sólo son una parte de los que se cuantifican con los Totales)

[ii] Como Cd (II)

[iii] La concentración promedio de una hora de esta sustancia, no debe exceder este nivel, más de una vez cada 3 años

[iv] La concentración promedio de 4 días de esta sustancia, no debe exceder este nivel, más de una vez cada 3 años

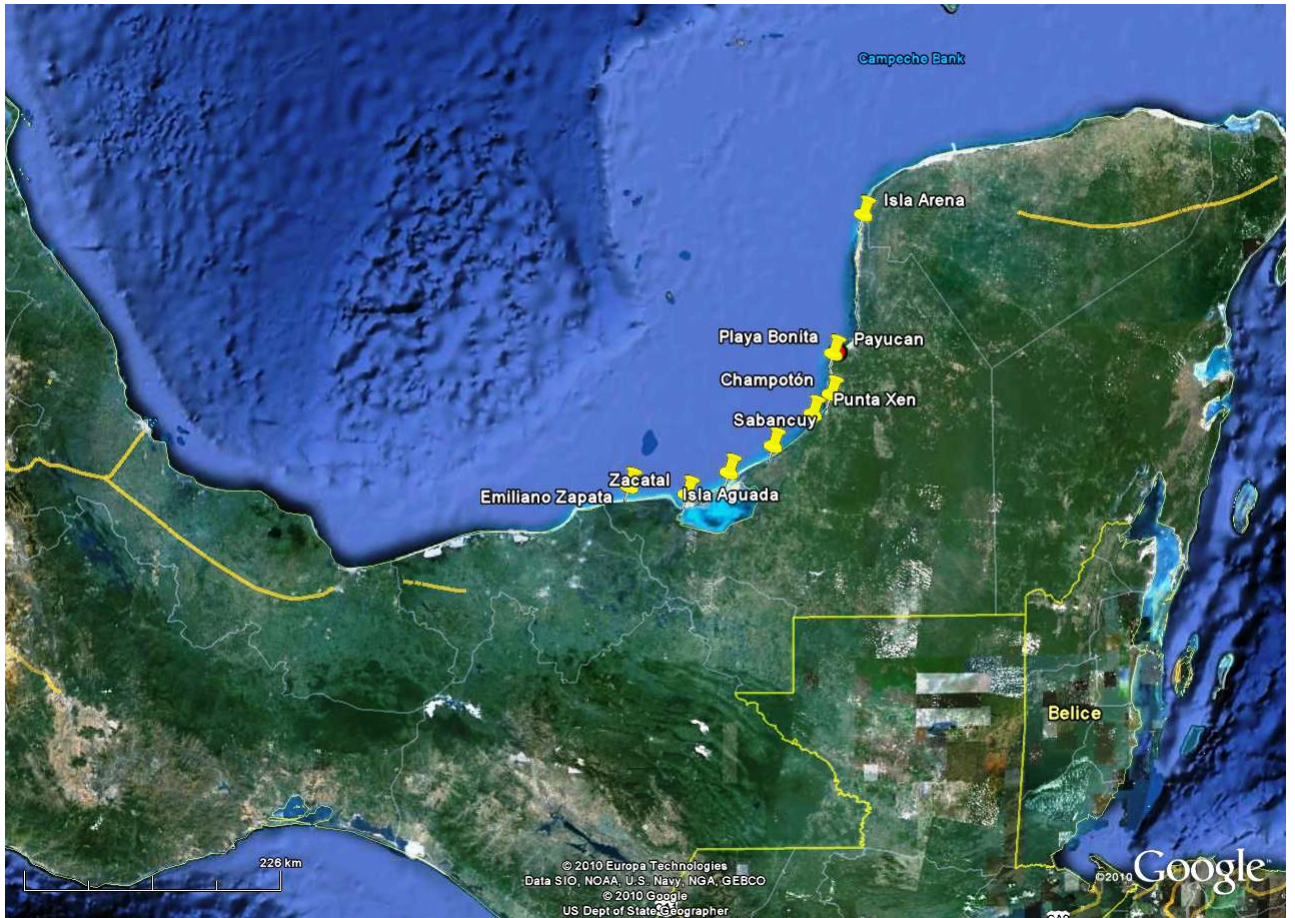
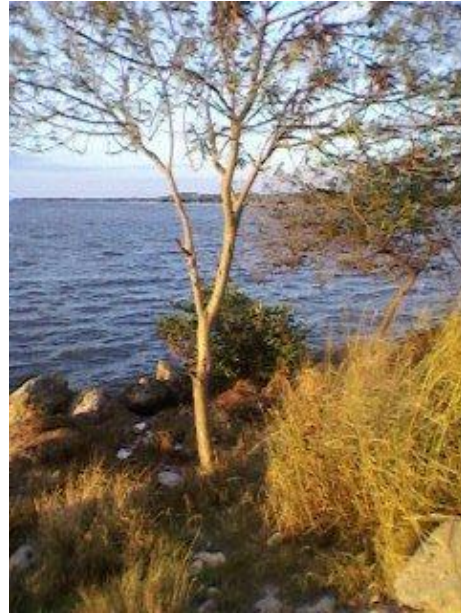


Figura 9. Ubicación de los sitios de monitoreo en el estado de Campeche.

