



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE SUCRE
ESCUELA DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

ESPECIACIÓN DE METALES PESADOS EN SEDIMENTOS SUPERFICIALES
DEL SECTOR CENTRAL DEL GOLFO DE CARIACO, ESTADO SUCRE,
VENEZUELA
(Modalidad: Tesis de grado)

BERENICE AGUADO AGUADO

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN QUÍMICA

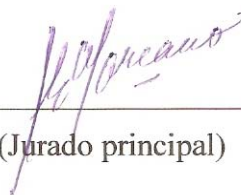
CUMANÁ, 2012

ESPECIACIÓN DE METALES PESADOS EN SEDIMENTOS SUPERFICIALES
DEL SECTOR CENTRAL DEL GOLFO DE CARIACO, ESTADO SUCRE,
VENEZUELA

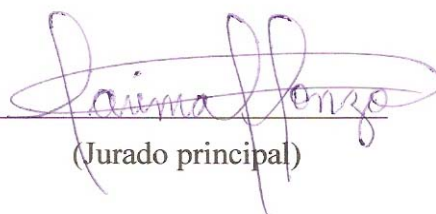
APROBADO POR:



Gregorio Martínez Campos M.Sc.
(Asesor)



(Jurado principal)



(Jurado principal)

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
LISTA DE TABLAS	v
LISTA DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN	viii
INTRODUCCIÓN	1
METODOLOGÍA.....	8
Área de estudio	8
Recolección y almacenamiento de los sedimentos	10
Procesamiento y análisis de muestras.....	11
Textura de los sedimentos.....	11
Material volátil a 450°C en los sedimentos.....	12
Carbono orgánico.....	12
Equivalentes de carbonato de calcio	12
Metales totales	13
Fraccionamiento y especiación de metales.....	13
Fracción 1. Metales intercambiables	13
Fracción 2. Metales unidos a carbonatos	14
Fracción 3. Metales unidos a oxihidróxidos de hierro y manganeso.....	14
Fracción 4. Metales unidos a materia orgánica y sulfuros.....	14
Fracción 5. Metales en la fracción residual	15
Procesamiento y análisis de los resultados.	15
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
Granulometría y textura de los sedimentos.....	16
Material volátil a 450°C	19
Carbono orgánico.....	21
Equivalente de carbonato de calcio	23
Calidad de los análisis.....	25
Metales analizados.....	27
Hierro (Fe)	27
Cobre (Cu)	31

Cobalto (Co)	34
Cromo (Cr).....	37
Níquel (Ni).....	41
Cadmio (Cd)	44
Cinc (Zn).....	48
Aluminio (Al)	50
Manganeso (Mn).....	54
Plomo (Pb).....	57
Análisis de correlación.....	61
CONCLUSIONES	65
BIBLIOGRAFÍA	66
APÉNDICE.....	76
HOJA DE METADATOS	89

DEDICATORIA

A Dios, por guiarme y darme las fuerzas necesarias para alcanzar este logro a pesar de todos los tropiezos.

A mi madre, que con su amor, esfuerzo, consejos, regaños me ha formado y ser quien soy. Este logro es tuyo mami. Te amo.

A mi padre, mis hermanos y sobrinos por su amor y apoyo incondicional a lo largo de mi vida. Los amo.

A mi abuela Inés Q.E.P.D. por ser mi segunda madre, la persona que con sus regaños y consejos guió gran parte de mi vida. Donde estés espero te enorgullezcas de mi. Te quiero mucho miague.

A mis sobrinos Rancés José, Adrian Alejandro y Elisa Gabriela por ser esa luz que me iluminan e impulsan a seguir logrando mis sueños. Los Adoro.

A mis grandes amigos Migleidys Brito, Adriana González, Mercedes Meza, Karina Bermúdez, Mary E. González, Annia Díaz, Jesús Marques; por ser parte importante de mi vida y de este logro. Ustedes saben cuánto luche por ver esta meta realizada. Gracias los quiero muchísimo.

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirme lograr esta meta. A mis padres, hermanos, sobrinos por todo el apoyo brindado.

Al Departamento de Oceanografía del Instituto Oceanográfico de Venezuela por darme la oportunidad de realizar mi trabajo de grado en sus instalaciones. Al Prof. Gregorio Martínez Campos, por su dedicación, esfuerzo y asesoramiento en este trabajo de investigación.

A los T.S.U. Edymir Parra y Deudedith Hernández, por todo el apoyo y la colaboración brindada durante el desarrollo de esta investigación.

Al Instituto de Investigación en Biomedicinas y Ciencias Aplicadas (IIBCA-UDO) y a los T.S.U. Henry Astudillo y José Prin, por su colaboración en las medidas en el ICP-AES.

A mis amigas y compañeras de laboratorio Rosanny López y Yolimar Marcano, por toda su compañía, apoyo y ayuda durante la elaboración de mi tesis, por seguir soportándome y siendo parte de mi vida.

A mis compañeros y amigos por compartir conmigo la hermosa experiencia de mi formación como profesional: Larenys, Irmina, Ana Karina, María Jesús, Mónica, Asyuri, Marynes, Anyelis, Julinet, Rafael, Salomé, Jesli, Alexis; muchas gracias.

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Coordenadas de las estaciones del muestreo en el Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela.	9
Tabla 2. Concentraciones de metales pesados presentes en el material de referencia (HISS-1; <i>marine sediment</i>).	26
Tabla 3. Longitud de onda (nm) y límite de detección ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) para los metales evaluados en el presente estudio.	27
Tabla 4. Matriz de correlación de Pearson que expresa la asociación entre los metales con la textura, materia volátil a 450°C, carbono orgánico total y equivalentes de carbonato de calcio de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.	64

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Distribución de las estaciones de muestreo para los sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco.....	8
Figura 2. Draga tipo Petersen para el muestreo de sedimentos superficiales.....	10
Figura 3. Clasificación textural de los sedimentos del sector central del Golfo de Cariaco, según el triángulo de Sheppard.....	17
Figura 4. Distribución textural de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.....	18
Figura 5. Distribución espacial de material volátil a 450°C (%) en sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.....	20
Figura 6. Distribución espacial de carbono orgánico (%) en sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.....	23
Figura 7. Distribución espacial de carbonato (%) en sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.....	24
Figura 8. Distribución espacial de hierro total ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.....	28
Figura 9. Concentraciones de hierro en cada una de las fracciones obtenidas de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.....	30
Figura 10. Distribución espacial de cobre total ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.....	31
Figura 11. Concentraciones de cobre en cada una de las fracciones obtenidas de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.....	33
Figura 12. Distribución espacial de cobalto total ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.....	35
Figura 13. Concentraciones de cobalto en cada una de las fracciones obtenidas de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.....	36
Figura 14. Distribución espacial de cromo total ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.....	39
Figura 15. Concentraciones de cromo en cada una de las fracciones obtenidas de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.....	40
Figura 16. Distribución espacial de níquel total ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.....	42
Figura 17. Concentraciones de níquel en cada una de las fracciones obtenidas de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.....	43
Figura 18. Distribución espacial de cadmio total ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.....	45
Figura 19. Concentraciones de cadmio en cada una de las fracciones obtenidas de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.....	46
Figura 20. Distribución espacial de cinc total ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.....	49

Figura 21. Concentraciones de cinc en cada una de las fracciones obtenidas de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.	50
Figura 22. Distribución espacial de aluminio total ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.	52
Figura 23. Concentraciones de aluminio en cada una de las fracciones obtenidas de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.	53
Figura 24. Distribución espacial de manganeso total ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.	55
Figura 25. Concentraciones de manganeso en cada una de las fracciones obtenidas de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.	56
Figura 26. Distribución espacial de plomo total ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.	59
Figura 27. Concentraciones de plomo en cada una de las fracciones obtenidas de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.	60

RESUMEN

Se evaluó la distribución y comportamiento de los metales Fe, Cu, Co, Cr, Ni, Cd, Zn, Al, Mn y Pb, en sedimentos superficiales del sector Central del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. La clasificación textural de los sedimentos se determinó según el triángulo de Sheppard (1994), la materia orgánica por ignición a 450°C, los equivalentes de carbonato de calcio por titulación y el carbono orgánico por el método de combustión húmeda. La determinación de los metales se llevó a cabo aplicando el método de extracción secuencial propuesta por Tessier *et al.* (1979); para así extraer las distintas formas geoquímicas de asociación de los metales en el sedimento y cuantificarlos mediante espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente, con un espectrómetro marca Perkin Elmer, modelo 5300 DV, midiendo los blancos para cada fracción, patrones y extractos de las muestras a las longitudes de ondas específicas de cada metal. La textura predominante en los sedimentos del área de estudio fue la limo-arenosa y areno-limosa. Las concentraciones promedios de metales totales fueron: Fe (13040,94 mg·kg⁻¹), Cu (14,08 mg·kg⁻¹), Co (2,04 mg·kg⁻¹), Cr (24,11mg·kg⁻¹), Ni (21,74 mg·kg⁻¹), Cd (3,44 mg·kg⁻¹), Zn (72,87 mg·kg⁻¹), Al (5504,68 mg·kg⁻¹), Mn (32,90 mg·kg⁻¹) y Pb (10,18 mg·kg⁻¹). De acuerdo con las concentraciones totales determinadas, se pudo observar que los metales que presentaron mayores concentraciones fueron el hierro y el aluminio. El resto de los metales tuvieron concentraciones menores a 73 mg·kg⁻¹, en el siguiente orden de abundancia: Zn> Mn> Cr> Ni> Pb> Cu> Cd> Co. Por otra parte, se observaron correlaciones significativas entre todos los metales y el carbono orgánico, ya que, éste parece ser, de acuerdo con estos resultados, el factor determinante en el enriquecimiento y distribución de los metales pesados en los sedimentos superficiales de muchos ecosistemas marinos costeros junto con la materia orgánica. La especiación de los metales mostró que las mayores proporciones se encuentran asociadas a las fracciones potencialmente biodisponibles (materia orgánica y sulfuros metálicos), seguida de la fracción residual y la asociada a óxidos de Fe y Mn.

INTRODUCCIÓN

Los metales en la naturaleza están sujetos a ciclos biogeoquímicos que determinan su presencia y concentración en los compartimientos ambientales: suelos, aguas subterráneas y superficiales, aire y seres vivos. Sin embargo, los humanos con sus actividades han modificado considerablemente, a partir de las reservas minerales en las que se encuentran confinados en la naturaleza, la concentración y las formas químicas de los metales en los diferentes compartimientos facilitando su dispersión (Moreno, 2003).

La presencia de metales en el ambiente marino, causada tanto por procesos naturales como por las actividades antrópicas, es motivo de gran preocupación en todo el mundo debido a su naturaleza tóxica y persistente, su poder de bioacumulación y su riesgo potencial para la salud humana y los organismos marinos (Rainbow, 1995; Benedicto *et al.*, 2008).

El término metal pesado abarca a cualquier elemento químico que tenga alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones bajas. Los ejemplos de metales pesados incluyen cromo, níquel, plomo, cadmio, entre otros. Existe unanimidad dentro de la comunidad científica respecto al carácter tóxico de los metales pesados. Ellos se bioacumulan a través de la cadena trófica, al no tener, la mayoría de éstos, una función biológica definida (Brown *et al.*, 1999).

Las concentraciones naturales de metales pesados están relacionadas con las actividades volcánicas, meteorización de las rocas, los procesos de erosión de los suelos y transporte dentro de una cuenca sedimentaria. Los metales que entran al mar como producto de las emisiones terrestres pueden disolverse en el agua o ser transportados directamente a los sedimentos marinos. Si un metal excede el límite de solubilidad en agua de mar, puede precipitar como una fase sólida o ser adsorbido en el material en suspensión y, finalmente, depositarse en los sedimentos. La química de los metales pesados, en ambientes marinos, es una manifestación de todos los equilibrios entre varios

componentes. El más importante de todos es el agua de mar, seguido de los sedimentos marinos. Las características fisicoquímicas, tanto del agua de mar como del sedimento, juegan un papel importante en el contenido de estos elementos (Martínez, 2002).

Es sabido que los metales ligados a los sedimentos en concentraciones elevadas ejercen efectos adversos sobre la biota residente (Brannon *et al.*, 1980; Birge *et al.*, 1987; Burgess y Scott, 1992). Algunos metales pesados pueden ser absorbidos en altas concentraciones por las macroalgas y el fitoplancton. El mercurio, cobre, níquel, plomo, cobalto, cadmio, entre otros, son los metales que pueden ser los más tóxicos en concentraciones elevadas para las plantas (Alloway, 1995). Esta toxicidad, también puede afectar otros niveles superiores de la cadena alimentaria, tanto por ingesta directa como por la potencial transmisión a través de la red trófica (Adam, 1990).

En las últimas décadas, se ha producido un gran cambio en nuestra comprensión de la biogeoquímica de los metales pesados en los sistemas marinos. La especiación de los metales gobierna las interacciones con la materia particulada en suspensión y los sedimentos, determina la biodisponibilidad y/o toxicidad de los metales para los organismos acuáticos, además de tener influencia en el ciclo de los metales a través de los estuarios así como en la interfase agua-sedimentos en ambientes con diferentes condiciones redox (Martínez *et al.*, 2006; Lewis y Landing, 1992).

Los sistemas costeros constituyen ambientes fuertemente influenciados por el desarrollo socioeconómico. Las zonas litorales inmediatamente adyacentes a los asentamientos humanos e industriales son áreas de influencia directa por la actividad antrópica. En tal sentido, la determinación de metales en los sedimentos es un buen indicador del origen de los contaminantes en el medio y de los impactos que éstos pueden producir en la biota marina. Los sedimentos marinos son el depósito final de las sustancias producidas en las aguas superficiales y de aquellas introducidas al mar por procesos naturales y antrópicos. Dependiendo de las variaciones fisicoquímicas del ambiente de deposición, estos sedimentos pueden actuar como sumidero o fuente de una serie de sustancias que

modifican las propiedades naturales de la columna de agua y la cadena trófica marina (Alagarsamy, 2006; Buccolieri *et al.*, 2006).

Por tal motivo, el conocimiento de las propiedades y composición de los sedimentos de fondo permite evaluar la condición de los ambientes marinos y reconocer eventuales perturbaciones derivadas de la acumulación de sustancias antropogénicas y naturales que puedan constituir riesgos para la salud del ecosistema. Este conocimiento permite, además, aplicar medidas apropiadas y realistas que no pongan en riesgo la salud de estos ambientes ni el desarrollo socio-económico de las comunidades costeras (Valdez *et al.*, 2009).

La mayoría de los estudios de los metales en sedimentos de los sistemas acuáticos están relacionados con la concentración total del metal. Sin embargo, el uso de la concentración total como criterio para establecer el efecto potencial de la contaminación en los sedimentos o discutir su movilidad, implica que todas las formas del metal tienen el mismo impacto en el ambiente; presunción claramente insostenible (Tessier *et al.*, 1979). La movilidad y biodisponibilidad de metales pesados en los suelos y los sedimentos del fondo marino dependen, en gran medida, de sus formas químicas y de las características mineralógicas vinculantes. Esto implica que estas formas y características deben ser estudiadas con más interés que la concentración total de los metales (Baeyens *et al.*, 2003), ya que los efectos tóxicos y las características geoquímicas de los metales están determinadas principalmente por sus especies móviles (Quevauviller *et al.*, 1993). No obstante, determinar el tipo de unión específica sedimento-metal es difícil, debido a la amplia variedad de fases sólidas que pueden fijar metales pesados y las bajas concentraciones de metales involucradas (Rapin *et al.*, 1986).

La especiación química se ha definido como el proceso de identificación y cuantificación de diferentes especies, formas o fases químicas presentes en una matriz ambiental (Davidson *et al.*, 1994; Ahumada *et al.*, 2004). La técnica de extracción química secuencial es aplicada extensamente en estudios medioambientales, y aunque su

capacidad de separar o definir fracciones geoquímicas no es perfecta, es útil para entender el comportamiento químico y la disponibilidad biológica de los metales en los sedimentos (Förstner, 1984), debido a que permiten diferenciar entre muestras que presentan concentraciones de metales totales similares. Además, son métodos prácticos que ofrecen información acerca del origen, forma de asociación, disponibilidad fisicoquímica y biológica, movilización y transporte de elementos pesados en ambientes acuáticos (Martínez *et al.*, 2002).

Los métodos parciales o de extracción secuencial están entre los métodos de uso general de separación química de muestras sólidas ambientales. Estas técnicas son fáciles de aplicar, son baratas y requieren poco análisis de datos (Tessier *et al.*, 1979). La extracción secuencial se utiliza para estudiar la especiación de los metales en el sedimento, y permite cuantificar la biodisponibilidad de los contaminantes asociados a sedimentos o suelos (Howard y Sledzinski, 1996; Tessier, 1999). Esta técnica también se ha usado para establecer la dinámica de los procesos químicos y geoquímicos que ocurren en la interfase agua-sedimento, neoformación de minerales, removilización de metales traza y/o para modelar el comportamiento de distintas especies químicas (Luoma y Davis, 1983; Warnken *et al.*, 2001; Ahumada *et al.*, 2004).

Una de las primeras técnicas de extracción química secuencial fue desarrollada por Tessier, en 1979, y ha servido de base para el desarrollo de otros esquemas, entre ellos los métodos de Förstner, Salomons y Förstner, Meguellati, Izquierdo, etc. Estos métodos de extracción selectiva aportan información significativa acerca de las principales fases que acumulan metales pesados en sedimentos (Baeyens *et al.*, 2003). Ellos están basados en el ataque químico de un solvente de extracción particular, específico para la fase o el modo de retención y enlace, las cuales son diversas en la matriz sedimentaria. Por ejemplo, el agua extraerá formas fácilmente solubles, el ácido acético atacará y disolverá solamente los carbonatos, y el acetato de amonio (o el cloruro de magnesio) a pH 7 liberará los adsorbatos (D'Amore *et al.*, 2005).

La asociación de los metales con la matriz de sedimento es diversa. Estos pueden estar adsorbidos en la superficie (metales en forma de iones intercambiables), los cuales pueden ser fácilmente liberados de los sistemas acuáticos por pequeños cambios ambientales; pueden estar unidos a los carbonatos (metales ligados a carbonatos; precipitados en forma de carbonatos) los cuales se liberan al descender el pH de los sedimentos (generalmente son extraídos a pH 5); pueden estar presentes en la fase donde pasarán fácilmente al agua cuando las condiciones del sedimento sean reductoras (metales asociados a oxihidróxidos de hierro y manganeso). Estos óxidos son sustancias de alto poder de adsorción y son termodinámicamente inestables en condiciones anóxicas. Otras fracciones las constituyen aquellos metales liberados desde el sedimento bajo condiciones oxidantes (metales ligados a la materia orgánica y sulfuros) y los que están formando parte de estructuras cristalinas, incorporados a fases minerales u ocluidas en materiales amorfos (metales unidos a la fracción residual o de origen litogénicos). El metal en esta fracción se considera inerte y no se encuentra disponible para los organismos de los ecosistemas marinos (Tessier *et al.*, 1979).

El Golfo de Cariaco representa uno de los sectores que conforman una de las áreas de distribución de la surgencia costera y de las pesquerías del nororiente de Venezuela; éste es considerado como un refugio de fauna, con una gran importancia desde el punto de vista socio-económico y ecológico, influenciado por las descargas de los ríos Manzanares en la entrada del golfo, y el río Carinicua, el cual desemboca en el sector más oriental del ecosistema. Los contaminantes llegan al golfo a través de los efluentes industriales y domésticos, las aguas de escorrentías y arroyos que se producen en los periodos de lluvias, el río Carinicua, el río Manzanares, el aliviadero del Manzanares, y el tráfico marítimo de diferentes tipos de embarcaciones. Es necesario conocer el estado ambiental del Golfo de Cariaco por la gran riqueza pesquera que representa, y por los proyectos que están planteados a mediano y largo plazo para el desarrollo socioeconómico de la zona.

Desafortunadamente, investigaciones realizadas en la zona dan evidencia de problemas

de contaminación. Martínez (2002) evaluó el contenido de metales pesados en los sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco, caracterizando zonas con elevados niveles que reflejan la existencia de una fuente antrópica, donde resalta que la distribución de estas especies químicas pueden estar relacionadas con la hidrodinámica y las características fisicoquímicas de las aguas y sedimentos del Golfo de Cariaco. Castillo *et al.* (2005), indican la existencia de metales pesados en gónadas y músculo del mejillón marrón (*Perna perna*) y concluyen que esto está vinculado probablemente con el efecto contaminante de vertederos industriales en zonas aledañas a la ensenada de Turpialito en el Golfo de Cariaco. Márquez *et al.* (2005) sugieren la existencia de entrada de metales pesados en su estudio geoquímico de sedimentos superficiales del litoral nororiental del Golfo de Cariaco. Velásquez (2005), mediante un fraccionamiento geoquímico realizado en sedimentos superficiales del sector oriental del Golfo de Cariaco, refleja la presencia de metales con las mayores concentraciones de éstos y carbono orgánico en las fracciones más finas de los sedimentos.

Rodríguez (2007) evaluó las concentraciones de metales en los sedimentos del sector marino costero entre el Peñón, en el extremo oriental de la Ciudad de Cumaná y la boca de la bahía de Mochima al Oeste (36 kilómetros de costa aproximadamente), encontrando niveles altos de metales asociados a la fracción limosa y con los metales Zn, Co, Pb y Cr con un porcentaje superior al 20% en la fracción biodisponible. Marval (2008) estudió la distribución y comportamiento de los metales pesados en sedimentos superficiales del sector occidental de golfo, encontrando una predominancia de sedimentos de textura areno-limo-arcillosa (77,59% de arenas, 18,78% de limos y 3,92% de arcillas), un valor promedio de carbonatos de 33,95%, y las mayores concentraciones de materia orgánica y metales trazas asociadas a los sedimentos finos.

Tomando en cuenta estas investigaciones y considerando el desarrollo potencial de proyectos de desarrollo industrial, turístico y acuícola en este cuerpo de agua, y con el fin de aportar datos para conocer la calidad ambiental y el grado de toxicidad por metales pesados en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco,

se evaluó la concentración total y especiación de hierro (Fe), cobre (Cu), cobalto (Co), cromo (Cr), níquel (Ni), cadmio (Cd), cinc (Zn), aluminio (Al), manganeso (Mn) y plomo (Pb); además de la textura de los sedimentos, del contenido de materia volátil, carbono orgánico y carbonatos.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El Golfo de Cariaco se encuentra situado en la región nororiental de Venezuela, al este de la Fosa de Cariaco entre 10° 25' - 10° 35' latitud N y 63° 13' 40'' - 63° 39' 50'' de longitud W. El mismo tiene aproximadamente 62 km de longitud en sentido este-oeste y un máximo de 15 km en su parte más ancha. Cubre un área de 642 km², su volumen se estima en 3,15 x 10⁷ km³ aproximadamente y está separado de la depresión oriental por un umbral submarino entre 60 y 70 m de profundidad. Su entrada se encuentra ubicada por el oeste, con un ancho aproximado de 5,5 km y su característica topográfica principal es la presencia de una cuenca anóxica sedimentaria ubicada en la parte sur de la región central, con una profundidad cercana a los 95 m (Okuda *et al.*, 1978; Martínez, 2002).

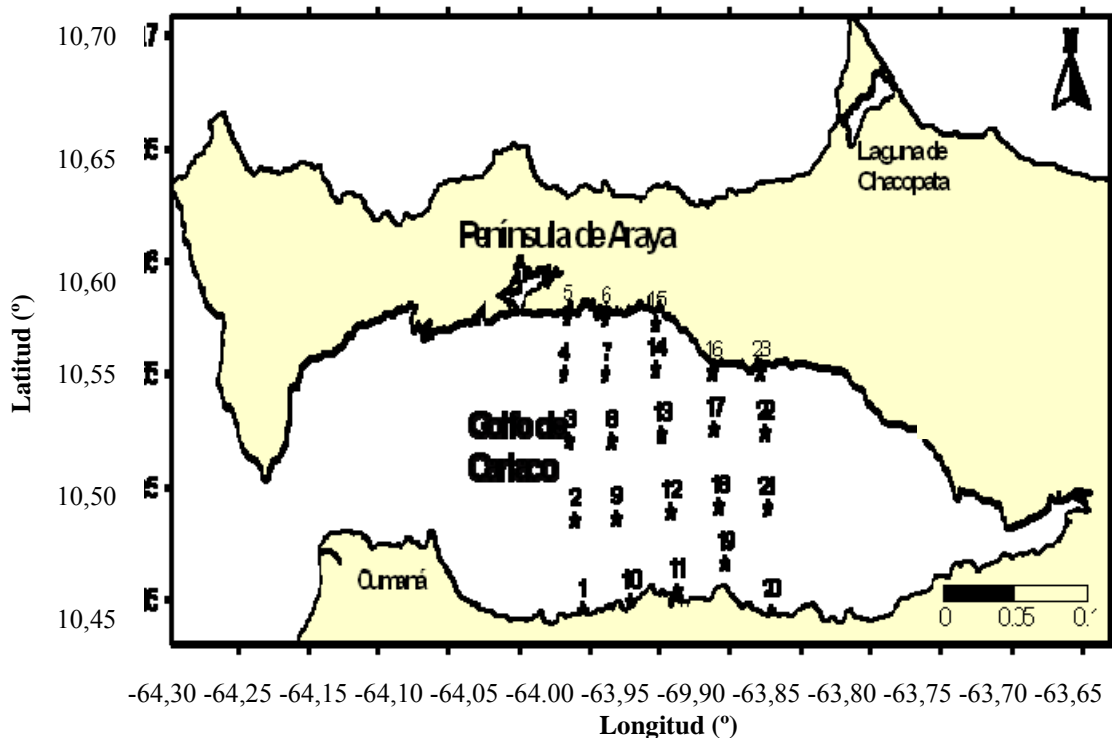


Figura 1. Distribución de las estaciones de muestreo para los sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco.

El área de estudio se ubica en el sector central del golfo (Figura 1), el cual se encuentra afectado por las descargas de los ríos Manzanares y Carinicuaó, así como las demás escorrentías límnicas continentales y por los efluentes domésticos de las poblaciones de Cumaná, Manicuare, Marigüitar, San Antonio y otros centros poblados establecidos en sus márgenes.

Tabla 1. Coordenadas de las estaciones del muestreo en el Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela.

