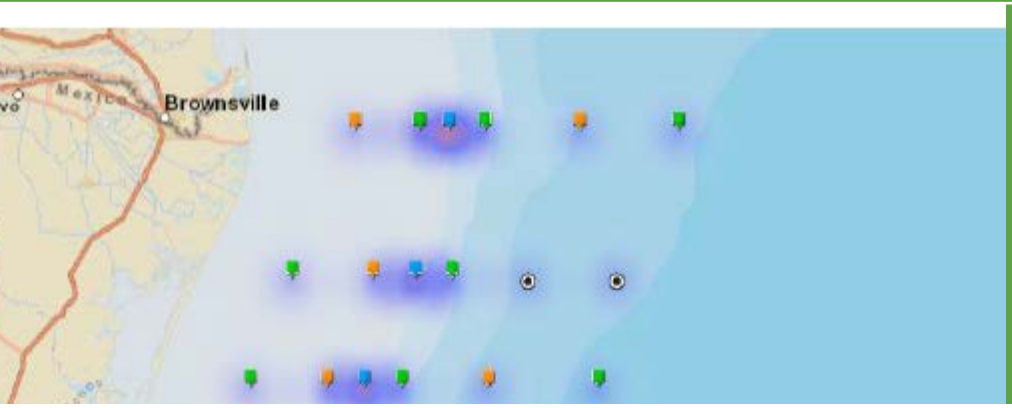
SEMARNAT
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

INECC
INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO

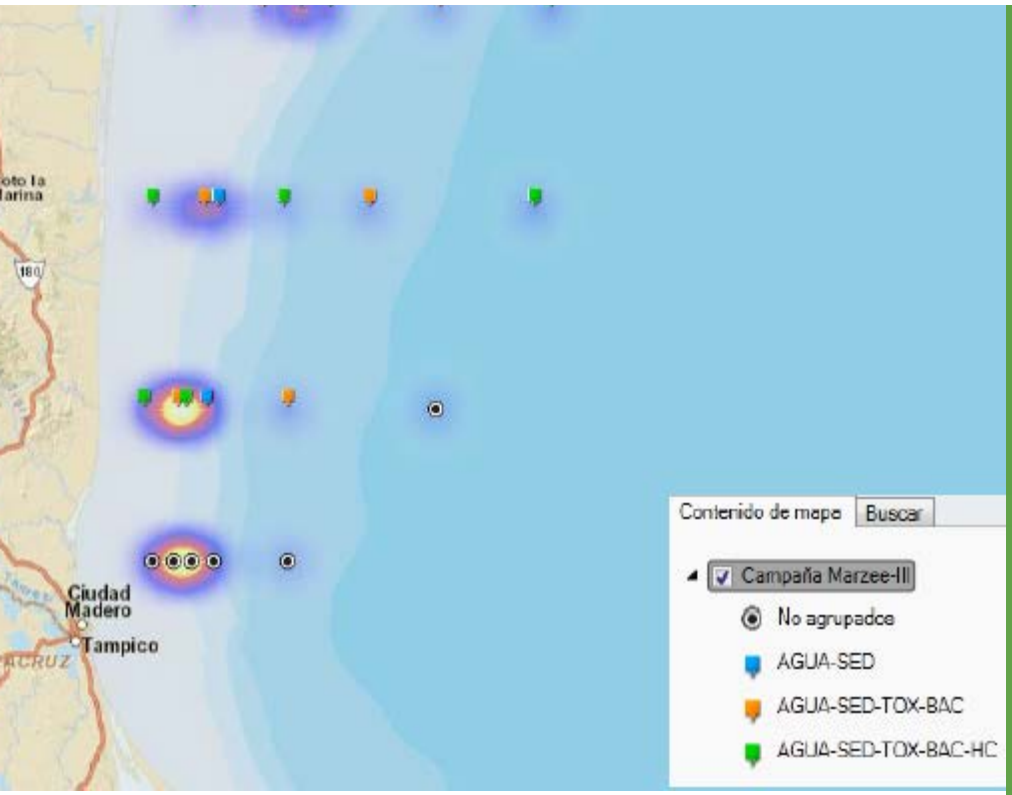
MARCO AMBIENTAL DE LAS CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS EN EL SECTOR NOROESTE DE LA ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA DE MÉXICO EN EL GOLFO DE MÉXICO (MARZEE III)

Informe Final



2014

Coordinación General de Adaptación al Cambio Climático



Coordinado por:

Coordinación General de Adaptación al Cambio Climático

Elaborado por:

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México

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

“MONITOREO AMBIENTAL DEL GOLFO DE MÉXICO”

REGIÓN

TAMAULIPAS-VERACRUZ

INFORME FINAL

CAMPAÑA MARZEE-III

2014

ÍNDICE GENERAL

1. RESUMEN EJECUTIVO 1
1.1.1 Resumen 1
1.1.1 Abstract 2
2. INTRODUCCIÓN 3
2.1 Generalidades 4
3. ANTECEDENTES 5
3.1.1 Marco teórico 5
3.1.2 Condiciones Oceanográficas 6
3.2 Alcances 7
4. METODOLOGÍA 7
4.1 ESTRATEGIA DE MUESTREO 7
4.1.1 Estaciones, matrices ambientales y niveles de muestreo 7
4.1.2 **Compuestos orgánicos** 11
5.2.2. Concentraciones e isótopos de Carbono y Nitrógeno 19
5.3 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN 22
5.3.1 Compuestos orgánicos 22
6. RESULTADOS 30
6.1COMPUESTOS ORGÁNICOS 30
6.1.1Hidrocarburos Totales del Petróleo HTP 30
6.1.1.2 Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos HAP 30
6.1.1.4 Hidrocarburos Totales del Petróleo HTP 32
6.1.2Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos HAP 32
6.2. CONCENTRACIONES DE CARBONO Y NITRÓGENO 36
6.2.1. Concentraciones de Carbono 36
6.2.3. Concentraciones de Nitrógeno 42
6.3. METALES Y GRANULOMETRÍA 44
6.3.1. Metales 44
6.3.2. Granulometría 61
5. CONCLUSIONES 65
5.1 COMPUESTOS ORGÁNICOS 65
5.2 CONCENTRACIONES E ISÓTOPOS DE CARBONO Y NITRÓGENO 65
5.3 METALES Y GRANULOMETRÍA 65
6. RECOMENDACIONES 66
6.1 COMPUESTOS ORGÁNICOS 66
6.3. METALES Y GRANULOMETRÍA 67
7. REFERENCIAS 67

8. GLOSARIO DE TÉRMINOS 70
8.1 ELABORACIÓN DE INFORME 71
8.2 ANÁLISIS DE LABORATORIO 71
8.3 MUESTREO 72
9. ANEXOS 72
9.1 ANEXO I. 72
CUADROS DE LOS DATOS NOMINALES DE LA CAMPAÑA MARZEE-3 DE ACUERDO A LA TOMA DE DATOS EN EL CRUCERO OCEANOGRÁFICO Y COMO SE PRESENTAN EN LA BASE DE DATOS GLOBAL DE LAS CAMPAÑAS REALIZADAS EN EL GOLFO DE MÉXICO. 72
9.2 ANEXO II 80
MAPAS DE LOS DATOS NOMINALES DE METALES EN SEDIMENTO DE LA CAMPAÑA MARZEE-3 DE ACUERDO A LA TOMA DE DATOS EN EL CRUCERO OCEANOGRÁFICO Y COMO SE PRESENTAN EN LA BASE DE DATOS GLOBAL DE LAS CAMPAÑAS REALIZADAS EN EL GOLFO DE MÉXICO. 80
10. CONTRAPORTADA 91

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1. Región Tamaulipas-Veracruz Golfo de México. Estaciones, matriz de muestreo y profundidad. Marzee-3.....9
Cuadro 2. Resultados de hidrocarburos totales del petróleo (HTP), hidrocarburos aromáticos policíclicos de bajo peso molecular (HBPM), de alto peso molecular (HAPM), hidrocarburos aromáticos policíclicos totales (HAPT) y biomarcadores en agua. Crucero Marzee-3 (Región Tamaulipas-Veracruz).....31
Cuadro 3. Resultados de hidrocarburos totales del petróleo (HTP), hidrocarburos aromáticos policíclicos de bajo peso molecular (HBPM), de alto peso molecular (HAPM), hidrocarburos aromáticos policíclicos totales (HAPT) y biomarcadores en sedimento Crucero Marzee-3 (Región Tamaulipas-Veracruz). 34
Cuadro 4. Resultados de carbono y nitrógeno particulado en agua superficial y de fondo. Crucero Marzee-3 (Región Tamaulipas-Veracruz). 37
Cuadro 5. Resultados de carbono y nitrógeno en sedimento. Crucero Marzee-3.....41
Cuadro 6. Concentraciones de metales en sedimentos de la Región Tamaulipas-Veracruz del Golfo de México. Campaña Marzee-3. 46
Cuadro 7. Matriz de correlación de Pearson de metales en sedimento, granulometría, carbono y nitrógeno en sedimento de la Región Tamaulipas-Veracruz del Golfo de México. Campaña Marzee-3 56
Cuadro 8. Índices de Geoacumulación de metales en sedimentos de la Región Tamaulipas-Veracruz del Golfo de México. Campaña Marzee-3 59
Cuadro 9. Factores de Enriquecimiento de metales en sedimentos de la Región Tamaulipas-Veracruz del Golfo de México. Marzee-3. 58
Cuadro 10. Factores de Enriquecimiento de metales en sedimentos de la Región Tamaulipas-Veracruz del Golfo de México. Marzee-3. 59
Cuadro 11. Clases texturales predominantes y su proporción porcentual así como su clasificación de Shepard (1954) en sedimentos de la Región Tamaulipas-Veracruz del Golfo de México. Campaña Marzee-3.....62

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Estaciones de muestreo Región Tamaulipas-Veracruz Golfo de México. 10
Figura 2. Distribución del carbono orgánico particulado en agua en la región de Tamaulipas-Veracruz 39
Figura 3. Distribución del carbono orgánico total en sedimento en la región de Tamaulipas-Veracruz. .40
Figura 4. Distribución del nitrógeno total particulado en agua en la región de Tamaulipas-Veracruz.....43
Figura 5. Distribución del nitrógeno total en sedimento en la región de Tamaulipas-Veracruz.....44
Figura 6. Comportamiento estadístico de los metales en sedimento (µg g-1)en la región de Tamaulipas-Veracruz. 50
Figura 7. Distribución de los metales (Cr., Ni, y V) en sedimento en la región de Tamaulipas-Veracruz. 51
Figura 8. Distribución de los metales (Cu y As) en sedimento en la región de Tamaulipas-Veracruz. ...51
Figura 9. . Distribución de los metales (Cd) en sedimento en la región de Tamaulipas-Veracruz. 52
Figura 10. Distribución de los metales (Pb y Zn) en sedimento en la región de Tamaulipas-Veracruz...52

Figura 115. Factores de Enriquecimiento (FE) con relación a los valores promedio de la corteza terrestre de los sedimentos superficiales de la Región de Tamaulipas-Veracruz.del Golfo de México como variables conservativas el porcentaje de fracciones finas de grano <63µm. 60

1. RESUMEN EJECUTIVO

1.1.1 Resumen

Para detectar la posible presencia de hidrocarburos derramados por el pozo *Deepwater Horizon* el mes de abril del 2010, se llevó a cabo en el área comprendida frente a las costas de Tampico-Veracruz, la campaña oceanográfica Marzee-3. Se presentan los resultados obtenidos del análisis de las muestras de agua y sedimento recolectadas durante la campaña oceanográfica llevada a cabo del 24 de octubre al 02 de noviembre de 2012, en la temporada de nortes, en la región de Tamaulipas-Veracruz del Golfo de México. El muestreo fue realizado por personal del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM (ICMyL) y el Instituto Mexicano del Petróleo a bordo del B/O Justo Sierra. Se tomaron muestras en 6 transectos de los 7 programados originalmente en donde se realizaron un total de 33 estaciones oceanográficas entre los 50 y hasta 2500 m de profundidad, las estaciones 7 y 8 del segundo transecto del norte, así como la estación 31 del transecto 6 no se muestrearon por condiciones climáticas adversas.

Los análisis que se realizaron en los laboratorios del IMP fueron para la matriz en agua: hidrocarburos, carbono y nitrógeno en material particulado y en la matriz sedimentaria para: hidrocarburos totales del petróleo, hidrocarburos aromáticos policíclicos, biomarcadores del petróleo, concentración de metales y granulometría.

Todas las concentraciones de HTP, HAPT, HAPM y HBPM en agua se encontraron por debajo del límite de detección del método (0.401 ngL^{-1}, 1.5 ngL^{-1} y 0.75 ng L^{-1}), respectivamente.

Los biomarcadores de petróleo en agua obtuvieron registros por debajo del límite de detección (0.75 ng L^{-1}) mostrando ausencia de contribuciones recientes de productos del petróleo a éste ambiente.

Para los sedimentos, se obtuvo un comportamiento igual al del agua con valores por debajo del límite de detección para los HTP, HAPT, HAPM y HBPM (0.401 µg kg^{-1}, 0.176 µg kg^{-1} y 0.088 µg kg^{-1}), respectivamente.

Para los biomarcadores en sedimentos, se presentó el mismo comportamiento que para agua, con valores en todas las estaciones por debajo del límite de detección (0.088 µg kg-1). La presencia de hidrocarburos semivolátiles en sedimentos así como de los HTP en concentraciones por debajo del límite de detección, no permite detectar efectos en el ambiente de la zona económica exclusiva de México relacionados con la presencia o productos derramados por la plataforma Horizon.

Las concentraciones de carbono orgánico total y nitrógeno en partículas de agua de superficie y fondo, se encuentran por debajo de 30 µM y 3 µM respectivamente, no habiendo evidencias de eutroficación en la región (Gardner et al. 2006 y López et al., 1995).

El carbono total en sedimento se presentó con un promedio de 0.470 %, e intervalo de 0.273 - 0.724 %, el 36% de estas concentraciones son superiores a 0.42 % nivel que Walsh (1993) ha observado en aportes continentales de ambientes anóxicos.

El nitrógeno total en sedimento se cuantificó en un intervalo entre 0.029 y 0.072 %, niveles menores a 0.2 % que es indicador de aportes continentales.

De los once metales analizados en sedimento, el **Cu** y el **V** obtuvieron un coeficiente de variación de 56 y 55 % respectivamente, los demás metales presentaron coeficientes de variación entre 22 y 49 %. El comportamiento de metales en sedimento mostró el siguiente orden de abundancia promedio: Al>Fe>Ba>Zn>Cr>Ni>Pb>V>Cu>As>Cd. Con relación a probabilidad de efecto tóxico, el Cd, Ba y Zn presentaron concentraciones menores al límite de posibilidad de presentar efecto para la vida acuática, NOAA-Squirt, (1999-2008), en tanto que: el As, Cu, Cr, y Pb mostraron una probabilidad de efecto tóxico medio para la vida acuática. Las concentraciones del Al y Fe fueron altas en comparación a las obtenidas en otros estudios en el Golfo de Méxic**o.** El V en tres estaciones presentó valores de probabilidad de efecto alto para la vida acuática de acuerdo a la misma NOAA.

Para el índice de geoacumulación el arsénico y el plomo, presentan procesos de contaminación moderada, lo que significa que su presencia en la región se deriva de actividades industriales locales, aportes atmosféricos, descargas de aguas domésticas y escorrentías continentales. Ninguno de los otros metales indica procesos de contaminación.

El factor de enriquecimiento de los metales utilizando Al y Fe como normalizadores, indica que la presencia de los metales en la región, se relaciona con procesos de intemperismo de la corteza terrestre.

Mientras que si se considera la acumulación asociada a las fracciones finas de sedimentos (<63µM), el Cr, Ni, V y Cu se asocian al intemperismo de la corteza terrestre y el resto de los metales tienen origen antropogénico.

1.1.1 Abstract

The oceanographic cruise Marzee-3 was carried out to detect the possible presence of oil spilled by the Deepwater Horizon in April 2010, in the area bounded off Tampico-Veracruz. We present the results obtained from the analysis of water and sediment samples collected during the oceanographic cruise held from October 24 to November 2, 2012, during “Nortes” season, in the region of Tamaulipas, Veracruz Gulf of Mexico. Staff of the Institute of Marine Sciences and Limnology, UNAM (ICMyL) and IMP aboard the R / V “Justo Sierra” conducted sampling. Samples were taken at six transects, and 33 oceanographic stations, from 50 to 2 500 m depth. Stations 7 and 8 of the northern transect, as well as station 31 from the 6th transect were not completed due to adverse weather conditions.

Analyses were performed in IMP laboratories on the water matrix for: hydrocarbons, carbon and nitrogen and particulate matter and on the sedimentary matrix for: total petroleum hydrocarbons, polycyclic aromatic hydrocarbons PAHs, petroleum biomarkers, metal concentration and particle size.

All concentrations of HTP, HAPT, HAPM and LMWH in water were below the detection limit of the method (0.401 ngL^{-1}, 1.5 ngL^{-1} and 0.75 ngL^{-1}), respectively. For sediments, a behavior similar to water values was obtained, below the limit of detection for HTP, HAPT, HAPM and LMWH (0.401 µg kg^{-1}, 0.176 µg kg^{-1} and 0.088 µg kg^{-1}), respectively .

Biomarkers in water and sediments were below the detection limit (0.75 ngL^{-1} water, 0.088 µg kg^{-1}sediments). The presence of semi-volatile hydrocarbons in water and sediments as well as HTP in concentrations below the limit for detection, does not allow for an identification of effects on the environment of Mexico's exclusive economic zone related to the presence or spilled product by Horizon platform.

The concentrations of nitrogen and total organic carbon in water particles and bottom surface, are below 3 uM and 30 uM, respectively, with no evidence of eutrophication in the region (Gardner et al. 2006 and Lee et al. 1995).

Total carbon in sediment was detected with an average of 0.470 %, and an interval of 0.273-0.724 %, 36 % of these concentration values are above 0.42% level that Walsh (1993) has observed in continental contributions from anoxic environments. The total nitrogen in sediment was quantified in a range between 0,029 and 0,072%, levels below 0.2%, which is indicative of continental contributions.

Of the eleven metals analyzed in sediment, Cu and V displayed a coefficient of variation of 56% and 55% respectively, the other metals presented coefficient values between 22% and 49%.

The behavior of metals in sediment showed the following mean abundance sequence: Al>Fe>Ba>Zn>Cr>Ni>Pb>V>Cu>As>Cd. Regarding toxic effect probability, Cd, Ba and Zn concentrations were below the limit of probability to display effect in aquatic life, NOAA-Squirt, (1999-2008), while: As, Cu, Cr, and Pb presented a mild toxic effect probability for aquatic life. The concentrations of Al and Fe were high compared to those obtained in other studies in the Gulf of Mexico. The V displayed high probability effect to aquatic life according to the same NOAA.

The geoaccumulation index for arsenic and lead, display moderate contamination processes, which means that their presence in the region is derived from local industrial activities, atmospheric inputs, domestic discharges and continental runoff. None of the other metals indicates contamination processes.

The enrichment factor in using Al and Fe metals as standardizers indicates that the presence of metal in the region is related to the earth's crust weathering processes. However regarding the accumulation associated to sediments fine particles (<63µM), the Cr, Ni, V and Cu are linked to the weathering of the earth's crust and the other metals are of anthropogenic origin.

2. INTRODUCCIÓN

2.1 Generalidades

El Golfo de México se reconoce como un gran ecosistema marino con mezcla de características ecológicas de ambientes templados y tropicales, con grandes escurrimientos de aguas continentales que llegan a la zona costera a través de los ríos y que permiten la formación de importantes humedales costeros, como lagunas, bosques de manglar, praderas de pastos marinos y arrecifes de coral. Es una región marina única en la que se llevan a cabo procesos muy complejos y dinámicos que relacionan la atmosfera y el océano, como los frentes fríos o “nortes” y huracanes, que modifican constantemente los ecosistemas costeros contenidos en el golfo, haciéndolo un sistema ambientalmente heterogéneo, con gran riqueza de formas de vida e importantes recursos energéticos (petróleo y gas) y pesqueros (peces de escama y camarón).

Esta variedad de ambientes del golfo es evidente en el extenso litoral veracruzano que suma cerca de 745 km (el 29.3% de la costa mexicana del golfo) y aproximadamente 116,600 ha de zonas estuarinas, donde se mezclan las aguas de ríos con las del mar, como en las lagunas costeras de Tamiahua, La Mancha, Mandinga o Alvarado. También heterogéneos son los 23,700 km^2 de una plataforma continental que presenta rasgos topográficos considerados inusuales en el ámbito mundial, como el ser somera (profundidades promedio cercanas a 70 m) y angosta (amplitud de 6 a 45 km); estrecha frente a las costas de Roca Partida-Montepío y ancha frente a Coatzacoalcos y al norte de Tamiahua, y con contornos de profundidad sinuosos y un fondo submarino complejo debido a la presencia de bajos, islas y una serie de “canales” con dimensiones y profundidades variables.

Las corrientes litorales en el estado cuentan con tres patrones a lo largo del año. En invierno, el continente americano, en la región comprendida entre los estados de Texas y Louisiana (EUA), cuenta con temperaturas a nivel de superficie menores que las que podemos encontrar en el Golfo de México. Esto se debe a que el agua puede conservar el calor por un tiempo mayor que el continente (la capacidad calorífica del agua es mayor a la de la tierra). El gradiente térmico (cambio de temperatura entre el continente y el océano) genera vientos del norte a lo largo de todo el estado. Estos vientos son comúnmente llamados “nortes”, los cuales traen velocidades de hasta 140 km/h. A los 20º de latitud la transferencia de momento entre el viento y el océano es del 11%, lo cual generaría corrientes superficiales de hasta 15.4 km/h.

En el verano, el patrón de vientos se invierte, ya que el continente en la región sur de los Estados Unidos se calienta más rápido que el Golfo de México. Estos vientos, localmente llamados “suradas”, cuentan con magnitudes de hasta 80 km/h, generando corrientes superficiales de aproximadamente 8.8 km/h.

El tercer patrón de corrientes está asociado al cambio en la dirección del viento, esto es la transición de nortes a suradas o de suradas a nortes. En esta temporada del año los vientos dominantes están principalmente alineados en dirección este-

oeste, generando corrientes superficiales casi perpendiculares a la costa cercana a los 20º de latitud norte (próximo a la Ciudad de Tecolutla, Ver). Dichas corrientes producen una divergencia, generando corrientes con características diferentes hacia el sur y norte de ese punto. Al sur de Tecolutla las corrientes paralelas a la costa se mueven hacia el sur, rumbo a Coatzacoalcos, mientras que al norte de los 20º, las corrientes van en dirección norte, rumbo a Tampico ((Monreal-Gómez y Salas de León 1997).

3. ANTECEDENTES

3.1.1 Marco teórico

La exploración y extracción en aguas profundas y ultra profundas es una de las nuevas fronteras que la industria del petróleo se ha visto obligada a traspasar a causa del agotamiento de los yacimientos terrestres. Si pudiésemos extraer petróleo en tierra firme, perforando a dos kilómetros de profundidad, ¿por qué perforar en el mar, bajo una lámina de agua de un kilómetro y medio y diez kilómetros bajo las rocas? Las explotaciones petrolíferas del Golfo de México no han conseguido detener el irreversible declive que ha experimentado la extracción de petróleo en los Estados Unidos desde 1970, pero sí han ayudado a disminuir las importaciones de crudo de otros países, siendo en 2007 un 22% de la extracción total

La exploración y extracción en las llamadas aguas ultra profundas (más de 1.500 metros de profundidad) está sujeta al desafío de las altas temperaturas y presiones, al comportamiento casi plástico de estratos salinos de más de tres kilómetros de profundidad, a la presencia de gas natural a gran presión, y a la utilización de complejos mecanismos robotizados construidos a medida. Si la extracción de petróleo ya es en sí una proeza técnica, la profundidad y el medio marino hacen las cosas aún más complicadas, como demuestra el accidente sufrido por la plataforma petrolífera alquilada por British Petroleum.

El 20 de abril de 2010 una explosión en la plataforma petrolera Deepwater Horizon que operaba el pozo profundo denominado Macondo localizado en el Golfo de México, frente a las costas de Louisiana, Estados Unidos; lo cual provocó una fuga Importante de petróleo, provocando un incendio que mató a 11 de trabajadores y el hundimiento del barco dos días después. El accidente se produjo cuando estaban construyendo, a más de un kilómetro y medio de profundidad, una estructura de cemento que es la que conecta los tubos de perforación con las conducciones que llevan el petróleo hasta la superficie y que es donde se separa el petróleo del gas natural, del agua marina y de la arena. Aunque no se sabe con exactitud la causa del accidente, se especula con una reacción inesperada de la inyección de cemento que provocó que una gran cantidad de gas natural ascendiese por la tubería y provocase el incendio en superficie.

Tras la explosión de la plataforma petrolífera frente a las costas de Lousiana, el pozo submarino del que se extraía el crudo vierte al mar el equivalente a unos 5.000 barriles diarios, una cantidad cinco veces superior a la estimada inicialmente. En la explosión de 1979 en Campeche en la costa mexicana, se vertieron cerca de 400000 toneladas de petróleo. "Anualmente más de 3 millones y medio de toneladas de petróleo (casi el 0,1% de la producción mundial) contaminan el medio marino".

3.1.2 Condiciones Oceanográficas

Islas y Arrecifes. Desde el río Bravo hasta Tampico, las costas de Tamaulipas exhiben un gran número de pequeñas islas o islotes que forman los cordones de las albuferas. Por su parte el litoral veracruzano cuenta con una serie de zonas arrecifales y bancos localizados en una franja que se extiende desde el Puerto de Veracruz hasta Alvarado. Dentro desde esta zona destacan los Arrecifes de Pájaros, Anegada de Afuera, El Cabezón y La Galleja que sostienen una gran variedad de vida marina incluyendo diversas especies de carcarínidos (Marín-Osorno, 1992).

Plataforma Continental. La Plataforma de Tamaulipas tiene un área de 28,000 km^2, mientras que la de Veracruz presenta una superficie de 20,900 km^2, la plataforma de Tamaulipas, al ser más amplia que la de Veracruz permite la abundancia de tiburones costeros y también la ocurrencia de grandes especies que se acercan con fines alimenticios o reproductivos. Es posible que las costas de Tamaulipas y sus cuerpos costeros, como Laguna Madre representen una zona rica y productiva, útil como área de nacimiento y crecimiento a numerosas especies, especialmente aquellas de importancia económica (Marín-Osorno, 1992; Castillo-Geníz, 1998). Veracruz, por el contrario, a pesar de su plataforma continental más estrecha, que posibilita el acceso a la pesca de especies de profundidad, posee numerosos arrecifes, lagunas costeras y estuarios que constituyen zonas de interés trófico y reproductivo.

Corrientes y mareas. La principal entrada de agua hacia el Golfo de México es por el Canal de Yucatán; la corriente que penetra procedente del Mar Caribe, se ensancha y ramifica al entrar al Golfo, aportando masas de agua a Tamaulipas y Veracruz. Se observan circuitos de corrientes que aparentan no tener carácter permanente. Su existencia depende de los accidentes de la costa y configuración del fondo. Se estima que la falta de continuidad de estos circuitos, es debido a la variación de los vientos a lo largo del año. Durante el otoño e invierno, fuertes vientos del norte intensifican las contracorrientes que se forman frecuentemente en la parte occidental y meridional del Golfo, pudiendo ocasionar una corriente dirigida hacia el sur en toda el área del mismo. En cuanto a las mareas, éstas, son diurnas.

Temperatura. La temperatura de las aguas superficiales en el Golfo de México tiene un promedio anual 18.3 °C, un máximo de 28.8 °C y una media estimada en 25.5

°C. Esta característica permite, evidentemente, la presencia de especies de tiburones tropicales, principalmente carcarínidos.

Salinidad. En el Golfo de México, se tienen valores de 36.2 a 36.4 %, disminuyendo notablemente en la región costera debido a la influencia de los ríos, esto especialmente en la época de lluvias.

OBJETIVOS

Establecer una línea base que permita identificar los posibles impactos en aguas mexicanas del Golfo de México debido al derrame del Pozo Mancondo en aguas del Norte del Golfo de México, seguimiento de la línea base en la zona.

3.2 Alcances

Llevar a cabo el análisis de: Isótopos de C y N en partículas y sedimentos, análisis de HTP, HAPs y biomarcadores en agua y sedimentos, metales en sedimentos.

4. METODOLOGÍA

4.1 ESTRATEGIA DE MUESTREO

4.1.1 Estaciones, matrices ambientales y niveles de muestreo

La campaña MARZEE-3 se llevó a cabo del 24 de octubre al 02 de noviembre de 2012. Personal de la Dirección de Seguridad y Medio Ambiente del Instituto Mexicano del Petróleo participó en este crucero a bordo del B/O Justo Sierra, en aguas del Golfo de México junto con investigadores y estudiantes del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM (ICMyL). Los dos cruceros se realizaron frente a las costas de Tampico-Veracruz dentro del programa coordinado por el Instituto Nacional de Ecología para detectar la posible presencia de hidrocarburos derramados por el pozo *Deepwater Horizon* el pasado mes de abril del 2010.

Para los análisis que se realizaron en laboratorios del IMP se colectaron un total de 206 muestras (MARZEE-3) distribuidas en las siguientes matrices: agua, material particulado suspendido en agua y de sedimentos (Cuadro 1). En estas matrices se analizaron hidrocarburos totales del petróleo, hidrocarburos aromáticos policíclicos, biomarcadores del petróleo, composición isotópica de carbono y nitrógeno, concentración de carbono orgánico y nitrógeno total, toxicidad del sedimento y concentración de metales.