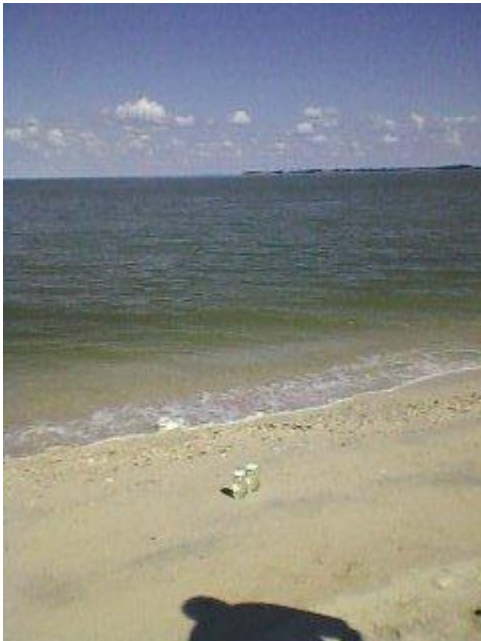
**CAMPECHE**



***Panorámica de la Playa Zacatal, con problemas de hierro y níquel.***



***Panorámica de la Playa Champotón, con presencia de hierro.***



***Panorámica de la Playa Isla Aguada, con presencia de grasas y aceites, hierro y níquel.***



***Panorámica de la Playa en Punta Xen, con presencia de níquel.***

## 8.5 Estado de Yucatán

En la Tabla 18 se presentan los resultados de cuadro ambiental para los 9 sitios de monitoreo en el estado de Yucatán. En la Figura 10 se presenta la ubicación de los sitios de monitoreo para este estado.

Como se puede observar, el parámetro indicador grasas y aceites se presenta en la columna de agua de 6 de los 9 sitios muestreados (Celestum, Chabihau, Dzilam de Bravo, Coloradas, San Felipe y Sisal) denotando una contaminación por desechos municipales (mezcla de industriales y domésticos), aunque no se detectaron películas visibles de éstas.

Respecto a los resultados de laboratorio, en la Tabla No. 19 se presentan en color rojo las concentraciones que rebasan los Criterios Ecológicos para protección de la Vida Acuática.

Se observa que el elemento traza Fierro rebasa el criterio en 6 de los 9 sitios de monitoreo (Dzilam de Bravo, El Cuyo, Coloradas, San Felipe, Sisal y Telchac), indicando una contaminación que puede afectar la biota acuática.

El níquel es otro de los parámetros que rebasan el criterio ecológico para protección de la vida acuática, presentando problemas en 3 de los 9 sitios muestreados (El Cuyo, Coloradas y San Felipe), presentando un riesgo para la biota presente.

En el sitio denominado El Cuyo, se presenta una concentración de hidrocarburos de 7.01 mg/L, que indica la presencia de residuos de petróleo, por lo que se convierte en un sitio prioritario a seguir siendo muestreado.

Por otro lado, y aunque no existe un criterio ecológico para protección de la vida acuática para Cromo total, las concentraciones detectadas (12.72 µg/L en El Cuyo, 29.37 µg/L en Coloradas y 12.48 µg/L en San Felipe) indican un riesgo para la biota acuática, ya que este metal es bioacumulable por la biota acuática.

Respecto al Carbono Orgánico Total, se tiene que los sitios que presentan tendencias a la eutroficación son: Celestum, Chabihau, Dzilam de Bravo, El Cuyo, Coloradas, Progreso, San Felipe, Sisal y Telchac.

**Tabla 18. Resultados de cuadro ambiental y Grasas y Aceites de los sitios de monitoreo en las costas del Golfo de México en el estado de Yucatán.**

Sitio/ Parámetro	CECA Prot. Vida acuática	Año de muestreo	Celestum	Chabihau	Dzilam de Bravo	El Cuyo	Coloradas	Progreso	San Felipe	Sisal	Telchac
T amb. (°C)	Cond. Nat. ± 1.5°C	2010	25.0	24.1	24.1	25.7	23.1	29.0	28.1	24.7	24.1
		2011	32.7	36.1	34.1	39.1	36.1	33.1	34.1	29.7	39.1
T agua (°C)	Cond. Nat. ± 1.5°C	2010	24.5	24.6	24.6	25.1	25.1	26.5	24.9	24.7	25.3
		2011	29.8	28.1	28.1	29.1	29.1	28.1	32.1	29.1	29.1
pH (unidades)	Sin variaciones mayores de 0.2 unidades	2010	7.0	8.0	8.0	8.0	8.0	7.0	8.0	7.0	7.0
		2011	8.48	6.89	7.00	7.71	7.81	7.49	7.76	8.36	7.34
O. D. (mg/L)	5.0	2010	7.67	7.81	7.81	7.35	7.1	7.51	8.36	6.24	6.59
		2011	7.48	6.91	6.65	6.31	7.21	6.70	7.39	7.33	7.02
Salinidad (ppt)	ND	2010	35.8	37.0	35.4	35.5	37.1	36.1	38.3	30.9	35.3
		2011	33.2	36.9	35.2	37.5	37.4	37.3	38.2	33.1	37.4
Grasas y Aceites (mg/L)	ND	2010	3.5	11.72	2.23	< 1.56	3.8	< 1.56	14.17	3.78	< 1.56
		2011	<1.56	4.18	6.00	<1.56	14.77	1.60	3.49	<1,56	3.56

ND = No determinado

**Tabla 19. Resultados de hidrocarburos y metales pesados de los sitios de monitoreo en las costas del Golfo de México en el estado de Yucatán.**

