



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

FRACCIONAMIENTO GEOQUÍMICO DE METALES PESADOS EN  
SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE LA PERIFERIA DE LA CUENCA DE  
CARIACO, VENEZUELA  
(Modalidad: Investigación)

LEIDIS CAROLINA MUJICA MAIZ

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

CUMANÁ, 2010

FRACCIONAMIENTO GEOQUÍMICO DE METALES PESADOS EN  
SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE LA PERIFERIA DE LA CUENCA DE  
CARIACO, VENEZUELA

APROBADO POR:

---

Asesor: Prof. Gregorio Martínez

---

Jurado principal

---

Jurado principal

## INDICE

	<b>Pág</b>
DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTO .....	ii
LISTA DE TABLAS .....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	iv
INTRODUCCIÓN .....	1
METODOLOGÍA .....	8
ÁREA DE ESTUDIO .....	8
RECOLECCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE LOS SEDIMENTOS .....	9
ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS .....	9
Granulometría y textura .....	9
Materia orgánica total .....	13
Carbono orgánico.....	13
Determinación del contenido de los metales en las muestras de sedimentos .....	14
Extracción con acetato de sodio (F1: Metales intercambiables).....	14
Extracción con ácido acético (F2: Metales asociados a los carbonatos) .....	14
Extracción con peróxido de hidrógeno y ácido acético (F3: Metales ligados a la materia orgánica, oxihidróxidos de Fe y Mn y sulfuros).....	14
Extracción con una mezcla de ácido nítrico, clorhídrico y perclórico (F4: Metales de origen litogénico).....	15
CALIDAD DE LOS ANÁLISIS .....	15
ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS RESULTADOS .....	16
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	17
ANÁLISIS TEXTURAL DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE LA PERIFERIA DE LA CUENCA DE CARIACO, VENEZUELA .....	17

MATERIA ORGÁNICA TOTAL DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE LA PERIFERIA DE LA CUENCA DE CARIACO, VENEZUELA.....	19
CARBONO ORGÁNICO.....	22
METALES PESADOS PRESENTES EN LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE LA PERIFERIA DE LA CUENCA DE CARIACO, VENEZUELA .....	24
Cinc.....	24
Cobalto.....	30
Cadmio.....	32
Níquel.....	35
Plomo.....	38
Cobre.....	40
Hierro.....	43
ANÁLISIS DE CORRELACIÓN .....	45
Correlación con el contenido de materia orgánica.....	45
Correlación con la textura de los sedimentos .....	46
CONCLUSIONES.....	49
BIBLIOGRAFÍA .....	51
APÉNDICE.....	60
HOJA DE METADATOS.....	66

## **DEDICATORIA**

A Dios y la virgen del Valle, por iluminarme día a día el camino por seguir. Por darme la fortaleza de soportar y vencer cada uno de los obstáculos que se me han presentado.

A mis padres, Jesús Mujica y Lidia Maiz, ejemplos de humildad, honestidad decisión, perseverancia y logro, por su dedicación, ser mis guías, apoyo y sobre todo creerme capaz de cumplir mis metas y sueños. Porque siempre han estado allí para mí.

A mis hermanos, Liliana, Jesús y Luis G., por ser mi fuente de inspiración, impulsarme para lograr mis metas, por ellos no me dejo vencer. Que este triunfo sea un ejemplo en sus vidas para que logren todas sus metas.

A mi abuela y segunda madre, Dionisia Jiménez, por su amor y cariño incondicional.

A mis primas Ariannys, Oriannys e Iriannys “Mis Bebes” siempre serán mis niñas preciosas, las adoro.

A José Jesús Marcano, por su paciencia, ternura y entrega. Porque me a ayudado a crecer como persona y a ser cada día mejor. Por estar allí, para mí, en todo momento, buenos o malos, gracias.

**¡LOS AMO!**

## AGRADECIMIENTO

A mis padres, Jesús Mujica y Lidia Maiz por siempre darme lo mejor de sí. Gracias por sus sabios consejos.

A mi asesor, Gregorio Martínez, sus conocimientos siempre fueron necesarios para guiar el desarrollo de esta investigación. Gracias por cederme un poco de su espacio y tiempo, y por su disposición de enseñar, paciencia y amistad.

A la universidad de Oriente, Núcleo de Sucre, Cumaná, mi casa de estudio. Por poner a mi disposición todos los recursos institucionales.

Al personal técnico del Instituto Oceanográfico de Venezuela: Edymir Parra, Adélkis y Deudedit; y del departamento de química: Moraima y Luis por su colaboración prestada en los laboratorios.

Al instituto de investigaciones en biomedicina y ciencias aplicadas (IIBCA), en especial a los técnicos José Luis Prin y Henry por la ayuda y colaboración prestada durante la realización de los análisis para el presente estudio.

A todas aquellas personas, que me brindaron su apoyo y colaboración, y contribuyeron en gran medida en mi formación académica; entre estos: Haydelba D'Armas, Maj Britt Mostue, Ana Chacón y Ángel Millán.

A mis familiares: Carmen Maiz, Gerónimo Mujica, Gabriel Maiz, Ricardo Jiménez, Yannelis Mujica, Yaritza Mujica, Rafael A. Rodríguez, Dialis Maiz, Jessica Coraspe, Laudis Jiménez y Marvis Maiz; por confiar en mí. Nunca dudaron que lograría este triunfo.

A mis amigos Adelser Moya, Adriana González, Raúl Cedeño, Brimar Espinoza, Mary Bellorín, José Bucarito, José Lobatón, Gabriela Ortega, María F. Hernandez, Enrique Duarte y Jesús Vallera. Gracias por permitirme formar parte de su día a día y por prestarme siempre la ayuda necesaria.

A todos, muchas gracias.

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág</b>
Tabla 1. Coordenadas geográficas donde se realizó el muestreo. ....	12
Tabla 2. Longitudes de onda (nm) y límites de detección para los metales evaluados en el espectrómetro de emisión atómica (ICP-EOS). ....	15
Tabla 3. Concentraciones de metales pesados presentes en el material de referencia (HISS-1; marine sediment). ....	16
Tabla 4. Matriz de correlación de Pearson que muestra las asociaciones entre los metales totales con el contenido de materia orgánica, carbono orgánico y textura de los sedimentos. ....	48

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág</b>
Figura 1. Área de estudio donde se indican las estaciones del muestreo de sedimentos superficiales. ....	11
Figura 2. Draga Petersen para la toma de sedimentos marinos superficiales. ....	13
Figura 3. Composición granulométrica de los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela. ....	18
Figura 4. La clasificación textural de los sedimentos de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela, según el triangulo de Sheppard. ....	19
Figura 5. Porcentajes de materia orgánica presente en los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela. ....	21
Figura 6. Porcentajes de carbono orgánico presente en los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela. ....	23
Figura 7. Concentraciones de Zn presentes en cada una de las fracciones geoquímicas en los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela. ....	25
Figura 8. Concentraciones de Mn presentes en cada una de las fracciones geoquímicas en los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela. ....	28
Figura 9. Concentraciones de Co presentes en cada una de las fracciones geoquímicas en los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela. ....	31
Figura 10. Concentraciones de Cd presentes en cada una de las fracciones geoquímicas en los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela. ....	34
Figura 11. Concentraciones de Ni presentes en cada una de las fracciones geoquímicas en los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela. ....	36
Figura 12. Concentraciones de Pb presentes en cada una de las fracciones geoquímicas en los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela. ....	39
Figura 13. Concentraciones de Cu presentes en cada una de las fracciones geoquímicas en los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela. ....	43

Figura 14. Concentraciones de Fe presentes en cada una de las fracciones geoquímicas en los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela..... 45

## RESUMEN

Se estudió el fraccionamiento geoquímico de metales en sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela, para evaluar su comportamiento geoquímico y establecer la relación entre estos con la materia orgánica, carbono orgánico y granulometría de los sedimentos. Para tal fin, se tomaron 25 muestras las cuales fueron sometidas a un proceso de extracción (acetato de sodio, ácido acético, peróxido de hidrogeno y mezcla de ácidos fuertes) y se analizaron por espectroscopia de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-EOS). De acuerdo a los resultados las mayores concentraciones de los metales Zn (116,55 mg/kg), Co (50,50 mg/kg), Ni (36,49 mg/kg), Pb (24,24 mg/kg) y Fe (10 195,22 mg/kg) se encuentran asociadas a la fracción residual, es decir, metales de origen litogénico adicionados a la matriz sedimentaria durante la diagénesis química y biológicamente inertes. Por otro lado, la mayor concentración de Mn (137, 26 mg/kg), Cd (9,08 mg/kg) y Cu (11,75 mg/kg) están unidas a la fracción de los biodisponibles (intercambiables, oxihidróxidos de hierro y manganeso). Los sedimentos fueron en su mayoría arenosos, mientras que en algunas estaciones fueron areno-limoso, limo-arenoso y limoso. También se observa una correlación significativa entre las concentraciones de los metales, la materia orgánica y la textura de los sedimentos estudiados.

## INTRODUCCIÓN

Los océanos y mares son los depósitos finales de la mayoría de las sustancias desechadas por el hombre. La actividad biológica ocasiona la descomposición de los compuestos orgánicos a dióxido de carbono y agua como producto final. Sin embargo, las especies inorgánicas, especialmente los metales, son continuamente acumulados en el medio marino, excepto una porción menor que puede ser ingerida por los organismos marinos.

Los ríos constituyen el principal medio de transporte de constituyentes químicos hacia el medio marino (Zhang *et al.*, 1992). Una vez que estos productos se encuentran en el mar, no pueden ser recuperados en su totalidad, convirtiéndose en sustancias tóxicas para la biota marina.

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. Muchos organismos marinos pueden adsorber o liberar metales directamente de los sedimentos. Los metales pueden, también, formar compuestos volátiles debido a la actividad biológica o a cambios en las condiciones redox del agua de mar y sedimentos (Martínez, 2002).

Las perturbaciones asociadas a los desechos industriales y domésticos en los ecosistemas costeros están directamente ligadas a la capacidad del medio receptor para asimilarla, o sea a dispersar y degradar la materia orgánica que ellos acarrearán. Estos efluentes son ricos en materia orgánica, la cual puede presentar una toxicidad a la fauna y flora acuática. Durante su degradación, ella contribuye a disminuir las concentraciones de oxígeno disuelto del ecosistema, pudiendo llegar hasta la anoxia completa con

consecuencias impredecibles. De la misma forma, los elementos nutritivos liberados pueden crear problemas de eutrofización.

La química de los metales en el ambiente marino es una manifestación de todos los equilibrios que se establecen entre sus varios componentes. El más importante de todos es el del agua de mar, seguido por el de los sedimentos marinos. Las características fisicoquímicas, tanto del agua de mar como del sedimento, juegan un papel importante en el contenido de estos metales en el ambiente. La interacción entre los metales y las características fisicoquímicas del agua de mar y los sedimentos puede llevarse a cabo directa o indirectamente y de una forma individual y simultánea. Un ejemplo de interacción directa es la formación de sales insolubles y complejas con los elementos más abundante en el agua de mar. La interacción indirecta es aquella donde los elementos más o menos abundante en el agua de mar o en los sedimentos marinos, modifican la concentración o actividad de un ión metálico traza, que interactúa (Sadiq, 1992).

Dada la baja solubilidad de las sales de la mayoría de los metales pesados, la tendencia a unirse a la materia orgánica y su predisposición a ser adsorbidos por distintos materiales inorgánicos es la causa de que se almacenen principalmente en los sedimentos. Sin embargo, se ha comprobado que muchos metales pesados no permanecen ligados indefinidamente a los sedimentos, ya que de las capas superiores de éstos, puede liberarse hasta el 75% de ciertos metales, ya sea por acción mecánica o por las sustancias químicas producidas por el metabolismo de los organismos bentónicos (Groot *et al.*, 1976).

El sedimento marino se define como un conjunto de materiales sólidos de diferentes tamaños de partículas que se van depositando en el fondo de los mares y océanos por diferentes agentes de transporte, constituyendo un importante reservorio de metales, con niveles que pueden ser confiablemente medidos por una variedad de técnicas analíticas, razón por la cual pueden ser utilizados como indicadores sensitivos

en el monitoreo espacial y temporal de contaminantes (Balls *et al.*, 1997; Kishe y Machiwa, 2003).

Su estudio es hoy en día uno de los tópicos de mayor interés en geoquímica y oceanografía, ya que su caracterización puede ayudar a comprender mejor el sistema de corrientes, el estado de la condición óxido-reductora, el tipo y abundancia de la fauna bentónica, la actividad de los microorganismos y la textura de los depósitos. Además, provee información sobre los cambios geoquímicos que ocurren a través del tiempo en un ambiente marino y la posibilidad de establecer los niveles basales de un área en particular (Dassenakis *et al.*, 1997; Rubio *et al.*, 2000; Tuncer *et al.*, 2001).

La mayoría de los estudios de los metales en sedimentos de los sistemas acuáticos se relaciona 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 implica que todas las formas del metal tienen el mismo impacto en el ambiente; presunción claramente insostenible (Tessier *et al.*, 1979).

Las formas de asociación de los metales con la matriz de sedimento son diversas; éstos pueden estar adsorbidos en la superficie, incorporados a fases minerales u ocluidas en materiales amorfos. Estas formas de asociación, generalmente, exhiben diferentes propiedades químicas y la medición de sus concentraciones individuales puede proveer información para entender su comportamiento geoquímico y su disponibilidad biológica (Belzile *et al.*, 1989). Sin embargo, determinar la asociación específica sedimento-metal es difícil, debido a la amplia variedad de fases sólidas que pueden fijar metales pesados, su característica amorfa y las bajas concentraciones de metales involucradas (Rapin *et al.*, 1986).

Debido a estas limitaciones, se han desarrollado métodos indirectos; el más común es el de extracción secuencial que utiliza reactantes selectivos para extraer las distintas formas geoquímicas de asociación de los metales con el sedimento (Kersten y Förstner,

1991; Hirner, 1992; Song *et al.*, 1999; Pizarro *et al.*, 2003). Una primera fracción (F1) que da a conocer los metales adsorbidos en la superficie de las partículas de los sedimentos, operacionalmente llamados metales intercambiables y una segunda fracción (F2) que representa los metales ligados a los carbonatos los cuales presentan una gran sensibilidad a los cambios de pH (Izquierdo *et al.*, 1997; Roux *et al.*, 1998); estas dos primeras fracciones incluyen a los metales biodisponibles, de entrada más reciente al medio y además da información sobre el grado de contaminación al cual un sedimento en particular ha sido expuesto (Riba *et al.*, 2002). La tercera fracción (F3) permite obtener los metales unidos a la materia orgánica, oxihidróxidos de hierro y manganeso así como sulfuros denominada potencialmente biodisponible, ya que en condiciones extremas de pH y potencial redox pueden desprenderse los metales asociados a ella y movilizarse dentro del medio (Förstner, 1993). Finalmente, la cuarta fracción (F4) o residual corresponde a los metales de origen litogénico adicionados a la matriz sedimentaria durante la diagénesis química y biológicamente inertes (Klavins y Virkavs, 2001).

La mayoría de los metales presentan algún grado de toxicidad tanto para el hombre como para el resto de los seres vivos que habitan el planeta y su acumulación crea perturbaciones en período de tiempos muy cortos (Everaarts y Nieuwenhuize, 1995). Ellos representan un gran peligro y riesgo para los organismos vivientes ya que cuando ingresan a los ecosistemas en altas concentraciones, lo contaminan, causando la destrucción de su fauna y flora. También, afectan cuando se encuentran en bajas concentraciones, ya que estos pueden ser incorporados o bioacumulados en los seres vivos y transmitidos en la cadena trófica (Sadiq, 1992).

Dawes (1991) indica que la acumulación de 3 a 5 ppm de plomo, cinc, mercurio, cobre u otros elementos son suficientes para producir cambios en la morfología, crecimiento y metabolismo celular de los organismos fitoplanctónicos.

Muchos acontecimientos catastróficos para la salud de los humanos han ocurrido en el pasado, por ejemplo en 1953, unas familias de pescadores que vivían a orillas de la bahía de Minamata, Japón, sufrieron el azote de una misteriosa enfermedad neurológica. Perecieron cuarenta y cuatro personas y muchos sobrevivientes quedaron paralizados. El origen de la dolencia no se pudo esclarecer hasta que se encontraron síntomas parecidos en aves marinas y gatos domésticos. Esta observación dirigió la atención hacia los alimentos que compartían: peces y mariscos. Al final se descubrió que la causa de la enfermedad era el metilmercurio vertido en la bahía por una fábrica de plástico (<http://www.consumer-revista.com>).

Hoy día, se conoce mucho más sobre los efectos de estos elementos, cuya exposición está relacionada con problemas de salud como retraso en el desarrollo, varios tipos de cáncer, daños en el riñón e incluso, con casos de muerte. Debido a estos desafortunados incidentes y a las diversas alteraciones ecológicas que han causado los metales a los sistemas acuáticos, el Grupo de Expertos sobre Aspectos Científicos de contaminación Marina (GESAMP) advierten la necesidad imperativa y urgente de crear programas de monitoreos continuos, especialmente en ríos y áreas costeras, para obtener información que permita diseñar planes de control, ordenación, manejo y usos de los cuerpos de agua (Taylor, 1993; Rees, 1993).

Actualmente, la mayoría de los estudios sobre los sedimentos han sido orientados hacia el fraccionamiento químico de los metales en zonas que son impactadas por las actividades humanas, tales como estuarios, lagunas y bahías (Villaescusa-Celaya *et al.*, 1997; Fan *et al.*, 2002; Riba *et al.*, 2002). Estas áreas son continuamente afectadas por los ríos, escorrentías continentales, aguas residuales, domésticas e industriales, disminuyendo la calidad de sus sedimentos.

Muchos estudios dejan patente el aumento del contenido de los metales en los ambientes acuáticos de todo el mundo, tal es el caso del incremento anual del contenido de plomo en las capas de hielo en Groenlandia (<http://www.consumer-revista.com>). A

pesar del aumento progresivo y de todas las pruebas sobre los efectos nocivos para la salud, en Venezuela, son muy pocos los estudios acerca de la distribución de los metales en ríos, estuarios y áreas costeras.

