



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

FRACCIONAMIENTO GEOQUÍMICO DE METALES PESADOS EN  
SEDIMENTOS SUPERFICIALES DEL SECTOR MARINO COSTERO ARAPITO-  
SANTA FE, ESTADO SUCRE, VENEZUELA.  
(Modalidad: Tesis de grado)

YOLIMAR JOSE MARCANO ESPARRAGOZA

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

CUMANÁ, 2012


FRACCIONAMIENTO GEOQUÍMICO DE METALES PESADOS EN  
SEDIMENTOS SUPERFICIALES DEL SECTOR MARINO COSTERO ARAPITO-  
SANTA FE, ESTADO SUCRE, VENEZUELA.

APROBADO POR:



---

Gregorio Martínez M.Sc.



---

Jurado Principal



---

Jurado Principal

## DEDICATORIA

Dios, gracias porque siempre ha estado conmigo guiando mis pasos y dándome esas fuerzas necesarias para continuar luchando día a día.

A Mis padres, Yolanda Esparragoza y Edgar Marcano gracias a ustedes soy lo que soy y por ustedes he llegado hasta aquí. Me brindaron su confianza, amor y dedicación, son mi ejemplo a seguir. Los amo

A mi hermana, Yoselin José (Yose) esto es para ti y siempre ten presente que si se puede, que este triunfo sea un ejemplo en tu vida para que logres todas tus metas, te quiero mucho.

A mi abuela Herminia Esparragoza, por ese cariño y apoyo que me ha brindado en todo momento que lo necesite, además me aconsejó a seguir adelante y a luchar por lo que quiero.

A mi novio Gabriel, quien estuvo ayudándome y demostrándome su apoyo y amor incondicional.

A mis tíos: Rosaura, Alberto y Nelson gracias por apoyarme y ayudarme en todo momento de mi carrera, me demostraron mucho cariño y efecto

A todos ustedes dedico este trabajo de grado.

## AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer muy especialmente:

A Dios todo poderoso por estar en cada momento de mi vida, por guiar mi camino y darme el valor y la fuerza para afrontar todos los momentos malos y disfrutar de los buenos.

Al profesor Gregorio Martínez, por el asesoramiento de este trabajo; por su amistad, por su constante dedicación, esfuerzo y paciencia.

A las autoridades del Instituto Oceanográfico de Venezuela de la Universidad de Oriente por su valiosa colaboración en el sentido de poner a mi disposición todos los recursos institucionales.

A los TSU Edymir Parra y Deudedit Hernández, por su ayuda y orientación en la realización de los análisis químicos.

Al Instituto de Investigación en Biomedicinas y Ciencias Aplicadas (IIBCA) en especial a los técnicos Henry Astudillo y José Prin por la ayuda y colaboración prestada durante la realización de los análisis para el presente estudio.

Al Departamento de Química de la Universidad de Oriente y a todos aquellos profesores y técnicos que contribuyeron en mi formación profesional.

A mis amigas y compañeras de estudio Berenice Aguado y Rosanny López con quienes compartí los mejores momentos de mi carrera, las que me brindaron su valiosa amistad. Gracias por compartir tantos momentos conmigo.

Y a mis compañeros Larenys, Irmina, Ana Karina, María Jesus, Mónica, Asyuri, Marynes, Anyelis, Julinet, Rafael, Salomé, Jesli, Alexis. Gracias por prestarme la ayuda necesaria, sus granitos de arena me sirvieron de mucho.

## INDICE

LISTA DE TABLAS .....	VI
LISTA DE FIGURAS.....	VII
RESUMEN .....	IIX
INTRODUCCIÓN .....	1
METODOLOGIA .....	8
Área de estudio .....	8
Recolección de Muestra.....	9
Procesamiento y análisis de muestras.....	10
Granulometría de los sedimentos.....	10
Pérdidas a 500°C.....	11
Carbono orgánico.....	11
Equivalentes de carbonato de calcio.....	12
Metales totales .....	12
Fraccionamiento y especiación de metales.....	13
Procesamiento y análisis de los resultados.....	14
RESULTADOS Y DISCUSION .....	15
Textura de los sedimentos.....	15
Pérdidas a 500°C (MOT) .....	20
Carbono Orgánico (CO).....	22
Equivalente de Carbonato de calcio.....	24
Calidad de los análisis.....	26
Metales trazas .....	27
Aluminio (Al) .....	27
Cadmio (Cd) .....	31
Cobre (Cu) .....	34
Cromo (Cr).....	39
Hierro (Fe) .....	42
Manganeso (Mn).....	45
Níquel (Ni).....	49
Plomo (Pb).....	53
Cinc (Zn).....	58
Cobalto (Co) .....	61
Análisis de correlación.....	65
CONCLUSIONES .....	68
BIBLIOGRAFÍA .....	70
APENDICE.....	80
HOJA DE METADATOS .....	89

**LISTA DE TABLAS**

	Pág.
Tabla 1. Coordenadas de las estaciones del muestreo en la región marino costera entre Arapito y Santa Fe, estado Sucre, Venezuela. ....	9
Tabla 2. Concentraciones de metales pesados presentes en el material de referencia (HISS-1; marine sediment). ....	26
Tabla 3. Longitud de onda (nm) y límite de detección ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) para los metales evaluados en el presente estudio. ....	27
Tabla 4. Matriz de correlación de Pearson que expresa la asociación entre los metales Totales (MT) con el contenido de materia orgánica, carbono orgánico total, equivalente de carbonato de calcio y textura de los sedimentos superficiales del sector costero Arapito-Santa Fe. ....	67

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Área de estudio para la realización del presente estudio.....	8
Figura 2. Draga Box Core para el muestreo de sedimentos superficiales. ....	10
Figura 3. Clasificación textural del tipo de sedimento del sector marino costero Arapito-Santa Fe mediante el triángulo de Sheppard (1954).....	16
Figura 4. Distribución espacial del contenido de arena (%) en los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe. ....	17
Figura 5. Distribución espacial del contenido de limo (%) en los sedimentos superficiales del sector costero Arapito-Santa Fe.....	18
Figura 6. Distribución espacial del contenido de arcilla (%) en los sedimentos superficiales del sector costero Arapito-Santa Fe.....	19
Figura 7. Distribución espacial del contenido de materia orgánica (%) en los sedimentos superficiales del sector costero Arapito-Santa Fe.....	21
Figura 8. Distribución espacial del contenido de carbono orgánico (%) en los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe. ....	23
Figura 9. Distribución espacial del contenido de carbonato (%) en los sedimentos superficiales del sector costero Arapito-Santa Fe.....	25
Figura 10. Distribución espacial de aluminio total (mg/kg) en sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe.....	29
Figura 11. Concentraciones de aluminio en cada una de las fracciones obtenidas de los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe. ....	30
Figura 12. Distribución espacial de cadmio total (mg/kg) en sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe.....	33
Figura 13. Concentraciones de Cadmio en cada una de las fracciones obtenidas de los sedimentos superficiales del sector costero Arapito-Santa Fe.....	34
Figura 14. Distribución espacial de cobre total (mg/kg) en sedimentos superficiales del sector Arapito-Santa Fe. ....	36
Figura 15. Concentraciones de cobre en cada una de las fracciones obtenidas de los sedimentos superficiales del sector costero Arapito-Santa Fe.....	38
Figura 16. Distribución espacial de cromo total (mg/kg) en sedimentos superficiales del sector Arapito-Santa Fe. ....	40
Figura 18. Distribución espacial de hierro total (mg/kg) en sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe.....	43
Figura 19. Concentraciones de Hierro en cada una de las fracciones obtenidas de los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe. ....	45
Figura 20. Distribución espacial de Manganeseo total (mg/kg) en sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe.....	47
Figura 21. Concentraciones de Manganeseo en fracciones geoquímicas de los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe. ....	49
Figura 22. Concentraciones de níquel en cada una de las fracciones obtenidas de los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe. ....	51
Figura 23. Concentraciones de Niquel en fracciones geoquímicas de los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe. ....	52

Figura 24. Distribución espacial de Plomo total (mg/kg) en sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe.....	55
Figura 25 Fraccionamiento geoquímico del Plomo en los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe.....	56
Figura 26. Distribución espacial de cinc total (mg/kg) en sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe.....	59
Figura 27. Fraccionamiento geoquímica del cinc en los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe.....	61
Figura28. Distribución espacial de cobalto total (mg/kg) en sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe.....	63
Figura 29. Fraccionamiento geoquímico del cobalto en los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe.....	64



## RESUMEN

Se determinó el contenido de metales pesados en sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe, estado Sucre, recolectados en veinticuatro (25) estaciones. Las mediciones fueron realizadas con un equipo de espectrometría de emisión óptica por plasma acoplado inductivamente (ICP-OES). La determinación de los metales se llevó a cabo aplicando el método de extracción secuencial propuesto por Tessier *et al.* (1979) para extraer las distintas fracciones geoquímicas de asociación de los metales en el sedimento. Las concentraciones promedios de metales totales fueron para el Fe: 18683,36 mg/kg, Cu: 31,90 mg/kg, Zn: 66,27 mg/kg, Cr: 44,64 mg/kg, Al: 16549,92 mg/kg, Ni: 45,14 mg/kg, Mn: 195,60 mg/kg, Pb: 16,86 mg/kg, Co: 4,31 mg/kg y Ca: 4,27 mg/kg. Se presentaron tres tipos de texturas: arenoso, areno-limosa y areno-arcillosa según orden de predominancia. Además, porcentajes de carbono orgánico 3,684% por el método de combustión húmeda, el carbonato 83,16% y la materia orgánica 6,62% por ignición a 500°C. De acuerdo a las concentraciones totales determinadas, se pudo observar que los metales que presentaron mayor concentración en la zona de estudio fueron el Fe y el Al. El resto de los metales tuvieron concentraciones menores a 110 mg/kg, lo que indica que el contenido de todos los metales estuvo por debajo de los valores sugeridos como límites para sedimentos contaminados. Por otra parte, se encontraron correlaciones significativas entre los metales pesados Fe, Co, Pb y Zn con el carbono orgánico y la materia orgánica. La fracción con mayor contenido de metales fue la fracción residual, mientras que las fracciones asociados a oxihidróxido de Fe y Mn y la fracción asociada a la materia orgánica y sulfuros variaron dependiendo del metal.

## INTRODUCCIÓN

El medio acuático marino es uno de los ambientes más expuestos a los contaminantes, por ser el receptáculo final de las descargas que ingresan vía terrestre, acuática o atmosférica (Acuña *et al.*, 2004; García *et al.*, 2004). La incorporación de metales en el ambiente marino causada por actividades antrópicas es motivo de gran preocupación ambiental en todo el mundo debido a su naturaleza tóxica y persistente, su poder de bioacumulación y su riesgo potencial para la salud humana y para los organismos marinos (Rainbow, 1995).

Los ecosistemas costeros se hacen cada vez más frágiles por la intervención del hombre. A lo largo de las costas de mares y océano, se están dando transformaciones muy relevantes ocasionadas por el represamiento de los ríos, el cierre de las comunicaciones entre lagos y mares y por los vertidos de los desechos municipales e industriales, los cuales contienen diversos contaminantes entre los que destacan metales pesados como mercurio, plomo, y cobre (Villanueva, 1992; Botello, 1992).

Los sedimentos son reconocidos como sumideros, y fuentes de contaminación en los ecosistemas acuáticos (Nipper, 1998). La distribución de metales en los sedimentos de los ecosistemas costeros está influenciada por fuentes naturales o antropogénicas (Madureira, 2003; Prego, 2003). Los metales pueden ser oxidados, reducidos o complejados, dependiendo del dinamismo del entorno químico en el que se localicen; formando especies que tienen diferentes grados de asimilación o de toxicidad por parte de los organismos, e incluso podrían quedar biológicamente no disponibles (Gutiérrez *et al.*, 1999; Botello *et al.*, 1996).

En los sedimentos de zonas muy poco pobladas pueden establecerse valores de referencia de línea base, los cuales son útiles para examinar los impactos de las actividades antrópicas (Ahumada *et al.*, 2004). Ha llegado a reconocerse que en zonas muy cercanas entre sí, pueden contener metales en concentraciones muy diferentes,

principalmente afectados por mecanismos de sorción-desorción y precipitación-disolución. Estos procesos son dependientes del estado de oxidación y del radio iónico hidratado de metales específicos, los cuales pueden asociarse con las capas superficiales de partículas coloidales orgánicas e inorgánicas, influenciados por las condiciones fisicoquímicas, tales como el pH, condición redox, salinidad, temperatura y dureza (Acosta *et al.*, 2002; Martínez y Senior, 2001; Martínez *et al.*, 2002; Morrison *et al.*, 2001 y Rubio *et al.*, 1995)

Algunos metales pesados, como el Fe, Cu, Zn, etc., son necesarios para determinados procesos biológicos en concentraciones trazas (elementos esenciales). El problema surge cuando estos elementos y otros no esenciales (Hg, Pb, entre otros) se encuentran en concentraciones excesivamente elevadas para los organismos. A veces, estos elementos pueden constituirse como sustancias con efectos tóxicos incluso a bajas concentraciones, ya que por ejemplo, un metal no esencial como el cadmio puede sustituir a uno esencial como el zinc, por su similitud química, bloqueando su actividad metabólica (Rainbow, 1985).

Además los organismos marinos tienen la capacidad de bioacumular los contaminantes a partir del agua, el alimento y el sedimento, en concentraciones que exceden considerablemente a las encontradas en el ambiente (Phillips y Rainbow, 1993). La bioacumulación consiste en la capacidad de los organismos de acumular selectivamente contaminantes en sus tejidos respecto de las concentraciones existentes en el medio en que habitan (International Programme on Chemical Safety, IPCS, 1989).

El comportamiento químico de los metales pesados y la forma cómo se transforman o son absorbidos por los microorganismos marinos se conoce poco. Muchos metales pesados son fácilmente adsorbidos en micropartículas en suspensión; si éstas sedimentan, posiblemente quedan fijadas a los sedimentos. Varios investigadores consideran estos procesos como beneficiosos, ya que los materiales que biológicamente son peligrosos quedan inactivados en los sedimentos, pero pueden causar problemas a

largo plazo, ya que es posible que se altere la población béntica y en el sedimento ocurra una descomposición bioquímica con el consiguiente desprendimiento de sustancias nocivas (Bonilla, 1982).

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 de ellos no permanecen ligados indefinidamente a los sedimentos, ya que de las capas superiores de éstos puede liberarse, hasta el 75% de ciertos elementos metálicos, ya sea por acción mecánica o por las sustancias químicas producidas por el metabolismo de los organismos bentónicos (Velásquez, 2005).

La movilidad y biodisponibilidad de metales pesados en los sedimentos del fondo marino dependen en gran medida de sus formas químicas y características mineralógicas y texturales. Esto implica que estas formas y características deben ser estudiadas con más interés que la concentración total de los metales (Baeyens, 2003).

La especiación puede dar información sobre el comportamiento y movilidad de los metales pesados en los sistemas acuáticos. Esta técnica es usada extensamente en estudios medioambientales, aunque su capacidad de separar metales pesados o definir fracciones geoquímicas no es perfecto, pero es útil para entender el comportamiento químico y la biodisponibilidad de los metales en los sedimentos (Förstner, 1984).

Una de las primeras técnicas de extracción química secuencial fue desarrollada por Tessier (1979), originalmente para su aplicación sobre material sólido presente en medios fluviales (sedimentos de fondo y partículas en suspensión), a partir de los procedimientos ya existentes para el análisis químico de suelos. De este modo trataron de caracterizar la asociación de elementos metálicos con determinadas fracciones del

material, es decir, estudiar su especiación. En la mayoría de estos esquemas de especiación se pueden separar las siguientes cinco fracciones:

**Metales en forma de iones intercambiables:** estos metales pueden ser fácilmente liberados de los sistemas acuáticos por pequeños cambios ambientales.

**Metales ligados a carbonatos:** se considera que los metales unidos a esta fase se liberan al bajar el pH de los sedimentos, al disolverse los metales precipitados en forma de carbonatos.

**Metales asociados a óxidos de hierro y manganeso:** los cuales pasarán al agua, cuando las condiciones de los sedimentos sean reductoras. Estos óxidos son de alto poder de adsorción y son termodinámicamente inestables en condiciones anóxicas.

**Metales ligados a la materia orgánica:** estos metales representan la fracción que se libera al pasar a condiciones oxidantes.

**Fase residual o litogénica:** son los metales ligados a los minerales más resistentes a la meteorización química, formando parte de sus estructuras cristalinas. La liberación de metales de esta fase, en un periodo de tiempo corto, es ciertamente, improbable.

Sin embargo, la distribución de metales en las diferentes fracciones no necesariamente refleja su asociación con una fase geoquímica discreta, sino más bien están definidas operacionalmente por el método de extracción aplicado (Chester y Hughes, 1979; Agemian y Chau., 1977; Tessier *et al.*, 1979; Rantala y Loring, 1985; Kerstner y Förstner, 1989; Hirner *et al.*, 1992). Estos métodos no han estado exentos de críticas; las principales son la falta de selectividad y validación. No obstante, los procedimientos de extracción secuencial tienen sus ventajas, ya que permiten diferenciar entre muestras que presentan concentraciones de metales totales similares. Además, son de los pocos métodos prácticos que ofrecen información acerca del origen, forma de presencia,

disponibilidad fisicoquímica y biológica, movilización y transporte de metales pesados en el ambiente (Luoma y Jenne, 1976; Tessier *et al.*, 1987).

Las determinaciones de la calidad de los sedimentos es necesaria para identificar y reconocer áreas que se encuentren afectadas por algún tipo de contaminación. En la actualidad, estas determinaciones han sido realizadas principalmente, mediante análisis químicos. No obstante, se ha sugerido que la evaluación de la calidad de sedimentos debe involucrar, al menos, dos a tres categorías de mediciones, tales como: cuantificación de la concentración del contaminante en el ambiente, evaluación de la toxicidad de muestras ambientales y cuantificación de los cambios en la biota residente (Inda y Trucco, 1999).

La difusión de metales en el medio ambiente expone una proporción significativa de las poblaciones de animales y plantas a ellos (Adriano, 2001). De tal manera que, el análisis de metales pesados en sedimentos y suelos es importante para relacionarlo con la toxicidad, en virtud de que estos presentan mayor capacidad de almacenamiento que en las fases adyacentes aire y agua (Tessier *et al.*, 1979; Ure *et al.*, 1993; Campanella *et al.*, 1995; Izquierdo *et al.*, 1997).

Los estudios clásicos de sedimentos que tienden a comprender la forma en que responden diferentes parámetros oceanográficos frente a variaciones climáticas, se basan en el análisis de series temporales, que en muchos casos, no permiten identificar mecanismos de larga duración. Bajo situaciones muy especiales, los sedimentos marinos pueden constituirse en un importante registro de condiciones oceanográficas pasadas que permiten, por una parte, trabajar con una alta resolución temporal, y por otra, abarcar un largo intervalo de tiempo. Estudios en esta dirección han sido desarrollados en sistemas de surgencia en distintas partes del mundo (Lange *et al.*, 1990; Divakar *et al.*, 1992; Farrel *et al.*, 1995; Weber *et al.*, 1995; Martínez *et al.*, 1996; Von Road *et al.*, 1999). En las cuencas oceánicas se producen grandes acumulaciones de sedimento y los diferentes

componentes sedimentarios son indicadores de condiciones ambientales en el momento de su sedimentación.

El Golfo de Santa Fe representa un cuerpo de agua semi-cerrado que encierra una enorme biodiversidad marina, así como también, un alto potencial para desarrollos turísticos y recreacionales. Además, se han realizado varios análisis sobre la delimitación y evaluación de las principales comunidades marinas en el golfo que deben considerarse como un primer paso para emitir cualquier opinión sobre el diagnóstico, pronóstico y control de la biota marina del área. Márquez (2003), determinó las características geoquímicas de algunos sedimentos superficiales del Golfo de Santa Fe. Estos estudios se han realizado con la finalidad de conocer los cambios que han estado ocurriendo en el ecosistema, para buscar soluciones a los daños ocurridos en el medio y para el mantenimiento de la biodiversidad y productividad del golfo para las generaciones futuras.

La problemática que presenta el Golfo de Santa Fe, es que los contaminantes provenientes de los vertidos domésticos de las comunidades cercanas y la construcción del tramo Yaguaracual-Santa Fe de la nueva autopista Cumaná-Puerto La Cruz, hacen que el ecosistema se deteriore. Entre los contaminantes de mayor peligro se encuentran los metales pesados que se depositan en el sedimento que pueden provocar el envenenamiento de varias especies, alterando así su ciclo de vida. Los metales pesados se incrementan a medida que aumentan las actividades domésticas, agrícolas y turísticas de la región (Márquez, 2003).