Las campañas realizadas a bordo del buque oceanográfico “Justo Sierra”, incluyeron actividades en cubierta como fueron, el lance y recuperación del CTD, del nucleador de caja y/o draga Smith McIntyre, de la red de fitoplancton y zooplancton, separación de material biológico producto de la red de arrastre, así como de la ordeña de las botellas Niskin para los diferentes análisis realizados por los diferentes grupos participantes.

El personal del IMP colectó muestras de agua, material particulado suspendido en agua y sedimentos. Las muestras de agua fueron colectadas para su posterior análisis de hidrocarburos totales del petróleo, hidrocarburos aromáticos policíclicos y biomarcadores del petróleo. Las muestras de material particulado se colectaron para análisis de las concentraciones de carbono orgánico y nitrógeno particulado, e isótopos de carbono ($^{13}C/^{12}C$) y nitrógeno ($^{15}N/^{14}N$). Finalmente, las muestras de sedimento se tomaron para determinar el contenido de carbono orgánico total, nitrógeno total, isótopos de carbono, isótopos de nitrógeno, hidrocarburos totales del petróleo, hidrocarburos aromáticos policíclicos, biomarcadores del petróleo y toxicidad. A continuación se resumen los procedimientos de colecta y tipos de análisis que se llevarán a cabo en los laboratorios del IMP.

Las muestras de agua superficial se obtuvieron en garrafones de 1 galón en una canasta metálica utilizando la manivela de proa entre los 0 y 10 m de profundidad, y mediante una botella muestreadora Niskin de 10 L de capacidad o Van Dorn de 7 L, en la plataforma de estribor. Las muestras en estaciones profundas (> 500 m) de igual manera se realizaron colectando entre los 10 L de agua en las botellas Niskin disparadas cerca del fondo marino.

Las muestras de sedimento se obtuvieron de la capa superficial recuperada con el nucleador de caja y/o draga (dependiendo de la profundidad de la estación). Se tomaron dos muestras, una en un frasco de vidrio de boca ancha para análisis de hidrocarburos y biomarcadores y otra en una bolsa plástica tipo ziplock para el resto de los análisis.

Cuadro 1. Región Tamaulipas-Veracruz Golfo de México. Estaciones, matriz de muestreo y profundidad. Marzee-3.

Estación	Fecha Muestreo	Latitud	Longitud	Profundidad	Matriz		
	día/mes/año	**Norte**	**Oeste**	**(m)**	**Agua**	**Partículas**	**Sedimento**
1	28/10/2012	25.83	-96.74	50	Sup.	Sup.	D
2	28/10/2012	25.86	-96.44	100	Sup.	Sup.	D
3	28/10/2012	25.85	-96.32	200	Sup.	Sup.	NC
4	28/10/2012	25.85	-96.22	500	Sup.	Sup.	NC
5	26/10/2012	25.85	-95.75	1500	Sup.	Sup.	NC
6	26/10/2012	25.85	-95.42	2500	Sup. y Fondo	Sup. y Fondo	NC
9	28/10/2012	25.33	-96.33	500	Sup.	Sup.	NC
10	28/10/2012	25.33	-96.45	200	Sup.	Sup.	NC
11	29/10/2012	25.33	-96.67	100	Sup.	Sup.	D
12	29/10/2012	25.33	-97.01	50	Sup.	Sup.	D
13	29/10/2012	24.94	-97.15	50	Sup.	Sup.	D
14	29/10/2012	24.95	-96.87	100	Sup.	Sup.	D
15	29/10/2012	24.95	-96.66	200	Sup.	Sup.	NC
16	29/10/2012	24.95	-96.55	500	Sup.	Sup.	NC
17	30/10/2012	24.95	-96.03	1500	Sup.		NC
18	30/10/2012	24.83	-95.74	2500	Sup. y Fondo	Sup. y Fondo	NC
19	30/10/2012	24.48	-95.94	2500	Sup. y Fondo	Sup. y Fondo	NC
20	30/10/2012	24.49	-96.29	1500	Sup.		NC
21	31/10/2012	24.50	-96.53	500	Sup.	Sup.	NC
22	31/10/2012	24.48	-96.94	200	Sup.	Sup.	NC
23	31/10/2012	24.48	-97.09	100	Sup.	Sup.	D
24	31/10/2012	24.48	-97.38	50	Sup.	Sup.	D
25	31/10/2012	23.77	-97.55	50	Sup.	Sup.	D
26	31/10/2012	23.77	-97.35	100	Sup.	Sup.	D
27	31/10/2012	23.77	-97.28	200	Sup.	Sup.	D
28	31/10/2012	23.78	-97.14	500	Sup.	Sup.	NC
29	01/11/2012	23.78	-96.88	1500	Sup.		NC
30	01/11/2012	23.37	-96.28	2500	Sup. y Fondo	Sup. y Fondo	NC
32	01/11/2012	23.05	-97.00	1500	Sup.		NC
33	01/11/2012	23.06	-97.34	500	Sup.	Sup.	NC
34	01/11/2012	23.06	-97.39	200	Sup.	Sup.	D
35	02/11/2012	23.06	-97.43	100	Sup.	Sup.	D
36	02/11/2012	23.06	-97.55	50	Sup.	Sup.	D

(D:Draga; NC:nucleador de caja)

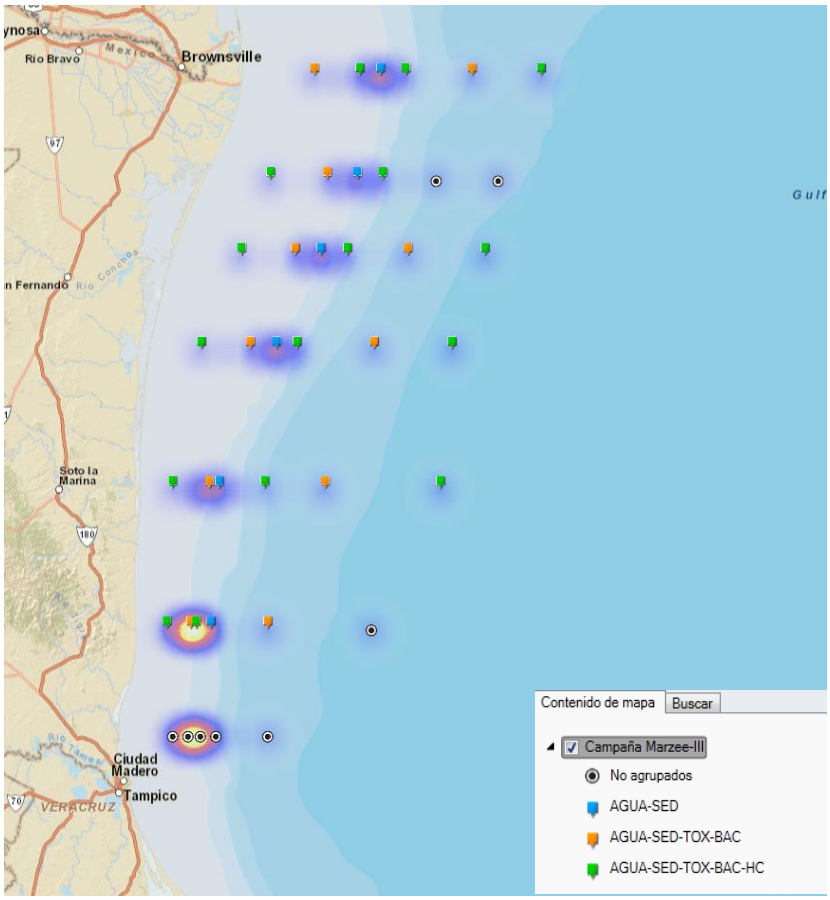


Figura 1. Estaciones de muestreo Región Tamaulipas-Veracruz Golfo de México.

4.1.2 Compuestos orgánicos

Hidrocarburos totales del petróleo, hidrocarburos aromáticos policíclicos y biomarcadores del petróleo.

Los compuestos orgánicos en agua, se tomaron a nivel superficial en la plataforma de muestreo de proa del B/O Justo Sierra, utilizando la canasta metálica de acero inoxidable adaptada con un bidón de cristal de 1 galón de capacidad. Esta muestra se subdividió en dos frascos de 1 L para los análisis de hidrocarburos aromáticos policíclicos/biomarcadores, y otro para hidrocarburos totales del petróleo. Todas las muestras de agua se refrigeraron (4°C). En total se colectaron 18 muestras para el análisis de hidrocarburos totales del petróleo, y 18 muestras para el análisis de hidrocarburos aromáticos policíclicos/biomarcadores del petróleo.

Se colectaron un total de 35 muestras de sedimento para el análisis de hidrocarburos totales del petróleo, hidrocarburos aromáticos policíclicos y biomarcadores del petróleo, en frascos de los lances del nucleador de caja y draga respectivamente. En todos los casos el muestreo, se realizó en el segmento superior (0 a 4 cm).

5.2 MÉTODOS DE LABORATORIO

5.2.1 Compuestos orgánicos

Hidrocarburos totales del petróleo en agua

Extracción de la muestra y procesamiento del extracto

El extracto se realizó tomando 1000 ml de muestra de agua a la cual se adicionó 20 µl de o-terfenil como estándar interno surrogado (SIS), y se extrajo por triplicado con cloruro de metileno siguiendo el procedimiento técnico 05LA-0311-01-IT-5-200. Los extractos se concentraron a un volumen aproximado de 1 ml en un equipo Kuderna-Danish seguido por evaporación en un ambiente de nitrógeno. Uno de los extractos se seccionó para archivo. y se añadieron 20 µl del estándar interno de recuperación 5-α-androstano (RIS) al segundo extracto. Los extractos se purificaron por cromatografía de líquidos de alta eficiencia bajo el procedimiento técnico 05LA-0311-01-IT-5-191.

Con cada lote de muestras, se procesó el siguiente control de calidad: blanco del proceso (PB), blanco del disolvente (SOL), muestra control del laboratorio (LCS), y duplicado de muestra control de laboratorio (LCSD).

Análisis instrumental

La separación y cuantificación de HTP, n-alcanos (nC8-nC40) e isoprenoides se realizó por cabo con cromatografía de gases capilar de alta resolución siguiendo el procedimiento técnico 05LA-0311-01-IT-5-202, el cual está basado en el método de referencia EPA 8015. Se realizó una calibración inicial de 6 puntos con los analitos

de interés nC8-nC40, pristano, fitano, isoprenoides y HTP totales (Cuadro 4) con el objeto de demostrar el rango de linealidad del análisis. Durante el procesamiento se realizaron calibraciones de verificación de nivel medio, a fin de monitorear la respuesta del instrumento con respecto a la respuesta en la calibración inicial.

Las concentraciones de HTP, alcanos normales (nC8-nC40) e isoprenoides se calcularon por el procedimiento estándar interno dentro del LIMs. Los alcanos normales se cuantificaron utilizando el FR promedio generado de la calibración inicial de los 6 puntos. Las concentraciones de TPH se cuantificaron utilizando el FR promedio de nC8 a nC40. Los isoprenoides, se cuantificaron utilizando los FR promedio del n-alcano inmediato precedente y siguiente a cada analito.

Hidrocarburos aromáticos policíclicos y biomarcadores en agua

Extracción de la muestra y procesamiento del extracto

El extracto se preparó tomando 1000 ml de muestra de agua con 20 µl del estándar interno surrogado 5-β-colano, y se extrajo en serie por triplicado con cloruro de metileno siguiendo el procedimiento técnico 05LA-0311-01-IT-5-200. Los extractos se concentraron a un volumen aproximado de 1 ml en un equipo Kuderna-Danish seguido por evaporación en un ambiente con nitrógeno. Posteriormente los extractos se seccionaron en dos partes: una para archivo y la otra se adicionó 20 µl del estándar interno de recuperación 5-α-androstano (RIS). Los extractos se purificaron por HPLC bajo el procedimiento técnico 05LA-0311-01-IT-5-191.

Con cada lote de muestras, se procesó el siguiente control de calidad: blanco del proceso (PB), muestra control del laboratorio (LCS), y duplicado de muestra control de laboratorio (LCSD).

Análisis instrumental

La cuantificación de HAPs y biomarcadores del petróleo de las muestras de agua se llevó a cabo con cromatografía de gases con detección selectiva de masas siguiendo el procedimiento técnico 05LA-0311-01-IT-5-157, el cual se basa en el método de referencia EPA 8270. Se realizó una calibración inicial de 6 puntos con los analitos de interés (Cuadro 5) con el objeto de verificar el rango de linealidad del análisis. Durante el procesamiento se realizaron calibraciones de verificación de nivel medio para monitorear la respuesta del instrumento con respecto a la respuesta en la calibración inicial.

Las concentraciones de HAP y biomarcadores del petróleo, se calcularon por el procedimiento estándar interno del LIMs. La concentración de los HAPs se calculó contra los estándares internos añadidos antes del análisis instrumental y se cuantificaron empleando los FR promedio generados de los puntos iniciales de la calibración. Los homólogos alquilados de las series de HAP se asignaron al FR del HAP parental. A los biomarcadores esteranos se les asignaron los FR del colestano, los triterpanos fueron asignados con los del moretano, y los esteranos mono- y triaromáticos fueron asignados con los FR del criseno.

Control y aseguramiento de calidad de los análisis de compuestos orgánicos

El personal del laboratorio fue responsable de asegurar que el tránsito de las muestras, su preparación y de que la operación del instrumental analítico cumplieran los criterios de control de calidad detallados en los procedimientos estandarizados de operación del Laboratorio de Química Analítica Especializada del IMP.

Una vez obtenidos los resultados, previo a la autorización de los mismos por el Ejecutivo del Laboratorio, los datos se revisaron para asegurar que las mediciones cumplieran los objetivos de calidad de la medición así como su trazabilidad y respaldo para alguna posible defensa posterior. El Ejecutivo también revisó que los datos cumplieran con los procedimientos documentados, con los objetivos de calidad del proyecto así como para asegurar consistencias internas y su comportamiento de acuerdo a valores esperados o conocidos. Cualquier corrección en el proceso del análisis se documentó dentro de LIMs.

ANALISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DEL PETROLEO (HTP) EN SEDIMENTOS.

Extracción de la muestra y procesamiento del extracto

Previamente a la extracción se homogenizaron los sedimentos, se tomaron dos alícuotas, la primera de 5 g para la determinación de peso seco y la segunda de 30 g para la obtención del extracto. Esta última fracción fue adicionada con 20 µl del estándar interno surrogado (SIS) de o-Terphenyl, y extraída con cloruro de metileno usando extracción acelerada con disolventes de acuerdo al procedimiento técnico 05LA-0311-01-IT-5-307. Los extractos se concentraron a un volumen aproximado de 1 ml en Kuderna-Danish seguido de evaporación de nitrógeno y tratados con cobre activado para remover sulfuros. Posteriormente los extractos se seccionaron en dos partes: una para archivo y la otra fue procesada para su purificación a través de columnas de alúmina y adicionadas con el estándar interno de recuperación (RIS) que en éste caso fue 5-α-androstano. Finalmente se enviaron al análisis HTP/alcanos.

Con cada lote de muestras de sedimento, se procesó el siguiente control de calidad: blanco del proceso (PB), blanco del disolvente (SOL), muestra control del laboratorio consistente de una mezcla de HTP (LCS), duplicado de muestra control de laboratorio (LCSD) y duplicado de muestra (QADU).

Análisis instrumental

El contenido de hidrocarburos totales del petróleo y compuestos individuales en los extractos de las muestras se llevó a cabo con cromatografía de gases capilar de alta resolución bajo el procedimiento técnico 05LA-0311-01-IT-5-202 basado en el

método de referencia EPA 8015. Previo al análisis se realizó una calibración inicial de 6 puntos con los analitos de interés (Cuadro A) con el objeto de demostrar el rango de linealidad del análisis. Así mismo, durante el procesamiento se realizaron calibraciones de verificación de nivel medio, a fin de monitorear la respuesta del instrumento con respecto a la respuesta en la calibración inicial.

Las concentraciones de TPH, alcanos normales (nC$_8$-nC$_{40}$) y los isoprenoides se calcularon por el procedimiento estándar interno dentro del sistema de administración de información del laboratorio (LIMs). Los alcanos normales se cuantificaron utilizando el Factor de respuesta (RIS) promedio generado de la calibración inicial de los 6 puntos. Las concentraciones de TPH se cuantificaron utilizando el RF promedio de nC$_8$ a nC$_{40}$, y las concentraciones de hidrocarburos isoprenoides, se cuantificaron utilizando los RF promedio de los *n*-alcanos inmediato precedente y siguiente a cada analito.

Control y aseguramiento de calidad

Los objetivos de calidad de los datos (DQO) y criterios de aceptación establecidos por el laboratorio para éste análisis fueron:

- Calibración inicial mediante una curva de 6 puntos (RSD<20%)
- Verificación de la curva de calibración inicial 1 vez cada calibración inicial (% diferencia <20)
- Verificación continua de la curva de calibración inicial (MID) después de cada 9 muestras o 12 hrs y al final de la secuencia (% diferencia <20)
- Blanco del proceso, 1 por lote (<5*MDL)
- Muestra control del laboratorio, 1 por lote (Recuperación 40-120%)
- Estándar adicionado de recobro (SIS) cada muestra (Recuperación 40-120%).
- Muestra duplicada QADU, 1 por lote (≤30 RPD)

RSD%=Desviación Estándar Relativa, expresada en porcentaje

El personal del laboratorio fue responsable de asegurar que el tránsito de las muestras, su preparación y de que la operación del instrumental analítico cumplieran los criterios de control de calidad detallados en los procedimientos estandarizados de operación del Laboratorio de Química Analítica Especializada del IMP.

Una vez obtenidos los resultados, previo a la autorización de los mismos por el Ejecutivo del Laboratorio, los datos se revisaron para asegurar que las mediciones cumplieran los objetivos de calidad de la medición así como su trazabilidad y respaldo para alguna posible defensa posterior. El Ejecutivo también revisó que los datos cumplieran con los procedimientos documentados, con los objetivos de

calidad del proyecto así como para asegurar consistencias internas y su comportamiento de acuerdo a valores esperados o conocidos. Cualquier corrección en el proceso del análisis se documentó dentro de LIMs.

Cuadro A. Analitos de interés de HTP

No	Nombre	No	Nombre
1	n-Octano	21	n-Tricosano
2	n-Nonano	22	n-Tetracosano
3	n-Decano	23	n-Pentacosano
4	n-Undecano	24	n-Hexacosano
5	n-Dodecano	25	n-Heptacosano
6	n-Tridecano	26	n-Octacosano
7	Isoprenoide RRT1380	27	n-Nonacosano
8	n-Tetradecano	28	n-Triacontano
9	Isoprenoide RRT1470	29	n-Hentriacontano
10	n-Pentadecano	30	n-Dotriacontano
11	n-Hexadecano	31	n-Tritriacontano
12	Norpristano(1650)	32	n-Tetratriacontano
13	n-Heptadecano	33	n-Pentatriacontano
14	Pristano	34	n-Hexatriacontano
15	n-Octadecano	35	n-Heptatriacontano
16	Fitano	36	n-Octatriacontano
17	n-Nonadecano	37	n-Nonatriacontano
18	n-Eicosano	38	n-Tetracontano
19	n-Heneicosano	39	TPH(total)
20	n-Docosano		

ANALISIS DE HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICICLICOS (HAP) Y MARCADORES MOLECULARES DEL PETRÓLEO EN SEDIMENTOS.

Extracción de la muestra y procesamiento del extracto

Previamente a la extracción se homogenizaron los sedimentos, se tomaron dos alícuotas, la primera de 5 g para la determinación de peso seco y la segunda de 30 g para la obtención del extracto. Esta última fracción fue adicionada con 20 µl del estándar interno surrogado (SIS) 5-β-colano, y extraída con cloruro de metileno usando extracción acelerada con disolventes de acuerdo al procedimiento técnico 05LA-0311-01-IT-5-307. Posteriormente los extractos se procesaron para su purificación siguiendo el procedimiento técnico 05LA-0311-01-IT-5-191 para lo cual se efectuó una separación en columna abierta con alúmina al 6%, se aplicó la

separación por pesos moleculares por HPLC preparativo con columna de permeación de gel o tamaño de exclusión y se fijó la ventana con un estándar de metoxiclor y perileno. Los extractos se concentraron a un volumen aproximado de 1 ml en Kuderna-Danish seguido de evaporación de nitrógeno y se enviaron al análisis de semivolátiles orgánicos.

Como control de calidad se procesó en cada lote de muestras de sedimento: blanco del proceso (PB), duplicado de la muestra (QADU), muestra control del laboratorio consistente de una mezcla de hidrocarburos (LCS), y duplicado de muestra control de laboratorio (LCSD).

Análisis instrumental

El contenido de hidrocarburos policíclicos y biomarcadores del petróleo de las muestras se llevó a cabo con cromatografía de gases con detección selectiva de masas bajo el procedimiento técnico 05LA-0311-01-IT-5-157 basado en el método de referencia EPA 8270. Previo al análisis se realizó una calibración inicial de 6 puntos con los analitos de interés (Cuadro B) con el objeto de demostrar el rango de linealidad del análisis. Así mismo, durante el procesamiento se realizaron calibraciones de verificación de nivel medio, a fin de monitorear la respuesta del instrumento con respecto a la respuesta en la calibración inicial.

Las concentraciones de HAP y biomarcadores del petróleo, se calcularon por el procedimiento estándar interno dentro del sistema de administración de información del laboratorio (LIMs). Los HAP fueron calculados contra los estándares internos adicionados antes del análisis instrumental y se cuantificaron empleando los factores de respuesta promedio generados de los puntos iniciales de la calibración. Los homólogos alquilados de las series de HAP, se asignaron al factor de respuesta del HAP parental. En el caso de los biomarcadores, a los esteranos se les asignaron los factores de respuesta del colestano, los Triterpanos fueron asignados con los del moretano y los esteranos mono- y triaromáticos fueron asignados con los factores del criseno.

Control y aseguramiento de calidad

Los objetivos de calidad de los datos (DQO) y criterios de aceptación establecidos por el laboratorio para éste análisis fueron:

- Calibración inicial mediante una curva de 6 puntos (RSD<15%)
- Verificación de la curva de calibración inicial 1 vez cada calibración inicial (RSD%<15% ó promedio <15% y ninguno >25%)
- Verificación continua de la curva de calibración inicial (MID) después de cada 12 hrs y al final de la secuencia (% diferencia <20)
- Blanco del proceso, 1 por lote (<5*MDL)
- Muestra control del laboratorio, 1 por lote (Recuperación 70-130%)
- Estándar adicionado de recobro (SIS) cada muestra (Recuperación 70-130%).

- Muestra duplicada QADU, 1 por lote (≤30 RPD)

RSD%=Desviación Estándar Relativa, expresada en porcentaje

El personal del laboratorio fue responsable de asegurar que el tránsito de las muestras, su preparación y de que la operación del instrumental analítico cumplieran los criterios de control de calidad detallados en los procedimientos estandarizados de operación del Laboratorio de Química Analítica Especializada del IMP.

Una vez obtenidos los resultados, previo a la autorización de los mismos por el Ejecutivo del Laboratorio, los datos se revisaron para asegurar que las mediciones cumplieran los objetivos de calidad de la medición así como su trazabilidad y respaldo para alguna posible defensa posterior. El Ejecutivo también revisó que los datos cumplieran con los procedimientos documentados, con los objetivos de calidad del proyecto así como para asegurar consistencias internas y su comportamiento de acuerdo a valores esperados o conocidos. Cualquier corrección en el proceso del análisis se documentó dentro de LIMs.

Cuadro B. Analitos de interés de HAP y biomarcadores del petróleo

No	Nombre	No	Nombre
1	C1-Decalins	63	C26TricyclicTerpane-22S
2	C2-Decalins	64	C26TricyclicTerpane-22R
3	C3-Decalins	65	C28TricyclicTerpane-22S
4	C4-Decalins	66	C28TricyclicTerpane-22R
5	Benzo(b)thiophene	67	C29TricyclicTerpane-22S
6	C1-benzo(b)thiophenes	68	C29TricyclicTerpane-22R
7	C2-benzo(b)thiophenes	69	18a(H)-22,29,30-Trisnorneohopane-Ts
8	C3-benzo(b)thiophenes	70	17a(H)-22,29,30-Trisnorhopane-Tm
9	C4-benzo(b)thiophenes	71	17a(H),21b(H)-28,30-Bisnorhopane
10	Naphthalene	72	17a(H),21b(H)-25-Norhopane
11	C1-Naphthalenes	73	30-Norhopane
12	C2-Naphthalenes	74	18a(H)-30-Norneohopane-C29Ts
13	C3-Naphthalenes	75	17a(H)-Diahopane
14	C4-Naphthalenes	76	30-Normoretane
15	Biphenyl	77	18a(H)+18b(H)-Oleananes
16	Acenaphthylene	78	Hopane
17	Acenaphthene	79	Moretane
18	Dibenzofuran	80	30-Homohopane-22S
19	Fluorene	81	30-Homohopane-22R
20	C1-Fluorenes	82	17b(H),21b(H)-Hopane
21	C2-Fluorenes	83	30-Bishomohopane-22S
22	C3-Fluorenes	84	30,31-Bishomohopane-22R
23	Dibenzothiophene	85	30,31-Trishomohopane-22S
24	C1-Dibenzothiophenes	86	30,31-Trishomohopane-22R
25	C2-Dibenzothiophenes	87	Tetrakishomohopane-22S
26	C3-Dibenzothiophenes	88	Tetrakishomohopane-22R
27	C4-Dibenzothiophenes	89	Pentakishomohopane-22S
28	Anthracene	90	13b(H),17a(H)-20S-Diacholestane
29	Phenanthrene	91	13b(H),17a(H)-20R-Diacholestane
30	C1-Phenanthrenes/Anthracenes	92	13b(H),17a(H)-20S-Methyldiacholestane
31	C2-Phenanthrenes/Anthracenes	93	14a(H),17a(H)-20S-Cholestane
32	C3-Phenanthrenes/Anthracenes	94	14a(H),17a(H)-20S-Methylcholestane
33	C4-Phenanthrenes/Anthracenes	95	14a(H),17a(H)-20R-Methylcholestane
34	Fluoranthene	96	14a(H),17a(H)-20S-Ethylcholestane
35	Pyrene	97	14a(H),17a(H)-20R-Ethylcholestane
36	C1-Fluoranthenes/Pyrenes	98	14b(H),17b(H)-20R-Cholestane
37	C2-Fluoranthenes/Pyrenes	99	14b(H),17b(H)-20S-Cholestane
38	C3-Fluoranthenes/Pyrenes	100	14b(H),17b(H)-20R-Methylcholestane
39	Benzo(a)anthracene	101	14b(H),17b(H)-20S-Methylcholestane
40	Chrysene	102	14b(H),17b(H)-20R-Ethylcholestane
41	C1-Chrysenes	103	14b(H),17b(H)-20S-Ethylcholestane
42	C2-Chrysenes	104	C20-TAS
43	C3-Chrysenes	105	C21-TAS
44	C4-Chrysenes	106	C26-TAS(20S)
45	Benzo(b)fluoranthene	107	C26,C27-TAS
46	Benzo(k)fluoranthene	108	C28-TAS(20S)
47	Benzo(e)pyrene	109	C27-TAS(20R)
48	Benzo(a)pyrene	110	C28-TAS(20R)
49	Perylene	111	C21-MAS
50	Indeno(1,2,3-cd)pyrene	112	C22-MAS
51	Dibenz(a,h)anthracene	113	C27-20R-MAS
52	Benzo(g,h,i)perylene	114	C27-20S-MAS
53	2-Methylnaphthalene	115	C28-20S-MAS
54	1-Methylnaphthalene	116	C27-C2920S/R-MAS
55	2,6-dimethylnaphthalene	117	C29-20S-MAS
56	2,3,5-trimethylnaphthalene	118	C29-20R-MAS
57	1-Methylphenanthrene	119	C27-MAS
58	3,6-Dimethylphenanthrene	120	trans-Decalin
59	C23TricyclicTerpane	121	cis-Decalin
60	C24TricyclicTerpane	122	Pentakishomohopane-22R
61	C25TricyclicTerpane	123	20R-Cholestane (Cholestane)
62	C24TetracyclicTerpane		

5.2.2. Concentraciones e isótopos de Carbono y Nitrógeno

El carbono orgánico y nitrógeno total se analizaron por combustión a alta temperatura siguiendo el método ASTM-D5291-D. El método se basa en la combustión de la muestra a alta temperatura en un ambiente de oxígeno purificado para generar bióxido de carbono, vapor de agua, y nitrógeno molecular y óxidos de nitrógeno. Los productos de esta oxidación son luego pasados a través de una columna de cobre para remover el exceso de oxígeno y reducir los óxidos de nitrógeno a nitrógeno molecular. Posteriormente, los gases son pasados a través de una columna cromatográfica para separar y eluir el N_2, CO_2 y H_2O, en ese orden. Los gases eluídos son cuantificados mediante un detector de conductividad térmica. Las concentraciones de carbono, hidrógeno y nitrógeno se calculan en función de la respuesta del instrumento calibrado contra un estándar y la masa o volumen de la muestra.

Preparación de la muestra

La muestra filtrada fue secada en un horno de convección a <60^{o}C y macerada en un mortero hasta obtener un polvo fino. Las muestras de sedimento se secaron a <60^{o}C, se maceraron en un mortero hasta obtener un polvo fino y fueron tratadas con H_2SO_4 para eliminar los carbonatos presentes. Posteriormente fueron lavadas con agua destilada, secadas y pulverizadas.