Entre los estudios importantes realizados en nuestro país, se pueden mencionar el reportado por Gamboa y Bonilla (1983) quienes encontraron elevadas concentraciones de Mn, Cu y Zn en los sedimentos de la cuenca Tuy-Cariaco, esta región costera se encuentra influenciada por los ríos Neverí, Unare y Tuy. Igualmente, se han reportado elevadas concentraciones de metales pesados en el área costera del estado Anzoátegui a consecuencia de los aportes de materiales terrígeno arrastrados por los ríos Neverí y Unare y, además, por las contribuciones de las descargas de los efluentes, sin un tratamiento adecuado de numerosas industrias establecidas en esta área (Gamboa *et al.*, 1986; González, 1987; IOV, 1990, 1991 y 1992). Recientemente, Rojas de Astudillo *et al.* (2005) también encontraron altas concentraciones de Hg, Zn, Cu, Cd, Ni y Pb en los sedimentos superficiales de la Costa norte y el Golfo de Paria del estado Sucre.

Últimamente, se ha puesto más atención acerca del comportamiento de los metales en las costas del oriente venezolano. Es así, como han sido estudiados los ecosistemas marinos de las costas del estado Anzoátegui, Golfo de Cariaco y río Manzanares (Senior, 1994; Martínez, 1996; León *et al.*, 1997; Márquez, 1997; Martínez, 1999; Martínez y Senior, 2001; Martínez, 2002; Martínez *et al.*, 2005; Márquez *et al.*, 2005; López *et al.*, 2006; Jiménez *et al.*, 2008).

Para ampliar los conocimientos sobre los metales en los ecosistemas de las costas del oriente venezolano, el presente estudio pretende determinar las concentraciones de los metales Zn, Mn, Co, Cd, Ni, Pb, Fe y Cu en los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela, a fin de establecer los procesos que gobiernan la distribución, especiación y comportamiento de los mismos. Para alcanzar este objetivo, fue necesario determinar la concentración de materia orgánica y metales, las diferentes formas en que se encuentran (especiación) en los sedimentos superficiales

en dicha región y también se evaluó la asociación existente entre los metales determinados con la materia orgánica y textura de dichos sedimentos.

La costa Nororiental presentan variaciones ambientales debido a la intrusión de aguas proveniente de tres fuentes distintas: (a) El Atlántico Tropical, mediante la advección zonal este-oeste, en la región comprendida entre las islas de trinidad, Tobago y Grenada; (b) El Mar Caribe, por la advección meridional norte-sur a través de la región comprendida entre la isla la Tortuga y la isla de Margarita y (c) los estuarios provenientes del golfo de Paria (fundamentalmente descargados por el río Orinoco), a través de la Boca de Dragón entre la Península de Paria y la isla de Trinidad (Aparicio, 2003). Estas fuentes aportan a la zona costera grandes cantidades de contaminantes, producto de las actividades agrícolas, industriales y urbanas, los cuales son depositados en los sedimentos superficiales. En tal sentido, el presente trabajo de investigación puede considerarse como un aporte de línea base al conocimiento de las condiciones geoquímicas de la periferia de la cuenca de Cariaco, que servirá de apoyo para establecer un control ambiental apropiado que proteja sus cuerpos de aguas y sedimentos.

## **METODOLOGÍA**

### **ÁREA DE ESTUDIO**

La Cuenca de Cariaco es un hundimiento de la corteza terrestre dentro de la plataforma continental del oriente de Venezuela (Fig. 1). Tiene una forma elongada, orientada en dirección E-W con una longitud de 186 km de largo y aproximadamente 204 km de ancho. Es la segunda cuenca anóxica natural más grande del planeta después del mar Negro, y la única cuenca permanentemente anóxica existente en aguas marinas abiertas y sobre la plataforma continental. La cuenca está compuesta por 2 grandes depresiones, unidas entre sí por sillas, zonas menos profunda ubicadas entre las depresiones.

La depresión occidental es la mayor y más profunda. Se encuentra hacia el extremo oeste de la cuenca entre la isla la Tortuga y Cabo Codera. Su centro está localizado a 10°40' N, 65°35' W; mide aproximadamente 78 km de largo y 35 km de ancho, alcanzando una profundidad máxima conocida de 1435 m.

La silla central une la depresión occidental con la oriental, a una profundidad de 915 m. La depresión oriental es más pequeña que la occidental, se encuentra entre la isla de Margarita y la isla La Tortuga. Mide 76 km de largo y 18 de ancho. Su centro está a 10°30' N y 64°40' W y alcanza una profundidad máxima conocida de 1350 m.

Existen dos depresiones más pequeñas, la de Araya y la de Margarita, las cuales son continuaciones de la cuenca hacia el norte. La profundidad máxima de estas depresiones es de aproximadamente 500 m y 420 m, respectivamente, y están unidas entre sí por la silla de Cubagua; la silla de Araya conecta la depresión de Araya con la depresión oriental a una profundidad entre los 300 y 450 m.

Esta área es afectada por procesos de surgencia, el agua que se encuentra cerca de los 150 m de profundidad emergen a la superficie producto de la acción de los vientos.

## **RECOLECCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE LOS SEDIMENTOS**

Se recolectaron muestras de sedimentos superficiales en 25 estaciones establecidas a todo lo largo de la periferia de la Cuenca de Cariaco, usando una draga Petersen (Fig. 2). La plataforma de trabajo para este estudio fue el Buque Oceanográfico Guaiquerí II. Cada muestra se almacenó en bolsas plásticas con sello hermético, previamente rotuladas. Se refrigeraron a  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta el momento de ser trasladado al laboratorio de metales del Departamento de Oceanografía, del Instituto Oceanográfico de Venezuela, en la Universidad de Oriente. Una vez en el laboratorio, los sedimentos fueron descongelados y colocados en una estufa a  $60^{\circ}\text{C}$  para su secado, y se separaron en distintas fracciones para las respectivas determinaciones analíticas.

En la tabla 1, se muestran las coordenadas geográficas donde fueron recolectadas las muestras analizadas.

## **ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS**

### Granulometría y textura

Para determinar las diferentes fracciones (arena, limo y arcilla) se utilizó el método del densímetro (Primo y Carrasco, 1973), el cual consiste en medir la densidad de una suspensión a través del tiempo de sedimentación usando un densímetro de Bouyocous con escala desde -5 hasta 60 g/l. Una muestra de 50 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 y 300 ml de agua destilada. La solución se agregó en un cilindro arrastrando toda partícula del sedimento con ayuda de una pizeta

hasta completar un litro de solución con agua destilada. Luego, se agitó vigorosamente durante un minuto a fin de homogeneizar el contenido, y a los 40 segundos del cese de la agitación, se tomó la primera lectura del densímetro y temperatura de la suspensión. Al cabo de dos horas, se volvió a tomar la densidad y temperatura de la suspensión. La concentración de sólidos totales indicada en la primera lectura corresponde a partículas de diámetro  $\leq 20 \mu\text{m}$  (limo + arcilla) y la segunda lectura corresponde a partículas de diámetro  $\leq 2 \mu\text{m}$  (arcilla). Por consiguiente, la concentración de limo se obtuvo restando la segunda lectura de la primera y el contenido de arena se calculó por diferencia entre la masa total de sedimento y la masa de limo mas arcilla. La clasificación de los sedimentos se determinó según el triángulo de Sheppard (1954).

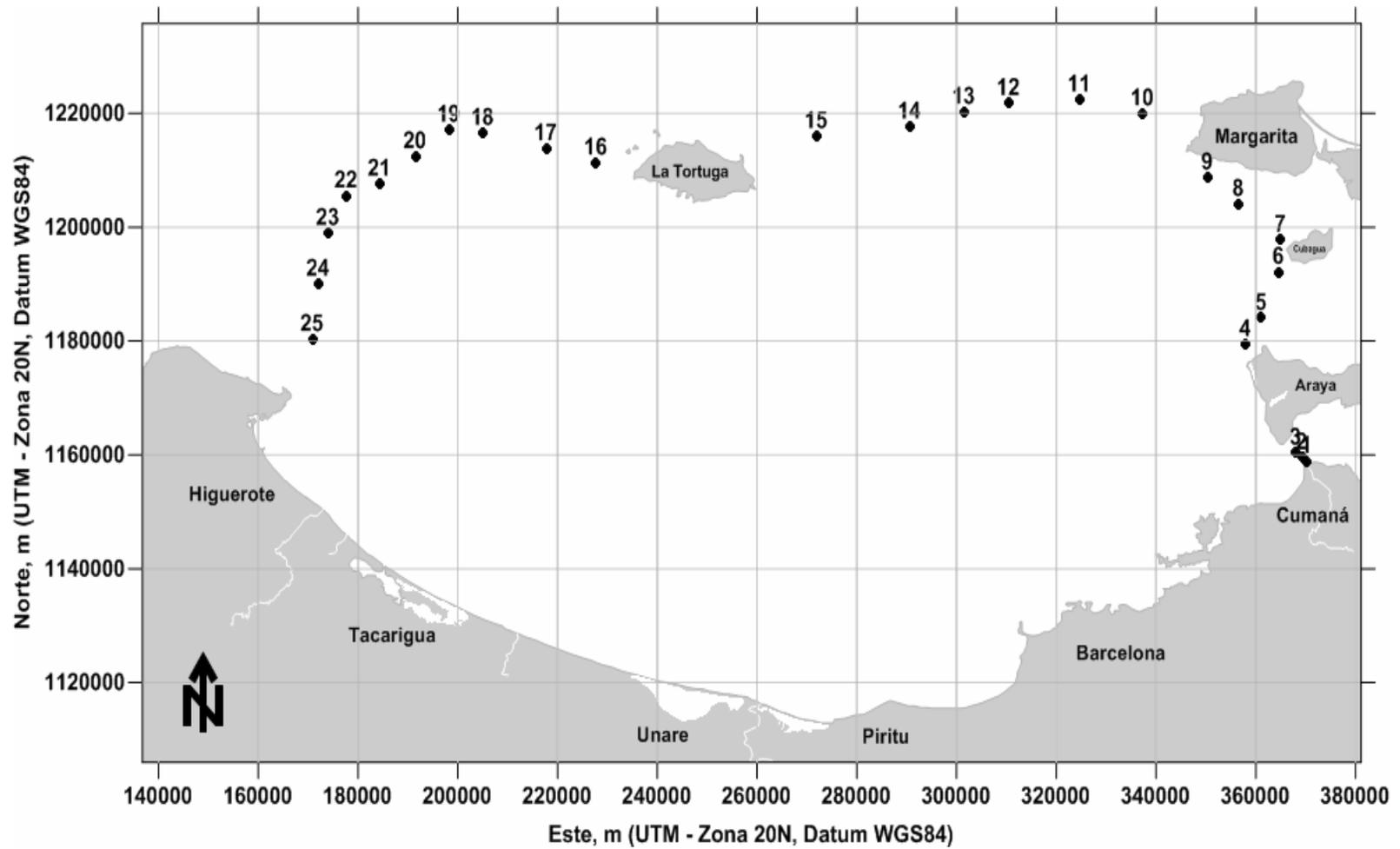


Figura 1. Área de estudio donde se indican las estaciones del muestreo de sedimentos superficiales.

Tabla 1. Coordenadas geográficas donde se realizó el muestreo.

Estación	Latitud Norte	Latitud (UTM)	Longitud Oeste	Longitud (UTM)
1	10° 28' 53,85''	1158907,74	64° 11' 8,75''	370232,82
2	10° 29' 13,12''	1159503,36	64° 11' 40,60''	369266,72
3	10° 29' 41,21''	1160370,74	64° 12' 19,20''	368096,47
4	10° 39' 58,75''	1179382,52	64° 17' 54,56''	357979,53
5	10° 42' 30,82''	1184041,18	64° 16' 11,44''	361132,17
6	10° 46' 54,00''	1192112,05	64° 14' 17,49''	364626,75
7	10° 49' 57,31''	1197741,79	64° 14' 4,43''	365046,19
8	10° 53' 21,95''	1204064,16	64° 18' 44,76''	356559,84
9	10° 55' 52,76''	1208724,89	64° 22' 9,85''	350353,34
10	11° 1' 56,62''	1219965,82	64° 29' 20,20''	337342,69
11	11° 3' 12,60''	1222365,68	64° 36' 16,85''	324708,84
12	11° 2' 50,14''	1221755,02	64° 44' 5,32''	310485,81
13	11° 1' 58,77''	1220229,80	64° 49' 0,91''	301503,80
14	11° 0' 32,94''	1217659,74	64° 54' 57,50''	290661,87
15	10° 59' 33,21''	1215948,70	65° 5' 12,64''	271972,31
16	10° 57' 14,29''	1211274,66	65° 5' 12,64''	227753,05
17	10° 58' 36,50''	1213822,27	65° 29' 27,34''	217730,23
18	11° 0' 2,33''	1216523,71	65° 34' 57,97''	205054,30
19	11° 0' 19,58''	1217108,45	65° 41' 55,99''	198274,16
20	10° 57' 16,35''	1212397,60	65° 45' 39,34''	191533,22
21	10° 54' 36,82''	1207559,15	65° 53' 13,01''	184398,91
22	10° 53' 28,69''	1205528,36	65° 56' 52,44''	177709,71
23	10° 49' 52,93''	1198928,45	65° 58' 51,08''	174038,59
24	10° 45' 3,37''	1190042,07	65° 59' 52,94''	172070,64
25	10° 40' 13,38''	1180282,13	66° 0' 29,65''	170858,80



Figura 2. Draga Petersen para la toma de sedimentos marinos superficiales.

#### Materia orgánica total

El porcentaje de materia orgánica se estimó por el método descrito por González y Ramírez (1995), el cual consiste en la calcinación de las muestras de sedimento en una mufla a 550°C hasta la obtención de una fracción libre de materia orgánica, donde 2 g de sedimento seco fueron pesados en crisoles de porcelana previamente tarados y calcinados a 550°C por períodos de 12 horas hasta la obtención de un peso constante.

#### Carbono orgánico

El método de combustión húmeda se aplicó para determinar la concentración de carbono orgánico, utilizando el ácido sulfocrómico como agente oxidante de la materia orgánica (Okuda, 1964). Fueron colocados 0,1 g de sedimento en fiolas de 125 ml con 10 ml de una solución sulfocrómica 0,4 mol/l y calentado hasta ebullición, dejándolo hervir a temperatura constante por 5 minutos, manteniendo el reflujo en cada fiola con la ayuda de un embudo para evitar pérdida de la muestra. Luego, se transfirió a fiolas de 500 ml, arrastrando con agua destilada hasta completar aproximadamente 150 ml, luego fue titulada con una solución de sal de Mohr 0,2 mol/l, agregando 5 ml de ácido

fosfórico y 4 gotas del indicador difenilamina.

### **Determinación del contenido de los metales en las muestras de sedimentos**

Extracción con acetato de sodio (F1: Metales intercambiables)

En la primera etapa (Fracción 1), 1,00 g de sedimento seco se dejó reaccionar en un erlenmeyer de 125 ml con 20 ml de acetato de sodio 1 mol/l, ajustado a pH 7 por dos horas. A temperatura ambiente las muestras fueron agitadas constantemente, filtradas y enrasadas a un volumen de 25 ml con el agua del lavado de calidad Nanopura, preservando el papel de filtro Whatman 542 con el sedimento residual.

Extracción con ácido acético (F2: Metales asociados a los carbonatos)

En esta segunda etapa (Fracción 2), el papel de filtro proveniente de la primera extracción se colocó en un erlenmeyer de 125 ml con 20 ml de ácido acético al 25% V/V, dejándose reaccionar por cuatro horas a temperatura ambiente, con agitación constante. Las soluciones se filtraron en balones de 25 ml, descartándose el residuo.

Extracción con peróxido de hidrógeno y ácido acético (F3: Metales ligados a la materia orgánica, oxihidróxidos de Fe y Mn y sulfuros)

Para la tercera etapa (Fracción 3), 1,00 g de sedimento seco se sometió a una digestión por dos horas a 100°C con 10 ml de peróxido al 30%, ajustando a pH 2 con ácido nítrico concentrado y 10 ml de ácido acético al 25% (V/V), usando un banco de arena para el calentamiento y con agitación constante. Las soluciones se filtraron y enrasaron a un volumen de 25 ml con el agua del lavado, descartándose el residuo. La concentración de esta fracción se calculó restando las dos primeras fracciones a la lectura de esta extracción.

Extracción con una mezcla de ácido nítrico, clorhídrico y perclórico (F4: Metales de origen litogénico)

En la última etapa (Fracción 4), 1,00 g de sedimento seco se sometió a una digestión con 10 ml de una mezcla de ácido nítrico, clorhídrico y perclórico en una proporción 3:2:1 por dos horas, a una temperatura de 100°C y con agitación constante. Las soluciones resultantes fueron filtradas y enrasadas a un volumen de 25 ml con el agua del lavado. La concentración de esta fracción se calculó restando las tres primeras fracciones a la lectura de esta extracción.

Las concentraciones de los metales estudiados se determinó por espectroscopia de emisión atómica con un equipo Perkin Elmer, modelo 5300 DV (ICP-EOS); espectrómetro de emisión atómica de plasma inductivamente acoplado, a las longitudes de ondas específicas de cada metal (Tabla 2).

Tabla 2. Longitudes de onda (nm) para los metales evaluados en el espectrómetro de emisión atómica (ICP-EOS).

Metales	Cd	Zn	Cu	Pb	Co	Ni	Mn	Fe
Long. de onda (nm)	228,8	213,9	324,8	283,3	357,9	232,0	279,5	248,3

## CALIDAD DE LOS ANÁLISIS

Para determinar la confiabilidad del método, para cada uno de los parámetros determinados, se establecieron pruebas de precisión analítica y desviación estándar de los métodos analíticos. Para esto se realizaron replicas de los análisis y la evaluación de un patrón de sedimentos certificado por Consejo de Investigación Nacional de Canadá (HISS-1, marine sediment), este fue procesado con el mismo método utilizado para las muestras de sedimento, todos los reactivos utilizados fueron del grado analítico para análisis y los materiales de vidrio descontaminados con una solución de HNO<sub>3</sub> al 5%

por 24 h, luego, enjuagados varias veces con agua desionizada. Con lo cual se garantizó que el método utilizado es confiable y reproducible.

Los resultados obtenidos (Tabla 3) revelan que el método analítico de extracción aplicado al estándar de referencia es eficiente para la mayoría de los elementos estudiados, indicando una buena concordancia entre los valores del certificado y el analítico.

Estos resultados confirman el grado de exactitud que presenta el método de extracción empleado en el fraccionamiento geoquímico de los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco.

En la siguiente tabla, se puede observar las concentraciones de los metales pesados obtenidas en el material de referencia.

### ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS RESULTADOS

Los resultados fueron procesados utilizando el programa Excel para Windows y los análisis estadísticos multivariantes a través del paquete estadístico Systat 11,00 para Windows.