Tomando en cuenta estas investigaciones se plantea como parte fundamental de este trabajo de grado el estudio geoquímico de metales pesados en sedimentos superficiales de la región marino costera Arapito-Santa Fe; debido a que se encuentra afectada por las corrientes marinas que transportan sustancias contaminantes desde las costas de los estados Anzoátegui y Sucre, los cuales pueden disminuir su potencial turístico

recreacional, por lo que se hace indispensable establecer la línea base ambiental para futuros estudios de impacto ambiental. En este estudio, se evaluó la distribución y comportamiento espacial y temporal de los metales pesados presentes en los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe.



## METODOLOGIA

### Área de estudio

El área de estudio es la región marino-costera comprendida entre Playa Arapito y el sector marino costero frente al centro poblado de Santa Fe (Figura 1), localizada en el Municipio Sucre del estado Sucre. Consiste en una zona de aproximadamente de 12 km de largo con muchas playas de arenas y una línea de costa muy escarpada la cual se prolonga por el fondo del mar hasta aproximadamente los 50 a 60 m de profundidad. En este trabajo se evaluaron 25 estaciones distribuidas en dos transectas paralelas a la línea costera.

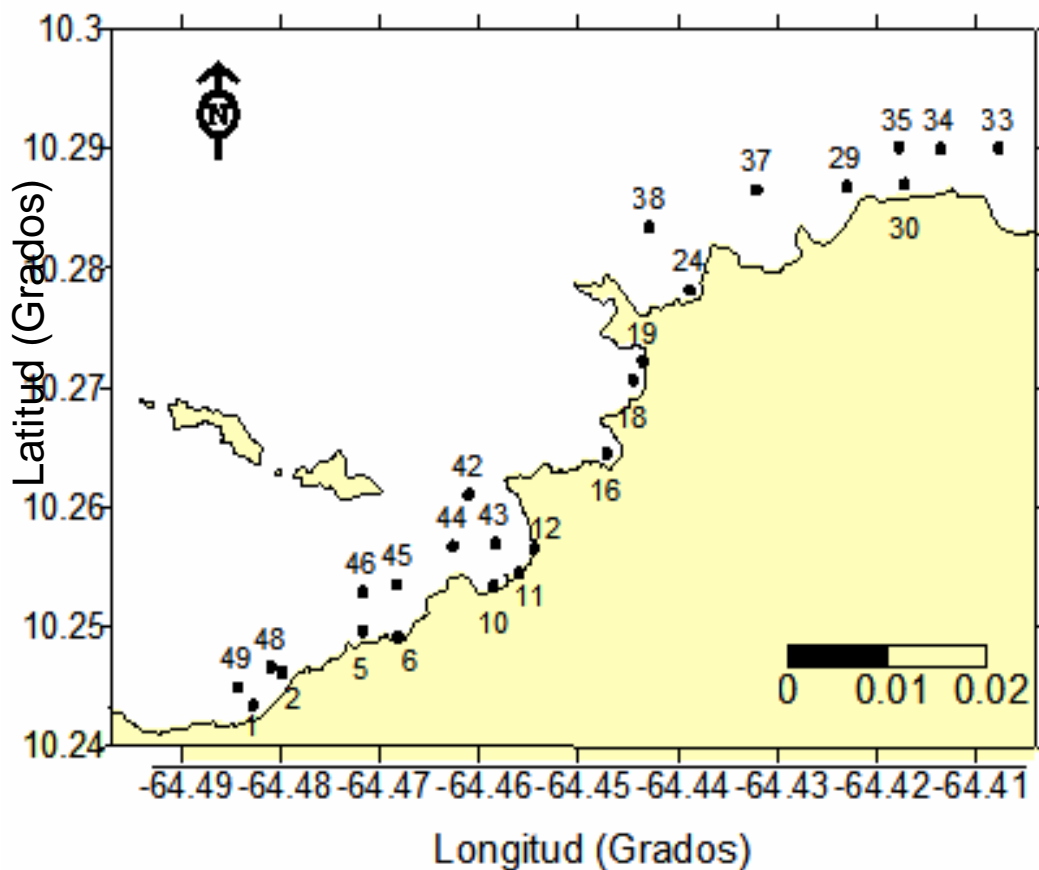


Figura 1. Área de estudio para la realización del presente estudio.

Figu

Tabla 1. Coordenadas de las estaciones del muestreo en la región marino costera entre Arapito y Santa Fe, estado Sucre, Venezuela.

<b>Estación (N°)</b>	<b>Latitud (°)</b>	<b>Longitud (°)</b>
1	10,2435	-64,4827
2	10,2462	-64,4798
5	10,2496	-64,4717
6	10,2492	-64,4682
10	10,2534	-64,4585
11	10,2546	-64,4559
12	10,2565	-64,4545
16	10,2646	-64,4471
18	10,2707	-64,4445
19	10,2723	-64,4435
24	10,2782	-64,4388
29	10,2869	-64,4230
30	10,2871	-64,4172
33	10,2901	-64,4077
34	10,2901	-64,4136
35	10,2902	-64,4177
37	10,2866	-64,4321
38	10,2835	-64,4428
42	10,2611	-64,4611
43	10,2570	-64,4584
44	10,2568	-64,4626
45	10,2536	-64,4682
46	10,2529	-64,4717
48	10,2467	-64,4809
49	10,2450	-64,4842

### **Recolección de Muestra**

Se recolectaron muestras de sedimentos superficiales en 25 estaciones ubicadas en la región marina costera Arapito-Santa Fe, usando una draga Box Corer de 0,16 m<sup>2</sup> de área a bordo del buque oceanográfico Guaiquerí II. El sedimento extraído fue añadido en un envase plástico de 50 litros y se mezclaron para su homogenización, tomando una porción de aproximadamente 2 kg en una bolsa de polietileno previamente rotuladas y se refrigeraron a -20°C hasta el momento de su procesamiento y análisis en los laboratorios del Departamento de Oceanografía del Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente. Una vez en el laboratorio, cada una de las muestras de

sedimentos se descongelaron y se separaron en dos porciones, de las cuales, una se secó en la estufa a 60°C y se pulverizó finamente en un mortero de porcelana y se conservaron en envases limpios hasta que se llevó a cabo las respectivas determinaciones analíticas. La otra porción se secó a temperatura ambiente y se utilizó en el análisis de textura.



Figura 2. Draga Box Core para el muestreo de sedimentos superficiales.

## **Procesamiento y análisis de muestras**

### **Granulometría de los sedimentos**

Las muestras se colocaron en envases secados previamente, pesados y rotulados, en una estufa y se mantuvieron allí por una semana, para ser deshidratadas. Para determinar las diferentes fracciones (arena, limo y arcilla), se midió la densidad de una suspensión del sedimento a través del tiempo de sedimentación, usando un densímetro Bouyoucos con escala desde -5 hasta 60 g·l<sup>-1</sup>. Una muestra de 50,00 g de sedimento seco, previamente tamizado en una malla de 2 mm de espesor, se licuó durante 5 minutos con 10 ml de

solución dispersante de “calgón” (denominación comercial del hexametáfosfato de sodio  $\text{Na}(\text{PO}_3)_6$ ) y 300 ml de agua destilada. La solución se vertió en un cilindro arrastrando toda partícula del sedimento hasta completar un litro de solución con agua destilada. Luego, se agitó vigorosamente durante un minuto, y a los 40 segundos del cese de la agitación, se tomó la primera lectura del densímetro y la temperatura de la suspensión. Al cabo de dos horas, se tomó nuevamente la densidad y temperatura de la suspensión.

Los valores obtenidos fueron introducidos en las siguientes formulas:

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

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

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

### **Pérdidas a 500°C**

Se cuantificó por la pérdida de masa debido a la oxidación de la materia orgánica, el cual se realizó a través de la calcinación de las muestras de sedimentos en una mufla a 500°C hasta la obtención de una fracción libre de materia orgánica. 2,00 g de sedimento seco se pesaron en crisoles de porcelana y fueron calcinados a 500°C por períodos de 12 horas hasta la obtención de masa constante.

### **Carbono orgánico**

El carbono orgánico fue realizado por el método de combustión húmeda (Walkley y Black, 1934; Okuda, 1964; Schumacher, 2002; Miyazawa *et al.*, 2000); modificado por

Heanes (1984). Este método se fundamenta en la medición espectrofotométrica del color verde de los iones del  $\text{Cr}^{3+}$ , formados por la oxidación del carbono orgánico a  $\text{CO}_2$ .

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

### **Equivalentes de carbonato de calcio**

Se obtuvieron por titulación con solución de NaOH estandarizado (Vogel, 1989). Para ello se pesaron 0,1500 g de sedimentos previamente calcinados, se añadieron 12,5 ml de solución de HCl  $0,1 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ . Se agitó durante 6 horas en un agitador mecánico y se separó el extracto centrifugándolo, esto para eliminar restos de sedimentos y turbidez. Finalmente los extractos fueron titulados con solución de NaOH  $0,5 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$  previamente valorado con ácido oxálico. Para determinar el punto final se utilizó fenolftaleína como indicador. Se verificó la eficiencia del método, titulando paralelamente cantidades similares de  $\text{CaCO}_3$  de calidad analítica, de pureza 99,9%.

### **Metales totales**

Un gramo de sedimento seco se sometieron a digestión con 5 ml de una mezcla de ácido nítrico, clorhídrico y perclórico concentrados, en proporción 3:2:1 respectivamente, por dos horas a una temperatura de  $100^\circ\text{C}$ , con agitación constante (Martínez, 2002). Los extractos se filtraron y diluyeron en balones aforados con agua desionizada a un

volumen de 25 ml. Los metales se determinaron mediante espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP-AES).

### **Fraccionamiento y especiación de metales**

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

#### *Fracción 1. Metales intercambiables*

A 1 g de sedimento seco se le adicionó 8 ml de disolución de cloruro de magnesio 1 mol/l (pH 7) y se agitó durante 1 hora a temperatura ambiente, luego, se centrifugó y el líquido sobrenadante se filtró a través de filtro Whatman N° 42. Se lavó el residuo con agua desionizada y se incorporó al filtrado. La disolución se enrasó en un matraz aforado hasta un volumen de 25 ml con agua desionizada. Esta solución se etiquetó y se refrigeró hasta su análisis.

#### *Fracción 2. Metales unidos a carbonatos*

Al residuo de la fracción anterior se le agregó 8 ml de acetato de sodio 1 mol/l ajustado a pH 5 con ácido acético, se agitó la mezcla durante 5 horas a temperatura ambiente, se centrifugó y se filtró. El residuo anterior se lavó con agua desionizada, y las aguas del lavado se incorporaron a la disolución anterior. La disolución anterior se diluyó a 25 ml con agua desionizada se etiquetó y se refrigeró hasta su análisis

#### *Fracción 3. Metales unidos a óxidos de hierro y magnesio*

Al residuo de la fracción anterior se le añadió 20 ml de una mezcla de hidrócloruro de hidroxilamina 0,04 mol/l al 25% V/V con ácido acético, a una temperatura de 96°C durante 6 horas con agitación intermitente. Se centrifugó, filtró y se lavó el residuo,

incorporando las aguas del lavado a la disolución anterior. La disolución anterior se diluyó a 50 ml con agua desionizada se etiquetó y se refrigeró hasta su análisis.

*Fracción 4. Metales unidos a materia orgánica y sulfuros metálicos.*

Al residuo sólido procedente de la etapa anterior se le aplicó 3 ml de ácido nítrico concentrado y 5 ml de peróxido de hidrógeno (al 30% y ajustado a pH 2 con ácido nítrico). La mezcla se calentó hasta 85°C por 2 horas con agitación ocasional. Posteriormente, se le adicionó una segunda alícuota de 3 ml de peróxido de hidrógeno al 30% y se calentó durante 3 horas a 85°C con agitación intermitente. Posteriormente, se enfrió la mezcla a temperatura ambiente, y se le agregó 5 ml de acetato de amonio 3,2 mol/l en ácido nítrico al 20%, se diluyó a 20 ml con agua desionizada y se agitó continuamente durante 30 minutos. Se centrifugó, filtró y se lavó el residuo, incorporando las aguas del lavado a la disolución anterior. La disolución se diluyó a 25 ml con agua desionizada se etiquetó y se refrigeró hasta su análisis

*Fracción 5. Metales en la fracción residual*

La concentración de esta fracción se calculó restando las concentraciones de las cuatro primeras fracciones a las concentraciones correspondientes a la extracción de los metales totales.

**Procesamiento y análisis de los resultados.**

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

## **RESULTADOS Y DISCUSION**

Los sistemas acuáticos presentan sales y sustancias disueltas que varían su concentración de acuerdo a sus solubilidades. La presencia en la corteza terrestre de diferentes materiales y estructuras geológicas son fuente de una gran variedad de iones disueltos en aguas superficiales. La contaminación en ríos, mares y océanos se produce bien por la presencia de compuestos o elementos que normalmente no estarían sin la acción del hombre o por un aumento o descenso de la concentración normal de las sustancias ya existentes. Uno de los componentes químicos potencialmente muy tóxicos son los metales pesados, y entre ellos se encuentran el Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb y Zn. El aporte de estos metales al ciclo hidrológico procede de diversas fuentes, siendo una de ellas de origen litogénico o geoquímico conformada por los minerales que por causas de la meteorización, erosión, lluvias, entre otros, son arrastrados al agua. No obstante, las mayores concentraciones son debidas a las actividades humanas.

### **Textura de los sedimentos**

El análisis textural se ha llevado a cabo para evaluar las distribuciones de tamaños de granos que existen en los sedimentos superficiales del golfo de Santa Fe (Tabla A1), los cuales pueden ser de gran interés para el estudio de metales pesados. Las concentraciones de metales pesados en los sedimentos no sólo depende de fuentes litogénicas y antropogénicas, sino también de las características texturales, del contenido de la materia orgánica, composición mineralógica y del ambiente deposicional de los sedimentos. Según Tessier *et al.* (1979) los metales trazas están asociados con las partículas pequeñas de estos materiales. Esta tendencia es atribuida predominantemente a la adsorción, co-precipitación y complejación de metales en las capas superficiales del sedimento. Las pequeñas partículas tienen elevada área superficial con relación a su volumen y, por consiguiente, pueden retener altas concentraciones de metales. El área superficial específica de los sedimentos es dependiente de los parámetros granulométricos y la composición mineralógica (Sadiq, 1992).



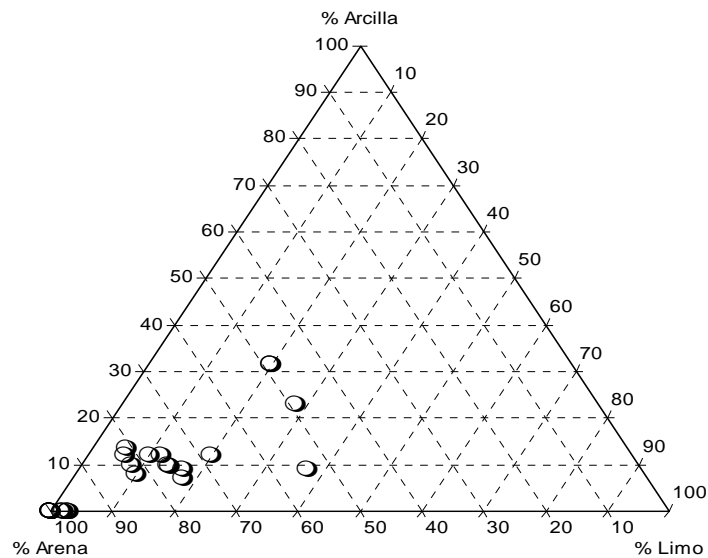


Figura 3. Clasificación textural del tipo de sedimento del sector marino costero Arapito-Santa Fe mediante el triángulo de Sheppard (1954).

La Figura 3 muestra la clasificación textural de los sedimentos del sector marino costero Arapito-Santa Fe, los cuales se clasifican, de acuerdo al triángulo de Sheppard (1954), como de tipo arenoso, seguida de areno-limoso y limo-arenoso. En esta investigación la presencia de arena es la más resaltante de las clases texturales determinadas.

La Figura 4 muestra que el mayor porcentaje de arena se encontró a lo largo de la costa y en la parte central de la zona en estudio. El porcentaje de arena varió desde un máximo de 100% y un mínimo de 49%, además un promedio general de 81,32%, localizándose los mayores valores en la estación 19, 24 y 26 (Tabla A1). Esto puede ser una consecuencia de la deposición del material sedimentario de textura arenosa transportado por los ríos y escorrentías que descargan sus aguas en la región. No obstante, esta abundante arena está constituida por restos de una gran variedad de organismos y acompañados por fragmentos de corales, atribuidos a una progresiva disminución del material orgánico y un aumento en el material calcáreo detrítico, debido a la muerte de los corales que viven en esta región marino costera (Bonilla y González, 1992).

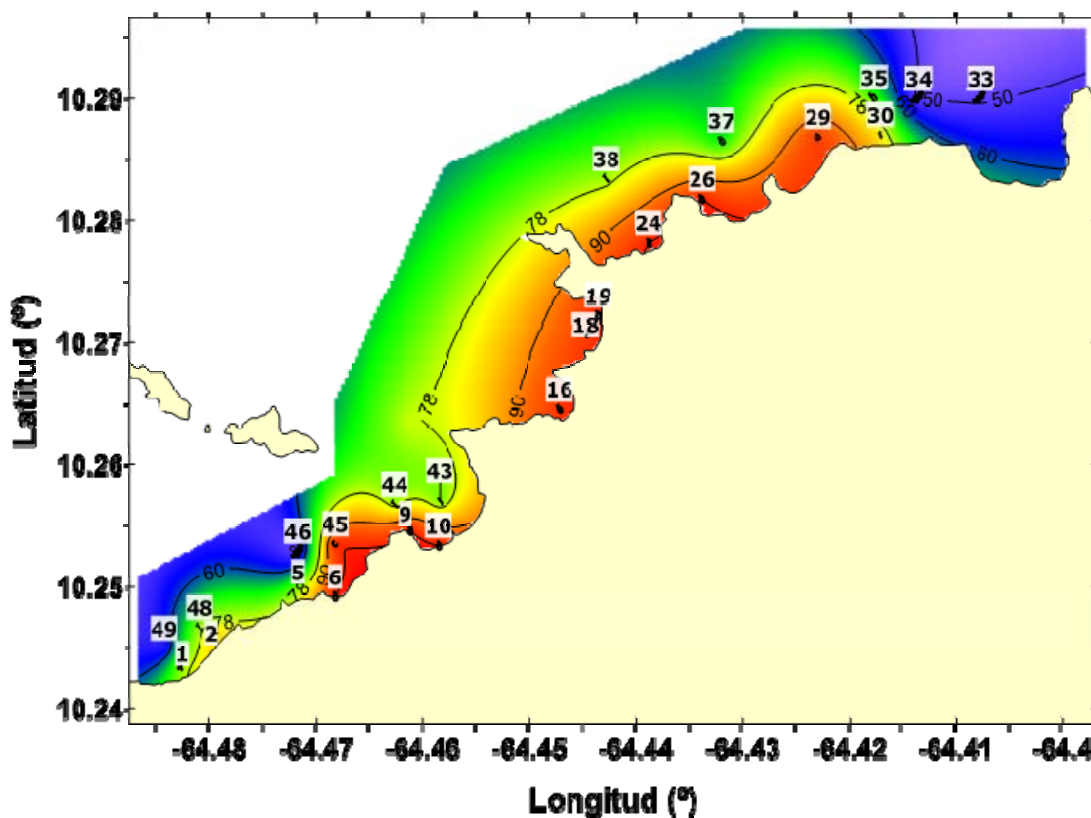


Figura 4. Distribución espacial del contenido de arena (%) en los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe.

En la Figura 5 Tabla A1 se nota que el mayor porcentaje de limo se presentó hacia el extremo sur de la costa de la zona de estudio cerca del centro poblado de Arapo, presentándose un máximo 37% en las estaciones 46 y 49, un mínimo de 0% en varias estaciones, y un promedio de 9,98% de limo. Estas son zonas muy profundas y de baja energía, por lo tanto constituyen zonas de deposición de sedimentos muy finos y acumulación de metales trazas. Estos sedimentos finos con un alto contenido de materia orgánica pueden ser arrastrados desde las desembocaduras de los ríos que descargan sus aguas en la región. Además, los vientos transportan estas partículas finas y quedan suspendidas, precipitando bajo la acción o el efecto de fenómenos fisicoquímicos que ocurren en el ambiente marino (Caraballo, 1982).