Sitio/ Parámetro	CECA Prot. Vida acuática	Año de muestreo	Celestum	Chabihau	Dzilam de Bravo	El Cuyo	Coloradas	Progreso	San Felipe	Sisal	Telchac
Hidrocarburos totales del petróleo (mg/L)	0.1 [i]	2010	< 3.3	< 3.3	ND	7.01	< 3.3	< 3.3	< 3.3	< 3.3	< 3.3
		2011	< 5.2145	43.06400	< 5.2145	< 5.2145	< 5.2145	< 5.2145	< 5.2145	< 5.2145	< 5.2145
Carbón Orgánico Total (mg/L)	ND	2010	1350	1528	1230	1616	1750	844	1806	312	1330
		2011	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Cadmio (µg/L)	0.9 [ii]	2010	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0
		2011	< 10.00000	< 10.00000	< 10.00000	< 10.00000	< 10.00000	< 10.00000	< 10.00000	< 10.00000	< 10.00000
Cromo (µg/L)	ND	2010	< 10.0	< 10.0	< 10.0	12.72	29.37	< 10.0	12.48	< 10.0	< 10.0
		2011	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Cobre (µg/L)	3.0 [iii]	2010	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0
		2011	< 20.00	< 20.00	< 20.00	< 20.00	< 20.00	< 20.00	< 20.00	< 20.00	< 20.00
Hierro (µg/L)	50	2010	< 50.0	< 50.0	70.2	124.8	172.1	< 50.0	111.7	117.7	50.8
		2011	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Níquel (µg/L)	8.0 [iv]	2010	< 10.0	< 10.0	< 10.0	14.3	16.66	< 10.0	13.29	< 10.0	< 10.0
		2011	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00
Plomo (µg/L)	6.0 [iv]	2010	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0
		2011	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00
Vanadio (µg/L)	ND	2010	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0
		2011	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Zinc (µg/L)	90.0 [iv]	2010	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0
		2011	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00	105.90	< 50.00
Mercurio (µg/L)	0.02 [iv]	2010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	0.00122	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	ND
		2011	< 0.0010	0.02530	0.00751	< 0.0010	0.00433	0.00160	< 0.0010	< 0.0010	0.00599
Cobalto (µg/L)	ND	2010	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0
		2011	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00

ND = No determinado

NA = No Analizado

[i] Como Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares (Sólo son una parte de los que se cuantifican con los Totales)

[ii] Como Cd (II)

[iii] La concentración promedio de una hora de esta sustancia, no debe exceder este nivel, más de una vez cada 3 años

[iv] La concentración promedio de 4 días de esta sustancia, no debe exceder este nivel, más de una vez cada 3 años





*Figura 10. Ubicación de los sitios de monitoreo en el estado de Yucatán*

## YUCATÁN



***Panorámica de la playa en Celestum, con problemas de grasas y aceites.***



***Panorámica de la playa en Chabihau, con presencia de grasas y aceites***



***Panorámica de la playa en Dzilam de Bravo, con presencia de grasas y aceites, fierro.***



***Panorámica de la playa El Cuyo, con problemas de fierro, níquel, cromo e hidrocarburos en columna de agua.***



***Panorámica de la playa Las Coloradas, con presencia de grasas y aceites, fierro, níquel y cromo.***



***Panorámica de la playa Puerto Progreso sin problemas aparentes de contaminación.***

## 8.6 Estado de Quintana Roo

En la Tabla 20 se presentan los resultados de cuadro ambiental para los 9 sitios de monitoreo en el estado de Quintana Roo. En la Figura 11 se presenta la ubicación de los sitios de monitoreo para este estado.

Como se puede observar, el parámetro indicador grasas y aceites se presenta en la columna de agua de 4 de los 9 sitios muestreados (Bocana de Chacmochuc, Playa Linda, Playa Maya y Playa Niño) denotando una contaminación por desechos municipales (mezcla de industriales y domésticos), aunque no se detectaron películas visibles de éstas.

En Playa Niño se detectó un abatimiento de oxígeno (2.4 mg/L) que pone en riesgo la biota acuática.

Respecto a los resultados de laboratorio, en la Tabla No. 21 se presentan en color rojo las concentraciones que rebasan los Criterios Ecológicos para protección de la Vida Acuática.

Se observa que el elemento traza Fierro rebasa el criterio en 4 de los 9 sitios de monitoreo (Cozumel, Playa del Carmen, Playa Linda y Playa Norte), indicando una contaminación que puede afectar la biota acuática.

El níquel es otro de los parámetros que rebasan el criterio ecológico para protección de la vida acuática, presentando problemas en los 9 sitios muestreados en el estado, presentando un riesgo para la biota presente.

En el sitio denominado Playa Maya, se presenta una concentración de hidrocarburos de 3.34 mg/L, que indica la presencia de residuos de petróleo, por lo que se convierte en un sitio prioritario a seguir siendo muestreado.

Respecto al Carbono Orgánico Total, se tiene que los sitios que presentan tendencias a la eutroficación son: Bocana de Chacmochuc, Cozumel, El Rey, Isla Blanca, Playa del Carmen, Playa Linda, Playa Maya, Playa Niño y Playa Norte.

**Tabla 20. Resultados de cuadro ambiental y Grasas y Aceites de los sitios de monitoreo en las costas del Golfo de México en el estado de Quintana Roo.**

Sitio/ Parámetro	CECA Prot. Vida acuática	Año de muestreo	Bocana de Chacmochuc	Cozumel	El Rey	Playa del Carmen	Playa Linda	Playa Maya	Playa Niño	Playa Norte
T amb. (°C)	Cond. Nat. ± 1.5°C	2010	26.7	27.0	27.0	28.5	26.7	29.0	27.4	27.0
		2011	29.2	31.5	30.1	31.9	32.2	31.1	30.1	30.1
T agua (°C)	Cond. Nat. ± 1.5°C	2010	23.4	27.4	17.8	25.1	26.5	27.5	24.9	26.0
		2011	28.5	28.5	28.8	29.3	30.2	28.7	29.5	28.8
pH (unidades)	Sin variaciones mayores de 0.2 unidades	2010	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
		2011	8.02	8.17	8.13	8.17	8.18	8.13	8.20	8.19
O. D. (mg/L)	5.0	2010	5.27	6.79	6.59	6.54	7.19	6.69	2.4	6.69
		2011	2.06	6.38	6.64	7.00	7.53	6.79	7.11	6.35
Salinidad (ppt)	ND	2010	34.5	34.0	33.8	32.5	30.8	31.7		34.0
		2011	36.2	38.6	38.6	36.9	36.8	37.4	37.5	38.7
Grasas y Aceites (mg/L)	ND	2010	1.7	< 1.56	< 1.56	< 1.56	3.5	6.11	2.07	< 1.56
		2011	4.89	<1.56	10.00	20.27	<1.56	12.86	6.32	13.89

ND = No Determinado

**Tabla 21. Resultados de hidrocarburos y metales pesados de los sitios de monitoreo en las costas del Golfo de México en el estado de Quintana Roo.**