Análisis instrumental

El filtro macerado fue colocado en su totalidad en una cápsula de aluminio. Con los sedimentos, se colocaron aproximadamente 10 mg de muestra en la cápsula de aluminio. La cápsula con muestra se colocó en un analizador elemental Elementar modelo Vario EL para su análisis. La muestra fue calcinada a 920^{o}C utilizando oxígeno ultra puro como oxidante, y helio ultra puro como gas acarreador.

Control y aseguramiento de calidad

Previo al análisis, el instrumento se estabilizó hasta adquirir temperatura constante. Posteriormente se generó una curva de calibración de 7 puntos utilizando acetanilida (71.09% C, 6.71% H, 10.36% N) como estándar primario. Durante los análisis de las muestras se insertó un estándar secundario (sedimento certificado) entre cada 20 muestras. Como criterio de aceptación de cada lote se estableció que los valores del estándar secundario se encuentren dentro de los límites de precisión del instrumento. En caso contrario, se re-analizó el estándar, y se recalcularon los valores.

Los límites de detección del método para el carbono fueron 0.03 umoles, y para el nitrógeno 0.07 umoles.

Las concentraciones por matriz se expresan en µM para partículas suspendidas en agua, y en porcentaje base seca para sedimentos.

5.2.3 Metales y granulometría

ANÁLISIS DE METALES MEDIANTE ESPECTROMETRÍA DE ICP-OES

Las muestras derivadas del muestreo llevado a cabo en los sitios de estudio son analizados en base húmeda previa refrigeración hasta el procedimiento de preparación de la muestra especificado en la metodología establecida para el análisis correspondiente. Con antelación se determina el porciento de humedad para realizar los ajustes en los cálculos de concentración de cada uno de los elementos de interés.

Los elementos determinados en µg/g son: As, Al, Ba, Ni, Cd, Pb, Zn, V, Cr, Cu, Fe; de los cuales existe la variante para la determinación de As mediante ICP - Generador de Hidruros.

La metodología utilizada en la digestión de las muestras a través de un Digestor, Marca CEM, modelo Mars5 es el EPA-3051, mientras las metodologías establecidas para la determinación elementales basadas en la Guía EPA-6015 en el Espectrómetro de ICP Marca Thermo Jarrell Ash , Modelo Atom Scan 16 son: para la determinación de Al, Ba, Ni, Cd, Pb, Zn, V, Cr, Cu y Fe el método 05LA-0214-EP-MP-05 y para As el método 05LA-0214-EP-06 establecidos en el Área de Emisión de Plasma del Laboratorio de Productividad de Pozos de la Dirección Ejecutiva de Exploración y Producción.

El uso de la espectrometría de emisión por plasma se basa en la determinación elemental en muestras llevadas a digestión ácida y diluidas con agua desionizada.

La muestra, es transportada mediante una bomba peristáltica hasta el sistema de nebulización donde es transformada en aerosol y conducido a la zona de ionización que consiste en un plasma generado al someter un flujo de gas argón a la acción de un campo magnético oscilante inducido por una corriente de alta frecuencia, su interior alcanza temperaturas de hasta 8000˚ K.

En estas condiciones, los átomos presentes en la muestra son ionizados/excitados. Al volver a su estado fundamental, estos iones o átomos excitados emiten radiaciones de una longitud de onda que es característica de cada elemento pasando a través de un sistema óptico que separa la radiación según su longitud onda. El detector mide la intensidad de cada una de las radiaciones relacionando ésta con la concentración de cada elemento.

Los límites de detección derivados de la metodología son los siguientes:

Elemento	Límite de detección
As	0.001
Al	0.230
Ba	0.004
Cd	0.0001
Cr	0.015
Cu	0.045
Fe	0.018
Ni	0.009
Pb	0.009
V	0.029
Zn	0.003

5.2.3. Granulometría

ANÁLISIS DE GRANULOMETRIA MEDIANTE EL METODO DE FOLK

La caracterización granulométrica del sedimento se realizó siguiendo el método de Folk (1974). Se colocó una fracción del sedimento seco en un desecador para eliminar completamente la humedad, posteriormente se pesaron 30 g y se adicionó peróxido de hidrógeno a un volumen no mayor de 1L para oxidar la materia orgánica. Una vez terminada la reacción, se pasó la muestra por tamices de 1.0, 0.5, 0.25, 0.125 y 0.0625 mm de luz de malla utilizando un poco de agua.

Se recuperaron las fracciones de sedimento de cada uno de los tamices (fracción gruesa), y se colocaron en cápsulas de porcelana a peso constante. El resultado de esta fracción se obtuvo de la diferencia de peso entre las cápsulas con y sin sedimento

La fracción obtenida después del tamiz de 0.0625 de malla (fracción fina), se colocó en una probeta de 1000 ml y se dejó precipitar por dos días. Transcurrido el período se ajustó el volumen a 1L y se agitó la probeta por dos minutos.

Una vez mezclada, se tomaron alícuotas de 25 ml con pipetas volumétricas a diferentes tiempos y profundidades previamente definidas por el método, las cuales se colocaron en crisoles de porcelana puestos previamente a peso constante. Se obtuvo la diferencia de pesos y se calcularon las proporciones de sedimento de cada alícuota de acuerdo a la ecuación:

$$PS = DP \bullet PV$$

PS= Proporción de sedimento tomado de la probeta

DP= Diferencia de pesos de crisoles con y sin sedimento

PV= Proporción de volumen de la alícuota con respecto al volumen total de la probeta (25ml/1000 ml)

Los resultados de proporción de sedimento se restaron con el siguiente inmediato, a fin de obtener la masa neta de cada fracción sedimentaria (Gavande, 1979).

A partir de los valores de masa neta de cada una de las fracciones gruesas y finas, se obtuvieron los porcentajes de cada clase de sedimento con base en la ecuación:

$$\%S = \frac{MN}{MM} \bullet 100$$

%S= Porcentaje de cada tipo de sedimento

MN= Masa neta de la fracción gruesa o fina (g)

MM = Masa de la muestra utilizada para el análisis (30g)

Finalmente, los porcentajes se clasificaron por clase de sedimento de acuerdo a Wenworth (1922).

5.3 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

5.3.1 Compuestos orgánicos

Para la interpretación de los datos de compuestos orgánicos se consideraron como el valor cuantificado y la mitad al límite de detección en el caso de los valores detectados con cuantificación menor al límite de detección, excepto en los cálculos de índices composicionales en los que no se tomó valor que no fue cuantificado con la certidumbre definida por el laboratorio.

5.3.1.1. Análisis estadístico de tendencia central

El comportamiento general de los datos se describe por medio de estadística básica: media geométrica, desviación estándar, coeficiente de variación, intervalo de confianza. El tratamiento estadístico de los datos se realizó utilizando hojas de cálculo Excel y el software de estadística Statistica® (1998).

5.3.1.2. Hidrocarburos Totales del Petróleo HTP

Los hidrocarburos aromáticos son ubicuos en el ambiente y se encuentran en sedimentos antiguos y recientes. Estos compuestos tienen origen biogénico, por

actividades antropogénicas y procesos relacionados con altas temperaturas. Se han utilizado como indicadores del origen de materia orgánica (Budzinki, et al., 1997)

5.3.1.2.1. HTP EN AGUA

Se presenta el comportamiento estadístico de las concentraciones de HTP totales detectadas en columna de agua y se comparan con valores de referencia detectados en estudios antecedente publicados en la literatura abierta para observar alguna variación temporal y los posibles factores que la definen.

Se especifican los compuestos individuales cuantificados arriba del Límite de detección del laboratorio para su seguimiento. Se grafica el patrón de distribución de compuestos para las estaciones donde se detecten valores arriba del límite de detección

5.3.1.2.2. HTP EN SEDIMENTO

Se presenta el comportamiento estadístico de las concentraciones de HTP totales detectadas en sedimentos superficiales y se comparan con valores de referencia detectados en estudios antecedente publicados en la literatura abierta para observar alguna variación temporal y los posibles factores que la definen.

Se especifican los compuestos individuales cuantificados arriba del Límite de detección del laboratorio para su seguimiento. Se grafica el patrón de distribución de compuestos para las estaciones donde se detecten valores arriba del límite de detección

5.3.1.3. Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos HAP

Los Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), son sustancias orgánicas formadas por átomos de carbono e hidrógeno agrupados en al menos dos anillos aromáticos fusionados. Estos compuestos se dividen en dos categorías principales:

1. Compuestos de bajo peso molecular: compuestos de menos de cuatro anillos
2. Compuestos de alto peso molecular: Compuestos de cuatro o más anillos aromáticos.

Los HAP derivados, comprenden aquellos que tienen un radical alquilo u otro unido al anillo.

Las principales rutas de ingreso de HAP en ambientes acuáticos incluyen la deposición atmosférica de partículas derivadas de pirolisis, descargas de aguas

residuales domésticas e industriales, escorrentías terrestres por acción de las lluvias, derrames y emanaciones naturales de combustibles fósiles y en menor grado las fuentes naturales como biosíntesis.

Las relaciones de componentes de HAP de similar masa o peso molecular, se encuentran bien establecidas como método de interpretación de la composición de estos compuestos y de la inferencia de sus fuentes y diagénesis (Yunker, et al., 1996). Estas relaciones se representan con el isómero menos estable o cinético en el denominador, y el más estable o termodinámico en el numerador, siendo entonces que los incrementos en dichas relaciones se consideran comúnmente como indicadores de fuentes antropogénicas y/o de combustión (Yunker y Macdonald, 1995). Es así que se hace la identificación del origen de HAP en sedimento por medio de los índices composicionales y criterios que se citan a continuación.

INDICE COMPOSICIONAL	CRITERIOS	REFERENCIA
a) ≤3 ANILLOS / ≥4 ANILLOS	<1 pirogénico, >1 petrógenico	Kayal & Conell (1995), Maldonado *et al*. (1999)
b) Σ FEN, FLT, PIR, BAP / N	>150 Sitios limpios, 4-50 Contaminados	Maldonado *et al*., 2000
c) FLT/PIR	<10 Combustión (<1 Diesel, >1 aerosoles atmosféricos)	Tolosa *et al*. (2004); Ibrahim (2004)
d) FEN/ANT	<10 Pirogénico, >10 Petrolifero	Tolosa *et al*. (2004); Ibrahim (2004)
e) BGP/BAP	0.8-1.3 Contaminación por petróleo	Kayal & Conell (1995)
f) BAA/CRI	> 0.9 Pirogénico, ≤ 0.4 Petrogénico	Readman, *et al.,* (2002)
g) BAP/CRI	>1 Contaminación por petróleo	Yunker & Macdonald, 1994)
h) ANT/ANT+FEN	>1 Fuentes antropogénicas de uso industrial	Bouchez *et al*. (1996); Yunker *et al*., (2002)
i) FLR/FLR+PIR	>1 Fuentes antropogénicas de uso industrial	Bouchez *et al*. (1996)
j) IP/IP+BGP	>1 Fuentes antropogénicas de uso industrial	Fernandes *et al*. (1997); Yunker *et al*., (2002)

5.3.1.3.1. HAP EN AGUA

Se presenta la estadística descriptiva de los niveles de HAP totales y HAP de alto y bajo peso molecular por estación y en la columna de agua y se distinguen las especies detectadas sobre el límite de detección de laboratorio.

Los niveles de estos hidrocarburos se comparan con valores de referencia que se han registrado previamente para la región sur del Golfo de México y en la región norte reportados en la literatura científica, también se comparan con los criterios de calidad del agua reportados por la NOAA.

5.3.1.3.2. HAP EN SEDIMENTO

En el caso de sedimento se describe el comportamiento estadístico de las concentraciones de HAP Totales, de alto y bajo peso molecular en el sedimento superficial. Se revisan las especies de HAP cuantificados sobre el límite de detección del Laboratorio.

Los niveles de estos compuestos son comparados con datos reportados en la literatura abierta para la porción sur del Golfo de México y con los valores criterio para la definición de calidad ambiental del sedimento publicados por la NOAA.

Para calcular los criterios de origen de los HAP en el ambiente, se utilizaron las concentraciones obtenidas del análisis de los compuestos en los sedimentos para formar los índices composicionales.

5.3.1.4. Biomarcadores BMK

Los biomarcadores permiten evaluar los procesos de degradación de productos del petróleo. Los marcadores alifáticos son indicadores en las primeras etapas de la degradación de hidrocarburos, los aromáticos o los hopanos ayudan a definir la degradación a más largo plazo. Los biomarcadores pueden asociarse a sus precursores ya que su estructura de carbonos se mantiene a pesar de los procesos diagénicos.

5.3.1.4.1. BMK EN AGUA

Se presentan las tablas de los valores de BMK analizados por estación, y se distinguen las especies detectadas sobre el límite de detección de laboratorio.

Los niveles de estos hidrocarburos se comparan con valores de referencia que se han registrado previamente para la región del Golfo de México.

5.3.1.4.2. BMK EN SEDIMENTO

Se presentan las tablas de los valores de BMK analizados por estación, y se distinguen las especies detectadas sobre el límite de detección de laboratorio.

Los niveles de estos hidrocarburos se comparan con valores de referencia que se han registrado previamente para la región del Golfo de México.

5.3.1.4.3. CARBONO EN MATERIAL PARTICULADO EN AGUA

Los métodos usados tradicionalmente para estimar la cantidad de materia orgánica que sedimenta se basan principalmente en mediciones directas de carbono orgánico particulado (COP) y/o nitrógeno orgánico particulado (NOP), utilizando el material presente en las trampas de sedimentación (Eppley 1989, Lohrenz et al. 1992, Michaels et al. 1994). Se presentan las tablas de valores nominales y sus estadísticos y se comparan con los obtenidos para la región del Golfo de México.

5.3.1.4.4. CARBONO EN SEDIMENTO

Se describe los niveles obtenidos de carbono total en sedimento. Se presentan las tablas de valores nominales y sus estadísticos y se comparan con los obtenidos para la región del Golfo de México.

5.3.3 Metales y granulometría

Se describe las clases texturales predominantes y su proporción porcentual (arenas, limos, arcillas), el tipo de sedimento de acuerdo con la clasificación de Shepard (1954) para las clases texturales así como su distribución espacial a nivel de sedimentos superficiales.

5.3.3 1 Metales

5.3.3.1.1. VALORES MENORES AL LÍMITE DE DETECCIÓN

Para la interpretación de los metales, y con el fin de ser conservativos en la definición de la línea base y el estado del ecosistema del Golfo de México los valores menores al límite de detección se consideraron como la mitad de la concentración del límite de detección, excepto en el caso de que éstos valores resultaran mayores a los valores promedio de la corteza terrestre que se utilizaron para los análisis de Factores de Enriquecimiento FE e Índices de geoacumulación I_{geo}, en cuyo caso se consideraron como el valor numérico del límite reportado en el análisis.

5.3.3.1.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE TENDENCIA CENTRAL

Con el fin de describir el comportamiento general de los datos de metales se obtuvieron, la media, desviación estándar, coeficiente de variación, intervalo de confianza. El tratamiento estadístico de los datos se realizó utilizando software de análisis estándar (Statistica 1998).

5.3.3.1.3. NORMALIZACIÓN

La discriminación entre el origen antropogénico de los metales de los que provienen del intemperismo natural es un componente esencial de los estudios geoquímicos. Una técnica ampliamente aplicada es la “normalización” en la que las concentraciones de los metales se relacionan con características texturales y de composición de los sedimentos. No existe un consenso sobre el compuesto mas apropiado para ser usado en la normalización de los metales en sedimentos, si bien se han utilizado las concentraciones de Al y Fe con el fin de reducir el efecto natural promovido por el tamaño de grano y estimar la extensión de la contaminación de un sitio (Loring, 1991; Daskalakis y O’Connor 1995).

Ya que el Al, Fe, y el tamaño de grano tienden a covariar, se utilizaron estas tres variables conservativas para identificar las diferentes relaciones geoquímicas encubiertas que pudieran tener los metales en las zonas de estudio.

5.3.3.1.4 FACTORES DE ENRIQUECIMIENTO FE E ÍNDICES DE GEOACUMULACIÓN I_{GEO}

La normalización es también una herramienta poderosa para la comparación del contenido de metales traza en los sedimentos y se puede aplicar para determinar factores de enriquecimiento con relación al contenido promedio de la corteza terrestre (Nolting et al., 1999).

Se calcularon los factores de enriquecimiento para cada metal, dividiendo el cociente de su concentración sobre el elemento de normalización con la misma relación encontrada en la de línea base seleccionada (Taylor, 1964).

$$FE = \frac{(\text{metal/Fe, Al, fracciones finas})\ \text{sedimento}}{(\text{metal/Fe,Al, fracciones finas})\ \text{corteza terrestre}}^{-1}$$

FE´s cercanos a la unidad indican un origen en la corteza terrestre, aquellos menores a 1.0 sugieren una posible movilización o disminución de los metales en el sitio (Szefer et al., 1996), FE>1.0 indican que el elemento es de origen antropogénico. FE´s mayores a 10 sugiere que su fuente de origen no se relaciona con la corteza terrestre (Nolting et al., 1999).

Se calcularon también los Índices de geoacumulación para cada metal utilizando la expresión de Müller (1979):

$$I_{geo} = \text{Log}_2\,(M)\ i\ /\ 1.5\ (M)\ r$$

Donde; (M)i, es la concentración de los metales en las muestras de sedimentos estudiadas, mientras que (M)r, es la concentración promedio de ese metal en la corteza de la Tierra. De acuerdo al autor, el nivel de contaminación puede ser clasificado de acuerdo con su intensidad en una escala que va de 0 a 6 (0 = No contaminado, 1 = No contaminado a medianamente contaminado, 2 = Moderadamente contaminado 3 = Moderada a fuertemente contaminado, 4 = Fuertemente contaminado, 5 = Fuertemente a muy fuertemente contaminado, 6 = Muy contaminado). El valor más alto indica que la concentración del metal es 100 veces más alta que la que se espera encontrar en la corteza terrestre.

5.3.3.1.5 CALIDAD DE SEDIMENTOS

Se comparan las mediciones de las concentraciones de metales encontradas en los sedimentos con las concentraciones de las guías de calidad de sedimentos para

ambientes marinos SQGL, valor de umbral de efecto / valor de efecto probable (TELs/PELs), los que se proponen como estándares no formales (no-regulatorios) para apoyar la interpretación de datos químicos presentes en sedimentos de ambientes marinos (Long y MacDonald, 1998).

5.3.3.2. Granulometría

Se describe las clases texturales predominantes y su proporción porcentual (arenas, limos, arcillas), el tipo de sedimento de acuerdo con la clasificación de Shepard (1954) para las clases texturales así como su distribución espacial a nivel de sedimentos superficiales.

5.3.3.3. Toxicidad

Se describe la variación del efecto tóxico de extractos acuosos de sedimento por estación, representado por la disminución de la capacidad lumínica de la bacteria contra un testigo negativo a los 5 y 15 min de exposición.

Los resultados de porcentaje de efecto se clasificaron de acuerdo con Reinhold y Den Besten, (1999):

- No efecto (%efecto agua intersticial/elutriado ≤10%),
- Efecto posible o moderado (10%>%efecto agua intersticial/elutriado<50%)
- Efecto probable o fuerte (%efecto agua intersticial/elutriado ≥50%).

6. RESULTADOS

6.1 COMPUESTOS ORGÁNICOS

6.1.1 Hidrocarburos Totales del Petróleo HTP

En el Cuadro 2 se muestran los resultados de los compuestos orgánicos obtenidos en agua y en el Cuadro 3 en sedimentos recolectados durante la campaña Marzee-3

Las concentraciones de hidrocarburos totales del petróleo en agua presentaron en todas las estaciones valores inferiores al límite de detección de 0.401 ng L^{-1} incluyendo las réplicas. En general los valores obtenidos son considerados como característicos del Golfo de México de acuerdo a la literatura Botello, 2005, (los valores en el Golfo fluctúan entre 0.01-0.049 y de 30-8800 ng L^{-1}).

6.1.1.2 Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos HAP

En el mismo cuadro se muestran los hidrocarburos aromáticos policíclicos totales, de bajo y alto peso molecular, en todos los casos los valores se encontraron por debajo del límite de detección 0.75 ng L^{-1}.

6.1.1.3 Biomarcadores

Para el caso de los biomarcadores, se obtuvo el mismo comportamiento que para los hidrocarburos aromáticos policíclicos, en todos los casos los valores se encontraron por debajo del límite de detección 0.75 ng L^{-1}.

Cuadro 2. Resultados de hidrocarburos totales del petróleo (HTP), hidrocarburos aromáticos policíclicos de bajo peso molecular (HBPM), de alto peso molecular (HAPM), hidrocarburos aromáticos policíclicos totales (HAPT) y biomarcadores en agua. Crucero Marzee-3 (Región Tamaulipas-Veracruz).

Número de estación/	**Hidrocarburos en Agua (ng L-1)**				
Estadísticos	**HTP**	**HBPM**	**HAPM**	**HAPT**	**Biomarcadores**
2	0.401	0.75	0.75	1.5	0.75
2D	0.401	0.75	0.75	1.5	0.75
4	0.401	0.75	0.75	1.5	0.75
6	0.401	0.75	0.75	1.5	0.75
9	0.401	0.75	0.75	1.5	0.75
12	0.401	0.75	0.75	1.5	0.75
13	0.401	0.75	0.75	1.5	0.75
16	0.401	0.75	0.75	1.5	0.75
18	0.401	0.75	0.75	1.5	0.75
19	0.401	0.75	0.75	1.5	0.75
21	0.401	0.75	0.75	1.5	0.75
21D	0.401	0.75	0.75	1.5	0.75
24	0.401	0.75	0.75	1.5	0.75
25	0.401	0.75	0.75	1.5	0.75
28	0.401	0.75	0.75	1.5	0.75
30	0.401	0.75	0.75	1.5	0.75
34	0.401	0.75	0.75	1.5	0.75
36	0.401	0.75	0.75	1.5	0.75
Intervalo	0.401	0.75	0.75	0.75	0.75
Media	---	---	---	---	---
Desv. Estd.(# de muestras)	0.0(18)	0.0(18)	0.0(18)	0.0(18)	0.0(18)
Coeficiente de Variación %	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

6.1.1.4 Hidrocarburos Totales del Petróleo HTP

6.1.1.4.1HTP en sedimento

En el Cuadro 3 se muestran los resultados de los compuestos orgánicos obtenidos en los sedimentos recolectados durante la campaña Marzee-3, en la que se tomaron 35 muestras para hidrocarburos totales del petróleo, todas presentaron valores por debajo del límite de detección de <0.041 µg kg^{-1}, los valores encontrados en esta campaña fueron menores a los obtenidos en los niveles de referencia en el Golfo de México. (SONDA I, II y literatura).

6.1.2Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos HAP

La estimación de la cantidad de HAP´s total que entran al ambiente acuático a partir de las diferentes fuentes, es significativamente menor que los aportes a la atmósfera y a los ambientes terrestres, y su distribución es restringida, encontrándose que las mayores concentraciones permanecen cerca de las fuentes puntuales y disminuyen logarítmicamente con relación a la distancia desde la fuente; por lo que los niveles más altos de estos compuestos se localizan en ríos, estuarios y zonas costeras.

En los ambientes acuáticos los HAP´s están menos expuestos a la foto-oxidación y por lo tanto son más persistentes en agua que en aire, y cuando se incorporan en sedimentos anóxicos pueden persistir por largo tiempo llegando a alcanzar escalas geológicas.

Su ciclo en el ambiente acuático al parecer es relativamente simple: Los compuestos que entran al agua a partir de las diferentes fuentes son adsorbidos rápidamente en la materia particulada orgánica e inorgánica, y mediante procesos de precipitación se depositan en grandes cantidades en los sedimentos. La lixiviación o actividad biológica en los mismos, tiende a regresar una fracción pequeña de estos compuestos a la columna de agua, donde pueden ser acumulados por la biota acuática, aumentando su contenido en tejido hasta llegar a ser mayor que el que se encuentra en el medio dándose así procesos de bioacumulación y bioconcentración (Conell & Miller, 1984).

De tal forma que las concentraciones relativas de los HAP´s en los ecosistemas acuáticos se presenta de la siguiente manera: en los sedimentos las concentraciones son generalmente las más altas, intermedias en la biota acuática y menores en la columna de agua. La ruta de remoción de estos compuestos desde los cuerpos de agua incluye la volatilización desde la superficie de agua (principalmente los compuestos de bajo peso molecular), la foto-oxidación, oxidación química, metabolismo microbiano y metabolismo por metazoarios superiores.

El comportamiento de la concentración de los HAP en sedimentos y partículas suspendidas, es considerablemente mayor en comparación con el agua (usualmente en un factor de 1000 o más). Las concentraciones de HAP en sedimentos marinos y estuarinos varían ampliamente, ya que las áreas que reciben descargas industriales pueden tener niveles de 100 mg/Kg de estos compuestos o más y en sitios sin actividad antropogénica los valores en sedimentos se encuentran a niveles de µg/kg (Kennish, 1997).

En el Cuadro 3 se muestran los hidrocarburos aromáticos policíclicos totales, de bajo y alto peso molecular. Todas las estaciones obtuvieron concentraciones de HAPT de 0.176 µg kg^{-1} para todos los casos, se encontraron dentro del Criterio Bajo <1684.06 µg kg-1 de efecto para la vida acuática. NOAA-Squirt, 1999 y por debajo de los niveles de referencia en el Golfo de México. (SONDA I, II y literatura).

Los HBPM y los de HAPM obtuvieron un valor de 0.088 µg kg^{-1} en todas las estaciones de

6.1.2.1 Biomarcadores

Los biomarcadores en todas las estaciones de muestreo en el área de estudio se encontraron por debajo del límite de detección de 0.088 ng g^{-1}.

Los biomarcadores son compuestos orgánicos que están presentes en muestras geológicas y tienen una relación inequívoca con precursores moleculares específicos de organismos vivos. Proporcionan información acerca del origen y el ambiente deposicional de la materia orgánica fósil así como de la maduración térmica causada por el flujo de calor geotérmico durante su soterramiento. El petróleo y sus productos de refinado, cuando se incorporan al medio ambiente por procesos de polución antropogénica, transfieren a éste la información acumulada en sus biomarcadores. Los suelos o los sedimentos acuáticos superficiales en áreas contaminadas usualmente contienen mezclas binarias de hidrocarburos fósiles y biogénicos, como son los ésteres céricos de plantas superiores, junto con hidrocarburos (a menudo olefínicos) provenientes de las transformaciones diagenéticas tempranas de moléculas funcionarizadas.

Los sedimentos marinos actúan como los reservorios finales de estos compuestos, en los cuales se pueden encontrar hidrocarburos marcadores como alcanos derivados de algas u hojas de plantas, y esteranos y hopanos que provienen del petróleo crudo y de los derrames de hidrocarburos (Gogou et al. 2000, Gomes y Azevedo 2003, Medeiros y Bícego 2004).

Como resultado de la variedad de orígenes que tienen los hidrocarburos presentes en los sedimentos, normalmente se utilizan la presencia de hidrocarburos “marcadores” característicos de diferentes orígenes y la determinación de relaciones de composición entre constituyentes específicos del petróleo para distinguir entre aportes petrogénicos y biogénicos.

Cuadro 3. Resultados de hidrocarburos totales del petróleo (HTP), hidrocarburos aromáticos policíclicos de bajo peso molecular (HBPM), de alto peso molecular (HAPM), hidrocarburos aromáticos policíclicos totales (HAPT) y biomarcadores en sedimento Crucero Marzee-3 (Región Tamaulipas-Veracruz).

	Hidrocarburos en sedimentos µg kg-1 (peso seco)				Biomarcadores
Estación	HTP	HBPM	HAPM	HAPT	
1	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
2	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
2D	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
3	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
4	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
5	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
6	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
9	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
10	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
11	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
12	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
13	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
14	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
15	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
16	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088

Continuación…

Cuadro 3. Resultados de hidrocarburos totales del petróleo (HTP), hidrocarburos aromáticos policíclicos de bajo peso molecular (HBPM), de alto peso molecular (HAPM), hidrocarburos aromáticos policíclicos totales (HAPT) y biomarcadores en sedimento Crucero Marzee-3 (Región Tamaulipas-Veracruz).

	Hidrocarburos en sedimento µg kg-1 (peso seco)				
Estación	**HTP**	**HBPM**	**HAPM**	**HAPT**	**Biomarcadores**
17	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
18	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
19	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
20	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
21	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
22	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
23	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
24	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
24D	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
25	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
26	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
27	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
28	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
29	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
30	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
32	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
33	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
34	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
35	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
36	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
Intervalo	0.401	0.088	0.088	0.176	0.088
Media	---	---	---	---	---
Desv. Estd.(# de muestras)	0.0(35)	0.0(35)	0.0(35)	0.0(35)	0.0(35)
Coeficiente de Variación %	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

6.2. CONCENTRACIONES DE CARBONO Y NITRÓGENO

6.2.1. Concentraciones de Carbono

6.2.1.1Carbono en material particulado en agua de superficie

Globalmente, la cantidad de carbono disuelto en los océanos supera a la de carbono atmosférico en unas 60 veces. Este reservorio se alimenta de varias fuentes, pero principalmente por difusión desde el aire, de manera que cuanto más alta es la cantidad de CO_2 en la atmósfera, más entra en solución en la capa superficial del agua de mar. Las mayores concentraciones de CO_2 permanecerían en estos estratos superiores si no fuera por el mecanismo conocido como "bomba biológica", cuyo resultado es arrastrar hacia las profundidades el carbono que entró desde la atmósfera. La "bomba biológica" consiste en la asimilación del CO_2 por parte de las algas en el proceso de la fotosíntesis, su transformación en materia orgánica, y el hundimiento de esta última hacia el fondo marino. Durante el descenso, esta materia orgánica va siendo consumida por los organismos heterótrofos (bacterias, plancton animal, peces, aves y mamíferos marinos), y vuelta a transformar en CO_2 por respiración.