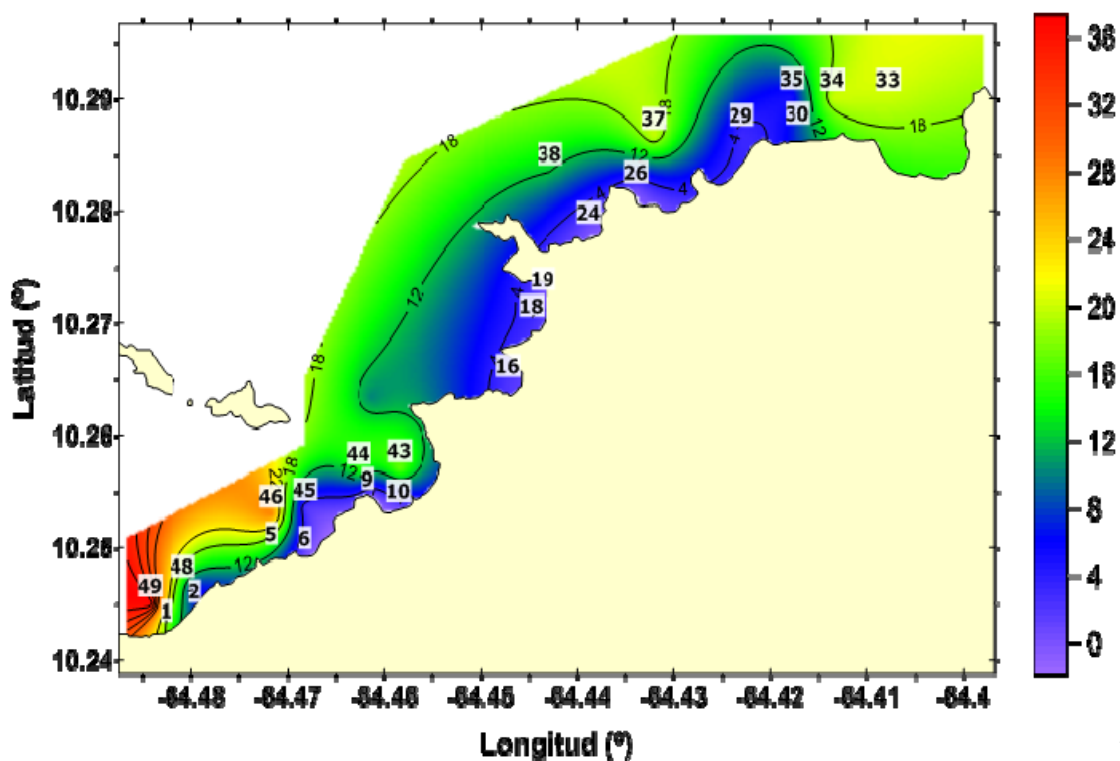


Figura 5. Distribución espacial del contenido de limo (%) en los sedimentos superficiales del sector costero Arapito-Santa Fe.

La Figura 6 muestra la distribución espacial de las arcillas en la región estudiada, con variaciones entre 0% y 32%, con un promedio de 8,38%, el mayor porcentaje de arcilla se encontró hacia la costa nor-este de Santa Fe. Según Sadiq (1992), cuanto más finos son los sedimentos mayor es la concentración de metales acumulados, fenómeno que se atribuye a la elevada superficie específica que poseen las partículas finas favoreciendo la adsorción de metales. Es por ello que los aluminosilicatos hidratados de las arcillas poseen superficies con cargas predominantemente negativas que pueden ser compensadas por cationes adsorbidos. A su vez, estos cationes pueden ser desplazados por otros existentes en el ecosistema.

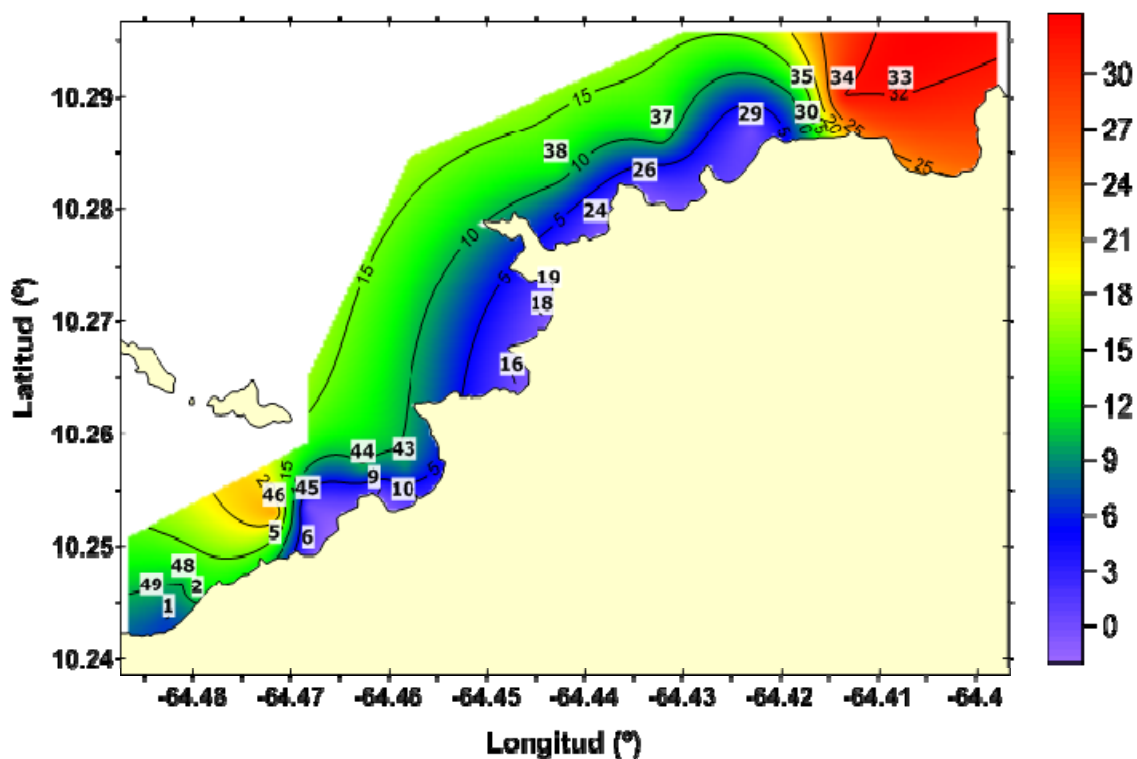


Figura 6. Distribución espacial del contenido de arcilla (%) en los sedimentos superficiales del sector costero Arapito-Santa Fe.

En la zona de estudio predominan los sedimentos gruesos, posiblemente por el efecto de las corrientes marinas que se presentan, atribuyéndole a éstas la responsabilidad de la notable ausencia de materiales finos en el fondo. Bonilla *et al.*, 1998 en los sedimentos del ecosistema marino costero del ecosistema de José, reportó porcentajes promedios de arenas de 42,80 %, limo de 12,40% y arcilla de 44,80%, es decir, porcentajes de arenas inferiores a los reportados en este estudio, pero con porcentaje de limo y arcilla superiores a los encontrados en los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe. Landaeta (2002) indicó que los sedimentos superficiales en la región marino costera frente a la ciudad de Cumaná presentan un alto porcentaje de arena de hasta 99,41% y un bajo contenido de limo y arcilla, similar a la textura determinada para el sector Arapito-Santa Fe. Además, Castellar (2004) encontró que en los sedimentos del Golfo de Santa Fe predominan las arenas hasta un 97%, indicando bajas concentraciones de metales trazas.

### **Pérdidas a 500°C (MOT)**

La materia orgánica está compuesta de los organismos de la flora y fauna acuática, tanto vivos como muertos, así como también de los productos de su secreción, autólisis y digestión. El carbono orgánico que se encuentra en el fondo de los mares, océanos, lagos y ríos, está sujeto al consumo por organismos que se mantienen vivos dentro del sedimento (Deming y Baross, 1993). Sin embargo, la materia orgánica puede ser encontrada en el agua de mar en pequeñas proporciones, pero en mayores proporciones en los sedimentos (Henrichs, 1993). Las sustancias húmicas fluviales, también son componentes que conforman el material orgánico que por su interacción con los iones metálicos, óxidos metálicos, hidróxidos metálicos, sustancias orgánicas y minerales pueden formar complejos solubles o insolubles en agua, de muy diferente naturaleza fisicoquímica y estabilidad variable (Eglinton, *et al.*, 1989)

En la Figura 8 se observa la distribución espacial de la materia orgánica en los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe, los cuales oscilaron entre 0,30 y 6,62%, determinándose el mayor porcentaje a lo largo de la zona norte del área de estudio, posiblemente debido principalmente a las descargas del río que descarga sus aguas al este del centro poblado de Santa Fe, tanto de origen biogénico como de origen antrópicos. Otros factores son las actividades domésticas de las viviendas cercanas, así como los organismos pelágicos, que al morir sedimentan y aportan grandes cantidades de materia orgánica hacia el fondo del ecosistema marino. Su flujo depende, a su vez, de su proporción y producción en las aguas superficiales, de la profundidad de la columna de agua, de los aportes de nutrientes desde la zona costera y de la circulación marina (Salazar, *et al.*, 1986).



### **Carbono Orgánico (CO)**

El carbono orgánico 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 (Hedges, 1992).

En la Figura 9, se muestra la distribución espacial del contenido de carbono orgánico en los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe, los cuales variaron desde un mínimo de 1,31% hasta un máximo de 3,68 %. Las más altas concentraciones de carbono orgánico se ubicaron en el extremo norte y sur del área en estudio, coincidiendo con los altos contenidos de materia orgánica, limo y arcilla. Los sedimentos en estas estaciones son de arenolimoso y arenoarcilloso, lo cual facilita la retención de materia orgánica. Las bajas concentraciones se ubicaron donde se hallaron altas proporciones de arena y carbonatos, es decir en las arenas calcareníticas.

En línea general, el contenido de carbono orgánico en los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe es bajo, 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 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)

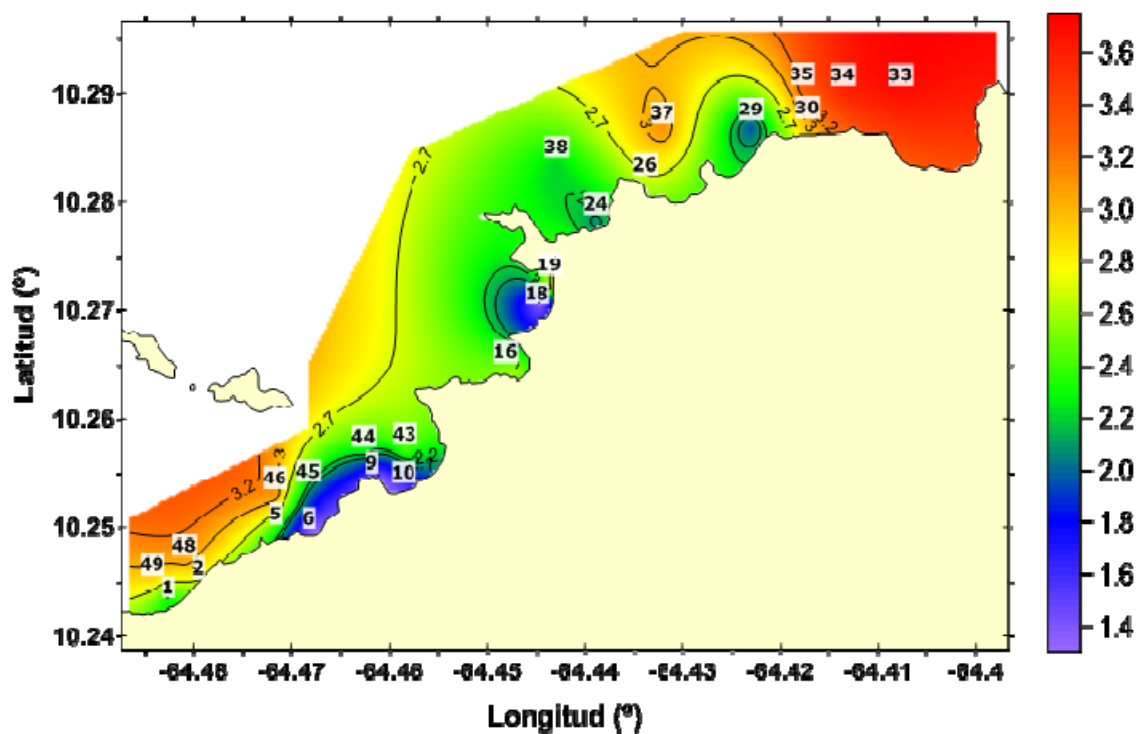


Figura 8. Distribución espacial del contenido de carbono orgánico (%) en los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe.

Estos valores 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%). Gutiérrez *et al.* (1994) destacaron que los contenidos menores de carbono orgánico de 0,046% en sedimentos de la costa fronteriza de Baja California, México, se encuentran en estaciones con ausencia de arcilla y con porcentajes de arenas mayores a 99,5%. En cambio, los valores superiores al 1,00% estuvieron asociados a las estaciones con mayor porcentaje de limos. Este comportamiento es similar al observado en este estudio, donde el bajo contenido de carbono orgánico esta en relación directa con la composición textural del sedimento tipo arenoso.



### **Equivalente de Carbonato de calcio**

El carbonato de calcio (calcita y aragonita) es el compuesto de calcio más abundante en la naturaleza. La calcita es la forma de carbonato de calcio más estable. La aragonita formada en el agua o en los sedimentos por actividad biológica es transformada gradualmente a calcita. La distribución de la calcita está controlada, tanto en los sedimentos como en el agua de mar, por la velocidad de formación del carbonato de calcio y su fijación en el agua, adhesión con otros compuestos no cálcicos, grado de saturación, cambio diagénicos y la vecindad de la capa béntica (Bonilla *et al.*, 2003).

En los sedimentos, el carbonato de calcio en la mayoría de los casos es precipitado por el plancton superficial, en formas de concha microscópicas. Una fracción significativa, pero mucho menor, también es depositada por protozoarios que viven por debajo de la capa fótica. Las conchas marinas constituyen una parte significativa de la cantidad total de sedimentos carbonatados. Así, donde la productividad biológica es mayor son más concentrados los depósitos de carbonatos sedimentarios (Loring y Asmund, 1995).

Los mayores contenidos de carbonato de calcio en la zona de estudio (Tabla A2), se ubicaron en las estaciones 26 y 45, (playas Vallecito y margen costera donde se encuentra ubicado el laboratorio de la empresa camaronera Aguamarina de la Costa, respectivamente), estos resultados están relacionados con los altos porcentajes de arena. Cabe destacar que algunas de las estaciones donde se encontraron altas proporciones de limo no se hallaron altas proporciones de carbonatos, indicando que dichas arenas están compuestas principalmente de materiales silíceos.

Las variaciones en el contenido de carbonato de calcio de los sedimentos marinos son, parcialmente, el resultado de la desintegración de fragmentos de corales y de cambios temporales del ambiente bajo el cual las conchas o esqueletos de organismos plantocnicos fueron depositadas. La preservación del carbonato de calcio, en los

sedimentos marinos están altamente controladas por procesos termodinámicos y por la rapidez de transformación de carbonato de calcio (Libes, 1992).

La concentración promedio detectada en el sector marino costero Arapito-Santa Fe es superior a la determinada por Salazar *et al.*, (1986) en los sedimentos superficiales de la laguna de Las Marites, el cual indica un valor de 24,34% proveniente de un aporte biogénico de conchas de moluscos. Bonilla *et al.* (1986) reportaron un promedio de 34,73% de carbonatos en la bahía de Bergantín y 37,18% en la bahía de Pozuelos 37,18%. Velásquez (2005), en el Saco del Golfo de Cariaco reportó valores promedio de carbonato de 13,26 % para la temporada de sequía y de 19,33% para la temporada de lluvia. Todos estos valores referenciales son inferiores a los encontrados en la presente investigación.

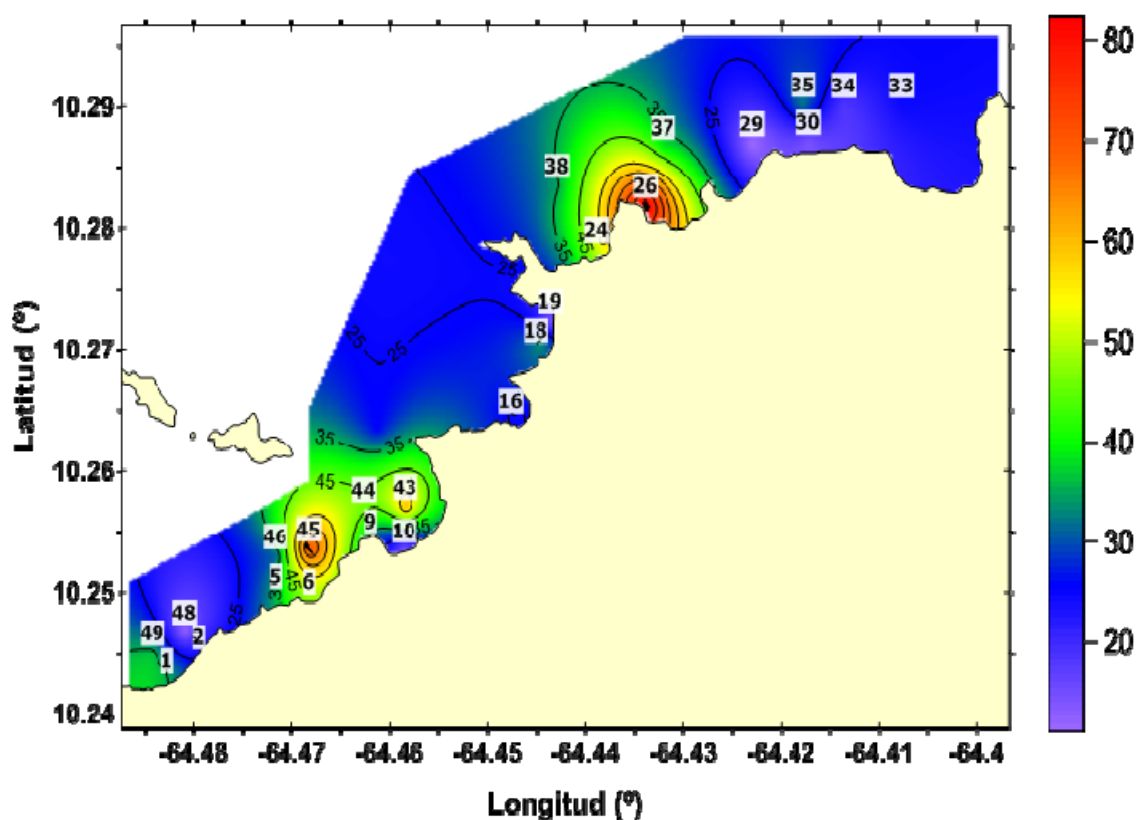


Figura 9. Distribución espacial del contenido de carbonato (%) en los sedimentos superficiales del sector costero Arapito-Santa Fe.

### Calidad de los análisis

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

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

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

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

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

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

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

$S_m$ : señal del blanco,

$S_{bl}$ : la desviación estándar del blanco,

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

K: una constante cuyo valor es 3.

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

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

## Metales trazas

### Aluminio (Al)

El aluminio es el tercer elemento químico más abundante en la corteza terrestre (8,23% en peso), pero no se encuentra libre (Moore, 1983). Es un metal blanco-plateado, que existe fundamentalmente combinado con el oxígeno formando la mayoría de los

minerales terrestres (olivinos, plagioclasas, piroxenos, feldespatos, micas y arcillas. Entre estas combinaciones naturales destacan: moscovita o mica de potasio  $[KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH,F)_2]$ , caolín o caolinita  $[Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8]$ , corindón  $[Al_2O_3]$ , bauxita  $[Al_2O_3 \cdot xH_2O]$  y arcillas (mezclas de productos de la descomposición de las rocas ígneas como granito y feldespatos, por acción del agua, dióxido de carbono, calor, etc). Además, tiene muchas aplicaciones: utensilios de cocina, decoración, construcción de espejos de telescopios, papeles decorativos, empaquetado, juguetes, pinturas resistentes a la oxidación, pirotecnia, explosivos, soldadura, construcción de aviones, cohetes, bicicletas, entre otros. Es anfótero: reacciona con ácidos no oxidantes (HCl) produciendo iones aluminio ( $Al^{3+}$ ) y con disoluciones calientes de álcalis produciendo iones aluminato  $[Al(OH)^4]$ .