Tabla 3. Concentraciones de metales pesados presentes en el material de referencia (HISS-1; marine sediment).

Muestra	Metales traza (mg·kg <sup>-1</sup> )							
	Zn	Mn	Co	Cd	Ni	Pb	Cu	Fe
1	3,54	14,85	0,57	0,27	1,55	2,57	1,97	786,9
2	3,44	15,92	0,45	0,13	1,85	2,27	1,99	793,4
3	3,41	15,87	0,45	0,20	1,62	2,89	1,87	832,0
Prom	3,47	15,6	0,49	0,20	1,67	2,58	1,95	804
Dsv.est	0,07	0,6	0,07	0,08	0,16	0,31	0,07	24
Valor Certificado	(4,9 ± 0,8)	-	(0,65 ± 0,10)	(0,02 ± 0,09)	(2,16 ± 0,29)	-	(2,29 ± 0,37)	-

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **ANÁLISIS TEXTURAL DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE LA PERIFERIA DE LA CUENCA DE CARIACO, VENEZUELA**

La textura de un sedimento se refiere a la distribución porcentual de las partículas arenas, limos y arcillas en una muestra. En los sedimentos existen gránulos de muy diferentes tamaños, cualesquiera que sea su composición. El conjunto de partículas de un sedimento cuyo diámetro medio está comprendido entre 5,000 a 0,063 mm se llaman arenas; las de diámetro medio entre 0,063 y 0,002 mm se llaman limos, y aquellas cuyo diámetro medio es inferior a 0,002 mm forman las arcillas (Primo y Carrasco, 1973; Roa y Berthois, 1975). Según las fracciones que predominan en los sedimentos se dice que son arenosos, limosos o arcillosos, y así se designa su textura.

La composición granulométrica de los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco está representada en la figura 3. En esta se observa que la mayoría de las estaciones presentaron alto porcentaje de arena, localizándose mayor contenido (99,26 y 99,01%) en las estaciones 14 (Margarita-La Tortuga) y 22 (La Tortuga-Cabo Codera). De igual manera, se puede observar que existe una alta proporción de limo (79,22%) en la estación 1 (Cumaná-Araya). Sin embargo, las arcillas fueron las de menor proporción encontrándose 1,11% en la estación 5 (Araya-Margarita).

Este análisis se hace importante debido a la gran variedad de sedimentos que se presentan en los océanos y mares siendo un indicador de las condiciones hidrodinámicas de las aguas de las regiones marinas costeras. Por otro lado, la distribución de metales es diferente en cada fracción granulométrica. Según la bibliografía cuanto mas fino son los sedimentos una mayor proporción de metales puede acumularse, fenómeno que se atribuye a la elevada superficie específica que poseen las partículas finas y que favorecen la adsorción superficial (Förstner, 1983).

La clasificación textural de los sedimentos se determinó según el triángulo de Sheppard (1954) (figura 4), determinándose que estos sedimentos en su mayoría son arenosos, en algunas estaciones areno limoso, limo arenoso y limoso.

Por su parte, Landaeta (2002) encontró, en los sedimentos de la región marino-costera frente a la ciudad de Cumaná, una textura areno-limoso con altos porcentajes de arenas. Por otro lado, Velásquez (2005) reportó una alta proporción de arena en los sedimentos, localizándose las mayores cantidades hacia la zona este y Nor-oeste, en las cercanías del río Carinicua. Todo esto concuerda con los resultados obtenidos en el presente estudio.

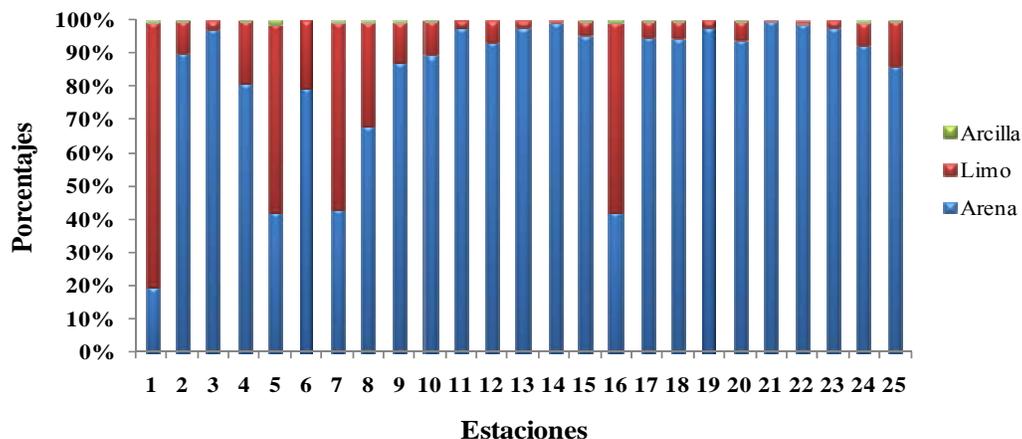


Figura 3. Composición granulométrica de los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela.

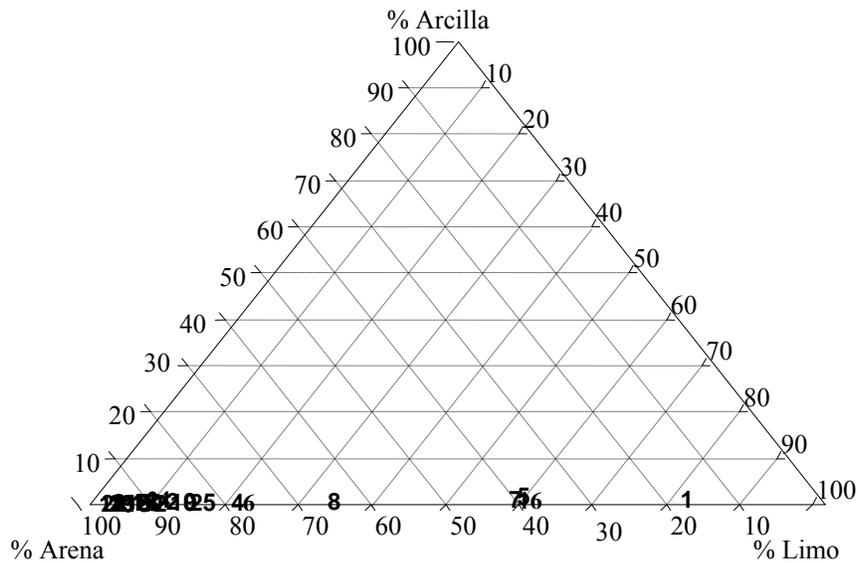


Figura 4. La clasificación textural de los sedimentos de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela, según el triángulo de Sheppard.

### **MATERIA ORGÁNICA TOTAL DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE LA PERIFERIA DE LA CUENCA DE CARIACO, VENEZUELA**

La materia orgánica es la porción del sedimento producto de la actividad o de origen biológico y que contiene el carbono en cualquier forma distinta a los carbonatos. Está compuesta de moléculas pequeñas, grasas y ceras, polisacáridos, sustancias húmicas, enzimas y la biomasa de microorganismos de origen animal y vegetal. 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 que se presenta en sedimentos de los diferentes ecosistemas, así como también de las condiciones hidrográficas, hidroquímicas y biogeoquímicas del ambiente sedimentario (Bonilla *et al.*, 2002).

El 80% de la materia orgánica, en zonas costeras y deltaicas está preservada en los sedimentos de limos y arcillas, sugiriendo que es fácilmente adsorbida en el material fino de origen terrestre, indicando una zonación circuncontinental (Hedges, 1992).

En la figura 5 se muestran los porcentajes de materia orgánica presente en los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, donde se observa que el contenido de materia orgánica varió en un rango entre 4,05 y 12,22%, con el valor más alto en la estación 7 (Cubagua-Margarita) y el más bajo en la estación 11 (Margarita-La Tortuga), con tendencia creciente hacia los sedimentos de la parte nor-oriental de la cuenca.

Los sedimentos de la parte nor-oriental de la cuenca presentaron un alto contenido de materia orgánica, con un promedio de 7,28%, que coincide con las mayores concentraciones de limos. Esta área es altamente impactada, específicamente en la región costera, por las diversas actividades pesqueras, domésticas y las escorrentías continentales las cuales aportan todo tipo de materiales de desechos que una vez degradados, se sedimentan desde la columna de agua. Por otro lado, en los sedimentos de la parte nor-occidental de la cuenca se encontraron los valores relativamente más bajos de materia orgánica, con un promedio de 6,10%, esto concuerda con las características granulométricas señaladas en este ecosistema, dominando sedimento de fracción gruesa (arena).

Salazar *et al.*, (2003) señalaron para los sedimentos de la laguna La Restinga un alto contenido de materia orgánica reflejado principalmente en la fracción fina y valores menores de 5% se encontraron en las estaciones donde la textura del sedimento es más gruesa. También acotaron que la materia orgánica particulada es la fuente más importante para el sedimento.

Si se comparan con los resultados obtenidos por Acosta *et al.*, (2002) en Boca de Paparo (0,09%), Río Chico (0,07%) y Playa Güiría (0,05%); Bonilla (1975) para el

Golfo de Paria (6,06%); y Espinosa (2001) en los sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco (7,04%). Este incremento, en comparación con estos autores, indica que el mayor aporte de materia orgánica es favorecido por procesos bióticos y por la hidrodinámica del ecosistema, que transporta el material influenciado por la cuenca de Cariaco.

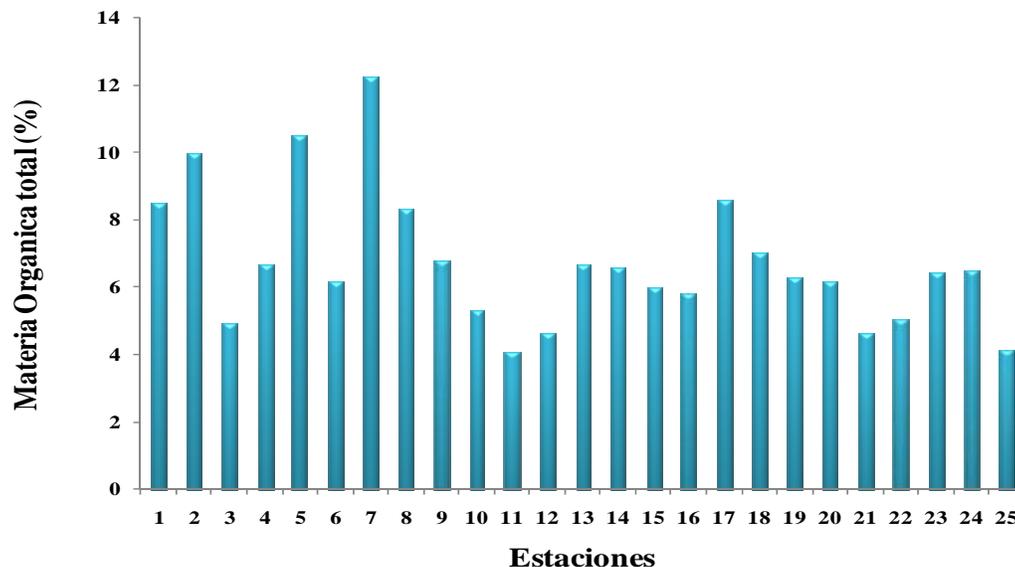


Figura 5. Porcentajes de materia orgánica presente en los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela.

Por otro lado, esto puede ser debido a la productividad biológica en las aguas superficiales la cual es más alta cerca de la costa debido al aumento de nutrientes aportados por los ríos o por los procesos de surgencia, coincidiendo con la concentración de limos, las cuales facilitan la retención de la materia orgánica (Palanques y Díaz, 1994; Rubio *et al.*, 1995). De igual manera, se encontró una correlación significativa entre la materia orgánica y las fracciones finas de sedimento: Limo (0,570) y Arcilla (0,607).

Velásquez (2005) encontró en el sector oriental del Golfo de Cariaco las mayores proporciones de materia orgánica, exactamente, en la región central y costa norte del

Saco del Golfo y las menores concentraciones se localizaron hacia la costa sur del área oriental del Golfo.

## **CARBONO ORGÁNICO**

El carbono orgánico es el elemento que está más extensamente involucrado en los sistemas orgánicos e inorgánicos de la tierra y del océano; además forma la mayor parte de la materia orgánica y es un parámetro que refleja el índice de fertilidad de los sedimentos de un ecosistema costero y de los sedimentos profundos de mares y océanos. Estos ambientes se caracterizan por recibir importantes aportes de materia orgánica que sedimentan rápidamente debido a su escasa profundidad. De hecho, aproximadamente el 80% del carbono orgánico de los océanos está acumulado en los sistemas litorales (Hedges, 1992).

En la figura 6, se muestra el porcentaje de carbono orgánico presente en los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, con variaciones entre 0,199% (estación 10) hasta 1,983% (estación 7). También se obtuvo un alto contenido de éste en la estación 5 (1,731%), todo esto coincide con el contenido de materia orgánica total y la granulometría de los sedimentos analizados, debido a que en dichas estaciones se encontró un elevado contenido de materia orgánica de 12,22% en la estación 7 y 10,483% en la estación 5. Los sedimentos en estas estaciones son de textura limo-arenoso, lo cual facilita la retención de materia orgánica. Por otro lado, la surgencia costera que se manifiesta durante los primeros meses del año los cuales inducen una alta productividad biológica, con la subsecuente sedimentación de materia orgánica hacia los sedimentos de la región.

Los valores aquí encontrados son inferiores 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%) y Mudarra (2002) en la Ensenada de Puerto Escondido (4,06%).

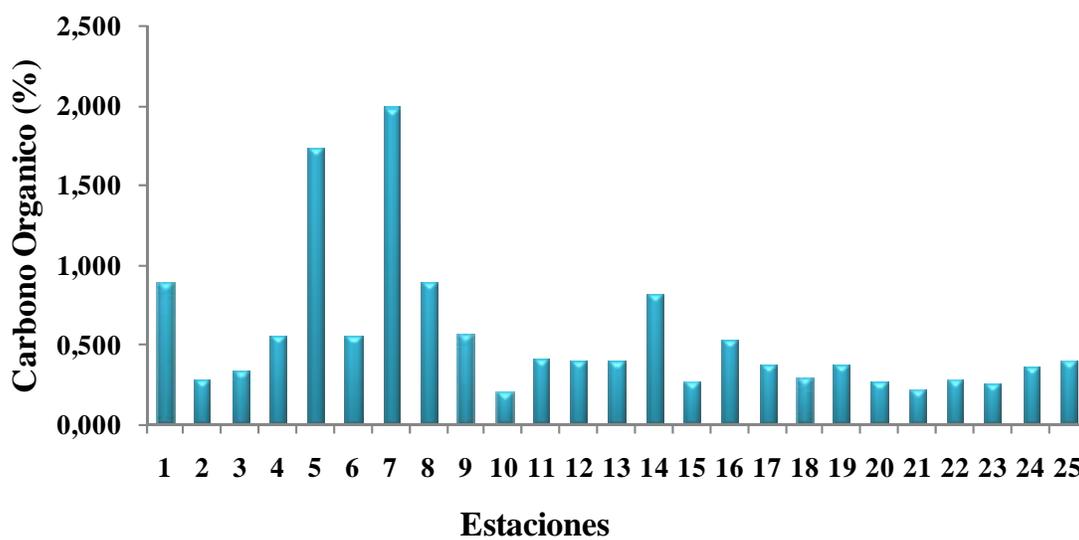


Figura 6. Porcentajes de carbono orgánico presente en los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela.

En línea general, los contenidos de carbono orgánico en los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco aquí estudiados son bajos, relacionados con el tipo de grano sedimentario que se encuentra prevaleciendo en los sedimentos y a la hidrodinámica que tipifica el ecosistema, que ejerce sobre el lecho marino costero un efecto de lavado y arrastre de la materia orgánica fresca, lo que incide en una baja tasa de sedimentación, favoreciendo la transformación rápida de la materia orgánica en la superficie del sedimento (Aston y Hewitt, 1997; De La Lanza, 1986).

Mudarra (2000) 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 éste están relacionados con las características granulométricas de los sedimentos de tipo limo-arcilloso, además de la incorporación autóctona *in situ*, favorecida por los procesos de degradación de la materia orgánica.

Gutiérrez *et al.*, (1994) en sedimentos de la costa fronteriza de Baja California, México destacaron que los contenidos menores de carbono orgánico de 0,046% se encontraron en estaciones con ausencia de arcilla y con el mayor porcentaje de arena por encima del 99,5%, en cambio, los más altos valores de 0,684% estuvieron asociados a las estaciones con el mayor porcentaje de limos. Este comportamiento es similar a lo reportado en este estudio, donde el bajo contenido de carbono orgánico está en relación directa con la composición granulométrica del sedimento tipo arenoso.

Müller (1999), en un transecto del mar Archipiélago, Finlandia, señala que valores más altos de carbono orgánico podría incrementar el agotamiento de oxígeno en los sedimentos superficiales y en el agua del fondo, generando condiciones reductoras que favorecen la descomposición de la materia orgánica y la formación de H<sub>2</sub>S, el cual reacciona con las fracciones de metales presentes en los sedimentos formando compuestos estables.

## **METALES PESADOS PRESENTES EN LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE LA PERIFERIA DE LA CUENCA DE CARIACO, VENEZUELA**

### Cinc

El cinc (Zn) es un elemento relativamente abundante en la naturaleza (70 mg/g en la corteza terrestre), en forma de sulfuros, carbonatos, silicatos y óxidos. Resulta esencial para los seres vivos, pero puede ocasionar toxicidad en los organismos marinos a elevadas concentraciones (Moore y Ramammorthy, 1984).

La figura 7, muestra las concentraciones de Cinc presente en cada una de las fracciones geoquímicas de los sedimentos, analizados en la periferia de la cuenca de Cariaco, dichos valores están en intervalos de 0,02 mg/kg (estación 20 y 21) y 0,63 mg/kg (estación 10) asociados a la fracción de los metales adsorbidos en la superficie de las partículas de los sedimentos, ó intercambiables, indicando que son de reciente

deposición. Por otra parte, las concentraciones de Zn relativamente bajas, en esta zona pueden estar asociado a las características granulométricas del sedimento, el cual está constituido principalmente por arena con un bajo porcentaje de materia orgánica.