Sitio/ Parámetro	CECA Prot. Vida acuática	Año de muestreo	Bocana de Chacmochuc	Cozumel	El Rey	Playa del Carmen	Playa Linda	Playa Maya	Playa Niño	Playa Norte
Hidrocarburos totales del petróleo (mg/L)	0.1 [i]	2010	< 3.3	< 3.3	< 3.3	< 3.3	< 3.3	3.34	< 3.3	< 3.3
		2011	< 5.2145	< 5.2145		< 5.2145	< 5.2145	< 5.2145	< 5.2145	
Carbón Orgánico Total (mg/L)	ND	2010	272	1408	1004	838	764	804	842	984
		2011	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Cadmio (µg/L)	0.9 [ii]	2010	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0
		2011	< 10.00000	< 10.00000		< 10.00000	< 10.00000	< 10.00000	< 10.00000	< 10.00000
Cromo (µg/L)	ND	2010	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0
		2011	NA	NA		NA	NA	NA	NA	
Cobre (µg/L)	3.0 [iii]	2010	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0	< 20.0
		2011	< 20.00	< 20.00		< 20.00	< 20.00	< 20.00	< 20.00	< 20.00
Hierro (µg/L)	50	2010	< 50.0	60	< 50.0	69.95	55.4	< 50.0	< 50.0	74.55
		2011	NA	NA		NA	NA	NA	NA	
Níquel (µg/L)	8.0 [iv]	2010	12.08	10.41	10.25	13.21	12.26	20.55	12.77	17.07
		2011	< 10.00	< 10.00		< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00
Plomo (µg/L)	6.0 [iv]	2010	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0
		2011	< 50.00	< 50.00		< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00
Vanadio (µg/L)	ND	2010	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0
		2011	NA	NA		NA	NA	NA	NA	
Zinc (µg/L)	90.0 [iv]	2010	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0	< 50.0
		2011	< 50.00	< 50.00		< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00	< 50.00
Mercurio (µg/L)	0.02 [iv]	2010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
		2011	< 0.0010	0.01109		0.01109	< 0.0010	0.00917	< 0.0010	
Cobalto (µg/L)	ND	2010	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0
		2011	< 10.00	< 10.00		< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00

ND = No determinado

NA = No Analizado

[i] Como Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares (Sólo son una parte de los que se cuantifican con los Totales)

[ii] Como Cd (II)

[iii] La concentración promedio de una hora de esta sustancia, no debe exceder este nivel, más de una vez cada 3 años

[iv] La concentración promedio de 4 días de esta sustancia, no debe exceder este nivel, más de una vez cada 3 años



Figura 11. Ubicación de los sitios de monitoreo en el estado de Quintana Roo

## QUINTANA ROO



*Panorámica de la playa Chacmochuc con presencia de grasas y aceites y níquel.*



*Panorámica de la playa Isla Blanca con presencia de níquel.*





***Panorámica de la playa norte de Isla Mujeres, con presencia de níquel***



***Panorámica de Playa del Carmen, con problemas de níquel.***

## 9. CONCLUSIONES

En la Figura 12 se presenta el mapa de riesgo por contaminación con hidrocarburos en la zona costera del Golfo de México y Mar Caribe.



*Figura 12. Mapa de riesgo por contaminación por hidrocarburos en 12 sitios del Golfo de México.*

Como se discutió anteriormente, en los diez sitios del estado de Tamaulipas no se detectó presencia de hidrocarburos en la columna de agua. Sin embargo, la presencia de alquitrán en las playas y el contenido de grasas y aceites indica que estos sitios deben continuar en el programa de monitoreo.

El Bari en Tabasco, Playa Bonita en Campeche, El Cuyo en Yucatán y Playa Maya en Quintana Roo, son sitios que presentaron hidrocarburos en la columna de agua, lo que los convierte en sitios prioritarios de atención por contaminación por petróleo.

Los cuatro sitios que presentaron hidrocarburos en la columna de agua representan un 7.5% de los 53 sitios en total. Si se consideran los 10 sitios del estado de Tamaulipas, representaría el 18.8%.



*Yucatán*: 6 sitios: Dzilam de Bravo, El Cuyo, Coloradas, San Felipe, Sisal y Telchac.

*Quintana Roo*: 4 sitios: Cozumel, Playa del Carmen, Playa Linda y Playa Norte.

Si se calcula el porcentaje del total de sitios afectados, se tiene que:

Estado	No. de sitios afectados	% de sitios afectados
Tamaulipas	8	15.09
Veracruz	3	5.66
Tabasco	11	20.75
Campeche	4	7.55
Yucatán	6	11.32
Quintana Roo	4	7.55
<b>% de sitios afectados</b>	<b>36</b>	<b>67.92</b>

Por lo tanto, el 67.92% de sitios del total se encuentran afectados por la presencia de fierro en la columna de agua.

En la Figura 14, se presenta el mapa de riesgo por presencia de níquel en los sitios monitoreados en el Golfo de México y Mar Caribe.