Estación (N°)	Latitud (°)	Longitud (°)	Este (UTM)	Norte (UTM)
1	10,446	-64,005	389960,87	1154877,40
2	10,486	-64,011	389405,93	1159324,70
3	10,521	-64,015	388980,46	1163141,20
4	10,550	-64,019	388542,47	1166427,00
5	10,575	-64,016	388803,13	1169190,80
6	10,575	-63,989	391789,93	1169125,90
7	10,551	-63,989	391781,50	1166460,80
8	10,521	-63,984	392285,53	1163197,00
9	10,487	-63,981	392656,63	1159380,70
10	10,450	-63,972	393672,89	1155319,20
11	10,455	-63,938	397363,06	1155816,70
12	10,490	-63,943	396816,46	1159699,80
13	10,524	-63,949	396171,26	1163494,70
14	10,553	-63,953	395732,22	1166658,70
15	10,573	-63,953	395739,10	1168914,60
16	10,551	-63,913	400064,76	1166490,90
17	10,526	-63,912	400209,77	1163681,80
18	10,492	-63,909	400560,13	1159965,20
19	10,467	-63,904	401055,46	1157144,00
20	10,446	-63,871	404649,95	1154833,80
21	10,491	-63,874	404357,35	1159838,20
22	10,525	-63,876	404148,78	1163537,80
23	10,551	-63,879	403832,16	1166522,20

Recolección y almacenamiento de los sedimentos

Se recolectaron muestras de sedimentos superficiales en 23 estaciones ubicadas en el sector central del Golfo de Cariaco (Figura 1), usando una draga Pertesen (Figura 2) a bordo del buque oceanográfico Guaiquerí II. Este tipo de draga puede tomar muestras de los primeros veinte centímetros aproximadamente de profundidad del fondo marino. El sedimento extraído fue añadido en un envase plástico de 50 litros y se mezclaron para su homogenización, tomando una porción de aproximadamente 2 kg en una bolsa de polietileno previamente rotuladas y se refrigeraron a -20°C hasta el momento de su procesamiento y análisis en los laboratorios del Departamento de Oceanografía del Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente. Una vez en el laboratorio, cada una de las muestras de sedimentos se descongelaron y se separaron en dos porciones, de las cuales, una se secó en la estufa a 60°C y se pulverizó finamente en un mortero de porcelana y se conservaron en envases limpios hasta que se llevó a cabo las respectivas determinaciones analíticas. La otra porción se secó a temperatura ambiente y se utilizó en el análisis de textura.



Figura 2. Draga tipo Petersen para el muestreo de sedimentos superficiales.

Procesamiento y análisis de muestras

Textura de los sedimentos

Las muestras se colocaron en envases previamente secados, pesados y rotulados, en una estufa y se mantuvieron allí por una semana, para ser deshidratadas. Para determinar las diferentes fracciones (arena, limo y arcilla), se midió la densidad de una suspensión a través del tiempo de sedimentación, usando un densímetro Bouyoucos con escala desde -5 hasta 60 g·l⁻¹. Una muestra de 50,00 g de sedimento seco, previamente tamizado en una malla de 2 mm de espesor, se licuó durante 5 minutos con 10 ml de solución dispersante de “calgón” (denominación comercial del hexametáfosfato de sodio Na(PO₃)₆) y 300 ml de agua destilada. La solución se vertió en un cilindro arrastrando toda partícula del sedimento hasta completar un litro de solución con agua destilada. Luego, se agitó vigorosamente durante un minuto, y a los 40 segundos del cese de la agitación, se tomó la primera lectura del densímetro y la temperatura de la suspensión. Al cabo de dos horas, se tomó nuevamente la densidad y temperatura de la suspensión.

Los valores obtenidos fueron introducidos en las siguientes formulas:

$$Y = \frac{c' + (T - 20) \cdot 0,36}{m} \cdot 100 = \% \text{arcilla}$$

$$X = \frac{c + (T - 20) \cdot 0,36}{m} \cdot 100 = \% \text{limo} + \text{arcilla}$$

En estas fórmulas, c es la medida inicial del densímetro, T es la temperatura inicial, c' es la medida final del densímetro, T es la temperatura final y 0,36 es el factor de corrección por grado de diferencia de temperatura. La textura de los sedimentos fue establecida usando el triángulo de Sheppard (1954).

Material volátil a 450°C en los sedimentos

Se cuantificó por la pérdida de masa debido a la oxidación de la materia orgánica, el cual se realizó a través de la calcinación de las muestras de sedimentos en una mufla a 450°C hasta la obtención de una fracción libre de materia orgánica. 2,00 g de sedimento seco se pesaron en crisoles de porcelana previamente tarados y fueron calcinados a 450°C por períodos de 12 horas hasta la obtención de masa constante.

Carbono orgánico

El carbono orgánico fue realizado por el método de combustión húmeda (Walkley y Black, 1934; Okuda, 1964; Schumacher, 2002; Miyazawa *et al.*, 2000); modificado por Heanes (1984). Este método se fundamenta en la medición espectrofotométrica del color verde de los iones del Cr^{3+} , formados por la oxidación del carbono orgánico a CO_2 .

Para ello se pesaron 0,0500 g aproximadamente de sedimento y se le añadieron 10 ml de solución de agente oxidante (ácido sulfocrómico $0,5 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$), se calentó hasta ebullición por 2 minutos; se dejó enfriar y luego se centrifugó. El extracto se diluyó a 25 ml con agua desionizada y se leyó la absorbancia a 590 nm, con celdas de 1 cm de trayecto óptico, en un espectrofotómetro GENESYS 8. Paralelamente se preparó una curva de calibración de carbono a partir de biftalato de potasio y se le hizo un procedimiento similar al anteriormente descrito. Los valores para la curva de calibración se ubican en un rango de valores con un mínimo de 0,5 hasta un máximo de 20,0 mg de equivalente de carbono orgánico respectivamente.

Equivalentes de carbonato de calcio

Se obtuvieron por titulación con solución de NaOH estandarizado (Vogel, 1989). Para ello se pesaron 0,1500 g de sedimentos previamente calcinados, se añadieron 12,5 ml de solución de HCl $0,1 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$. Se agitó durante 6 horas en un agitador mecánico y se

separó el extracto centrifugándolo, esto para eliminar restos de sedimentos y turbidez. Finalmente los extractos fueron titulados con solución de NaOH $0,5 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ previamente valorado con ácido oxálico. Para determinar el punto final se utilizó fenolftaleína como indicador. Se verificó la eficiencia del método, titulando paralelamente cantidades similares de CaCO_3 de calidad analítica, de pureza 98%.

Metales totales

Un gramo de sedimento seco se sometió a digestión con 5 ml de una mezcla de ácido nítrico, clorhídrico y perclórico concentrados, en proporción 3:2:1, por dos horas a una temperatura de 100°C , con agitación constante (Martínez, 2002). Los extractos se filtraron y diluyeron en balones aforados con agua desionizada a un volumen de 25 ml. Los metales se determinaron mediante espectrometría de emisión atómica por plasma acoplado inductivamente (ICP-AES).

Fraccionamiento y especiación de metales

Para la extracción de los metales biodisponibles en las diferentes fracciones de sedimentos se aplicó la metodología propuesta por Tessier *et al.* (1979). Consiste en realizar una separación secuencial de 5 fracciones: metales intercambiables, metales unidos a carbonatos, metales unidos a oxihidróxidos de hierro y manganeso; metales unidos a la materia orgánica y sulfuros; y metales unidos a la fracción residual.

Fracción 1. Metales intercambiables

El análisis de cada muestra se realizó por duplicado. Se trató 1 g de sedimento seco con 8 ml de disolución de cloruro de magnesio $1 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ (pH 7) y se agitó continuamente durante 1 hora a temperatura ambiente. Luego, se centrifugó y decantó la solución a un balón de 25 ml de capacidad, y la disolución se enrasó con agua desionizada. Esta solución se trasvasó a un envase de polietileno y se refrigeró hasta su análisis.

Fracción 2. Metales unidos a carbonatos

Al residuo sólido del paso anterior se le agregó 8 ml de acetato de sodio $1 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ ajustado a pH 5 con ácido acético, se agitó la mezcla durante 5 horas a temperatura ambiente, luego, se centrifugó y decantó la solución a un balón de 25 ml de capacidad, y la disolución se enrasó con agua desionizada. Esta solución se trasvasó a un envase de polietileno y se refrigeró hasta su análisis.

Fracción 3. Metales unidos a oxihidróxidos de hierro y manganeso

Al residuo insoluble de la etapa anterior se le agregó 20 ml de una mezcla de hidrocloreuro de hidroxilamina $0,04 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ en ácido acético al 25% V/V, a una temperatura de $\pm 96^\circ\text{C}$ durante 6 horas, con agitación intermitente. Se centrifugó y decantó la solución en un balón de 25 ml de capacidad, y la disolución se enrasó con agua desionizada. Esta solución se trasvasó a un envase de polietileno y se refrigeró hasta su análisis.

Fracción 4. Metales unidos a materia orgánica y sulfuros

Al residuo sólido procedente de la etapa anterior se le agregó 3 ml de ácido nítrico concentrado y 5 ml de peróxido de hidrógeno (al 30% y ajustado a pH 2 con ácido nítrico). La mezcla se calentó hasta 85°C por 2 horas con agitación ocasional. Posteriormente, se le adicionó una segunda alícuota de 3 ml de peróxido de hidrógeno al 30% con agitación intermitente durante 3 horas a 85°C . Al enfriarse la mezcla a temperatura ambiente, se le agregó 5 ml de acetato de amonio $3,2 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ en ácido nítrico al 20%, para luego diluirla a aproximadamente 10 ml con agua desionizada y se agitó continuamente durante 30 minutos. Se filtró y lavó el residuo, incorporando las aguas del lavado a la disolución anterior. La disolución anterior se diluyó a 25 ml con agua desionizada. Esta solución fue trasvasada a un envase de polietileno y refrigerada hasta su análisis.

Fracción 5. Metales en la fracción residual

La concentración de esta fracción se calculó restando las cuatro primeras fracciones de la lectura de la extracción de metales totales.

Procesamiento y análisis de los resultados.

Se utilizó el programa Microsoft Office Excel 2007 para los cálculos de las concentraciones, diseño de tablas y algunos gráficos de columnas, y el Surfer 9.0, para las distribuciones espaciales de los parámetros geoquímicos evaluados en el Golfo de Cariaco. Se utilizó análisis estadístico multivariante a través de los paquetes estadísticos Statgraphics Plus 5.1, para las correlaciones simples de los metales entre sí con la materia volátil a 450°C, el carbono orgánico, los equivalentes de carbonato de calcio y la textura de los sedimentos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Granulometría y textura de los sedimentos

La textura es un parámetro muy importante en estudios geoquímicos. De este parámetro depende muchos factores, ya que sus componentes son de origen muy variado y, por ende, de tamaños muy diferentes; su tamaño dependerá de los efectos del transporte (Soledispa, 2007).

Las concentraciones de metales pesados en los sedimentos no sólo depende de fuentes litogénicas y antropogénicas, sino también de las características texturales, composición mineralógica, del contenido de la materia orgánica y del ambiente deposicional de los sedimentos. Según Tessier *et al.* (1979); los metales traza están asociados con las partículas pequeñas de estos materiales. Esta tendencia es atribuida predominantemente a la adsorción, coprecipitación y complejación de metales en las capas superficiales del sedimento. Singh *et al.* (1999) indicaron que el área superficial específica de los sedimentos es dependiente de los parámetros granulométricos y la composición mineralógica. Las partículas pequeñas tienen elevada área superficial con relación a su volumen por consiguiente pueden adsorber grandes cantidades de metales.

En el análisis de la composición granulométrica en las diferentes estaciones de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco (Tabla A1), se observa que están conformados por altas proporciones de limo y arena, con menores proporciones de arcilla. La textura predominante fue limo-arenosa. También, se encontró textura areno-limosa y arenosa en los sedimentos cercanos a la margen costera.

Los sedimentos del Golfo de Cariaco han sido descritos anteriormente como areno-limosos, en los que predominan altas proporciones de arenas (superiores al 50%) y de limos, con menores porcentajes de arcillas (Martínez *et al.*, 2002). Por su parte, Landaeta (2002) encontró, en los sedimentos de la región marino-costera frente a la

ciudad de Cumaná, una textura areno-limosa. Por otro lado, Velásquez (2005) reportó una alta proporción de arena en los sedimentos, localizándose las mayores cantidades hacia la zona este y noreste, en las cercanías del río Carinicua. De acuerdo al Triángulo de Sheppard (1954), los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco son del tipo limo arenoso, areno-limoso y arenosa (Figura 3).

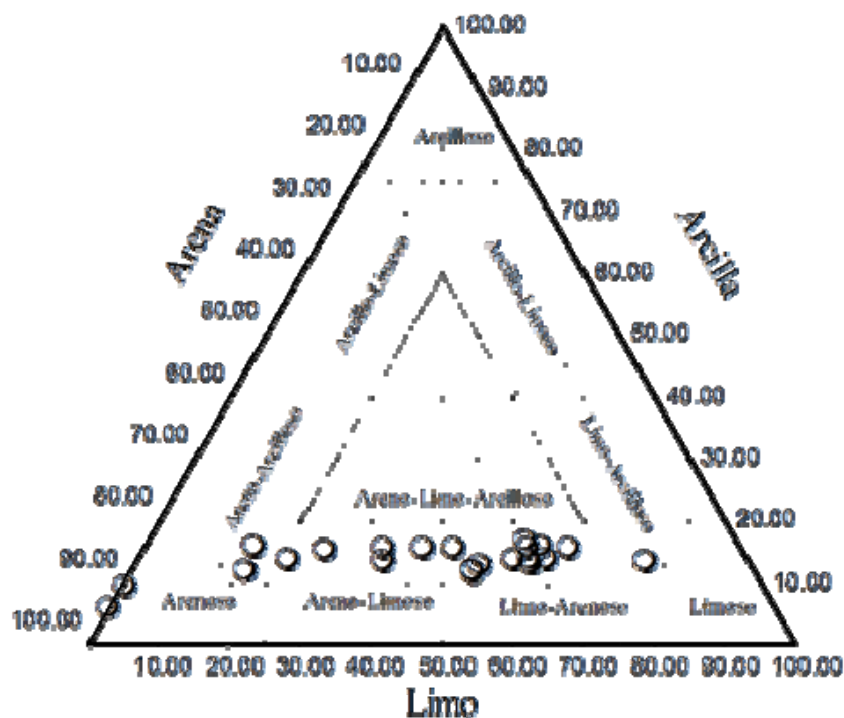


Figura 3. Clasificación textural de los sedimentos del sector central del Golfo de Cariaco, según el triángulo de Sheppard.

La Figura 4 muestra la distribución textural de los sedimentos del sector central del Golfo de Cariaco. La textura limo-arenosa son mezclas de sedimentos en las que prevalece el limo con arena en menor porcentaje, además de pequeñas cantidades de arcilla (Soledispa, 2007). Esta clase textural se encontró en la mayoría de las estaciones (Tabla A1) localizándose en la costa norte y centro del área de estudio. La segunda textura predominante fue la areno-limosa que son también mezclas en las que predomina la arena con el limo y pequeñas porciones de arcilla (Soledispa, 2007), la cual se localizó mayormente en la costa sur del sector central, mientras que las restantes estaciones presentaron textura arenosa.

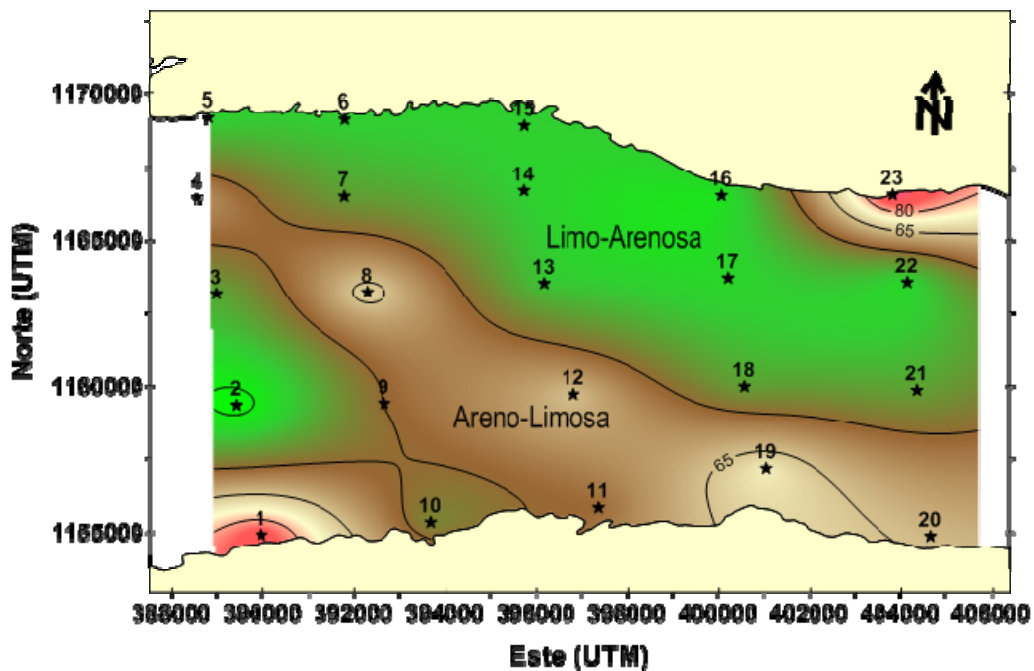


Figura 4. Distribución textural de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

El porcentaje de arena presente en el sedimento se varió entre 14,49 y 94,24%, siendo las estaciones 1 y 23, las que mostraron mayores contenidos (Tabla A1). Esto es una característica de ambientes con alta energía, en los cuales los granos muy pequeños se mantienen suspendidos en el agua del mar (Gómez *et al.*, 2006). La mayoría de las muestras arenosas pueden tener entre sus componentes: cuarzo, fragmentos de roca, caparzones de foraminíferos planctónicos, espículas y fragmentos calcáreos. El mecanismo de transporte de la arena en una zona costera puede producirse de dos maneras: (a) transporte de arena hacia y desde la costa y (b) transporte de arena paralelo a la costa o puede provenir de la socavación originada por las olas, especialmente cuando se presentan aguajes (Soledispa, 2007). El porcentaje de limo se encontró entre 0,00 y 72,15%, con un valor máximo de 72,5% en la estación 2. Los valores de arcilla variaron desde 5,76% en la estación 23 hasta 16,68% en la estación 5 (Tabla A1). Las altas proporciones de limo y arcilla se encontraron ubicadas en la parte central del área en estudio. Esto puede deberse a que dichas muestras se encuentran en zonas más protegidas, como depresiones batimétricas o micro cuencas (Astorga y Silva, 2003).

Aguilera (2005) reporta que la distribución de las fracciones texturales en sedimentos está condicionada a factores como la topografía, velocidad y dirección de los vientos y a las diversas corrientes generadas durante el régimen de pleamar y bajamar. En los datos registrados por Bonilla *et al.* (1998), en los sedimentos superficiales del ecosistema marino-costero de Jose, se determinó un promedio de arenas de 40,82% menor que los encontrados en el Golfo de Cariaco, probablemente por la abundancia de sedimentos gruesos (arenosos) depositados por los efluentes cercanos. Por otra parte, Landaeta (2002) determinó en los sedimentos superficiales de la región marino-costera frente a la ciudad de Cumaná, un 99,41% de arena y un bajo contenido de limo y arcilla.

Material volátil a 450°C

La materia volátil a 450°C es parte de la materia orgánica presente en el sedimento, la cual es una fuente compleja constituida por una combinación de productos animales y vegetales, en distintas etapas de descomposición. El término materia orgánica se usa para designar la porción del sedimento producto de la actividad antrópica o de origen biológico y que contiene el carbono en cualquier forma distinta a los carbonatos. La distribución de la materia orgánica sedimentaria mantiene, generalmente, el mismo comportamiento que la productividad primaria, y depende tanto del origen, la textura, los niveles de oxígeno en las aguas de fondo, la tasa de sedimentación y descomposición orgánica en sedimentos de diferentes ecosistemas, así como también de las condiciones hidrográficas, hidroquímicas y biogeoquímicas del ambiente sedimentario (Bonilla *et al.*, 2003; Guíñez *et al.*, 2010). El contenido orgánico en los sedimentos está estrechamente relacionado con la composición granulométrica, siendo los sedimentos de mayor proporción de arcilla y limo los que retienen mayor cantidad de residuos orgánicos.

En la Figura 5, se presenta la distribución espacial del porcentaje de materia volátil a 450°C en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, los cuales oscilaron entre 1,51% en la estación 1 y 27,41% en la estación 5 (Tabla A2),

determinándose el mayor porcentaje en la zona noroeste y central del área en estudio. Cabe destacar que los mayores porcentajes de materia volátil a 450°C coinciden en las zonas donde se encontraron altas proporciones de limo. Los altos valores de materia orgánica obtenidos pueden ser debido principalmente a procesos naturales que ocurren durante el período de surgencia ya que en esta zona no existe un aporte antrópico importante (Hernández *et al.*, 2008). Por otro lado, en los sedimentos con mayor porcentaje de arena presentaron menores concentraciones de materia volátil a 450°C. Esto puede deberse a que las corrientes marinas fuertes en esta zona evitarían la deposición de materia orgánica, y la que logre depositarse sea oxidada rápidamente en este fondo marino (Astorga y Silva, 2003).

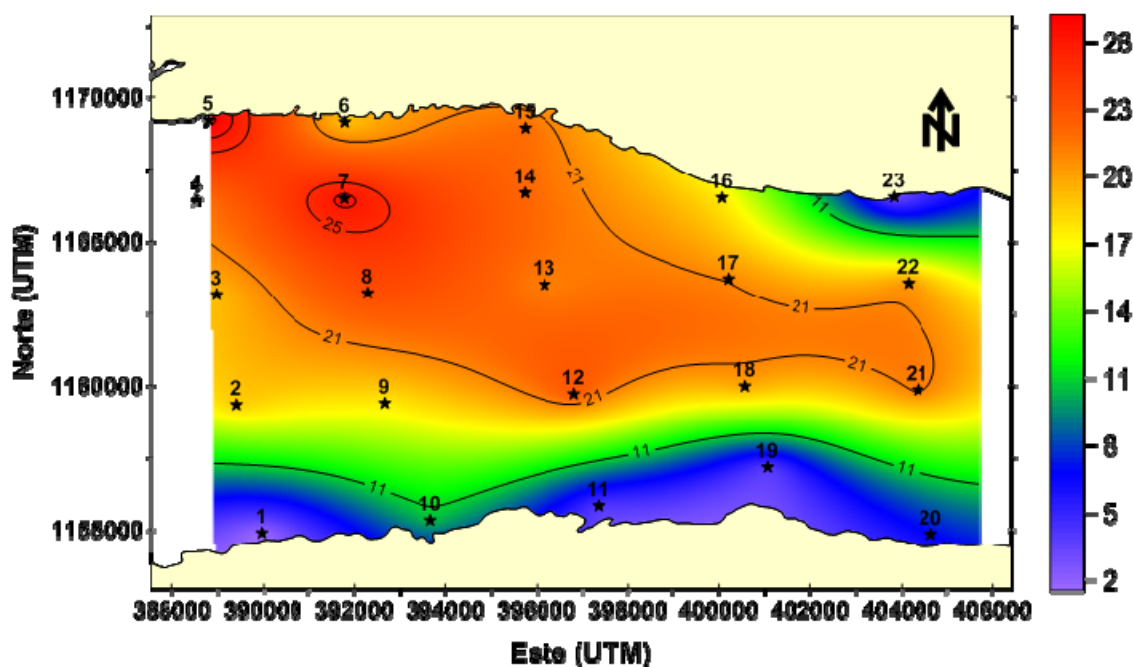


Figura5. Distribución espacial de material volátil a 450°C (%) en sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

Estos resultados concuerdan con los reportados por Hedges (1992), el cual indica que el 80% de la materia orgánica en zonas costeras y deltaicas esta preservada en los sedimentos limosos y arcillosos, sugiriendo que es fácilmente adsorbida en el material fino de origen terrestre. Es importante indicar que en el transecto central, la acumulación

de materia volátil se ve favorecida por la circulación ciclónica existente en la zona que permite la entrada y posterior sedimentación de sustancias (Martínez, 2002).

Los niveles de materia volátil detectados en esta investigación son comparables en algunas de sus estaciones a los reportados por Márquez *et al.* (2005) en los sedimentos superficiales del sector nororiental del Golfo de Cariaco (1,53-14,70%), los cuales reflejan un cierto grado de actividad biogeoquímica indicando la productividad primaria de la zona. El valor promedio de materia volátil en los sedimentos del sector central del Golfo de Cariaco (Tabla A2) es un poco inferior a 18,03% encontrado en los sedimentos superficiales de la laguna de Chacopata (Fuentes, 1998) pero superior a 1,80 y 0,39% en la Cuenca del río Orinoco (Salazar, 1989) y 5,89% en los sedimentos del sector oeste del Golfo de Cariaco (Marval, 2008).

Carbono orgánico

El carbono orgánico forma la mayor parte de la materia orgánica y es un parámetro que ofrece una idea sobre la fertilidad del sedimento de un ecosistema. Su contenido se encuentra en una relación directa de menor a mayor cantidad de acuerdo al tipo de grano que forma el sedimento. En los sedimentos de constitución limosa o arcillosa, pueden acumularse las mayores concentraciones de carbono orgánico (Dássele *et al.*, 2004).

La presencia de altos contenidos de carbono orgánico en las fracciones de limos y arcillas se debe a que estas partículas se cubren rápidamente con una capa de materia orgánica, debido a que éstas tienen tendencia a poseer cargas negativas asociadas a su estructura. Como eventualmente se hundan en el fondo marino, remueven una cantidad significativa de materia orgánica del agua de mar. En cambio las arenas, que son básicamente cuarzo, no tienen cargas, por lo que no tienen mayor atracción por la materia orgánica y, por lo tanto, están asociadas a menores cantidades de ella (Rojas y Silva, 2003).

Lo anterior se cumple en la mayoría de las observaciones de estos sedimentos, ya que las mayores concentraciones de carbono orgánico están asociadas a altos contenidos de limos y arcillas, mientras que las bajas concentraciones de carbono orgánico a altos contenidos de arenas.

También la mayor o menor concentración de compuestos orgánicos en estas distintas zonas, es el resultado individual o combinado de la presencia o ausencia de ríos, cuencas batimétricas profundas (que actúan como trampas de sedimentos), producción planctónica (que genera material orgánico marino autóctono) e intensidad de las corrientes (que arrastra los sedimentos más finos). Los bajos contenidos son atribuidos a una baja producción marina de materia orgánica y por lo tanto bajas concentraciones de compuestos orgánicos en el sedimento (Rojas y Silva, 2003).

Los contenidos de carbono orgánico obtenidos en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, se presentan en la Figura 6 y en la Tabla A2. Los valores variaron desde un mínimo de 1,15 hasta un máximo de 15,58%, en las estaciones 1 y 13 respectivamente, con un valor promedio de 9,94%. Las concentraciones más elevadas se detectaron hacia el sector central, centro-oriental y costa norte de la zona en estudio. Todo esto concuerda con el contenido de materia volátil a 450°C (materia orgánica) y la granulometría de los sedimentos, puesto que en las estaciones de textura arenosa se encontró bajos porcentajes de materia volátil y carbono orgánico; por el contrario en las estaciones con altos porcentajes de limo se encontró mayores porcentajes de materia orgánica y carbono orgánico.