La zona costera cubre aproximadamente 7 % de la superficie terrestre. Esta zona constituye una de las áreas más activas geoquímica y biológicamente, englobando entre 14 y 30% de la producción primaria del océano. Sus lagunas costeras son consideradas como contribuyentes importantes de carbono y otros nutrientes hacia los ecosistemas adyacentes.

En los ecosistemas lagunares la disponibilidad del carbono en forma particulada está influenciada por diversos factores de diferente escala espacial y temporal. Dentro de estos se pueden mencionar la estacionalidad, la mezcla de la columna de agua, la velocidad de intercambio de carbono orgánico particulado del sistema (Young *et al*. 2005).

En el Cuadro 4 se muestran los resultados obtenidos de las concentraciones de carbono orgánico total en material particulado en agua de superficie y en cinco estacones de fondo recolectadas en el crucero Marzee-3, y en el que se incluye la estadística descriptiva. Se obtuvo un valor promedio de 9.985 μM y valores que fluctuaron entre 5.733 y 18.208 μM y un coeficiente de variación de 31.4 %, las estaciones que obtuvieron los valores más altos fueron la 4, 19 y 25.

Todas las concentraciones evaluadas en el área de estudio se encontraron dentro del valor de medio y bajo de <30 μM, lo que significa que no se trata de una zona eutroficada (Gardner et al. (2006).

E la Figura 9 se muestra la distribución del carbono orgánico particulado en agua superficial en las diferentes estaciones del área correspondiente a la campaña Marzee-3.

Cuadro 4. Resultados de carbono y nitrógeno particulado en agua superficial y de fondo. Crucero Marzee-3 (Región Tamaulipas-Veracruz).

Número	Resultados de Carbono y Nitrógeno Particulado		
de estación	COP (µMCp)	NP (µMNp)	Profundidad
1	14.583	1.536	S
1D	14.500	1.536	S
2	13.299	1.369	S
3	9.667	1.024	S
4	18.208	1.821	S
5	7.063	0.750	S
5F	6.479	0.661	F
6	9.872	1.044	S
6SD	12.875	1.429	S
6F	9.167	0.977	F
9	12.208	1.250	S
10	10.625	1.107	S
11	7.472	0.786	S
12	14.625	1.571	S
13	11.500	1.143	S
14	10.375	1.107	S
15	9.917	1.048	S
16	7.133	0.743	S
17	9.071	0.959	S
18	8.000	0.837	S
18F	7.896	0.839	F

Continuación..

Cuadro 4. Resultados de carbono y nitrógeno particulado en agua superficial y de fondo. Crucero Marzee-3 (Región Tamaulipas-Veracruz).

Número	Resultados de Carbono y Nitrógeno Particulado		
de estación	COP (µMCp)	NP (µMNp)	Profundidad
18FD	8.000	0.821	F
19	15.000	1.607	S
19F	10.917	1.143	F
19SD	15.125	1.607	S
20	6.733	0.771	S
21	8.444	0.905	S
22	8.292	0.875	S
23	7.250	0.768	S
24	11.361	1.190	S
25	15.458	1.643	S
26	8.958	0.875	S
27	7.438	0.786	S
28	11.417	1.214	S
29	12.444	1.310	S
30	8.500	0.893	S
30F	5.733	0.557	F
32	6.750	0.714	S
33	6.867	0.786	S
34	6.783	0.714	S
35	6.292	0.696	S
36	7.063	0.750	S
Intervalo	5.733-18.208	0.557-1.821	
Media	9.985	1.051	
Desv. Estd.(# de muestras)	3.135(42)	0.327(42)	
Coeficiente de Variación %	31.4	31.1	

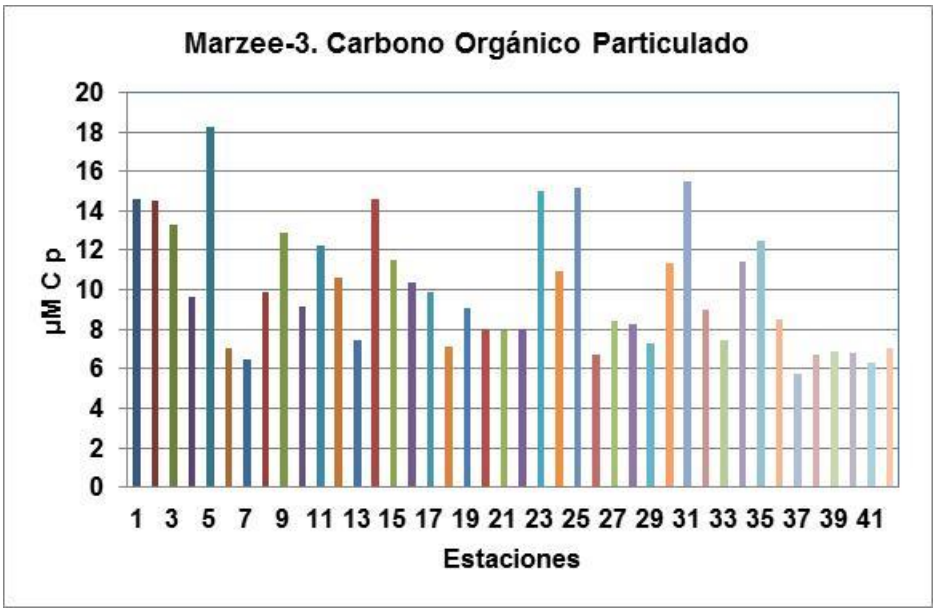


Figura 2. Distribución del carbono orgánico particulado en agua en la región de Tamaulipas-Veracruz

6.2.1.2. Carbono en sedimento

En el Cuadro 5 se muestran los resultados obtenidos de carbono total en sedimento así como su estadística descriptiva, se obtuvo un valor promedio de 0.470 % y valores que fluctuaron entre 0.273 y 0.724 % así como un coeficiente de variación de 22.1%. Los valores más altos se presentaron en las estaciones 2, 3 y 9 con valores de entre 0.646 y 0.724 %. Las concentraciones registradas en esta campaña en general se encuentran por arriba del valor del criterio alto de >0.42 % como indicador de aporte continental, ambientes anóxicos (Walsh, 1983). Sin embargo, las estaciones del transecto localizado frente a Soto La Marina así como la estación 6 del primer transecto y la más alejada de la costa obtuvieron valores menores a dicho criterio. La distribución del carbono orgánico total en sedimento en las estaciones del área de estudio se muestra en la Figura 10.

En estudios realzados en el mar profundo del Golfo de México, los valores de COT obtenidos en el sedimento abisal se encuentran dentro del intervalo de 0.26 a 1.78%, con una media de 0.91 ± 0.27. Por estrato de profundidad se reconocen las medias más elevadas entre 1025 m a 1500 m (1.09 ± 0.34% COT, n = 7) los cuales disminuyen entre 1510 m a 2000 m (0.80±0.30% COT, n = 10); para incrementarse nuevamente hacia la profundidad con valores menos elevados en el fondo (0.94 ± 0.37% COT n = 43, entre 3520 m a 3795 m) con respecto al estrato más somero (Escobar–Briones y García–Villalobos, 2009).

Los valores registrados en la literatura caen dentro del límite de (0.26 a 1.78%) con respecto a sedimentos superficiales de otros márgenes continentales (Arthur *et al.* 1998, Hartnett *et al.* 1998, Hedges *et al.* 1999, Keil *et al.* 1994), pero son similares a los reconocidos en el norte del Golfo de México.

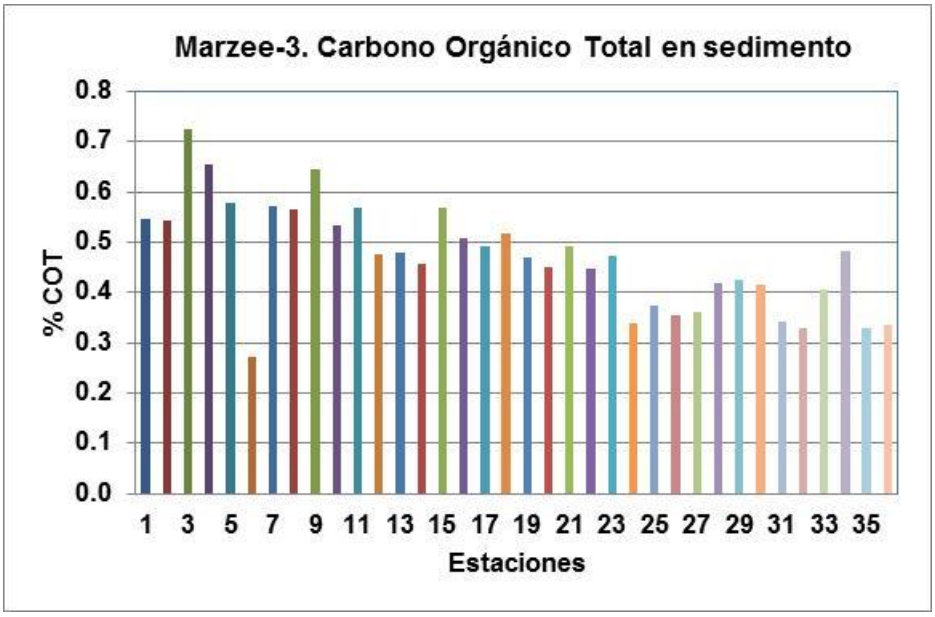


Figura 3. Distribución del carbono orgánico total en sedimento en la región de Tamaulipas-Veracruz.

Cuadro 5. Resultados de carbono y nitrógeno en sedimento. Crucero Marzee-3 (RegiónTamaulipas-Veracruz).

Número de estación	Carbono y Nitrógeno en Sedimento	
	COT (%)	NT (%)
1	0.547	0.054
1D	0.543	0.055
2	0.724	0.072
3	0.653	0.062
4	0.578	0.057
5	0.273	0.029
6	0.571	0.057
6D	0.565	0.055
9	0.646	0.061
10	0.532	0.052
11	0.569	0.058
12	0.475	0.049
13	0.480	0.046
14	0.456	0.045
15	0.568	0.056
16	0.508	0.050
17	0.492	0.043
18	0.517	0.054

Continuación

Cuadro 5. Resultados de carbono y nitrógeno en sedimento. Crucero Marzee-3 (Región Tamaulipas-Veracruz).

Número	Carbono y Nitrógeno en Sedimento	
de estación	COT (%)	NP (%)
19	0.469	0.044
20	0.451	0.048
21	0.493	0.046
22	0.447	0.047
23	0.473	0.046
24	0.338	0.033
25	0.373	0.038
26	0.355	0.037
27	0.362	0.036
28	0.418	0.044
29	0.425	0.042
29D	0.415	0.042
30	0.341	0.030
32	0.328	0.032
33	0.404	0.040
34	0.481	0.046
35	0.329	0.032
36	0.334	0.039
Intervalo	0.273-0.724	0.029-0.072
Media	0.470	0.046
Desv. Estd.(# de muestras)	0.104(36)	0.009(36)
Coeficiente de Variación %	22.1	21.4

6.2.3. Concentraciones de Nitrógeno

6.2.3.1 Nitrógeno en material particulado en agua de superficie

El nitrógeno es un factor clave que regula la productividad de los ecosistemas naturales y agrícolas debido a que es un nutriente esencial, el componente principal de las proteínas y generalmente de corto abastecimiento. El nitrógeno está presente con fósforo en los efluentes y estos dos nutrientes, son la principal causa de

eutrofización de los cuerpos de agua. Los organismos excretan desechos nitrogenados y cuando las bacterias y otros organismos descomponen la materia orgánica muerta, ellos liberan amoniaco de nitrógeno hacia el ambiente.

En el Cuadro 4 se muestran los resultados obtenidos de nitrógeno particulado en agua y en cinco estacones de fondo recolectadas en el crucero Marzee-3, y en el que se incluye la estadística descriptiva. Se obtuvo un valor promedio de 1.051 μM y valores que fluctuaron entre 0.557 y 1.821 μM y un coeficiente de variación de 31.1 %, la estación que obtuvo el valor más alto fue la 5, la que se ubicó en el primer transecto de aguas profundas (1500 metros) y alejada de la costa. Todas las concentraciones evaluadas en el área de estudio se encontraron dentro del valor de medio y bajo de <3 μM, lo que significa que no se trata de una zona eutroficada (López, et al., 1995). La distribución del nitrógeno particulado en agua en las estaciones del área de estudio se muestra en la Figura 4.

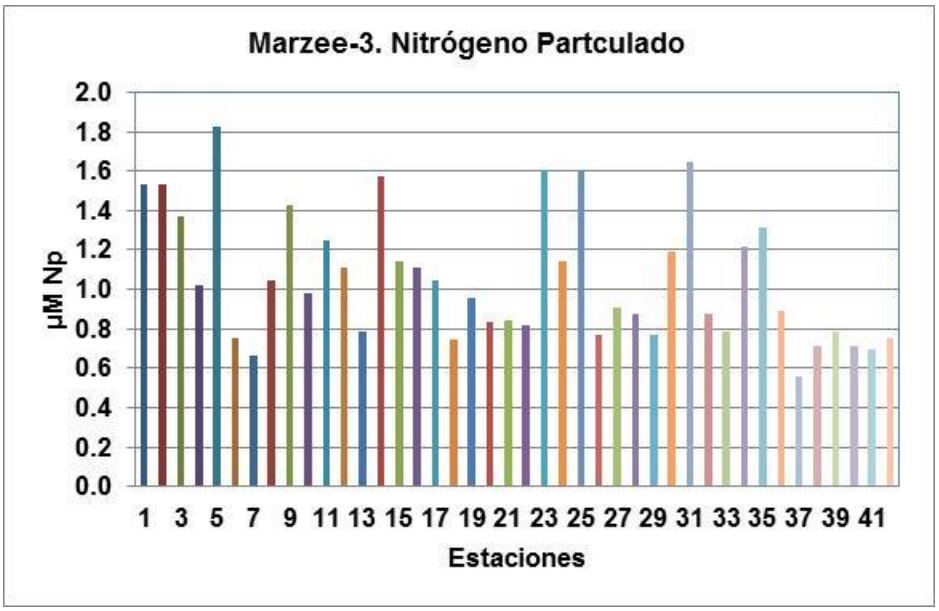


Figura 4. Distribución del nitrógeno total particulado en agua en la región de Tamaulipas-Veracruz

6.2.3. 4. Nitrógeno en sedimento

En el Cuadro 5 se muestran los resultados obtenidos de nitrógeno total en sedimento así como su estadística descriptiva, se obtuvo un valor promedio de 0.047 % y valores que fluctuaron entre 0.029 y 0.072 % así como un coeficiente de variación de 21.4%. De la misma manera que para el material particulado, para el sedimento, el valor más altos se presentó en la estación 3. Las concentraciones registradas en esta campaña se encuentran por abajo del valor del criterio alto de >0.2 % como indicador de aporte continental, (Wals, et al., 1989; López, et al.,

1995). La distribución del nitrógeno total en sedimento en las estaciones del área de estudio se muestra en la Figura 5.

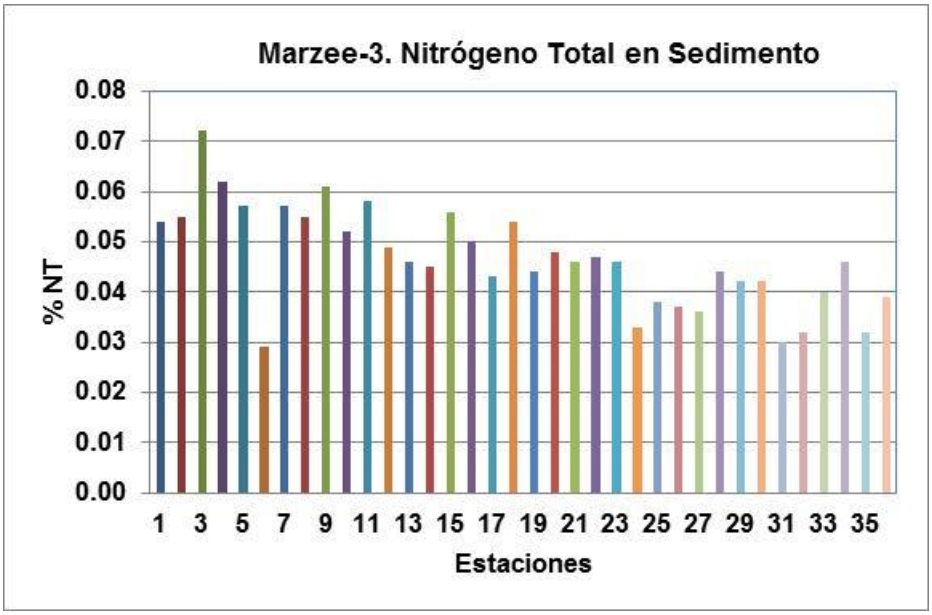


Figura 5. Distribución del nitrógeno total en sedimento en la región de Tamaulipas-Veracruz

6.3. METALES Y GRANULOMETRÍA

6.3.1. Metales

6.3.1.1Concentraciones de metales y comportamiento estadístico

Los efectos adversos producidos por sedimentos contaminados sobre los organismos acuáticos pueden ser evaluados mediante la guía de calidad de sedimentos (SQG, por sus siglas en inglés) (Long et al. 1995, MacDonald et al. 2000). La SQG establece valores de referencia denominados efecto de rango bajo (ERL) y efecto de rango medio (ERM), de los cuales se derivan tres categorías de efectos biológicos adversos: raramente observados (concentración <ERL), ocasionalmente observados (concentración entre ERL y ERM) y frecuentemente observados (concentración >ERM) (McCready et al. 2006).

Los sistemas costeros son ambientes en donde mayor presión se ejerce sobre sus propiedades y procesos naturales, dada la actividad industrial y los asentamientos humanos cercanos. Desde un punto de vista ecológico, los sistemas costeros albergan una gran variedad de especies bentónicas que constituyen redes tróficas sensibles a perturbaciones naturales y antrópicas (Riera et al. 2012).

En el Cuadro 6 se muestran los resultados obtenidos de los metales analizados en los sedimentos recolectados, en el que se incluye la estadística descriptiva de los metales analizados y en la Figura 13 de émbolos se presenta la gráfica de los estadísticos. Los metales que superaron el criterio alto de guías de control de sedimento establecidos de acuerdo a los niveles de efecto tóxico en comunidades biológicas, están en color rojo, los que se encontraron dentro del criterio medio están en amarillo y los que se encontraron dentro del criterio bajo, se presentan en verde. También se muestran las figuras de la distribución de los diferentes metales en las estaciones del área correspondiente a la campaña Marzee-3

De los once metales analizados en sedimento, el **Cu** y el **V** obtuvieron un coeficiente de variación de 56 y 55 % respectivamente, los demás metales presentaron coeficientes de variación entre 22 y 49 %. El cadmio, arsénico y cobre presentaron las concentraciones más bajas, las cuales para el cadmio fluctuaron entre 0.115-0.398 µg g-1, valores que estuvieron dentro del Criterio Bajo reportado en la NOAA-Squirt, 1999 de <0.676 µg g-1 para la vida acuática, mientras que para el arsénico y cobre, los valores se encontraron dentro del Criterio Bajo y Medio reportado en la NOAA-Squirt, 2005 y 2006 de 7.24-41.6 µg g-1 y 18.7-108.2 µg g-1, para arsénico y cobre respectivamente. La distribución de las concentraciones en el área de estudio se muestra en la Figura 8.

El orden de abundancia de los siguientes metales fue **Cr**>**Ni**>**Pb**>**V**, para el caso del cromo y plomo, las concentraciones se presentaron dentro del Criterio Medio reportado por la NOAA-Squirt, 2000 y 2007 de 52.3-160.4 µg g-1 para el cromo y para el plomo de 30.24-112.18 µg g-1 como indicador de efecto para organismos de vida acuática. Con respecto al vanadio a excepción de 3 estaciones (14, 18 y 28) que obtuvieron concentraciones dentro del Criterio Alto con valores superiores de >57 µg g-1, la mayoría de los valores fueron menores a 57 µg g-1. El mismo caso fue para el níquel, los que estuvieron dentro del Criterio Medio en su mayoría de 15.9-42.8 µg g-1, las estaciones de la 17 a la 20 situadas en el transecto frente a Laguna Madre y alejadas de la costa, con valores dentro del Criterio Alto de >42.8 µg g-1, (NOAA-Squirt, (2002 y 2003). Las concentraciones se encuentran dentro de los intervalos registrados en la campaña Sonda II. La distribución de los cuatro metales se presenta en la Figura 7.

El orden de abundancia para los siguientes metales fue **Al**>**Fe**>**Ba**>**Zn**, para el caso del aluminio, éste presentó un valor promedio de 56100 µg g-1 con un intervalo de 30107-116620 µg g-1 y un coeficiente de variación del 34 %, el hierro obtuvo un valor promedio de 20314 µg g-1 con un intervalo de 12041-35917 µg g-1 y una variación del 29 %, no existen valores dentro de los criterios de la NOAA, para estos dos metales, sin embargo, las concentraciones obtenidas en campañas realizadas por el IMP en el Golfo de México se han registrado valores de hierro en un intervalo de 1000 y 70600 µg g-1 y de 15000 a 44000 µg g-1para el aluminio, concentraciones menores a las obtenidas en esta campaña. La distribución del Al y Fe en la zona de estudio se muestra en la Figura 11.

Las concentraciones promedio del **Ba** y **Zn** fueron de 563.48 y 60.03 µg g-1 respectivamente con valores que fluctuaron para el Ba entre 244.2-1036.8 µg g-1 y

para el Zn entre 32.49-93.36 µg g-1 y coeficientes de variación de 38 y 23 % respectivamente, los valores para ambos metales se encontraron dentro del Criterio Bajo reportado por la por la NOAA-Squirt, 2008 y Leung, et al., 2005, para el Ba: <2218 µg g-1 y Zn: <124 µg g-1. Las concentraciones obtenidas están dentro de los valores obtenidos en el estudio de Sonda II. La distribución de estos metales se presenta en la Figura 11 y 12.

Cuadro 6. Concentraciones de metales en sedimentos de la Región Tamaulipas-Veracruz del Golfo de México. Campaña Marzee-3.

Número de estación/ Estadísticos	Elementos analizados (peso seco)					
	Al (µg.g^{-1})	**Ba (µg.g-1)**	**Cd (µg.g^{-1})**	**Cr (µg.g^{-1})**	**Fe (µg.g^{-1})**	**Ni (µg.g^{-1})**
1	48380	658	0.162	34.09	16944	21.16
1D	36251	607	0.128	28.25	13715	18.87
2	56194	246	0.207	43.21	21265	29.15
3	55473	285	0.203	42.28	21129	32.26
4	53383	370	0.205	41.55	20872	34.43
5	48071	899	0.179	33.35	17781	50.07
6	49088	770	0.183	35.50	18250	44.78
6D	46276	721	0.178	33.52	17333	42.74
9	60642	455	0.222	45.47	23951	41.75
10	62886	244	0.202	42.79	21090	32.21
11	67555	381	0.223	47.85	23413	32.81
12	51884	817	0.175	37.04	18224	24.77
13	61544	920	0.189	43.90	21451	27.61
14	103533	526	0.383	80.60	35805	35.32
15	74736	299	0.237	51.73	25290	35.32
16	57476	401	0.221	45.35	23687	36.59
17	68161	1037	0.230	43.32	22983	50.15
18	116621	761	0.398	86.07	34823	52.04

Continuación..

Cuadro 6. Concentraciones de metales en sedimentos de la Región Tamaulipas-Veracruz del Golfo de México. Campaña Marzee-3.

Número de estación/	Elementos analizados (peso seco)					
Estadísticos	**Al (µg.g^{-1})**	**Ba (µg.g-1)**	**Cd (µg.g^{-1})**	**Cr (µg.g^{-1})**	**Fe (µg.g^{-1})**	**Ni (µg.g^{-1})**
19	58134	686	0.201	41.41	21276	45.79
20	55644	836	0.192	36.80	18917	42.94
21	35708	372	0.143	25.37	14015	33.11
22	77429	264	0.241	50.58	26284	39.31
23	64106	300	0.217	44.75	22385	30.16
24	69725	828	0.204	45.29	22032	26.67
25	30107	447	0.116	22.89	12041	25.41
26	37022	443	0.139	28.15	14487	21.46
27	42822	454	0.163	33.35	17320	28.61
28	88418	431	0.390	73.94	35917	38.90
29	44461	726	0.159	30.55	16240	40.91
29D	38456	765	0.163	26.65	15042.7	37.06
30	31644	501	0.125	22.93	12267.6	39.56
32	35195	629	0.143	23.28	12892.7	32.88
33	33266	470	0.152	26.05	15017.2	20.93
34	60085	674	0.199	41.79	21423.0	27.78
35	54734	577	0.185	38.08	19529.0	25.50
36	44503	488	0.154	30.35	16202.3	20.19
Intervalo	30107-116620	244.2-1036.8	0.115-0.398	22.89-86.07	12041-35917	18.87-52.04
Media	56100	563.48	0.200	40.50	20314	33.87
Desv. Estd.(# de muestras)	19172(36)	215.24 (36)	0.067(36)	14.65(36)	5977(36)	8.98(36)
Coeficiente de Variación %	34.2	38.2	33.2	36.2	29.4	26.5

Cuadro 6. Concentraciones de metales en sedimentos de la Región Tamaulipas-Veracruz del Golfo de México. Campaña Marzee-3.

Número de estación/ Estadísticos	Elementos analizados (peso seco)				
	V (ug g-1)	**As (ug g-1)**	**Cu (ug g-1)**	**Pb (ug g-1)**	**Zn (ug g-1)**
1	20.28	3.52	5.38	25.88	52.26
1D	17.28	4.42	9.14	22.44	50.93
2	24.56	4.39	8.89	33.60	61.40
3	27.08	3.69	9.52	32.95	63.08
4	26.28	3.29	9.89	32.94	58.79
5	26.23	5.36	15.84	27.37	56.28
6	29.96	7.32	24.56	28.96	55.60
6D	28.79	6.03	22.78	28.13	52.30
9	30.59	6.25	12.38	37.62	66.49
10	26.86	3.00	10.02	33.81	66.27
11	25.23	3.33	8.83	36.63	68.07
12	21.11	6.88	7.82	29.30	56.28
13	24.49	3.32	7.47	33.68	63.28
14	74.78	10.68	7.62	57.99	90.84
15	33.26	5.89	9.83	39.48	72.62
16	27.71	9.67	9.07	37.14	66.77
17	31.03	6.79	19.83	35.34	67.68
18	109.30	10.60	33.93	57.71	92.79

Continuación..

Cuadro 6. Concentraciones de metales en sedimentos de la Región Tamaulipas-Veracruz del Golfo de México. Campaña Marzee-3.

Número de estación/ Estadísticos	Elementos analizados (peso seco)				
	V (ug g-1)	**As (ug g-1)**	**Cu (ug g-1)**	**Pb (ug g-1)**	**Zn (ug g-1)**
19	33.90	6.56	26.55	33.89	61.53
20	26.64	5.82	17.13	30.54	59.46
21	20.52	4.63	6.29	21.48	32.49
22	31.31	3.65	8.91	19.80	71.12
23	27.08	4.29	6.70	36.39	68.25
24	28.14	5.53	6.66	34.52	64.18
25	19.74	4.90	6.57	19.64	40.86
26	24.82	3.91	9.31	23.94	48.41
27	28.00	11.42	9.86	26.13	56.65
28	64.75	12.67	9.38	58.37	93.36
29	28.00	6.91	17.35	26.04	54.18
29D	29.16	6.47	18.03	25.32	49.57
30	26.41	7.28	25.70	20.65	42.91
32	24.69	5.71	15.32	21.00	42.91
33	25.82	17.35	7.94	25.40	43.35
34	28.64	7.08	8.14	34.70	63.82
35	24.96	3.73	8.66	31.44	58.28
36	21.14	5.03	5.54	26.13	48.20
Intervalo	17.28-109.29	3.0-17.35	5.38-33.93	19.64-58.37	32.49-93.36
Media	31.07	6.32	7.00	31.84	60.03
Desv. Estd.(# de muestras)	17.22(36)	3.08(36)	56.4(36)	9.75(36)	13.59(36)
Coeficiente de Variación %	55.4	48.8	56.4	30.6	22.6

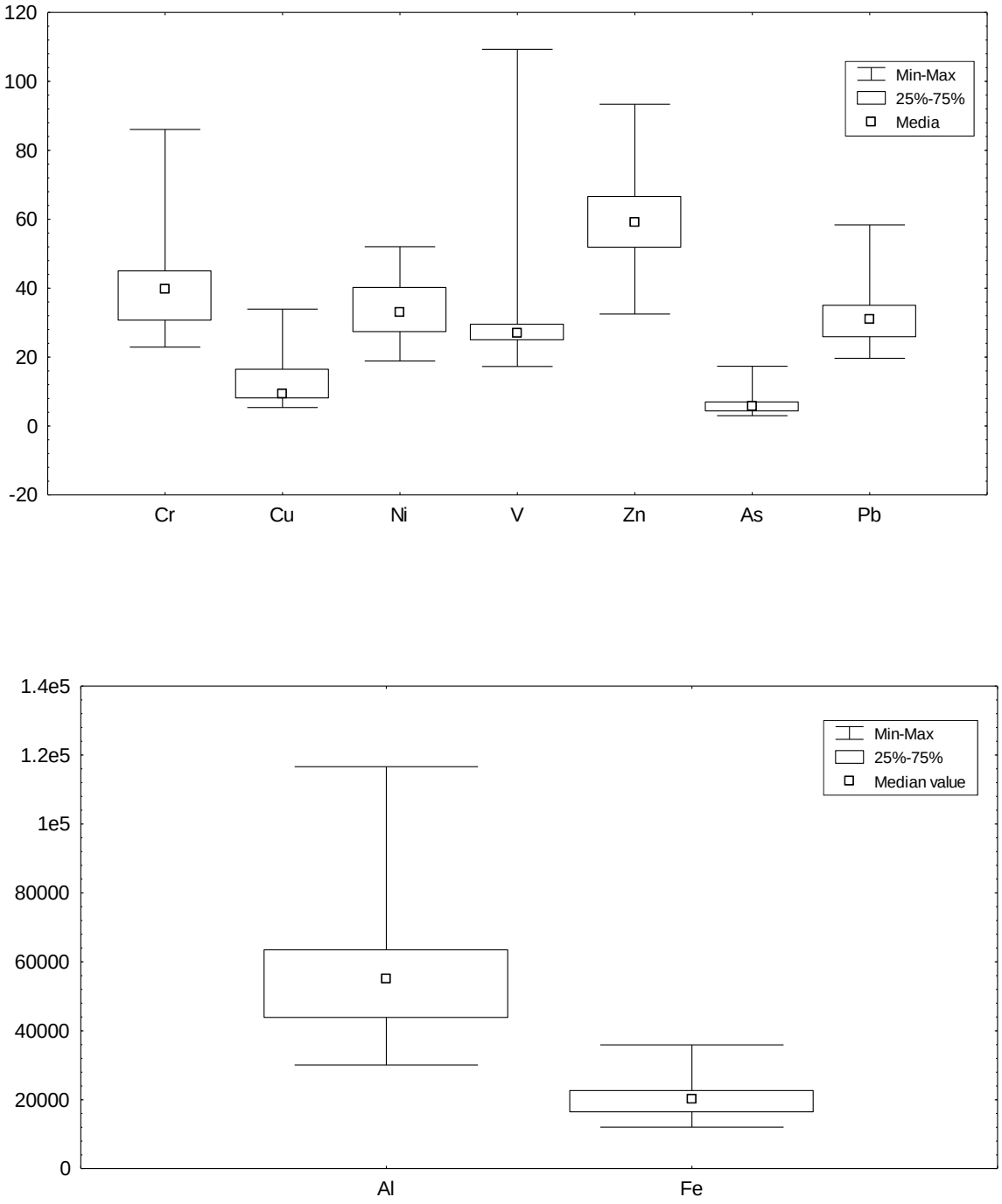


Figura 6. Comportamiento estadístico de los metales en sedimento (µg g-1)en la región de Tamaulipas-Veracruz.