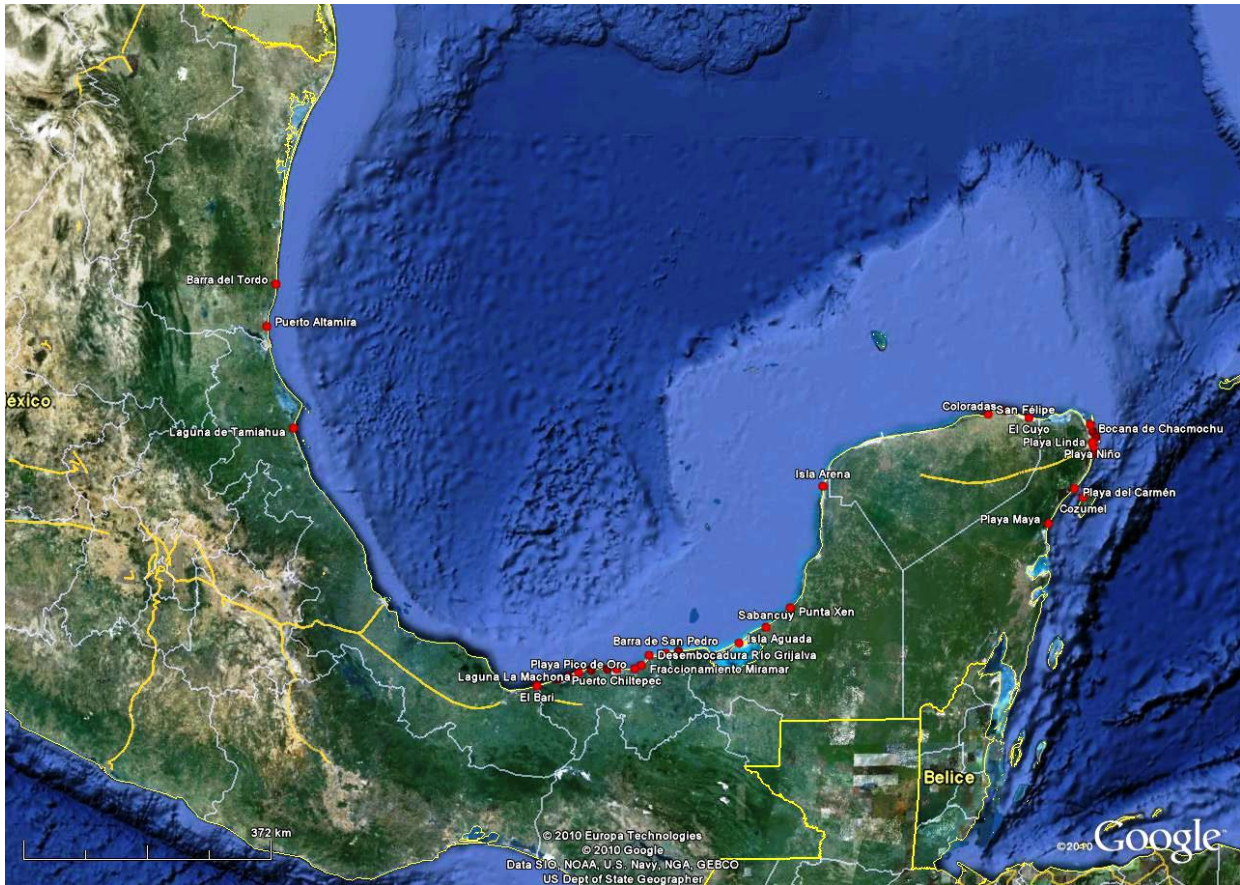


Figura 14. Mapa de riesgo por presencia de níquel en las costas del Golfo de México y Mar Caribe.

Los sitios afectados son:

*Tamaulipas*: 3 sitios: Barra del Tordo, Laguna de Tamiahua y Puerto de Altamira.

*Tabasco*: 11 sitios: Sánchez Magallanes, Laguna Pajonal, Laguna La Machona, El Bari, Barra de Tupilco, Puerto Dos Bocas, Laguna de Mecoacán, Puerto Chiltepec, Desembocadura del río Grijalva, Barra de San Pedro y Fraccionamiento Miramar.

*Campeche*: 6 sitios: Emiliano Zapata, Isla Aguada, Isla Arena, Punta Xen, Sambacuy y Zacatal.

*Yucatán*: 3 sitios: El Cuyo, Coloradas y San Felipe.

*Quintana Roo*: 9 sitios: Bocana de Chacmochuc, Cozumel, El Rey, Isla Blanca, Playa del Carmen, Playa Linda, Playa Maya, Playa Niño y Playa Norte.

Si se calcula el porcentaje del total de sitios muestreados, se tiene que:

Estado	No. de sitios afectados	% de sitios afectados
Tamaulipas	3	5.66
Tabasco	11	20.75
Campeche	6	11.32
Yucatán	3	5.66
Quintana Roo	9	16.98
<b>% de sitios afectados</b>	<b>32</b>	<b>60.37</b>

Por lo tanto, el 60.37% de sitios del total se encuentran afectados por la presencia de níquel en la columna de agua.

En la Figura 15, se presenta el mapa de riesgo por abatimiento de oxígeno disuelto en los sitios monitoreados en el Golfo de México y Mar Caribe.



*Figura 15. Mapa de riesgo por abatimiento de oxígeno disuelto en las costas del Golfo de México y Mar Caribe.*

En este caso, solamente dos sitios del estado de Veracruz presentaron abatimiento en la columna de agua. Estos sitios son las playas de Tecolutla y Tuxpan, que representan el 3.77% del total de sitios monitoreados.

En la Figura 16 se presenta el mapa de riesgo por presencia de cobre en los sitios monitoreados en el Golfo de México y Mar Caribe.



Figura 16. Mapa de riesgo por presencia de cobre en las costas del Golfo de México y Mar Caribe.

Los sitios afectados son:

Veracruz: 2 sitios: Playas de Tecolutla y Tuxpan

Tabasco: 1 sitio: Barra de San Pedro.

Si se calcula el porcentaje del total de sitios muestreados, se tiene que:

Estado	No. de sitios afectados	% de sitios afectados
Veracruz	2	3.77
Tabasco	1	1.88
% de sitios afectados	<b>3</b>	<b>5.65</b>

Por lo tanto, el 5.65% de sitios del total se encuentran afectados por la presencia de cobre en la columna de agua.

En la Figura 17 se presenta el mapa de riesgo por presencia de cromo en los sitios monitoreados en el Golfo de México y Mar Caribe.



Figura 17. Mapa de riesgo por presencia de cromo en las costas del Golfo de México y Mar Caribe.

Los sitios afectados son:

Yucatán: 3 sitios: El Cuyo, Coloradas y San Felipe, lo que representa el 5.66% de sitios afectados por este elemento.