Los valores de carbono orgánico encontrados en esta investigación son mayores a los reportados por Bonilla y Lin (1979) en los sedimentos del Golfo de Cariaco (4,18%); Bonilla (1982) para la Cuenca de Cariaco (5,56%); por Aranda (1999) en la Ensenada Grande del Obispo (1,07%); Márquez *et al.* (2005) y Velásquez (2005), donde los valores oscilaron desde 0,06 a 2,30%, y de 0,21 a 6,46%; respectivamente. Mudarra (2002) señaló para los sedimentos superficiales de la Ensenada de Puerto Escondido

valores de carbono orgánico, oscilando entre 2,30 y 6,19%, con un promedio de 4,06%; indicando que predominan sedimentos de grano fino. El autor establece que los valores altos de carbono orgánico están relacionados con las características granulométricas de los sedimentos, además de la incorporación autóctona, favorecida por los procesos de degradación de la materia orgánica.

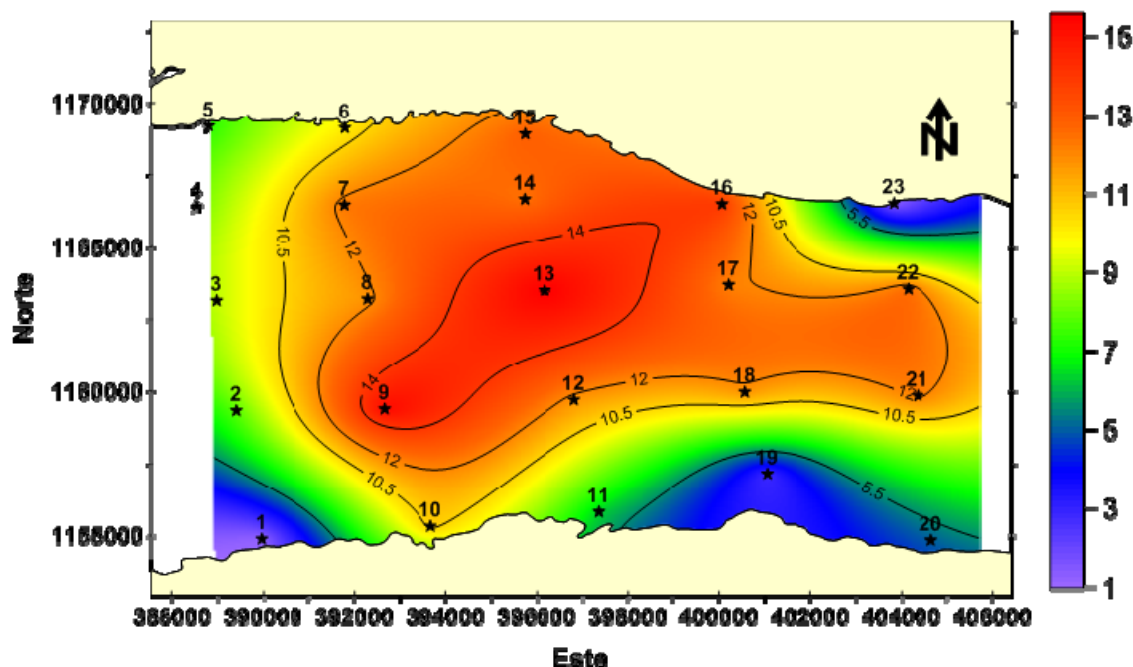


Figura 6. Distribución espacial de carbono orgánico (%) en sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

Equivalente de carbonato de calcio

Los sedimentos marinos contienen diversos minerales carbonatados, siendo la calcita y la dolomita los más abundantes. En la mayoría de los casos se determinan o expresan como carbonatos de calcio por haberse empleado HCl, que reacciona con todas las formas de este mineral como carbonatos de calcio, magnesio, sodio, potasio, entre otros. Aunque no es estrictamente correcto, se expresa como equivalentes de carbonato de calcio.

Los carbonatos llegan a los sedimentos marinos por acción de la meteorización de las rocas carbónicas, y con ellos pueden arrastrar trazas de metales que estarían potencialmente disponibles. Otra fuente de carbonatos en los sedimentos es la acumulación de carbonatos proveniente de las conchas de muchos organismos que viven en ellos. Así, donde la productividad biológica es mayor son más concentrados los depósitos de carbonatos sedimentarios (Loring y Asmund, 1995). Klavins y Virkavs (2001) y Aloupi y Angelidis (2000) resaltan el papel importante de las superficies sólidas inorgánicas como es el caso de los carbonatos, en la adsorción de metales en sedimentos.

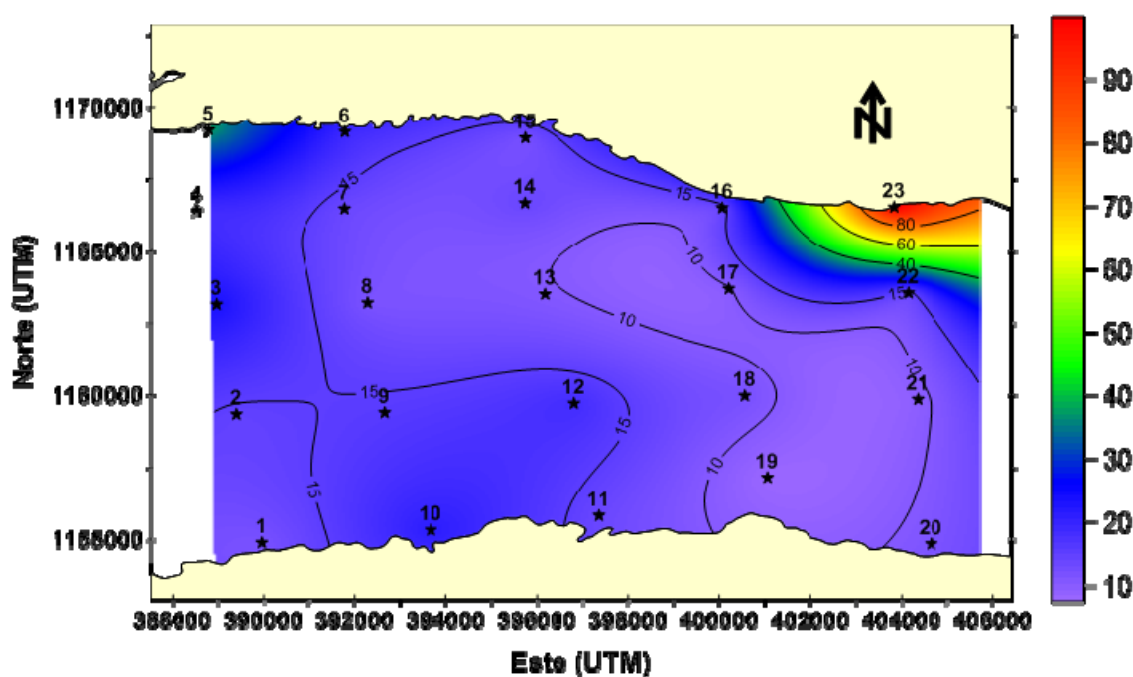


Figura 7. Distribución espacial de carbonato (%) en sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

El mayor porcentaje de carbonato (Tabla A2), fue de 100,00% (estación 23), seguida de la estación 5 con 37,30%, luego la estación 3 con 23,13% y la estación 10 con 20,92%, la estación con menor porcentaje de carbonato fue la 19, con 7,46%. En la Figura 7 se observa que la mayor concentración de carbonatos se ubica en la costa noreste del sector central del Golfo de Cariaco, mientras que en el resto del área de estudio se observa una

distribución del carbonato homogénea. El alto contenido de equivalentes de carbonatos en la estación 23 (textura arenosa) indica que son arenas carbonáticas. Sin embargo, en las estaciones 1 y 8 que poseen un alto porcentaje de arena el porcentaje de equivalentes de carbonatos es bajo en comparación con la estación 23, lo que indica que estas arenas tienen un alto contenido de sílices.

El bajo contenido de carbonato puede estar relacionado con la presencia de un alto porcentaje de materia orgánica en los sedimentos, así como también al efecto de dilución que produce los ríos y arroyos presentes en el golfo. Bonilla *et al.* (1986) reportaron un promedio de 34,73% de carbonatos en la bahía de Bergantín y 37,18% en la bahía de Pozuelos 37,18%. Velásquez (2005), en el Saco del Golfo de Cariaco reportó valores promedio de carbonato de 13,26 % para la temporada de sequía y de 19,33% para la temporada de lluvia. Mientras que Caraballo (1982) reportó porcentajes de carbonatos entre 26 y 50%, en sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco. Todos estos valores referenciales son superiores a los encontrados en la presente investigación.

Calidad de los análisis

La exactitud del método utilizado fue verificada mediante el análisis de un patrón de sedimento certificado HISS-1; *marine sediment*. Los valores de la desviación estándar obtenidos se compararon con los señalados por la casa fabricante. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 2. Estos resultados indican el grado de exactitud y precisión que presenta el método utilizado en este estudio, lo que significa que el método analítico es aceptable y produce resultados reproducibles para mayoría de los metales analizados, excepto para el cadmio y el manganeso, ya que los valores entre las medidas muestran una alta precisión.

Tabla 2. Concentraciones de metales pesados presentes en el material de referencia (HISS-1; *marine sediment*).

Muestra	Concentraciones (mg·kg ⁻¹)							
	Fe	Cu	Co	Ni	Cd	Zn	Mn	Pb
1	499,05	0,92	0,56	1,87	0,10	3,05	7,20	0,60
2	501,36	0,81	0,59	1,99	0,09	2,43	7,16	0,88
3	500,55	1,87	0,45	2,02	0,00	3,41	15,87	2,89
Promedio	500,32	1,20	0,53	1,96	0,14	2,96	10,08	1,46
D. S	0,95	0,48	0,06	0,07	0,06	0,41	4,10	1,02
Valor aceptado	-	(2,16 ± 0,29)	(0,65 ± 0,10)	(2,16 ± 0,29)	(0,024 ± 0,09)	(4,94 ± 0,79)	(66,10 ± 4,20)	-

Las concentraciones de los metales estudiados fueron determinadas usando un espectrómetro de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente, Perkin Elmer, modelo 5300 DV, midiendo los blancos de cada fracción, patrones y muestras extractantes a las longitudes de ondas específicas de cada metal, el límite de detección fue calculado midiendo varias veces (7 veces) en el ICP el mismo blanco por un periodo de tiempo (Tabla 3).

Se realizó una regresión lineal de la curva de calibración del sistema para determinar el valor de la pendiente (m), y con el valor promedio de la señal del blanco y su desviación estándar se calculó el límite de detección aplicando las siguientes formulas:

$$L.D. = \frac{\overline{S_m} - S_{bl}}{m} \quad S_m = S_{bl} + K S_{bl}$$

Donde, $\overline{S_{bl}}$ es la señal media del blanco;

S_m : señal del blanco,

S_{bl} : la desviación estándar del blanco,

m: pendiente de la regresión lineal de la curva de calibración, y

K: una constante cuyo valor es 3.

Tabla 3. Longitud de onda (nm) y límite de detección ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) para los metales evaluados en el presente estudio.

Metal	Longitud de onda (nm)	LD
Hierro	259,939	0,2462
Cobre	327,393	0,0599
Cobalto	228,616	0,0009
Cromo	357,869	0,2143
Níquel	341,476	0,0089
Cadmio	214,440	0,0087
Cinc	202,548	0,0599
Aluminio	308,215	0,1453
Manganeso	257,610	0,0051
Plomo	220,353	0,0007

Metales analizados

Uno de los aspectos más importantes de la contaminación marina es la causada por los metales pesados. En los sedimentos marinos representan la mayor parte de la materia inorgánica, los cuales con el avance tecnológico y científico que existe actualmente, son ampliamente estudiados para conocer sus diversos orígenes, evolución, especiación, concentración, toxicidad y distribución. De todos los metales estudiados en los sedimentos del sector central del Golfo de Cariaco, el hierro fue el más abundante, seguido por el aluminio, y ambos con concentraciones promedios superiores a $5000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. El hecho de encontrar valores elevados del contenido de Fe y Al en sedimentos es común, ya que estos dos metales son los más abundantes en la corteza terrestre. El resto de los metales tuvieron concentraciones menores a $73 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, en el siguiente orden de abundancia: $\text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Cd} > \text{Co}$.

Hierro (Fe)

El hierro, al igual que el manganeso y el cinc, se puede considerar como un micro elemento metálico esencial, ya que es requerimiento de varias metal-proteínas,

particularmente las metal-enzimas. El Fe es de menor concentración en el agua de mar, pero puede ser de mayor concentración en el material suspendido y en los sedimentos marinos (Sadiq, 1992). Los ríos y escorrentías continentales son las vías de transporte más importantes del hierro hacia estos ambientes donde es un micronutriente esencial para el fitoplancton y puede ser un factor limitante para su crecimiento (Wells y Mayer, 1991).

La Figura 8 muestra la distribución espacial de las concentraciones de hierro total ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, presentando un máximo de $29640,64 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en la estación 22 y un mínimo de $1651,50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en la estación 23, con un promedio de $13040,94 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Tabla A3).

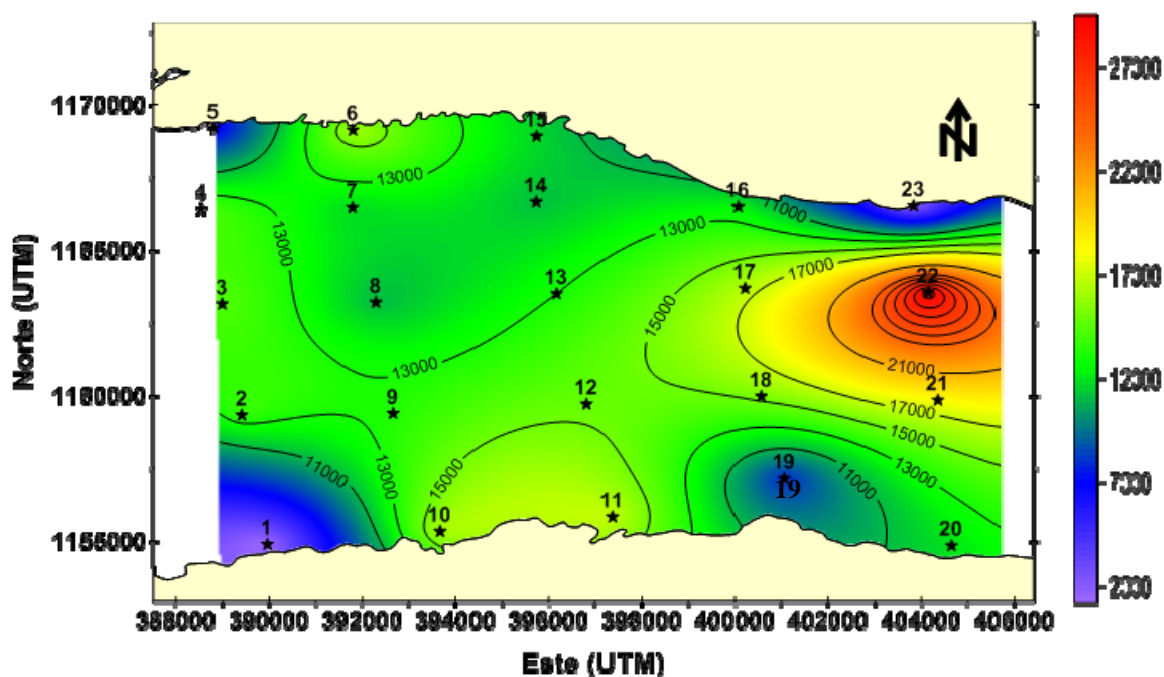


Figura 8. Distribución espacial de hierro total ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

Las altas concentraciones de este metal se localizaron hacia la región centro-oriental y central del área en estudio, y está relacionada directamente con el tipo de grano limo-arenoso y areno-limoso presente en los sedimentos (los sedimentos de grano fino son capaces de retener grandes cantidades de metales trazas). Estas altas concentraciones

pueden estar relacionadas con los procesos biogénicos y a los procesos de corrosión que se efectúan en ambientes marinos, produciéndose la precipitación de oxihidróxidos de hierro y manganeso.

Bonilla *et al.* (2003) reportaron altas concentraciones de hierro en la Ensenada Grande del Obispo, relacionándolas con sedimentos de granos más finos, y al favorecimiento de procesos de floculación y acomplejación del metal. Sadiq (1992) informó que las altas concentraciones de Fe son normales en las áreas costeras y estuarinas, especialmente las influenciadas por actividades antrópicas. Sin embargo, Well y Mayer (1991) indicaron que las altas concentraciones de Fe en los sedimentos dependen del grado de actividad abiótica.

De acuerdo con la Figura 9 y la Tabla A4, donde se muestran el fraccionamiento de hierro en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, el metal está en la fracción intercambiable en un 0,03%, con un máximo de $9,07 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en la estación 2 y un mínimo no detectado en la estación 3, con un promedio de $4,65 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; para la fracción 2 (Fe unido a carbonatos), el promedio fue de $3,12 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, representando tan sólo el 0,02% del hierro total, con un valor máximo en la estación 1 de $17,21 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y un mínimo no detectado en la estación 3; para la fracción 3 (metal asociado a oxihidróxidos de hierro y manganeso) el promedio fue de $1663,73 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, lo que representa un 12,31% del total; presentando un valor máximo de $3556,84 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en la estación 6 y un mínimo no detectado en la estación 22. El hierro estuvo presente en un mayor porcentaje en la fracción 4 (unido a materia orgánica y sulfuros) con 65,69% con respecto al total, el promedio fue de $8881,59 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; presentando un valor máximo de $14832,86 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en la estación 11 y un mínimo no detectado en la estación 1. Por último, en la fracción 5 el hierro unido a la fracción residual presentó un promedio de $2967,52 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, lo que representa un 21,95% del total; presentando un valor máximo de $14820,32 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en la estación 22 y un mínimo de $164,01 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en la estación 19.

De acuerdo con esto, los bajos valores de hierro en la F1 y F2 reflejan la escasa influencia que ejercen fuentes antrópicas sobre el sistema sedimentario. Por otra parte las altas concentraciones en la F4 indican que este metal puede estar asociado fuertemente a la materia orgánica y sulfuros que se depositan en los sedimentos de esta región marino-costera. Además la presencia del hierro en la fase residual indica que este elemento es de naturaleza litogénica.

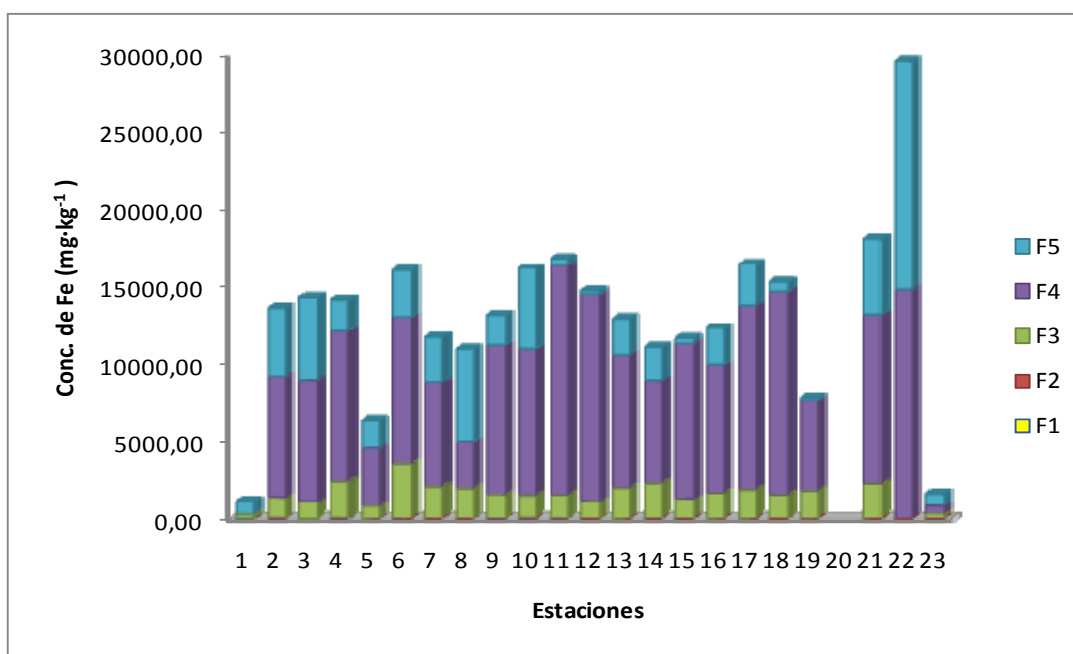


Figura 9. Concentraciones de hierro en cada una de las fracciones obtenidas de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

Comparando los valores hallados por López *et al.* (2006) de $1458 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en los sedimentos superficiales de la Laguna de Píritu son inferiores que las concentraciones determinadas en el sector central del Golfo de Cariaco, debido a que el Fe es liberado desde muchas fuentes, mientras que en sedimentos superficiales de la región marino-costera frente a la ciudad de Cumaná se hallaron valores de $20148 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Landaeta, 2002) mayores a los reportados en este estudio. Sin embargo, Moya (2010) reportó en los sedimentos del sector oriental del Golfo de Cariaco $12612,16 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ valor similar al encontrado en la presente investigación.

Cobre (Cu)

La contaminación por metales pesados, como el cobre, puede afectar la fotosíntesis y desarrollo de las algas, así como las primeras etapas de desarrollo de los animales marinos (huevos, larvas, etc.) pudiendo causar la muerte de los mismos (Unesco, 1976; Aranda, 1999). El cobre está distribuido en la naturaleza, especialmente en depósitos de sulfuros, cloruros y carbonatos. Está presente en suelos y sedimentos en concentraciones que generalmente están cerca de $5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Sadiq, 1992). El cobre es tóxico, especialmente para los organismos acuáticos, lo cual está determinado por las formas químicas en las que está presente. En general, el Cu^{2+} es la forma más biotóxica de cobre en aguas naturales (Crecelius *et al.*, 1982). Los sedimentos son un importante reservorio de cobre, el cual puede removerse y pasar a la columna de agua. La vía de penetración a sistemas acuáticos está determinada por las escorrentías continentales y los efluentes de origen antrópico (domésticos, industriales, demográficos, etc.).

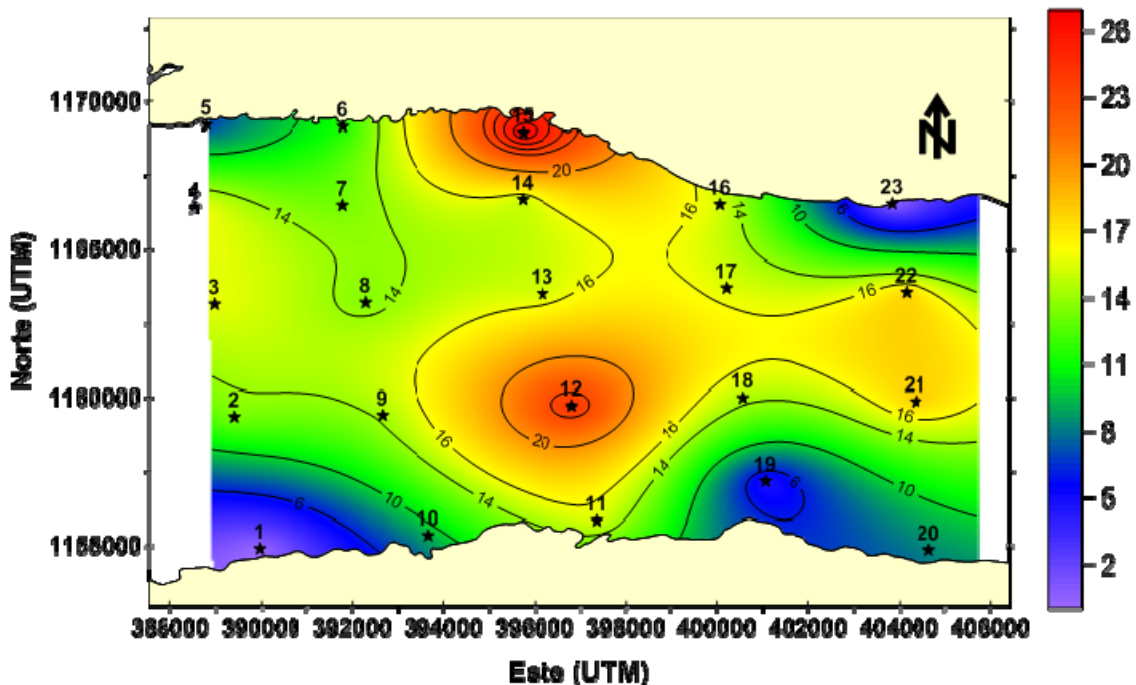


Figura 10. Distribución espacial de cobre total ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

La Figura 10 muestra la distribución espacial del cobre total en los sedimentos superficiales de la zona central del Golfo de Cariaco con un promedio de $14,08 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Tabla A3), valor mayor a $10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de sedimentos no contaminados según Sadiq (1992), lo cual pudiera sugerir la contaminación de los sedimentos por este metal. Las más bajas concentraciones de cobre están asociadas al área en estudio donde hay predominio de arenas, en la región suroeste (estación 1) y noreste del área en estudio (estación 23) con bajo el límite de detección y $0,34 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ respectivamente. Por otra parte las altas concentraciones de cobre se ubicaron en la zona central de la costa norte (estación 15) con $27,04 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ seguido de la estación 12 en el transecto central del área en estudio con $24,29 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Tabla A3), que se relacionan con el alto porcentaje de limo, materia volátil a 450° C y carbono orgánico.

La especiación del cobre se muestra en la Figura 11 y Tabla A5 donde los valores estuvieron por debajo del límite de detección en las fracciones 1, 2 y 3 a excepción de una estación en la fracción 1 donde se halló una concentración de $0,05 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (estación 5) representando el 0,32% del cobre total hallado. El mayor porcentaje de cobre se encontró en la fracción 4 con 63,09% con un valor promedio de $9,85 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, un máximo de $23,58 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en la estación 15 y un mínimo de no detectado en las estaciones 1, 5 y 8; indicando que la mayor concentración de cobre se encuentra mayormente asociado a la materia orgánica y sulfuros, debido a que tiene tendencia a encontrarse en sedimentos ricos en carbono orgánico (Castellar, 2004). Finalmente, se observó que en la F5 los valores oscilaron desde un mínimo no detectado en la estación 1 y un máximo de $13,53 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en la estación 8 con un promedio de $5,71 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; solo el 36,59% del cobre total encontrado es de origen litogénico.

El fraccionamiento geoquímico mostró que la materia orgánica y la matriz sedimentaria son las principales fases de acumulación de cobre en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco. Esta distribución indica que la una parte del contenido total de Cu presente en los sedimentos es de origen litogénico, permitiendo una distribución del metal con la mayor proporción en la materia orgánica y fracción

residual, respectivamente. La acumulación de este metal asociado a la materia orgánica puede indicar un posible enriquecimiento de éste en la biota marina, principalmente en los moluscos, los cuales son organismos filtradores que consumen la materia orgánica de los sedimentos. Por lo que este metal representa un riesgo como posible contaminante en el área en estudio, debido a que éste puede pasar a la red trófica.