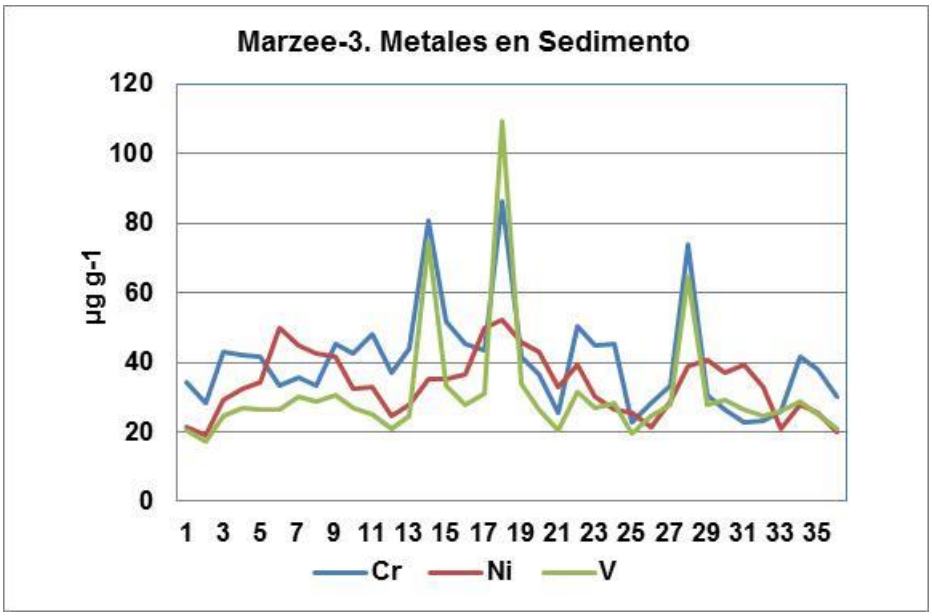


Figura 7. Distribución de los metales (Cr., Ni, y V) en sedimento en la región de Tamaulipas-Veracruz.
Cr: Criterio Medio 52.3-160.4 µg g-1 Ni: Criterio Alto >42.8 µg g-1 V: Criterio Alto >57 µg g-1

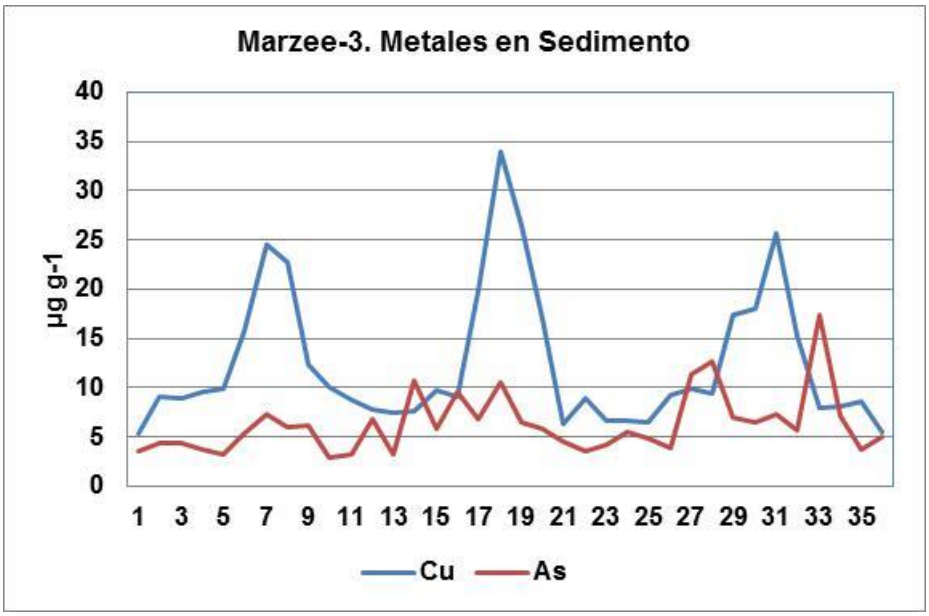


Figura 8. Distribución de los metales (Cu y As) en sedimento en la región de Tamaulipas-Veracruz.
Cu: Criterio Medio 18.7-108.2 µg g-1 As: Criterio Medio 7.24-41.6 µg g-1

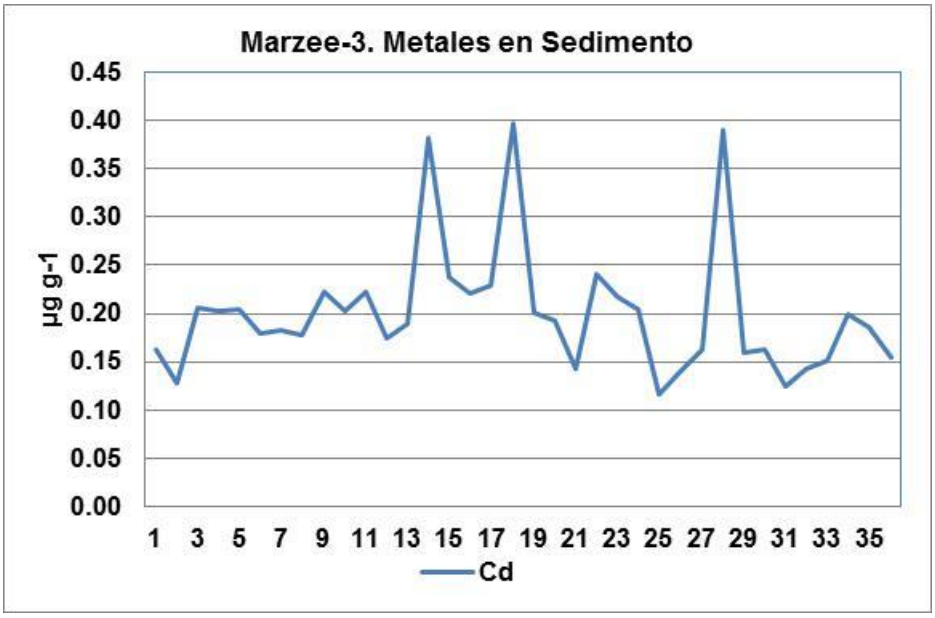


Figura 9. . Distribución de los metales (Cd) en sedimento en la región de Tamaulipas-Veracruz.
Cd: Criterio Bajo <0.676 µg g-1

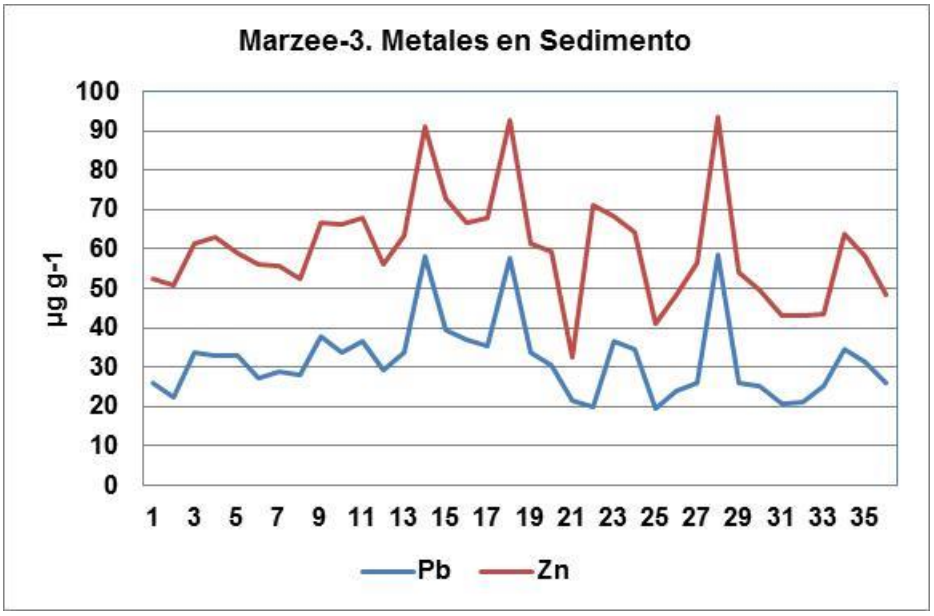


Figura 10. Distribución de los metales (Pb y Zn) en sedimento en la región de Tamaulipas-Veracruz.
Pb: Criterio Medio 30.24-112.18 µg g-1 Zn: Criterio Bajo <124 µg g-1

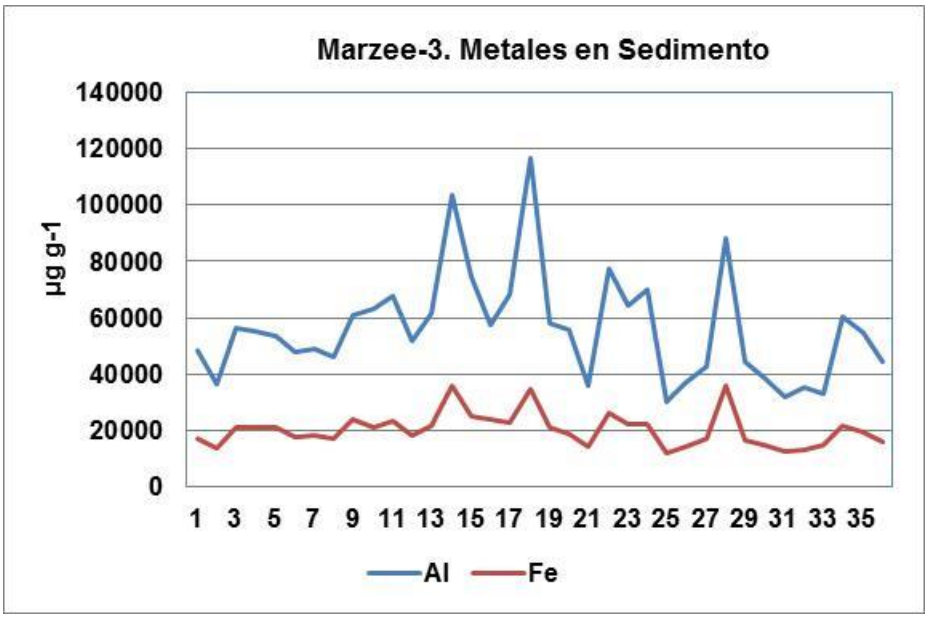


Figura 11. Distribución de los metales (Al y Fe) en sedimento en la región de Tamaulipas-Veracruz.

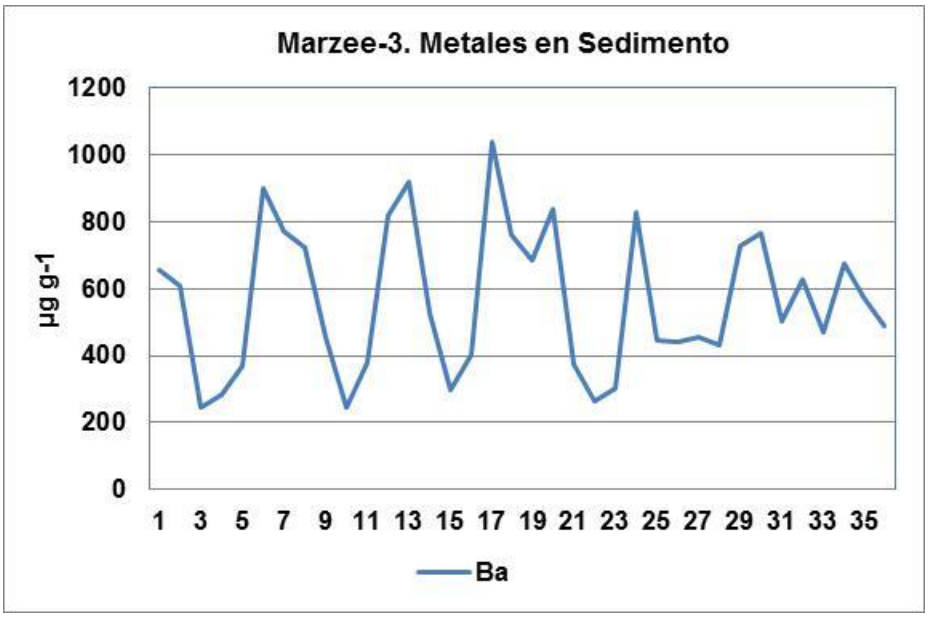


Figura 12. Distribución de los metales (Ba) en sedimento en la región de Tamaulipas-Veracruz.
Ba : Criterio Bajo <2218 µg g-1

Cuadro 7. Matriz de Correlación de Pearson de metales en sedimentos, granulometría, Carbono y Nitrógeno de la Región Tamaulipas-Veracruz del Golfo de México. Campaña Marzee-3.

	Al	Fe	Cd	Cr	Cu	V	Zn	Arenas (%)	Limos (%)	%N
Fe	0.965									
Cd	0.949	0.978								
Cr	0.978	0.984	0.981							
Ni	0.400				0.769					
V	0.817	0.790	0.879	0.856						
Zn	0.953	0.972	0.943	0.962		0.757				
Pb	0.883	0.923	0.937	0.934		0.812	0.908			
Limos								-0.626		
Arcillas									-0.703	
Finos								-0.991	0.607	
%C										0.977

En el Cuadro 7, se presenta la matriz de correlación de los metales, características granulométricas, carbono y nitrógeno orgánico total, obtenidos en los sedimentos durante la campaña Marzee-3.

Índice de Geoacumulación

Para poder comparar el grado de contaminación de metales con otras zonas costeras, se ha empleado el índice de geoacumulación, en general los valores de este índice, entre 0 y 1, permiten clasificar a la zona de estudio en una situación intermedia entre sistemas no contaminados y moderadamente contaminados.

El estudio de la acumulación o enriquecimiento de metales en el sedimento, se basa en técnicas de normalización geoquímica, los cuales permiten conocer los índices de geoacumulación (I_{geo}) y los factores de enriquecimiento (FE). Los (I_{geo}) miden el grado de contaminación de sustancias orgánicas e inorgánicas en el sedimento, los FE informan de la dinámica de un contaminante inorgánico o elemento químico de la corteza terrestre que puede ser transportado por la lluvia, viento o por fuentes antropogénicas, Rubio *et al*., (2000).

En el Cuadro 8, se presentan la estadística descriptiva de los índices de geoacumulación obtenidos en los sedimentos durante la campaña Marzee-3. Este índice alcanza valores de 0 a 6, el valor 0 indica ausencia total de contaminación y el valor 6 indica contaminación máxima. En esta campaña, el índice de geoacumulación del plomo, obtuvo valores que fluctuaron entre 0.067 y 1.638 clasificando los puntos de muestreo como moderadamente contaminado por este metal, para el caso del arsénico, los valores fluctuaron entre 0.152 y 2.684, y dentro

de la misma clasificación que el plomo de moderadamente contaminado en su mayoría, las estaciones que obtuvieron un índice de 2.08 a 2.684 fueron la 27, 28 y 33 de un total de 36 estaciones que corresponde al 8.3 %. El bario y el cadmio presentaron índices menores a 0.55, clasificados como no contaminados a moderadamente contaminados.

Los demás metales están por debajo de 0, dentro de la clasificación de no contaminados, como se muestra en la Figura 18. Los valores negativos como se muestran en el Cuadro 8, están dados porque la concentración del elemento en ese punto es menor que el *background* tomado de la literatura a escala global y en la zona pudiera existir una pequeña anomalía geoquímica. En la Figura 13 se presenta el comportamiento de este índice en el área de estudio.

Para distinguir los sedimentos impactados por fuentes antropogénicas, se calculó el factor de enriquecimiento (FE) para cada metal por estación, respecto a la abundancia natural de los metales en la corteza terrestre, éste, es útil para indicar el estado de la contaminación ambiental. Un valor de FES entre 0.5 y 1.5 sugiere que los metales traza son constituyentes del material de la corteza terrestre o provienen de procesos naturales de meteorización. Sin embargo, si está por encima de 1.5 significa que una porción de metales pesados procede de fuentes distintas a los materiales de la corteza o a procesos de meteorización no naturales, lo cual se cumple en sedimentos superficiales contaminados recientemente (Zhang & Lui, 2002; Feng *et al.,* 2004).

Da acuerdo al factor de enriquecimiento, utilizando al Al y Fe como normalizadores, ninguno de los metales obtuvieron valores superiores al valor de 1.0 de la clasificación de factor de enriquecimiento como indicativo de que el elemento es de origen antropogénico (Cuadro 9 y Figura 14). En tanto al utilizar las fracciones finas de grano <63µM como referencia, a excepción del cromo, níquel, vanadio y el cobre, el resto de los metales, el enriquecimiento está relacionado con aportes litológicos de origen antropogénico. Cuadro 10 y Figura 15.

Cuadro 8. Índices de Geoacumulación de metales en sedimentos de la Región Tamaulipas-Veracruz del Golfo de México. Campaña Marzee.3

	Indices de Geoacumulación. Elementos analizados (peso seco)					
	Ba (µg.g-1)	**Cd (µg.g-1)**	**Cr (µg.g^{-1})**	**Ni (µg.g^{-1})**	**V (µg.g^{-1})**	**As (µg.g^{-1})**
Intervalo	-1.384-0.702	0.407-(-1.377)	-0.801-(-2.712)	-2.576-(-1.112)	-3.550-1.029)	0.152-2.684
Media	-0.288	-0.646	-1.967	-1.783	-2.595	1.091
Percentil	0.504	0.358	-0.989	-1.167	-0.464	2.118
Desv. Estd.(# de muestras)	0.586(36)	0.413(36)	0.466(36)	0.395(36)	1.003(36)	0.611(36)
Coeficiente de Variación %	203.0	64.0	23.7	22.2	38.6	56.0
	Indices de Geoacumulación. Elementos analizados (peso seco)					
	Cu (µg.g^{-1})	**Pb (µg.g^{-1})**	**Zn (µg.g^{-1})**	**Al (µg.g^{-1})**	**Fe (µg.g^{-1})**	
Intervalo	-3.939-(-1.282)	0.067-1.638	-1.692-(-0.170)	11.293-13.247	11.123-12.699	
Media	-2.914	0.707	-0.842	12.117	11.822	
Percentil	-1.671	1.624	-0.201	12.904	12.665	
Desv. Estd.(# de muestras)	0.700(36)	0.401(36)	0.325(36)	0.462(36)	0.398(36)	
Coeficiente de Variación %	24.0	56.7	38.6	3.1	3.4	

Clase	Intensidad de la contaminación
6	Muy fuertemente contaminada
5	Fuertemente a muy fuertemente contaminada
4	Fuertemente contaminada
3	Moderadamente a Fuertemente contaminada
2	Moderadamente contaminada
1	No contaminada a Moderadamente contaminada
0	No contaminada

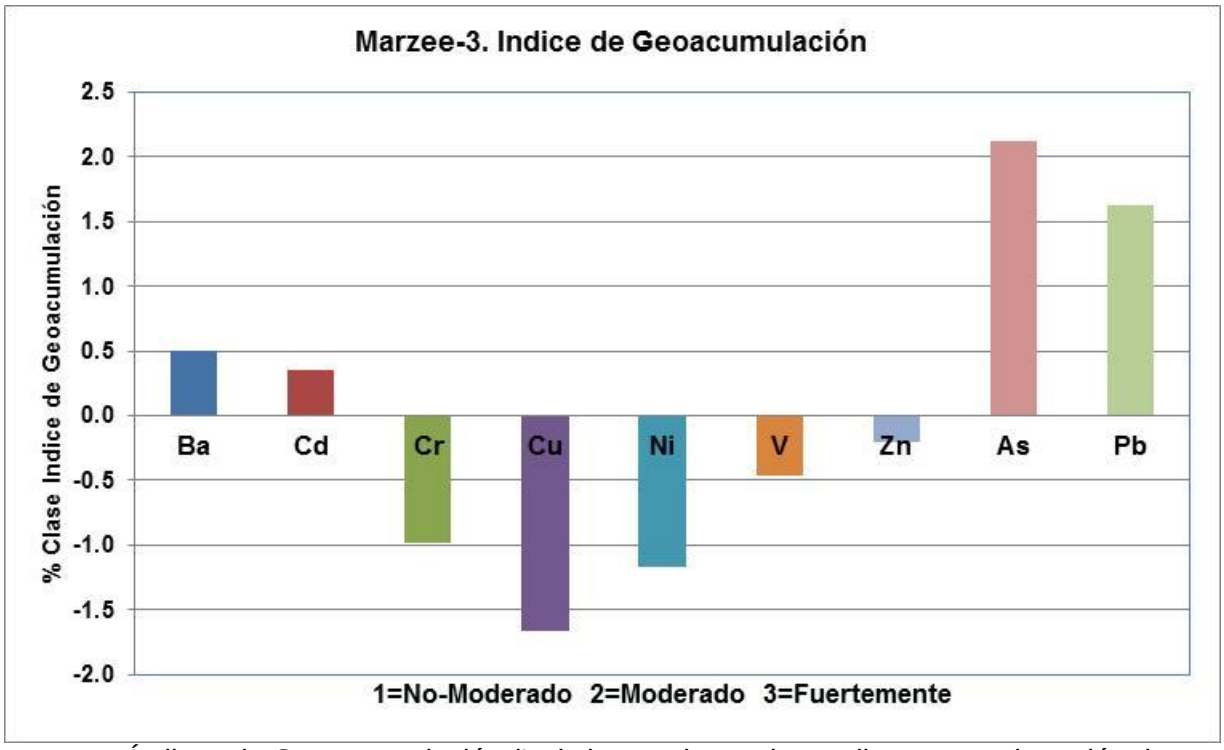


Figura 13. Índices de Geo-acumulación (I_{geo}) de metales en los sedimentos en la región de Tamaulipas-Veracruz.

Cuadro 9. Factores de Enriquecimiento de metales en sedimentos de la Región Tamaulipas-Veracruz del Golfo de México. Marzee-3.

Elementos analizados (peso seco) FE (Fe normalizador)					
	Ba	**Cd**	**Cr**	**Ni**	**V**
Intervalo	**0.000085-0.000431**	**0.000158-0.000206**	**0.000062-0.000089**	**0.000047-0.000155**	**0.000029-0.000084**
Media	0.000255	0.000177	0.000071	0.000084	0.000040
Percentil	0.000417	0.000196	0.000076	0.000126	0.000056
Desv. Estd.(# de muestras)	0.00011(36)	0.00001(36)	0.000005(36)	0.000027(36)	0.000011(36)
Coeficiente de Variación %	44.6	5.9	6.7	31.9	24.5
Elementos analizados (peso seco) FE (Fe normalizador)					
	As	**Cu**	**Pb**	**Zn**	**Al**
Intervalo	**0.000278-0.00231**	**0.000014-0.000137**	**0.000217-0.000487**	**0.000119-0.000191**	**0.997-1.507**
Media	0.00066	0.000043	0.00045	0.000155	1.231
Percentil	0.00122	0.000087	0.00049	0.000176	1.362
Desv. Estd.(# de muestras)	0.000370(36)	0.000027(36)	0.000043(36)	0.000014(36)	0.099(36)
Coeficiente de Variación %	56.4	63.1	9.4	9.3	8.1
Elementos analizados (peso seco) FE (Al normalizador)					
	Ba	**Cd**	**Cr**	**Ni**	**V**
Intervalo	**0.000064-0.000374**	**0.000117-0.000182**	**0.000051-0.000067**	**0.000036-0.000133**	**0.000022-0.000056**
Media	0.000208	0.000144	0.0000577	0.000069	0.0000328
Percentil	0.000340	0.000171	0.000063	0.000105	0.000047
Desv. Estd.(# de muestras)	0.0000934(36)	0.0000146(36)	0.0000037(36)	0.0000236(36)	0.0000084(36)
Coeficiente de Variación %	44.8	10.1	6.5	34.2	25.7
Elementos analizados (peso seco) FE (Al normalizador)					
	As	**Cu**	**Pb**	**Zn**	**Fe**
Intervalo	**0.000210-0.00232**	**0.000011-0.00018**	**0.000164-0.000489**	**0.000091-0.000161**	**0.663-1.003**
Media	0.00055	0.0000353	0.000372	0.000127	0.818
Percentil	0.001063	0.000072	0.000422	0.000155	0.906
Desv. Estd.(# de muestras)	0.000373(36)	0.0000229(36)	0.0000493(36)	0.0000165(36)	0.066(36)
Coeficiente de Variación %	67.6	64.7	13.2	13.0	8.1

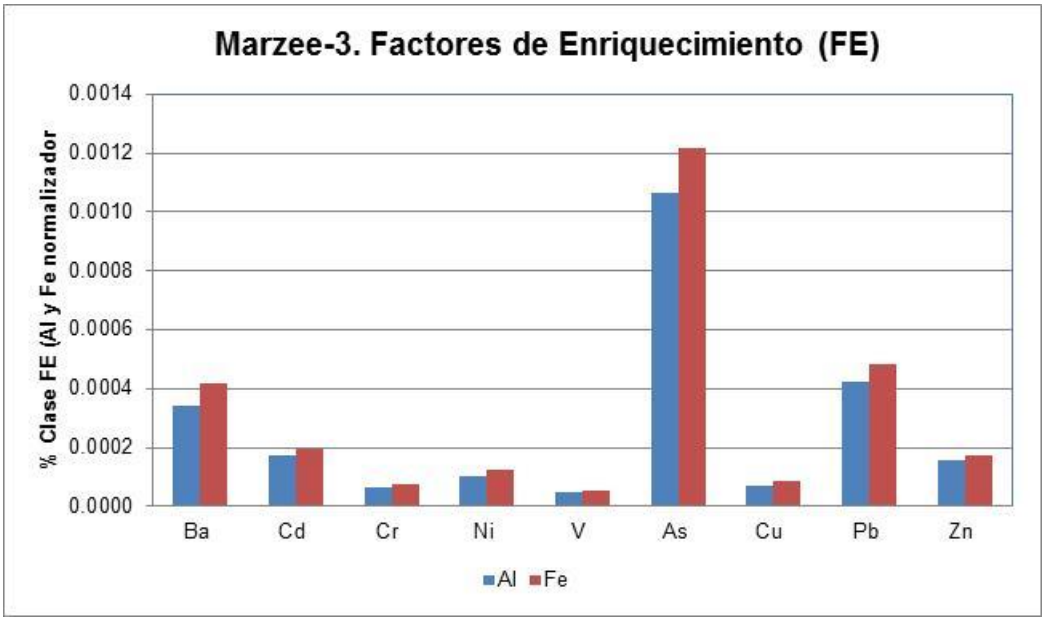


Figura 14. Factores de Enriquecimiento (FE) con relación a los valores promedio de la corteza terrestre de los sedimentos superficiales de la Región de Tamaulipas-Veracruz.del Golfo de México como variables conservativas los metales Fe y Al .

Cuadro 10. Factores de Enriquecimiento de metales en sedimentos de la Región Tamaulipas-Veracruz del Golfo de México. Marzee-3.