En la Figura 10 se muestra la distribución espacial (mg/kg) del aluminio en el sector marino costero Arapito-Santa Fe, con concentraciones que variaron entre un rango de 516,33 y 16549,92 mg/kg. La distribución espacial del aluminio es homogénea en casi toda la zona en estudio a excepción del sector de Santa Cruz en la región central, donde se encontró una alta concentración, así como frente al centro poblado de Santa Fe. Estos resultados posiblemente se deban a que el Al se halla en casi todas las rocas, sobre todo en las ígneas así como en los aluminosilicatos, tales como las arcillas, que provienen de la meteorización de las rocas y transportados en los sedimentos fluviales (Bay, 1981).

Castellar, (2004) reportó concentraciones de aluminio que oscilaron entre 395,0 y 13381,76 mg/kg en los sedimentos superficiales del golfo de Santa Fe, valores que son inferiores a los encontrados en este estudio. Los valores reportados por Landaeta (2002) en los sedimentos superficiales de la región marino costera frente a la ciudad de Cumaná muestran concentraciones alrededor de 34186,23 mg/kg, muy superiores con respecto a los encontrados en el sector marino costero Arapito - Santa Fe, indicando un alto contenido de aluminosilicatos. Sanguinetti (2009) reportó concentraciones de aluminio que oscilaron entre 472,67 y 6046,76 mg/kg en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, valores que son inferiores a los encontrados en el presente estudio. Sin

embargo, en los datos indicados por Martínez (2002) en los sedimentos de las Lagunas de Píritu las concentraciones de aluminio fueron inferiores con valores que no superaron los 2613 mg/kg.

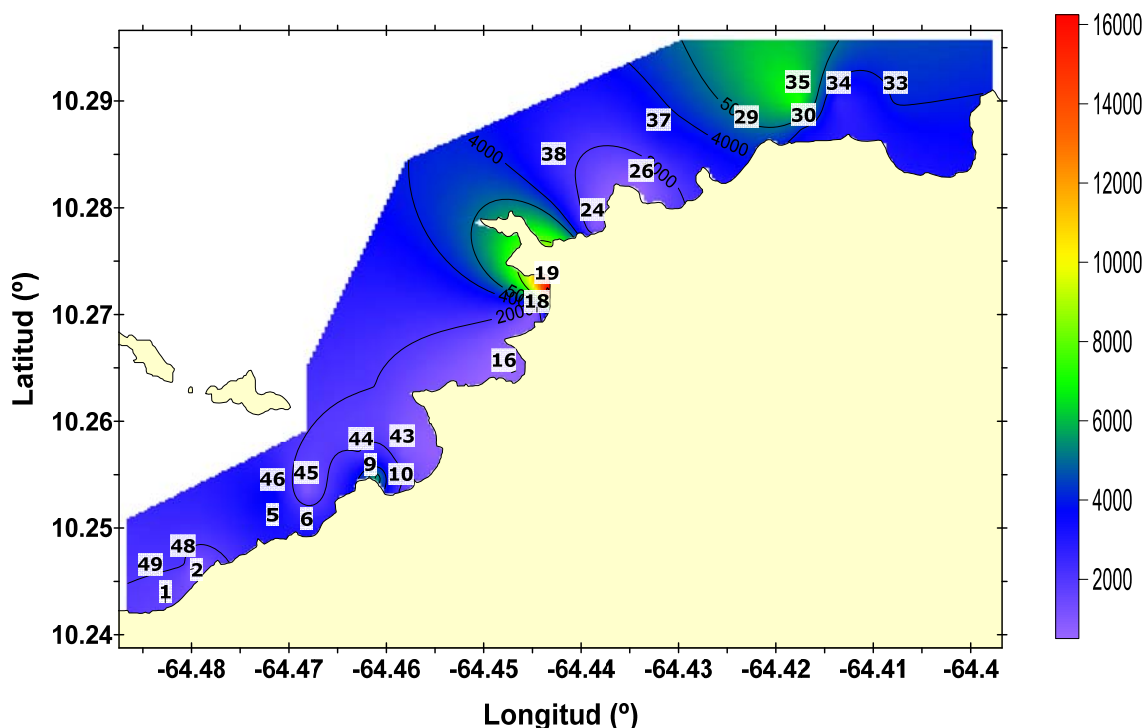


Figura 10. Distribución espacial de aluminio total (mg/kg) en sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe.

Castellar, (2004) reportó concentraciones de aluminio que oscilaron entre 395,0 y 13381,76 mg/kg en los sedimentos superficiales del golfo de Santa Fe, valores que son inferiores a los encontrados en este estudio. Los valores reportados por Landaeta (2002) en los sedimentos superficiales de la región marino costera frente a la ciudad de Cumaná muestran concentraciones alrededor de 34186,23 mg/kg, muy superiores con respecto a los encontrados en el sector marino costero Arapito - Santa Fe, indicando un alto contenido de aluminosilicatos. Sanguinetti (2009) reportó concentraciones de aluminio que oscilaron entre 472,67 y 6046,76 mg/kg en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, valores que son inferiores a los encontrados en el presente estudio. Sin embargo, en los datos indicados por Martínez (2002) en los sedimentos de las Lagunas

de Píritu las concentraciones de aluminio fueron inferiores con valores que no superaron los 2613 mg/kg.

El fraccionamiento geoquímico del Aluminio (Figura 11) muestra una variación en sus concentraciones en toda el área de estudio, donde en la F1, la cual corresponde a los metales intercambiables, las concentraciones variaron desde por debajo del límite de detección, en varias estaciones y un máximo de 32,64 mg/kg en la estación 6, probablemente por su alto contenido de arena, lo que trae como consecuencia la poca adsorción de metales trazas, presentándose un promedio de 3,25 mg/kg (Tabla A4). En los metales ligados a los carbonatos (F2), el Al estuvo entre 1191,81 y 0,65 mg/kg en las estaciones 9 y 6, respectivamente, mientras que los metales unidos a oxihidróxidos de hierro y manganeso (F3) presentó concentraciones de aluminio desde 31,35 mg/kg en la estación 9 hasta 2879,53 mg/kg en la estación 35. El aluminio asociado a la materia orgánica (F4) presentó concentraciones que estuvieron entre 72,65 mg/kg (estación 9) y 1992,88 mg/kg (estación 37). Las concentraciones más altas de este metal fueron encontradas en la fracción residual (F5), con una concentración máxima de 16174,17 mg/kg (estación 19) y un mínimo por debajo del límite de detección (estación 6).

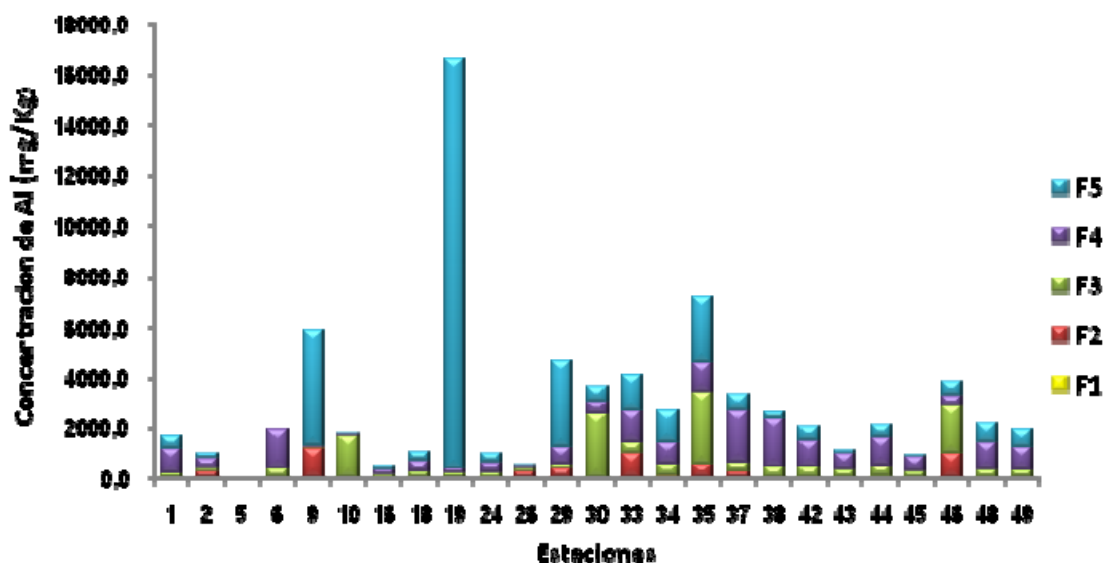


Figura 11. Concentraciones de aluminio en cada una de las fracciones obtenidas de los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe.

De acuerdo con esto, el aluminio se encontró fuertemente asociado a la fase residual con un 48,69% (Tabla A8), lo que refleja un origen litogénico. Este metal fue hallado en menor proporción en la fracción asociada a la materia orgánica y sulfuros (25,16%) y a los oxihidróxidos de Fe y Mn con 10,83%; indicando que puede ser liberado cuando se cambian las condiciones redox del medio. Otro factor que puede provocar esta influencia de aluminio son las desembocaduras de los ríos cercanos que son acumuladores de metales trazas y materia orgánica, en la cual al entrar en el cuerpo de agua probablemente floculen, según las condiciones químicas, precipitando el aluminio en forma de minerales de arcillas e hidróxidos de aluminio. Los bajos valores de aluminio en la F1 y F2 reflejan la escasa influencia que ejercen fuentes antrópicas sobre el sistema sedimentario.

### **Cadmio (Cd)**

En el orden de abundancia de los elementos de la corteza terrestre, el cadmio se encuentra situado en el lugar 64 con una concentración promedio de 0,2 mg/kg, no encontrándose en forma nativa en el medio ambiente. Asimismo, no existen minerales que contengan cadmio en su composición en cantidades suficientes para ser aprovechables comercialmente, obteniéndose siempre como producto secundario de la extracción y purificación de otros elementos (Förstner y Patchineelam, 1981). Este metal se encuentra asociado al zinc en forma de sulfuro (CdS) y la solubilidad de sus compuestos en el agua depende fundamentalmente de su acidez. El cadmio se utiliza en la industria para la estabilización de plásticos, en la elaboración de baterías y aleaciones metálicas. Se emplea junto con Pb, Sn y Bi, en la fabricación de extintores, alarmas de incendios y de fusibles eléctricos. Las sales de cadmio se emplean en fotografía, fabricación de fuegos artificiales, cauchos, pinturas fluorescentes, vidrio y porcelana (Gerlach, 1981).

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 los de agua dulce (Andres *et al.*, 2000).

En la Figura 12 se visualiza el comportamiento del cadmio total en el área de estudio, con valores entre 3,70 y 4,27 mg/kg, las mayores concentraciones de este metal se ubicaron en el extremo norte del área en estudio, donde desemboca el río de Santa Fe. Esta acumulación es probablemente causada por varios factores como el tráfico de pequeñas embarcaciones debido a la alta actividad pesquera, además de los aportes antrópicos como los desechos, tanto líquidos como sólidos, generados por las actividades desarrolladas por los pobladores de la región y a las descargas de los ríos y otras escorrentías límnicas continentales. El contenido de Cd en los sedimentos está estrechamente relacionado con la composición granulométrica, siendo los sedimentos de mayor proporción de arcilla y limo los que retienen mayor cantidad de este metal (los sedimentos de grano fino son capaces de retener grandes cantidades de metales trazas). Sadiq (1992) indicó que los sedimentos no contaminados deben contener menos de 1 mg/kg de cadmio.

Márquez, 2003, obtuvo un valor promedio de 0,11 mg/kg de Cd en los sedimentos superficiales del Golfo de Santa Fe, valor bastante bajo en comparación con los encontrados en este estudio. Castellar, (2004) reportó concentraciones de cadmio que oscilaron entre 1,30 mg/kg y 2,28 mg/kg en los sedimentos superficiales del golfo de Santa Fe, valores que son inferiores a los encontrados en este estudio, indicando que una de las fuentes probables podrían ser las actividades antropogénicas, agrícolas e industriales de la zona. Acosta *et al.*, 2002 reportaron niveles de cadmio en sedimentos superficiales de Playa Guiria por debajo de límite de 1 mg/kg; en Río Chico, cercanos al límite de Sadiq (1,28 mg/kg) y en Boca de Paparo muy superiores (23,70 mg/kg), lo que indica un origen doméstico-industrial.

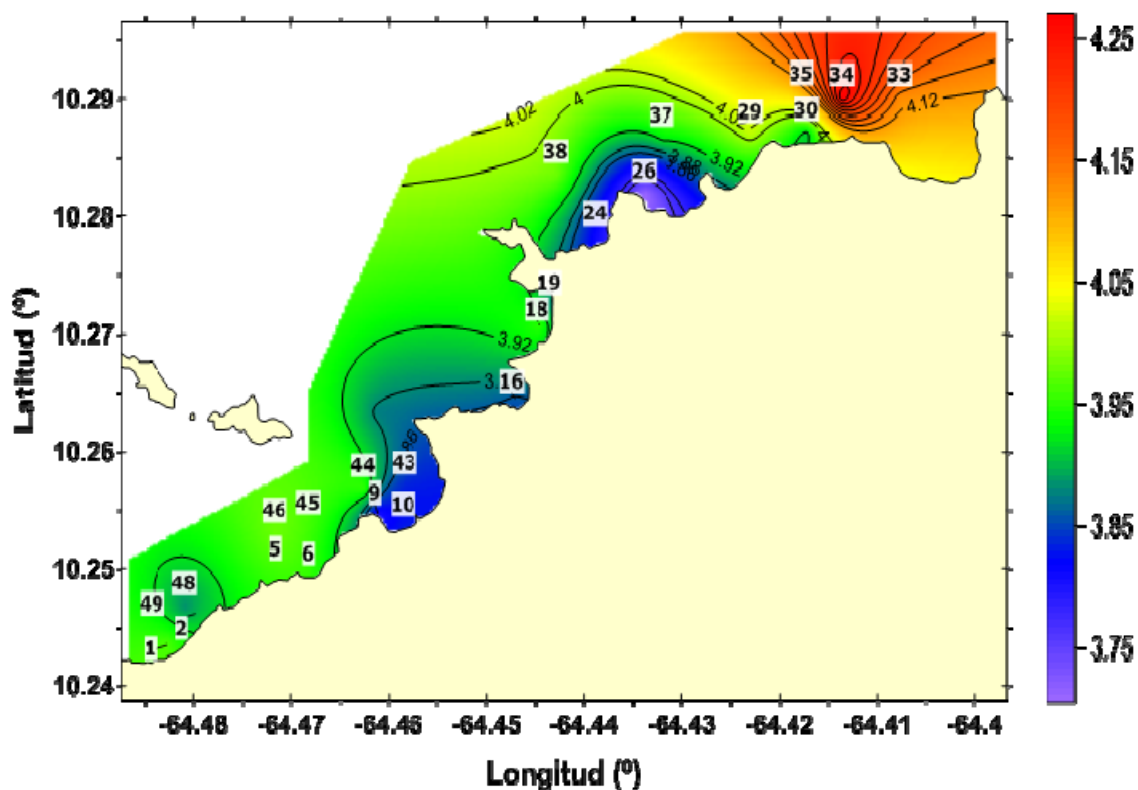


Figura 12. Distribución espacial de cadmio total (mg/kg) en sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe.

La especiación del cadmio en la zona en estudio (Figura 13 y Tablas A4, A5, A6, A7 y A8) presentó concentraciones que variaron entre 1,11 mg/kg (estación 2) y 1,39 mg/kg (estación 34), con un promedio de 1,16 mg/kg para la fracción intercambiable (F1) representando el 29,51% del Cd total. Las concentraciones asociadas a carbonatos (F2), variaron desde 1,30 hasta 1,42 mg/kg en las estaciones 9 y 34 respectivamente; representando el 34,19% del metal total. En la fracción 3 el Cd se encontró en 36,38% del total, con valores que variaron desde 1,32 hasta 1,52 mg/kg con una concentración promedio de 1,43 mg/kg. Este metal no fue encontrado en las fracciones unidas a la materia orgánica y sulfuros así como a la fase residual.

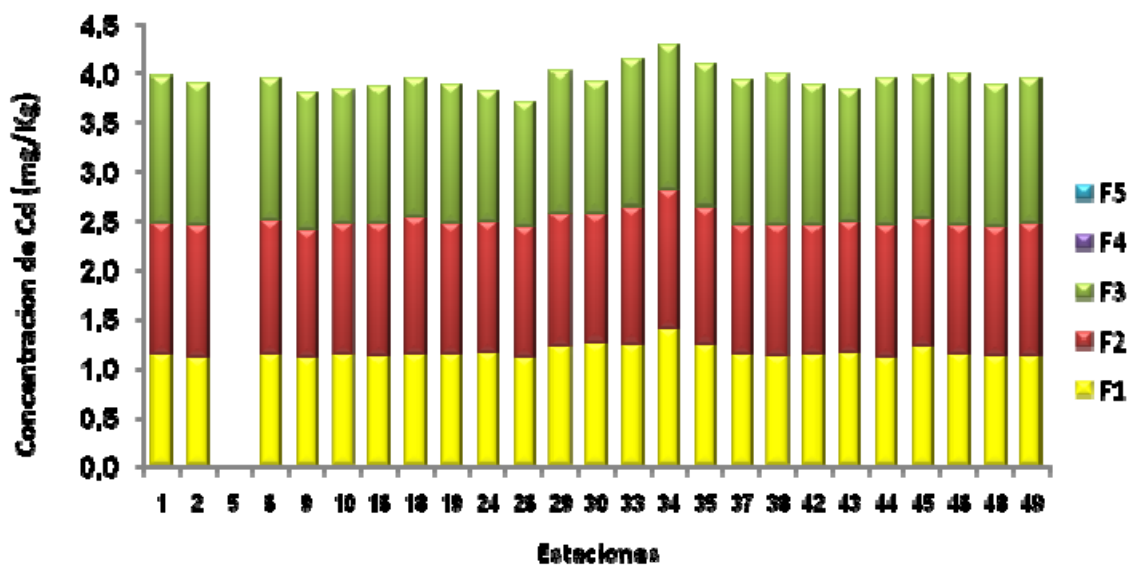


Figura 13. Concentraciones de Cadmio en cada una de las fracciones obtenidas de los sedimentos superficiales del sector costero Arapito-Santa Fe.

Las actividades antropogénicas y las corrientes marinas puede influenciar la presencia de cadmio (Sadiq, 1992). El hecho de que este metal fuese encontrado en las fases más biodisponibles y no se determinaran en las unidas a la materia orgánica y sulfuros (F4) y a la fase residual (F5), indican que existen fuentes antrópicas, tales como los efluentes domésticos y agrícolas en la región que favorecen la adsorción de este metal en los sedimentos, además de las descargas de los ríos que desembocan en esta zona de estudio, el flujo vehicular y de los intercambios de las aguas, lavado y desvíos de la carretera, la construcción de la autopista Cumaná - Puerto la Cruz,

### Cobre (Cu)

El cobre es un elemento abundante en la corteza terrestre, estimándose en el rango de 24 a 55 mg/kg. Se presenta principalmente como sulfatos, carbonatos, sulfuros de Fe y Cu (calcopirita:  $Cu_5FeS_4$ ), cuprita (óxido de cobre), malaquita, arsénico, cloruro, y depósitos del carbonato entre otros. Debido a su uso extendido, el cobre es uno de los contaminantes más comunes del medio ambiente. Se ha demostrado que su mayor fuente

es de origen antropogénica (Nriagu, 1979). Según Martínez (1999), su ductilidad permite transformarlo en cables de cualquier diámetro; puede usarse tanto en líneas de alta tensión exteriores como en el cableado eléctrico de interiores y en maquinarias eléctricas en general: generadores, motores, aparatos electromagnéticos, sistemas de comunicaciones, entre otros. Las dos aleaciones más importantes son: el latón, una aleación con Zn y bronce y Adriano (1986) indicó que es utilizado en la agricultura como insecticida, alguicida, en purificación de aguas, antibacteriano, conservante de granos, suplemento alimentario para las aves de corral, entre otros. El cobre puede adsorberse fácilmente 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 (Doménech, 1995).

En la Figura 14 se presenta la distribución espacial de cobre total en los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe, con valores que van desde por debajo del límite de detección hasta 31,90 mg/kg, con un promedio de 7,17 mg/kg, valor superior a 10 mg/kg estimado por Sadiq (1992) para sedimentos no contaminados, lo cual pudiera sugerir una contaminación de los sedimentos por este metal. Las mayores concentraciones de cobre se ubicaron en la zona central del área de estudio, cerca de playa colorada, en la estación 42. Las bajas concentraciones de este metal coinciden con las altas proporciones de arena. Sin embargo, las altas proporciones del metal están relacionadas con el contenido de materia orgánica y carbono orgánico.