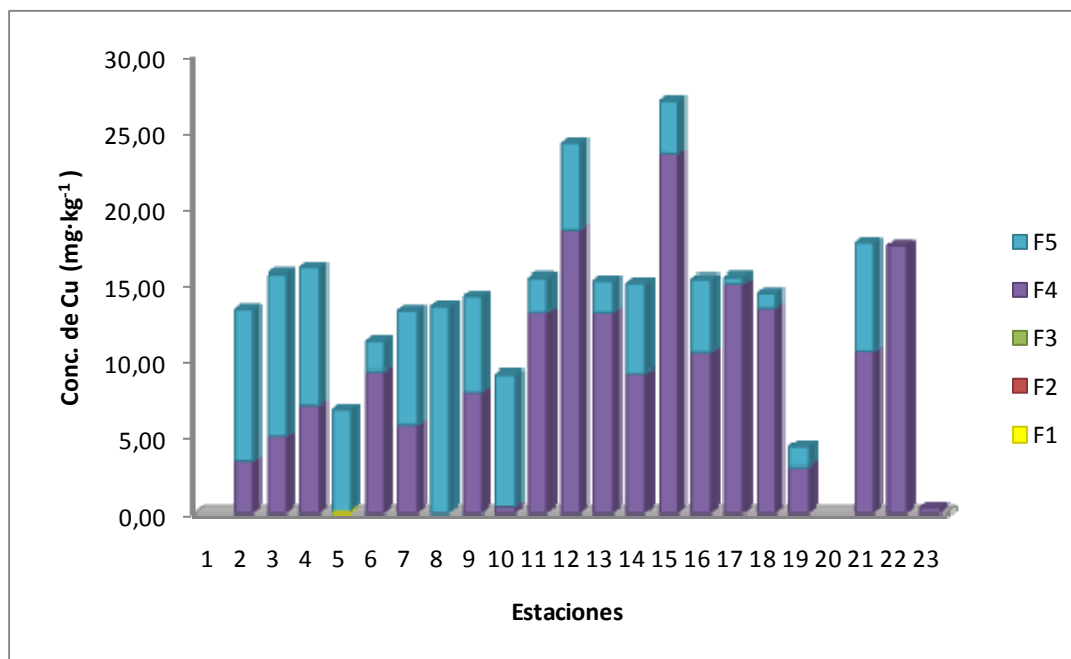


Figura 11. Concentraciones de cobre en cada una de las fracciones obtenidas de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

Martínez (2002) reportó un valor promedio de cobre total para los sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco de $10,39 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, este valor es inferior al promedio encontrado en el presente estudio. Mudarra (2002) reportó un promedio de Cu total de $0,99 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, para los sedimentos superficiales de la Ensenada de Puerto Escondido, sugiriendo que no existe contaminación en dicho ecosistema y que las concentraciones moderadamente bajas encontradas son debido al posible aporte terrígeno y natural de este metal en dicho ecosistema, el valor medio encontrado en esta investigación es bastante alta comparada con la de este autor. Márquez (2003) en los sedimentos superficiales del Golfo de Santa Fe, reportó un promedio de Cu total de $3,96 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,

valor que es inferior a los promedios reportados para este estudio. Por otra parte, Díaz (2008), en sedimentos del Saco del Golfo de Cariaco reportó un promedio total de cobre de $23,96 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ superior al encontrado en esta investigación.

Cobalto (Co)

Este metal puede existir en la naturaleza como sulfuros y en los sedimentos formando asociaciones con el manganeso. Su distribución en la tierra es amplia conforma aproximadamente el 0,001% del total de las rocas ígneas de la corteza terrestre. Puede también depositarse sobre los sedimentos a través del viento y el polvo o entrar en la superficie del agua a través de la escorrentía cuando el agua de lluvia corre a través del suelo y rocas que contienen cobalto (Landaeta, 2002).

Li (1981), indicó que el cobalto es un metal duro, tiene un alto punto de fusión y de reactividad moderada. Este elemento existe en la naturaleza como sulfuro y arseniuro, carrollita (Co_2CuS_4), linneita (Co_3S_4), esmaltina (CoAs_{2-3}), cobaltina (CoAsS), safflorita (CoAs_2), nódulos manganosos del fondo del mar. Se encuentra distribuido con amplitud en la naturaleza y forma, aproximadamente, el 0,001% del total de las rocas ígneas de la corteza terrestre.

La distribución espacial de cobalto total en el sector central del Golfo de Cariaco se muestra en la Figura 14, donde las concentraciones variaron desde un máximo de $2,85 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en la estación 18 y un mínimo de $0,05 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en la estación 1; el cobalto tiene una distribución homogénea en casi todo el área en estudio a excepción de las estaciones 1 y 23 donde las concentraciones son más bajas en comparación con el resto de los sedimentos del área en estudio. En general, los mayores contenidos de cobalto coinciden con las texturas limo-arenosas y areno-limosas, el contenido de carbono orgánico y de materia volátil a 450°C , es decir, el contenido de cobalto guarda una relación significativa con estos parámetros. El contenido de cobalto total en la zona fue menor en

las estaciones 1 y 23 que tienen los mayores porcentajes de arena, puesto que el tamaño de las partículas con esta textura dificulta la adsorción del metal.

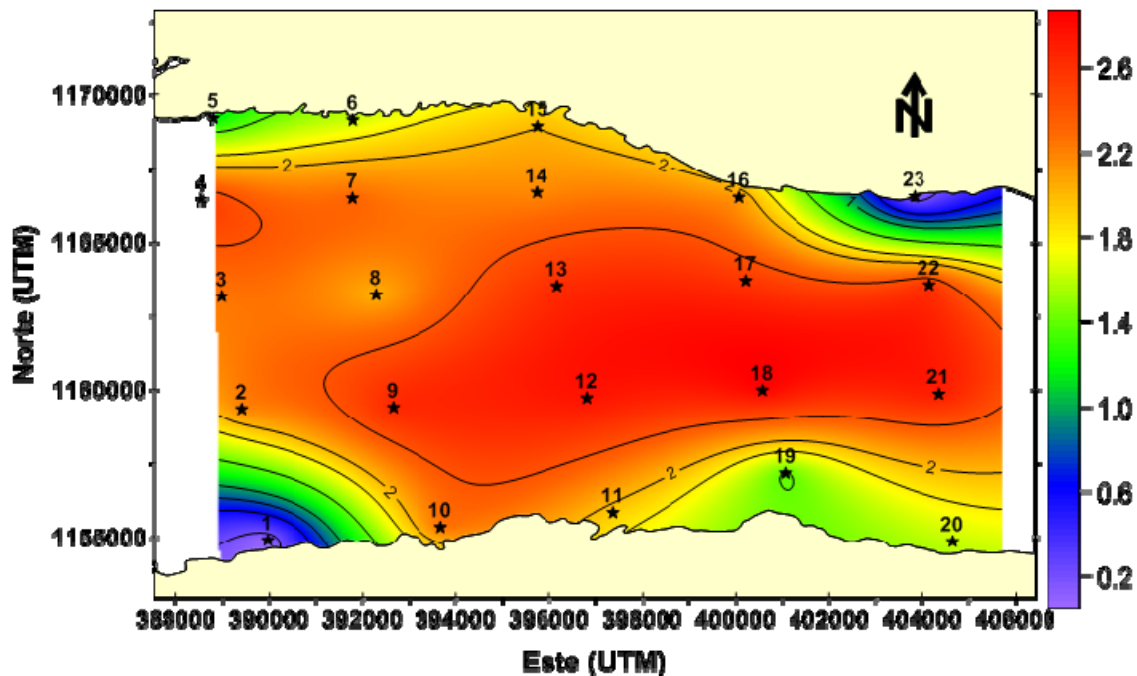


Figura 12. Distribución espacial de cobalto total ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

Las más altas proporciones de Co son indicio de la deposición del elemento en las estaciones mencionadas y la intervención exógena antropogénica de la zona. El promedio de cobalto total es de $2,04 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ valor inferior a $2,78 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y $3,50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ reportados por Velásquez (2005) en los sedimentos superficiales del sector oriental del Golfo de Cariaco. Márquez *et al.* (2008) reportó un promedio de $4,65 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en los sedimentos de la Laguna de Castellero valor superior al encontrado en el presente estudio.

De acuerdo a la Figura 13, la cual presenta la distribución por estaciones del fraccionamiento geoquímico del cobalto en el área de estudio (Tabla A6), éste se encontró asociado a los oxihidróxidos de Fe y Mn (F3) en un 9,89% del total, con valores que oscilaron desde por debajo del límite de detección en varias estaciones y

0,49 mg·kg⁻¹ (estación 17), con una concentración promedio de 0,23 mg·kg⁻¹; un 34,79% del Co total se encontró asociado a la materia orgánica y sulfuros (F4) con valores desde por debajo del límite de detección en varias estaciones hasta 1,67 mg·kg⁻¹ en la estación 12. Por último, el 55,33% del cobalto total se encontró unido a la fracción residual con valores que oscilaron desde 0,05 en la estación 1 hasta 2,25 mg·kg⁻¹ en la estación 3. Éste metal no fue detectado en las fracciones 1 y 2 (fase intercambiable y asociado a carbonatos).

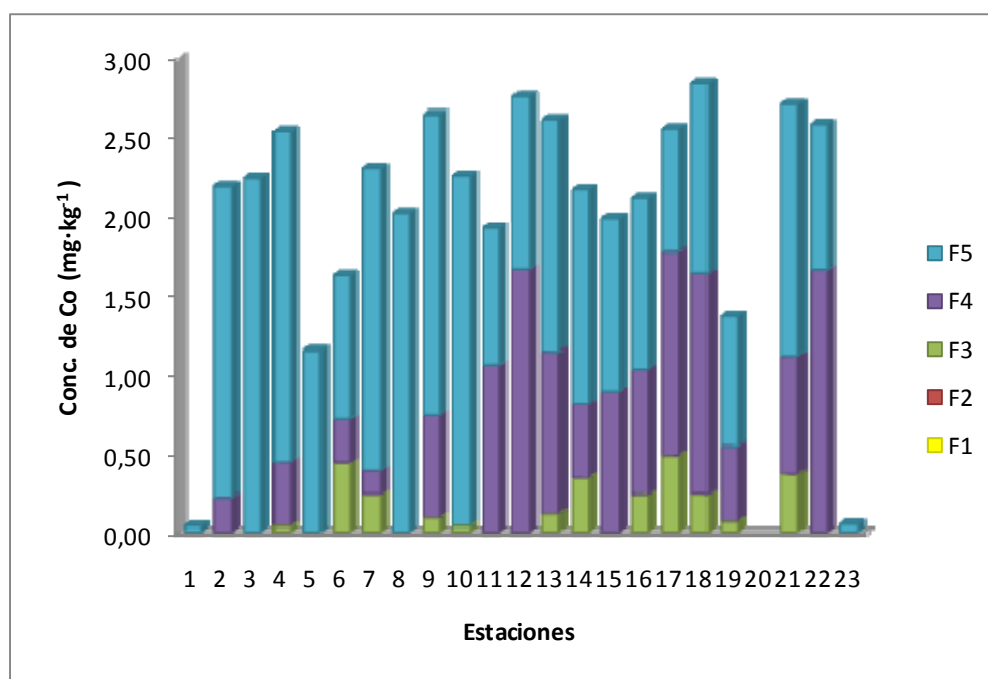


Figura 13. Concentraciones de cobalto en cada una de las fracciones obtenidas de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

Este metal puede entrar a ríos, lagos y mares depositándose en el sedimento cuando el agua de lluvia corre a través del suelo y rocas que lo contienen, o por desechos domésticos e industriales incorporados a las partículas más finas del sedimento. También puede liberarse por reducción de los óxidos que lo contienen a la columna de agua, cuando cambian las condiciones redox de los sedimentos. Probablemente, la ausencia del metal en la fracción 1 y 2 está relacionada con este hecho.

En este estudio, el Co presentó sus mayores porcentajes en las fracciones asociadas a la fase residual (55,33%), y a la materia orgánica y sulfuros como potencialmente biodisponibles (34,79%); la fracción unida a oxihidróxidos de Fe y Mn presentaron porcentajes mínimos de cobalto encontrado en todo el ecosistema, lo cual indica que el cobalto presente en el sector central del Golfo de Cariaco puede ser aportados al ecosistema por fuentes tanto antrópicas como naturales.

Velásquez (2005) para el saco del Golfo, reportó que este metal para los dos meses analizados presentó sus mayores porcentajes en las fracciones asociadas a la materia orgánica (con valores superiores al 50%) y oxihidróxidos de Fe y Mn (con porcentajes entre 24 y 26%) valores superiores a las encontradas en el presente estudio. Castellar (2004) para sedimentos del Golfo de Santa Fe, reportó al igual que en la presente investigación los mayores porcentajes de Co asociado a la fase residual y a la materia orgánica y sulfuros, con porcentajes de 75% y 25% respectivamente; valores superiores a los encontrados en los sedimentos superficiales de la zona central del Golfo de Cariaco. Moya (2010), reportó un 68,92% de cobalto en la fracción asociada a la materia orgánica y 29,05% a la fracción residual; en los sedimentos del sector oriental del Golfo de Cariaco, indicando que el cobalto presente en ese ecosistema es originado por fuentes antropogénicas.

Cromo (Cr)

El cromo es un metal traza considerado como contaminante antropogénico tóxico, se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza bajo múltiples estados de oxidación, influenciado y controlado por los cambios redox. Este metal es muy importante por su amplio uso comercial e industrial; constituyéndose sus desechos en un significativo aporte de contaminación a los ambientes marinos. Las principales descargas industriales provienen de los procesos de la pesca, curtiembres, metalurgia, textiles, industrias petroquímica y lavanderías, que al caer al medio marino pueden absorberse en el material orgánico existente en los sedimentos, probablemente por la fácil acomplejación

de los compuestos orgánicos con el Cr en el estado de oxidación III (Nriagu y Nieboer, 1988; Sadiq, 1992, Velásquez, 2005).

La influencia del cromo y su impacto en el ambiente depende de la especiación del metal. La química del cromo y su comportamiento en agua de mar y en los sedimentos, está afectada por los procesos redox, la precipitación, disolución de la fase sólida, la adsorción y las interacciones biológicas. Muchas investigaciones han argumentado la existencia de cromo adsorbido en los sedimentos, específicamente en las superficies de la materia orgánica, óxidos, carbonatos y arcillas.

La concentración de cromo total varía entre $4,34 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (estación 1) a $55,55 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (estación 17) con un valor promedio de $24,11 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. La Figura 14 muestra la distribución del cromo total en el sector central del Golfo de Cariaco, donde las menores concentraciones se encontraron a lo largo de la costa sur hasta la región noroccidental de la zona en estudio. El resto de las estaciones presentaron concentraciones altas de cromo. Las bajas concentraciones de cromo guardan una relación directa con las altas concentraciones de arena en dichas estaciones. Por otra parte este metal se encontró asociado con el material volátil a 450°C y el carbono orgánico, es decir, donde se halló las mayores concentraciones de Cr también se encontró los mayores porcentajes de materia volátil a 450°C (materia orgánica) y carbono orgánico.

Sadiq (1992) señala que en los sedimentos no contaminados los valores de cromo deben ser inferiores a $20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ lo cual podría estar evidenciando contaminación del metal en el Golfo de Cariaco.

Martínez (2002) reportó valores que superan el límite para sedimentos no contaminados en el Golfo de Cariaco (valores desde $2,51 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ hasta $97,15 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ con un promedio de $32,15 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), y las asoció a la textura del sedimento con alto contenido de partículas finas y a las elevadas concentraciones de materia orgánica que contienen los sedimentos además del aporte antropogénico. Bonilla *et al.* (2003) reportaron indicios de

contaminación de cromo en los sedimentos de la Ensenada Grande del Obispo, el cual proviene de efluentes vertidos en la costa sur del Golfo de Cariaco, y que por efecto direccional de la hidrodinámica, están causando gran impacto en la costa norte, afectando principalmente a la Ensenada Grande del Obispo. Márquez (2003) reportó un promedio de cromo total de $7,79 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en los sedimentos superficiales del Golfo de Santa fe, valor que es inferior al promedio reportado en este estudio.

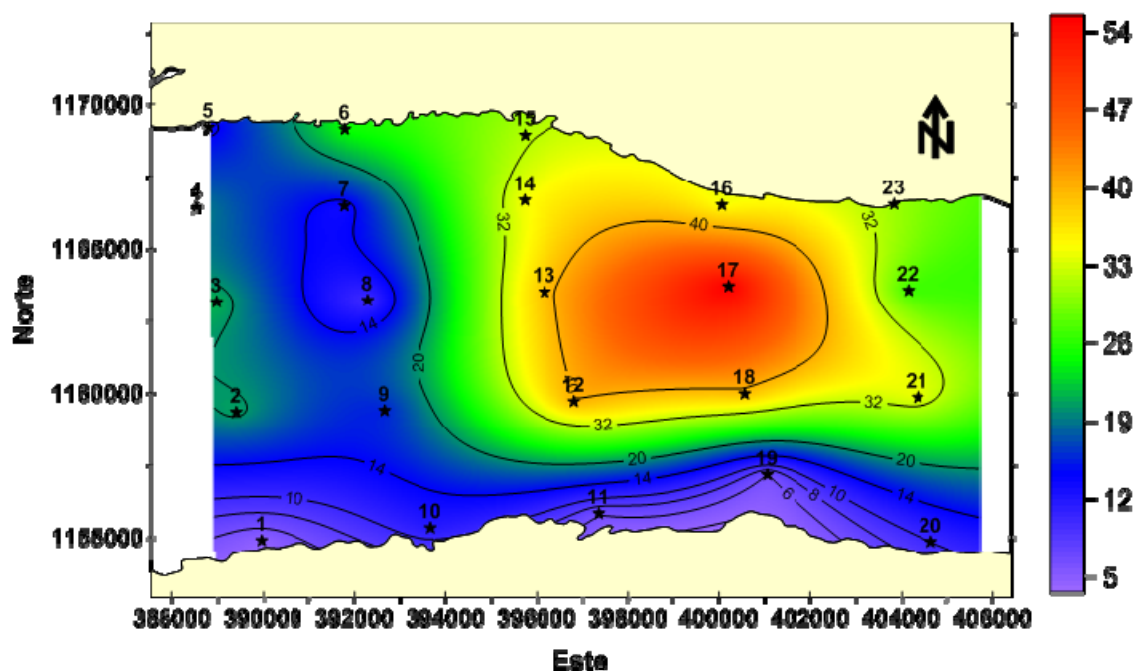


Figura 14. Distribución espacial de cromo total ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

Comparando estos resultados con los del presente estudio y tomando en consideración lo señalado por Sadiq (1992), se muestran indicios de contaminación por cromo en la zona estudiada. Sin embargo, es importante considerar los resultados del fraccionamiento geoquímico de este metal, para poder verificar su influencia antropogénica en la zona en estudio.

La Figura 15 y Tabla A7 muestra el fraccionamiento del cromo en la zona en estudio, presentándose principalmente asociado a la fracción 4 unido a la materia orgánica y sulfuros con un 48,17% con valores que oscilaron por debajo del límite de detección

hasta $26,68 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, con un promedio de $15,64 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. El cromo se encontró en menores porcentajes unido a la fracción residual con $28,53\%$ del total con valores por debajo del límite de detección en varias estaciones hasta $27,07 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en la estación 17 con una concentración promedio de $9,26 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, asociados a los oxihidróxidos de Fe y Mn con un $22,57\%$ del total con valores desde por debajo del límite de detección en la estación 22 hasta un máximo de $14,50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en la estación 6 con una concentración promedio de $7,33 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. El cromo intercambiable se encontró en un $0,46\%$ del total con valores desde por debajo del límite de detección hasta $0,37 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en la estación 12, con un promedio de $0,15 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, y finalmente con un $0,27\%$ del cromo total unido a carbonatos con un promedio de $0,09 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y valores desde por debajo del límite de detección hasta $0,17 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en la estación 15.

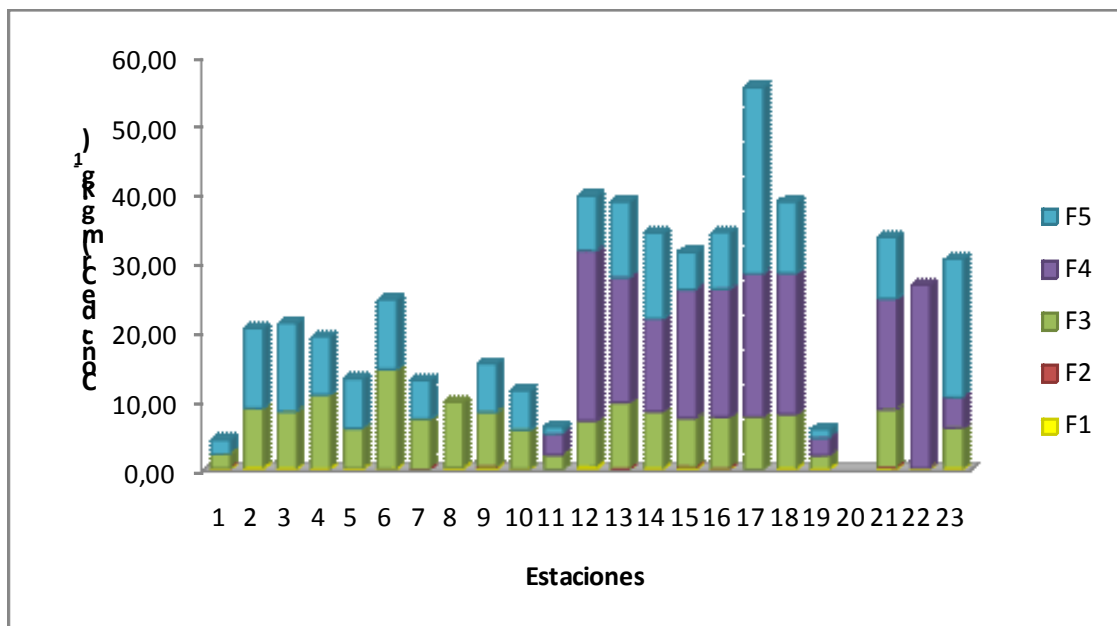


Figura 15. Concentraciones de cromo en cada una de las fracciones obtenidas de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

El mayor porcentaje de cromo se presentó en la fracción 4, esto muestra que una mayor proporción de este metal se encuentra asociado a la materia orgánica y sulfuros, seguido por la fracción unida a la fase residual y la unida a los oxihidróxidos de Fe y Mn, y en un menor porcentaje unida a los carbonatos e intercambiables.

El hecho de que los mayores porcentajes de cromo se encuentren como potencialmente biodisponible, es decir que pueden liberarse si cambian las condiciones redox del sistema y que una pequeña parte esté en forma biodisponible, se puede considerar este metal como un contaminante en los sedimentos del sector central del Golfo de Cariaco, puesto que además la concentración promedio supera lo estimado por Sadiq para sedimentos no contaminados.

Níquel (Ni)

El níquel es un elemento que puede estar presente en muchos minerales, óxidos, carbonatos y silicatos de hierro. También se encuentra asociado al azufre en el mineral pirrolita y al magnesio en la garnierita. Éste metal se encuentra en aguas naturales y sedimentos arcillosos de alto contenido en la materia orgánica donde la especie Ni^{2+} , puede ser absorbida con facilidad. El níquel en los ecosistemas acuáticos se comporta de manera semejante a los nutrientes fosfatos y silicatos, lo que hace posible la remoción del metal desde la fracción sedimentaria a la columna de agua (Fuentes, 1998). Moore y Ramammorthy (1984) informan que esta conducta del metal está influenciada por el aporte antrópico a los ríos de donde es fácilmente transportado a los mares y océanos.

En los sedimentos superficiales del sector central de Golfo de Cariaco (Figura 16), se determinaron concentraciones de níquel total comprendidas entre 1,12 y 38,48 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, con un valor promedio de 21,74 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Tabla A3). Las mayores concentraciones de Ni se ubicaron en el sector central del área en estudio y están relacionados con la textura del sedimento, además del alto contenido de carbono orgánico y de material volátil a 450°C; por otra parte las menores concentraciones del metal se ubicaron en las estaciones 1, 19 y 23 coincidiendo con los mayores porcentajes de arena y los menores porcentajes de carbono orgánico y materia volátil a 450°C. La distribución de este metal es similar a la del cobalto total, lo que puede sugerir un mismo origen.

Los valores promedio de níquel total son superiores al valor de $10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ para sedimentos no contaminados (Sadiq, 1992). Estas altas concentraciones pueden ser indicativas de un gran aporte exógeno de este metal al medio marino, por la hidrodinámica del ecosistema en estudio. Este incremento, por otra parte, puede deberse a que los metales pesados pueden estar formando parte de la constitución de los minerales presente en la zona y son transportados a estos ecosistemas por las escorrentías formadas en la época de lluvia. Martínez (2002) encontró elevadas concentraciones de níquel que estuvieron relacionadas con la textura del sedimento de partículas finas que constituyen los sedimentos de la zona las cuales acumulan grandes cantidades de níquel y otros metales pesados en el Golfo de Cariaco.