	Elementos analizados (peso seco) %FE (% finos<63 µ como normalizador)					
	Ba	Cd	Cr	Ni	V	As
Intervalo	0.553-3.485	0.554-1.923	0.220-0.832	0.240-0.954	0.122-0.783	1.592-9.098
Media	1.348	1.002	0.404	0.462	0.230	3.521
Percentil	2.468	1.811	0.714	0.809	0.470	6.140
Desv. Estd.(# de muestras)	0.644(36)	0.328(36)	0.138(36)	0.168(36)	0.123(36)	1.675(36)
Coeficiente de Variación %	47.7	32.7	34.3	36.4	53.4	47.6
	Elementos analizados (peso seco) %FE (% finos<63 µ como normalizador)					
	Cu	Pb	Zn	Al	Fe	
Intervalo	0.093-0.597	1.501-4.466	0.560-1.282	3611-14098	3209-9425	
Media	0.229	2.547	0.854	6996	5642	
Percentil	0.498	4.379	1.231	10877	9357	
Desv. Estd.(# de muestras)	0.136(36)	0.755(36)	0.178(36)	2278(36)	1618(36)	
Coeficiente de Variación %	59.3	29.6	20.9	32.6	28.7	

<1= Corteza

>1<10 = Litogénico/antropogénico

>10 = Diferente a la corteza

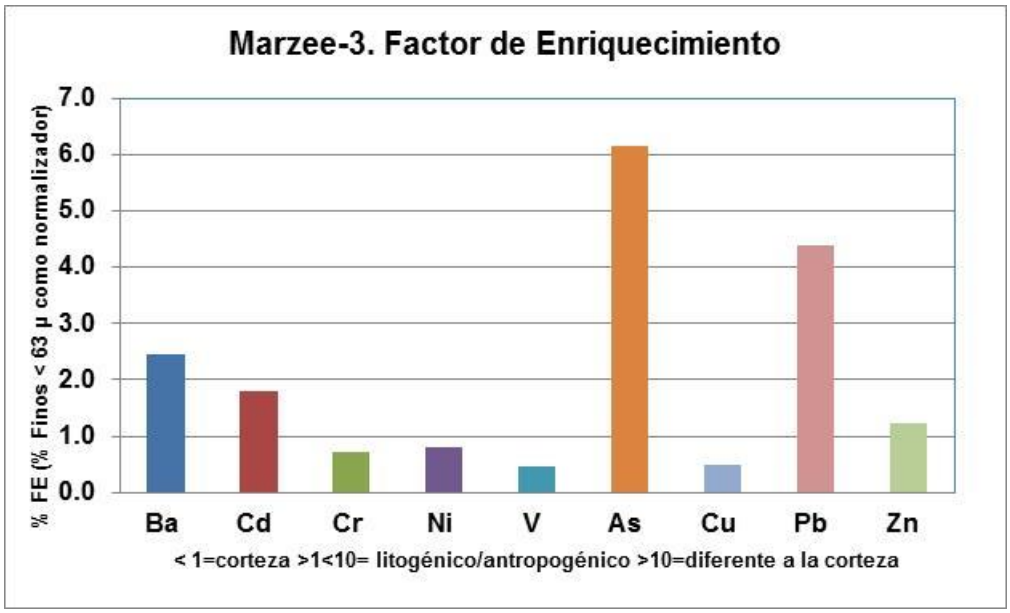


Figura 115. Factores de Enriquecimiento (FE) con relación a los valores promedio de la corteza terrestre de los sedimentos superficiales de la Región de Tamaulipas-Veracruz.del Golfo de México como variables conservativas el porcentaje de fracciones finas de grano <63µm.

6.3.2. Granulometría

La granulometría del material (tamaño de grano), es un factor importante en la capacidad de retención de los metales. Existe una fuerte correlación positiva entre la disminución del tamaño de grano y la concentración de metales (Horowitz, 1986). Esta correlación se debe tanto a factores físicos como mineralógicos (composicionales). Las partículas de arcillas (<2-4 µm) poseen una elevada área específica, determinando reacciones de superficie que favorecen las interacciones de metales con el sedimento. Como consecuencia los sedimentos de grano fino son importantes sumideros de algunos constituyentes inorgánicos.

En el siguiente cuadro se presenta la proporción porcentual (arenas, limos y arcillas) así como el tipo de sedimento de acuerdo con la clasificación de Shepard (1954), para las clases texturales, así como la distribución espacial a nivel de los sedimentos superficiales, en el que se puede observar que el mayor porcentaje se obtuvo para los limos, por lo que la clasificación para casi toda el área de estudio fue denominada como limosa, la estación 2 y 6D obtuvieron un porcentaje de arcillas y limos entre 56 y 42 % respectivamente con una clasificación de limo-arcillosa; en tanto que la estación 29, obtuvo un porcentaje mayor de arenas (56.7 %) y 36.9 % de limos por lo que se clasificó como areno-limosa. En la Figura 16, se muestra la distribución en el área de estudio.

Cuadro 11. Clases texturales predominantes y su proporción porcentual así como su clasificación de Shepard (1954) en sedimentos de la Región Tamaulipas-Veracruz del Golfo de México. Campaña Marzee-3.

Número de estación/	Resultados de la Granulometría			
	Arenas (%)	Limos (%)	Arcillas (%)	Clasificación
1	29.003	65.779	5.218	Limosa
1D	0.167	93.472	6.361	Limosa
2	1.590	42.326	56.084	Limo-Arcillosa
3	2.094	89.985	7.921	Limosa
4	7.031	88.086	4.883	Limosa
5	5.197	88.359	6.444	Limosa
6	0.978	93.038	5.984	Limosa
6D	2.179	42.260	55.561	Limo-Arcillosa
9	0.895	78.227	20.878	Limosa
10	2.945	90.782	6.273	Limosa
11	1.049	94.167	4.785	Limosa
12	0.773	93.571	5.656	Limosa
13	2.054	92.744	5.202	Limosa
14	1.306	94.089	4.605	Limosa
15	5.912	86.983	7.104	Limosa
16	3.396	89.988	6.616	Limosa
17	3.543	90.300	6.158	Limosa

Continuación…

Cuadro 11. Clases texturales predominantes y su proporción porcentual así como su clasificación de Shepard (1954) en sedimentos de la Región Tamaulipas-Veracruz del Golfo de México. Campaña Marzee-3.

Número de estación/	Resultados de la Granulometría			
	Arenas (%)	Limos (%)	Arcillas (%)	Clasificación
18	5.213	88.372	6.415	Limosa
19	56.757	36.924	6.319	Areno-Limosa
20	1.362	91.619	7.019	Limosa
21	1.147	83.973	14.881	Limosa
22	0.491	92.806	6.704	Limosa
23	2.633	91.082	6.285	Limosa
24	0.397	93.358	6.245	Limosa
25	0.711	92.002	7.287	Limosa
26	1.098	93.152	5.750	Limosa
27	4.843	90.320	4.837	Limosa
28	6.590	88.198	5.212	Limosa
29	4.916	89.425	5.659	Limosa
30	1.014	92.996	5.990	Limosa
31	0.335	92.734	6.931	Limosa
32	0.543	71.209	28.249	Limosa
33	7.695	85.665	6.641	Limosa
Intervalo	0.167-56.757	36.924-94.167	3.605-56.084	
Media	5.03	84.485	10.49	
Desv. Estd.(# de muestras)	10.585(33)	15.462(33)	12.641(33)	
Coeficiente de Variación %	210.6	18.3	120.5	

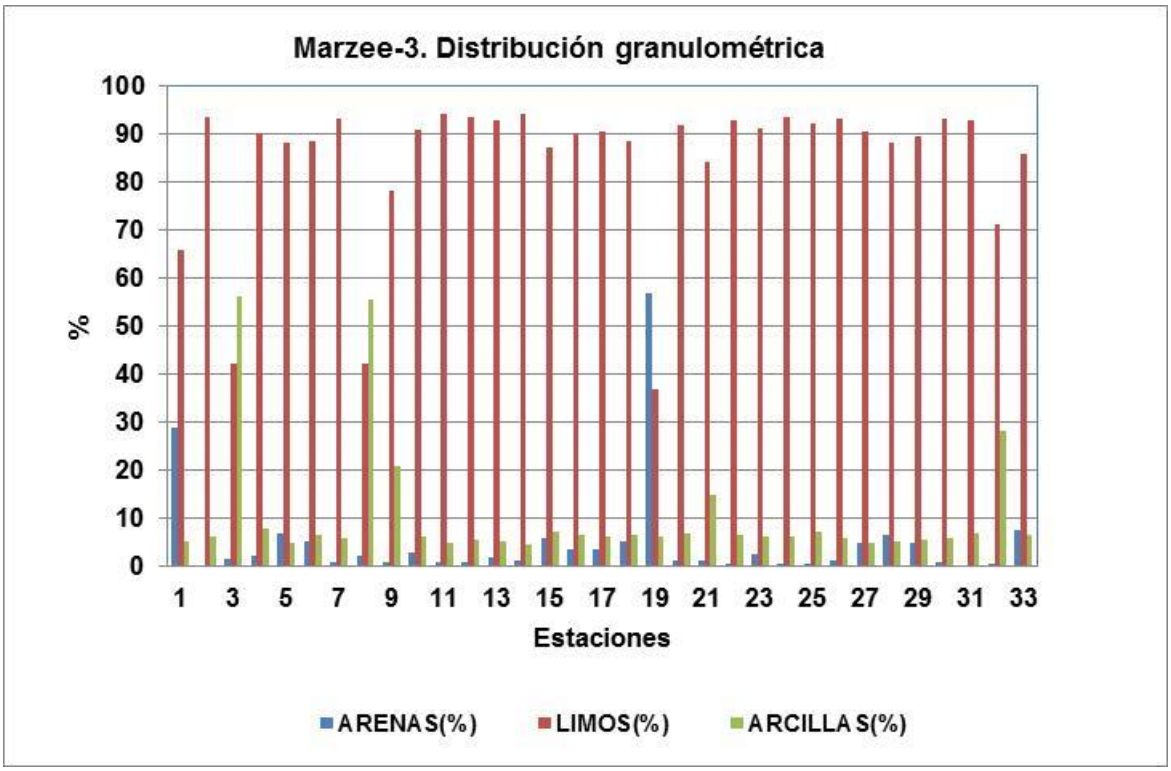


Figura 16. Distribución de la granulometría en sedimento en la región de Tamaulipas-Veracruz.

5. CONCLUSIONES

5.1 COMPUESTOS ORGÁNICOS

La caracterización de hidrocarburos en agua superficial de la región Tampico-Veracruz para la temporada de nortes, no mostró la presencia de HAP y biomarcadores de petróleo, lo cual no permite identificar contribuciones recientes de productos del petróleo.

Las concentraciones de las concentraciones de HTP, HAPT, HAPM y HBPM en agua y sedimentos, se encontraron por debajo del límite de detección del método.

Los biomarcadores en agua y sedimentos también obtuvieron valores por debajo del límite de detección. La presencia de hidrocarburos semivolátiles en sedimentos así como de los HTP en concentraciones por debajo del límite de detección, no permite detectar efectos en el ambiente de la zona económica exclusiva de México relacionados con la presencia o productos derramados por la plataforma Horizon.

5.2 CONCENTRACIONES E ISÓTOPOS DE CARBONO Y NITRÓGENO

Las concentraciones de carbono orgánico total y nitrógeno en partículas de agua de superficie y fondo, se encuentran por debajo de 30 μM y 3 μM respectivamente, no habiendo evidencias de eutroficación en la región (Gardner et al. 2006 y López et al., 1995).

El carbono total en sedimento se presentó con un promedio de 0.470 %, e intervalo de 0.273 - 0.724 %, el 36% de estas concentraciones son superiores a 0.42 % nivel que Walsh (1993) ha observado en aportes continentales de ambientes anóxicos. El nitrógeno total en sedimento se cuantificó en un intervalo entre 0.029 y 0.072 %, niveles menores a 0.2 % que es indicador de aportes continentales.

5.3 METALES Y GRANULOMETRÍA

De la misma manera que en la campaña Marzee-2, para esta campaña el comportamiento de metales en sedimento mostró el siguiente orden de abundancia promedio: Al>Fe>Ba>Zn>Cr>Ni>Pb>V>Cu>As>Cd. El Cd, Ba y Zn obtuvieron valores inferiores al Criterio Bajo de efecto para la vida acuática, (NOAA-Squirt, 1999 – 2008), en tanto que los metales, As, Cu, Cr y Pb mostraron una probabilidad de efecto tóxico medio para la vida acuática.

Las concentraciones del Al y Fe fueron altas en comparación a las obtenidas en otros estudios en el Golfo de México. El V en tres estaciones presentó valores de

probabilidad de efecto alto para la vida acuática de acuerdo a la misma NOAA. El patrón de concentraciones de los metales fue semejante en ambas campañas.

El índice de geoacumulación mostró que los metales arsénico y plomo, presentaron valores dentro de la clasificación de moderadamente contaminados (I_{geo}=1.4 Pb y 2.5 As), lo que significa que la contaminación por estos metales se deriva de las actividades industriales locales, aportes atmosféricos, descargas de aguas domésticas y escorrentías continentales. Los demás metales obtuvieron un índice de geoacumulación inferior a 0.5, dentro de la clasificación de no contaminados.

El factor de enriquecimiento de los metales utilizando Al y Fe como normalizadores, indica que la presencia de los metales en la región, se relaciona con procesos de intemperismo de la corteza terrestre. Mientras que si se considera la acumulación asociada a las fracciones finas del sedimentos (<63μM), el Cr. Ni. V y Cu se asocian al intemperismo de la corteza terrestre y el resto de los metales tienen origen antropogénico.

La textura del sedimento en toda el área de estudio fue limosa y no se obtuvieron correlaciones significativas entre este parámetro y los hidrocarburos así como los metales.

6. RECOMENDACIONES

6.1 COMPUESTOS ORGÁNICOS

Se recomienda continuar con el monitoreo de los diferentes compuestos orgánicos en el área de estudio, tanto en agua como en sedimento. El comportamiento de todos los compuestos orgánicos en esta campaña permitieron identificar la presencia de la temporalidad, de ahí que es importante realizar una comparación en la temporada de secas ya que en las anteriores campañas las concentraciones registradas de HTP en agua superaron al criterio máximo permisible de la Unión Europea; por lo que deberá dárseles seguimiento para establecer su origen y vía de incorporación.

Por otra parte, es de gran importancia contar con una línea base de esta región en diferentes épocas del año, con la finalidad de obtener para México niveles de hidrocarburos en agua y en sedimento para esta zona, los valores que se reportan en la literatura son puntuales y no reflejan el comportamiento en el Golfo de México.

6.2 CONCENTRACIONES DE CARBONO Y NITRÓGENO

Se sugiere dar seguimiento a la evaluación del carbono, nitrógeno en agua (material particulado) y en sedimento, lo que dará la línea base en esta región en diferentes épocas del año.

6.3. METALES Y GRANULOMETRÍA

Dar seguimiento al elenco de los metales evaluados en este estudio en especial al arsénico y plomo para tener la línea base del comportamiento en el sedimento en diferentes épocas del año. Como se mencionó en el informe de Marzee-1 y 2, el resultado de la caracterización granulométrica de esta campaña puede ser la base para sugerir nuevas investigaciones y/o monitoreo de la calidad del agua y del sedimento, con especial atención en aquellas áreas donde existen problemas de contaminación o están sujetas a un eventual impacto ambiental.

7. REFERENCIAS

Aguilera Lozano, G. 1995. Evaluación del contenido de algunos metales pesados en once bancos ostrícolas en la Laguna de San Andrés, Tamaulipas, México. Tésis profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores, Zaragoza, Biología. 67 pp.

Castillo-Geníz, J. L. 1998. The Mexican artisanal shark fishery in the Gulf of Mexico: towards a regulated fishery. Mar. Freshwater Res., 1998, 49; 611-20

Castillo Reyes, G., 1996. Estudio geoquímico de los sedimentos litorales del Estado de Veracruz, México. Tesis Profesional, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 89 pp.

Budzinski, H.; Garringues, P.; Bernard, G.; Bellocq, J.; Hinrichs, K. & Rullkötter, J. 1997. Identification of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from the Amazon Fan: occurrence and diagenetic evolution. Proceedings of the ocean drilling program. Scientific results. 155:555-563.

Castillo Reyes, G., 1996. Estudio geoquímico de los sedimentos litorales del Estado de Veracruz, México. Tesis Profesional, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 89 pp.

Daskalakis, K. D., O'Connor, T.P. (1995). Normalization and Elemental Sediment Contamination in Coastal United States. Environmental Science and Technology. 29:470-477.

Escobar-Briones, E. & García-Villalobos, F. J. 2009. Distribution of total organic carbon and total nitrogen in deep-sea sediments from the southwestern Gulf of Mexico. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana Vol. 61 No. 1 p. 73-83.

Feng, H., X. Han, W. Zhang. & Y. Lizhong. 2004. A preliminary study of heavy metal contamination in Yangtze River intertidal zone due to urbanization. *Mar. Poll. Bull*. 49: 910-915.

Fernandes, M. B.; Sicre, M. A.; Boireau, A. & Tronczynski, J. 1997. Polyaromatic Hydrocarbon (PAH) distributions in the Seine River and its estuary. Mar. Pollut. Res. 34(11): 857-867.

Folk, R.L. 1974. Petrology of Sedimentary Rocks. Hempill, Austin Tx. 154 pp.

Gavande, S. A. 1979. Física de suelos: principios y aplicaciones. Limusa. México. 34-37 pp.

IMP-Battelle-UNAM-UAM (Instituto Mexicano del Petróleo-Battelle Memorial Institute-Universidad Nacional Autónoma de México-Universidad Autónoma Metropolitana). 2002. Evaluación de Riesgo Ecológico e Impacto de las Operaciones Industriales (Análisis General). 217 pp.

Ingersoll, C.G. 1995. Sediment tests. In Rand, G. M. Ed. Fundamentals of aquatic toxicology. Effects, environmental fate and risk assessment. 2 ed. Taylor & Francis. Washington. P 231-255

Kayal, S. & Conell, D. W. 1995. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in biota from the brinsbane river estuary, Australia. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 40:475-493.

Long, E.R., MacDonald, D. (1998). Recommended Uses of Empirically Derived, Sediment Quality Guidelines for Marine and Estuarine Ecosystems. Human and Ecological Risk Assessment. 4(5):1019-1039.

Loring, DH. (1991). Normalization of Heavy-Metal Data from Estuarine and Coastal Sediments. ICES J Mar Sci; 48:101-115.

Maldonado, C.; Bayona J. M., & Bodeneau, L. 1999. Sources, distribution and column processes of aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in the northwestern black sea water. Env. Sci. & Technol. 33(16):2693-2702.

Müller, G. 1979. Schwermetalle in den sedimenten des Rheins-Veränderungen seit 1971. Umschau 79:778-783.

NMX-AA-112-1995-SCFI. Análisis de agua y sedimentos-Evaluación de la toxicidad aguda con *Photobacterium phosphoreum*. Método de prueba.

Nolting, R.F., Ramkema, A, Everaats, J.M. (1999). The Geochemistry of Cu, Cd, Zn, Ni and Pb in Sediment Cores from the Continental Slope of the Banc d'Arguin (Mauritania). Continental Shelf Research. 19:665–691.

Ortiz-Gallarza, S. M., A. Gil-Zurita, M. R. García Hernández, M. J. Segura Gortares y A. M. Vázquez De La Cerda. 1994. *Caracterización del Ambiente Acuático en la Zona de Descarga del Difusor Submarino de Du Pont, S. A. de C. V., Planta Altamira*. Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía Naval. 162 pp.

Pesch, C. E. and D. Morgan. 1978. Influence of sediment in copper toxicity test with the polychaete, *Neanthes arenaceodentata*. *Water Res.* 12: 747-751.

Readman, J.W.; Gillmann, G.; Tolosa, I.; Bartocci, J.; Villeneuve, J.; Catinni, C. & Mee, L. D. 2002. Petroleum and PAH contamination of the Black Sea. Mar. Pollut. Bull. 44: 48-62.

Reinhold, H.C. & Den Besten, P.J. 1999. The relation between macroinvertebrate assemblages in the Thine-Meuse delta (The Netherlands) and sediment quality. Aquatic Ecosystem Health and Management. 2:19-38

Shepard, F.P. 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. Journal of Sedimentary Petrology. 24: 151-158

Statistica.1998. Statistica for Windows (Volume I).General Conventions and Statistics I. StatSoft, Inc, (2nd Ed.). Tulsa OK, USA.

Szefer,P., Glasby, G.P., Sefer, K., Pempkowiak, J., Kaliszan, R. (1996). Heavy-Metal Pollution in Superficial Sediments from the Southern Baltic Sea off Poland. Journal of Environmental Science and Health. 31A:2723-2754.

Taylor S. R; McLennan, S. M. 1995. The Geochemical Evolution of The Continental Crust. Reviews of Geophysics 33, 241-265.

Tolosa, I.; De Mora, S.; Reza, M.; Villeneuve, J.; Bartocci, J. & Cattini, Ch. 2004. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in coastal Caspian Sea sediments. Mar. Pollut. Bull. 48:44-60.

Wentworth, C. K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments; Journal of Geology, 30: 377-392.

Yunker, M.; Snowdon, LL.; Macdonald, R.; Smith, J.; Fowler, M.; Skibo, D.; McLaughlin, F.; Danyushervskaya, A.; Petrova, V.; & Ivanov, G. 1996. Polycyclic Aromatic Hydrocarbon composiction and potencial sources for sediment samples from the Beaufort and Barents seas. Env. Sci. Technol. 30:1310-1320.

Yunker, M. & Macdonald, R. 1995. Composition and origins of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Mackenzie River and on the Beaufort Sea Shelf. Arctic. 48(2):118-129.

Yunker, M.; Macdonald, R.; Vingarzan, R.; Mitchell, R.; Goyette, D. & Sylvestre, S. 2002. PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition. Organic Geochemistry. 33: 489-515.

Zhang, J & C. Liu. 2002. Riverine composition and estuarine geochemistry of particule metals in China. Wheatering features, anthopogenic impact and chemical fluxes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 54: 1051-1070.

8. GLOSARIO DE TÉRMINOS

Afectación antrópica. Alteración ocasionada por la acción del hombre sobre el *medio*..

Agua contaminada. Agua cuyos usos previstos se han comprometido como resultado del deterioro de su calidad original, producto de la incorporación de elementos contaminantes.

Biodiversidad. Puede entenderse como la variedad y la variabilidad de organismos y los complejos ecológicos donde estos ocurren. También puede ser definida como el número diferente de estos organismos y su frecuencia relativa. Situación ideal de proliferación y diversidad de especies vivas en el planeta. Todas las especies están interrelacionadas, son necesarias para el equilibrio del ecosistema, nacen con el mismo derecho a vivir que el hombre, y a que sea respetado su entorno natural.

Contaminante. Toda materia o energía en cualesquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural.

Cuenca hidrográfica. Es una porción del terreno definido, por donde discurren las aguas en forma continua o intermitente hacia un río mayor, un lago o el mar.

Cuerpo Receptor. Toda red colectora, río, cuenca, cauce, vaso o depósito de aguas que sea susceptible de recibir directa o indirectamente la descarga de aguas.

Ecosistema. Unidad funcional básica de interacción de los organismos vivos entre sí y de éstos con el medio ambiente físico, en un espacio y tiempo determinados.

Eutroficación. Término que significa "bien nutrido". Indica el proceso natural de aumento en la concentración de nutrientes (principalmente fósforo y nitrógeno), dando como resultado un aumento explosivo en la concentración de organismos planctónicos.

Golfo. Porción de la mar relativamente grande encerrada parcialmente por tierra.

Impacto Ambiental. Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza.

Intemperismo. Proceso de transformación y destrucción de los minerales y las rocas en la superficie de la Tierra y, a poca profundidad, bajo la acción de agentes físicos, químicos y bióticos.

Laguna Costera. Depresión en la zona costera por debajo de las mareas más altas, teniendo comunicación permanente o efímera con el mar, pero protegida del océano por algún tipo de barrera.

Muestra. Se entiende por muestra a la serie de mediciones de diferentes parámetros hechos para una estación determinada, fecha y hora.

Parámetro. Elemento físico, químico ó biológico que se mide ó analiza, sea en campo ó laboratorio.

Plataforma Continental. Comprenden el lecho y el subsuelo de las áreas submarinas que se extienden más allá del mar territorial, y a todo lo largo de la prolongación natural del territorio nacional hasta el borde exterior del margen continental. Generalmente coincide con la isobata de los 200 m.

Productividad Biológica. Producción de biomasa por unidad de tiempo de una especie, población, asociación o ecosistema

Toxicidad. Capacidad de una sustancia de provocar efectos tóxicos que producen daños biológicos o la muerte en caso de exposición a esa sustancia o de contaminación con ella.

CRÉDITOS

8.1 ELABORACIÓN DE INFORME

Dra. María Cristina González Lozano

M. en C. Lucía Salazar Coria

Ing. Tomás Humberto Luna García

Revisión: Dra. Maria del Carmen González Macias

8.2 ANÁLISIS DE LABORATORIO

Compuestos Orgánicos
Laboratorio de Química Analítica Especializada - IMP
Analista. Ma. Cristina Hernández Eugenio
Ejecutivo de Laboratorio: M en C Lilia Castro Ortiz

Carbono y Nitrógeno
Laboratorio de Análisis Químicos
Analista: Químico Carlos B. Neri Basurto, Ing. Químico Roxana Rojas Gallardo
Ejecutivo M en C Héctor del Río Moreno

Metales
Laboratorio de Productividad de Pozos
Analista: M en C Georgina Uribe Soto
Ejecutivo. M en C Luis Manuel Pizano Gallardo

Granulometría
Laboratorio de Análisis y Tratamiento de Aguas
Analista: Tec. Cesar Bautista Bautista
Ejecutivo M en C Juan C. Cid Nuñez

8.3 MUESTREO

UNAM

IMP

Dra. María Cristina González Lozano

Téc. Tomás Humberto Luna García

9. ANEXOS

9.1 ANEXO I.

CUADROS DE LOS DATOS NOMINALES DE LA CAMPAÑA MARZEE-3 DE ACUERDO A LA TOMA DE DATOS EN EL CRUCERO OCEANOGRÁFICO Y COMO SE PRESENTAN EN LA BASE DE DATOS GLOBAL DE LAS CAMPAÑAS REALIZADAS EN EL GOLFO DE MÉXICO.