Márquez (2003), en los sedimentos superficiales del Golfo de Santa Fe, reportó un promedio de cobre total de 3,96 mg/kg, valor inferior a los promedios determinados para este estudio. Mudarra (2002) reportó un promedio de Cu total de 0,99 mg/kg, para los sedimentos superficiales de la Ensenada de Puerto Escondido, sugiriendo que no existe contaminación en dicho ecosistema y que las concentraciones moderadamente bajas encontradas son debido al posible aporte terrígeno y natural de este metal en dicho ecosistema, el valor medio encontrado en esta investigación es alta comparada con la de

este autor. Castellar, (2004) reportó concentraciones de Cobre que oscilaron entre valores por debajo del límite de detección y 11,21 mg/kg en los sedimentos superficiales del golfo de Santa Fe, valores que son inferiores a los reportados en este estudio. Martínez (2002) reportó un valor promedio de cobre total para los sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco de 10,39 mg/kg, este valor es superior al promedio encontrado en el presente estudio. Por otra parte, Díaz (2008), en sedimentos del Saco del Golfo de Cariaco reportó un promedio total de cobre de 23,96 mg·kg<sup>-1</sup> superior al encontrado en esta investigación.

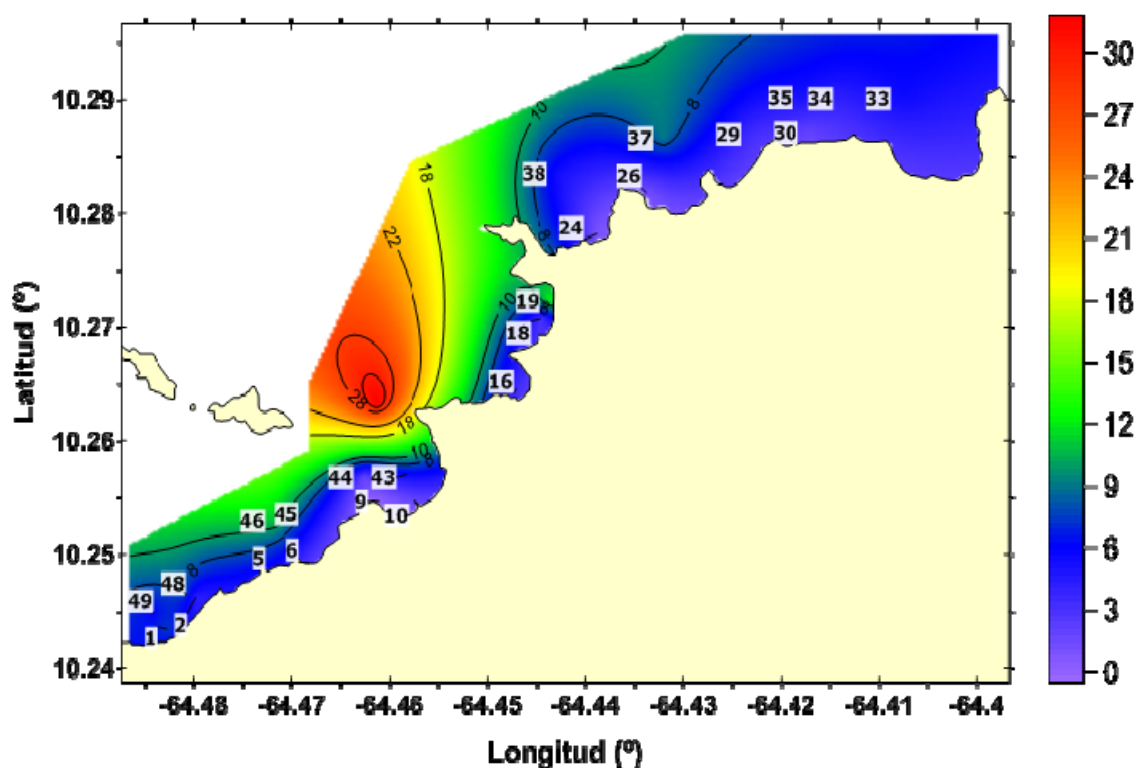


Figura 14. Distribución espacial de cobre total (mg/kg) en sedimentos superficiales del sector Arapito-Santa Fe.

Márquez (2003), en los sedimentos superficiales del Golfo de Santa Fe, reportó un promedio de cobre total de 3,96 mg/kg, valor inferior a los promedios determinados para este estudio. Mudarra (2002) reportó un promedio de Cu total de 0,99 mg/kg, para los sedimentos superficiales de la Ensenada de Puerto Escondido, sugiriendo que no existe

contaminación en dicho ecosistema y que las concentraciones moderadamente bajas encontradas son debido al posible aporte terrígeno y natural de este metal en dicho ecosistema, el valor medio encontrado en esta investigación es alta comparada con la de este autor. Castellar, (2004) reportó concentraciones de Cobre que oscilaron entre valores por debajo del límite de detección y 11,21 mg/kg en los sedimentos superficiales del golfo de Santa Fe, valores que son inferiores a los reportados en este estudio. Martínez (2002) reportó un valor promedio de cobre total para los sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco de 10,39 mg/kg, este valor es superior al promedio encontrado en el presente estudio. Por otra parte, Díaz (2008), en sedimentos del Saco del Golfo de Cariaco reportó un promedio total de cobre de 23,96 mg·kg<sup>-1</sup> superior al encontrado en esta investigación.

El fraccionamiento del cobre se muestra en la Figura 15 y Tablas A4, A5, A6, A7 y A8 donde los valores estuvieron por debajo del límite de detección en las fracciones 1, 2 y 3 a excepción de una estación en la fracción 2, donde se halló una concentración de 4,29 mg/kg (estación 46) representando el 3,24% del cobre total. El mayor porcentaje de cobre se encontró en la fracción 4 con 51,24%, con un valor promedio de 2,82 mg/kg, un máximo de 29,11 mg/kg en la estación 42 y un mínimo por debajo del límite de detección en las estaciones 9, 10 y 45; indicando que la mayor concentración de cobre se encuentra mayormente asociado a la materia orgánica y sulfuros. Por último, el cobre se encontró asociado a la fase residual en 45,49%, donde los valores oscilaron desde un mínimo por debajo del límite de detección en las estaciones 9, 10 y 45 con un máximo de 11,64 mg/kg en la estación 19 con un promedio de 2,51 mg/kg; reflejando el origen litogénico de este metal. Castellar (2004) indicó que el cobre tiene tendencia a encontrarse en sedimentos ricos en carbono orgánico.

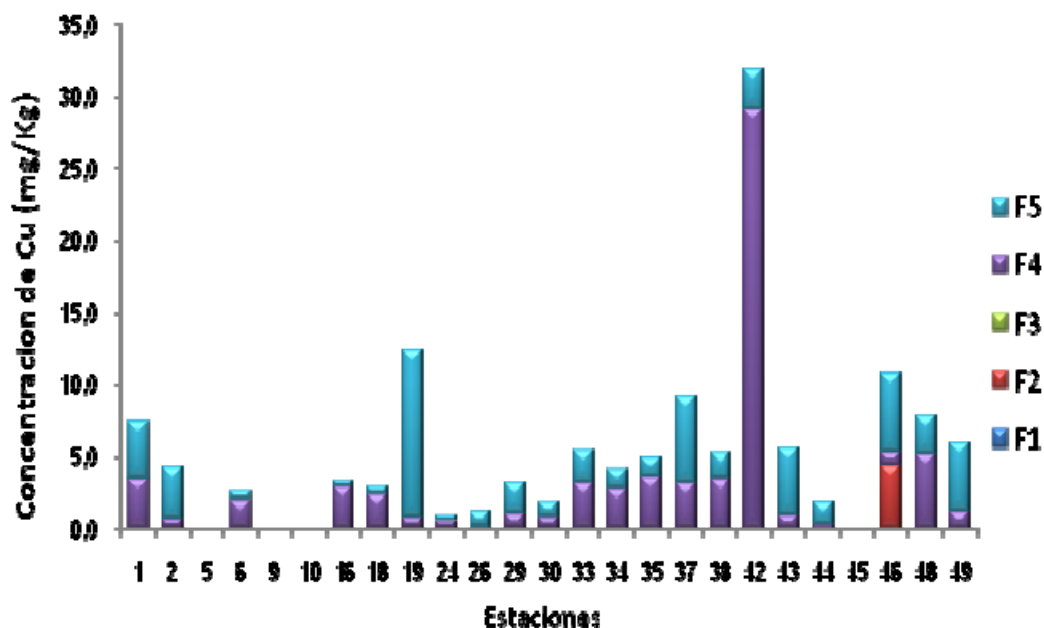


Figura 15. Concentraciones de cobre en cada una de las fracciones obtenidas de los sedimentos superficiales del sector costero Arapito-Santa Fe.

El fraccionamiento geoquímico mostró que la materia orgánica y la matriz sedimentaria son las principales fases de acumulación de cobre en los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe. Esta distribución indica que la mayor parte del contenido total de Cu presente en los sedimentos es de origen litogénico, ya que este metal se encuentra en los sedimentos formando parte de la estructura reticular de los compuestos minerales silicatos y arcillas, ya que los no residuales son aquellos que se obtienen por la incorporación a los sedimentos de soluciones acuosas, por medio de diferentes procesos tales como adsorción, complejación química e intercambio iónico (Chester y Voutsinou, 1981).

Los valores promedios de cobre en los sedimentos superficiales del golfo de Cariaco reportados por Martínez (2002) oscilaron entre 1,72-48,30 mg/kg y los reportados por Martínez y Senior (2001) en los materiales en suspensión de las aguas superficiales del Río Manzanares de 51,0 mg/kg, los cuales son superiores a los determinados en este estudio. Además, González (1995) en los sedimentos superficiales del Puerto pesquero

de Cumaná reportó 72,38 mg/kg de Cu, valor superior al reportado en el presente estudio. En los sedimentos superficiales de la Ensenada Puerto Escondido se detectó un promedio de cobre de 0,99 mg/kg (Mudarra, 2002) lo que indica que las actividades humanas, agrícolas e industriales pueden deteriorar los ecosistemas marinos a través del tiempo.

### **Cromo (Cr)**

El cromo (Cr) no se encuentra en la naturaleza en estado puro; el único mineral de cromo importante es la espinela cromita o piedra de cromo hierro, ( $\text{FeOCr}_2\text{O}_3$ ) y está ampliamente distribuida en la corteza terrestre. La aplicación más importante del cromo puro es el cromado de una gran variedad de equipos, como piezas de automóvil y equipos eléctricos. También es ampliamente utilizado en aleaciones con hierro y níquel para formar acero inoxidable, y con níquel, titanio, niobio, cobalto, cobre y otros metales, para formar aleaciones con fines específicos (Nordberg, 1998).

El cromo adsorbido en el ambiente marino se presenta como  $\text{Cr}^{3+}$  y  $\text{Cr}^{4+}$ , mientras que en las aguas naturales es esencialmente ión cromato ( $\text{CrO}_4^{2-}$ ). El cromo se encuentra en la corteza terrestre en un 0,0018%. El Cr se usa ampliamente en la industria metalúrgica en las aleaciones ferrosas, dada sus excelentes propiedades anticorrosivas y refractarias, en las industrias productoras de cemento y en la industria textilera como pigmento para telas; además, sirve para hacer ladrillos refractarios, y otros productos químicos del Cr (Fromm y Stokes, 1962).

La distribución espacial de las concentraciones totales del cromo (mg/kg) en los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe se muestran en la Figura 16, con valores que oscilaron entre 1,89 y 45,14 mg/kg con un promedio de 13,01 mg/kg, observándose una distribución homogénea en casi todo el área de estudio, a excepción de los sectores conocidos como Playa Aquamarina, Santa Cruz y Vallecito, donde se hallaron las mayores concentraciones. Este metal no se encontró asociado a la



materia orgánica ni al carbono orgánico. Sin embargo, se encontró asociado a altos contenidos de arenas y carbonatos. Estas concentraciones de Cr pueden estar asociadas a las actividades antrópicas, así como también a aportes provenientes de los ríos y a las intervenciones en la zona de construcción de la autopista.

Sadiq (1992) señala que en los sedimentos no contaminados los valores de cromo deben ser inferiores a 20 mg/kg, lo cual podría estar evidenciando contaminación del metal en el sector marino costero Arapito-Santa Fe. No obstante, es importante considerar los resultados del fraccionamiento geoquímico de este metal, para poder verificar su influencia antrópica en la zona en estudio. Valores inferiores a los de este estudio fueron reportados por Márquez (2003) en los sedimentos superficiales del Golfo de Santa Fe, con un promedio de cromo total de 7,79 mg/kg y Castellar (2004) en los sedimentos superficiales del golfo de Santa Fe, con valores entre 3,02 mg/kg y 12,65 mg/kg.

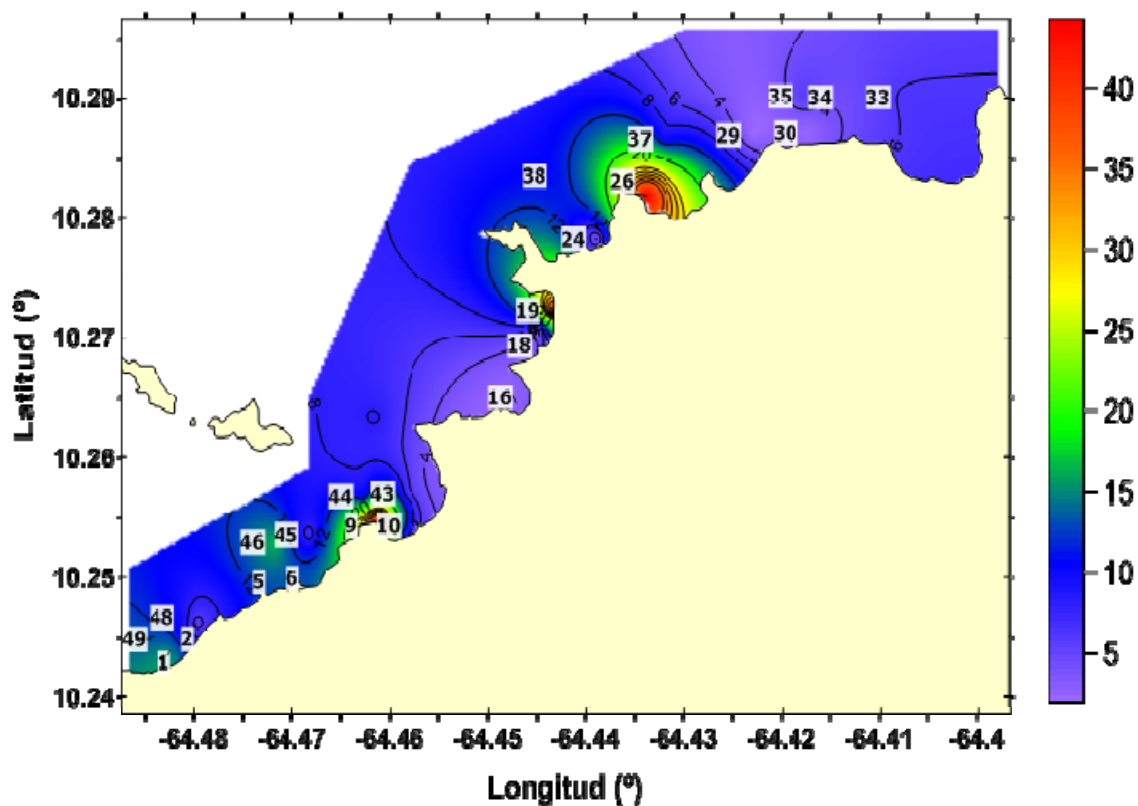


Figura 16. Distribución espacial de cromo total (mg/kg) en sedimentos superficiales del sector Arapito-Santa Fe.

La Figura 17 muestra la ausencia de cromo tanto en la F1 como en la F2, pero si se detectó en la F3, en un 10,83% del cromo total; con un valor máximo de 5,43 mg/kg (estación 44) y un mínimo por debajo del límite de detección en varias estaciones, con un promedio de 1,31 mg/kg. El 18,36% del cromo se encuentra asociado a la materia orgánica y sulfuros donde las concentraciones oscilaron entre 0,50 y 5,11 mg/kg en las estaciones 10 y 37, respectivamente. La mayor proporción se encontró asociada a la fase residual (70,79%), con un valor máximo de 44,61 mg/kg (estación 9) y un mínimo 0,29 mg/kg (estación 29). El hecho de que los mayores porcentajes de cromo se encuentren en forma no biodisponible, descarta la posibilidad de contaminación por este metal, puesto que la liberación de los metales pesados unidos a estas fracciones es mucho más difícil y se producen por meteorización a largo plazo.

Comparando los resultados de cromo obtenidos en este estudio con los reportados por Martínez (2002), donde los valores superan el límite para sedimentos no contaminados en el Golfo de Cariaco (valores desde 2,51 mg/kg hasta 97,15 mg/kg, con un promedio de 32,15 mg/kg, y las asoció a la textura del sedimento con alto contenido de partículas finas y a las elevadas concentraciones de materia orgánica que contienen los sedimentos, además del aporte antropogénico. Bonilla *et al.*, 2003 reportaron indicios de contaminación de cromo en los sedimentos de la Ensenada Grande del Obispo, el cual proviene de efluentes vertidos en la costa sur del Golfo de Cariaco, y que por efecto direccional de la hidrodinámica, están causando gran impacto en la costa norte, afectando principalmente a la Ensenada Grande del Obispo.

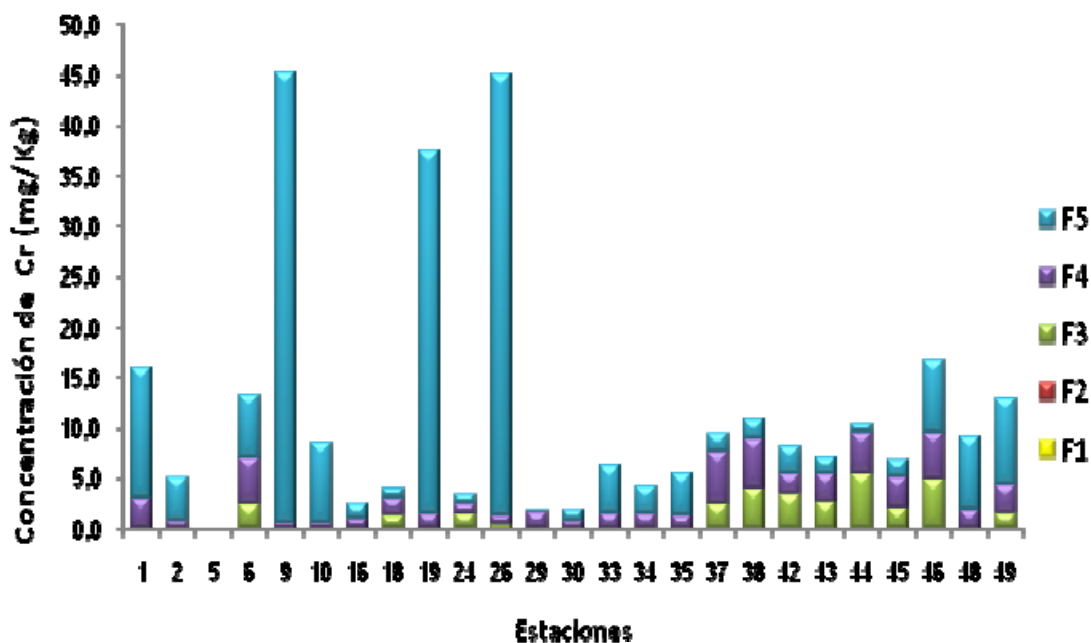


Figura 17. Concentraciones de cromo en cada una de las fracciones obtenidas de los sedimentos superficiales del sector costero Arapito-Santa Fe

### Hierro (Fe)

El hierro constituye un 4,75% de la corteza terrestre y el segundo elemento metálico en abundancia. Los minerales de hierro más importantes son,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  y El  $\text{FeO}_4$ . Se emplea para la elaboración de medicinas, tintas para el revelado de fotografía y en la fabricación de acero para la industria pesada. También es utilizado en la fabricación de láminas metálicas galvanizadas, cabillas, tubos y electroimanes (Moore y Ramammorthy, 1984). Viarengo, (1985) demostró que cantidades grandes de hierro entran al ambiente marino por vía industrial, corrosión de estructuras acuáticas (barcos, botes, puentes, entre otros) y la precipitación atmosférica. Los iones de hierro más activos en el agua de mar cerca de la superficie son  $\text{Fe}^{2+}$  a  $\text{Fe}^{3+}$ .

Los ríos y escorrentías continentales son las vías de transporte más importantes del hierro hacia el ambiente marino donde es un micronutriente esencial para el fitoplancton y puede ser un factor limitante para su crecimiento (Wells y Mayer, 1991).