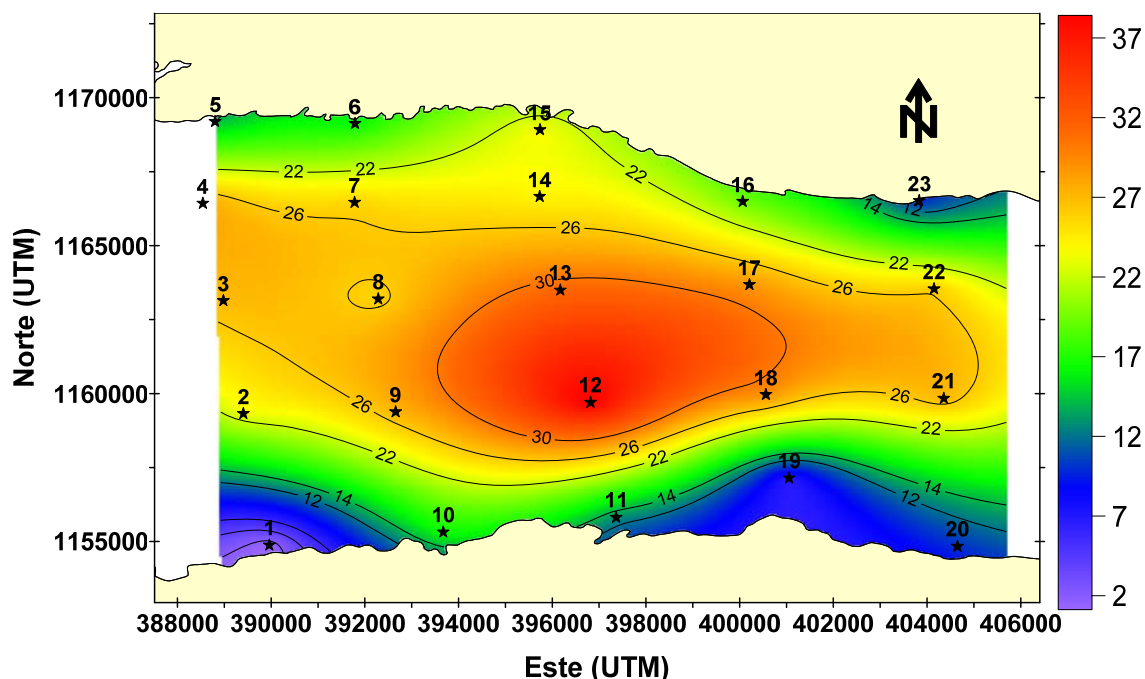


Figura 16. Distribución espacial de níquel total ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

La Tabla A8 y Figura 17 muestran el fraccionamiento geoquímico realizado a los sedimentos de la zona en estudio, mostrando que el níquel se encontró en la F1 en un 0,23% del metal total, con concentraciones comprendidas entre valores por debajo del límite de detección y $0,15 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ con un promedio de $0,07 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. En la F2 las

concentraciones variaron desde valores por debajo del límite de detección hasta 0,22 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ representando el 0,31% del total. En la fracción F3 los valores oscilaron desde debajo del límite de detección hasta 10,19 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ con una concentración promedio de 5,90 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, que significa el 20,72% del Ni total. El mayor porcentaje del Ni total se encontró en la F4 con un 49,39% con valores por debajo del límite de detección hasta 25,36 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ con un promedio de 14,05 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Por último con un 29,36% del metal total se halló en la fracción 5 con una concentración mínima de 0,42 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y una máxima de 21,49 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y un promedio de 8,35 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

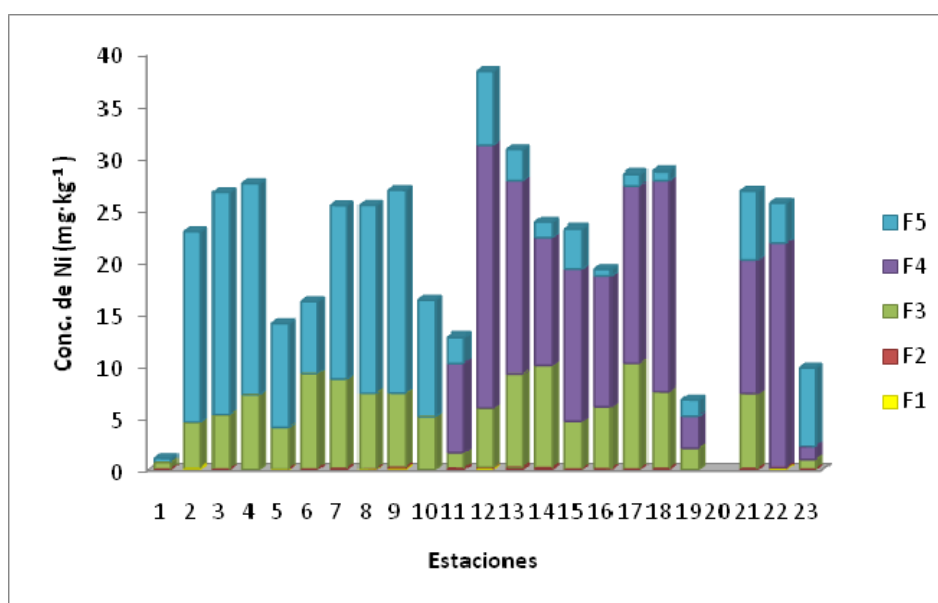


Figura 17. Concentraciones de níquel en cada una de las fracciones obtenidas de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

Los mayores valores al igual que para el hierro y el cobre, se presentaron en la fracción 4, esto muestra que una mayor proporción de este metal se encuentra asociado a la materia orgánica y sulfuros, seguido por la fracción unida a la fase residual y la unida a los oxihidróxidos de Fe y Mn, y en un menor porcentaje unida a los carbonatos e intercambiables. El níquel de origen antropogénico corresponde a un 0,54% del total (0,23 % F1 y 0,31% F2), valor que aunque muestra una existencia en la zona, no representa un riesgo de contaminación alarmante.

El valor promedio de Ni detectado en el sector central del Golfo de Cariaco es superior al reportado por Espinoza (2001), quien detectó $13,82 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de promedio del contenido total de níquel en los litorales norte y sur del Golfo de Cariaco y río Manzanares, Gamboa *et al.* (1986) reportaron valores inferiores de $11,68 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y $13,07 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en los sedimentos de las bahías de Pozuelos y de Barcelona, respectivamente.

Sin embargo, concentraciones más elevadas de Ni fueron encontrados en sedimentos del Criogénico de Jose de $39,42 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y $30,54 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ UDO-CORPOVEN (1991 y 1992). Bahía de Bergantín de $27,44 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ UDO-CORPOVEN (1992); en los sedimentos de la Laguna de Píritu de $32,75 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Bonilla y González 1992), en los sedimentos de la costa norte del Golfo de Cariaco de $22,80 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Martínez 2002) y puerto pesquero de Cumaná de $24,04 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (González, 1995). Cabe destacar que estos ecosistemas se encuentran afectados mayoritariamente por los afluentes provenientes del asentamiento de la industria petrolera y petroquímica, así como por las escorrentías límnicas continentales. Por lo que podrían ser más elevadas sus concentraciones que en la zona en estudio.

Cadmio (Cd)

El cadmio es considerado como uno de los elementos químicos más biotóxicos y un contaminante importante del ambiente por la variedad de sus usos. Los aportes antrópicos del metal son considerados su principal fuente al medio marino. En general, el cadmio entra a estos ecosistemas, por deposición atmosférica y a través de descargas de efluentes desde fuentes cercanas a las zonas costeras (Sadiq, 1992). En los sedimentos la adsorción de cadmio es influenciada por el contenido de materia orgánica y carbonatos (Kirby *et al.*, 2001). El cadmio proviene, principalmente, de las descargas industriales, pues es utilizado para revestir metales, en soldaduras de plata, baterías, en la industria de pigmentos, electroplásticos, estabilización del plástico y aleaciones metálicas. Químicamente, el cadmio posee un comportamiento similar al cinc y estos

dos metales frecuentemente están asociados a los procesos geoquímicos, además de encontrarse ambos en su estado de oxidación II en las masas de agua. Es bien conocido el efecto nocivo del cadmio en los seres vivos.

El contenido de cadmio total en los sedimentos del sector central del Golfo de Cariaco varió desde bajo el límite de detección hasta un máximo de $5,24 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (estación 22) con una concentración promedio de $3,44 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. La Figura 18 y Tabla A3 muestra que las mayores concentraciones del metal se ubicaron al noreste y centro de la zona en estudio; las altas concentraciones de este metal están relacionados con los mayores porcentajes de limo, arcilla, materia volátil a 450°C y carbono orgánico. Este metal no fue detectado en las estaciones 1 y 23, y dichas estaciones tienen en común el mayor porcentaje de arena con más de 90%. Sadiq (1992) indicó que los sedimentos no contaminados deben contener menos de $1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de cadmio.

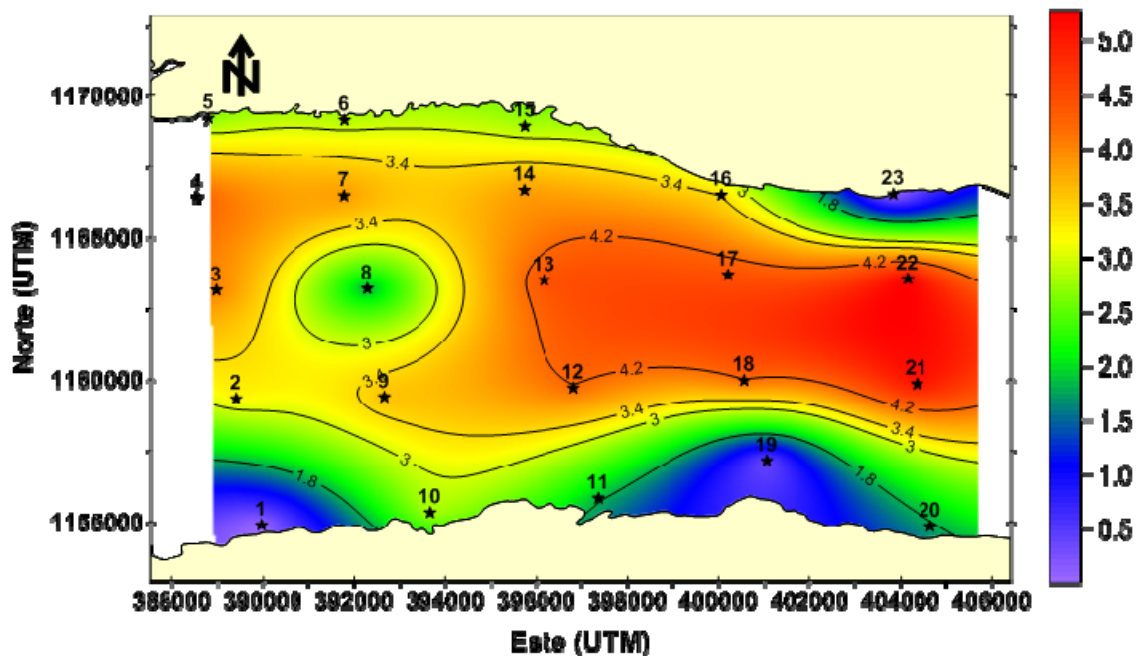


Figura 18. Distribución espacial de cadmio total ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

Valores inferiores que los reportados en esta investigación ($3,44 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) han sido reportados en los sedimentos de los siguientes ecosistemas: $0,86 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ para el área

Jose (UDO-CORPOVEN, 1992); 2,39 mg·kg⁻¹ en la Bahía de Bergantín (UDO-CORPOVEN, 1992), estando estos dos ecosistemas afectados directamente por los afluentes de la industria petrolera, petroquímica, cemento, etc.; un resultado similar al reportado en este estudio fue descrito por Martínez (2002) con 3,30 mg·kg⁻¹ en el transecto central del Golfo de Cariaco, por lo que se demuestra que el golfo también puede estar afectado por la contaminación por cadmio, el cual se va acumulando en su área central, ya que es la más profunda.

Tomando en consideración que las concentraciones que se reportan en este trabajo de investigación son mayores al límite estipulado para sedimentos no contaminados, es importante conocer el porcentaje de Cd total que corresponde a la fracción biodisponible, para tener una idea más clara de lo que sucede en los sedimentos del sector central de Golfo de Cariaco con el cadmio.

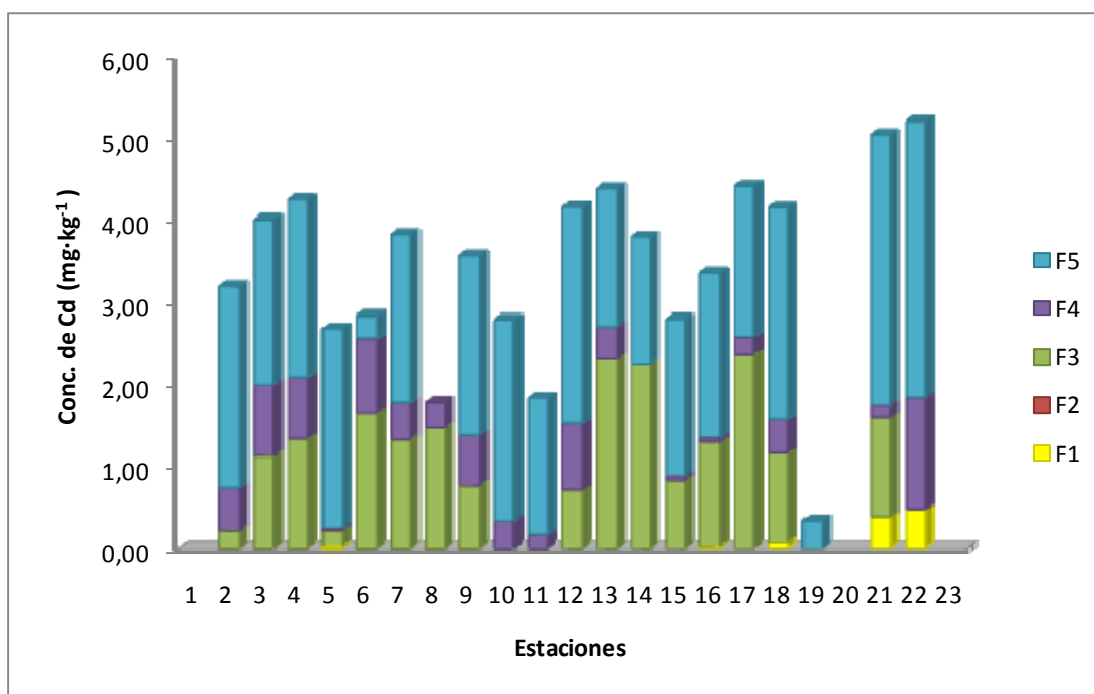


Figura 19. Concentraciones de cadmio en cada una de las fracciones obtenidas de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

La especiación del cadmio en la zona en estudio (Figura 19 y Tabla A9) presentó concentraciones que variaron entre valores por debajo del límite de detección a 0,49

mg·kg⁻¹(estación 22), con un promedio de 0,20 mg·kg⁻¹ para la fracción intercambiable (F1) representando el 5,07 % del Cd total. No se halló concentraciones asociadas a carbonatos (F2), en la fracción 3 el Cd se encontró en 31,75% del total, con valores que variaron desde por debajo del límite de detección hasta un máximo de 2,37 mg·kg⁻¹ con una concentración promedio de 1,27 mg·kg⁻¹; el 11,66% del Cd total está asociado a la materia orgánica y sulfuros con valores que van desde por debajo del límite de detección hasta 1,35 mg·kg⁻¹, con un promedio de 0,47 mg·kg⁻¹. Por último, el 51,52% del total de cadmio se encuentra unido a la fase residual con un valor mínimo por debajo del límite de detección hasta un máximo de 3,40 mg·kg⁻¹ y un promedio de 2,06 mg·kg⁻¹.

Esto demuestra que el cadmio se encontró principalmente asociado a la fase residual (51,52%) y a los oxihidróxidos de Fe y Mn (31,75%) y en menor proporción a la materia orgánica y sulfuros (11,66%) e intercambiable (5,07%), lo que indica que pueden existir fuentes antrópicas probables como las actividades domésticas y agrícolas que aumentan sus aportes en la zona. La presencia del metal en la fracción intercambiable, a pesar de ser la que se encuentra en menor proporción, puede indicar un problema de contaminación desde el punto de vista ambiental debido a la mayor movilidad y biodisponibilidad del elemento, debido a que se encuentra débilmente asociada a los sedimentos y por lo tanto, pequeños cambios en las condiciones ambientales del sistema acuático pueden provocar la desorción del metal hacia la columna de agua (Usero *et al.*, 1997).

Ramírez *et al.*(2005) indican que las fases intercambiables y enlazadas a la materia orgánica y sulfuros son potencialmente tóxicas para los organismos debido a que el metal es fácilmente removido y usado por los organismos. Por otro lado, estos elementos pueden ser solubilizados dependiendo de las condiciones físicas y químicas, tales como cambios en el pH, contenido de oxígeno disuelto y potencial redox, así como por la actividad bacteriana. El Cd asociado a los oxihidróxidos de Fe y Mn y en la fase residual puede deberse a pH mayores de 8,00 en los sedimentos. Valores elevados de pH favorecen la precipitación por formación de compuestos insolubles mayoritariamente

hidróxidos (Arribas *et al.*, 1995). El cadmio presenta afinidad por los oxihidróxidos de Fe y Mn.

Cinc (Zn)

El cinc es un elemento relativamente abundante en la naturaleza ($70 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en la corteza terrestre) que resulta esencial para los seres vivos, pero puede ocasionar toxicidad en los organismos marinos a elevadas concentraciones. Se encuentra en la naturaleza en forma de sulfuro, carbonato, óxido o silicato de zinc, y combinados con muchos otros minerales. La contaminación por este metal ocurre normalmente en los ecosistemas costeros que son afectados desde el litoral por vertidos urbanos e industriales, los cuales originan un incremento de sus concentraciones en agua y sedimento (Cobelo *et al.*, 2003).

El contenido total de cinc en el sector central del Golfo de Cariaco (Tabla A3) varió entre bajo el límite de detección a $114,01 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ con una concentración promedio $72,87 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. La Figura 20 muestra que el mayor contenido de Zn se encontró en la zona central del área en estudio y coinciden en donde se encontraron altos contenidos de carbono orgánico. Además, este metal está relacionado con el alto contenido de limo y con la materia volátil a 450°C . La concentración promedio en el presente estudio es inferior al valor promedio de $110 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ indicados por Sadiq (1992) como tolerancia máxima de los sedimentos no contaminados, lo que indica la poca incidencia del metal al entorno.

Martínez (2002) encontró para los sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco un valor promedio de cinc total de $57,66 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, valor inferior al promedio encontrado en el presente estudio y puede estar asociado tanto a las características granulométricas del sedimento como al contenido de materia orgánica que prevalece en dichos sedimentos. Mudarra (2002) reportó un promedio de zinc total de $35,50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ para los sedimentos superficiales de la Ensenada de Puerto Escondido, valor que es inferior tanto al

reportado para sedimentos no contaminados como a los encontrados en el presente estudio. Márquez (2003) en los sedimentos superficiales del Golfo de Santa Fe, obtuvo un promedio de zinc total de $58,63 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, valor que es similar a los promedios reportados para este estudio.

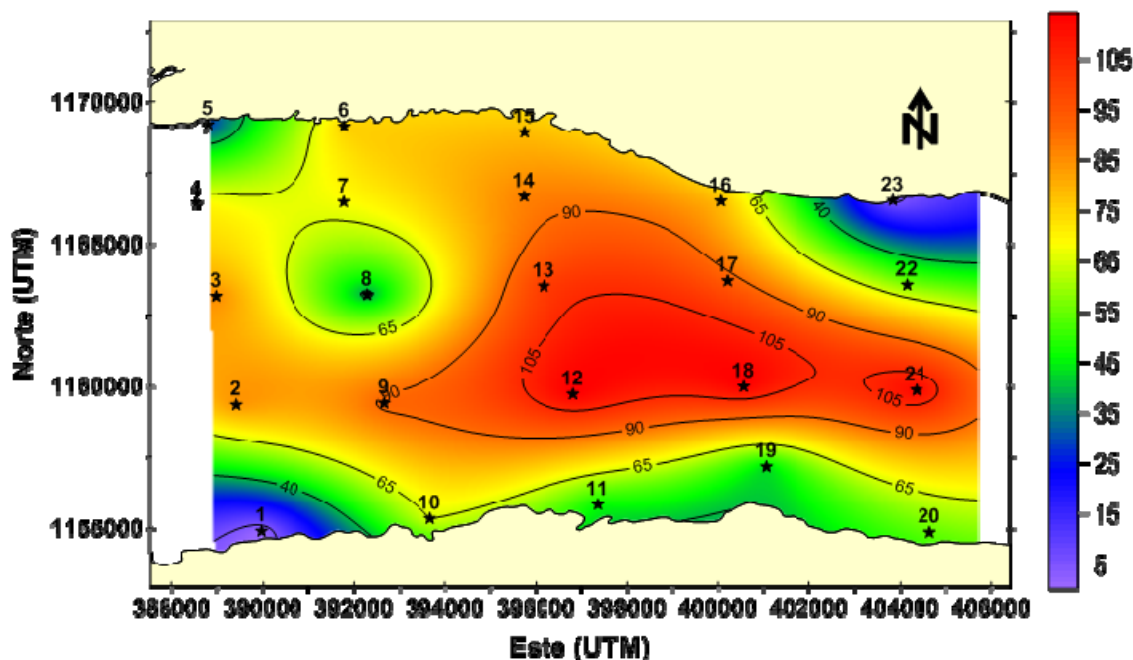


Figura 20. Distribución espacial de zinc total ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

De acuerdo a la Figura 21 y Tabla A10, el metal se encuentra presente en la fracción 3 en un 28,21% del zinc total, con valores desde por debajo del límite de detección hasta $36,66 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, con una concentración promedio de $21,70 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; la F4 con valores desde por debajo del límite de detección hasta $64,50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y un 44,61% del total y con un 27,18% de zinc total unido a la fase residual con valores desde por debajo del límite de detección hasta $32,95 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ con una concentración promedio de $21,91 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

El mayor porcentaje de zinc se encuentra asociado a la fase orgánica y sulfuros con un 44,61% del total, posiblemente asociado a la fracción de grano fino y relacionado fuertemente con el carbono orgánico (Sadiq, 1992). Por otra parte, dicho metal se encontró asociado a los oxihidróxidos de Fe y Mn en un 28,21%, el cual tiende a

absorberse en las superficies cargadas negativamente que están presentes en los sedimentos. Dentro de estas superficies las más importantes son las arcillas, materia orgánica y oxihidróxidos de Fe y Mn (Martínez *et al.*, 2006)

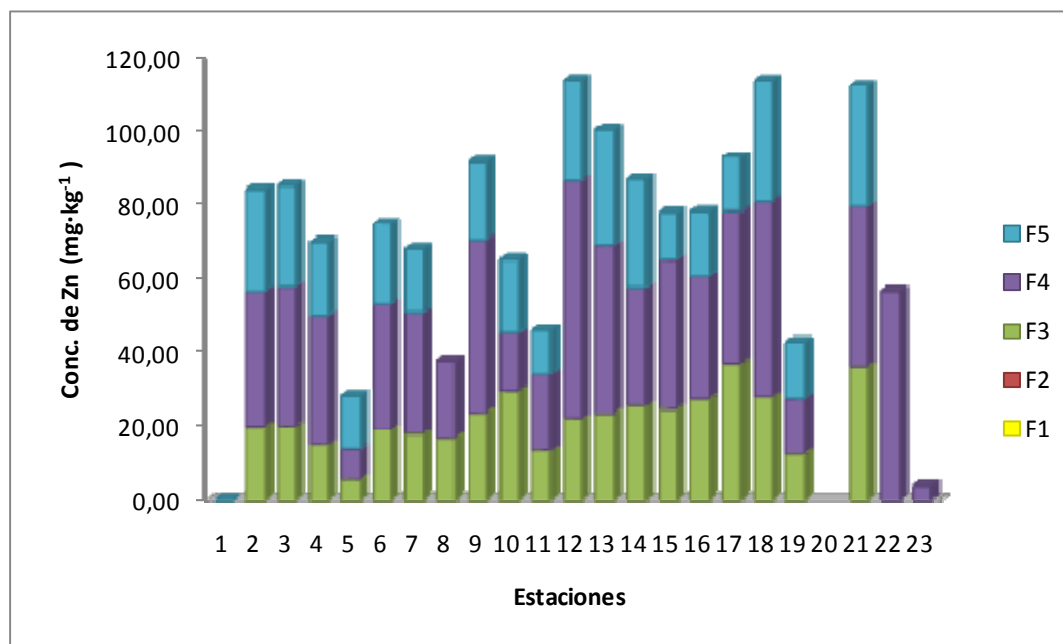


Figura 21. Concentraciones de cinc en cada una de las fracciones obtenidas de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

La presencia de cinc residual es bien reportada en muchas investigaciones. Aguilera (2002) señala en los sedimentos del Morro de Puerto Santo una especiación que muestra la mayor parte del metal de estos sedimentos enlazado a la fracción residual, lo cual indica un origen litogénico del metal o que éste se encuentra formando parte de la red cristalina de los minerales sedimentarios por lo que se le considera química y biológicamente estable e inerte.

Aluminio (Al)

El aluminio es el metal más abundante en la corteza terrestre, donde se encuentra combinado con oxígeno, flúor, sílice, etc., pero nunca en estado metálico. La principal fuente de aluminio es la bauxita, constituida por una mezcla de minerales formados

sobre las rocas que contienen aluminio. Las bauxitas constituyen la forma más rica de estos depósitos y contienen hasta un 55 % de alúmina. Algunos yacimientos lateríticos los cuales poseen porcentajes de hierro más elevados, poseen hasta un 35 % de Al_2O_3 . Este metal tiene múltiples aplicaciones industriales y se utiliza en cantidades mucho mayores que cualquier otro metal no ferroso (Nordberg, 1998).

El aluminio fue el segundo metal en abundancia entre los metales estudiados en esta investigación (Figura 22), cuyas concentraciones estuvieron desde 1573,85 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en la estación 11, hasta 12722,28 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en la estación 15, con una concentración promedio de 5504,68 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Comparando la distribución de este metal con la textura del sedimento, se puede notar que las concentraciones altas se encuentran en las estaciones limo-arenoso y areno-limoso, mientras que, las estaciones con textura arenosa tienen concentraciones bajas del metal. Las menores concentraciones de Al se ubicaron a lo largo de la costa sur y en los extremos de la costa norte del sector central del Golfo de Cariaco.

Un resultado similar fue reportado por Castellar (2004) para sedimentos superficiales del Golfo de Santa Fe, con una concentración promedio de aluminio de 5884,93 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Los valores reportados por Landaeta (2002) en los sedimentos superficiales de la región marino costera frente a la ciudad de Cumaná muestran concentraciones alrededor de 34186,23 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, muy superiores con respecto a los encontrados en la zona central del Golfo de Cariaco, indicando un alto contenido de aluminosilicatos. Sanguinetti (2009) reportó concentraciones de aluminio que oscilaron entre 472,67 y 6046,76 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, valores que son inferiores a los encontrados en el presente estudio.

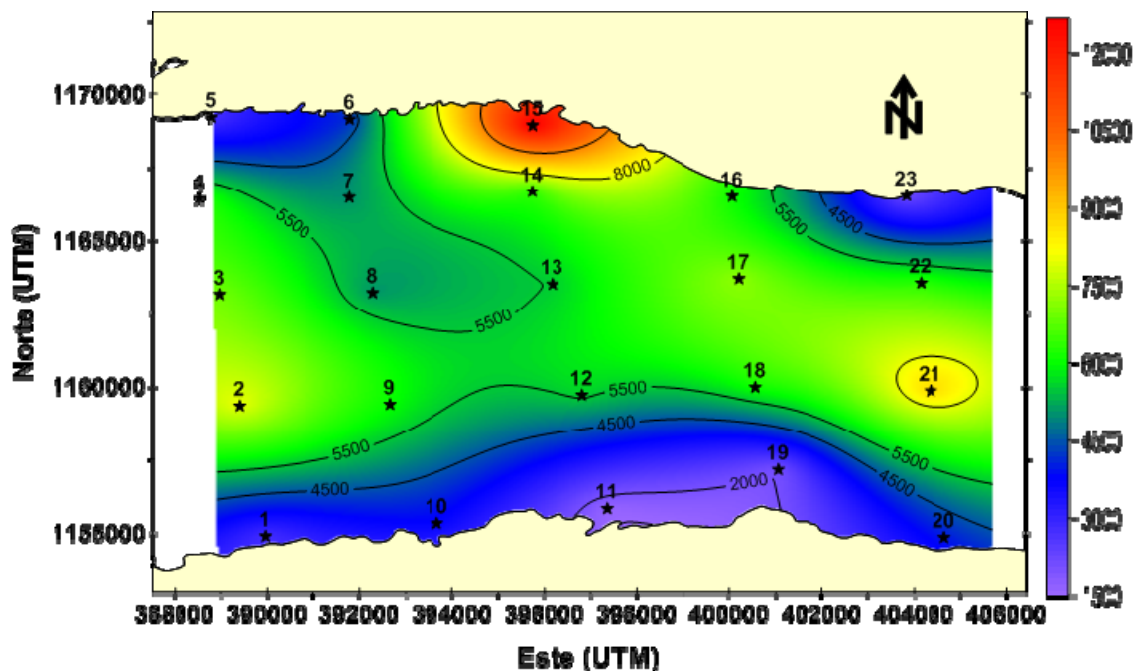


Figura 22. Distribución espacial de aluminio total ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

La Figura 23 (Tabla A11) muestra el fraccionamiento de aluminio en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, donde el metal se encuentra en la fracción intercambiable en un 0,12% respecto al aluminio total, con un máximo de $17,46 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en la estación 10 y un mínimo de no detectado en la estación 3 el promedio fue de $8,24 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; para la fracción 2, el promedio fue de $7,03 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, representando tan solo el 0,10% del Al total, con un valor máximo en la estación 1 de $41,98 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y un mínimo de $0,28 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en la estación 3; para la fracción 3, el promedio fue de $420,03 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, lo que representa un 6,18% del total; presentando un valor máximo de $731,48 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en la estación 17 y un mínimo de no detectado en la estación 22; El aluminio estuvo presente en fracción 4 con 41,19% con respecto al total y un promedio fue de $2799,57 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; presentando un valor máximo de $6136,93 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en la estación 15 y un mínimo de no detectado en las estaciones (de 1-10); por ultimo en la fracción 5, el promedio fue de $3561,81 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, lo que representa un 52,41% del total; presentando un

valor máximo de 7594,10 mg·kg⁻¹ en la estación 2 y un mínimo de 456,77 mg·kg⁻¹ en la estación 11.