Cuadro: 1 **Estaciones de la campaña Tamaulipas - Veracruz 3 clasificadas por nombre de la estación, fecha de muestreo, localización geografica, profundidad en metros y matriz de datos.**

Región: **Tamaulipas-Veracruz.**

Total de registros: **73**

Nombre de la campaña: **Tamaulipas-Veracruz 2. MARZEE-3**

ESTACIÓN	Fecha Muestreo	Latitud	Longitud	Profundidad Total (m)	Profundidad Muestreo (m)	MATRIZ			Total general
						Agua	Partículas	Sedimentos	
1	28/10/2012	25.83	-96.74	50	5	1			1
2	28/10/2012	25.86	-96.44	100	5	1	1		2
3	28/10/2012	25.85	-96.32	200	50			1	1
4	28/10/2012	25.85	-96.22	500	5	1	1		2
5	26/10/2012	25.85	-95.75	1500	50			1	1
6	26/10/2012	25.85	-95.42	2500	5		1		1
9	28/10/2012	25.33	-96.33	500	100			1	1
10	28/10/2012	25.33	-96.45	200	5		1		1
11	29/10/2012	25.33	-96.67	100	195			1	1
12	29/10/2012	25.33	-97.01	50	5		1		1
13	29/10/2012	24.94	-97.15	50	483			1	1
14	29/10/2012	24.95	-96.87	100	5		1		1
15	29/10/2012	24.95	-96.66	200	2117			1	1
16	29/10/2012	24.95	-96.55	500	2117		1		1
17	30/10/2012	24.95	-96.03	1500	5	1			1
18	30/10/2012	24.83	-95.74	2500	5	1			1
19	30/10/2012	24.48	-95.94	2500	5	1	1		2
20	30/10/2012	24.49	-96.29	1500	49.2			1	1
21	31/10/2012	24.50	-96.53	500	5		1		1
22	31/10/2012	24.48	-96.94	200	1479			1	1
23	31/10/2012	24.48	-97.09	100	1497		1		1
24	31/10/2012	24.48	-97.38	50	5		1		1
25	31/10/2012	23.77	-97.55	50	463.3			1	1

Cuadro: 1 **Estaciones de la campaña Tamaulipas - Veracruz 3 clasificadas por nombre de la estación, fecha de muestreo, localización geografica, profundidad en metros y matriz de datos.**

Región: **Tamaulipas-Veracruz.**

Total de registros: **73**

Nombre de la campaña: **Tamaulipas-Veracruz 2. MARZEE-3**

ESTACIÓN	Fecha Muestreo	Latitud	Longitud	Profundidad Total (m)	Profundidad Muestreo (m)	MATRIZ			
						Agua	Partículas	Sedimentos	Total general
26	31/10/2012	23.77	-97.35	100	5		1		1
27	31/10/2012	23.77	-97.28	200	196			1	1
28	31/10/2012	23.78	-97.14	500	5		1		1
29	01/11/2012	23.78	-96.88	1500	102			1	1
30	01/11/2012	23.37	-96.28	2500	51.2			1	1
32	01/11/2012	23.05	-97.00	1500	5	1	1		2
33	01/11/2012	23.06	-97.34	500	5		1		1
34	01/11/2012	23.06	-97.39	200	98			1	1
35	02/11/2012	23.06	-97.43	100	5		1		1
36	02/11/2012	23.06	-97.55	50	188			1	1

Cuadro: 2	**Resultados de hidrocarburos totales del petróleo (THP), hidrocarburos aromáticos policíclicos de bajo peso molecular (HBPM), hidrocarburos aromáticos policíclicos de alto peso molecular (HAPM), hidrocarburos aromáticos policíclicos totales (HAPT).**
Región:	**Tamaulipas-Veracruz. MARZEE-3**
Nombre de la campaña:	**TV3**
Matriz:	**Agua (ng L^{-1})**

ESTACIÓN	Latitud	Longitud	HTP	HBPM	HAPM	HAPT
E2	25.86	-96.44	0.401	0.75	0.75	1.5
E2D	25.86	-96.44	0.401	0.75	0.75	1.5
E4	25.85	-96.22	0.401	0.75	0.75	1.5
E6	25.85	-95.42	0.401	0.75	0.75	1.5
E9	25.33	-96.33	0.401	0.75	0.75	1.5
E12	25.33	-97.01	0.401	0.75	0.75	1.5
E13	24.94	-97.15	0.401	0.75	0.75	1.5
E16	24.95	-96.55	0.401	0.75	0.75	1.5
E18	24.83	-95.74	0.401	0.75	0.75	1.5
E19	24.48	-95.94	0.401	0.75	0.75	1.5
E21	24.50	-96.53	0.401	0.75	0.75	1.5
E21D	24.50	-96.53	0.401	0.75	0.75	1.5
E24	24.48	-97.38	0.401	0.75	0.75	1.5
E25	23.77	-97.55	0.401	0.75	0.75	1.5
E28	23.78	-97.14	0.401	0.75	0.75	1.5
E30	23.37	-96.28	0.401	0.75	0.75	1.5
E34	23.06	-97.39	0.401	0.75	0.75	1.5
E36	23.06	-97.55	0.401	0.75	0.75	1.5

Cuadro: 3	Resultados de hidrocarburos totales del petróleo (THP), hidrocarburos aromáticos policíclicos de bajo peso molecular (HBPM), hidrocarburos aromáticos policíclicos de alto peso molecular (HAPM), hidrocarburos aromáticos policíclicos totales (HAPT).
Región:	Tamaulipas-Veracruz. MARZEE-3
Nombre de la campaña:	TV3
Matriz:	Sedimento

ESTACIÓN	Latitud	Longitud	HTP	HBPM	HAPM	HAPT
E1	25.83	-96.74	0.401	0.088	0.088	0.176
E2	25.86	-96.44	0.401	0.088	0.088	0.176
E2D	25.86	-96.44	0.401	0.088	0.088	0.176
E3	25.85	-96.32	0.401	0.088	0.088	0.176
E4	25.85	-96.22	0.401	0.088	0.088	0.176
E5	25.85	-95.75	0.401	0.088	0.088	0.176
E6	25.85	-95.42	0.401	0.088	0.088	0.176
E9	25.33	-96.33	0.401	0.088	0.088	0.176
E10	25.33	-96.45	0.401	0.088	0.088	0.176
E11	25.33	-96.67	0.401	0.088	0.088	0.176
E12	25.33	-97.01	0.401	0.088	0.088	0.176
E13	24.94	-97.15	0.401	0.088	0.088	0.176
E14	24.95	-96.87	0.401	0.088	0.088	0.176
E15	24.95	-96.66	0.401	0.088	0.088	0.176
E16	24.95	-96.55	0.401	0.088	0.088	0.176
E17	24.95	-96.03	0.401	0.088	0.088	0.176
E18	24.83	-95.74	0.401	0.088	0.088	0.176

Cuadro: 3	Resultados de hidrocarburos totales del petróleo (THP), hidrocarburos aromáticos policíclicos de bajo peso molecular (HBPM), hidrocarburos aromáticos policíclicos de alto peso molecular (HAPM), hidrocarburos aromáticos policíclicos totales (HAPT).
Región:	Tamaulipas-Veracruz. MARZEE-3
Nombre de la campaña:	TV3
Matriz:	Sedimento

ESTACIÓN	Latitud	Longitud	HTP	HBPM	HAPM	HAPT
E19	24.95	-96.66	0.401	0.088	0.088	0.176
E20	24.96	-96.55	0.401	0.088	0.088	0.176
E21	24.48	-95.94	0.401	0.088	0.088	0.176
E22	24.49	-96.29	0.401	0.088	0.088	0.176
E23	24.50	-96.53	0.401	0.088	0.088	0.176
E24	24.48	-96.94	0.401	0.088	0.088	0.176
E24D	24.48	-96.94	0.401	0.088	0.088	0.176
E25	23.77	-97.55	0.401	0.088	0.088	0.176
E26	23.77	-97.35	0.401	0.088	3.610	3.698
E27	23.77	-97.28	0.401	0.088	0.088	0.176
E28	23.78	-97.14	0.401	0.088	0.088	0.176
E29	23.78	-96.88	0.401	0.088	0.088	0.176
E30	23.37	-96.28	0.401	0.088	0.088	0.176
E31	23.05	-97.00	0.401	0.088	0.088	0.176
E32	23.06	-97.34	0.401	0.088	0.088	0.176
E33	23.06	-97.39	0.401	0.088	0.088	0.176
E34	23.06	-97.43	0.401	0.088	0.088	0.176
E35	23.06	-97.55	0.401	0.088	0.088	0.176
E36	23.77	-97.35	0.401	0.088	0.088	0.176

Cuadro: 4 **Resultados de las concentraciones de metales (Al, Ba, Cd, Cr, Fe, Ni, V, As, Cu, Pb, Zn)**

Región: **Tamaulipas - Veracruz. MARZEE-3**

Campaña: **TV3**

Matriz: **Sedimentos** **(ug g-1)**

ESTACIÓN	Fecha Muestreo	Latitud	Longitud	Al	Ba	Cd	Cr	Fe	Ni	V	As	Cu	Pb	Zn
E1	28/10/2012	25.83	-96.74	48379	657.81	0.162	34.08	16943	21.16	20.28	3.52	5.38	25.88	52.26
E1D	28/10/2012	25.83	-96.74	36250	606.65	0.128	28.24	13714	18.87	17.28	4.42	9.14	22.44	50.93
E2	28/10/2012	25.86	-96.44	56194	245.97	0.206	43.21	21264	29.15	24.56	4.39	8.89	33.60	61.40
E3	28/10/2012	25.85	-96.32	55473	284.81	0.202	42.28	21128	32.25	27.07	3.69	9.52	32.95	63.08
E4	26/10/2012	25.85	-96.22	53382	369.73	0.204	41.54	20871	34.42	26.27	3.28	9.89	32.94	58.79
E5	26/10/2012	25.85	-95.75	48070	898.92	0.178	33.35	17781	50.07	26.22	5.36	15.84	27.37	56.28
E6	28/10/2012	25.85	-95.42	49087	770.45	0.183	35.49	18250	44.78	29.96	7.32	24.56	28.96	55.60
E6D	28/10/2012	25.85	-95.42	46276	720.55	0.178	33.52	17332	42.74	28.78	6.03	22.78	28.13	52.30
E9	29/10/2012	25.33	-96.33	60641	454.81	0.222	45.46	23950	41.75	30.59	6.25	12.38	37.62	66.49
E10	29/10/2012	25.33	-96.45	62885	244.17	0.202	42.78	21090	32.20	26.86	3.00	10.02	33.81	66.27
E11	29/10/2012	25.33	-96.67	67555	380.87	0.223	47.85	23413	32.80	25.22	3.33	8.83	36.63	68.06
E12	29/10/2012	25.33	-97.01	51884	817.46	0.174	37.04	18224	24.77	21.11	6.88	7.82	29.30	56.28
E13	29/10/2012	24.94	-97.15	61543	920.33	0.188	43.90	21450	27.61	24.49	3.32	7.47	33.68	63.28
E14	29/10/2012	24.95	-96.87	103532	525.72	0.382	80.60	35805	35.32	74.78	10.68	7.62	57.99	90.84
E15	30/10/2012	24.95	-96.66	74735	298.74	0.236	51.72	25289	35.31	33.26	5.89	9.83	39.48	72.62
E16	30/10/2012	24.95	-96.55	57475	400.72	0.221	45.35	23687	36.58	27.71	9.67	9.07	37.14	66.77
E17	28/10/2012	24.95	-96.03	68160	1036.79	0.229	43.31	22983	50.15	31.03	6.79	19.83	35.34	67.68
E18	28/10/2012	24.83	-95.74	116620	761.13	0.397	86.0	34822	52.04	109.29	10.60	33.93	57.71	92.79

Cuadro: 4 **Resultados de las concentraciones de metales (Al, Ba, Cd, Cr, Fe, Ni, V, As, Cu, Pb, Zn)**

Región: **Tamaulipas - Veracruz. MARZEE-3**

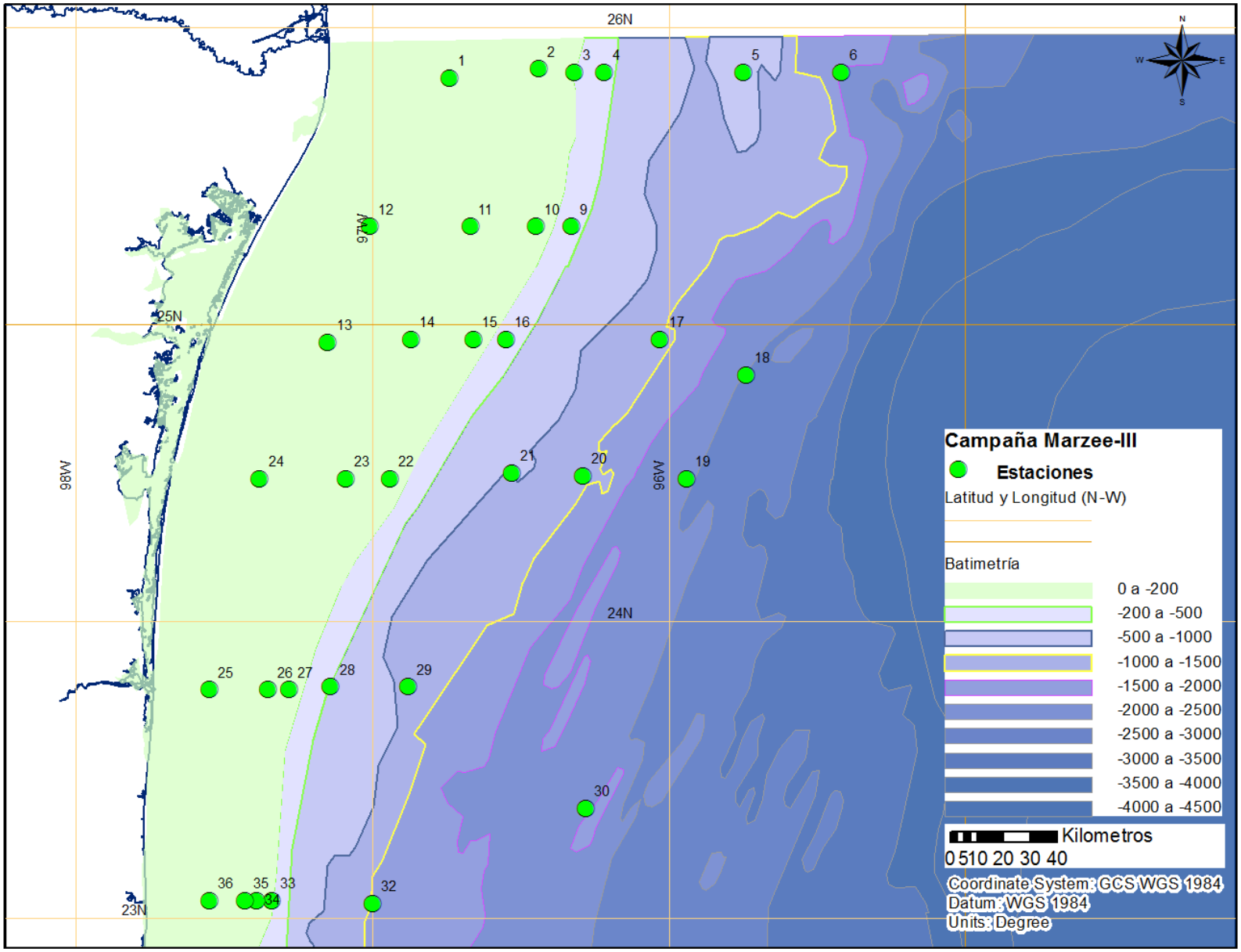
Campaña: **TV**

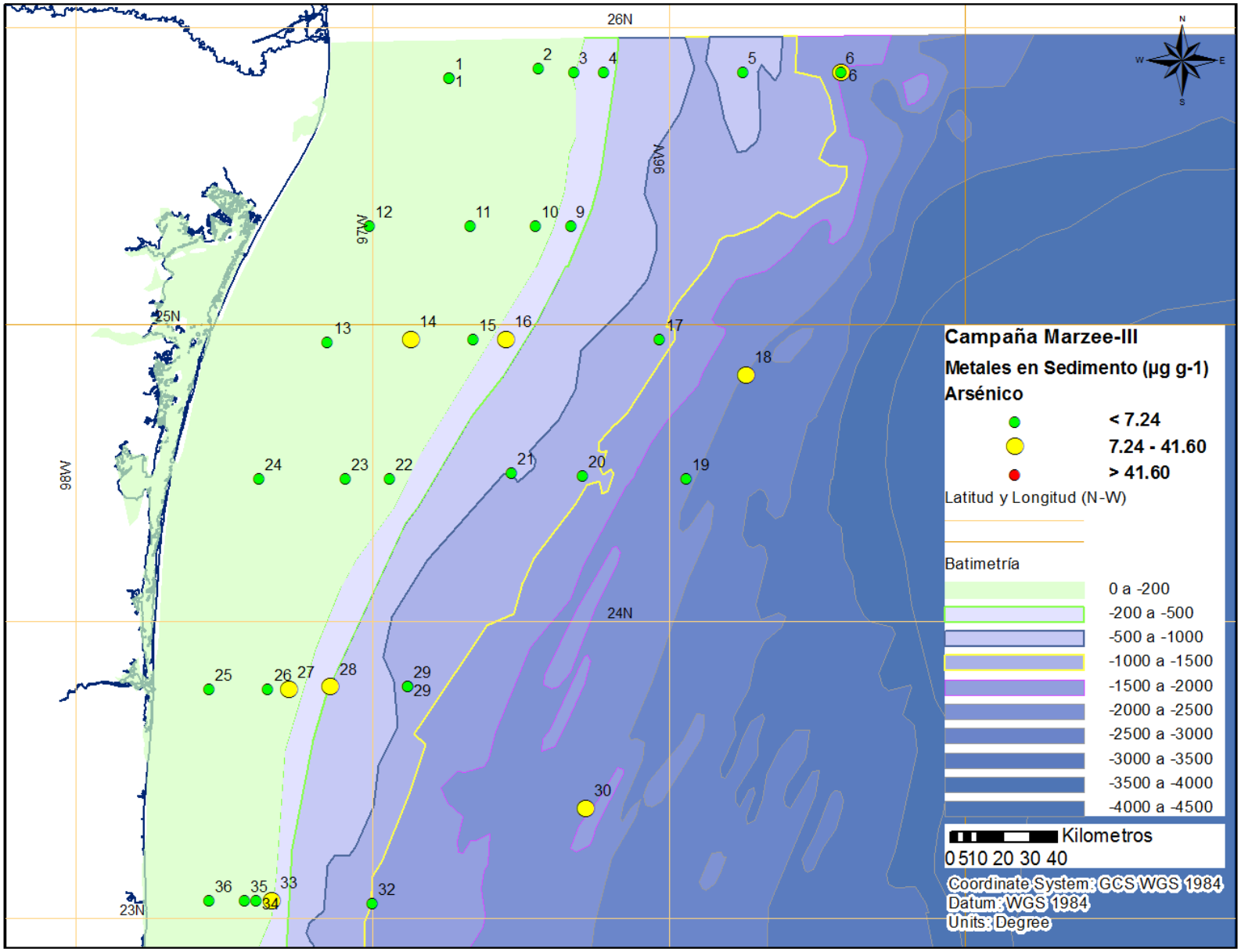
Matriz: **Sedimentos** **(ug g-1)**

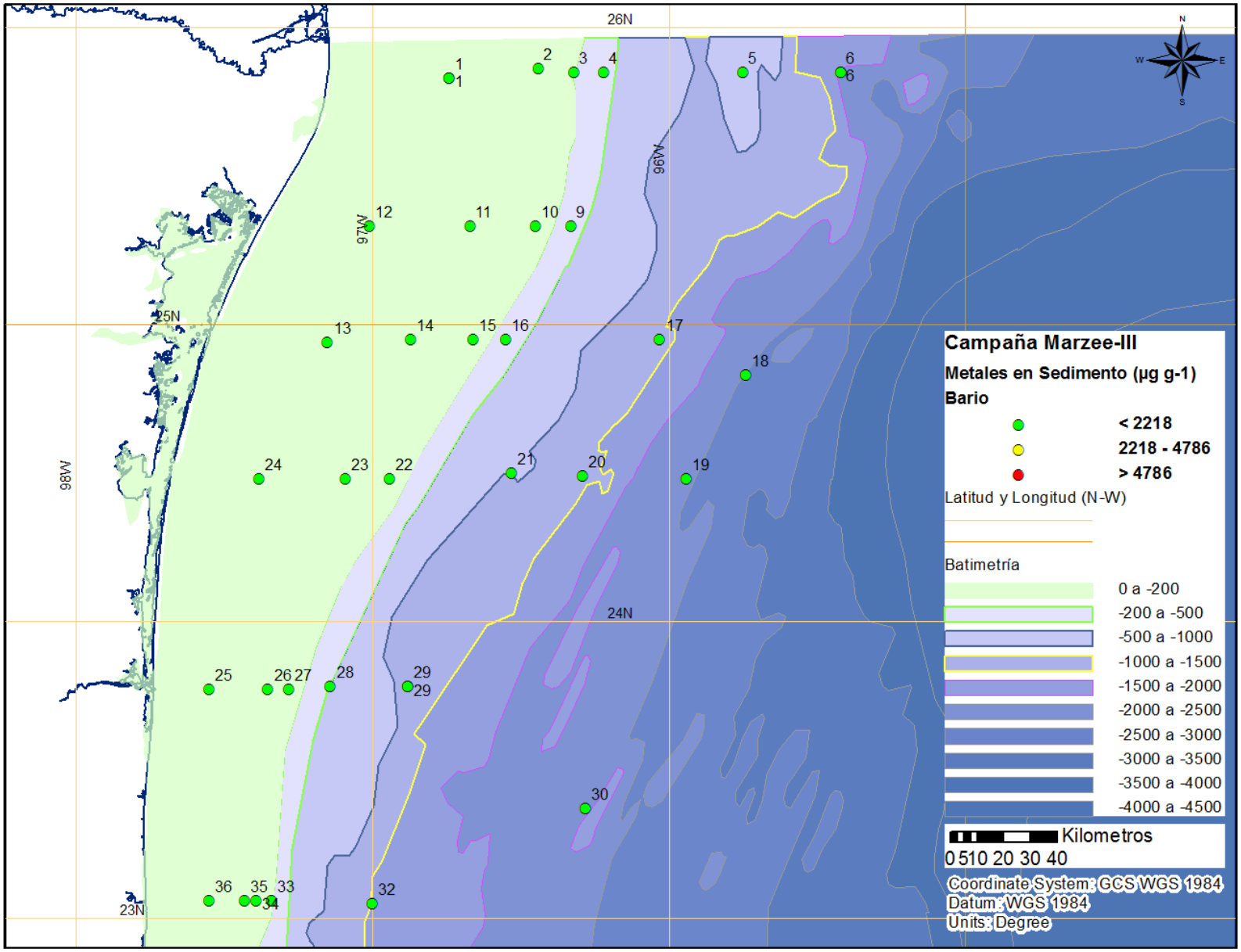
ESTACIÓN	Fecha Muestreo	Latitud	Longitud	Al	Ba	Cd	Cr	Fe	Ni	V	As	Cu	Pb	Zn
E19	30/10/2012	24.48	-95.94	58133	685.59	0.201	41.40	21276	45.79	33.90	6.56	26.55	33.89	61.53
E20	30/10/2012	24.49	-96.29	55644	835.88	0.191	36.79	18917	42.93	26.64	5.82	17.13	30.54	59.46
E21	31/10/2012	24.50	-96.53	35707	372.41	0.143	25.37	14015	33.11	20.52	4.63	6.29	21.48	32.49
E22	31/10/2012	24.48	-96.94	77429	263.89	0.240	50.57	26284	39.30	31.31	3.65	8.91	19.80	71.12
E23	31/10/2012	24.48	-97.09	64105	300.17	0.217	44.74	22385	30.15	27.08	4.29	6.70	36.39	68.25
E24	31/10/2012	24.48	-97.38	69724	828.28	0.203	45.28	22032	26.66	28.14	5.53	6.66	34.52	64.18
E25	31/10/2012	23.77	-97.55	30107	446.89	0.115	22.89	12041	25.40	19.74	4.90	6.57	19.64	40.86
E26	31/10/2012	23.77	-97.35	37021	442.70	0.138	28.15	14487	21.45	24.82	3.91	9.31	23.94	48.41
E27	31/10/2012	23.77	-97.28	42821	453.69	0.163	33.34	17319	28.61	28.00	11.42	9.86	26.13	56.65
E28	31/10/2012	23.78	-97.14	88418	430.94	0.389	73.94	35917	38.89	64.75	12.66	9.38	58.37	93.36
E29	01/11/2012	23.78	-96.88	44460	725.71	0.159	30.54	16239	40.91	28.00	6.91	17.35	26.04	54.18
E29D	01/11/2012	23.78	-96.88	38456	765.04	0.163	26.64	15042	37.05	29.16	6.47	18.03	25.32	49.57
E30	01/11/2012	23.37	-96.28	31643	501.36	0.124	22.92	12267	39.55	26.41	7.28	25.70	20.65	42.91
E32	01/11/2012	23.05	-97.00	35194	628.60	0.143	23.27	12892	32.87	24.69	5.71	15.32	21.00	42.91
E33	01/11/2012	23.06	-97.34	33266	469.60	0.151	26.04	15017	20.92	25.82	17.35	7.94	25.40	43.35
E34	01/11/2012	23.06	-97.39	60085	674.14	0.199	41.78	21423	27.77	28.64	7.08	8.14	34.70	63.82
E35	02/11/2012	23.06	-97.43	54733	576.60	0.185	38.08	19529	25.49	24.96	3.73	8.66	31.44	58.28
E36	02/11/2012	23.06	-97.55	44503	488.03	0.153	30.34	16202	20.18	21.14	5.03	5.53	26.13	48.20

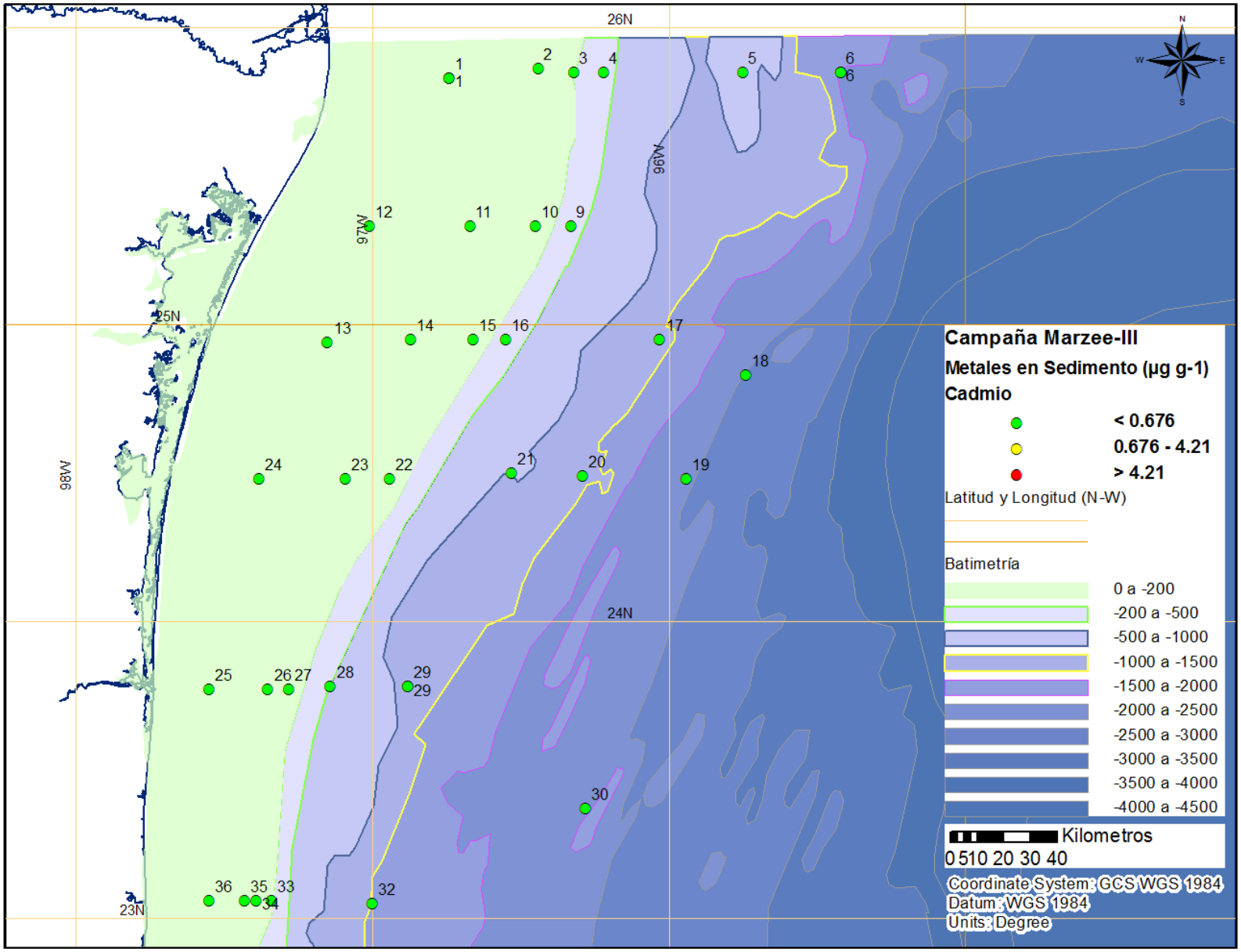
9.2 ANEXO II

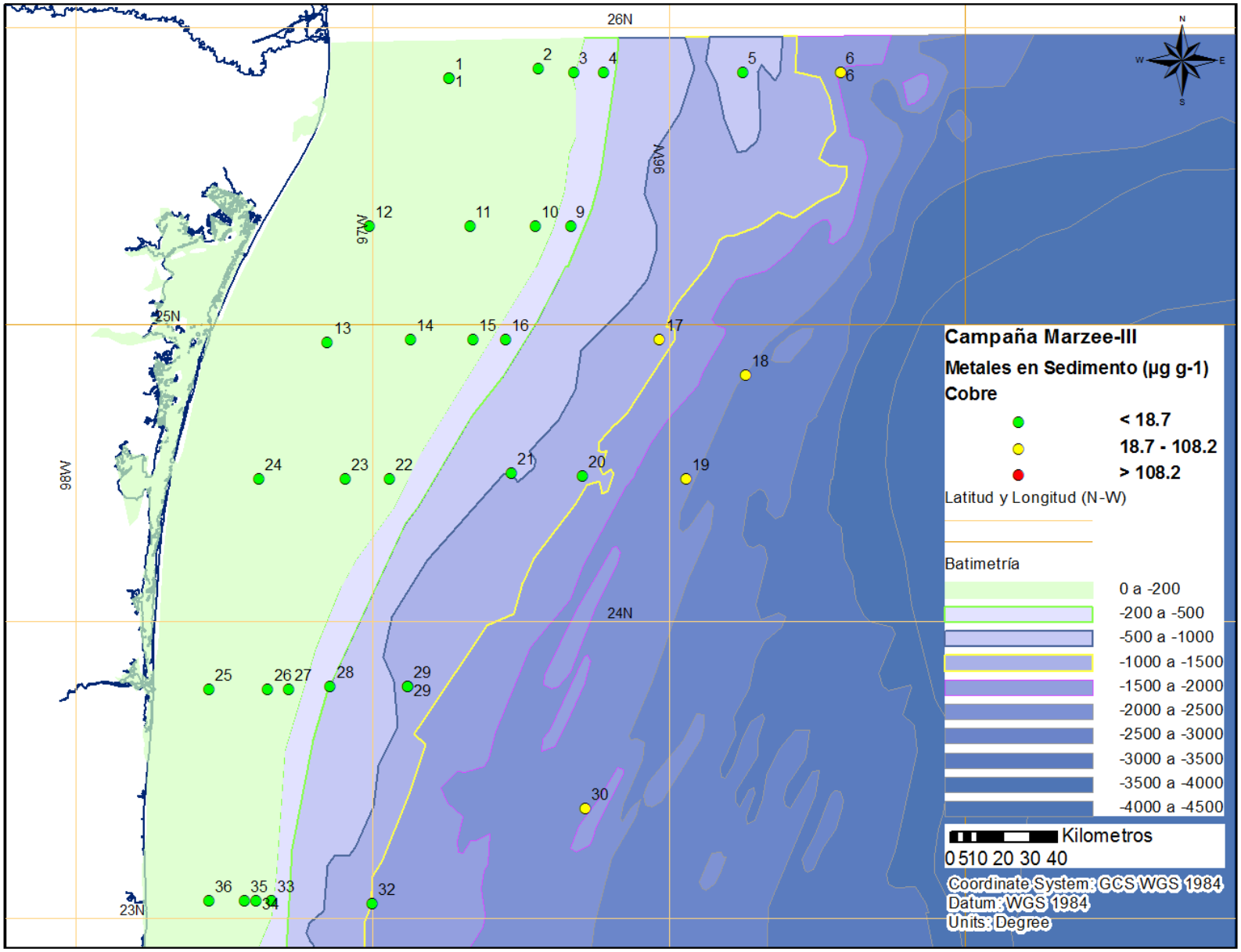
MAPAS DE LOS DATOS NOMINALES DE METALES EN SEDIMENTO DE LA CAMPAÑA MARZEE-3 DE ACUERDO A LA TOMA DE DATOS EN EL CRUCERO OCEANOGRÁFICO Y COMO SE PRESENTAN EN LA BASE DE DATOS GLOBAL DE LAS CAMPAÑAS REALIZADAS EN EL GOLFO DE MÉXICO.