Se puede ver que este elemento se encuentra en una gran proporción en la estación 1, asociado a la fracción biodisponible asociada a los carbonatos (F2), con una proporción superior al 50% del total del metal en dicho sedimento, los cuales representan gran sensibilidad a los cambios de pH. El contenido de cinc asociado a la materia orgánica (F3) estuvo entre 0,59 mg/kg (estación 6) y 54,65 mg/kg (estación 16). Por otro lado, la mayor concentración de este metal (116,55 mg/kg) se encuentra en la estación 6, asociada a la fracción residual de los sedimentos (F4), los cuales son principalmente aluminosilicatos de origen litogénicos. Esta concentración de Zn en ésta última fracción puede llegar a representar un riesgo para la biota acuática.

La manera como este metal llega al mar son diversas, porque el Zn tiene múltiples aplicaciones como son en: las aleaciones, las industrias automotriz y de las construcciones, debido a su resistencia a la corrosión.

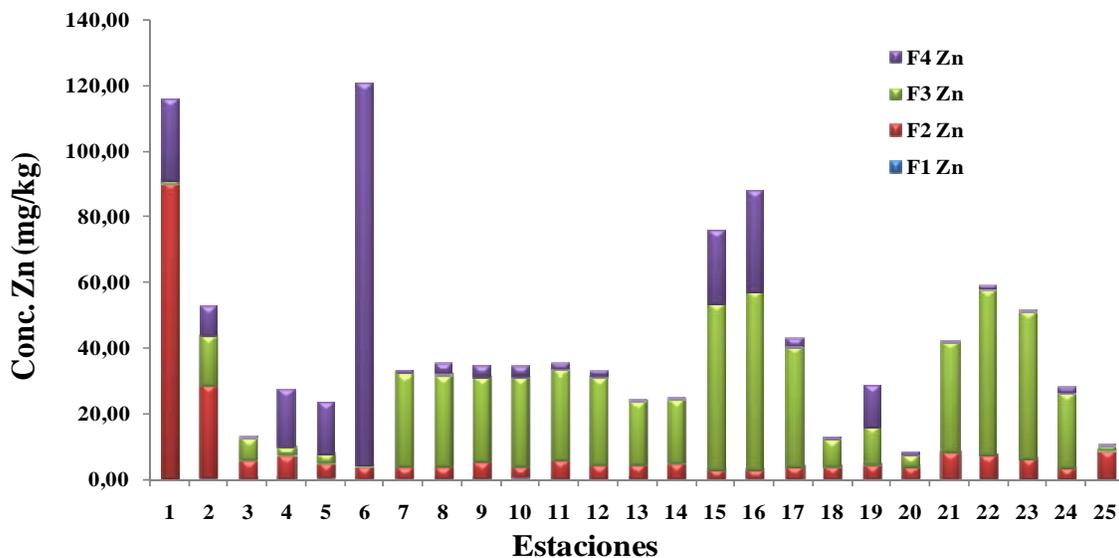


Figura 7. Concentraciones de Zn presentes en cada una de las fracciones geoquímicas en los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela.

La distribución total de Zn indica que la estación 6 (Araya-Margarita) esta bastante afectada, ya que presentó mayor contenido (121,25 mg/kg) del total del metal. Esto puede ser producto de los aportes del río Manzanares y las actividades antrópicas registrada en la región. Esta zona (Araya-Margarita) presenta una alta actividad pesquera y de tráfico de embarcaciones marítimo y terrestre necesario para el transporte de pescado, donde todos sus desechos son vertidos o llegan al mar a través de los ríos, debido a que dicha zona está influenciada por los ríos Manzanares y Orinoco . Esto podría estar produciendo alteraciones en las condiciones naturales de estos ecosistemas. Esta alta proporción de este metal en dicha zona también pudiera ser debida a algunos compuestos de Zn solubles, que tienen capacidad de absorberse sobre los sedimentos y lodos en los lechos de los ríos, donde, parte de estos materiales llegan al mar al ser transportados por las corrientes hasta las desembocaduras de dichos ríos.

Gamboa y Bonilla (1983) encontraron elevadas concentraciones de Zn en los sedimentos de la cuenca Tuy-Cariaco. Recientemente, Rojas de Astudillo *et al.*, (2005) también encontraron altas concentraciones de Zn en los sedimentos superficiales de la costa norte y el Golfo de Paria del estado Sucre.

Sadiq (1992) reportó que en los sedimentos no contaminados el contenido de zinc debe estar por debajo de 110,00 mg/kg, este valor es inferior a los contenidos totales de este metal en el área de estudio, indicando que presentan una gran contaminación. Martínez (2002) encontró para los sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco un valor promedio de zinc total de 57,66 mg/kg. Mudarra (2002) reportó un promedio de cinc total de 35,50 mg/kg para los sedimentos superficiales de la Ensenada de Puerto Escondido, valores que son inferiores a los reportados para sedimentos no contaminados. UDO-CORPOVEN (1990) reportó un promedio de zinc total de 132,01 mg/kg para los sedimentos del oeste de la Bahía de Jose; Mogollón *et al.*, (1989) registraron un promedio de 155,00 mg/kg para la Bahía de Puerto la Cruz-Pertigalete, 138,00 mg/kg en la costa del estado Anzoátegui y 212,00 mg/kg en la Bahía de Barcelona. Gamboa y Bonilla (1983) señalaron un valor promedio de cinc, para los

sedimentos de la Cuenca Tuy-Cariaco de 57,18 mg/kg; Gamboa *et al.*, (1986) registraron un promedio de 120,29 mg/kg en la Bahía de Guanta, 108,21 mg/kg en la Bahía de Barcelona y 90,05 mg/kg en la Bahía de Pozuelos.

## Manganeso

Este metal es muy reactivo en sistemas acuáticos. La alta capacidad de absorción que poseen los óxidos de manganeso, contribuye significativamente a la caracterización y comportamiento de otros metales en los sistemas estuarinos.

Generalmente, la presencia de Mn en los sistemas acuáticos es favorecida por las fluctuaciones de los procesos redox y la ocurrencia de grandes nódulos de Mn en los sedimentos es indicativo de un exceso del metal de origen antropogénico, a consecuencia del amplio uso que le ha dado el hombre en la industria del acero, aleaciones, construcción de barcos, metalurgia, industria química, cerámica y baterías entre otros.

La figura 8 muestra las concentraciones de Mn que se encuentran presente en cada una de las fracciones geoquímicas de los sedimentos en estudio. Se observa un comportamiento evolutivo desde la parte nor-occidental de la cuenca con las mayores concentraciones disminuyendo hacia las estaciones de la parte nor-oriental de la cuenca, dichos valores están en intervalos de 0,02 mg/kg (estaciones 16 y 17) a 7,00 mg/kg (estación 18) asociados a la fracción de los intercambiables o biodisponibles (F1). Este metal se localizó en mayor proporción en la estación 22 con 137,26 mg/kg, principalmente asociados a los Carbonatos (F2) y en la estación 2 con 22,13 mg/kg asociados a la materia orgánica, oxihidróxidos de Fe y Mn y sulfuros metálicos (F3). También se encontró una concentración elevada de este en la estación 1 (28,75 mg/kg) asociados al fracción de los residuales (F4).

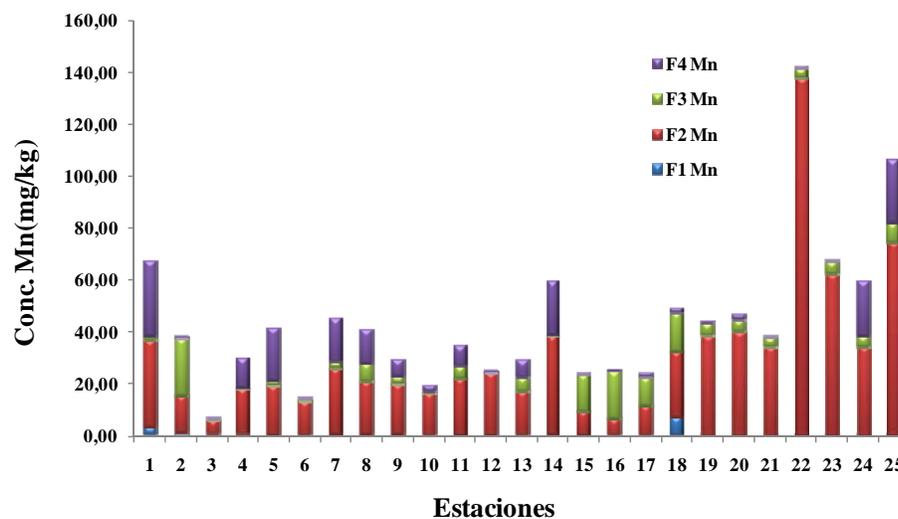


Figura 8. Concentraciones de Mn presentes en cada una de las fracciones geoquímicas en los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela.

En general, las mayores proporciones se presentan asociadas a los carbonatos en toda la región, posiblemente debido a los altos porcentajes carbonatos de origen biogénico, siendo los valores más elevados en los sedimentos de la parte nor-occidental de la cuenca. La presencia de Mn en la segunda fracción indica la biodisponibilidad del metal. La asociación del metal con los carbonatos, es consecuencia de los procesos de absorción y coprecipitación del Mn con  $\text{CaCO}_3$  en los sedimentos superficiales.

Izquierdo *et al.*, (1997) y Riba *et al.*, (2002) destacaron que la cantidad de metales asociadas a las tres primeras fracciones son extremadamente importante, ya que representa la porción del metal que puede ser fácilmente removible por cambios de las condiciones ambientales y, además da información sobre el grado de contaminación al cual son expuesto los sedimentos de un ecosistema marino.

Villaescusa Celaya *et al.*, (1997), en los sedimentos de la región fronteriza de Baja California, México y California, EUA, reportaron que el 90% del Mn, se encontró asociado a la fracción residual con un promedio de 428 mg/kg y en la fracción reactiva principalmente a los oxihidróxidos de Fe y Mn el 42%. Belzunce *et al.*, (1997) destacaron que el 79% del Mn esta asociado a la fracción residual y una pequeña porción

de 1,6% a los carbonatos, en sedimentos de la Ria de Vigo, España. Sin embargo, otros autores han indicado una movilidad potencial del Mn, por su asociación especialmente a la fase intercambiable y a los carbonatos. Teixeira *et al.*, (2001) mostraron un alto porcentaje de movilidad del Mn entre 72 y 82% asociado a la fracción de los carbonatos, en sedimentos del río Jacuí en la región minera de Baixo, Brasil. Riba *et al.*, (2002) reportaron la mayor proporción de este metal en la fracción de los oxihidróxidos de Fe y Mn, y en menor cantidad en la fase intercambiable, confirmando la disponibilidad biológica del Mn en los sedimentos superficiales del estuario de Guadalquivir, España. Velásquez (2005) reportó las mayores proporciones de Mn asociado a la materia orgánica (44,52%), a los oxihidróxidos de Fe y Mn (29,98%) y a los carbonatos (20,12%); y en menor proporción se encontró asociado a la fracción intercambiable (4,97%) y a la residual (0,41%) en los sedimentos superficiales del saco de Golfo.

La distribución total de Mn en el presente estudio confirma que la estación 22 es la más afectada, pues en esta se encontró la mayor proporción (141,78 mg/kg). Otras investigaciones realizadas en áreas costeras señalaron valores promedio de Mn total muy superior al registrado en este estudio, de 516,37 mg/kg en sedimentos de la laguna de Unare, con las máximas concentraciones ubicadas en la región sur-occidental (Fermín, 2002); 471,80 mg/kg en los sedimentos de la laguna de Píritu, con una distribución irregular en toda el área lagunar (Senior y Aparicio, 1992); concentraciones entre 109 y 1363 mg/kg fueron reportados en sedimentos recolectados entre el golfo de Papua y el estrecho Torres (Nueva Guinea), donde sugieren que el patrón de circulación oceánica predominante en la zona favorece la distribución de los metales, siendo significativamente más elevado en los sedimentos del golfo de Papua (Haynes y Kwan, 2002). Similarmente, valores promedio de Mn superiores a los encontrados en este estudio, fueron reportados por Rubio *et al.*, (2000) en la Ría de Vigo, España, presentando concentraciones entre 318,00 y 1170,67 mg/kg; González y Ramírez (1995) en los sedimentos de la bahía de Levisa, Cuba, indicaron 984,00 mg/kg. Marval (2002) reportó, un contenido Mn entre 69,72 y 1818,00 mg/kg con un promedio de 561,65 mg/kg, en los sedimentos superficiales de la región central del delta del Orinoco y señaló

que las mayores concentraciones del metal coinciden con la época de sequía del río, producto a la intrusión del agua de mar, la cual favorece el proceso de floculación, formación y precipitación de los oxihidróxidos de manganeso en la superficie de los sedimentos.

## Cobalto

El cobalto es un elemento que se presenta de forma natural en el medio ambiente. Puede también entrar en el aire y el agua y depositarse sobre los sedimentos a través de las escorrentías continentales cuando el agua de lluvia fluye a través del suelo y rocas que contienen cobalto. El metal y sus aleaciones son resistentes al desgaste y a la corrosión, aún a temperaturas elevadas. Los compuestos de cobalto se usan también para colorear vidrio, cerámicas y pinturas y como secador de esmaltes y pinturas para porcelana y tienen gran variedad de aplicaciones industriales, incluso se usan como catalizadores, y en agricultura para remediar la deficiencia de cobalto en el suelo y en la vegetación natural.

Los efectos sobre la salud que son el resultado de la toma de altas concentraciones de cobalto son: vómitos y náuseas, problemas de visión, problemas de corazón y daño del tiroides. Los humanos añaden cobalto por liberación de pequeñas cantidades en la atmósfera por la combustión de carbón y la minería, el procesado de minerales que contienen cobalto y la producción y uso de compuesto químicos con cobalto.

La figura 9 muestra la especiación del cobalto y se puede ver que en la estación 1 se encuentra la concentración mas altas con una alta proporción asociada a la fracción residual F4 (50,50 mg/kg). Esto puede atribuirse a la textura del sedimento en dicha estación el cual es limoso en un 79,22% y esto favorece la retención del metal en el mismo. Por otro lado también se observa una elevada concentración de cobalto (13,12 mg/kg en la estación 18) asociado a la materia orgánica, carbonatos y óxidos de hierro y

manganeso. Para las fracciones de los biodisponibles (F1 y F2) se obtuvieron las mayores proporciones en la estación 1 de 0,23 mg/kg y 1,75 mg/kg, respectivamente.

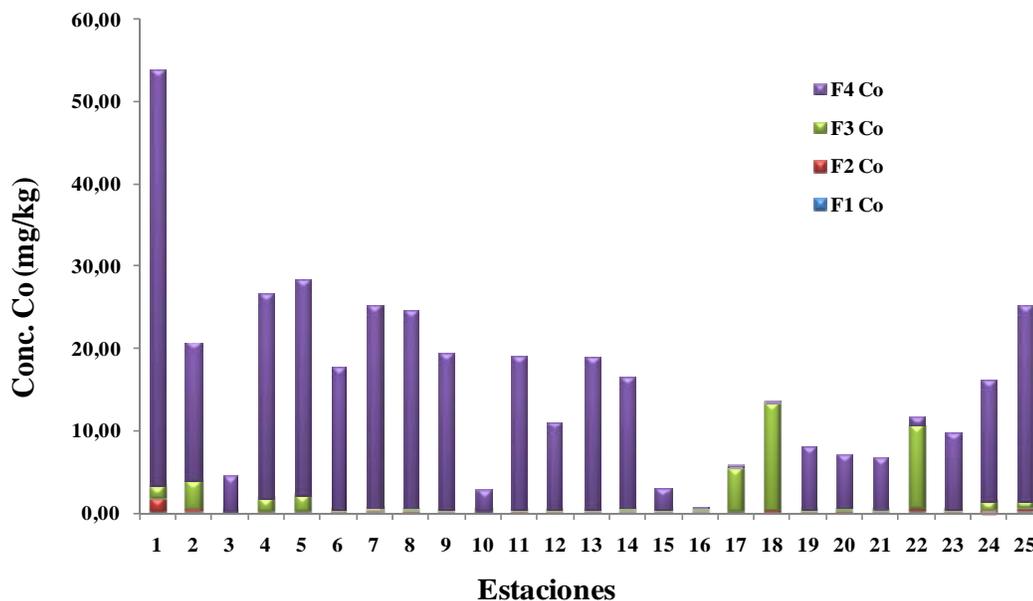


Figura 9. Concentraciones de Co presentes en cada una de las fracciones geoquímicas en los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela.

Teixeira *et al.*, (2001) reportaron en los sedimentos del Río Jacuí (Brasil) una fuerte asociación del cobalto con la fracción no biodisponible con porcentajes que variaron entre 69 y 89%. La fase biodisponible para este metal no fue tan alta, con concentraciones que variaron entre 15 y 31%. Dicho comportamiento es similar al del presente estudio. Nascimento y Fenzl (1997) en sedimentos de dos canales de drenaje de Belém (Brasil), encontraron que 42,1% de la concentración total del metal se encuentra unido a la fracción residual y 37,92% a la reducible. En cambio para el Río Guamá (Brasil) el cobalto se relaciona con la fase residual con 61,46% y reducible con 37,26% de la concentración total.

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%).

La distribución espacial total del cobalto tiene un máximo de 53,89 mg/kg (estación 1), esto puede ser por la alta proporción de limo (79,22 %) y de materia orgánica es de 8,46% en dicha estación (Cumaná-Araya). Velásquez (2005) reportó que las mayores concentraciones para ambos meses (Marzo y Octubre del 2002) se detectaron hacia la costa norte, centro y zona occidental del Saco del Golfo, y concluyó que estas máximas concentraciones están relacionadas con sedimentos limo-arcillosos.

### Cadmio

Este elemento se encuentra en la corteza terrestre en una proporción que varía de 0,15 a 0,2 mg/kg. Químicamente posee afinidad con el azufre, con los halógenos y fosfatos, formando complejos con los cloruros e iones inorgánicos (Yeats *et al.*, 1995). A bajas concentraciones es altamente tóxico, especialmente en su forma  $Cd^{2+}$ , el cual es responsable de daños adversos en las arterias y riñones de los humanos y como el causante de los cánceres generalizados (Sadiq, 1992; David y Phillips, 1995).

Está distribuido uniformemente en la corteza terrestre y, generalmente en asociación con el Zn, materia orgánica, nódulos de manganeso, sedimentos lacustres y oceánicos (Sadiq, 1992). La forma más común de Cd es el sulfuro, también forma hidróxidos, cloruros y variedad de complejos estables con la materia húmica, sus carbonatos, sulfuros e hidróxidos tienen solubilidades muy bajas y es probablemente por ello que la mayor parte del Cd de los ambientes acuáticos aparece en los sedimentos (Adriano, 1986; Rosas, 2001).