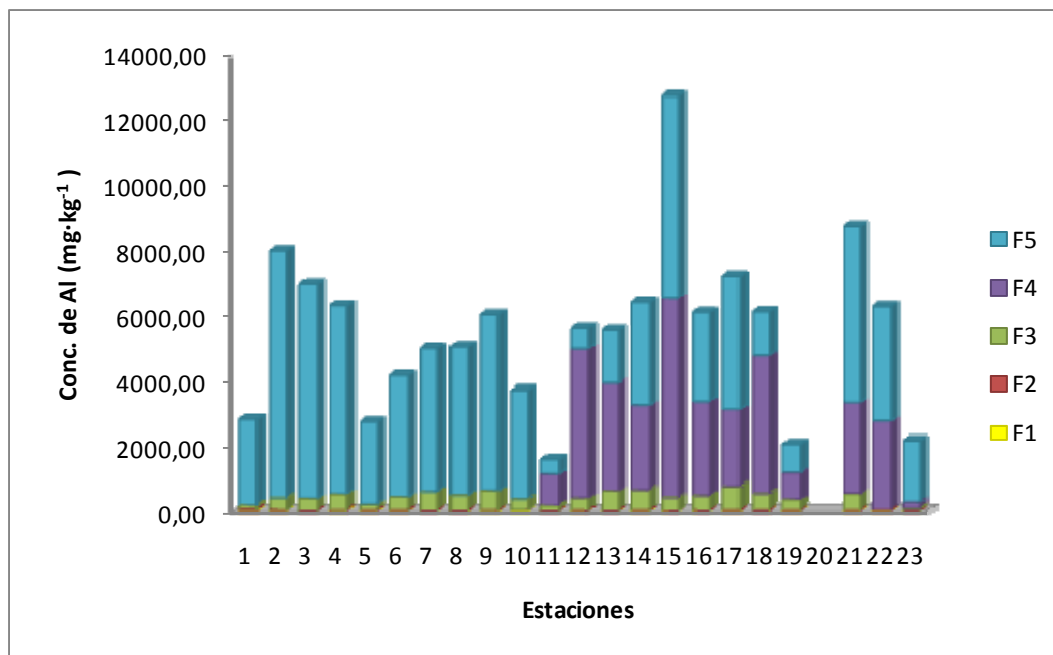


Figura 23. Concentraciones de aluminio en cada una de las fracciones obtenidas de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

De acuerdo con esto, los bajos valores en las fracciones 1 y 2 (intercambiable y unidos a carbonato) revelan que el aluminio muestra una baja biodisponibilidad en el ambiente bajo pequeñas variaciones del pH. Por otra parte, la materia orgánica juega un papel dominante en la distribución de los metales pesados en el ambiente (Salomons y Förstner, 1984; Prusty *et al.*, 1994) como se ve reflejado con las altas concentraciones en la F4, indicando que el Al se encuentra asociado a la materia orgánica y sulfuros que se depositan en los sedimentos de esta región marino-costera. Además, la presencia del aluminio en la fase residual indica que el metal forma parte de la estructura reticular de los componentes minerales de los sedimentos y no afecta de forma significativa el ambiente, ya que para disolver los minerales a los que éste se encuentra asociado, se necesitan cambios extremos en las condiciones del sedimento.

Manganeso (Mn)

El manganeso es un elemento menor en el agua de mar; sin embargo, está presente en cantidades apreciables en los sedimentos marinos. Este elemento químico es altamente reactivo, especialmente en sistemas acuáticos. Esto último afecta el equilibrio de los metales trazas en tres formas: a) adsorción de metales en la superficie de los óxidos de manganeso; b) coprecipitación de metales trazas y c) por las reacciones redox. Muchas investigaciones asocian la presencia del manganeso con las concentraciones de otros elementos como es el caso del cobalto y níquel.

Generalmente, la presencia de Mn en los sistemas acuáticos es favorecida por las fluctuaciones de los procesos redox y la formación de nódulos de Mn en los sedimentos pueden ser indicativo de un exceso del metal de origen antrópico, precipitado y depositado en los sedimentos, debido al amplio uso que se le ha dado en la industria del acero, aleaciones, construcción de barcos, metalurgia, industria química, cerámica y baterías, entre otros (Moore y Romammorthy, 1984, Martínez 1999).

En la Figura 24 se muestra la distribución espacial del manganeso en los sedimentos del sector central del Golfo de Cariaco. El contenido de Mn total varió desde un mínimo de $2,87 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ hasta $47,33 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ con una concentración promedio de $32,90 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. En general el comportamiento de este metal es regular para casi toda el área de estudio con las más bajas concentraciones en las estaciones 1 y 23 donde predomina la textura arenosa. Los altos valores determinados para este metal pueden estar asociados con la textura de los sedimentos que prevalecen (limo-arenosa y areno-limosa), al contenido de materia orgánica y carbono orgánico en los sedimentos superficiales de la zona en estudio.

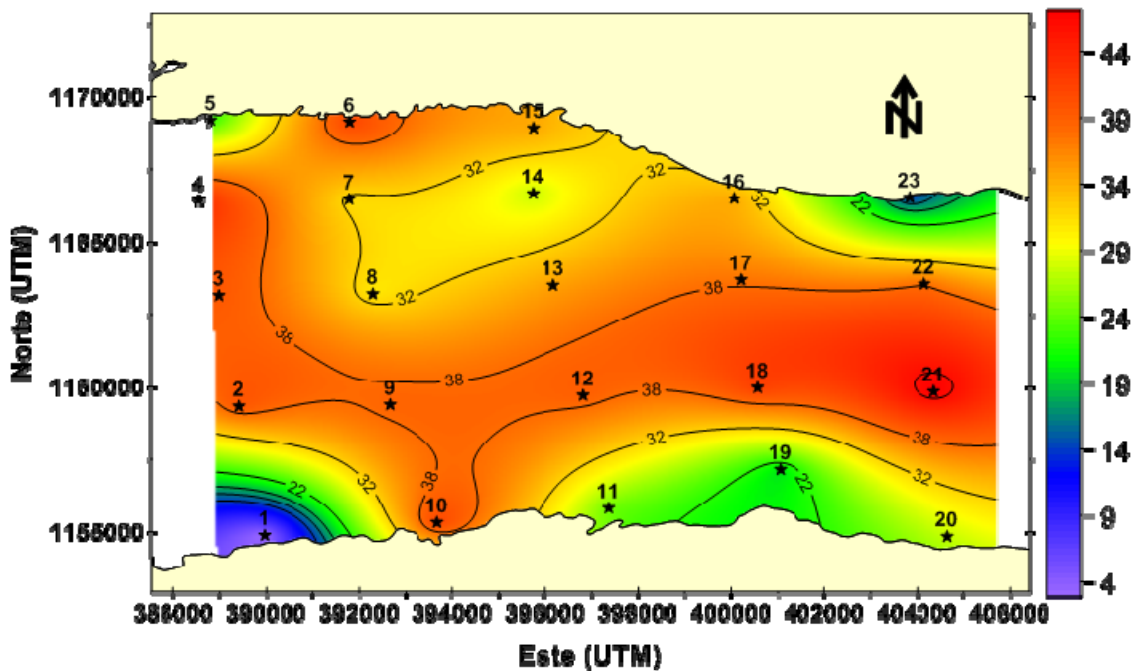


Figura 24. Distribución espacial de manganeso total ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

Martínez (2002) reportó un valor promedio de Mn total para los sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco de $74,11 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, siendo mayor que los encontrados en esta zona de estudio. Mudarra (2002) publicó un valor promedio del metal total de $17,00 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ para los sedimentos superficiales de la Ensenada de Puerto Escondido y atribuyó este comportamiento a la evolución del tipo de sedimento, así como también al aporte terrígeno que favorece los procesos abióticos por las condiciones redox que pueden existir. El valor promedio reportado por este autor es bastante inferior a los encontrados en el ecosistema estudiado. Márquez (2003) en los sedimentos superficiales del Golfo de Santa Fe, reportó un promedio de Mn total de $55,26 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, y señaló que estas altas concentraciones del metal pueden ser de origen natural ya que el manganeso se encuentran asociados a los oxihidróxidos y también se puede inferir que estos pueden provenir de efluentes domésticos e industriales.

La especiación de Mn en los sedimentos de la zona en estudio Figura 25 y Tabla A12 presenta concentraciones en la F1 que varían desde por debajo del límite de detección hasta $0,60 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (estación 21) con una concentración promedio de $0,26 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, representando el 0,71% del Mn total; 3,45% del Mn total se encontró unido a la F2 con valores desde por debajo del límite de detección (estación 23) hasta $4,92 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (estación 19) con un promedio de $1,24 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; el Mn unido a la F3 se halló en un 23,19% del total con concentraciones desde por debajo del límite de detección (estación 22) hasta $14,85 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (estación 6), con una concentración promedio de $8,31 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. El mayor porcentaje de Mn se encontró asociado a la materia orgánica y sulfuros (F4) con un 45,72% del total, donde las concentraciones oscilaron desde bajo del límite de detección (estaciones 1 y 8) hasta $33,72 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (estación 22) con una concentración promedio de $16,38 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, Mientras un 26,93% de manganeso total se encontró unido a la fase residual con valores por debajo del límite de detección (estación 19) hasta $22,24 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (estación 3) con una concentración promedio de $9,65 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

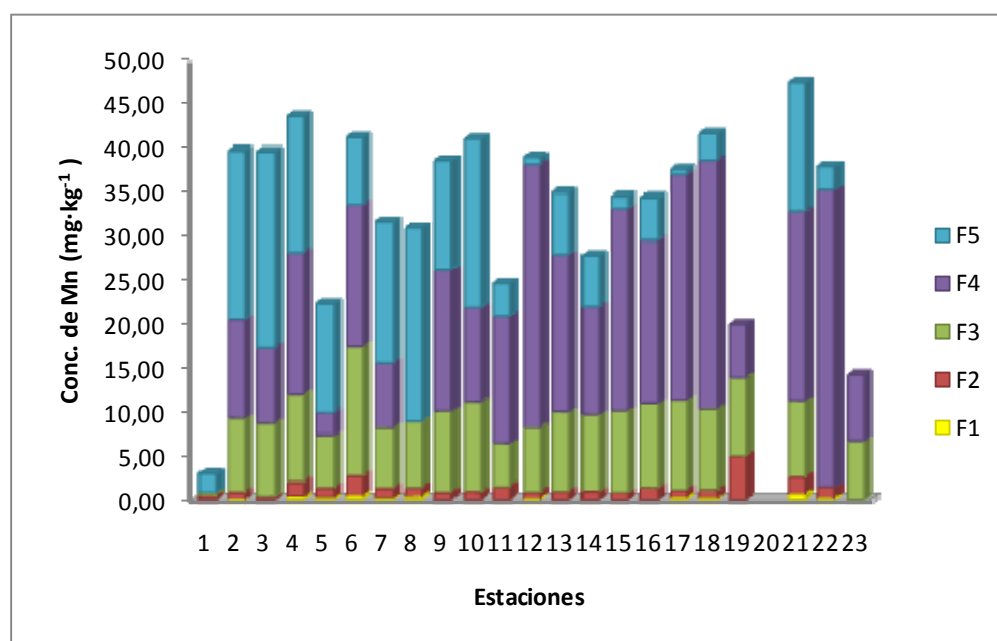


Figura 25. Concentraciones de manganeso en cada una de las fracciones obtenidas de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

De acuerdo a lo anterior, el manganeso se encontró mayormente asociado a la materia orgánica y sulfuros (45,72%), la cual es considerada como potencialmente biodisponible. Después de la fracción 4, la mayor proporción de Mn se encontró unida a la fase residual (26,93%); considerando que este metal, al igual que el hierro se encuentra mayormente formando parte de la estructura reticular de los componentes minerales de la fracción sedimentaria. La fuerte asociación del manganeso con los oxihidróxidos de Fe y Mn (23,19%) demuestra la alta capacidad de adsorción del metal en forma de oxihidróxidos coloidales. El proceso de formación de hidróxidos y óxidos insolubles en la que participa el manganeso es mayor en la estación 6 ubicada hacia la costa norte del Golfo de Cariaco. Cabe mencionar que esta misma estación es la que muestra la mayor concentración de hierro unido a oxihidróxidos de Fe y Mn.

También es notable la asociación del metal con los carbonatos como consecuencia de los procesos de adsorción y coprecipitación del Mn con CaCO_3 en los sedimentos superficiales. Igualmente, se observó la presencia de Mn intercambiable, como indicador de la posible influencia industrial y doméstica descargada en la zona. La presencia de este metal en estas últimas dos fracciones indica la biodisponibilidad del metal en los sedimentos del sector central del Golfo de Cariaco.

Investigaciones previas han reconocido la dependencia de las concentraciones de manganeso con factores como presión, temperatura, salinidad, contenido de carbonato de calcio, textura del grano, y condiciones redox en los sedimentos (Pederson y Price, 1982, De Lange, 1986).

Plomo (Pb)

Es uno de los metales más riesgoso para la salud humana. Puede entrar en el cuerpo humano a través de los alimentos (65%), agua (20%) y aire (15%). Al igual que el Cd, el Pb es muy tóxico y no se le conoce función biológica en los seres vivos. Este metal puede acumularse en los organismos acuáticos y organismos bentónicos, afectando su

salud, por envenenamiento. Sus efectos sobre los crustáceos pueden tener lugar incluso cuando solo hay pequeñas concentraciones presente (Barceló *et al.*, 1992).

Los minerales de plomo se encuentran en muchos lugares del mundo. El mineral más rico en Pb es la galena (PbS) y constituye la fuente principal de producción de este metal (Nordberg, 1998). El plomo está presente en los ecosistemas acuáticos y generalmente no es bioacumulado por los organismos acuáticos, este metal es altamente tóxico para los humanos, no desempeña ninguna función biológica y, por lo tanto, puede alterar el metabolismo de los organismos vivos (Rainbow, 1995). Las actividades antrópicas son las responsables de la mayor cantidad de este metal presente en el ambiente, proveniente principalmente de la combustión de la gasolina (Scoullou, 1986; Nriagu, 1988; Sadiq, 1992; Monbet, 2006).

En los ambientes marinos el plomo está predominantemente asociado con las partículas en suspensión y tiende a aumentar en los sedimentos, éste es un metal que afecta seriamente a la biota marina en cantidades trazas, ya que es altamente tóxico y al igual que los demás metales se adhiere a los sedimentos de textura fina con alto contenido orgánico cuando se encuentra en forma particulada.

La Figura 26 muestra la distribución espacial del plomo total en los sedimentos del área en estudio, con un comportamiento muy homogénea en casi toda el área, y las concentraciones oscilaron entre por debajo del límite de detección en la estación 23 y $13,50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en la estación 16, con un promedio de $10,18 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Este metal, al igual que el resto de los metales analizados muestra las menores concentraciones donde se encontraron las mayores concentraciones de arena (estaciones 1,23 y 19), ya que la textura arenosa desfavorece la adsorción metálica (partículas con menor área superficial) en la fracción sedimentaria además de las escorrentías continentales que arrastran todas las partículas y sustancias presentes en las costas hacia otras zonas de este ecosistema marino. Por otro lado, las altas concentraciones de Pb pueden estar asociados a la textura de los sedimentos que prevalecen (limo-arenosa y areno-limosa), al contenido de materia

orgánica y carbono orgánico en los sedimentos superficiales de la zona en estudio. Sadiq (1992) reportó que en los sedimentos no contaminados el contenido de plomo debe estar por debajo de $5,00 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, y en este estudio la concentración promedio es superior, pero cabe destacar que la evaluará si este contenido de plomo represente un riesgo para la biota bentónica.

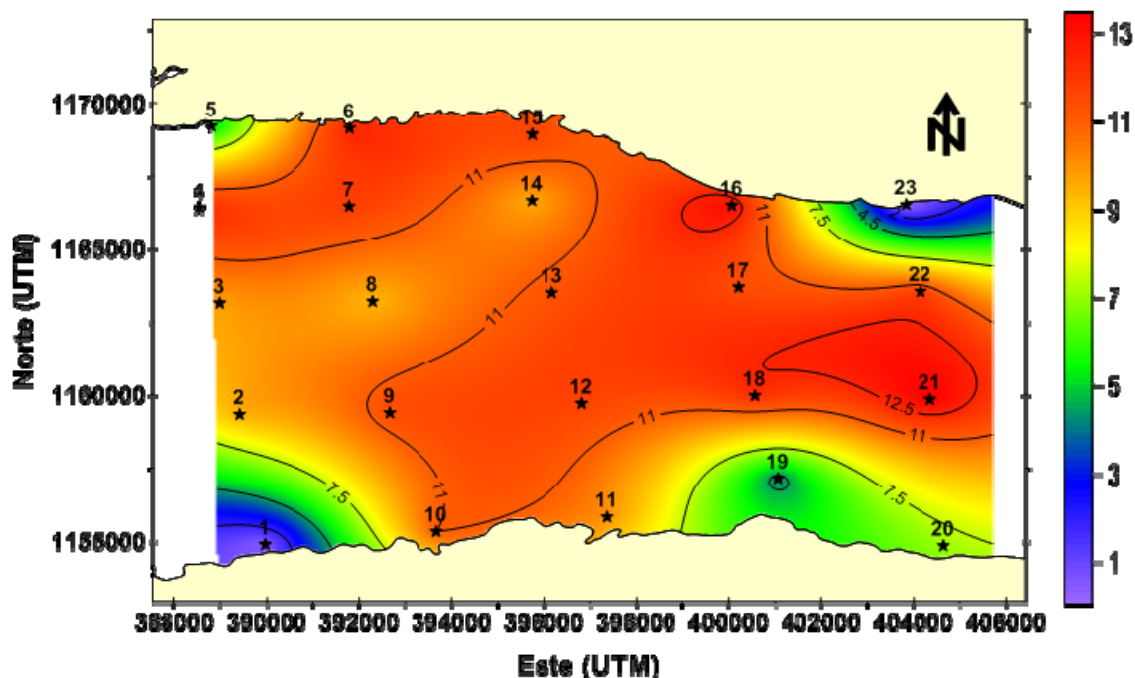


Figura 26. Distribución espacial de plomo total ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

Martínez (2002) encontró para los sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco un valor promedio de plomo total de $16,61 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, muy superior al valor de $5,00 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ establecidos para sedimentos no contaminados; este valor reportado es superior al promedio encontrado en el presente estudio. Para Martínez (2002), este resultado reflejó una fuerte influencia antrópica y señaló como principales fuentes el tráfico de embarcaciones, mayormente con motores fuera de borda, los pescadores de la zona utilizan plomo como lastre en sus aparejos y redes de pescar, y gran cantidad de dicho metal van a parar a los sedimentos del fondo. Mudarra (2002) reportó un valor promedio de plomo total de $31,57 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ para los sedimentos superficiales de la Ensenada de Puerto Escondido, valor muy superior al reportado para sedimentos no contaminados, y

es bastante superior a los encontrados en el presente estudio. Márquez (2003) en los sedimentos superficiales del Golfo de Santa Fe, obtuvo un promedio de plomo total de $2,41 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, valor que es inferior al reportado para este estudio.

Las concentraciones de plomo encontradas en las diferentes fracciones del sedimento (Figura 27 y Tabla A13) fueron con un 2,50% unido a los carbonatos con una concentración de $0,27 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ como valor máximo y promedio en la estación 6. En la F3 con un 26,59% del Pb total con valores desde bajo el límite de detección (estaciones 1,22 y 23) hasta un valor máximo de $4,55 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (estación 15) con un promedio de $2,92 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. En la F4 con un 50,15% del total con valores que oscilaron desde bajo el límite de detección (estaciones 1 y 23) hasta un valor máximo de $8,36 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (estación 22) con un promedio de $5,51 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y finalmente unido a la fase residual con un 20,76% del Pb total y valores desde bajo el límite de detección (estación 23) hasta un valor máximo de $3,98 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (estación 21) con un promedio de $2,28 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

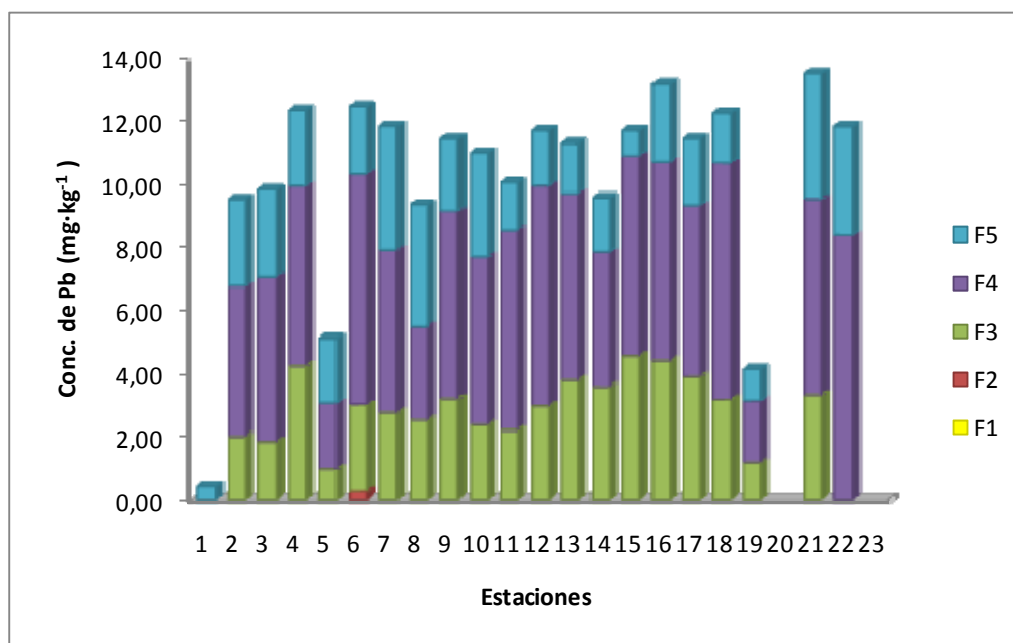


Figura 27. Concentraciones de plomo en cada una de las fracciones obtenidas de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

Los resultados anteriores muestran una fuerte asociación del plomo con la fracción unida a la materia orgánica y sulfuro, los oxihidróxidos de Fe y Mn y residual; Según Vink *et al.* (1999) el hecho de que el Pb se encuentre mayormente unido a la materia orgánica se debe a que el Pb se asocia bajo condiciones anaeróbicas, cuando el pH se halla en torno a 7 y puede formar complejos, con ligandos orgánicos, óxidos y arcillas. Los oxihidróxidos constituyen una carga eléctrica activa que atrae el plomo en los ecosistemas, lo que produce tanto adsorción del metal como formación de fase sólida en sus superficies. Por otra parte, este metal también puede coprecipitarse como hidratos de hierro, siendo esta fase la más susceptible al pasar al cuerpo de agua si se produce en el sedimento condiciones reductoras, donde los óxidos tienen alto poder de adsorción, además de ser inestables. Esta asociación se justifica por el alto contenido de materia orgánica reportado para estos sedimentos. La presencia de plomo en la fracción residual demuestra la existencia del metal en las estructuras cristalinas de los sedimentos.

En la fracción asociada a los carbonatos, una de las fracciones más biodisponible, se detectó plomo sólo en la estación 6 y que además está por debajo del límite para sedimento contaminado. En consecuencia, se puede decir que el Pb no se encuentra en su forma biodisponible, indicando un riesgo menor para el ecosistema.

Análisis de correlación

Estadísticamente, el análisis de correlación de Pearson es una forma de determinar la fluctuación, oscilación o covarianza existente entre dos parámetros, determinando la semejanza en el comportamiento, causa y consecuencias de uno sobre otro. En general, una alta correlación entre elementos indica que éstos tienen orígenes similares y poseen una conducta química análoga. Usando un sistema de análisis estadístico multivariante, se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson para establecer los grados de asociación existentes entre las diferentes variables analizadas en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

El análisis de correlación (Tabla 4) refleja una clara dependencia de la textura y los metales estudiados, la arena presenta una correlación positiva solo con el porcentaje de equivalentes de carbonato de calcio, que aunque es positiva no es significativa ($\leq 0,5$) y con los demás parámetros una correlación negativa significativa, lo que indica que mientras aumenta el porcentaje de arena disminuye el % de materia orgánica, carbono orgánico, limo, arcilla y las concentraciones de todos los metales analizados en los sedimentos superficiales de Golfo de Cariaco. Antecedentes de algunos estudios señalan que el tamaño de grano y los contenidos de materia orgánica de origen marino, terrestre y antropogénico constituyen los principales factores de control de la distribución de los elementos metálicos en los sedimentos de ambientes acuáticos (Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1994; Naidu *et al.*, 1997; Shriadah, 1999; Rubio *et al.*, 2000).

El material volátil a 450°C presenta una correlación positiva y significativa con ocho de los diez metales estudiados, no presentando correlación con el Fe ni con el Cr. También puede observarse que ésta presenta una fuerte correlación con el carbono orgánico, el limo y la arcilla. Ahumada (1992), señala que por lo general los metales presentan correlación con la materia orgánica, ya que parece ser el factor determinante en la distribución y concentración de metales en los sedimentos superficiales de muchos ecosistemas marinos costeros, observación que ha sido corroborada por Rosales y Álvarez (1986) y Palanques y Díaz (1994), entre otros. Rubio *et al.* (2000) señalan que existe una clara dependencia de los niveles de metales con respecto al contenido de materia orgánica en los sedimentos de la Ría de Vigo.

Para los sedimentos del sector central del Golfo de Cariaco se puede inferir que las concentraciones de los metales están fuertemente controladas por el contenido de carbono orgánico. Esto es consistente con las correlaciones positivas significativas entre los metales y el carbono orgánico, al compararlos con la composición granulométrica y el material volátil a 450°C de los sedimentos, los cuales fueron menos pronunciados.