Estado	No. de sitios afectados	% de sitios afectados
Yucatán	3	5.66
% de sitios afectados	<b>3</b>	<b>5.66</b>



En la Figura 18 se presenta el mapa de riesgo por presencia de grasas y aceites en los sitios monitoreados en el Golfo de México y Mar Caribe.



Figura 18. Mapa de riesgo por presencia de grasas y aceites en las costas del Golfo de México y Mar Caribe.

Los sitios afectados son:

**Tamaulipas.** 8 sitios: Laguna Madre, La Pesca, Barra del Tordo, Laguna de San Andrés, Laguna de Tamiahua, Rancho Nuevo, Miramar Campo Tortuguero y Miramar Plaza Gobernadores.

**Veracruz.** 4 sitios: Playas de Coatzacoalcos, Tecolutla, Villa del Mar y Tuxpan.

**Tabasco:** 3 sitios: Laguna La Machona, Laguna de Mecoacán y El Bari.

**Campeche:** 1 sitio: Isla Aguada.

**Yucatán:** 6 sitios: Celestum, Chabihau, Dzilam de Bravo, Coloradas, San Felipe y Sisal.

Quintana Roo: 4 sitios: Bocana de Chacmochuc, Playa Linda, Playa Maya y Playa Niño.

Si se calcula el porcentaje del total de sitios muestreados, se tiene que:

Estado	No. de sitios afectados	% de sitios afectados
Tamaulipas	8	15.09
Tabasco	4	7.55
Campeche	1	1.88
Yucatán	6	11.32
Quintana Roo	4	7.55
% de sitios afectados	<b>23</b>	<b>43.39</b>

Por lo tanto, el 43.39% de sitios del total se encuentran afectados por la presencia de grasas y aceites en la columna de agua.

En la Figura 19 se presenta el mapa de riesgo por Carbono Orgánico Total en los sitios monitoreados en el Golfo de México y Mar Caribe.

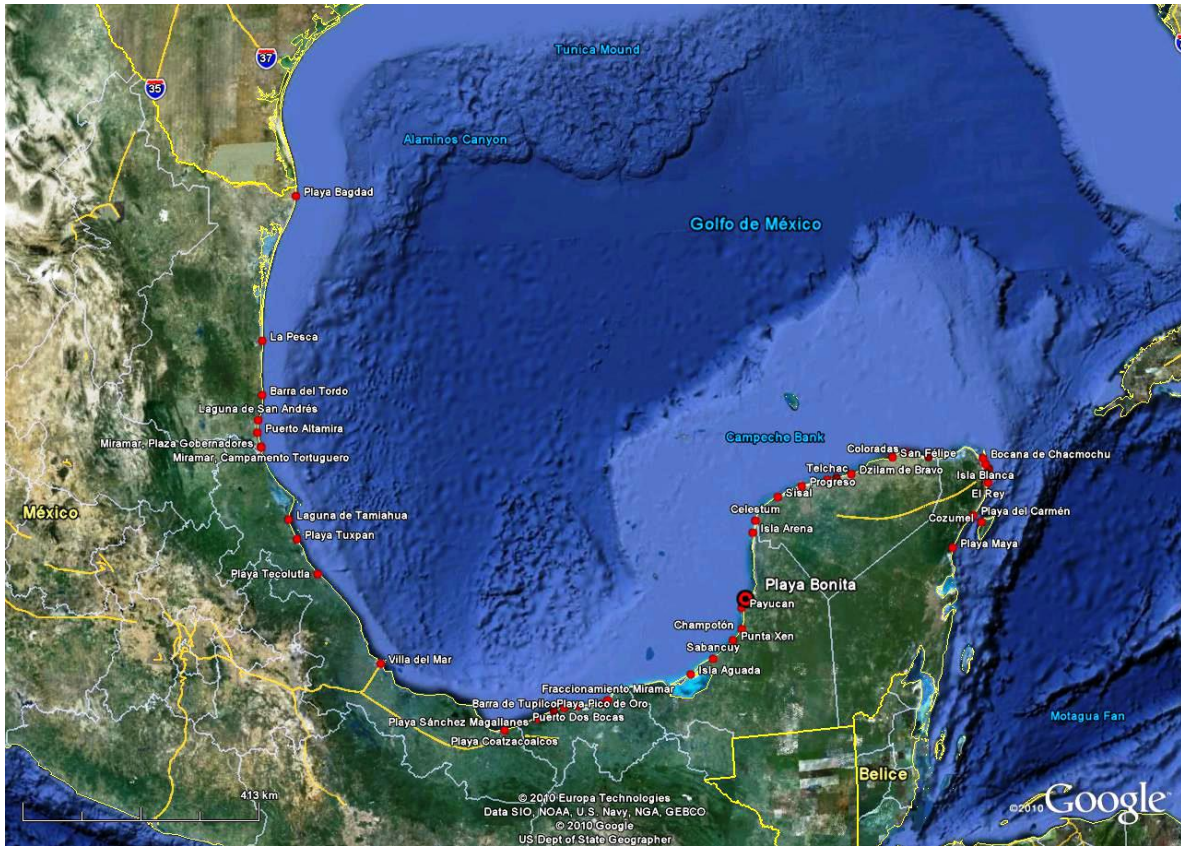


Figura 19. Mapa de riesgo por concentración de Carbono Orgánico Total en las costas del Golfo de México y Mar Caribe.

Los sitios afectados son:

**Tamaulipas:** 8 sitios: Playa Bagdad, La Pesca, Barra del Tordo, Laguna de San Andrés, Laguna de Tamiahua, Puerto Altamira, Miramar (Campamento Tortuguero), Miramar (Plaza Gobernadores).

**Veracruz:** 4 sitios: Playas de Coatzacoalcos, Tecolutla, Villa del Mar y Tuxpan.

**Tabasco:** 6 sitios: Sánchez Magallanes, Laguna La Machona, Barra de Tupilco, Puerto Dos Bocas, Playa Pico de Oro, Fraccionamiento Miramar.