Un informe, elaborado por Organización Mundial de la Salud señala que el lavado de las rocas enriquece, con cantidades significativas de cadmio, los ambientes acuáticos (Williams, 1987). Aun más, en ecosistemas marinos muy productivos como el saco del Golfo de Cariaco, el cadmio puede provenir del fitoplancton muerto que se deposita en el fondo (González *et al.*, 2006)

En los sedimentos, este metal se adsorbe fuertemente en la materia orgánica y puede ser muy tóxico, cuando es ingerido por los organismos bentónicos. Ya que, no se le conoce ninguna función biológica y puede biocumularse en ellos. Aunque la susceptibilidad al cadmio puede variar ampliamente entre organismos acuáticos, se sabe que los organismos de agua salada son más resistentes al envenenamiento por cadmio que organismos de agua dulce (Andres *et al.*, 2000).

Se encontraron concentraciones elevadas de este metal en las fracciones biodisponibles de 0,27 mg/kg (F1) y 1,25 mg/kg (F2) en la estación 1 (Fig. 10), lo que es preocupante porque el metal se encuentra más biodisponibles para los organismos marinos y por ende para los humanos y este es considerado como serio contaminante de los ecosistemas marinos, bien sea por su persistencia en el ambiente, toxicidad y habilidad para ser incorporado a la cadena alimenticia. Martínez *et al.*, (2002) determinaron, en núcleos de sedimentos de la bahía de Bergantín, valores de Cd hasta de 1,15 mg/kg en la fracción biodisponible, con las mayores concentraciones en la región central y fuera de la bahía, asumiendo que estas concentraciones del metal puede ser generadas por las distintas actividades humanas como explotación, refinación y transporte de petróleo crudo, tráfico de embarcaciones que se desarrollan en la zona.

Sin embargo, las concentraciones más elevadas de este metal (9,08 mg/kg y 2,59 mg/kg) se encontraron en la estación 3 en las fracciones asociadas a la materia orgánica y a los residuales. El comportamiento que presenta este elemento en dicha estación puede explicarse debido a que esta es una de las estaciones donde predomina la materia orgánica (4,91%) y esto facilita la retención del metal. Por otra parte, este comportamiento puede deberse a que el cadmio, en los sedimentos marinos, generalmente existe como iones divalentes positivamente cargados, y pueden ser adsorbidos por las superficies sólidas cargadas negativamente, de las cuales más importantes son los oxihidróxidos de Fe y Mn, carbonatos y materia orgánica (Sadiq, 1992). Velásquez (2005) reportó para el saco del Golfo concentraciones de Cd unidos

con los oxihidróxidos de Fe y Mn; con proporciones que variaron entre no detectado y 1,61 mg/kg, con un promedio de 0,47 mg/kg que equivalen a un porcentaje de 26,74% del contenido total del elemento. Comparando con el presente estudio se observa un incremento muy notable, debido a que 76,62% del metal total en el sedimento está unido a los oxihidróxidos de Fe y Mn.

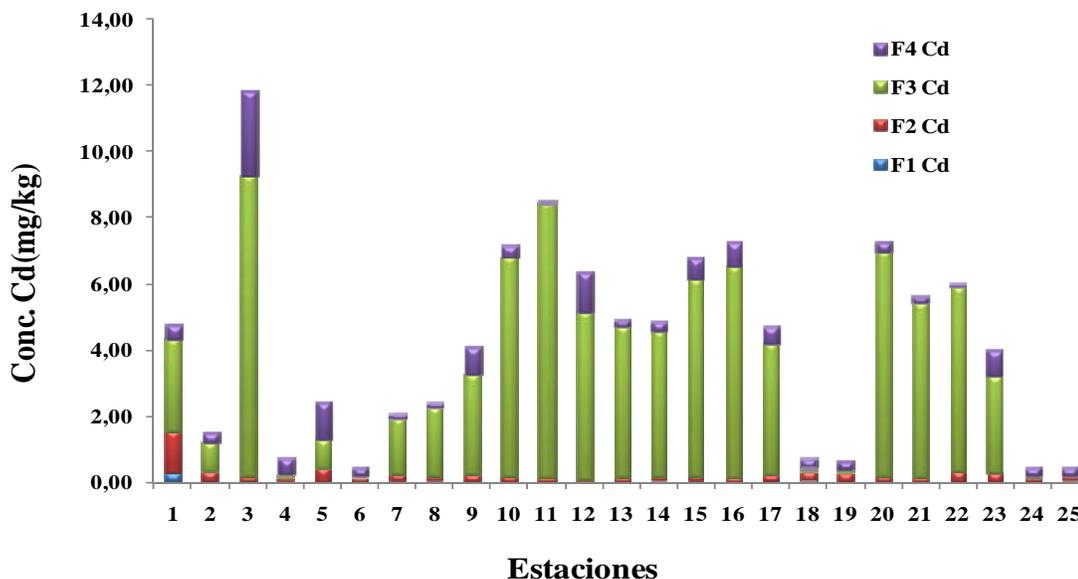


Figura 10. Concentraciones de Cd presentes en cada una de las fracciones geoquímicas en los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela.

Förstner (1993) indicó que el Cd es mayormente asociado a la fracción de la materia orgánica y sulfuros en sedimentos de zona anóxica y a las fracciones de los carbonatos e intercambiables en zona óxica. También, señaló que la liberación de Cd desde la zona óxica de los sedimentos hacia la columna de agua y además hacia la biota es controlada por un mecanismo predominante de adsorción/desorción. Muchos investigadores resaltan el papel importante de superficies sólidas inorgánicas como los carbonatos, la materia orgánica y los oxihidróxidos de hierro y manganeso en la adsorción de metales en sedimentos (Izquierdo *et al.*, 1997; Klavins y Virkavs, 2001; Aloupi y Angelidis, 2000; Marval, 2008).

La distribución espacial total de Cd nos indica que la estación 3 es la más afectada con 11,85 mg/kg. En líneas generales, los niveles de Cd en los sedimentos de la

zona en estudio muestran una distribución homogénea. De acuerdo a estas concentraciones, la mayoría de las estaciones presentaron valores superiores a 1,0 mg/kg, valor citado por Sadiq (1992) como límite máximo para los sedimentos no contaminados por Cd en los ecosistemas acuáticos, por consiguiente, los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco presentan niveles de Cd alarmantes, representando un alto riesgo a la biota.

Es importante considerar que este ecosistema presenta una falla sísmica, y que está dentro de las posibilidades la presencia de sismos (ya sean de baja o alta intensidad) que producen cambios de presión, temperatura, pH, entre otros; variaciones que hacen posible la liberación de los metales que se encuentran formando oxihidróxidos de Fe y Mn. Varios autores han reportado que en los sedimentos marinos, el Cd se encuentra principalmente formando cloruros (Zirino y Yamamoto, 1972; Millero y Shon, 1992), los cuales son fácilmente disociables.

## Níquel

Este elemento solo se encuentra en la corteza terrestre en 0,01% en forma de óxidos, carbonatos, silicatos de hierro y manganeso, así como sulfuros de arsénico y telurio. A pesar de que este metal es esencial en nuestro organismo, en concentraciones relativamente altas puede ser perjudicial, ya que se ha relacionado con diversas enfermedades, incluyendo el cáncer (Rosas, 2001).

Sus sales son concentradas en aguas naturales y en los sedimentos finos arcillosos de alto contenido de materia orgánica donde la especie metálica  $Ni^{2+}$  se puede absorber entre los poros acuosos. En los sedimentos anóxicos de cuencas, fiordos y fosas, el Ni en presencia de  $H_2S$  forma complejos (Fuentes, 1998). El níquel puede ser liberado desde los sedimentos a la columna de agua teniendo asociaciones y perfiles semejantes a los nutrientes especialmente fosfatos y silicatos (Yeats *et al.*, 1995).

En la especiación de este metal (Fig. 11) se encontró que la concentración más elevada está en la fracción asociada a los residuales 36,49 mg/kg en la estación 13 (Margarita-La Tortuga). El hecho de que el Ni este formando principalmente parte de la fracción residual de los sedimentos en gran proporción puede explicarse, debido a que este es un elemento muy abundante de la corteza terrestre, está en combinación con otros elementos y en diversos minerales. Cabe destacar que en las estaciones donde el sedimento es arena gruesa (Estaciones: 13 y 8), el Ni estuvo mayormente enlazado a la fracción residual y a los carbonatos, donde el sedimento es arena más fina (Estaciones: 1, 5 y 7).

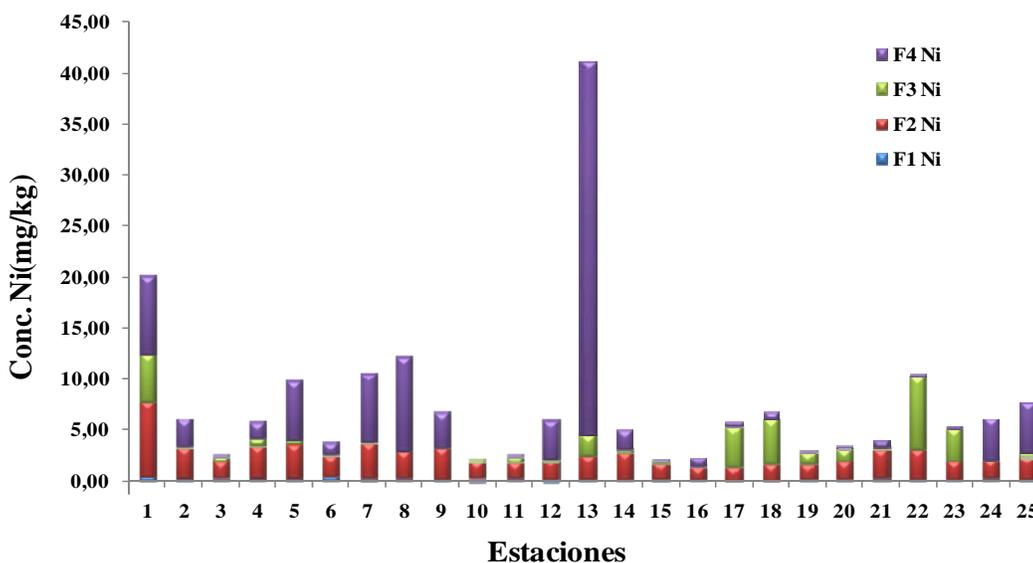


Figura 11. Concentraciones de Ni presentes en cada una de las fracciones geoquímicas en los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela.

También se encontraron concentraciones elevadas en las fracciones de los biodisponibles 0,47 mg/kg y 7,29 mg/kg en la estación 1 zona en la cual existe un gran porcentaje (8,46%) de materia orgánica y de sedimentos finos (limo 79,22%). Esto puede ocasionar que los metales tiendan a acumularse en la misma, ya que se asocian con más facilidad a las partículas finas y a materiales orgánicos. El contenido de Ni asociado a la materia orgánica fue de 7,02 mg/kg en la estación 22.

En los sedimentos costeros de la bahía Jinzhou, China, encontraron el Ni mayormente presente en la fracción residual, con rango de variación entre 64 y 80%, sugiriendo la dominancia de origen natural del metal y concentraciones por debajo del límite de detección menor de 0,2 mg/kg para las fases intercambiable y carbonatos (Fan *et al.*, 2002); en la región fronteriza de baja California, México y California, EUA, determinaron una variación entre 66 y 97% asociado a la fracción residual y una menor proporción en las fracciones de los carbonatos e intercambiable (Villaescusa-Celaya *et al.*, 1997). De igual manera, Belzunce *et al.*, (1997) en sedimentos de la Ría de Vigo, señalaron que el 65% del Ni estuvo enlazado a la fracción residual, el 15% a la oxidable y 17% a la reducible. Marval (2002) reportó a la fracción residual como la principal fase de distribución de este metal, con resultados que oscilaron entre 0,19 y 20,36 mg/kg, en sedimentos superficiales de la región central del delta del Orinoco. Landaeta (2002), en sedimentos de la región marino costera frente a la ciudad de Cumaná, mostró que el Ni tuvo una mayor relación con la fase residual, variando su proporción entre 26,95 y 58,40%, 31,35% a la materia de orgánica y 16,63% a la fracción de los biodisponibles. Klavins y Virkavs (2001), en un análisis de especiación en sedimentos de los ríos de Latvia, reportaron que el 46% del Ni estuvo enlazado a la fracción residual y un 12% a los carbonatos. Aguilera (2005) reportó que alrededor de 52,4% del metal total presente en los sedimentos de la bahía oeste, estuvo asociado a la fase residual (F4). Comparando con estos autores podría confirmarse que el 88.89% del total del metal en el sedimentos de la periferia de la cuenca de Cariaco es de origen natural.

La distribución total de Ni señala que la estación 13 es la más perjudicada con 41,05 mg/kg, resultando mayor a 10,00 mg/kg indicado como valor normal para sedimentos no contaminados (Sadiq, 1992). Esta concentración concuerdan con las reportadas por Fan *et al.*, (2002) para una bahía de la China oriental, donde consideran 14,6 mg/kg para sitios limpios y 41,1 mg/kg para los sedimentos contaminados. Además, estos autores señalan 24,00 mg/kg como límite máximo de Ni en sedimentos costeros no contaminados.

## Plomo

Las concentraciones de este metal se encuentran principalmente asociadas con el material detrítico particulado, así como también la deposición y acumulación en los sedimentos mediante los procesos geoquímicos de disolución y precipitación. Sin embargo, predomina la forma inorgánica, que es muy tóxica y contaminante. El pH y la fuerza iónica del agua de mar pueden ser la causa principal de la incorporación del plomo en el material detrítico en suspensión transportado por escorrentías límnicas (Fuente, 1998). Es un metal poco móvil y tiende a adsorberse en la zona no saturada por los ríos, por el material arcilloso y la materia orgánica, y con el aumento del pH puede precipitar como hidróxido de plomo (Moore y Ramamoorthy, 1984).

Este metal puede alterar el metabolismo de los organismos vivos, debido a que no cumplen ninguna función biológica (Rainbow, 1993) por ejemplo en los niños causa retardos mentales y desórdenes metabólicos (Nriagu, 1988), una de las razones por el cual es muy importante su estudio.

En la especiación del Pb (Fig. 12) se observaron concentraciones elevadas asociado a la fracción biodisponible, es decir, de entrada más reciente al medio, de 4,07 mg/kg (estación 1) y 3,08 mg/kg (estación 7), la cual puede incorporarse fácilmente a la cadena alimenticia, y por ende llegar a los humanos. En la mayoría de las estaciones las más altas proporciones de este metal se detectaron en la parte nor-oriental de la cuenca en la fracción de los carbonatos (F2).

El comportamiento de este elemento en las estaciones antes mencionadas indica que la fuente de contaminación por plomo son las actividades antropogénicas (Scoullou, 1986) ocupando la combustión de la gasolina uno de los primeros factores contribuyentes del mayor porcentaje de emisión de Pb al medio ambiente.

Aguilera (2005) reportó que la fracción biodisponible (intercambiables y carbonatos) de la bahía oeste presentó una proporción considerable de este metal en casi todas las estaciones, que en conjunto con la fracción biodisponible de la bahía este, indica una entrada reciente de Pb a los sedimentos marinos del Morro de Puerto Santo de origen antrópico, producto de la intensa actividad pesquera, tráfico de embarcaciones y a las aguas del lavado de las calles que son arrastradas en épocas de lluvias a las áreas costeras.

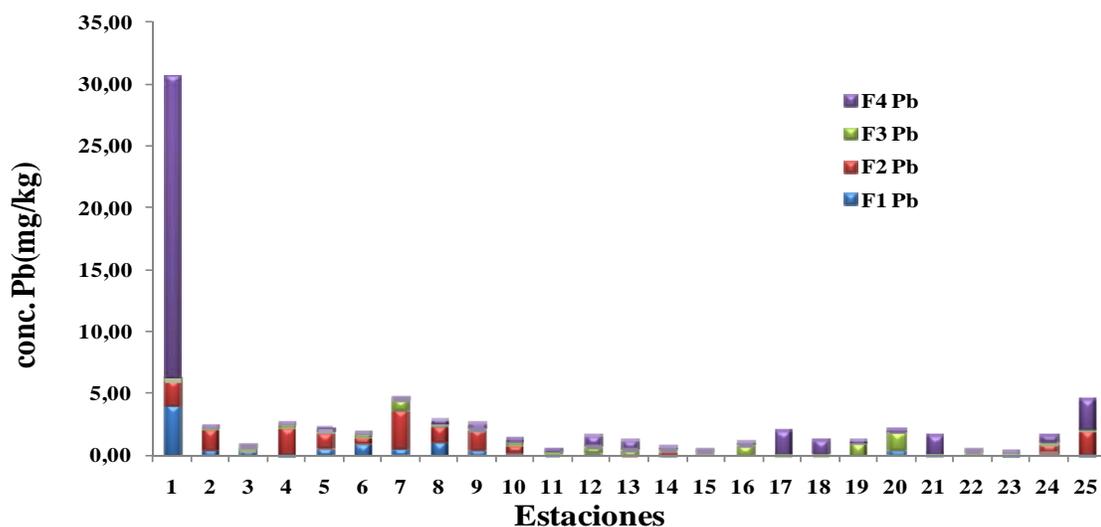


Figura 12. Concentraciones de Pb presentes en cada una de las fracciones geoquímicas en los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela.

La concentración de Pb biodisponible (F1 + F2) en los sedimentos en estudio (4,07 y 3,08 mg/kg) es mayor que el límite máximo permitido por la FAO (2002) de 2,00 mg/kg para pescado de consumo humano, en consecuencia, es necesario mantener una inspección constante sobre la presencia y distribución de este metal, no solo en aguas y en sedimentos, sino también en los peces que pueden ser consumidos por los humanos. Sin embargo, la mayor concentración de este metal se encontró en la fracción de los residuales 24,24 mg/kg en la estación 1. Martínez *et al.*, (2002) determinaron mayor variación de Pb asociado a la fracción residual en núcleos de sedimentos de la Bahía de Bergantín, un menor rango de variación en la fracción biodisponible y no detectó Pb asociado a la materia orgánica; comportamiento similar al encontrado en este

estudio. Klavins y Virkavs (2001) indicaron una pequeña porción de Pb vinculada a la fracción de los intercambiables, un 44% asociado a la fracción residual y un 17% enlazado a los óxidos de Fe y Mn, en los sedimentos superficiales de Latvia.