La matriz de correlación muestra que la concentración de casi todos los metales analizados están fuertemente influenciados por la materia orgánica (material volátil a 450°C y carbono orgánico) hecho que también es mostrado en la especiación química de los metales donde la mayoría de los metales se encontraron unidos a la fase orgánica.

Asimismo, las correlaciones entre los metales son todas positivas y significativas excepto el caso del Fe y Al, Cr (Fe, Co, Mn y Pb) que son positivas pero no significativas ($r < 0,5$); estas correlaciones significativas indican que estos metales tienen un origen común y, por lo tanto, provienen de la misma fuente y geoquímicamente son similares (Rosas, 2001; Velásquez, 2005). El hierro presenta correlación positiva significativa a altamente significativas con la mayoría de los metales estudiados, excepto con el aluminio y el cromo. Rubio *et al.* (1995; 2000) afirman que las correlaciones de los metales con el hierro debe ser el comportamiento esperado en condiciones naturales, ya que el hierro es un elemento definitorio de las características de los sedimentos, razón por la cual la relación del hierro con cualquier otro metal formará una tendencia lineal, lo contrario podría ser significativo de una contaminación de origen antrópico.

El manganeso, presenta correlaciones positivas y significativas con nueve de los diez metales analizados, menos con el cromo, lo que sugiere un mismo origen y sistema de transporte. Rosales y Álvarez (1986) indican que es muy frecuente encontrar correlación entre varios metales y a su vez con el hierro y manganeso, sugiriendo una misma fuente y sistema de transporte, así como su adsorción en los oxihidróxidos de hierro y manganeso. Rubio *et al.* (2001) afirman que el contenido metales trazas y su correlación con otros parámetros en diferentes ecosistemas costeros exhiben un amplio rango que es reflejo de las condiciones locales, determinada principalmente por los aportes o procesos de remoción que se presentan en cada zona.

Tabla 4. Matriz de correlación de Pearson que expresa la asociación entre los metales con la textura, materia volátil a 450°C, carbono orgánico total y equivalentes de carbonato de calcio de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

	Arena	Limo	Arcilla	MV	Corg	CaCO ₃	Fe	Cu	Co	Cr	Ni	Cd	Zn	Al	Mn	Pb
Arena	1,000															
Limo	-0,995	1,000														
Arcilla	-0,595	0,510*	1,000													
MV	-0,632	0,595*	0,644*	1,000												
Corg	-0,649	0,613*	0,646*	0,731*	1,000											
CaCO ₃	0,433	-0,393	-0,555	-0,305	-0,480	1,000										
Fe	-0,574	0,552*	0,486	0,375	0,583*	-0,451	1,000									
Cu	-0,530	0,501*	0,524*	0,619*	0,733*	-0,472	0,620	1,000								
Co	-0,593	0,562*	0,575*	0,631*	0,824*	-0,588	0,763*	0,782*	1,000							
Cr	-0,387	0,426	-0,100	0,406	0,493*	0,028	0,288	0,480*	0,423	1,000						
Ni	-0,434	0,412	0,409	0,760*	0,786*	-0,307	0,559*	0,795*	0,866*	0,603*	1,000					
Cd	-0,697	0,682*	0,501*	0,758*	0,793*	-0,422	0,755*	0,719*	0,877*	0,571*	0,847*	1,000				
Zn	-0,593	0,596*	0,302	0,571*	0,759*	-0,488	0,559*	0,741*	0,878*	0,630*	0,824*	0,817*	1,000			
Al	-0,543	0,544*	0,293	0,572*	0,592*	-0,352	0,361	0,760*	0,542*	0,517*	0,605*	0,592*	0,622*	1,000		
Mn	-0,616	0,598*	0,488*	0,616*	0,715*	-0,368	0,743*	0,695*	0,875*	0,430	0,775*	0,829*	0,831*	0,592*	1,000	
Pb	-0,680	0,647*	0,634*	0,639*	0,849*	-0,575	0,769*	0,810*	0,909*	0,407	0,753*	0,838*	0,822*	0,581*	0,897*	1,000

*= Significativo

CONCLUSIONES

De acuerdo con las concentraciones totales, determinadas en los sedimentos superficiales del sector central del golfo de Cariaco, el metal que presentó mayor concentración en la zona de estudio fue el hierro; con el siguiente orden de abundancia: Fe > Zn > Mn > Cr > Ni > Pb > Cu > Cd > Co.

La especiación geoquímica de los metales pesados en los sedimentos del sector central del Golfo de Cariaco sigue el siguiente orden: materia orgánica y sulfuros > residual > óxidos de Fe y Mn > carbonatos > intercambiables, lo cual indica que estos metales pueden estar asociados fuertemente a la materia orgánica que se deposita en los sedimentos de esta región marino costera. A excepción del Co y el Zn, los demás metales estudiados están presentes en las fracciones más disponibles (metales asociados a carbonatos e iones intercambiables), lo cual indica una alta movilidad y biodisponibilidad de estos elementos en el Golfo de Cariaco.

Las concentraciones de los metales en los sedimentos evaluados se encuentran asociadas directamente con la textura del grano prevaeciente (limo-arenosa y areno-limosa), éstos tienen más afinidad con las partículas finas del sedimento (limos y arcilla).

Se obtuvieron correlaciones significativas entre el material volátil a 450°C, el carbono orgánico y los metales pesados (excepto MV-Fe y MV-Cr), indicando que la materia orgánica (material volátil a 450°C y carbono orgánico) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo Cariaco puede ser el factor determinante en el enriquecimiento y distribución de los metales pesados.

BIBLIOGRAFÍA

- Adam, P. 1990. *Saltmarsh ecology*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Aguilera, D. 2005. Evaluación geoquímica de los sedimentos superficiales de las bahías este y oeste del Morro de Puerto Santo, estado Sucre, Venezuela. Trabajo de postgrado. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná.
- Ahumada, R. 1992. Patrones de distribución de Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, y Pb en sedimentos superficiales de la Bahía San Vicente, Chile. *Revista de Biología Marina*, 27(2): 265-282.
- Ahumada, R.; González, E. y Neira, J. 2004. Especiación de zinc en sedimentos marinos del fiordo Aysén. *Investigaciones Marinas*, 32(1): 3-10.
- Alagarsamy, R. 2006. Distribution and seasonal variation of trace metals in surface sediments of the Madovi estuary, west coast of India. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 67: 333-339.
- Alloway, B.J. 1995. *Heavy metals in soils*. B.J. Alloway (ed.). Segunda edición. Blackie Academic and Professional.
- Aloupi, M. y Angelidis, M. 2002. The Significance of coarse sediments in metal pollution studies in the coastal zone. *Water, Air, and Soil Pollution*, 133: 121-131.
- Aranda, S. 1999. Condiciones geoquímicas de los sedimentos superficiales de la Ensenada Grande del Obispo, estado Sucre. Trabajo de pregrado. Departamento de Química, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.
- Arribas, A., Cunniggham, C., Tosdal, R. 1995. Geology, geochronology fluid inclusions and isotope geochemistry of the Rodalquilar Gold Alunide deposit, Spain. *Economic Geology and the bulletin of the society*, 90(4): 795-822
- Astorga, I. y Silva, N. 2003. Textura, materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno total en sedimentos marinos superficiales de la X Región. Informe preliminar de crucero CIMAR 10 Fiordo. Pág: 203-216.
- Baeyens, W.; Monteny, F.; Leermakers, M. y Bouillon, S. 2003. Evaluation of sequential extractions on dry and wet sediments. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 376: 890-901.
- Barceló, I.; Flores, J. y Solis, H. 1992. Determinación de las diferentes fracciones de plomo en fase acuosa del Lago Artificial del Parque Tezozomoc de la Cd. De México D.F., Memorias del VIII Congreso Nacional de la SMISAAC; Cocoyoc, Morelos.

- Benedicto, J.; Martínez-Gómez, C.; Guerrero J.; Jornet, A. y Rodríguez, C. 2008. Metal contamination in Portman Bay (Murcia, SE Spain) 15 years after the cessation of mining activities. *Ciencias Marinas*, 34(3): 389-398.
- Birge, W.; Black, J.; Westerman, A. y Francis, P. 1987. Toxicity of sediments-associated metals to freshwater organisms: Biomonitoring procedures. En K.L. Dickson, A.W. Maki & W.A. Brungs (eds.), *Fate and effects of sediment-bound chemicals in aquatic systems*. Pergamon Press, New York, NY. Págs. 199-219.
- Bonilla, J. 1982. Algunas características geoquímicas de los sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 21(1y2): 133-155.
- Bonilla, J.; Cedeño, J. y Gamboa, B. 1986. Características químicas en sedimentos de la bahía de Pozuelo y áreas adyacentes, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 25(1y2): 215-231.
- Bonilla, J. y González, C. 1992. Algunos aspectos geoquímicos y características químicas en los sedimentos de la Laguna de Píritu, Estado Anzoátegui, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 31(1 y 2): 27-44.
- Bonilla, J. y Lin, C. 1979. Materia orgánica en los sedimentos de los Golfos de Paria y Cariaco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 31(1 y 2): 12-23.
- Bonilla, J., Fermín, J. y González, C. 1998. Análisis estadístico multivariantes aplicado al grado textural y a los aspectos geoquímicos de los sedimentos del ecosistema marino costero de Jose, Estado Anzoátegui, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 37(1 y 2): 53-62.
- Bonilla, J.; Aranda, S.; Ramírez, C.; Moya, J. y Espinosa, L. 2003. Calidad de los sedimentos superficiales de la Ensenada Grande del Obispo, Estado Sucre, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 42(1 y 2): 3-27.
- Brannon, J.; Plumb, R. y Smith, I. 1980. Long-term release of heavy metals from sediments. En R.A. Baker (ed.) *Contaminants and sediments: Vol 2. Analysis, chemistry, biology*. An Arbor Science, Ann Arbor, MI. Págs. 221-266.
- Brown, G; Foster, A. y Ostergren, J. 1999. Mineral surfaces and bioavailability of heavy of metals: A molecular-scale perspective. *Proceedings of the National Academy Sciences. USA*, 96: 3388-3395.
- Buccolieri, A.; Buccolieri, N.; Cardellicchio, A.; Dell Atti, A.; Di Leo y A. Maci. 2006. Heavy metals in the marine sediments of Taranto Gulf (Ionian Sea, southern Italy). *Marine Chemistry*, 99: 227-235.

- Burgess, R. y Scott, K. 1992. The significance of in-place contaminated marine sediments on the water column: Process and effects. En G.A. Burton (ed.), *Sediment Toxicity Assessment*. Lewis Publishers, Chelsea, MI. Págs. 129-165.
- Caraballo, L. 1982. El Golfo de Cariaco. Parte III. Contenido de carbonatos y constituyentes de las partículas de los sedimentos. Su distribución por el fondo. Fauna característica. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 21(1y2): 67-83.
- Castellar, F. 2004. Estudio geoquímico de los sedimentos superficiales del Golfo de Santa Fe, estado Sucre, Venezuela. Trabajo de pregrado. Departamento de Química. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.
- Castillo, I.; Acosta, V.; Martínez, G.; y Núñez, M. 2005. Niveles de metales pesados en gónadas y músculo aductor del mejillón marrón, *Perna perna*, cultivado en la ensenada de Turpialito, Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. *Zootecnia Tropical*, 23(2): 141-154.
- Cobelo, A.; Priego, R. y Nieto, O. 2003. Especiación química del plomo disuelto en ambientes contaminados. Caso de estudio: la Ría de Pontevedra (NO España). *Ciencias Marinas*, 29(4): 377-388.
- Crecelius, E., Bother, M., Carpenter, R. 1975. Geochemistry of arsenic, antimony, mercury and related elements in sediments of Pauget Sound. *Environment Science* 9: 325-333
- D'Amore, J.; Al-Abed, S.; Scheckel, K. y Ryan, J. 2005. Methods for speciation of metals in soils: a review. *Journal Environmental Quality*, 34: 1707-1745.
- Dássele, L.; Camacho, J.; Carriquiry, M. y Ortiz, M. 2004. The geochemistry and sources of metals and phosphorus in the recent sediments from the Northern gulf of California. *Continental Shelf Research*, 21: 1310-1345.
- Davidson, C.; Thomas, R.; McVey, S.; Perala, R.; Littlejohn, D. y Ure, A. 1994. Evaluation of sequential extraction procedure for speciation of heavy metals in sediments. *Analytica Chimica Acta*, 291: 277-286.
- Díaz, A. 2008. Especiación de los metales pesados manganeso, plomo, níquel, cobre, cinc y cadmio en sedimentos del Saco del Golfo de Cariaco, Venezuela. Trabajo de pregrado. Departamento de Química, Universidad de Oriente, Cumaná.
- Espinoza, L. 2001. Aspectos químicos de los sedimentos superficiales de los litorales norte y sur del Golfo de Cariaco. Trabajo de pregrado. Departamento de Química. Universidad de Oriente, Cumaná.

- Förstner, U. 1984. Effects of salinity on the metal sorption onto organic particulate matter. *Netherlands Institute for Sea Research Publication Series*, 10: 195-209.
- Fuentes, M. 1998. Condiciones geoquímicas de los sedimentos superficiales de la Laguna de Chacopata, estado Sucre, Venezuela. Trabajo de postgrado Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente. Cumaná.
- Gamboa, B., Bonilla, J., y Cedeño, G. 1986. Concentración de algunos metales pesados en sedimentos superficiales de la Bahía de Pozuelos y áreas adyacentes, Estado Anzoátegui. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 25(1 y 2): 233-240.
- Gómez, J.; Fuentes M.; Leone, O. y Vega, C. 2006. Características geoquímicas de los sedimentos superficiales de la Bahía de Panamá. *Tecnociencia*, 8: 113-132.
- González, C. 1995. Caracterización ambiental: Calidad del agua y sedimentos del ecosistema Puerto Pesquero de Cumaná, Edo. Sucre. Venezuela. Trabajo de Ascenso a Profesor Asociado. Escuela de Ciencias. Universidad de Oriente. Núcleo Nueva Esparta. Venezuela.
- Guiñez, M.; Valdés, J. y Siffedine, A. 2010. Variabilidad espacial y temporal de la materia orgánica sedimentaria, asociada a la zona de mínimo oxígeno (ZMO), en un ambiente costero del norte de la corriente de Humboldt, bahía de Mejillones, Chile. *Latin american journal of aquatic research*, 38(2):242-253.
- Heanes, D. 1984. Determination of total organic-C in soils by an improved chromic acid digestion and spectrophotometric procedure. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 15: 1191-1213.
- Hedges, J. 1992. Global biogeochemical cycles: progress and problems. *Marine Chemistry*, 39: 67-93.
- Hernández, S.; Franco, C. y Herrera, C. 2008. Carbono orgánico y materia orgánica en sedimentos superficiales de la Bahía Concepción. *Ciencia Ahora*, 21: 28-34.
- Howard, J. y Sledzinski, G. 1996. Geochemical behavior of lead in an altisol an ultisol at high levels of contamination. *Journal Soil Contamination*, 5: 61-81.
- Kirby, J.; Maher, W. y Krikowa, F. 2001. Selenium, cadmium, and zinc concentration in sediments and mullet (*Mugilcephalus*) from the Southern Basin of lake Macquarie, NSW, Australia. *Archivos de Contaminación y Toxicología Ambiental*, 41(2): 171-181.
- Klavins, M. and Virkavs, M. 2001. Metals in sediments of inland waters of Latvia. *Boreal Environmental Research*, 6: 297-306

- Landaeta, R. 2002. Especiación de metales en sedimentos superficiales de la región marino-costera frente a la ciudad de Cumaná, estado Sucre, Venezuela. Trabajo de pregrado. Departamento de Química. Universidad de Oriente, Cumaná.
- Lewis, B. y Landing, W. 1992. The investigation of dissolved and suspended particulate trace metal fractionation in the Black Sea. *Marine Chemistry*, 40: 105-141.
- Li, y. H. 1981. Ultimate removal mechanism of trace elements from ocean. *Geochimica et Cosmochimica, Acta* 45: 1659-1664.
- López, F., Senior, W., Fermín, I. Márquez, A. y Martínez, G. 2006. Fraccionamiento de los metales pesados Fe, Cd, Cr. y Pb en los sedimentos superficiales de la laguna de Piritu. Estado Anzoátegui, Venezuela. *Boletín del Instituto de Oceanográfico de Venezuela*, 45(1): 51-60.
- Loring, D. y Asmund, G. 1995. Geochemical factors controlling accumulation. *Environmental Geology*, 28(1): 1-11.
- Luoma, S. y Davis, J. 1983. Requirements for modeling trace metal partitioning in oxidized estuarine sediments. *Marine Chemistry*, 12: 159-181.
- Márquez, J. 2003. Algunos aspectos de la condición ambiental, la calidad del agua y sedimentos del Golfo de Santa Fe. Trabajo de pregrado. Departamento de Química. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.
- Márquez, A.; Bonilla, J.; Martínez, G.; Senior, W.; Aguilera, D. y González, A. 2005. Estudio geoquímico de los sedimentos superficiales del litoral nororiental del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. *Boletín del Instituto de Oceanográfico de Venezuela*, 44(2): 89-103.
- Márquez, A., Senior, W; Martínez, G; Castañeda, J; y González, A. (2008). Concentraciones de metales en sedimentos y tejidos musculares de algunos peces de la laguna de Castillero, Venezuela. *Revista Científica*, 18(2): 121-133.
- Martínez, G. 1996. Algunos metales pesados en sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. Trabajo de ascenso. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná.
- Martínez, G. 1999. Especiación de metales pesados en la cuenca baja y pluma del Río Manzanares, estado Sucre, Venezuela. Trabajo de postgrado. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná.
- Martínez, G. 2002. Metales pesados en sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 41(1 y 2): 83-96.

- Martínez, G.; Rodríguez, L. y Senior, W. 2002. Especiación de Cd, Zn, Cr y Pb en núcleos de sedimentos de la bahía de Bergantín, Edo. Anzoátegui, Venezuela. *Interciencia*, 27(4): 173-179.
- Martínez, G; Senior, W. y Márquez A. 2006. Especiación de metales pesados en la fracción disuelta de las aguas superficiales de la cuenca baja y la pluma del Río Manzanares, Estado Sucre. *Ciencias Marinas*, 32(2): 239-257.
- Marval, M. 2008. Geoquímica de metales pesados en sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco, Venezuela. Trabajo de postgrado. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná.
- Miyazawa, M., Pavan, M., Oliveira, E. de, Ionashiro, M. and Silva, A. (2000b), Gravimetric determination of soil organic matter. Brazilian. *Archives of Biology and Technology*, 43: 475-478.
- Moore, J. y Ramammorthy, S. 1984. *Heavy metals in natural Waters*. Springer-Verlog, New York.
- Moreno, M. 2003. *Toxicología ambiental. Evaluación de riesgo para la salud humana*. McGraw-Hill/Interamericana de España. Madrid.
- Monbet, P. 2006. Mass balance of lead through a small macrotidal estuary (Brittany, France). *Marine Chemistry*, 98: 59-80.
- Moya. A. 2010. Fraccionamiento geoquímico de metales trazas en sedimentos superficiales del sector oriental del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela, Trabajo de pregrado. Departamento de Química. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.
- Mudarra, O. 2002. Hidroquímica de la Ensenada de Puerto Escondido, estado Sucre, Venezuela. Trabajo de pregrado. Departamento de Química. Universidad de Oriente. Cumaná.
- Naidu, A.; Blanchard, A.; Kelley, J.; Goering, J.; Hameed, M. y Baskaran, M. 1997. Heavy metals in Chukchi Sea sediments as compared to selected Circum-arctic Shelves. *Marine Pollution Bulletin*, 35(7): 260-269.
- Nriagu, J. 1988. A silent epidemic of environmental metal poisoning. *Environmental Pollution*, 50: 139-161.
- Nriagu, J. y Nieboer, E. 1988. *Chromium in the natural and human environments*. Wiley series in advances in environmental sciences and technology. John Wiley and Sons, New York.

Nordberg, G. "Metales: propiedades químicas y toxicidad". *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*. 1998 ed., Cap. 63: 2-51.

Okuda, T. 1964. Some problems for the determination of organic carbón in hidrográficas del Golfo de Cariaco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 3(1 y 2): 106-117.

Okuda, T.; Benitez, J.; Bonilla, J. y Cedeño, G. 1978. Características hidrográficas del Golfo de Cariaco, Venezuela. *Boletín del Instituto de Oceanográfico de Venezuela*, 17(1 y 2): 69-88.

Palanques, A. y Díaz, J. 1994. Anthropogenic heavy metals pollution in the sediment of the Barcelona continental Shelf (NorthwesternMediterranean). *Marine Environmental Research*, 38: 17-31.

Pederson, T. y Price, N. 1982. The geochemistry of manganese carbonate in Panama basin sediments. *Geochimica et Cosmochimica, Acta* 46: 59-65.

Prusty, B.; Sahu, K. y Godgul, G. 1994. Metal contamination due to mining and milling activities at the Zawar zinc mine, Rajasthan, India. I. Contamination of stream sediments. *Chemical Geology*, 112: 275-295.

Quevauviller, P.; Ure, A.; Muntau, H. y Griepink, B. 1993. Improvement of analytical measurements within the BCR-Programme: single and sequential extraction procedures applied to soil and sediment analysis. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 51: 129-134.

Rainbow, P. 1995. Biomonitoring of heavy metal availability in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 31: 183-192.

Ramírez, M., Massolo, S., Frache, R. y Correa, J. 2005. Metal speciation and environmental impact on Sandy beaches due to El Savador copper mine, Chile. *Marine Pollution Bulletin*, 50: 62-72.

Rapin, F.; Tessier, A.; Campbell, G. y Carignan, R. 1986. Potencial artifacts in the determination of metal partitioning in sediments by sequential extraction procedure. *Environmental Science and Technology*, 20: 836-840.

Rodriguez, E. 2007. Fraccionamiento geoquímico de algunos metales pesados en los sedimentos superficiales de la zona marino-costera de Cumaná, estado Sucre, Venezuela. Trabajo de pregrado. Departamento de Química, Universidad de Oriente, Cumaná.

- Rojas, N. y Silva N. 2003. Distribución espacial de textura, carbono y nitrógeno en sedimentos recientes en canales y fiordos chilenos, Golfo Corcovado (43° 50' S) a Golfo Elefantes (46° 30' S), Chile. *Ciencia y Tecnología del Mar*, 25: 15-31.
- Rosales, L. y Álvarez, U. 1986. Sedimentological and chemical studies in sediment from Alvarado Lagoon system, Veracruz, México. Universidad Nacional Autónoma de México *Anuales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.*, 13(3): 19-28.
- Rosas, H. 2001. Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca de Llobregat. Trabajo de postgrado. Universidad Politécnica de Manresa. España.
- Rubio, B.; Nombela, M.; Vilas, F.; Alejo, I.; García-Gil, E. y Pazos, O. 1995. Distribución y enriquecimiento de metales pesados en sedimentos actuales de la parte interna de la Ría de Pontevedra. *Thalassas*, 11: 35-45.
- Rubio, B.; Nombela, M. y Vilas, F. 2000. Geochemistry of major and trace elements in sediments of the Ria de Vigo (NW Spain): assessment of metal pollution. *Marine Pollution Bulletin*, 40(11): 968-980.
- Rubio, B.; Pye, K.; Rae, J. y Rey, D. 2001. Sedimentological characteristics, heavy metal distribution and magnetic properties in subtidal sediments, Ría de Pontevedra, NW Spain. *Sedimentology*, 48: 1-20.
- Sadiq, M. 1992. *Toxic Metal Chemistry in Marine Environments. Series Advisors Environmental Science and Pollution Control Series.* Marcel Dekker, N. Inc., New York.
- Salazar, J. 1989. Condiciones hidrogeoquímicas de la región estuarina-deltaica del río Orinoco durante el mes de noviembre de 1985. Trabajo de postgrado. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná.
- Salomons, W. y Förstner, U. 1984. *Metals in the Hydrocycle.* Springer-Verlag, Berlin, Heilderberg, New York, Tokyo.
- Sanguinetti, O. 2009. Evaluación de los métodos propuestos por Campanella y BCR utilizados para la extracción secuencial de metales pesados en sedimentos y posibles efectos tóxicos de estos sedimentos. Trabajo de pregrado. Departamento de Química, Universidad de Oriente, Cumaná.
- Schumacher, B.A. 2002. Methods for determination of total organic carbon (TOC) in soils and development. US Environmental Protection Agency. Las Vegas, NV. 25 p.
- Scoullou, M. J. 1986. Lead in Coastal sediments: the case of the Elefsis Gulf, Greece. *Science of the Total Environment*, 49: 199-219.

- Sheppard, F. 1954. Nomenclature based on the sand-silt-clay ratios. *Journal Sediment of Petrology*, 24(3): 151-158.
- Shriadah, M. 1999. Occurrence of trace metals in the Arabian Gulf and the Gulf of Oman sediments off the United Arab Emirates. *Oebalia*, 25: 43-52.
- Singh, A., Hasnain, S., Banerjee, D. 1999. Grain size and geochemical partitioning of heavy metals in sediments of the Damodar River a tributary of lower, India. *Environmental Geology*. 39(1): 90-98.
- Soledispa, B. 2007. Características de la sedimentación marina litoral comprendida entre las puntilla de Santa Elena y Punta Alcón, Provincia de Santa Elena, Ecuador. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 14: 181-188.
- Tessier, A. 1999. Chemical speciation of metals and bioavailability. Proceedings of 8th European Research Conference. Conférencier invité. Carfagnana, Italie. Pág. 298.
- Tessier, A.; Campbell, P. y Bisson, M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytica Chemistry*, 51(7): 844-851.
- UDO-CORPOVEN. 1991. Caracterización ambiental del área de Jose. Proyecto AFEAM. Convenio IOV (UDO)-CORPOVEN.
- UDO-CORPOVEN. 1992. Estudio ambiental de las costas del estado Anzoátegui. Proyecto EACA-Área de Jose. Informe final. Convenio IOV (UDO)-CORPOVEN.
- UNESCO, 1976. Joint group of experts on the scientific aspects of marine pollution. Review of harmful substances, *Reports and Studies* N° 2, New York. 24 pp.
- Usero, J., Morillo, J. y Gracia, I. 1997. Contaminación por metales pesados en sedimentos acuáticos del río Odiel. *Tecnología del agua*, 130: 47-54.
- Valdés, J. y Sifeddine, A. 2009. Composición elemental y contenido de metales en sedimentos marinos de la bahía Mejillones del Sur, Chile: evaluación ambiental de la zona costera. *Latin American Journal Aquatic Research*, 37(2): 131-141.
- Velásquez, L. 2005. Distribución y comportamiento de los metales pesados Cd, Cu, Ni, Zn, Fe, Mn, Co, Cr y Pb en sedimentos superficiales del sector oriental del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. Trabajo de pregrado. Departamento de Química, Universidad de Oriente, Cumaná.
- Vink, R.; Behrendt, H. y Salomons, W. 1999. Development of the heavy metal pollution trends in several European rivers: an analysis of point diffuse sources. *Water Science Technology*, 39(12): 215-223.