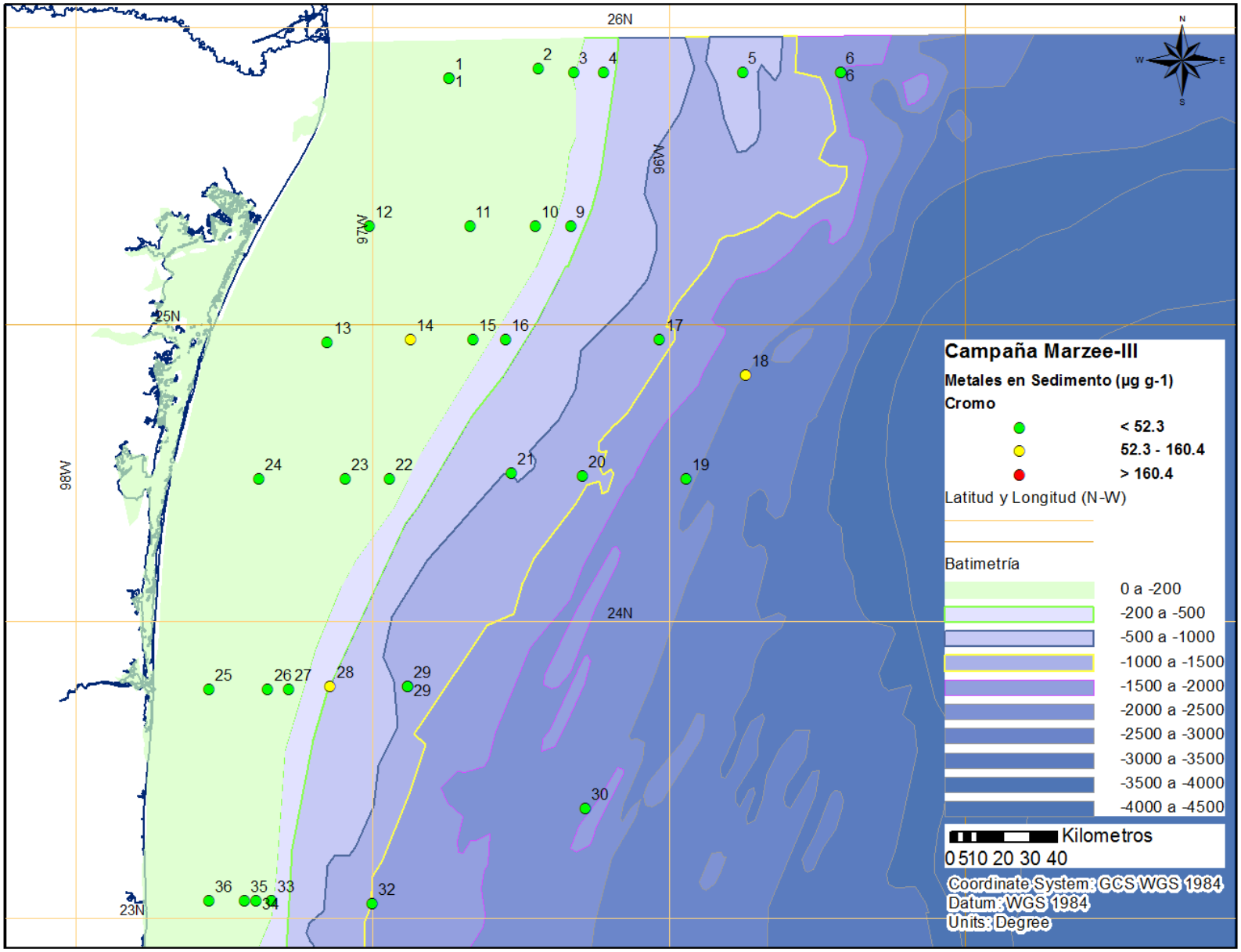

26N
25N
24N
23N
97W
98W
96W
1
2
3
4
5
6
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
32
33
34
35
36
N
W
E
S
Campaña Marzee-III
Estaciones
Latitud y Longitud (N-W)
Batimetría
0 a -200
-200 a -500
-500 a -1000
-1000 a -1500
-1500 a -2000
-2000 a -2500
-2500 a -3000
-3000 a -3500
-3500 a -4000
-4000 a -4500
Kilometros
0 5 10 20 30 40
Coordinate System: GCS WGS 1984
Datum: WGS 1984
Units: Degree

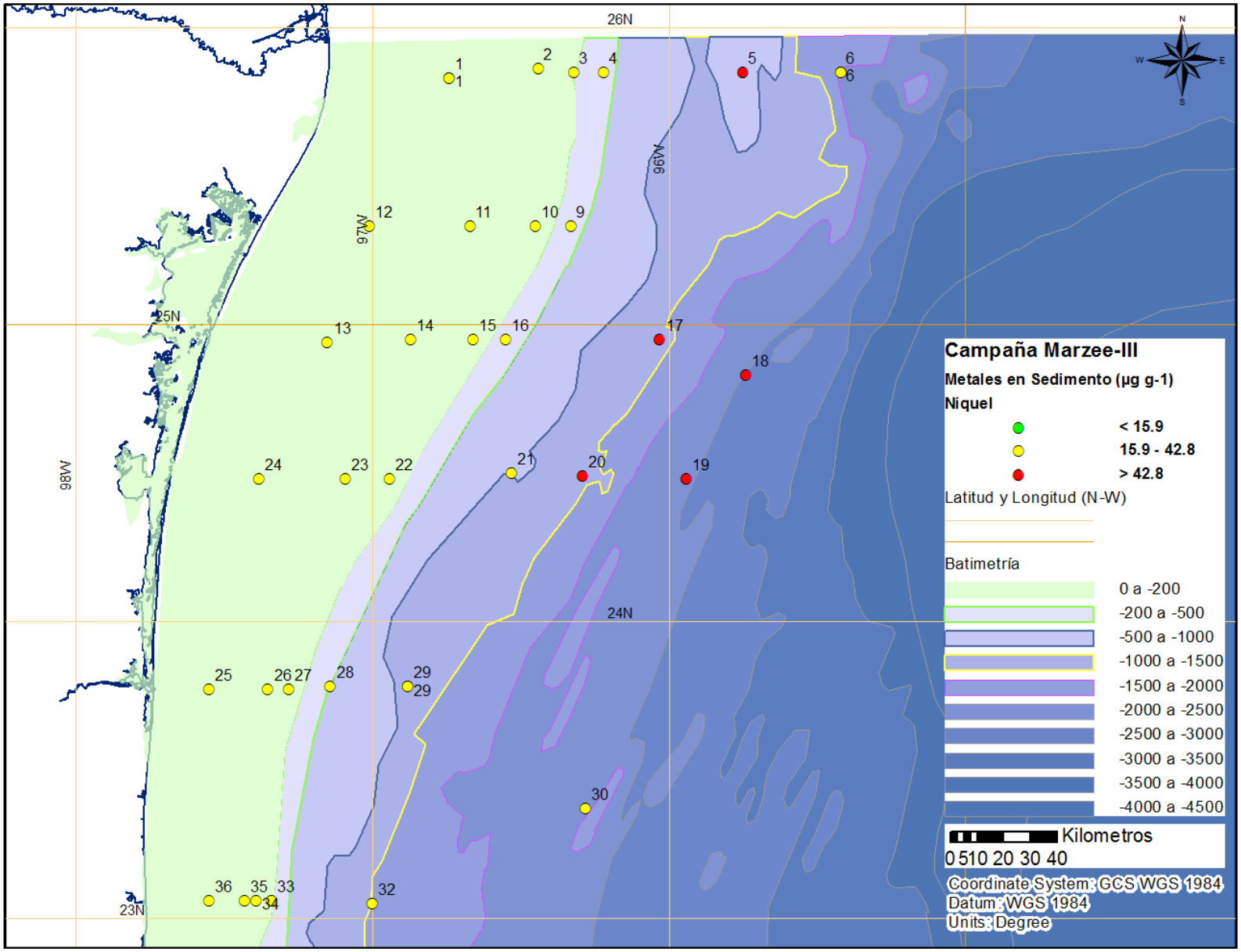

26N
25N
24N
23N
98W
97W
96W
Campaña Marzee-III
Metales en Sedimento (µg g-1)
Arsénico
< 7.24
7.24 - 41.60
> 41.60
Latitud y Longitud (N-W)
Batimetría
0 a -200
-200 a -500
-500 a -1000
-1000 a -1500
-1500 a -2000
-2000 a -2500
-2500 a -3000
-3000 a -3500
-3500 a -4000
-4000 a -4500
Kilometros
0 5 10 20 30 40
Coordinate System: GCS WGS 1984
Datum: WGS 1984
Units: Degree

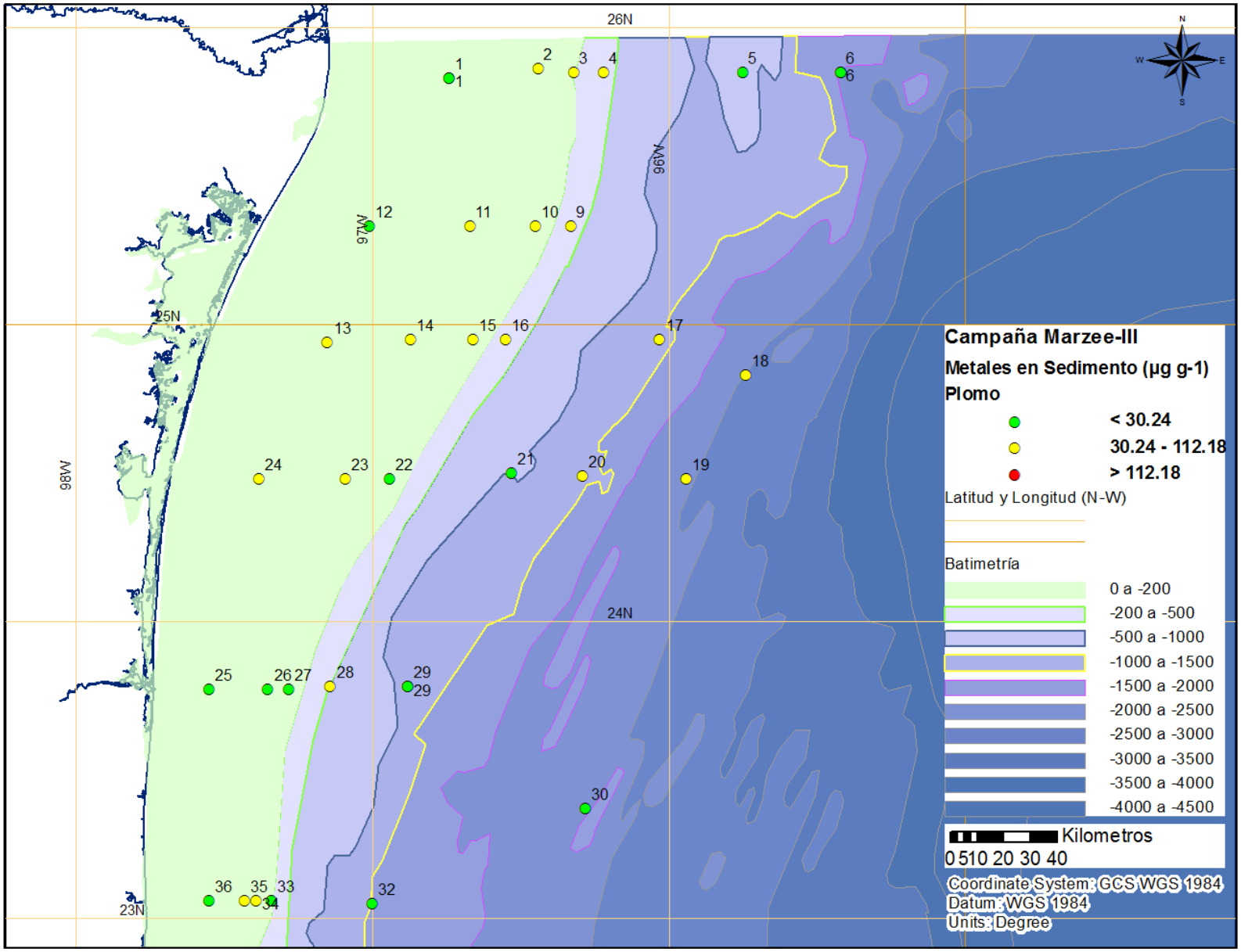

26N
25N
24N
23N
98W
97W
96W
Campaña Marzee-III
Metales en Sedimento (µg g-1)
Bario
< 2218
2218 - 4786
> 4786
Latitud y Longitud (N-W)
Batimetría
0 a -200
-200 a -500
-500 a -1000
-1000 a -1500
-1500 a -2000
-2000 a -2500
-2500 a -3000
-3000 a -3500
-3500 a -4000
-4000 a -4500
Kilometros
0 5 10 20 30 40
Coordinate System: GCS WGS 1984
Datum: WGS 1984
Units: Degree

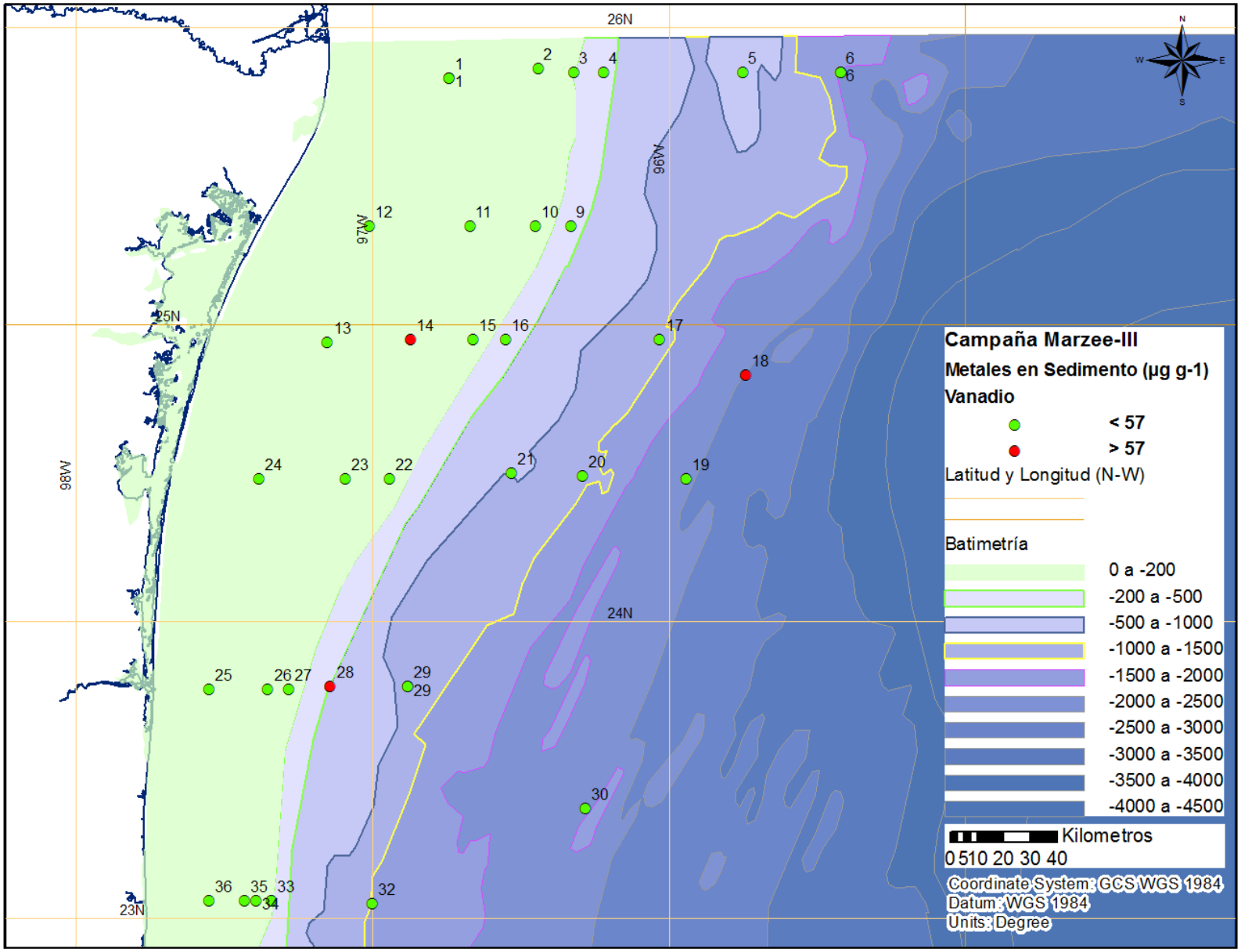

26N
25N
24N
23N
98W
97W
96W
Campaña Marzee-III
Metales en Sedimento (µg g-1)
Cadmio
< 0.676
0.676 - 4.21
> 4.21
Latitud y Longitud (N-W)
Batimetría
0 a -200
-200 a -500
-500 a -1000
-1000 a -1500
-1500 a -2000
-2000 a -2500
-2500 a -3000
-3000 a -3500
-3500 a -4000
-4000 a -4500
Kilometros
0 5 10 20 30 40
Coordinate System: GCS WGS 1984
Datum: WGS 1984
Units: Degree

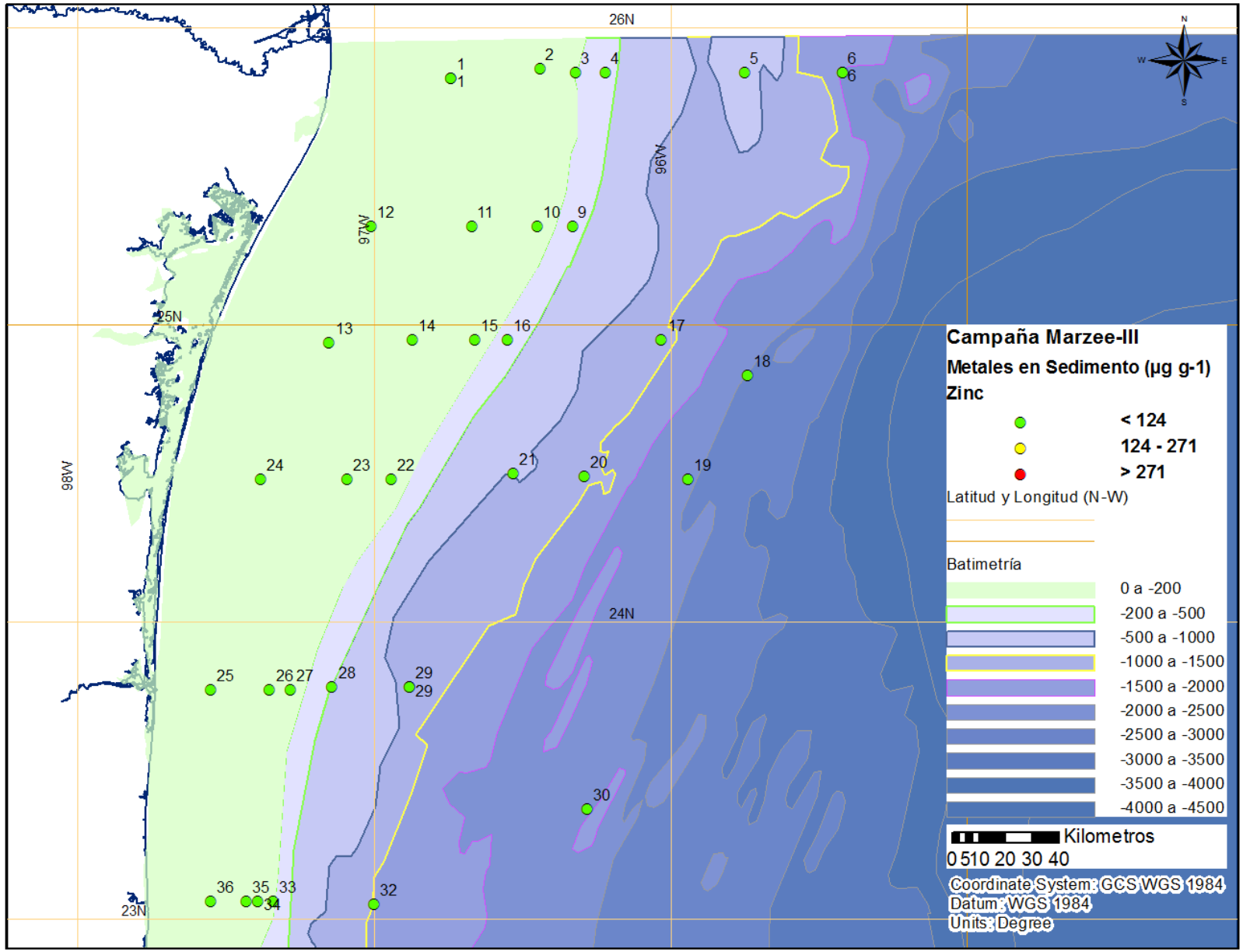

26N
25N
24N
23N
98W
97W
96W
Campaña Marzee-III
Metales en Sedimento (µg g-1)
Cobre
< 18.7
18.7 - 108.2
> 108.2
Latitud y Longitud (N-W)
Batimetría
0 a -200
-200 a -500
-500 a -1000
-1000 a -1500
-1500 a -2000
-2000 a -2500
-2500 a -3000
-3000 a -3500
-3500 a -4000
-4000 a -4500
Kilometros
0 510 20 30 40
Coordinate System: GCS WGS 1984
Datum: WGS 1984
Units: Degree


26N
25N
24N
23N
98W
97W
96W
Campaña Marzee-III
Metales en Sedimento (µg g-1)
Cromo
< 52.3
52.3 - 160.4
> 160.4
Latitud y Longitud (N-W)
Batimetría
0 a -200
-200 a -500
-500 a -1000
-1000 a -1500
-1500 a -2000
-2000 a -2500
-2500 a -3000
-3000 a -3500
-3500 a -4000
-4000 a -4500
Kilometros
0 5 10 20 30 40
Coordinate System: GCS WGS 1984
Datum: WGS 1984
Units: Degree


26N
25N
24N
23N
98W
97W
96W
Campaña Marzee-III
Metales en Sedimento (µg g-1)
Níquel
< 15.9
15.9 - 42.8
> 42.8
Latitud y Longitud (N-W)
Batimetría
0 a -200
-200 a -500
-500 a -1000
-1000 a -1500
-1500 a -2000
-2000 a -2500
-2500 a -3000
-3000 a -3500
-3500 a -4000
-4000 a -4500
Kilometros
0 5 10 20 30 40
Coordinate System: GCS WGS 1984
Datum: WGS 1984
Units: Degree


26N
25N
24N
23N
98W
97W
96W
Campaña Marzee-III
Metales en Sedimento (µg g-1)
Plomo
< 30.24
30.24 - 112.18
> 112.18
Latitud y Longitud (N-W)
Batimetría
0 a -200
-200 a -500
-500 a -1000
-1000 a -1500
-1500 a -2000
-2000 a -2500
-2500 a -3000
-3000 a -3500
-3500 a -4000
-4000 a -4500
Kilometros
0 5 10 20 30 40
Coordinate System: GCS WGS 1984
Datum: WGS 1984
Units: Degree


26N
25N
24N
23N
98W
97W
96W
Campaña Marzee-III
Metales en Sedimento (µg g-1)
Vanadio
< 57
> 57
Latitud y Longitud (N-W)
Batimetría
0 a -200
-200 a -500
-500 a -1000
-1000 a -1500
-1500 a -2000
-2000 a -2500
-2500 a -3000
-3000 a -3500
-3500 a -4000
-4000 a -4500
Kilometros
0 5 10 20 30 40
Coordinate System: GCS WGS 1984
Datum: WGS 1984
Units: Degree


26N
25N
24N
23N
98W
97W
96W
Campaña Marzee-III
Metales en Sedimento (µg g-1)
Zinc
< 124
124 - 271
> 271
Latitud y Longitud (N-W)
Batimetría
0 a -200
-200 a -500
-500 a -1000
-1000 a -1500
-1500 a -2000
-2000 a -2500
-2500 a -3000
-3000 a -3500
-3500 a -4000
-4000 a -4500
Kilometros
0 5 10 20 30 40
Coordinate System: GCS WGS 1984
Datum: WGS 1984
Units: Degree

10. CONTRAPORTADA

Para detectar la posible presencia de hidrocarburos derramados por el pozo *Deepwater Horizon* el mes de abril del 2010, se llevó a cabo en el área comprendida frente a las costas de Tampico-Veracruz, la campaña oceanográfica Marzee-3. Se presentan los resultados obtenidos del análisis de las muestras de agua y sedimento recolectadas durante la campaña oceanográfica llevada a cabo del 24 de octubre al 02 de noviembre de 2012, en la temporada de nortes, en la región de Tamaulipas-Veracruz del Golfo de México. El muestreo fue realizado por personal del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM (ICMyL) y el Instituto Mexicano del Petróleo a bordo del B/O Justo Sierra. Se tomaron muestras en 6 transectos de los 7 programados originalmente en donde se realizaron un total de 33 estaciones oceanográficas entre los 50 y hasta 2500 m de profundidad, las estaciones 7 y 8 del segundo transecto del norte, así como la estación 31 del transecto 6 no se muestrearon por condiciones climáticas adversas.

Los análisis que se realizaron en los laboratorios del IMP fueron para la matriz en agua: hidrocarburos, carbono y nitrógeno en material particulado y en la matriz sedimentaria para: hidrocarburos totales del petróleo, hidrocarburos aromáticos policíclicos, biomarcadores del petróleo, concentración de metales y granulometría.

Todas las concentraciones de HTP, HAPT, HAPM y HBPM en agua se encontraron por debajo del límite de detección del método (0.401 ngL^{-1}, 1.5 ngL^{-1} y 0.75 ng L^{-1}), respectivamente.

Los biomarcadores de petróleo en agua obtuvieron registros por debajo del límite de detección (0.75 ng L^{-1}) mostrando ausencia de contribuciones recientes de productos del petróleo a éste ambiente.

Para los sedimentos, se obtuvo un comportamiento igual al del agua con valores por debajo del límite de detección para los HTP, HAPT, HAPM y HBPM (0.401 µg kg^{-1}, 0.176 µg kg^{-1} y 0.088 µg kg^{-1}), respectivamente.

Para los biomarcadores en sedimentos, se presentó el mismo comportamiento que para agua, con valores en todas las estaciones por debajo del límite de detección (0.088 µg kg-1). La presencia de hidrocarburos semivolátiles en sedimentos así como de los HTP en concentraciones por debajo del límite de detección, no permite detectar efectos en el ambiente de la zona económica exclusiva de México relacionados con la presencia o productos derramados por la plataforma Horizon.

Las concentraciones de carbono orgánico total y nitrógeno en partículas de agua de superficie y fondo, se encuentran por debajo de 30 µM y 3 µM respectivamente, no habiendo evidencias de eutroficación en la región (Gardner et al. 2006 y López et al., 1995).

El carbono total en sedimento se presentó con un promedio de 0.470 %, e intervalo de 0.273 - 0.724 %, el 36% de estas concentraciones son superiores a 0.42 % nivel que Walsh (1993) ha observado en aportes continentales de ambientes anóxicos. El nitrógeno total en sedimento se cuantificó en un intervalo entre 0.029 y 0.072 %, niveles menores a 0.2 % que es indicador de aportes continentales.

De los once metales analizados en sedimento, el **Cu** y el **V** obtuvieron un coeficiente de variación de 56 y 55 % respectivamente, los demás metales presentaron coeficientes de variación entre 22 y 49 %. El comportamiento de metales en sedimento mostró el siguiente orden de abundancia promedio: Al>Fe>Ba>Zn>Cr>Ni>Pb>V>Cu>As>Cd. Con relación a probabilidad de efecto tóxico, el Cd, Ba y Zn presentaron concentraciones menores al límite de posibilidad de presentar efecto para la vida acuática, NOAA-Squirt, (1999-2008), en tanto que: el As, Cu, Cr, y Pb mostraron una probabilidad de efecto tóxico medio para la vida acuática. Las concentraciones del Al y Fe fueron altas en comparación a las obtenidas en otros estudios en el Golfo de Méxic**o.** El V en tres estaciones presentó valores de probabilidad de efecto alto para la vida acuática de acuerdo a la misma NOAA.

Para el índice de geoacumulación el arsénico y el plomo, presentan procesos de contaminación moderada, lo que significa que su presencia en la región se deriva de actividades industriales locales, aportes atmosféricos, descargas de aguas domésticas y escorrentías continentales. Ninguno de los otros metales indica procesos de contaminación.

El factor de enriquecimiento de los metales utilizando Al y Fe como normalizadores, indica que la presencia de los metales en la región, se relaciona con procesos de intemperismo de la corteza terrestre.

Mientras que si se considera la acumulación asociada a las fracciones finas de sedimentos (<63µM), el Cr, Ni, V y Cu se asocian al intemperismo de la corteza terrestre y el resto de los metales tienen origen antropogénico.