La Figura 18 muestra la distribución espacial de hierro total (mg/kg), el cual presentó un máximo de 18683,36 mg/kg en la estación 33 y un mínimo de 400,21 mg/kg en la estación 10, con un promedio de 7426,79 mg/kg, donde las mayores concentraciones se determinaron en la costa norte del área en estudio frente al pueblo de Santa Fe. La presencia del hierro guarda una relación directa con el contenido de arcilla, carbono y de materia orgánica.

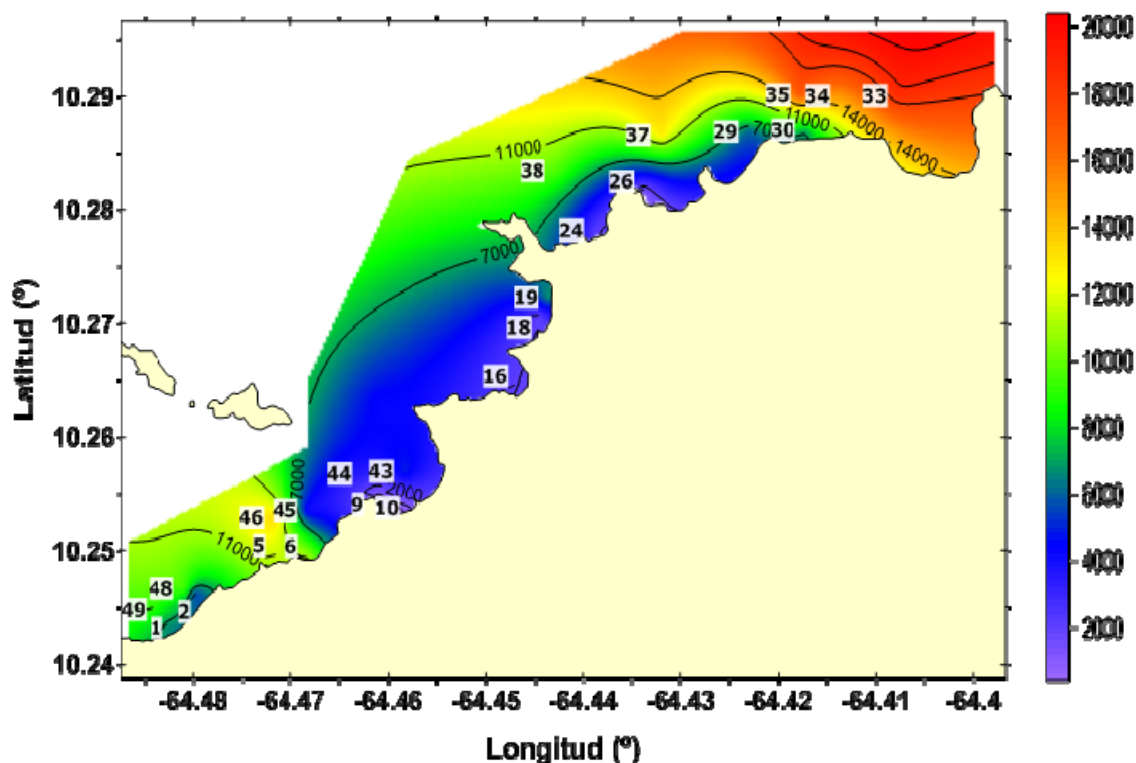


Figura 18. Distribución espacial de hierro total (mg/kg) en sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe.

Castellar, 2004 reportó concentraciones de hierro que oscilaron entre 1343,47 mg/kg y 11425,13 mg/kg en los sedimentos superficiales del golfo de Santa Fe, valores que son inferiores a los encontrados en este estudio. Sadiq (1992) informó que las altas concentraciones de Fe son normales en las áreas costeras y estuarinas, especialmente las influenciadas por actividades antrópicas.

De acuerdo con la Figura 19 y las Tablas A4, A5, A6, A7 y A8 donde se muestran el fraccionamiento de hierro en los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa, el metal se encuentra en la fracción intercambiable en un 0,08%, con un máximo de 28,28 mg/kg en la estación 44 y un mínimo 1,52 mg/kg en la estación 10, con un promedio de 5,79 mg/kg; para la fracción 2 (Fe unido a carbonatos), el promedio fue de 12,01 mg/kg, representando tan sólo el 0,16% del hierro total, con un valor máximo, en la estación 35, de 44,92 mg/kg y un mínimo de 0,02 mg/kg en la estación 24; para la fracción 3 (metal asociado a oxihidróxidos de hierro y manganeso) el promedio fue de 1788,80 mg/kg, lo que representa un 23,33% del total, presentando un valor máximo de 4546,89 mg/kg en la estación 44 y un mínimo de 288,16 mg/kg en la estación 10. El hierro estuvo presente en la fracción 4 (unido a materia orgánica y sulfuros) con 34,26% con respecto al total, con promedio de 2626,46 mg/kg; presentando un valor máximo de 6843,56 mg/kg en la estación 37 y un mínimo de 353,80 en la estación 26. Por último, con un mayor porcentaje en la fracción 5, el hierro en la fracción residual presentó un promedio de 3233,75 mg/kg, lo que representa un 42,18% del total; presentando un valor máximo de 12149,69 mg/kg en la estación 33 y un mínimo de 11,11 mg/kg en la estación 42.

Estos resultados indican un claro predominio del hierro asociado a la fase residual, materia orgánica y oxihidróxido de Fe y Mn; y en menor grado unido a los carbonatos y en forma de iones intercambiables, es decir, casi todo el hierro presente en el sector marino costero Arapito-Santa Fe es litogénico. Este comportamiento no es extraño, ya que este es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre y sólo un pequeño porcentaje es de origen antrópico.

Mudarra (2002) en los sedimentos de la Ensenada Puerto Escondido reportó un valor promedio de 118,56 mg/kg, muy inferior a los encontrados en este estudio. Comparando los valores hallados por López *et al.* (2002) de 1458 mg/kg en los sedimentos superficiales de la Laguna de Píritu son inferiores que las concentraciones determinadas en el sector marino costero Arapito-Santa Fe, debido a que el hierro es liberado desde

muchas fuentes, mientras que en los sedimentos superficiales de la región marino costera frente a la ciudad de Cumaná se hallaron valores de 20148 mg/kg (Landaeta, 2002) mayores a los reportados en este estudio. Por otro lado, Moya (2010) reportó en los sedimentos del sector oriental del Golfo de Cariaco 12612,16 mg/kg valor inferior al encontrado en la presente investigación. Los resultados reportados por Aranda (1999), en los sedimentos superficiales de la Ensenada Grande del Obispo donde se obtuvieron concentraciones inferiores a 95,09 mg/kg y son considerablemente menores a los valores obtenidos en esta investigación.

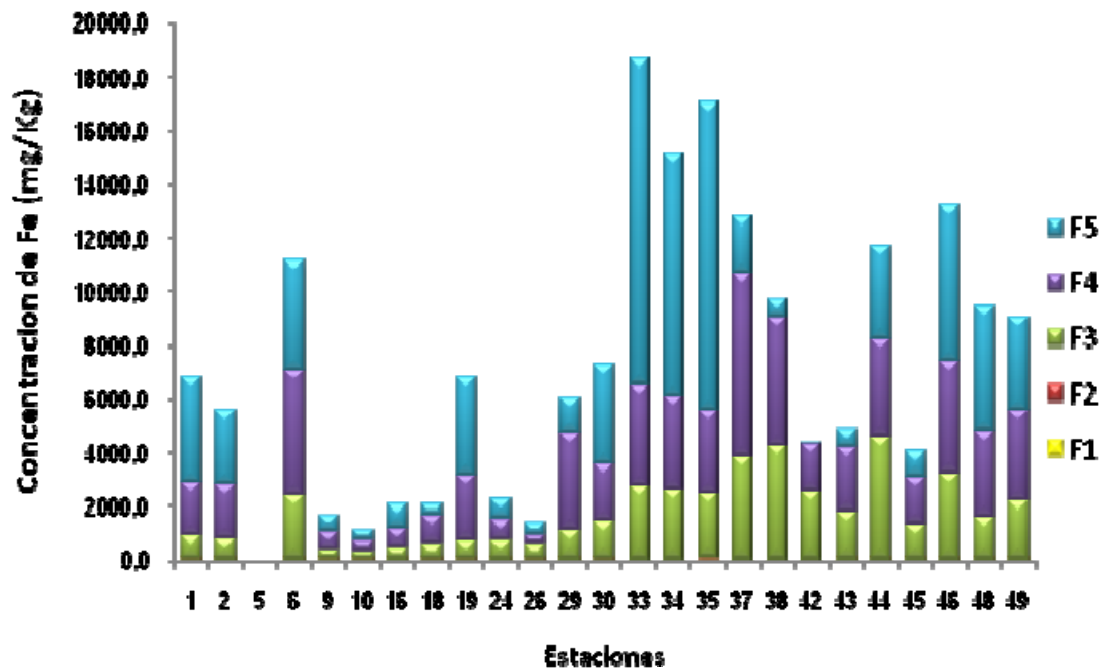


Figura 19. Concentraciones de Hierro en cada una de las fracciones obtenidas de los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe.

### Manganeso (Mn)

El manganeso es un elemento relativamente abundante que constituye un 0,085% de la corteza terrestre. El mineral de manganeso de mayor importancia es el  $MnO_2$  y se

presenta en la naturaleza como el mineral pirolusita. Puede obtenerse artificialmente calentando nitrato de manganeso, a partir del cual es posible obtener el metal libre por reducción con alúmina (Martín y Knauer, 1984). Entre las aleaciones no ferrosas de manganeso se encuentran el bronce de manganeso (Compuesto de manganeso, cobre, estaño y zinc), resistente a la corrosión del agua de mar y que se utiliza en la fabricación de hélices de barcos y torpedos; y la manganina, compuesta de manganeso, cobre y níquel (Márquez *et al.*, 2003).

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

La Figura 20 muestra la distribución del manganeso total presente en los sedimentos del sector marino costero Arapito-Santa Fe, el cual varió desde un mínimo de 1,52 mg/kg hasta un máximo 195,60 mg/kg, con un promedio 38,03 mg/kg. La mayores concentraciones se ubicaron hacia el sector central del área en estudio (estación 24), mostrando un bajo porcentaje de materia orgánica. Sin embargo, también se observaron concentraciones elevadas en el extremo de la costa norte frente al pueblo Santa Fe en las estaciones 33, 35 y 37, donde se hallaron altos contenidos de materia y carbono orgánico.

Márquez (2003) reportó para los sedimentos superficiales del Golfo de Santa Fe, un promedio de Mn total de 55,26 mg/kg y señaló que estas concentraciones pueden ser de origen natural, ya que el manganeso se encuentra asociado a los oxihidróxidos y también se puede inferir que estos pueden provenir de efluentes domésticos e industriales. Castellar, (2004) también reportó concentraciones de Mn que oscilaron entre 3,15

mg/kg y 90,98 mg/kg en los sedimentos superficiales del golfo de Santa Fe, valores que son inferiores a los encontrados en este estudio.

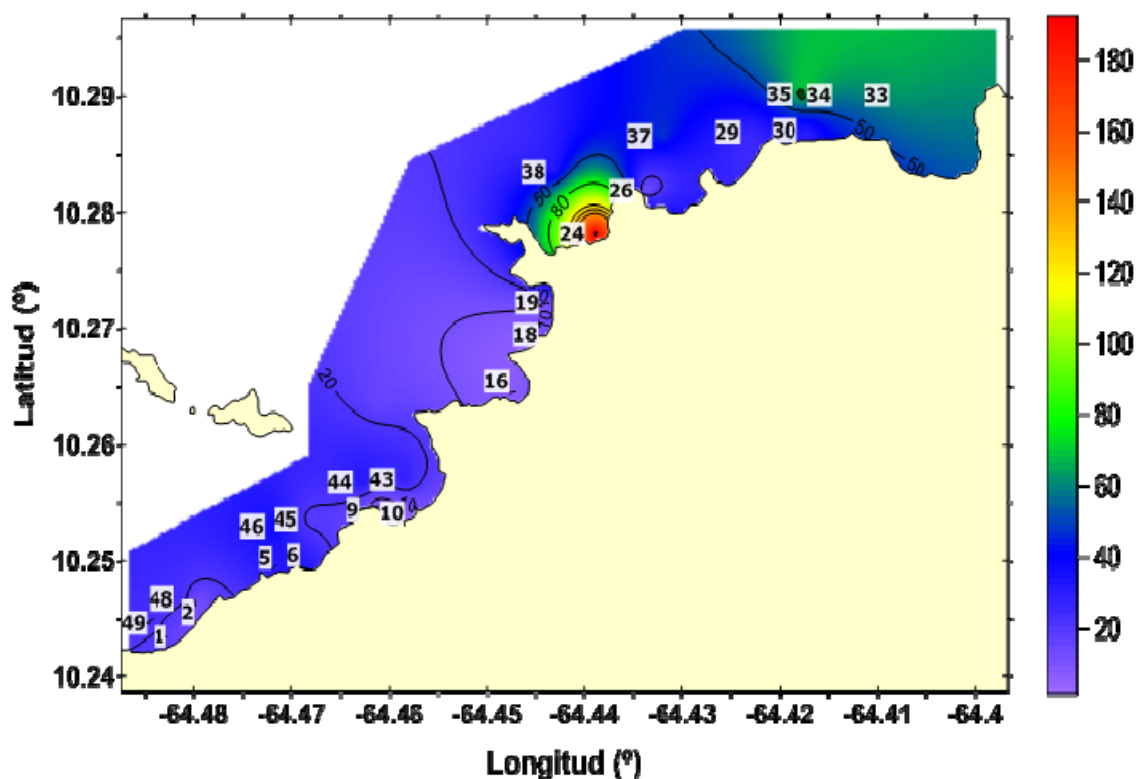


Figura 20. Distribución espacial de Manganeseo total (mg/kg) en sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe.

En la Figura 21 se puede observar que para la fracción 1, se presentaron bajas concentraciones de Mn, con oscilaciones entre 0,27 y 4,84 mg/kg, además un promedio de 0,98 mg/kg representando el 2,96% del metal total (Tabla A4), con la mayor concentración en la estación 35 (Río de Santa Fe). En la fracción 2, los valores oscilaron entre 0,35 y 15,63 mg/kg, con un promedio de 5,45 mg/kg, representando el 16,52% del Mn total con el valor más alto en la estación 24 (Tabla A5), posiblemente debido a los aportes del material detrítico carbonatado que inducen la presencia de manganeso en los sedimentos superficiales (Sadiq, 1992). En condiciones oxidantes el carbonato de manganeso se convierte en un mineral más estable, donde las concentraciones del manganeso son controladas por la formación y disolución de carbonatos en el ambiente marino, liberándose del sedimento a un pH menor de 5.



El 52,11% del Mn total fue determinado en la F3 presentando valores desde 0,77 hasta 154,56 mg/kg, con un valor promedio de 17,18 mg/kg, con un máximo en la estación 24 y un mínimo en la estación 10 (Tabla A6). La fracción 4 se encontró en un 16,86% del total, con un máximo de 24,63 mg/kg y un mínimo por debajo del límite de detección, con un promedio de 5,56 mg/kg (Tabla A7), donde el valor más alto se obtuvo en la estación 24. Sin embargo, para la fase residual (F5) se obtuvo valores entre 0,02 y 17,46 mg/kg, con un valor promedio de 3,81 mg/kg, donde el máximo valor se presentó en la estación 33 y el mínimo en la estación 29 representando el 11,55% del total.

De acuerdo a lo anterior, el manganeso se encontró mayormente asociado a los oxihidróxidos de Fe y Mn, la cual es considerada como eventualmente biodisponible. La fuerte asociación del manganeso con los oxihidróxidos de Fe y Mn demuestra la alta capacidad de adsorción del metal en forma de oxihidróxidos coloidales. Después de la fracción 3, la mayor proporción de Mn se encontró unida a la materia orgánica y sulfuros; como potencialmente biodisponible, es decir, él puede ser liberado si cambian las condiciones redox del medio. También es notable la asociación del metal con los carbonatos como consecuencia de los procesos de adsorción y coprecipitación del Mn con  $\text{CaCO}_3$  en los sedimentos superficiales. Igualmente, se observó la presencia de Mn formando parte de la estructura reticular de los componentes minerales de la fracción sedimentaria y como iones intercambiables, como indicador de los efluentes domésticos descargados en la zona.

Martínez (2002) reportó un valor promedio de Mn total de 74,11 mg/kg para los sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco, siendo mayor que los encontrados en esta zona de estudio. Mudarra (2002) publicó un valor promedio del metal total de 17,00 mg/kg para los sedimentos superficiales de la Ensenada de Puerto Escondido y atribuyó este comportamiento a la evolución del tipo de sedimento, así como también al aporte terrígeno que favorece los procesos abióticos debido a las condiciones redox que pueden

existir. El valor promedio reportado por este autor es bastante inferior a los encontrados en el ecosistema estudiado.

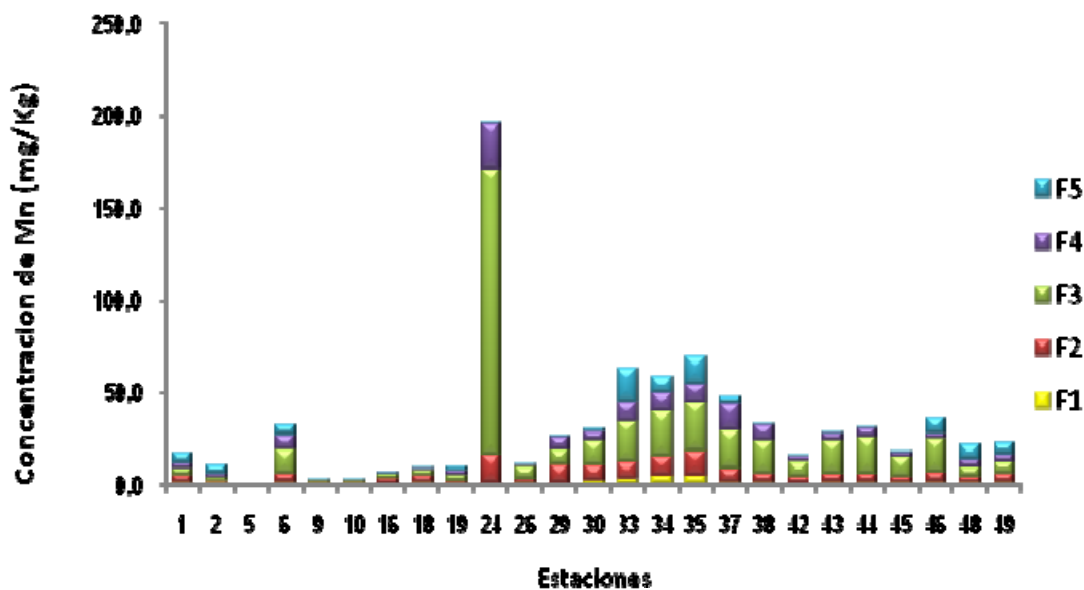


Figura 21. Concentraciones de Manganeso en fracciones geoquímicas de los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe.

F

### Níquel (Ni)

El níquel es un elemento bastante abundante, constituye cerca de 0,008% de la corteza terrestre y 0,01% de las rocas ígneas. Los minerales más importantes son los sulfuros de Fe y Ni, pentlandita y pirrotita  $(Ni, Fe)_xS_y$ , así como el mineral garnierita  $(Ni, Mg)SiO_3 \cdot nH_2O$ . Sus principales usos industriales se dan en la producción de aceros inoxidables, aleaciones, electrochapados de aparatos electrónicos y recubrimientos de piezas metálicas (automóviles, utensilios de cocina, etc.), baterías alcalinas (Ni-Cd), pigmentos inorgánicos, material electrónico, y otros. El Ni es catalizador en numerosos procesos químicos como hidrogenación de grasas y aceites, intermediario en la síntesis de ésteres acrílicos en la fabricación de plásticos, desulfuración de aceites, producción de amoníaco, entre otros (Moore y Ramammorthy, 1984). El níquel es liberado al aire por las plantas de energía y las incineradoras de basuras. Normalmente, sus formas

químicas más frecuentes son  $\text{Ni}^0$  y  $\text{Ni}^{2+}$ , aunque los estados de oxidación I, III y IV existen bajo ciertas condiciones (Adriano, 1986). La mayor parte de todos los compuestos del níquel que son liberados al ambiente se adsorberán en los sedimentos o en partículas del suelo, donde llegan a inmovilizarse (Fermín, 2002).