Su distribución espacial de Pb total indica que las estaciones más afectadas están ubicadas en la parte nor-oriental de la cuenca, encontrándose un máximo en la estación 1 de 30,62 mg/kg, influenciadas por las descargas del río manzanares y los aportes provenientes de la ciudad de Cumaná. Sadiq (1992) indicó que las actividades antropogénicas son las principales fuentes de Pb en el medio ambiente marino. Aranda (1999) determinó un valor promedio de 19,01mg/kg en sedimentos superficiales de la Ensenada Grande del Obispo. Fermín (2002) indicó un promedio de Pb de 29,00 mg/kg en sedimentos de la Laguna de Unare. Similarmente, Martínez (2002) reportó un contenido de Pb entre un rango de 5,88 y 26,25 mg/kg, con 17,99 mg/kg de promedio en sedimentos superficiales al norte del litoral costero del Golfo de Cariaco. También, González (1995) reveló 66,77 mg/kg en sedimentos superficiales del Puerto Pesquero de Cumaná, señalando estos autores cierto potencial de contaminación por este metal en los sedimentos de estos ecosistemas al compararlo con el valor límite de Pb para sedimentos no contaminados de 5 mg/kg, según lo señalado por Sadiq (1992). Los resultados obtenidos en esta investigación son inferiores a los reportados por estos autores y, al compararlo con el valor límite de Pb sugerido por Sadiq (1992) para sedimentos no contaminados, se podría deducir la existencia de contaminación solo en las estaciones 1, 7 y 25 por este metal en los sedimentos analizados.

## Cobre

Este metal posee una amplia distribución en la naturaleza, se encuentra en estado libre, formando sales de sulfuro, arseniatos, cloruros y carbonatos. Posee una gran capacidad de formar complejos. Tiene tendencia a concentrarse en los óxidos de manganeso sedimentarios y en fracciones de minerales arcillosos, especialmente ricos en carbono orgánico. También, tiene mucha facilidad de adsorberse sobre las partículas sólidas en suspensión e incorporarse rápidamente al sedimento. El 90% del Cu en un

sistema acuático forma complejos en la fracción húmica en disolución (Moore y Ramamoorthy, 1984; Doménech, 1995). Este metal se encuentra en los sedimentos en dos estados de oxidación, propiedad que puede influir en su equilibrio en los ambientes marinos, sobre todo bajo fluctuaciones de las condiciones redox. La química marina del cobre afecta su bioacumulación y toxicidad; por consiguiente, un conocimiento de su conducta en los ecosistemas marinos facilitará la comprensión y valoración de su toxicidad y acumulación en los organismos marinos (Sadiq, 1992).

Los sedimentos marinos se consideran un importante reservorio de cobre, un exceso de este metal en el agua de mar produce la precipitación en fase sólida de dicho metal que finalmente se deposita en los sedimentos.

Es un elemento esencial para los organismos vivos, por lo que su estancia natural no debería ser peligrosa, no obstante, su presencia en el medio ambiente se ha multiplicado desde la revolución industrial y en altas proporciones puede causar hasta la muerte. Por otra parte, su toxicidad en organismos acuáticos ha sido reconocida por muchos investigadores, porque es bioacumulado directamente desde el agua y en los sedimentos (David y Phillips, 1995).

La figura 13 muestra la especiación del Cu y se puede observar que este elemento presenta un comportamiento muy particular, ya que sus mayores concentraciones, para las cuatro fracciones de extracción, se encontraron en la misma estación (estación 1), con 1,73 mg/kg asociado a la fracción de los residuales; 11,75 mg/kg en la fracción asociados a la materia orgánica y por último se ubica la proporción de Cu asociada a la fracción de los biodisponible, los cuales fueron 2,02 mg/kg y 0,09 mg/kg.

El hecho de que la estación 1 presente las proporciones de Cu más altas, puede estar influenciado por la textura del sedimento ya que contiene un alto porcentaje de limo (79,22%) a diferencia de las demás estaciones que presentan un porcentaje de arena

muy alto y por la materia orgánica presente en dicha estación (8,46 %). Por otro lado, esta estación está ubicada cerca de las costas donde presenta mayor aporte del río manzanares.

La especiación geoquímica de los metales mostró que la materia orgánica y la matriz sedimentaria constituyen las principales fases de acumulación de Cu en los sedimentos de la periferia de la cuenca de Cariaco. Este comportamiento de distribución indica que la mayor parte del contenido total de Cu presente en los sedimentos es de origen litogénico, permitiendo una distribución del metal en todas las fases del sedimento con la mayor proporción en la materia orgánica y en la fracción residual, respectivamente. Sadiq (1992) señala el poder de adsorción de Cu en los materiales orgánicos y que su presencia está favorecida por el material detrítico sedimentario. Además, acota que las escorrentías continentales y los efluentes antropogénicos son vías de penetración de Cu y materia orgánica en los ecosistemas acuáticos. Por otra parte, la capacidad de la materia orgánica para incorporar metales pesados ha sido bien reconocida en diferentes ambientes acuáticos, particularmente en la complejación del Cu (Villaescusa-Celaya *et al.*, 1997; Zhou *et al.*, 1998; Teixeira *et al.*, 2001).

La distribución espacial total de este metal confirma la abundancia del mismo en dicha estación (15,58 mg/kg). En la parte nor-oriental de la cuenca los niveles de Cu fueron relativamente más altos con poca variabilidad entre las estaciones, disminuyendo hacia el área de mayor profundidad, es decir, hacia la parte nor-occidental de la cuenca.

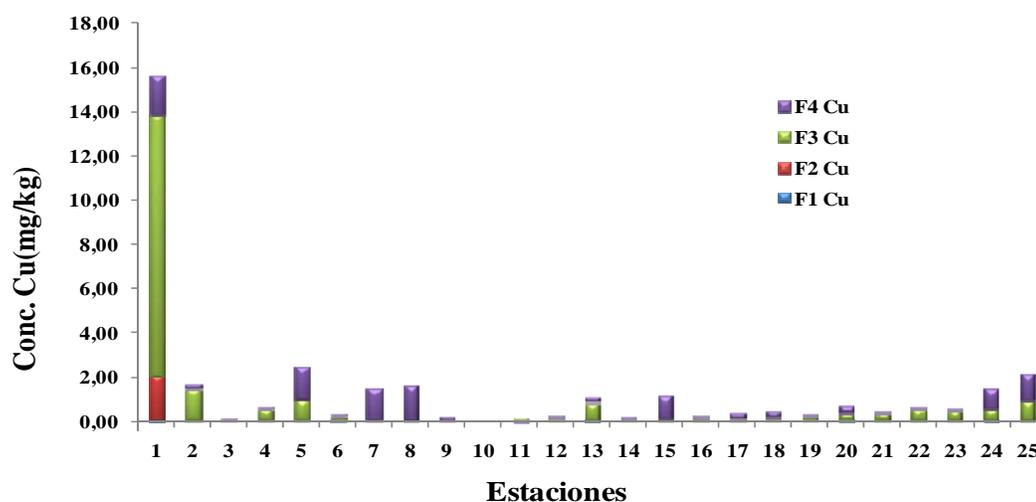


Figura 13. Concentraciones de Cu presentes en cada una de las fracciones geoquímicas en los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela.

## Hierro

Es el segundo metal más abundante en la naturaleza y, por lo tanto es uno de los más usados. Se encuentra como óxido de hierro (II y III) en los minerales oligisto y magnetita. Se emplea desde la fabricación de medicinas, tintas para el revelado de fotografías y hasta en la fabricación de acero para la industria pesada. Sus concentraciones suelen incrementarse en periodos de lluvia en los ambientes acuáticos bajo la influencia del aporte de los ríos, ya que estos constituyen una de las vías de transporte más importantes del hierro hacia los sistemas marinos donde es esencial para el crecimiento de Fitoplancton.

En la especiación del Fe (Fig. 14) se puede ver que las proporciones más altas de este metal se encuentran en la estación 1 (Golfo de Cariaco) con 10195,22 mg/kg asociado a los residuales (74,20% del metal total en el sedimento), 2480,46 mg/kg y 2,19 mg/kg asociada a la fracción de los biodisponibles. De igual manera se encontró una proporción elevada del mismo unido a la materia orgánica 3331,06 mg/kg en la estación 22.

Esta tendencia en el comportamiento geoquímico de este elemento ha sido verificado en otros estudios de extracción secuencial aplicado a los sedimentos, como la reportada por Villaescusa-Celaya *et al.*, (1997) donde más del 92% del Fe se encontró asociado a la fracción residual y valores indetectables para la fracción intercambiable, en estudio realizado en la región fronteriza de Baja California, México y California, Estados Unidos; Belzunce *et al.* (1997) indicaron que el 63% del Fe total estuvo asociado principalmente a la fracción residual y 21% a la oxidable, en la Ría de San Simón-Vigo. Soto (1998) señaló a la fracción residual como la fase geoquímica más importante del Fe con una representación del 85% y entre 10 y 14% a los óxidos de Fe y Mn, en estudio de los sedimentos del Puerto de Mazatlán. Fermín (2002) reportó un 90,08% de Fe en la fracción residual con un promedio de 14000 mg/kg y valores indetectables en la fracción intercambiable, en los sedimentos de la laguna de Unare. Landaeta (2002) encontró altas concentraciones en la fracción residual con un rango de variación entre 8,96 y 68,81% en la región costera frente a la ciudad de Cumaná.

Respecto a la distribución espacial total de Fe confirman que este es el metal más abundante en la corteza terrestre con un promedio de 5873,02 mg/kg en los sedimentos analizados, hallándose la mayor concentración (13740,10 mg/kg) en la estación 1.

Sadiq (1992) informó que las altas concentraciones de Fe son normales en las áreas costeras y estuarinas, especialmente las influenciadas por actividades antropogénicas. Sin embargo, Well y Mayer (1991) indicaron que las altas concentraciones de Fe en los sedimentos depende del grado de actividad abiótica en el que participa el metal mediante la degradación de la materia orgánica y su presencia en los ecosistemas esta influenciada por los aportes de los ríos, de allí que grandes concentraciones del metal no sean alarmantes en algunos ecosistemas acuáticos. Teixeira *et al.* (2001) reportaron las mayores concentraciones de hierro en sedimentos del río Jacuí, Brasil, con valores entre 32000 y 55000 mg/kg, debido a las actividades antropogénicas como la navegación y dragado del río, responsable de los cambios en las

condiciones geoquímicas. Riba *et al.*, (2002) mostraron en estudios de núcleos de sedimentos que los perfiles verticales de Fe y de otros metales fueron afectados después del derrame minero ocurrido en el Golfo de Cádiz, al encontrar concentraciones superficiales de 45000 mg/kg. Estos valores son más altos que los obtenidos en los sedimentos de la periferia de la cuenca de Cariaco.

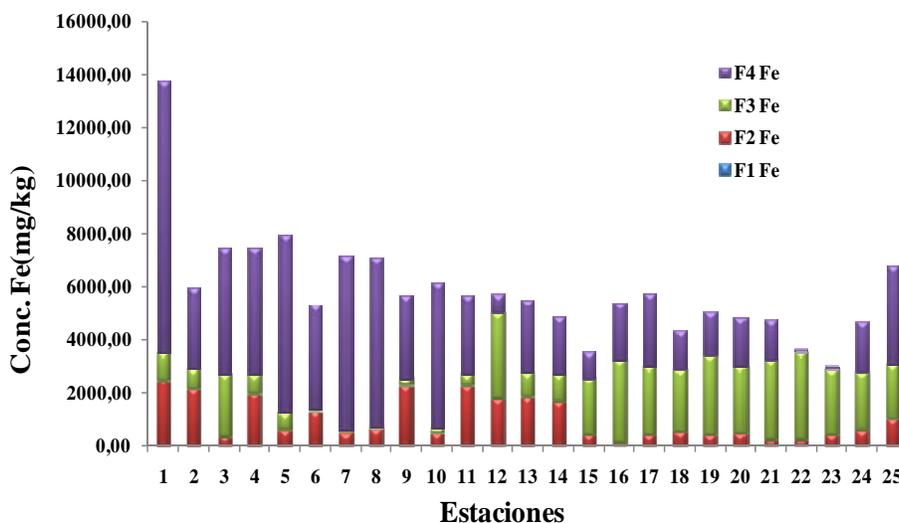


Figura 14. Concentraciones de Fe presentes en cada una de las fracciones geoquímicas en los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela.

## ANÁLISIS DE CORRELACIÓN

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 de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela.

### Correlación con el contenido de materia orgánica

Se encontró una relación significativa de la materia orgánica con las fracciones finas del sedimento, arcillas y limos, con un coeficiente de correlación de 0,607 y 0,570 respectivamente. El carbono orgánico también está relacionado muy significativamente

con la materia orgánica con un coeficiente de correlación de 0,748, mientras que es significativa con las arcillas 0,573; limos 0,719 y con el Cobalto en 0,534; indicando que la distribución de este metal está asociada con el contenido de carbono orgánico.

#### Correlación con la textura de los sedimentos

A la fracción limosa de los sedimentos están asociados los metales Co, Pb, Cu y Fe con un coeficiente de correlación de 0,618; 0,663; 0,659 y 0,737 respectivamente. De igual manera se encontró relación de la fracción arcillosa con los limos con un coeficiente de correlación de 0,684. El Co con el Pb, Cu y Fe, el Pb con el Cu y Fe, el Cu con el Fe y el Fe con todos los metales estudiados. Un hecho importante que se puede visualizar en la matriz de correlación de Pearson, es la correlación entre los metales, debido a que esto puede estar indicando que los metales presentan el mismo comportamiento geoquímico.

A menudo resulta difícil predecir si las concentraciones metálicas en los sedimentos costeros reflejan condiciones naturales o antropogénicas. Según Rubio *et al.*, (1995) y Morrison *et al.*, (2001) correlaciones altamente significativas entre los metales y a su vez con los elementos Fe y Mn, principalmente (elementos definitorios de las características de los sedimentos) indicaría un origen natural o terrígeno de los metales en la fracción sedimentaria y la falta de correlación entre ellos confirmaría una contaminación de tipo antrópico. Otros autores han reportado correlaciones positivas de los metales con el Fe, Mn y Al (Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1994; Naidu *et al.*, 1997; Müller, 1999) sugiriendo una misma fuente de transporte u origen y admitiendo que los oxihidróxidos de Fe y Mn y los aluminosilicatos son sustratos sólidos potenciales en la adsorción de metales pesados en los sedimentos. Asimismo, el análisis de correlación refleja la clara dependencia del tamaño del grano y la concentración metálica.

La importancia del papel que juega el tamaño de grano y el contenido de materia orgánica sobre la distribución de los metales en los sedimentos ha sido bien sustentada.

Antecedentes de algunos estudios señalan que el tamaño de grano, el contenido de aluminosilicatos 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).

Para los sedimentos de la periferia de la cuenca de Cariaco se podría decir que la concentración de los metales es fuertemente controlada por la composición granulométrica de los sedimentos. Esto es consistente por las altas correlaciones positivas entre los metales y las fracciones de limo y arcilla.

No siempre es fácil distinguir los efectos de la composición del sedimento de los de la textura, pues la mayoría de los componentes reactivos con los metales pesados, tales como la materia orgánica, se acumulan sobre la superficie de las partículas finas. Asimismo, Shriadah (1999) establece correlación positiva ( $r = 0,81$ ) entre el Cd y carbono orgánico, solamente. Naidu *et al.*, (1997) y Müller (1999) en los sedimentos superficiales del mar Chukchi y mar Archipiélago, Finlandia, no encontraron asociación significativa entre los metales y el carbono orgánico. Sugiriendo estos autores que la falta de estas correlaciones fueron probablemente debido al comportamiento no conservativo de los materiales orgánicos, al papel minoritario que juegan éstos en la distribución de los metales en la fracción sedimentaria y a las variaciones hidrodinámica y sedimentaria de los ambientes. Como es el caso del presente estudio que la mayoría de los metales no presentaron correlación significativa con el carbono orgánico a excepción del cobalto.

Tabla 4. Matriz de correlación de Pearson que muestra las asociaciones entre los metales totales con el contenido de materia orgánica, carbono orgánico y textura de los sedimentos.

	Arena	Limo	Arcilla	% M.O.T	% C.O	Zn	Mn	Co	Cd	Ni	Pb	Cu	Fe
Arena	1,000												
Limo	-0,146	1,000											
Arcilla	-0,204	0,684	1,000										
% M.O.T	-0,224	0,570	0,607	1,000									
% C.O	-0,165	0,719	0,573	0,748	1,000								
Zn	-0,007	0,448	0,060	0,071	0,006	1,000							
Mn	-0,041	-0,013	-0,066	-0,096	-0,006	-0,041	1,000						
Co	-0,177	0,618	0,280	0,453	0,534	0,216	0,269	1,000					
Cd	0,096	-0,144	-0,199	-0,419	-0,259	-0,007	-0,237	-0,417	1,000				
Ni	-0,097	0,206	0,007	0,250	0,199	0,014	0,137	0,471	-0,108	1,000			
Pb	-0,051	0,663	0,231	0,267	0,261	0,466	0,177	0,767	-0,063	0,338	1,000		
Cu	-0,072	0,659	0,291	0,290	0,265	0,468	0,230	0,777	-0,072	0,382	0,980	1,000	
Fe	-0,127	0,737	0,350	0,359	0,464	0,240	-0,058	0,786	-0,024	0,317	0,852	0,821	1,000

## CONCLUSIONES

El análisis granulométrico de los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, determinó que en su gran mayoría son de textura arenosos, en algunos sitios areno-limoso, limo-arenoso y limosos. Las estaciones con textura fina (areno-limoso, limo-arenoso y limosos) presentó una mayor retención de materia orgánica y una mayor proporción de metales.

La distribución de los metales pesados en los sedimentos analizados de la periferia de la cuenca de Cariaco presenta el siguiente orden de concentración:  $Fe > Mn > Zn > Co > Ni > Pb > Cu > Cd$ , con el Fe, Zn, Co, Ni, y Pb, principalmente asociados a la fracción de los residuales, mientras que el Mn, Cd y Cu asociados a la fracción de los biodisponibles (intercambiables y carbonatos).

El método de extracción empleado además de dar a conocer las posibles fuentes de contaminación de metales en la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela; ha permitido obtener información de la variabilidad y concentraciones relativas de las diferentes fracciones geoquímicas que componen la matriz sedimentaria biodisponibles de estos metales.

Se observa una clara diferenciación en la composición textural, concentración y especiación de los metales en los sedimentos del sector oriental respecto a del sector occidental de la Periferia de la Cuenca de Cariaco. Los sedimentos del sector oriental presentan una mayor proporción de limos y arcilla que pueden acumular materia orgánica y metales.