Vogel, A. 1989. *Textbook of Practical Organic Chemistry*, Fifth Edition, Longman Scientific and Technical, London.

Walkley, A. and Black I. A. 1934. An Examination of Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. *Soil Science*, 37: 29-37

Warnken, K.; Gill, G.; Griffin, L. and Santschi, P. 2001. Sediment-water exchange of Mn, Fe, Ni and Zn in Galveston Bay, Texas. *Marine Chemistry*, 73: 215-231.

Wells, M. y Mayer, L. 1991. Variations in the chemical lability of iron in estuarine coastal and shelf waters and its implications for phytoplankton. *Marine Chemistry*, 32: 195-210.

APÉNDICE

Tabla A1. Texturas de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre.

Estaciones	Granulometría y textura (%)			
	%Arena	%Limo	%Arcilla	Textura
1	89,90	0,72	9,39	Arenosa
2	14,49	72,15	13,36	Limo-arenosa
3	38,24	49,08	12,68	Limo-arenosa
4	58,97	26,00	15,04	Areno-limosa
5	29,90	53,43	16,68	Limo-arenosa
6	30,61	55,63	13,76	Limo-arenosa
7	40,64	43,97	15,39	Limo-arenosa
8	68,64	15,62	15,74	Areno-arcillo-limosa
9	50,31	34,06	15,62	Areno-limosa
10	44,73	39,65	15,62	Areno-limosa
11	51,52	35,08	13,40	Areno-limosa
12	64,65	21,61	13,74	Areno-limosa
13	32,75	53,52	13,73	Limo-arenosa
14	30,98	56,05	12,97	Limo-arenosa
15	30,27	54,34	15,39	Limo-arenosa
16	24,26	60,35	15,40	Limo-arenosa
17	28,31	57,94	13,75	Limo-arenosa
18	39,99	48,63	11,38	Limo-arenosa
19	71,94	16,32	11,73	Areno-limosa
20	-	-	-	-
21	39,88	48,36	11,76	Limo-arenosa
22	28,24	56,00	15,76	Limo-arenosa
23	94,24	0,00	5,76	Arenosa
Promedio	45,61	40,84	13,55	-
Mínimo	14,49	0,00	5,76	-
Máximo	94,24	72,15	16,68	-
DS	21,16	19,78	2,50	-

DS: Desviación estándar

Tabla A2. Porcentaje de materia orgánica, carbonatos y carbono orgánico de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

Estaciones	Material volátil a 450°C (%)	Carbonatos (%)	Carbono orgánico (%)
1	1,51	11,54	1,15
2	18,55	14,31	7,80
3	19,13	23,13	9,02
4	21,47	18,26	8,08
5	27,41	37,30	7,28
6	18,89	18,78	10,04
7	26,40	13,32	12,28
8	23,30	11,38	11,79
9	17,56	15,61	15,23
10	10,47	20,92	10,65
11	3,91	13,35	6,32
12	22,61	18,16	11,72
13	21,17	10,39	15,58
14	22,04	13,57	12,44
15	21,84	11,89	12,82
16	17,56	13,32	13,88
17	20,90	9,70	12,14
18	19,76	11,71	11,74
19	3,67	7,46	2,79
20	-	-	-
21	21,25	9,16	12,14
22	20,37	13,35	12,52
23	2,95	100,00	1,29
Promedio	17,40	18,94	9,94
Mínimo	1,51	7,46	1,15
Máximo	27,41	100,05	15,58
DS	7,69	19,18	4,11

DS: Desviación estándar

Tabla A3. Concentraciones totales en $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de los metales Fe, Cu, Co, Cr, Ni, Cd, Zn, Al, Mn y Pb en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

Estaciones	Fe	Cu	Co	Cr	Ni	Cd	Zn	Al	Mn	Pb
1	1165,00	<LD	0,05	4,34	1,12	<LD	<LD	2802,59	2,87	0,44
2	13673,23	13,35	2,19	20,57	23,02	3,21	84,14	7989,06	39,61	9,52
3	14339,90	15,70	2,25	21,31	26,77	4,03	85,27	6935,71	39,53	9,81
4	14187,88	16,08	2,54	19,34	27,64	4,28	69,75	6308,36	43,61	12,35
5	6390,93	6,77	1,16	13,25	14,04	2,70	28,03	2723,08	22,30	5,11
6	16095,55	11,31	1,63	24,73	16,22	2,85	75,01	4142,02	41,12	12,47
7	11752,59	13,24	2,31	13,02	25,47	3,85	67,98	5004,32	31,52	11,82
8	10996,07	13,53	2,03	9,82	25,49	1,79	37,54	5053,65	30,84	9,35
9	13221,49	14,24	2,65	15,39	26,97	3,58	91,55	6023,96	38,52	11,41
10	16238,63	9,11	2,26	11,47	16,38	2,81	65,11	3699,64	40,92	11,00
11	16867,34	15,43	1,93	6,21	12,81	1,84	45,85	1573,85	24,50	10,03
12	14771,86	24,29	2,76	39,80	38,48	4,18	114,01	5592,06	38,92	11,68
13	13000,12	15,28	2,62	38,93	30,87	4,41	100,42	5526,69	34,87	11,28
14	11121,64	15,10	2,17	34,40	23,83	3,82	86,89	6412,61	27,72	9,56
15	11685,59	27,04	1,99	31,60	23,26	2,82	78,06	12722,28	34,45	11,68
16	12343,06	15,36	2,12	34,49	19,28	3,38	78,29	6095,79	34,27	13,16
17	16494,78	15,49	2,56	55,55	28,53	4,44	92,95	7179,50	37,51	11,41
18	15321,93	14,43	2,85	38,94	28,80	4,18	113,95	6113,50	41,54	12,25
19	7816,72	4,37	1,38	5,92	6,77	0,35	42,78	2047,92	19,84	4,12
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	18124,15	17,75	2,71	33,80	26,90	5,07	112,40	8713,43	47,33	13,50
22	29640,64	17,57	2,59	26,83	25,72	5,24	56,75	6285,03	37,86	11,80
23	1651,50	0,34	0,06	30,63	9,81	<LD	3,60	2157,96	14,09	<LD
Promedio	13040,94	14,08	2,04	24,11	21,74	3,44	72,87	5504,68	32,90	10,18
Máximo	29640,64	27,04	2,85	55,55	38,48	5,24	114,01	12722,28	47,33	13,50
Mínimo	1165,00	<LD	0,05	4,34	1,12	<LD	<LD	1573,85	2,87	<LD
DS	5827,98	5,84	0,78	13,55	8,79	1,19	29,19	2542,03	10,65	3,22

<LD: bajo el límite de detección.DS: Desviación estándar

Tabla A4. Concentraciones en $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de hierro presente en las diferentes fracciones de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

Estaciones	F1	F2	F3	F4	F5
1	4,67	17,21	277,79	<LD	865,32
2	9,07	8,67	1400,60	7829,11	4425,78
3	<LD	<LD	1143,17	7871,66	5325,07
4	8,62	4,80	2440,48	9703,62	2030,36
5	6,05	0,55	785,88	3744,02	1854,43
6	6,41	1,97	3556,84	9533,43	2996,89
7	1,54	0,22	2120,60	6789,82	2840,41
8	3,57	0,20	1994,15	3063,60	5934,54
9	6,45	4,01	1588,56	9642,22	1980,25
10	8,34	6,46	1540,48	9450,74	5232,61
11	8,85	2,74	1563,60	14832,86	459,28
12	3,52	0,75	1180,62	13355,45	231,52
13	0,55	1,22	2030,07	8575,13	2393,15
14	3,84	1,07	2338,66	6671,32	2106,75
15	3,48	0,27	1334,86	10014,83	332,14
16	1,73	3,82	1690,21	8319,36	2327,94
17	2,71	2,84	1918,27	11907,70	2663,26
18	2,82	1,17	1589,80	13114,84	613,30
19	5,25	2,85	1843,10	5801,52	164,01
20	-	-	-	-	-
21	4,71	2,77	2293,70	10960,54	4862,44
22	4,09	1,96	<LD	14814,27	14820,32
23	1,33	0,00	306,98	517,45	825,75
Promedio	4,65	3,12	1663,73	8881,59	2967,52
Mínimo	<LD	<LD	<LD	<LD	164,01
Máximo	9,07	17,21	3556,84	14832,86	14820,32
Porcentaje	0,03	0,02	12,31	65,69	21,95
DS	2,58	3,91	736,20	3720,25	3188,60

<LD: bajo el límite de detección.DS: Desviación estándar

Tabla A5. Concentraciones en $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de cobre presente en las diferentes fracciones de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

Estaciones	F1	F2	F3	F4	F5
1	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
2	<LD	<LD	<LD	3,40	9,94
3	<LD	<LD	<LD	5,08	10,62
4	<LD	<LD	<LD	7,02	9,06
5	0,05	<LD	<LD	<LD	6,72
6	<LD	<LD	<LD	9,31	2,00
7	<LD	<LD	<LD	5,84	7,40
8	<LD	<LD	<LD	<LD	13,53
9	<LD	<LD	<LD	7,92	6,31
10	<LD	<LD	<LD	0,37	8,73
11	<LD	<LD	<LD	13,13	2,30
12	<LD	<LD	<LD	18,61	5,69
13	<LD	<LD	<LD	13,11	2,17
14	<LD	<LD	<LD	9,20	5,91
15	<LD	<LD	<LD	23,58	3,46
16	<LD	<LD	<LD	10,53	4,83
17	<LD	<LD	<LD	15,08	0,41
18	<LD	<LD	<LD	13,42	1,02
19	<LD	<LD	<LD	3,05	1,32
20	-	-	-	-	-
21	<LD	<LD	<LD	10,61	7,14
22	<LD	<LD	<LD	17,57	<LD
23	<LD	<LD	<LD	0,34	<LD
Promedio	0,05	-	-	9,85	5,71
Mínimo	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Máximo	0,05	<LD	<LD	23,58	13,53
Porcentaje	0,32	-	-	63,09	36,59
DS	-	-	-	6,26	3,68

<LD: bajo el límite de detección.DS: Desviación estándar

Tabla A6. Concentraciones en $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de cobalto presente en las diferentes fracciones de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

Estaciones	F1	F2	F3	F4	F5
1	<LD	<LD	<LD	<LD	0,05
2	<LD	<LD	<LD	0,22	1,97
3	<LD	<LD	<LD	<LD	2,25
4	<LD	<LD	0,05	0,40	2,09
5	<LD	<LD	<LD	<LD	1,16
6	<LD	<LD	0,45	0,27	0,91
7	<LD	<LD	0,25	0,15	1,91
8	<LD	<LD	<LD	<LD	2,03
9	<LD	<LD	0,10	0,65	1,90
10	<LD	<LD	0,05	<LD	2,21
11	<LD	<LD	<LD	1,06	0,87
12	<LD	<LD	<LD	1,67	1,09
13	<LD	<LD	0,12	1,02	1,47
14	<LD	<LD	0,35	0,47	1,35
15	<LD	<LD	<LD	0,89	1,10
16	<LD	<LD	0,25	0,79	1,08
17	<LD	<LD	0,49	1,28	0,78
18	<LD	<LD	0,25	1,40	1,20
19	<LD	<LD	0,07	0,47	0,83
20	-	-	-	-	-
21	<LD	<LD	0,37	0,75	1,59
22	<LD	<LD	<LD	1,67	0,92
23	<LD	<LD	<LD	<LD	0,06
Promedio	-	-	0,23	0,82	1,31
Mínimo	<LD	<LD	<LD	<LD	0,05
Máximo	<LD	<LD	0,49	1,67	2,25
Porcentaje	-	-	9,89	34,79	55,33
DS	-	-	0,16	0,49	0,63

<LD: bajo el límite de detección.DS: Desviación estándar

Tabla A7. Concentraciones en $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de cromo presente en las diferentes fracciones de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

Estaciones	F1	F2	F3	F4	F5
1	0,10	0,07	2,07	<LD	2,10
2	0,22	<LD	8,67	<LD	11,67
3	0,15	<LD	8,28	<LD	12,88
4	0,07	<LD	10,77	<LD	8,50
5	0,20	<LD	5,80	<LD	7,25
6	0,07	<LD	14,50	<LD	10,15
7	<LD	0,04	7,28	<LD	5,70
8	0,25	<LD	9,58	<LD	<LD
9	0,22	0,14	7,97	<LD	7,05
10	0,07	<LD	5,66	<LD	5,74
11	<LD	<LD	2,13	3,02	1,06
12	0,37	<LD	6,71	24,72	8,01
13	0,02	0,04	9,70	18,10	11,07
14	0,15	<LD	8,28	13,51	12,47
15	0,20	0,17	7,09	18,71	5,44
16	0,05	0,07	7,55	18,57	8,26
17	<LD	<LD	7,63	20,85	27,07
18	0,12	<LD	7,91	20,48	10,43
19	0,10	<LD	1,95	2,52	1,35
20	-	-	-	-	-
21	0,15	0,09	8,49	16,09	8,97
22	0,15	<LD	<LD	26,68	<LD
23	0,15	<LD	5,89	4,46	20,13
Promedio	0,15	0,09	7,33	15,64	9,26
Mínimo	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Máximo	0,37	0,17	14,50	26,68	27,07
Porcentaje	0,46	0,27	22,57	48,17	28,53
DS	0,08	0,05	2,92	8,20	6,08

<LD: bajo el límite de detección.DS: Desviación estándar

Tabla A8. Concentraciones en $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de níquel presente en las diferentes fracciones de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

Estaciones	F1	F2	F3	F4	F5
1	<LD	0,02	0,67	<LD	0,42
2	0,15	<LD	4,40	<LD	18,48
3	<LD	0,02	5,25	<LD	21,49
4	<LD	<LD	7,30	<LD	20,35
5	0,02	0,02	3,99	<LD	10,01
6	<LD	0,05	9,18	<LD	6,99
7	<LD	0,10	8,59	<LD	16,78
8	0,02	0,02	7,37	<LD	18,08
9	0,07	0,15	7,23	<LD	19,53
10	<LD	<LD	5,12	<LD	11,26
11	<LD	0,12	1,56	8,56	2,57
12	0,05	0,17	5,71	25,36	7,18
13	<LD	0,22	8,95	18,75	2,96
14	<LD	0,17	9,87	12,37	1,42
15	<LD	0,02	4,62	14,66	3,95
16	<LD	0,07	5,99	12,55	0,66
17	<LD	0,05	10,19	17,15	1,14
18	<LD	0,10	7,46	20,38	0,86
19	<LD	<LD	2,10	3,05	1,62
20	-	-	-	-	-
21	<LD	0,10	7,30	12,80	6,70
22	0,07	0,10	<LD	21,71	3,84
23	<LD	0,02	0,96	1,31	7,52
Promedio	0,07	0,09	5,90	14,05	8,35
Mínimo	<LD	<LD	<LD	<LD	0,42
Máximo	0,15	0,22	10,19	25,36	21,49
Porcentaje	0,23	0,31	20,72	49,39	29,36
DS	0,05	0,06	2,88	7,26	7,41

<LD: bajo el límite de detección.DS: Desviación estándar

Tabla A9. Concentraciones en $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de cadmio presente en las diferentes fracciones de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

Estaciones	F1	F2	F3	F4	F5
1	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
2	<LD	<LD	0,22	0,52	2,47
3	<LD	<LD	1,14	0,87	2,02
4	<LD	<LD	1,35	0,75	2,18
5	0,02	<LD	0,20	0,02	2,45
6	<LD	<LD	1,67	0,90	0,28
7	<LD	<LD	1,34	0,45	2,07
8	<LD	<LD	1,49	0,30	<LD
9	<LD	<LD	0,77	0,62	2,19
10	<LD	<LD	<LD	0,35	2,46
11	<LD	<LD	<LD	0,17	1,67
12	<LD	<LD	0,72	0,82	2,64
13	<LD	<LD	2,32	0,40	1,69
14	<LD	<LD	2,27	<LD	1,55
15	<LD	<LD	0,84	0,05	1,93
16	0,02	<LD	1,28	0,05	2,03
17	<LD	<LD	2,37	0,22	1,85
18	0,07	<LD	1,10	0,42	2,58
19	<LD	<LD	<LD	<LD	0,35
20	-	-	-	-	-
21	0,40	<LD	1,22	0,12	3,33
22	0,49	<LD	<LD	1,35	3,40
23	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Promedio	0,20	-	1,27	0,47	2,06
Mínimo	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Máximo	0,49	<LD	2,37	1,35	3,40
Porcentaje	5,07	-	31,75	11,66	51,52
DS	0,22	-	0,66	0,36	0,79

<LD: bajo el límite de detección.DS: Desviación estándar

Tabla A10. Concentraciones en $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de cinc presente en las diferentes fracciones de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

Estaciones	F1	F2	F3	F4	F5
1	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
2	<LD	<LD	19,65	37,03	27,45
3	<LD	<LD	19,75	38,16	27,35
4	<LD	<LD	14,68	35,14	19,94
5	<LD	<LD	5,14	8,15	14,75
6	<LD	<LD	18,77	33,96	22,28
7	<LD	<LD	17,49	33,16	17,33
8	<LD	<LD	16,35	21,18	<LD
9	<LD	<LD	23,43	46,92	21,20
10	<LD	<LD	29,43	15,64	20,04
11	<LD	<LD	13,06	20,65	12,14
12	<LD	<LD	21,95	64,50	27,56
13	<LD	<LD	23,17	45,74	31,51
14	<LD	<LD	25,39	32,31	29,19
15	<LD	<LD	24,48	40,51	13,07
16	<LD	<LD	27,20	33,44	17,65
17	<LD	<LD	36,66	41,71	14,59
18	<LD	<LD	27,82	53,18	32,95
19	<LD	<LD	12,05	15,12	15,62
20	-	-	-	-	-
21	<LD	<LD	35,80	43,87	32,73
22	<LD	<LD	<LD	56,75	<LD
23	<LD	<LD	<LD	3,60	<LD
Promedio	-	-	21,70	34,32	20,91
Mínimo	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Máximo	<LD	<LD	36,66	64,50	32,95
Porcentaje	-	-	28,21	44,61	27,18
DS	-	-	7,93	15,78	8,51

<LD: bajo el límite de detección.DS: Desviación estándar

Tabla A11. Concentraciones en $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de aluminio presente en las diferentes fracciones de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

Estaciones	F1	F2	F3	F4	F5
1	9,99	41,98	121,04	<LD	2629,57
2	12,27	11,61	371,08	<LD	7594,10
3	<LD	0,28	384,28	<LD	6551,14
4	16,64	6,16	495,79	<LD	5789,76
5	15,29	2,32	184,05	<LD	2521,40
6	10,80	6,17	418,41	<LD	3706,64
7	3,14	2,41	588,34	<LD	4410,42
8	5,61	1,67	480,25	<LD	4566,13
9	12,78	9,20	601,45	<LD	5400,52
10	17,46	10,81	341,17	<LD	3330,21
11	3,66	1,94	154,60	956,88	456,77
12	4,76	3,97	389,81	4591,48	602,04
13	3,12	3,72	613,71	3280,49	1625,66
14	9,40	3,87	627,73	2602,71	3168,89
15	5,24	1,91	402,12	6136,93	6176,08
16	3,38	4,99	466,75	2877,50	2743,17
17	6,86	12,37	731,48	2365,00	4063,78
18	5,89	5,17	524,04	4247,73	1330,67
19	5,52	4,40	338,54	813,51	885,94
20	-	-	-	-	-
21	9,29	8,95	514,64	2799,92	5380,63
22	9,90	9,76	<LD	2732,04	3533,33
23	2,07	1,04	71,38	190,62	1892,86
Promedio	8,24	7,03	420,03	2799,57	3561,81
Mínimo	<LD	0,28	<LD	<LD	456,77
Máximo	17,46	41,98	731,48	6136,93	7594,10
Porcentaje	0,12	0,10	6,18	41,19	52,41
DS	4,66	8,60	176,79	1680,43	2018,83

<LD: bajo el límite de detección.DS: Desviación estándar

Tabla A12. Concentraciones en $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de manganeso presente en las diferentes fracciones de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

Estaciones	F1	F2	F3	F4	F5
1	<LD	0,32	0,47	<LD	2,07
2	0,02	0,77	8,45	11,18	19,20
3	<LD	0,32	8,28	8,70	22,24
4	0,40	1,52	10,10	16,04	15,54
5	0,30	1,00	6,00	2,54	12,46
6	0,40	2,20	14,85	16,09	7,58
7	0,22	1,04	6,78	7,43	16,04
8	0,35	0,99	7,52	<LD	21,98
9	<LD	0,77	9,27	16,05	12,44
10	<LD	0,87	10,23	10,75	19,07
11	<LD	1,43	4,97	14,41	3,68
12	0,07	0,77	7,23	30,03	0,81
13	<LD	0,92	9,05	17,87	7,03
14	<LD	0,92	8,73	12,29	5,78
15	<LD	0,82	9,27	22,99	1,38
16	<LD	1,36	9,59	18,49	4,83
17	0,20	0,89	10,22	25,62	0,59
18	0,15	0,92	9,18	28,31	2,98
19	<LD	4,92	8,82	6,10	<LD
20	-	-	-	-	-
21	0,60	1,84	8,77	21,57	14,54
22	0,10	1,35	<LD	33,72	2,70
23	<LD	<LD	6,70	7,39	<LD
Promedio	0,26	1,24	8,31	16,38	9,65
Mínimo	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Máximo	0,60	4,92	14,85	33,72	22,24
Porcentaje	0,71	3,45	23,19	45,72	26,93
DS	0,17	0,95	2,68	8,55	7,50

<LD: bajo el límite de detección.DS: Desviación estándar

Tabla A13. Concentraciones en $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de plomo presente en las diferentes fracciones de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

Estaciones	F1	F2	F3	F4	F5
1	<LD	<LD	<LD	<LD	0,44
2	<LD	<LD	1,99	4,77	2,76
3	<LD	<LD	1,83	5,20	2,77
4	<LD	<LD	4,22	5,70	2,42
5	<LD	<LD	0,95	2,12	2,04
6	<LD	0,27	2,74	7,29	2,16
7	<LD	<LD	2,75	5,18	3,90
8	<LD	<LD	2,51	2,95	3,89
9	<LD	<LD	3,19	5,95	2,26
10	<LD	<LD	2,36	5,34	3,30
11	<LD	<LD	2,20	6,31	1,52
12	<LD	<LD	2,97	6,96	1,76
13	<LD	<LD	3,76	5,93	1,58
14	<LD	<LD	3,57	4,29	1,71
15	<LD	<LD	4,55	6,35	0,78
16	<LD	<LD	4,39	6,31	2,46
17	<LD	<LD	3,87	5,45	2,09
18	<LD	<LD	3,17	7,51	1,58
19	<LD	<LD	1,15	1,97	0,99
20	-	-	-	-	-
21	<LD	<LD	3,31	6,20	3,98
22	<LD	<LD	<LD	8,36	3,45
23	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Promedio	-	0,27	2,92	5,51	2,28
Mínimo	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Máximo	<LD	0,27	4,55	8,36	3,98
Porcentaje	-	2,50	26,59	50,15	20,76
DS	-	-	1,03	1,67	1,02

<LD: bajo el límite de detección.DS: Desviación estándar

HOJA DE METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

Título	Especiación De Metales Pesados En Sedimentos Superficiales Del Sector Central Del Golfo De Cariaco, Estado Sucre, Venezuela
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Aguado, Berenice	CVLAC	16.817.977
	e-mail	bere1385@hotmail.com
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Método de especiación, sedimentos marinos, metales pesados.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Ciencias	Química

Resumen (abstract):

Se evaluó la distribución y comportamiento de los metales Fe, Cu, Co, Cr, Ni, Cd, Zn, Al, Mn y Pb, en sedimentos superficiales del sector Central del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. La clasificación textural de los sedimentos se determinó según el triángulo de Sheppard (1994), la materia orgánica por ignición a 450°C, los equivalentes de carbonato de calcio por titulación y el carbono orgánico por el método de combustión húmeda. La determinación de los metales se llevó a cabo aplicando el método de extracción secuencial propuesta por Tessier *et al.* (1979); para así extraer las distintas formas geoquímicas de asociación de los metales en el sedimento y cuantificarlos mediante espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente, con un espectrómetro marca Perkin Elmer, modelo 5300 DV, midiendo los blancos para cada fracción, patrones y extractos de las muestras a las longitudes de ondas específicas de cada metal. La textura predominante en los sedimentos del área de estudio fue la limo-arenosa y areno-limosa. Las concentraciones promedios de metales totales fueron: Fe (13040,94 mg·kg⁻¹), Cu (14,08 mg·kg⁻¹), Co (2,04 mg·kg⁻¹), Cr (24,11mg·kg⁻¹), Ni (21,74 mg·kg⁻¹), Cd (3,44 mg·kg⁻¹), Zn (72,87 mg·kg⁻¹), Al (5504,68 mg·kg⁻¹), Mn (32,90 mg·kg⁻¹) y Pb (10,18 mg·kg⁻¹). De acuerdo con las concentraciones totales determinadas, se pudo observar que los metales que presentaron mayores concentraciones fueron el hierro y el aluminio. El resto de los metales tuvieron concentraciones menores a 73 mg·kg⁻¹, en el siguiente orden de abundancia: Zn> Mn> Cr> Ni> Pb> Cu> Cd> Co. Por otra parte, se observaron correlaciones significativas entre todos los metales y el carbono orgánico, ya que, éste parece ser, de acuerdo con estos resultados, el factor determinante en el enriquecimiento y distribución de los metales pesados en los sedimentos superficiales de muchos ecosistemas marinos costeros junto con la materia orgánica. La especiación de los metales mostró que las mayores proporciones se encuentran asociadas a las fracciones potencialmente biodisponibles (materia orgánica y sulfuros metálicos), seguida de la fracción residual y la asociada a óxidos de Fe y Mn.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
M.Sc. Gregorio Martínez Campos	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input checked="" type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	8.439.342
	e-mail	goyomartinez@gmail.com
	e-mail	
M. Sc. Yarima Alfonzo	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	yarimaalfonzo@yahoo.es
	e-mail	
Ángel Marcano	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	marcanoang@gmail.com
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año Mes Día

2012	02	23
------	----	----

Lenguaje: **SPA**

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Tesis-AguadoBerenice.doc	Application/Word

Alcance:

Espacial: Nacional (Opcional)

Temporal: Temporal (Opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo:

Licenciatura en Química

Nivel Asociado con el Trabajo:

Licenciatura

Área de Estudio:

Química

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente. Núcleo de Sucre

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CU N° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA

RECIBIDO POR *[Firma]*

FECHA 5/8/09 HORA 5:30

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

[Firma]
JUAN A. BOLAÑOS CUNDELO
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/maruja

Apartado Correos 094 / Telfs: 4008042 - 4008044 / 8008045 Telefax: 4008043 / Cumaná - Venezuela


Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 6/6

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009): “Los trabajos de grados son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y solo podrá ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Concejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Concejo Universitario, para su autorización”.



BERENICE AGUADO

AUTOR



Gregorio Martínez Campos M.Sc.
(Asesor)