**Campeche:** 7 sitios: Champotón, Isla Aguada, Isla Arena, Playa Bonita, Punta Xen, Payucan, Sabancuy.

**Yucatán:** 9 sitios. Celestum, Chabihau, Dzilam de Bravo, El Cuyo, Coloradas, Progreso, San Felipe, Sisal, Telchac.

Quintana Roo: 9 sitios: Bocana de Chacmochuc, Cozumel, El Rey, Isla Blanca, Playa del Carmen, Playa Linda, Playa Maya, Playa Niño, Playa Norte.

Si se calcula el porcentaje del total de sitios muestreados, se tiene que:

Estado	No. de sitios afectados	% de sitios afectados
Tamaulipas	8	15.09
Tabasco	4	7.55
Campeche	6	11.32
Yucatán	9	16.98
Quintana Roo	9	16.98
<b>% de sitios afectados</b>	<b>36</b>	<b>67.92</b>

Por lo tanto, el 67.92% de sitios del total se encuentran afectados por la tendencia a la eutroficación.

Resumiendo los parámetros que impactan en la calidad del agua de las costas del Golfo de México por prioridad son, de acuerdo a la Tabla 22:

El Carbono Orgánico Total presenta un 67.92% de impacto sobre 36 sitios en los estados de Tamaulipas, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo, por lo que se vuelve prioritario para el monitoreo y control, evitando así florecimientos de organismos debido a la eutroficación en los sitios donde se detectó.

Le sigue el elemento traza fierro, con un 67.92% de impacto sobre 36 sitios en los estados de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo, por lo que se deben aplicar medidas de control, iniciando con la actualización del inventario de descargas que pudieran contener este elemento.

El níquel presenta un 60.37% de impacto sobre 32 sitios monitoreados en los estados de Tamaulipas, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo, lo que requiere también que se actualice el inventario de las posibles descargas que contengan este elemento.

Grasas y aceites ocupa el cuarto lugar de impacto con un 43.39% de impacto sobre 23 sitios de los estados de Tamaulipas, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo.

La presencia de hidrocarburos se encuentra en el 5º lugar sobre 4 sitios con un 5.66% de impacto afectando los estados de Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo.

El cobre presenta un 5.66% de impacto sobre 3 sitios en los estados de Veracruz y Tabasco. Asimismo, el cromo presenta el mismo porcentaje sobre 3 sitios en el estado de Yucatán.

Por último, el oxígeno disuelto presenta un 3.77% de impacto sobre dos sitios en el estado de Veracruz.

Por otro lado, de acuerdo a los parámetros determinados y que resultaron positivos en los análisis de laboratorio y campo (Hidrocarburos, Fe, Ni, OD, Cu, Cr, Grasas y Aceites y Carbono Orgánico Total, los estados más afectados son, en orden de prioridad:

*Yucatán:* Afectado por hidrocarburos en columna de agua, Fierro, Níquel, Cromo, Grasas y Aceites y Carbono Orgánico Total. 6 parámetros en total

*Tabasco:* Afectado por hidrocarburos en columna de agua, Fierro, Níquel, Cobre, Grasas y Aceites y Carbono Orgánico Total. 6 parámetros en total.

*Campeche:* Afectado por hidrocarburos en columna de agua, Fierro, Níquel, Grasas y Aceites y Carbono Orgánico Total. 5 parámetros en total.

*Quintana Roo:* Afectado por hidrocarburos en columna de agua, Fierro, Níquel, Grasas y Aceites y Carbono Orgánico Total. 5 parámetros en total.

*Tamaulipas:* Afectado por Fierro, Níquel, Grasas y Aceites y Carbono Orgánico Total. 4 parámetros en total.

*Veracruz:* Afectado por Fierro, Oxígeno Disuelto, Cobre. 3 parámetros en total.

Por lo tanto, la prioridad es la atención de los sitios en los estados de Yucatán y Tabasco, seguidos por Campeche, Quintana Roo, Tamaulipas y Veracruz.

Se debe recordar que en el estado de Tamaulipas se detectaron restos de alquitrán, indicador de la presencia de petróleo y que durante el año 2010 se presentaron lluvias atípicas e inundaciones en Veracruz, lo que permitió una "limpieza" ambiental y es posible que por este motivo no se hayan detectado los hidrocarburos ni las grasas y aceites.

Asimismo, considerar que el níquel se detectó en 32 de los 53 sitios totales, lo que indica que es seguro la presencia de crudo, dado que el níquel es un elemento metálico de los más abundantes en el petróleo y en ocasiones alcanza concentraciones a las mil partes por millón. Puede estar presentes ya sea como metal libre o bien formando complejos en los núcleos de las porfirinas.

Por otro lado, el fierro y cobre también forman parte de los compuestos del petróleo, aunque en menor proporción. El Fe se detectó en 36 sitios (67.92% del total de sitios) y el cobre se detectó de manera puntual en 3 sitios, representando el 5.66%.

**Tabla 22. Porcentaje de impacto de los parámetros que afectan la calidad del agua en las costas del Golfo de México y Mar Caribe.**

ESTADO	Hidrocarburos		Fierro		Niquel		OD		Cobre		Cromo		GyA		COT	
	No. sitios	% imp	No. sitios	% imp	No. sitios	% imp	No. sitios	% imp	No. sitios	% imp	No. sitios	% imp	No. sitios	% imp	No. sitios	% imp
Tamaulipas	0	0	8	15.09	3	5.66	0	0	0	0	0	0	8	15.09	8	15.09
Veracruz	0	0	3	5.66	0	0	2	3.77	2	3.77	0	0	0	0	0	0
Tabasco	1	1.88	11	20.75	11	20.75	0	0	1	1.88	0	0	4	7.55	4	7.55
Campeche	1	1.88	4	7.55	6	11.32	0	0	0	0	0	0	1	1.88	6	11.32
Yucatán	1	1.88	6	11.32	3	5.66	0	0	0	0	3	5.66	6	11.32	9	16.98
Quintana Roo	1	1.88	4	7.55	9	16.98	0	0	0	0	0	0	4	7.55	9	16.98
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>7.52</b>	<b>36</b>	<b>67.92</b>	<b>32</b>	<b>60.37</b>	<b>2</b>	<b>3.77</b>	<b>3</b>	<b>5.66</b>	<b>3</b>	<b>5.66</b>	<b>23</b>	<b>43.39</b>	<b>36</b>	<b>67.92</b>