Los resultados de este trabajo corroboran la importancia de evaluar la distribución y comportamiento de los metales en los ecosistemas acuáticos, con la finalidad de establecer niveles de línea base para el monitoreo y control de la polución

de los ecosistemas acuático y sus impactos en la biota y recursos pesqueros de esta importante región marina.

## BIBLIOGRAFÍA

Acosta, V.; Lodeiros, C.; Senior, W. y Martínez G. 2002. Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela. *Interciencia*, 27 (12): 686-690.

Adriano, D. 1986. *Trace elements in the terrestrial environments*. Springer Verlag. New York.

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.

Aloupi, M. y Angelidis, M. 2000. The significance of coarse sediments in metal pollution studies in the coastal zone. *Water, Air, and Soil Pollution*, 133: 121-131.

Andres S.; Ribeyre F.; Tourencq J.-N; Boudou A. 2000. Interspecific comparison of cadmium and zinc contamination in the organs of four fish species along a polymetallic pollution gradient (lot River, France). *Sci. Total Environm.*, 248,11-25.

Aparicio, R. 2003. Revisión de las características oceanográficas de la plataforma nororiental de Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela. Univ. Oriente*, 47 (2): 141-147.

Aranda, S. 1999. Condiciones geoquímicas de los sedimentos superficiales de la Ensenada Grande del Obispo, Edo. Sucre. Trabajo de Pregrado. Dpto. Química, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.

Aston, S.R. y Hewitt, C. 1997. Phosphorus and carbon distribution in a polluted coastal environment. *Estu. Coast. Mar. Sci.*, 5 (1 y 2): 243-254.

Balls, P.; Hull, S.; Miller, B.; Pirie, J. y Proctor, W. 1997. Trace metal in Scottish estuarine and coastal sediment. *Mar. Pollut. Bull.*, 34 (1): 42-50.

Belzile, N.; Lecomte, P. y Tessier, A. 1989. Testing reabsorption of trace metals during partial chemical extractions of bottom sediments. *Environ. Sci. Technol.*, 23: 1015-1020.

Belzunce, M.; Bacon, J.; Prego, R. y Wilson, M. 1997. Chemical forms of heavy metals in surface sediments of the San Simon inlet, Ria de Vigo, Galicia. *J. Environ. Sci. Health*, 32 (5): 1271-1292.

Bonilla, J. 1975. Condiciones hidroquímicas del agua y características químicas de los sedimentos del Golfo de Paria durante la expedición LS-7302. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente*, 16 (1y2): 99-114.

- Bonilla, J y Lin, A. 1979. Materia orgánica en los sedimentos de los Golfos de Paria y Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela. Univ. Oriente*, 18 (1 y 2): 37-52.
- Bonilla, J. 1982. Algunas características geoquímicas de los sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente*, 21 (1y2): 133-155.
- Bonilla, J.; Fermín, J.; Gamboa, B. y Cabrera, M. 2002. Aspectos geoquímicas de los sedimentos superficiales del ecosistema marino costero de Jose, Edo. Anzoátegui, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela. Univ. Oriente*, 34 (1 y 2): 5-23.
- Caraballo, L. 1982. El Golfo de Cariaco. Parte II. Los sedimentos superficiales y su distribución por el fondo. Fuente de sedimentos. Análisis mineralógico. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente*, 21 (1y2): 37-65.
- David, J. y Phillips, H. 1995. The Chemistry and environmental fates of trace metals and organochlorines in aquatic ecosystems. *Mar. Poll. 31*(12): 4-12.
- Dassenakis, M.; Scoullou, M. y Gaitis, A. 1997. Trace metal transport and behaviour in the Mediterranean estuary of Acheloos river. *Mar. Pollut. Bull.*, 34 (2): 103-111.
- Dawes, C. 1991. *Botánica marina*. Limusa S. A. México.
- De La Lanza, G. 1986. Materia orgánica de los sedimentos del sistema lagunar Huinzache y Caimanero: Importancia, comportamiento y significado en módulos de predicción. *An. Inst. Cienc. Mar y Limnol. Univ. Nac. México*, 13: 251-286.
- Doménech, X. 1995. *Química de la hidrosfera. Origen y destino de los contaminantes*. Ed. Miraguano, Madrid.
- Espinoza, L. 2001. Aspectos químicos de los sedimentos superficiales de los litorales norte y sur del Golfo de Cariaco. Trabajo de Pregrado. De de Química. Universidad de Oriente, Cumaná.
- Everaarts, J. y Nieuwenhuize, J. 1995. Heavy metals in surface sediment and epibenthic macroinvertebrates from the coastal zone and slope of Kenya. *Mar. Pollut. Bull.*, 31: 281-289.
- Fan, W.; Wang, W.; Chen, J.; Li, X. y Yen, Y. 2002. Cu, Ni and Pb speciation in surface sediments from a contaminated bay of northern China. *Mar. Pollut. Bull.*, 44: 816-832.
- FAO. 2002. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (Texto en línea). [www.fao.org/DOCREP/003/T1768S/T1768S04.html](http://www.fao.org/DOCREP/003/T1768S/T1768S04.html). Última revisión 19 de noviembre de 2001.
- Fermín, I. 2002. Estudio geoquímico de los sedimentos superficiales de la Laguna de Unare, Edo. Anzoátegui, Venezuela. Tesis de Post-Grado. MSc. Oceanografía Química. U.D.O. Cumaná, Venezuela.

- Förstner, U. y Wittmann, G. 1983. Metal pollution in aquatic environment. Springer-verlag, London.
- Förstner, U. 1993. Metal speciation – general concepts and applications. *Intern. Environ. Anal. Chem.*, 51: 5-23.
- Fuentes, M. 1998. Condiciones geoquímicas de los sedimentos superficiales de la Laguna de Chacopata, Edo. Sucre, Venezuela. Tesis de Post-Grado MSc. Oceanografía Química. U.D.O. Cumaná, Venezuela.
- Gamboa, B. y Bonilla, J. 1983. Distribución de metales (Fe, Mn, Cu, Zn) en sedimentos superficiales de la Cuenca Tuy-Cariaco. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela. Univ. Oriente*, 22(1y2): 103-110
- 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. Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela. Univ. Oriente*, 25(1y2): 233-240.
- González, C. 1987. Condiciones hidrogeoquímicas de la Laguna de Píritu-Venezuela. Tesis de Post-grado (MSc. Oceanografía Química). Universidad de Oriente-Sucre. Cumaná.
- 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. Departamento de Ciencias. Universidad de Oriente. Núcleo Nueva Esparta. Venezuela.
- González, H. y Ramirez, M. 1995. The effect of nickel mining and metallurgical activities on the distribution of heavy metals in Levisa Bay, Cuba. *Journal of Geochemical Exploration*, 52: 183-192.
- González, M.; Méndez, D., López, V. y Vásquez, A. 2006. Evaluación de la contaminación en sedimento del área portuaria y zona costera de salina cruz, Oaxaca, México. *Interciencias* 31(9): 1-23
- Groot, A.; Salomons, W. y Allersma, E. 1976. Processes Afecting Heavy Metals in Estuarine Sediments. En: *Estuarine Chemistry*. J. D. Burton y Liss, P, S. (Eds.). Academic Press, London, Págs. 131-157.
- Gutiérrez, E.; Flores, G.; Ortega, V. y Villaescusa, J. 1994. Metales pesados en sedimentos de la costa fronteriza Baja California (México)-California (EUA). *Ciencias Marinas*, 20 (1):105- 124.
- Haynes, D. y Kwan, D. 2002. Trace metals in sediments from Torres Strait and the Gulf of Papua: concentrations, distribution and water circulation patterns. *Mar. Poll. Bull.*, 44 (11): 1296-1313.

- Hedges, J. 1992. Global biogeochemical cycles: progress and problems. *Marine Chemistry*, 39: 67-93.
- Hirner, A. 1992. Trace element speciation in soils and sediments using sequential chemical extraction methods. *Int. J Environ. Anal. Chem.*, 46: 77-85.
- IVO. 1990. Estudio del ecosistema marino de la Bahía de Bergantín y área de Jose. Tomo II. Informe final. Convenio UDO- CORPOVEN.
- IVO. 1991. Análisis de factibilidad de extracción de agua de mar para la recuperación secundaria de crudos. Proyecto AFEAM. Informe final. Convenio UDO-CORPOVEN.
- IVO. 1992. Estudio ambiental de las costas del estado Anzoátegui. Proyecto EACA. Informe final. Convenio UDO-CORPOVEN.
- Izquierdo, C.; Usero, J. y Gracia, I. 1997. Speciation of heavy metals in sediments from salt marshes on the Southern Atlantic coast of Spain. *Mar. Pollut. Bull.*, 34(2): 123-128.
- Jiménez, I.; Rojas de Astudillo, L.; Martínez, G. y Ramírez, A. 2008. Fraccionamiento de mercurio en sedimentos superficiales de la costa norte y golfo de Paria del estado Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente*, 47(2): 141-147.
- Kersten, M. y Förstner, U. 1991. Speciation of trace elements in sediments. In: G.E. Batley (ed.), *Trace Element Speciation: Analytical Methods and Problems*. CRC Press, Boca Raton. Págs. 245-317.
- Kishe, M. y Machiwa, J. 2003. Distribution of heavy metals in sediments of Mwanza Gulf of Lake Victoria, Tanzania. *Environ. International*, 28: 619-625.
- Klavins, M. y 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, Edo. Sucre, Venezuela. Tesis de grado. Dpto. de Química. Núcleo de Sucre. Cumaná, Edo. Sucre.
- Leon, I.; Senior, W. y Martínez, G. 1997. Comportamiento del hierro, cromo, cadmio y plomo total en las aguas superficiales del río Manzanares, Venezuela, durante los periodos de sequía y lluvia en el año 1994. *Carib. J. of Sci*, 33(1):105-107.
- López, F.; Senior, W.; Fermín, I.; Marquez, A. y Martínez, G. 2006. Fraccionamiento de los metales pesados Fe, Cd, Cr y Pb en los sedimentos superficiales de la laguna de Píritu. Edo. Anzoátegui, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente*, 45 (1): 51-60.
- Márquez, A. 1997. Comportamiento y distribución de algunos metales pesados en la fracción disuelta y particulada en aguas superficiales del río Manzanares, estado Sucre,

Venezuela. Trabajo de Pregrado. Departamento de Química, Universidad de Oriente, Cumaná.

Martínez, G. 1996. Algunos Metales Pesados en Sedimentos Superficiales del Golfo de Cariaco, Edo. Sucre, Venezuela. Trabajo de Ascenso, Departamento de Oceanografía, Inst. Oceanog., de Venez., Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.

Martínez, G. 1999. Especiación de Metales Pesados en la Cuenca Baja y Pluma del Río Manzanares, Edo. Sucre, Venezuela. Trabajo de Postgrado Cienc. Mar. Inst. Oceanogr. de Venez. Univ. Oriente, Cumaná, Venezuela.

Martínez, G. y Senior, W. 2001. Especiación de metales pesados (Cd, Zn, Cu y Cr) el material en suspensión de la pluma del río Manzanares, Venezuela. *Interciencia*, 26 (2): 53-61.

Martínez, G. 2002. Metales Pesados en Sedimentos Superficiales del Golfo de Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente*, 41 (1y2): 83-96.

Martínez, G.; Senior, W. y Marquez, A. 2005. Distribución y especiación de metales pesados en el material en suspensión de las aguas superficiales de la pluma del río Manzanares, Edo. Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente*, 44 (2): 75-87.

Márquez, A.; Bonilla, J.; Martínez, G.; Senior, W.; Aguilera, D. y González, A. 2005. Estudio geoquímico de los sedimentos superficiales del litoral norte del Golfo de Cariaco, Edo. Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente*, 44 (2): 89-103.

Marval, M. 2008. Geoquímica de metales pesados en sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco, Venezuela. Trabajo de Postgrado Ciencia. Mar. Inst. Oceanogr. de Venez. Univ. Oriente, Cumaná, Venezuela.

Marval, M. 2002. Distribución y comportamiento de mercurio y otros metales pesados en sedimentos superficiales de la región central del delta del río Orinoco, Venezuela. Trabajo de Pregrado. Dpto. Química, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.

Millero, F. J. y Shon, M. L. 1992. *Chemical Oceanography*. CRC Press, Boca Raton, Florida.

Mogollón, J.; Ramírez, A. y Bifano, C. 1989. Determinación de niveles de contaminación en sedimentos costeros del Estado Anzoátegui. VII Congreso Geológico Venezolano, Barquisimeto, Edo. Lara, Venezuela: 1121-1230.

Moore, J. y Ramammorthy, S. 1984. Heavy metals in natural waters. Springer-Verlog, New York.

- Morrison, R.; Narayan, S. y Gangaiya, P. 2001. Trace element studies in Laucala Bay, Suva, Fiji. *Mar. Pollut. Bull.*, 42 (5): 397-404.
- Mudarra, O. 2000. Hidrogeoquímica de la Ensenada de Puerto Escondido, Edo. Sucre, Venezuela. Trabajo de Pregrado. Dpto. 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, Venezuela.
- Muller, A. 1999. Distribution of heavy metals in recent sediments in the Archipelago Sea of southwestern Finland. *Boreal environment research*, 4: 319-330.
- 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. *Mar. Pollut. Bull.*, 35 (7): 260-269.
- Nascimento, F. y Fenzl, N. 1997. Geoquímica de metais pesados em sedimentos do Rio Guamá e dos principais canais de drenagem de Belém, Pará, Brasil. *Acta Amazonica*, 27 (4): 257-268.
- 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.
- Okuda, T. 1964. Some problems for the determination of organic carbon in marine sediments. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela. Univ. Oriente*, 3(1 y 2): 106 – 107.
- Palanques, A. y Díaz, J. 1994. Anthropogenic heavy metals pollution in the sediment of the Barcelona continental Shelf (Northwestern Mediterranean). *Mar. Environ. Res.*, 38: 17-31.
- Pizarro, J.; Rubio, M. y Castillo, X. 2003. Study of chemical speciation in sediments: an approach to vertical metals distribution in Rapel reservoir (Chile). *J. Chil. Chem. Soc.*, 48 (3): 1-13.
- Primo, E. y Carrasco, J. 1973. *Química Agrícola I. Suelos y fertilizantes*. Editorial Alhambra, S. A. España.
- Rainbow, P. 1993. Biomonitoring of heavy metal availability in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull.*, 31 (4-12): 183-192.
- Rapin, F.; Tessier, A.; Campbell, G. y Carignan, R. 1986. Potential artifacts in the determination of metal partitioning in sediments by sequential extraction procedure. *Environ. Sci. Technol.*, 20: 836-840.

- Rees, G. 1993. Health implications of seawater in coastal water, the British case. *Mar. Poll. Bull.*, 26 (1): 14-19.
- Riba, I.; Del Valls, T.; Forja, J. y Gómez, A. 2002. Influence of the Aznalcóllar mining spill on the vertical distribution of heavy metals in sediments from the Guadalquivir estuary (SW Spain). *Mar. Pollut. Bull.*, 44 (1): 39-47.
- Roa, P. y Berthois, L. 1975. *Manual de Sedimentología. Manual para el estudio de los sedimentos no consolidados*. Caracas.
- Rojas de Astudillo, L. Chang Y. Agard y Bekele I. 2005. Heavy metals in sediments, mussels and oysters from Trinidad and Venezuela. *Int. J. Trop. Biol.* 53 (Suppl. 1): 41-53.
- Rosas, H. 2001. Estudio de contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat. Trabajo de Grado. Universidad Politécnica de Manresa. España.
- Roux, L.; Roux, S. y Appriou, P. 1998. Behaviour and speciation of metallic species Cu, Cd, Mn and Fe during estuarine mixing. *Mar. Pollut. Bull.*, 36(1): 56-64.
- 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. *Mar. Pollut. Bull.*, 40(11): 968-980.
- Sadiq, M. 1992. *Toxic Metal Chemistry in Marine Environments*. Marcel Dekker Inc., New York.
- Salazar, J.; Rosas, J. y Rodríguez, J. 2003. Condiciones sedimentológicas de la laguna La Restinga, Isla de Margarita, Venezuela. *Interciencia*, 28(1): 44-50.
- Senior, W. 1994. Diagnóstico ambiental del río Manzanares. *Informe Técnico*. Dpto. Oceanografía. Inst. Oceanogr. Venezuela. UDO.
- Senior, W. y Aparicio, R. 1992. Estudio ambiental de las costas del Estado Anzoátegui (Proyecto EACA). Sistema Lagunar Unare-Píritu. Informe Final. Cumaná.
- Sheppard, F. 1954. Nomenclature based on the sand-silt-clay ratios. *J. Sedim. Petrol.* 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.
- Song, Y.; Wilson, M.; Moon, H.; Bacon, J. y Bain, D. 1999. Chemical and mineralogical forms of lead, zinc, and cadmium in particle size fractions of some wastes, sediments and soil in Korea. *Applied Geochemistry*, 14: 621-623.

- Scoullou, M. J. 1986. Lead in coastal sediments: the case of the Elefsis Gulf, Greece. *Sci. Total Environ.*, *49*: 199-219.
- Soto, M. 1998. Distribución y concentración de metales pesados en los sedimentos del Puerto de Mazatlán y áreas adyacentes: su normalización y fraccionamiento geoquímico (Tesis de Maestría).
- Taylor, P. 1993. The state of marine environment: A critique of the work and role of the Joint Group of Experts on Scientific Aspect of Marine Pollution (GESAMP). *Mar. Poll. Bull.*, *26* (3): 120-127.
- Teixeira, E.; Ortiz, L.; Alves, M. y Sanchez, J. 2001. Distribution of selected heavy metals in fluvial sediments of the coal mining region of Baixo Jacuí, RS, Brazil. *Environ. Geology.*, *41*: 145-154.
- Tessier, A.; Campbell, P. y Bisson, M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.*, *51*(17): 844-851.
- Tuncer, G.; Tuncel, G. y Turgut, B. 2001. Evolution of metal pollution in the Golden Horn (Turkey) sediments between 1912 and 1987. *Mar. Pollut. Bull.*, *42*(5): 350-360.
- UDO-CORPOVEN. 1990. Estudio Ambiental del Ecosistema Marino de la Bahía de Bergantín y Área de Jose. Informe Final. Convenio IOV (UDO)-CORPOVEN.
- 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 Grado. Departamento de Química. Universidad de Oriente, Cumaná.
- Villaescusa, J.; Gutiérrez, E. y Flores, G. 1997. Metales pesados en fracciones geoquímicas de sedimentos de la región fronteriza de Baja California, México, y California, EUA. *Ciencias Marinas*, *23*(1): 43-70.
- Well, M. y Mayer, L. 1991. Variations in the chemical lability of iron in estuarine coastal and shelf waters and its implications for phytoplankton. *Mar. Chem.*, *32*: 195-210.
- Williams, KA; Green, DW y Pascoe, D. 1987. "Effect of Cadmium on oviposition and egg viability in *Chironomus riparius* (Diptera: Chironomidae)". *Bull. Environ. Contam. Toxic.* *38*: 86-90.
- Yeats, P.; Westerlund, S.; y Flegal, A. 1995. Cadmium, copper and níquel distribution at four stations in the eastern central and south Atlantic. *Mar. Chem.* *42*: 283-293.
- Zhang, W.; Huang, S.; Lin, M.; Liu, Q.; Yu, L. y H. Wang. 1992. Transport of particulate heavy metal towards the China Sea: A Preliminary study an comparison. *Mar. Chem.*, *40*: 61-178.