La Figura 22 muestra la distribución espacial del níquel en los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe, donde las más altas concentraciones se ubicaron en los sectores conocidos como Playa Aquamarina, Santa Cruz y Vallecito. Las concentraciones oscilaron desde valores por debajo del límite de detección hasta máximo de 44,64 mg/kg. Su distribución espacial está muy relacionada con la distribución de arenas y carbonato de calcio en esta misma región marino costera (Figura 4 y 6). El níquel es transportado por las escorrentías en épocas de lluvias y por los vientos que soplan en la región durante todo el año (Martinez, 2002). Sadiq (1992) señala que en los sedimentos no contaminados los valores de níquel deben ser inferiores a 10 mg/kg.

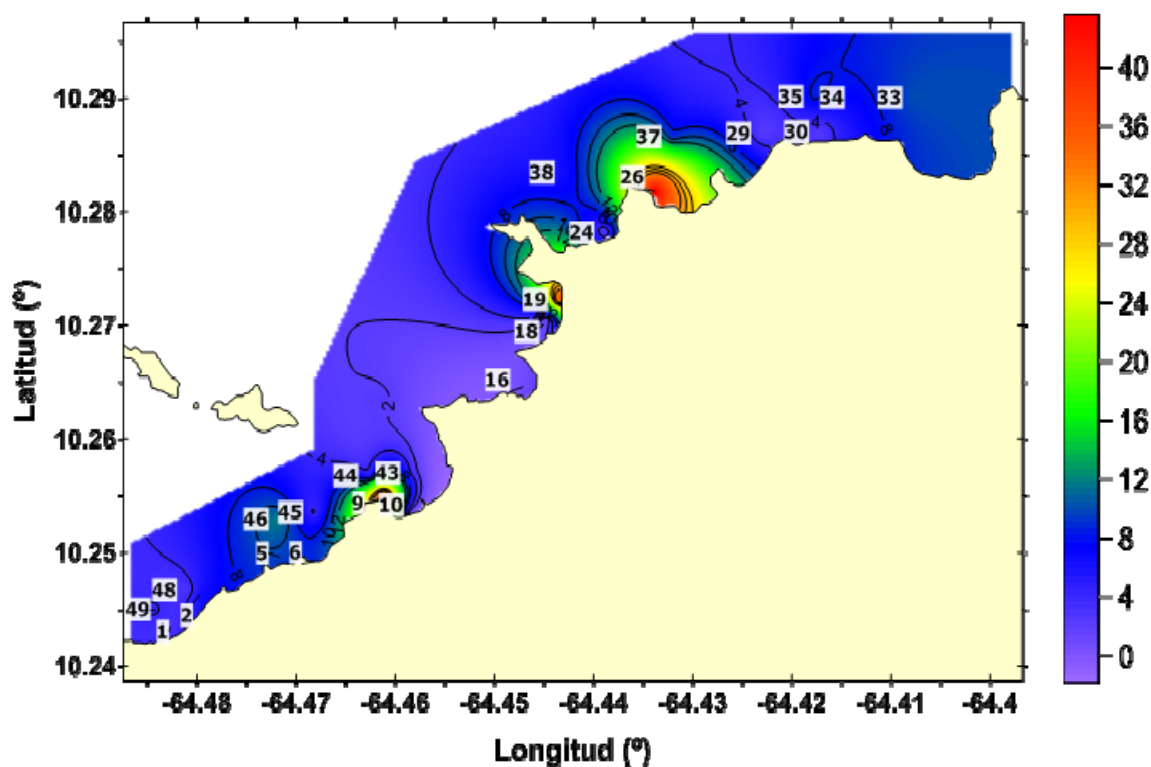


Figura 22. Concentraciones de níquel en cada una de las fracciones obtenidas de los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe.

Castellar (2004) reportó concentraciones de níquel que oscilaron entre valores por debajo del límite de detección y 25,05 mg/kg en los sedimentos superficiales del golfo de Santa Fe, valores inferiores a los encontrados en este estudio.

En la Figura 23, se observa que el níquel está fuertemente asociado a la fase residual con un 71,51% del total, lo cual indica un origen litogénico del metal o que éste se encuentra formando parte de la red cristalina de los minerales sedimentarios, por lo que se considera química y biológicamente estable e inerte. La concentración promedio del Ni en esta fracción fue de 6,75 mg/kg, con un valor máximo de 44,61 mg/kg en la estación 9 y un valor mínimo por debajo del límite de detección en la estación 10. El Ni se encontró en menores porcentajes unido a la materia orgánica y sulfuros con 20,62 % del total, con valores desde por debajo del límite de detección en la estación 10 hasta 5,88 mg/kg en la estación 37, con una concentración promedio de 1,95 mg/kg; asociado a oxihidróxidos de Fe y Mn con 7.83%, con concentraciones por debajo del límite de detección en varias estaciones hasta 3,19 mg/kg en la estación 46, con una concentración promedio de 0,74 mg/kg. En las fracciones 1 y 2 no se detectó níquel en ninguna de las estaciones.

De acuerdo con el fraccionamiento geoquímico llevado a cabo, el níquel no representa un riesgo como posible contaminante en el área de estudio, a pesar de que se determinaron concentraciones altas en algunas estaciones que superan el valor propuesto por Sadiq (1992) de 10 mg/kg para sedimentos no contaminados, la mayoría de éste se encuentra formando parte de la estructura cristalina de los minerales refractarios del sedimento. Sólo una pequeña fracción se encuentra potencialmente biodisponible y sólo pueden ser liberados si cambian las condiciones redox del medio.

Las concentraciones de Ni en el sector marino costero Arapito-Santa Fe son comparables con los reportados por Gamboa *et al.* (1986) en la Bahía de Pozuelos

(11,68 mg/kg) y la Bahía de Barcelona (13,08 mg/kg), donde se observó que tienen un contenido de Ni superior al obtenido en este estudio, al igual que los valores determinados en la Laguna de Píritu con 32,75 mg/kg (Martínez, 2002) y al reportado por Espinoza (2001), quien detectó 13,82 mg/kg de promedio del contenido total de níquel en los litorales norte y sur del Golfo de Cariaco y río Manzanares.

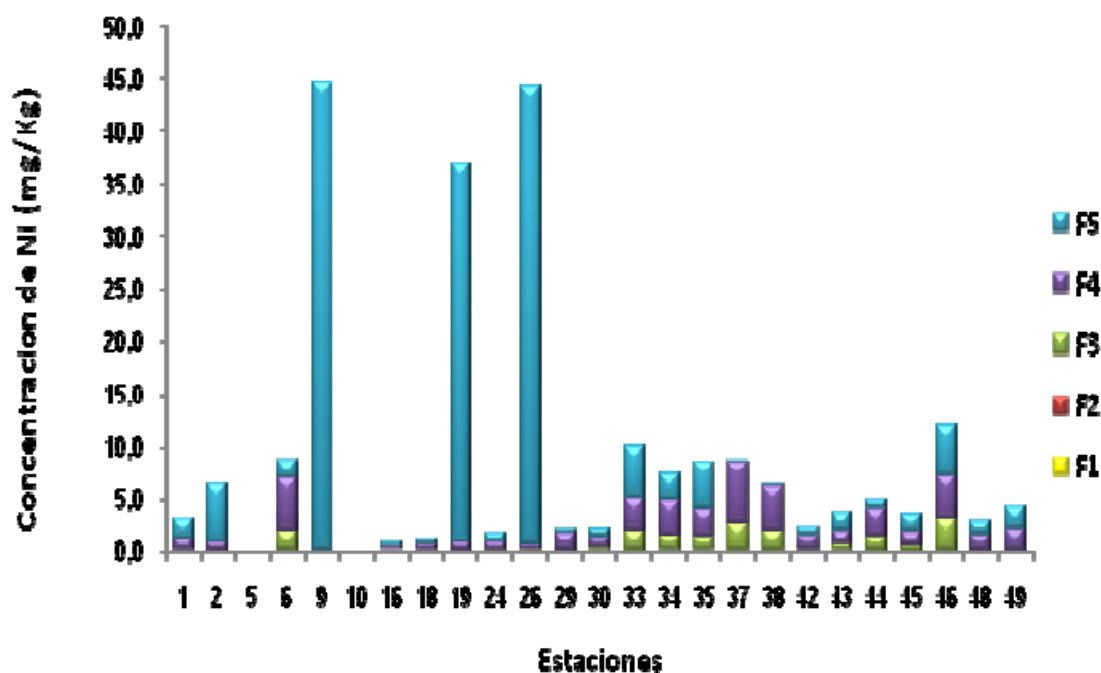


Figura 23. Concentraciones de Níquel en fracciones geoquímicas de los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe.

Sin embargo, concentraciones más elevadas de Ni fueron reportadas en sedimentos del Criogénico de Jose de 39,42 mg/kg y 30,54 mg/kg (UDO-CORPOVEN, 1991 y 1992), bahía de Bergantín de 27,44 mg/kg (UDO-CORPOVEN, 1992); en los sedimentos de la Laguna de Píritu de 32,75 mg/kg (Bonilla y González, 1992), en los sedimentos de la costa norte del Golfo de Cariaco de 22,80 mg/kg (Martínez, 2002) y puerto pesquero de Cumaná con 24,04 mg/kg (González, 1995). Cabe destacar que estos ecosistemas se encuentran afectados mayoritariamente por los efluentes provenientes del asentamiento

de la industria petrolera y petroquímica, así como por efluentes domésticos y los aportes fluviales.

### **Plomo (Pb)**

El plomo es un elemento frecuente en la litosfera y está presente en los ecosistemas acuáticos. Este metal es altamente tóxico para los humanos, no desempeña ninguna función biológica y, por lo tanto, puede alterar el metabolismo de los organismos vivos (Rainbow, 1995). En general, puede encontrarse en forma de sulfuro de plomo  $PbS$  (galena), carbonato de plomo  $PbCO_3$  (cerusita) y sulfato de plomo  $PbSO_4$  (anglesita). Los minerales de silicatos, feldespatos y magnetitas son notables sumideros de plomo en los sedimentos (Adriano, 1986). El plomo es un metal muy poco móvil que tiende a adsorberse en el material arcilloso y la materia orgánica, y con el aumento del pH puede precipitar como  $Pb(OH)_2$ . En el medio acuático, a un pH comprendido entre 7 y 9, el plomo se encuentra como ión libre divalente,  $Pb^{2+}$ , así como carbonato disuelto  $PbCO_3$ . En presencia de sulfatos, también se forma la sal soluble  $PbSO_4$ . Con el ión  $OH^-$  forma complejos estables, principalmente  $Pb(OH^+)$ . El principal factor limitante de la presencia de plomo en las aguas, es la formación de hidróxido y carbonato insoluble (Moore y Ramamoorthy, 1984). En el intervalo de pH entre 5 y 7, la mayor vía de eliminación es por adsorción sobre las partículas arcillosas. Hay una amplia categoría de sus usos: en baterías, aditivos para la gasolina, aleaciones, pigmentos y municiones entre otros (Schaule y Patterson, 1983).

La distribución espacial del plomo (Figura 24) refleja que las más altas concentraciones se encuentran en el extremo norte del área en estudio, frente al poblado de Santa Fe, con un valor máximo de 16,86 mg/kg, mientras que las menores concentraciones se distribuyeron entre el sector conocido como Aquamarina y Playa Vallecito. Este comportamiento parece estar asociado con la distribución textural de los sedimentos, donde las mayores concentraciones del metal se presentan en los sedimentos más finos (arcillas y limos). Por otro lado, se observa una relación significativa con la distribución

de la materia orgánica y carbono orgánico (Figuras 8 y 9), observándose una distribución espacial un tanto similar. Esta acumulación de Pb en los sedimentos de esta región puede ser producto del tráfico de embarcaciones, pérdida de los lastres de plomo de las artes de pesca utilizadas en esta zona, al lavado de camiones cisternas que transportan combustibles, vertidos de gasolina, aceites lubricantes, desechos domésticos y aerosoles provenientes del tráfico automotor que transitan por la carretera Cumaná-Puerto la Cruz.

Márquez (2003) en los sedimentos superficiales del Golfo de Santa Fe, obtuvo un promedio de plomo total de 2,41 mg/kg, valor que es inferior al reportado para este estudio. Castellar, (2004) también reportó concentraciones de Plomo que oscilaron entre valores por debajo del límite de detección y 8,74 mg/kg en los sedimentos superficiales del golfo de Santa Fe, valores inferiores a los encontrados en este estudio. Sadiq (1992) reportó que en los sedimentos no contaminados el contenido de plomo debe estar por debajo de 5,00 mg/kg, y en este estudio la concentración promedio es superior, pero cabe destacar que se evaluará si este contenido de plomo representa un riesgo para la biota bentónica.

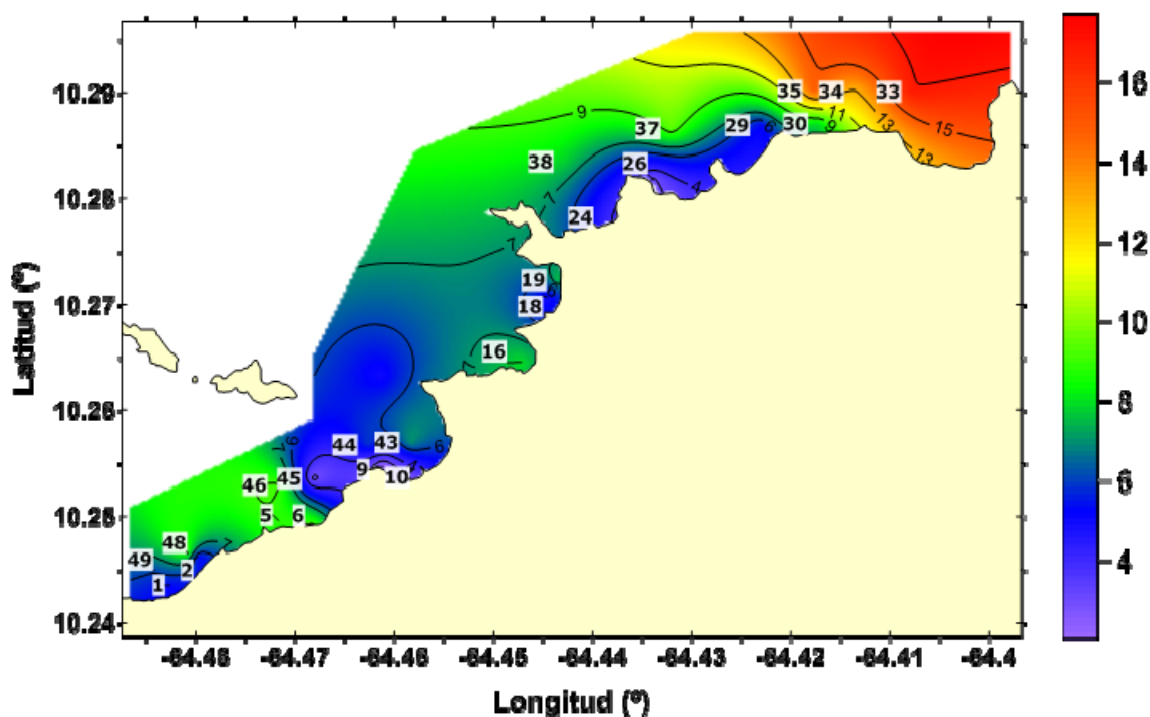
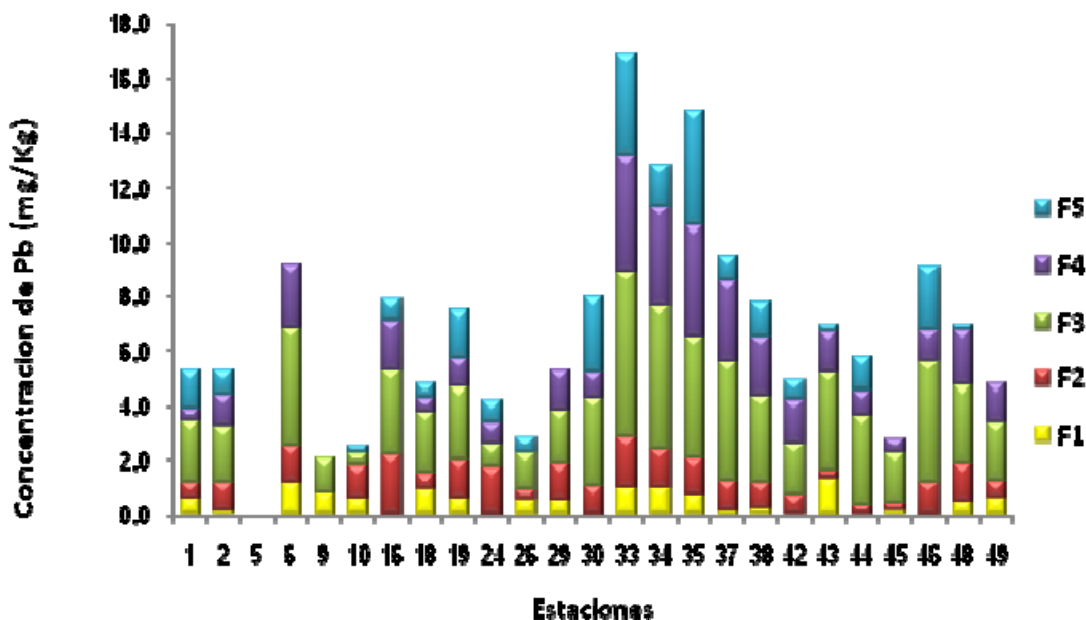


Figura 24. Distribución espacial de Plomo total (mg/kg) en sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe.

El fraccionamiento geoquímico del plomo en los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe (Figura 25) indicó que, para F1 el promedio fue de 0,48 mg/kg, con un máximo de 1,34 mg/kg en la estación 43 y concentraciones por debajo del límite de detección en varias estaciones, con un 6,84% del plomo total; el 14,48% del Pb total se encontró asociado a la fracción 2, con una concentración promedio de 1,01 mg/kg, y un valor máximo en la estación 16 de 2,17 mg/kg y un mínimo por debajo del límite de detección en la estación 9; para la fracción F3, se obtuvo un 41,09% y una concentración promedio de 2,88 mg/kg, presentando un valor máximo de 6,08 mg/kg en la estación 33 y un valor mínimo de 0,42 mg/kg en la estación 10. Para la fracción F4, el promedio fue de 1,53 mg/kg, presentando un valor máximo de 4,24 mg/kg en la estación 23 y un mínimo por debajo del límite de detección en las estaciones 9, 10 y 26, con un 21,93% del Pb total. Finalmente, la F5 con un 15,61% del total, donde el valor promedio fue de 1,09 mg/kg y su máximo 4,18 mg/kg en la estación 35 y un mínimo por debajo del límite de detección en las estaciones 6, 9, 29 y 49 (Tabla A4, A5, A6, A7, A8).





F

Figura 25 Fraccionamiento geoquímico del Plomo en los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe

Se puede observar que las mayores proporciones de Pb se encontraron en las fracciones F3 y F4, indicando su posible biodisponibilidad para los organismos marinos bentónicos de estos sedimentos. Las cuencas de los ríos y demás escorrentías límnicas que descargan sus aguas en este ecosistema marino-costero representan unas de las fuentes de este metal para la región. Según Vink *et al.* (1999) el hecho de que el Pb se encuentre mayormente unido a los oxihidróxidos de Fe y Mn es debido a que éstos constituyen una carga eléctrica activa que atrae el plomo en este medio acuoso, lo que produce tanto adsorción del metal como formación de una fase sólida en sus superficies. Por otra parte, esta fase es la más susceptible a pasar a la columna de agua si se produce en el sedimento condiciones reductoras, donde los óxidos tienen alto poder de adsorción, además de ser inestables. La asociación de este metal con la fracción F4 se justifica por el alto contenido de materia orgánica reportada para estos sedimentos. Debido a que el Pb se asocia bajo condiciones anaeróbicas, cuando el pH se halla en torno a 7 y puede formar complejos, con ligandos orgánicos, óxidos y arcillas.

La presencia de plomo en la fracción residual demuestra la existencia del metal en las estructuras cristalinas de los sedimentos. El plomo fue detectado en las fracciones más biodisponibles (F1 y F2), que aunque se hallaron en menores proporciones representan un riesgo de contaminación desde el punto de vista ambiental debido a la mayor movilidad y biodisponibilidad del elemento, ya que se encuentra débilmente asociada a los sedimentos y por lo tanto, pequeños cambios en las condiciones ambientales del sistema acuático pueden provocar la desorción del metal hacia la columna de agua (Usero *et al.*, 1997). Esta distribución geoquímica indica un origen reciente del plomo en los sedimentos de esta región marino costera posiblemente debido a actividades antrópicas.