## 10. RECOMENDACIONES

I. Continuar con la operación la Red de Monitoreo de Vigilancia en los sitios ya monitoreados y aumentarlos en el estado de Veracruz, que por razones hidroclimatológicas, no tuvo acceso a todos los sitios propuestos, ya que se detectó la presencia de hidrocarburos, níquel, cobre y fierro, que forman parte de los compuestos del petróleo, lo que indica claramente la presencia de petróleo en las costas del Golfo de México.

II. Para estar en posibilidades de establecer las tendencias de la contaminación, se requiere realizar al menos un monitoreo en época de sequía y otro en lluvias (dos campañas anuales).

III. Contar con presupuesto suficiente para cubrir los gastos de muestreo y análisis.

IV. Asegurar que los datos de zona costeras sigan siendo generados por laboratorios que cuenten con sistemas de gestión de la calidad conforme a la ISO 17025.

V. Se solicita al Grupo de Coordinación Interna de SEMARNAT para la atención de daños a la Biodiversidad por el derrame petrolero de la plataforma Deepwater Horizont se insista en conseguir la huella molecular del aceite, con objeto de determinar si los restos detectados corresponden al derrame proveniente de los Estados Unidos de Norteamérica.

VI. Derivado que el intervalo de trabajo para la medición de Hidrocarburos Totales del Petróleo por Infrarrojo es alto para las concentraciones detectas en el primer monitoreo, se requiere que en próximas campañas de monitoreo se emplee para la medición de estos la cromatografía de gases, cuyos intervalos de trabajo y cuantificación son más bajos y será posible cuantificar las cantidades hasta hoy detectadas solamente.

## 11. BIBLIOGRAFIA

Botello, A. V., J. Rendón von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández, 2005. *Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. 2ª edición. Univ. Autónoma de Campeche, Univ. Nal. Autón. De México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.

Comisión Nacional del Agua. 1997. *Manual del Calibrador*. Contrato GSCA-013/97. Montgomery Watson, México, S. A. de C. V. México, D.F.

Comisión Nacional del Agua. 2003. *Programa Hidráulico Regional 2002-2006. Golfo Norte. Región IX*. México, D. F. 127 p.

Comisión Nacional del Agua. 2003. *Programa Hidráulico Regional 2002-2006. Golfo Centro. Región X*. México, D. F. 161 p.

Comisión Nacional del Agua. 2003. *Programa Hidráulico Regional 2002-2006. Frontera Sur. Región XI*. México, D. F. 132 p.

Comisión Nacional del Agua. 2003. *Programa Hidráulico Regional 2002-2006. Península de Yucatán. Región XII*. México, D. F. 173 p.

Diario Oficial de la Federación. *Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE- CCA-001/89*. 1 de Diciembre de 1989. 11 p.



## **PARTICIPANTES**

Gerencia de Calidad del Agua (D. F.)

Dr. Jesús García Cabrera

Coordinador de Proyecto

Q. Margarita Lobato Calleros

Jefa de la Red Nacional de Laboratorios

Ing. Valia M. Goytia Leal

Jefa del Laboratorio Nacional de Referencia

IQI Norma Lilia Heiras Rentería

Jefa de Aseguramiento y Control de Calidad

Q. Irene Nayeli Bojórquez Cruz

Jefa de Cromatografía

QFB. Guadalupe Machado Osuna

Jefa de Absorción Atómica

Lic. Javier Viramontes Navarro

Apoyo Administrativo

Psic. Brenda Hernández Juárez

Apoyo Administrativo

Biól. Sergio Zamora Aparicio

Apoyo Técnico

Q. José Luis Girón Ríó

Apoyo Técnico

Ing. Rafael Yáñez Díaz

Apoyo Técnico

Organismo de Cuenca Golfo Norte (Tamaulipas)

Ing. Roberto F. Schuldes Dávila

Director General

Ing. Antonio Juárez Trueba

Coordinador del Proyecto en Tamaulipas

Q. Liliana Longoria Bolán

Jefa de Calidad del Agua

Q. Mónica Miguel Gil

Jefa del Centro de Referencia Especializado en Aguas Salinas

Organismo de Cuenca Golfo Centro (Veracruz)

Ing. Ismael Morales Méndez

Coordinador del Proyecto en Veracruz

Q. María Isela Torres

Jefa de Calidad del Agua

Organismo de Cuenca Frontera Sur (Tabasco)

Fís. César Triana Ramírez

Coordinador de Proyecto en Tabasco

Ing. Angélica Mata García

Subdirectora Técnica

Ing. Francisco de los Santos Torres

Jefe de Calidad del Agua

Q. María del Pilar Palacios Jiménez

Jefa de Laboratorio

Organismo de Cuenca Península de Yucatán

Ing. José Luis Acosta Rodríguez

Coordinador de Proyecto en Yucatán

Biól. Martha Valero Gamboa

Jefa de Calidad del Agua

Dirección Local en Campeche

Lic. Rafael Chan Antillón

Coordinador de Proyecto en Campeche

Ing. Daniel Valenzuela Ibarra

Muestreador

Dirección Local en Quintana Roo

Ing. Salvador Arizmendi Guadarrama

Coordinador de Proyecto en Quintana Roo

Biól. Carlos Chablé Mendicuti

Muestreador

Biól. Fátima Candelaria Perera Balam

Muestreador

C. Luis Hilario Ángeles López

Muestreador