Zhou, H.; Cheung, R.; Chan, K. y Wong, M. 1998. Metal concentrations in sediments and Tilapia collected from inland waters of Hong Kong. *Water research*, 32 (11): 3331-3340.

Zirino, A. y Yamamoto, S. 1972. A pH dependent model for the chemical speciation of copper, zinc, cadmium and lead in seawater. *Limnol. Oceanogr.*, 17: 661-671.

## APÉNDICE

Tabla A1. Materia orgánica, carbono orgánico y granulometría de los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela.

<b>Estaciones</b>	<b>M.O (%)</b>	<b>C.O (%)</b>	<b>Arena (%)</b>	<b>Limo (%)</b>	<b>Arcilla (%)</b>
1	8,46	0,890	19,82	79,22	0,96
2	9,97	0,284	89,88	9,40	0,71
3	4,91	0,338	97,36	2,64	0,00
4	6,68	0,555	81,11	18,69	0,19
5	10,48	1,731	41,95	56,94	1,11
6	6,18	0,544	79,62	20,38	0,00
7	12,22	1,983	43,28	55,70	1,02
8	8,33	0,900	67,99	31,10	0,91
9	6,81	0,560	87,50	11,63	0,87
10	5,27	0,199	89,29	10,04	0,67
11	4,05	0,412	97,61	2,39	0,00
12	4,61	0,401	93,57	6,43	0,00
13	6,68	0,399	97,83	2,17	0,00
14	6,61	0,817	99,27	0,73	0,00
15	6,00	0,269	95,44	3,76	0,80
16	5,82	0,519	42,20	57,80	0,00
17	8,55	0,380	94,64	4,68	0,68
18	7,00	0,303	94,50	4,84	0,66
19	6,31	0,378	97,81	2,19	0,00
20	6,18	0,275	93,98	5,42	0,61
21	4,61	0,215	97,69	2,31	0,00
22	5,04	0,282	99,01	0,99	0,00
23	6,41	0,262	97,85	2,15	0,00
24	6,50	0,365	92,52	6,99	0,49

25            4,12            0,398            86,64            13,09            0,27

Tabla A2. Concentraciones de los metales Cinc y Manganeso presentes en las diferentes fracciones geoquímicas de los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela.

Estaciones	Zn (mg/kg)				Mn (mg/kg)			
	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4
1	0,50	89,58	1,12	24,94	3,24	33,74	1,94	28,75
2	0,46	28,43	15,00	8,92	0,93	14,60	22,13	0,94
3	0,15	5,80	6,71	0,15	0,37	5,76	0,46	0,32
4	0,23	7,35	2,39	17,45	0,69	17,53	0,45	11,38
5	0,42	4,62	2,86	15,89	0,22	19,41	1,88	20,33
6	0,29	3,82	0,59	116,55	0,16	13,34	0,97	0,38
7	0,24	3,54	28,59	0,77	0,51	25,73	2,75	16,33
8	0,27	3,65	28,25	2,95	0,51	20,60	7,01	13,12
9	0,16	5,12	26,19	3,12	0,44	19,71	3,00	6,44
10	0,63	3,32	27,54	2,76	0,16	16,30	0,67	2,48
11	0,04	5,73	27,70	1,83	0,05	22,35	5,01	7,63
12	0,00	4,37	27,21	1,35	0,07	24,33	0,08	0,86
13	0,09	4,50	19,45	0,21	0,09	17,09	5,71	6,53
14	0,14	4,90	19,32	0,43	0,36	38,62	0,60	20,36
15	0,00	3,06	50,62	22,35	0,00	9,72	14,29	0,04
16	0,05	2,90	54,65	30,36	0,02	6,49	18,71	0,72
17	0,00	3,89	36,46	2,69	0,02	11,68	11,26	1,54
18	0,00	4,15	8,05	0,60	7,00	25,53	15,39	1,71
19	0,00	4,39	11,62	12,94	0,19	38,72	4,70	0,84
20	0,02	3,84	3,76	1,02	0,31	40,01	4,73	2,15
21	0,02	8,43	33,19	0,31	0,19	34,38	3,71	0,61
22	0,00	7,40	50,57	1,23	0,75	137,26	3,69	0,08
23	0,00	6,64	44,43	0,29	0,63	61,83	4,94	0,09

24	0,00	3,75	22,94	1,66	0,17	34,11	4,41	20,94
25	0,00	8,77	1,39	0,30	0,51	74,30	7,78	23,59

Tabla A3. Concentraciones de los metales Cobalto y Cadmio presentes en las diferentes fracciones geoquímicas de los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela.

Estaciones	Co (mg/kg)				Cd (mg/kg)			
	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4
1	0,23	1,75	1,41	50,50	0,27	1,25	2,83	0,42
2	0,14	0,42	3,49	16,56	0,02	0,30	0,87	0,30
3	0,14	0,15	0,01	4,19	0,02	0,15	9,08	2,59
4	0,07	0,11	1,77	24,55	0,04	0,12	0,11	0,45
5	0,16	0,06	2,13	25,85	0,00	0,45	0,86	1,09
6	0,11	0,20	0,04	17,34	0,02	0,14	0,04	0,23
7	0,19	0,34	0,04	24,74	0,05	0,21	1,68	0,14
8	0,12	0,25	0,15	24,21	0,05	0,14	2,05	0,13
9	0,22	0,21	0,05	18,99	0,02	0,23	3,03	0,80
10	0,13	0,11	0,00	2,56	0,00	0,20	6,61	0,37
11	0,05	0,23	0,14	18,57	0,00	0,13	8,36	0,01
12	0,11	0,13	0,19	10,55	0,00	0,12	5,04	1,17
13	0,14	0,23	0,06	18,43	0,00	0,13	4,60	0,18
14	0,15	0,35	0,18	15,77	0,07	0,13	4,38	0,28
15	0,17	0,12	0,13	2,74	0,05	0,18	5,93	0,61
16	0,18	0,17	0,19	0,30	0,00	0,16	6,37	0,77
17	0,02	0,27	5,26	0,31	0,02	0,21	3,97	0,50
18	0,07	0,34	13,12	0,19	0,07	0,26	0,10	0,26
19	0,05	0,18	0,18	7,61	0,02	0,27	0,11	0,25
20	0,12	0,26	0,24	6,36	0,02	0,18	6,80	0,30
21	0,19	0,28	0,03	6,09	0,02	0,13	5,27	0,19
22	0,20	0,57	9,83	1,23	0,02	0,31	5,55	0,10
23	0,09	0,38	0,02	9,26	0,02	0,28	2,95	0,73
24	0,11	0,31	1,22	14,49	0,02	0,11	0,08	0,24

25      0,22      0,55      0,76    23,80    0,05      0,13      0,01    0,24

Tabla A4. Concentraciones de los metales Níquel y Plomo presentes en las diferentes fracciones geoquímicas de los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela.

Estaciones	Ni (mg/kg)				Pb (mg/kg)			
	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4
1	0,47	7,29	4,67	7,77	4,07	2,10	0,21	24,24
2	0,32	3,06	0,04	2,59	0,53	1,68	0,16	0,01
3	0,31	1,59	0,57	0,03	0,59	0,00	0,22	0,01
4	0,27	3,24	0,68	1,48	0,20	2,14	0,23	0,13
5	0,32	3,35	0,33	5,79	0,71	1,18	0,19	0,22
6	0,41	2,11	0,14	1,06	1,04	0,52	0,25	0,04
7	0,38	3,44	0,08	6,65	0,62	3,08	0,96	0,12
8	0,29	2,69	0,12	9,10	1,17	1,26	0,18	0,30
9	0,22	3,09	0,02	3,44	0,57	1,65	0,02	0,45
10	0,36	1,57	0,05	0,00	0,25	0,63	0,23	0,28
11	0,26	1,53	0,57	0,05	0,10	0,00	0,29	0,19
12	0,14	1,99	0,16	3,64	0,33	0,00	0,51	0,81
13	0,21	2,31	2,04	36,49	0,00	0,02	0,55	0,69
14	0,17	2,73	0,33	1,69	0,16	0,21	0,17	0,25
15	0,24	1,54	0,21	0,02	0,34	0,00	0,03	0,04
16	0,13	1,25	0,04	0,90	0,00	0,00	0,95	0,25
17	0,02	1,41	3,89	0,40	0,02	0,00	0,14	1,88
18	0,07	1,64	4,32	0,77	0,07	0,00	0,03	1,15
19	0,19	1,43	1,22	0,02	0,00	0,00	1,04	0,25
20	0,21	1,72	1,28	0,22	0,50	0,00	1,45	0,26
21	0,33	2,84	0,13	0,65	0,12	0,00	0,03	1,57
22	0,22	2,95	7,02	0,29	0,33	0,00	0,04	0,04
23	0,13	1,81	3,19	0,22	0,20	0,00	0,14	0,10
24	0,27	1,79	0,07	3,83	0,32	0,69	0,11	0,56
25	0,21	2,23	0,37	4,85	0,18	1,94	0,05	2,42

Tabla A5. Concentraciones de los metales Cobre y Hierro presentes en las diferentes fracciones geoquímicas de los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela.

Estaciones	Cu mg/kg)				Fe (mg/kg)			
	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4
1	0,09	2,02	11,75	1,73	2,19	2480,46	1062,23	10195,22
2	0,00	0,00	1,43	0,17	0,07	2141,42	797,37	3003,54
3	0,00	0,00	0,02	0,00	0,31	383,42	2361,93	4650,56
4	0,00	0,00	0,55	0,00	0,26	1960,27	751,15	4710,53
5	0,00	0,00	0,93	1,49	0,25	624,13	635,97	6639,09
6	0,02	0,00	0,17	0,01	0,00	1330,12	19,14	3931,64
7	0,00	0,00	0,02	1,36	0,65	503,64	74,73	6543,76
8	0,00	0,00	0,00	1,55	0,16	649,02	42,76	6370,67
9	0,00	0,00	0,00	0,15	0,45	2267,14	291,68	3123,19
10	0,00	0,00	0,00	0,00	1,54	501,75	177,20	5427,27
11	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	2222,78	491,00	2926,66
12	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	1753,32	3287,36	695,65
13	0,02	0,00	0,81	0,16	0,26	1830,00	946,70	2706,10
14	0,00	0,00	0,07	0,05	0,00	1641,25	1086,70	2105,28
15	0,00	0,00	0,12	0,98	0,00	441,88	2110,57	971,18
16	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	105,68	3140,90	2115,07
17	0,00	0,00	0,12	0,23	0,00	428,04	2593,11	2686,85
18	0,00	0,00	0,12	0,28	0,00	529,81	2376,76	1413,88
19	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	413,05	2993,51	1578,05
20	0,02	0,00	0,32	0,33	0,00	461,47	2544,79	1765,67
21	0,00	0,00	0,35	0,00	0,00	247,84	2999,24	1443,33
22	0,00	0,00	0,54	0,01	0,00	220,14	3331,06	94,41
23	0,00	0,00	0,49	0,00	0,00	438,88	2481,85	100,01
24	0,02	0,00	0,54	0,83	0,00	576,52	2225,90	1845,12
25	0,00	0,00	0,90	1,18	0,00	1025,55	2019,54	3755,88

Tabla A6. Concentración total de los metales Zn, Mn, Co, Cd, Ni, Pb, Cu y Fe presentes en las diferentes fracciones geoquímicas de los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela.

Estaciones	Metal Total (mg/kg)							
	Zn	Mn	Co	Cd	Ni	Pb	Cu	Fe
1	116,14	67,67	53,89	4,77	20,20	30,62	15,58	13740,10
2	52,81	38,60	20,61	1,49	6,01	2,39	1,60	5942,41
3	12,82	6,91	4,49	11,85	2,49	0,82	0,02	7396,21
4	27,43	30,04	26,50	0,72	5,67	2,71	0,56	7422,21
5	23,79	41,84	28,20	2,39	9,80	2,29	2,42	7899,44
6	121,25	14,85	17,68	0,42	3,73	1,84	0,21	5280,90
7	33,14	45,31	25,32	2,07	10,54	4,79	1,38	7122,78
8	35,12	41,24	24,74	2,37	12,20	2,92	1,55	7062,61
9	34,60	29,59	19,46	4,08	6,77	2,69	0,15	5682,47
10	34,25	19,61	2,80	7,17	1,99	1,39	0,00	6107,75
11	35,29	35,04	18,98	8,50	2,41	0,58	0,10	5640,44
12	32,93	25,34	10,98	6,33	5,93	1,65	0,12	5736,33
13	24,25	29,42	18,86	4,92	41,05	1,27	0,99	5483,05
14	24,79	59,94	16,45	4,86	4,93	0,78	0,12	4833,23
15	76,03	24,05	3,15	6,76	2,01	0,41	1,10	3523,64
16	87,96	25,94	0,85	7,30	2,32	1,20	0,15	5361,65
17	43,03	24,50	5,86	4,70	5,71	2,04	0,34	5708,00
18	12,80	49,63	13,72	0,70	6,80	1,25	0,40	4320,44
19	28,95	44,45	8,01	0,65	2,85	1,30	0,19	4984,62
20	8,65	47,20	6,98	7,30	3,44	2,22	0,67	4771,93
21	41,96	38,89	6,59	5,61	3,94	1,72	0,35	4690,41
22	59,21	141,78	11,84	5,98	10,47	0,42	0,56	3645,60
23	51,36	67,49	9,74	3,98	5,34	0,44	0,49	3020,75
24	28,35	59,63	16,12	0,45	5,97	1,67	1,40	4647,54
25	10,46	106,18	25,32	0,43	7,66	4,59	2,08	6800,97

## HOJA DE METADATOS

### Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/5

<b>Título</b>	<b>FRACCIONAMIENTO GEOQUÍMICO DE METALES PESADOS EN SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE LA PERIFERIA DE LA CUENCA DE CARIACO, VENEZUELA (Modalidad: Investigación)</b>
<b>Subtítulo</b>	

#### Autor(es)

<b>Apellidos y Nombres</b>	<b>Código CVLAC / e-mail</b>	
<b>Mujica Maiz, Leidis Carolina.</b>	<b>CVLAC</b>	<b>v- 18.213.096</b>
	<b>e-mail</b>	<b>Leidis_0702@hotmail.com</b>
	<b>e-mail</b>	
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	

#### Palabras o frases claves:

<b>Fraccionamiento Geoquímico</b>
<b>Cuenca de Cariaco</b>
<b>Metales en Sedimentos</b>

# Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/5

## Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Química	Oceanografía

## Resumen (abstract):

Se estudió el fraccionamiento geoquímico de metales en sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela, para evaluar su comportamiento geoquímico y establecer la relación entre estos con la materia orgánica, carbono orgánico y granulometría de los sedimentos. Para tal fin, se tomaron 25 muestras las cuales fueron sometidas a un proceso de extracción (acetato de sodio, ácido acético, peróxido de hidrogeno y mezcla de ácidos fuertes) y se analizaron por espectroscopia de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-EOS). De acuerdo a los resultados las mayores concentraciones de los metales Zn (116,55 mg/kg), Co (50,50 mg/kg), Ni (36,49 mg/kg), Pb (24,24 mg/kg) y Fe (10 195,22 mg/kg) se encuentran asociadas a la fracción residual, es decir, metales de origen litogénico adicionados a la matriz sedimentaria durante la diagénesis química y biológicamente inertes. Por otro lado, la mayor concentración de Mn (137, 26 mg/kg), Cd (9,08 mg/kg) y Cu (11,75 mg/kg) están unidas a la fracción de los biodisponibles (intercambiables, oxihidróxidos de hierro y manganeso). Los sedimentos fueron en su mayoría arenosos, mientras que en algunas estaciones fueron areno-limoso, limo-arenoso y limoso. También se observa una correlación significativa entre las concentraciones de los metales, la materia orgánica y la textura de los sedimentos estudiados.

# Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/5

## Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail				
M. Sc. Gregorio Martínez	ROL	CA <input type="checkbox"/>	AS <input checked="" type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/>	JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC				
	e-mail				
	e-mail				
	ROL	CA <input type="checkbox"/>	AS <input type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/>	JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC				
	e-mail				
	e-mail				
	CVLAC				

## Fecha de discusión y aprobación:

Año      Mes      Día

2010	11	29
------	----	----

Lenguaje: spa

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/5

### Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Tesis digital Leidis.doc	Application/Word

### Alcance:

Espacial :      Nacional                      (Opcional)

Temporal:      Temporal                      (Opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo: Licenciada en Química

Nivel Asociado con el Trabajo: Licenciatura

Área de Estudio: Química

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

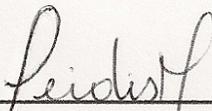
Universidad de Oriente

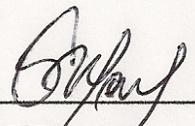
# Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/5

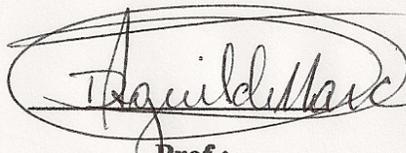
## **Derechos:**

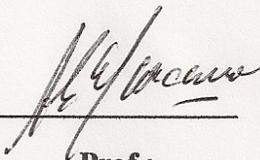
Yo, Leidis C. Mujica M; portadora de la C.I: 18.213.096, autorizó a la biblioteca central de la UDO-Sucre la utilización de mi trabajo de grado, para ser publicada en su totalidad.

---

  
Leidis Mujica M

  
M.Sc.  
Gregorio Martínez  
(Tutor)

  
Prof.:  
Damarys Aguilera  
(Jurado 1)

  
Prof.:  
Ángel Marcano  
(Jurado 2)

## **POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS:**

  
Dra.:  
Maj Britti Mostue