Martínez *et al.* (2002) determinaron una mayor proporción de Pb asociada a la fracción residual en núcleos de sedimentos de la Bahía de Bergantín, un menor rango de variación en la fracción disponible y no se detectó plomo asociado a la materia orgánica; comportamiento diferente al observado en este estudio. Martínez (2002) encontró para los sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco un valor promedio de plomo total de 16,61 mg/kg, muy superior al valor de 5,00 mg/kg establecidos para sedimentos no contaminados; este valor reportado es superior al promedio encontrado en el presente estudio. Para Martínez (2002), este resultado reflejó una fuerte influencia antrópica y señaló como principales fuentes el tráfico de embarcaciones, mayormente con motores fuera de borda, los pescadores de la zona utilizan plomo como lastre en sus aparejos y redes de pescar, y gran cantidad de dicho metal van a parar a los sedimentos del fondo. Mudarra (2002) reportó un valor promedio de plomo total de 31,57 mg/kg para los sedimentos superficiales de la Ensenada de Puerto Escondido, valor muy superior al reportado para sedimentos no contaminados, y es bastante superior a los encontrados en el presente estudio.

## **Cinc (Zn)**

El cinc es un metal muy abundante en la corteza terrestre, con una proporción del 0,007%. No existe libre en la naturaleza, sino que se encuentra como óxido de cinc, ZnO y como silicatos de cinc y asociado a óxidos de hierro ( $\text{ZnOSiO}_2\text{H}_2\text{O}$ ),  $\text{Zn}(\text{FeO}_2)\text{O}_2$ ) (Taylor, 1993). El cinc metálico es utilizado en galvanización, aleaciones como latón y el bronce, papel, cristales, porcelanas, cerámica y esmaltes, fabricación y vulcanización del caucho, industria de textiles, pinturas, cerámica, entre otros (Adriano, 1986). La contaminación por este metal ocurre normalmente en los ecosistemas costeros que son afectados desde el litoral por vertidos urbanos e industriales, los cuales originan un incremento de sus concentraciones, tanto en agua como en sedimentos (Cobelo *et al.*, 2003).

La Figura 26 muestra la distribución espacial del cinc total (mg/kg) en los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe, con valores que oscilaron entre 1,69 mg/kg y 66,27 mg/kg, con un valor promedio de 25,18 mg/kg. Las mayores concentraciones se presentaron en la zona costera norte, frente al centro poblado de Santa Fe. También se observa que las bajas concentraciones se extendieron a lo largo de la costa de este sector marino costero. Este comportamiento parece estar relacionado con la distribución de la materia orgánica, carbono orgánico y partículas finas del sedimento (arcillas y limos).

Márquez (2003) en los sedimentos superficiales del Golfo de Santa Fe, reportó un promedio de cinc total de 58,63 mg/kg, valor que es superior al promedio reportado en este estudio. Por otro lado, Castellar, (2004) reportó concentraciones de cinc que oscilaron entre 16,17 mg/kg y 141,61 mg/kg en los sedimentos superficiales del golfo de Santa Fe, valores que son superiores a los encontrados en este estudio.

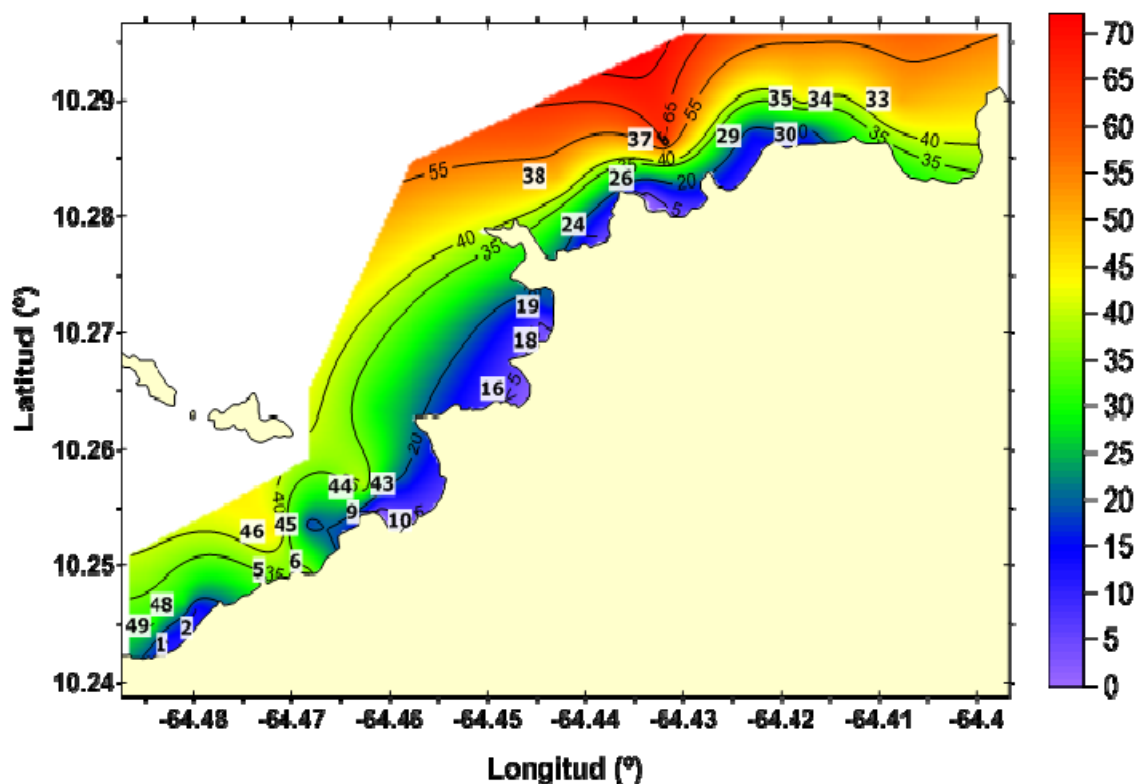


Figura 26. Distribución espacial de cinc total (mg/kg) en sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe.

La Figura 27 muestra la ausencia de cinc tanto en la F1 como en la F2, detectándose en la F3, con un 36,99% del cinc total; un valor máximo de 19,57 mg/kg (estación 38) y un mínimo 0,22 mg/kg (estación 9), con un promedio de 9,04 mg/kg. El 27,63% del cinc encontrado se encuentra asociado a la materia orgánica y sulfuros (F5) donde las concentraciones oscilaron entre 23,28 mg/kg (estación 37) y valores por debajo del límite de detección en las estaciones 10, 16 y 26. El cinc se encontró asociado a la fase residual en un 35,37% con un valor máximo de 25,95 mg/kg (estación 46) y un mínimo 0,33 mg/kg (estación 1).

El mayor porcentaje de este metal se encontró asociado a los oxihidróxidos de Fe y Mn, el cual tiende a absorberse en las superficies cargadas negativamente de las partículas de sedimento. Dentro de estas partículas, las más importantes son las arcillas, materia orgánica y oxihidróxidos de Fe y Mn (Martínez *et al.*, 2006). Aguilera (2005) señala en

los sedimentos del Morro de Puerto Santo una especiación que muestra la mayor parte del metal de estos sedimentos enlazado a la fracción residual, lo cual indica un origen litogénico del metal o que éste se encuentra formando parte de la red cristalina de los minerales sedimentarios por lo que se le considera química y biológicamente estable e inerte. La asociación de este metal a la F4 presumiblemente esta relacionada con los sedimentos de grano fino y fuertemente conectados con el carbono orgánico, ya que la materia orgánica favorece la adsorción de  $Zn^{2+}$  presentes en los sistemas acuáticos (Sadiq, 1992), pues este metal se puede encontrar como sulfuros y en la materia orgánica.

Mudarra (2002) reportó un promedio de cinc total de 35,50 mg/kg para los sedimentos superficiales de la Ensenada de Puerto Escondido, valor que es inferior tanto al reportado para sedimentos no contaminados como a los encontrados en el presente estudio. UDO-CORPOVEN (1990) reportó un promedio de Zn total de 132,01 mg/kg para los sedimentos del oeste de la Bahía de Jose; Mogollo *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.

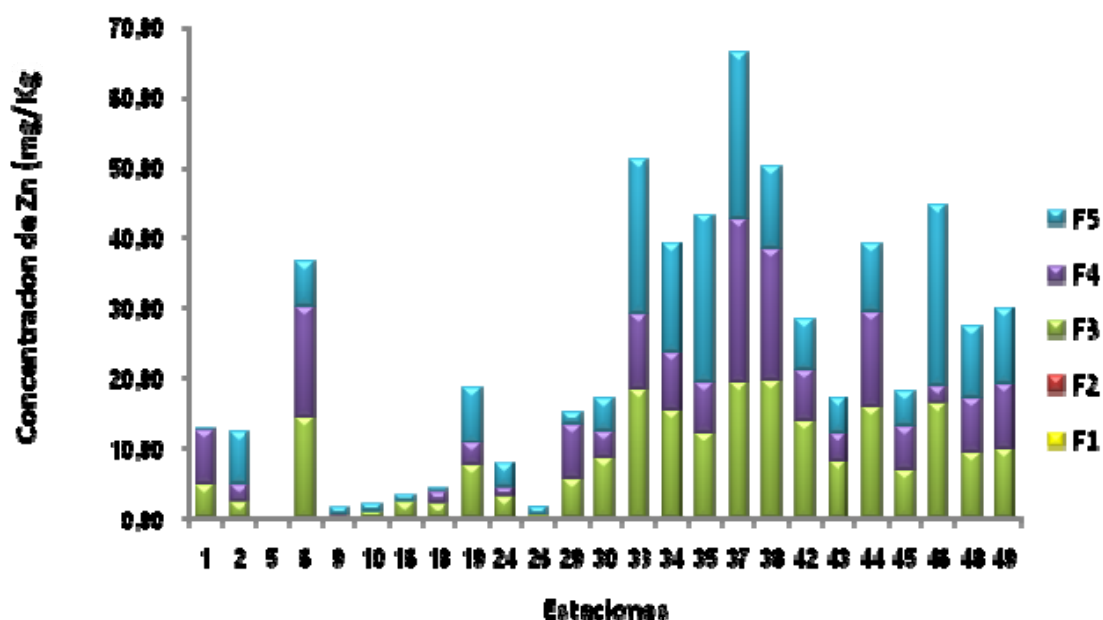


Figura 27. Fraccionamiento geoquímica del cinc en los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe

Mudarra (2002) reportó un promedio de cinc total de 35,50 mg/kg para los sedimentos superficiales de la Ensenada de Puerto Escondido, valor que es inferior tanto al reportado para sedimentos no contaminados como a los encontrados en el presente estudio. UDO-CORPOVEN (1990) reportó un promedio de Zn total de 132,01 mg/kg para los sedimentos del oeste de la Bahía de Jose; Mogollo *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.

### Cobalto (Co)

El cobalto es un metal duro, tiene un alto punto de fusión y una reactividad moderada

(Li, 1981). Este elemento existe en la naturaleza como sulfuro y arseniuro, carrollita ( $\text{Co}_2\text{CuS}_4$ ), linneita ( $\text{Co}_3\text{S}_4$ ), esmaltina ( $\text{CoAs}_{2-3}$ ), cobaltina ( $\text{CoAsS}$ ), safflorita ( $\text{CoAs}_2$ ), nódulos manganosos del fondo del mar. Se encuentra distribuido con amplitud en la naturaleza y constituye, aproximadamente, el 0,001% del total de las rocas ígneas de la corteza terrestre. El cobalto no radiactivo, llamado cobalto estable, se usa para producir aleaciones para la manufactura de motores de aviones, herramientas, y articulaciones artificiales para la rodilla y la cadera. Los compuestos de cobalto también se usan para colorear vidrio, cerámicas y pinturas y como secador de esmaltes y pinturas para porcelana y tiene 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 (vómitos y náuseas, problemas de visión y del corazón) son el resultado de la ingesta y acumulación de altas concentraciones de cobalto (Velásquez, 2005).

La distribución espacial de cobalto total (Figura 28) presentó valores entre por debajo del límite de detección y 4,31mg/kg, con un valor promedio 1,59 mg/kg, donde las mayores concentraciones se ubicaron en la zona norte de Santa Fe, en las estaciones 34 y 35, las cuales pueden estar relacionadas con los contenidos de limos y arcillas (Figura 6), materia orgánica (Figura 8) y carbono orgánico (Figura 9). La distribución del Co en esta zona es parecida a la del Cd, Fe y Pb (Figuras 12, 18 y 24, respectivamente). Esto puede ser debido a los aportes antrópicos de los pueblos cercanos, las descargas de los ríos y las esorrentías límnicas. Además de los aportes y descargas, la surgencia costera que presenta la zona, puede igualmente afectar el contenido, distribución y comportamiento del Co en este ecosistema marino.

Castellar (2004) reportó concentraciones de cobalto que oscilaron entre valores por debajo del límite de detección y un máximo de 5,06 mg/kg en los sedimentos superficiales del golfo de Santa Fe, valores que son superiores a los encontrados en este estudio.

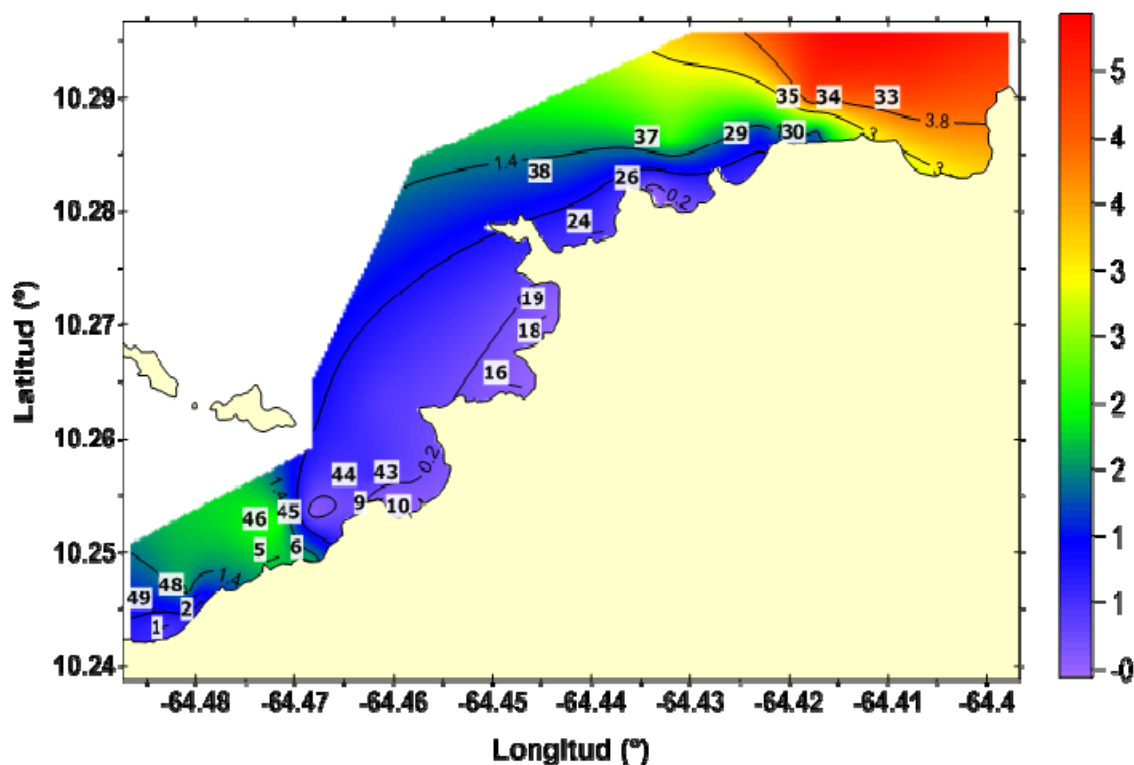


Figura28. Distribución espacial de cobalto total (mg/kg) en sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe.

En cuanto al fraccionamiento geoquímico, solo se obtuvo cobalto en las fracciones F3, F4 y F5 (Figura 29). En la fracción F2 se determinó en las estaciones 33, 34 y 35, con 0,07, 0,12 y 0,25 mg/kg, respectivamente, mientras que en la estación 45 no se determinó cobalto en ninguna de las fracciones. Para la fracción F3, las concentraciones variaron entre 2,14 mg/kg y por debajo del límite de detección, con un valor promedio de 0,37 mg/kg (estación 34), con un 32,05%; un 9,12% del Co total se encontró asociado a la materia orgánica y sulfuros (F4) con valores desde por debajo del límite de detección en varias estaciones hasta 0,62 mg/kg en la estación 37. Por último, el 56,97% del cobalto total se encontró unido a la fracción residual (F5) con valores que oscilaron desde por debajo del límite de detección en varias estaciones hasta 2,02 mg/kg en la estación 35.



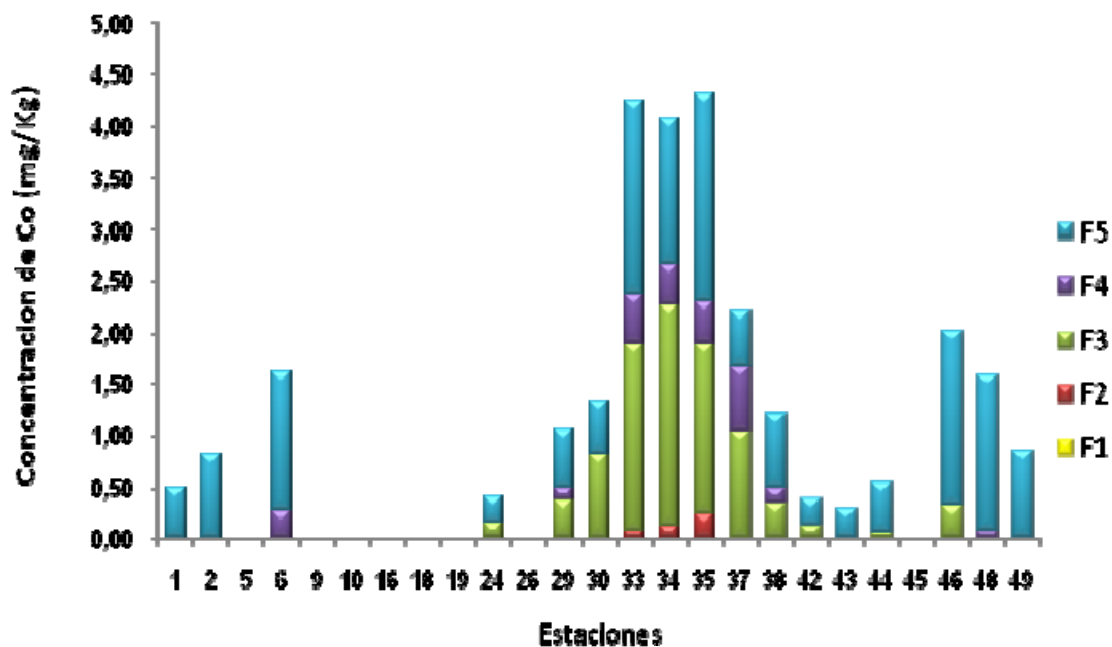


Figura 29. Fraccionamiento geoquímico del cobalto en los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe

En esta investigación, el cobalto presentó sus mayores porcentajes en las fracciones asociadas a la fase residual (56,97%), seguido de las fracciones unida a oxihidróxidos de Fe y Mn, y a la materia orgánica y sulfuros, las cuales pueden considerarse como potencialmente biodisponibles (pueden liberarse si cambian las condiciones redox). También presentó un porcentaje pequeño unido a carbonatos.

Velásquez (2005) para el saco del Golfo, reportó que este metal presentó sus mayores porcentajes en las fracciones asociadas a la materia orgánica (con valores superiores al 50%), valor superior al reportado en el presente estudio. Sin embargo, reportó porcentajes entre 24 y 26% asociado a oxihidróxidos de Fe y Mn valores inferiores a los encontrados en este estudio. Castellar (2004) reportó para sedimentos del Golfo de Santa Fe, altos porcentajes de Co asociado a la fase residual y a la materia orgánica y sulfuros, con porcentajes de 75% y 25% respectivamente; valores superiores a los encontrados en los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe.

## **Análisis de correlación**

Aplicando un análisis estadístico multivariante como una matriz de correlación de Pearson, se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson para establecer las correlaciones existentes entre las diferentes variables analizadas en los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe.

El análisis de correlación (Tabla 4) muestra la relación existente entre las fracciones texturales, carbonatos metálicos, materia orgánica y los metales analizados en los sedimentos del eje costero Arapito – Santa Fe. La arena presentó correlación negativa con todos los parámetros, excepto con el carbonato, Ni, Cr y Al que aunque fueron positivas no fueron significativas; por otra parte, el limo mostró correlación positiva con casi todos los parámetros, excepto con la arena, pero significativa sólo con la arcilla, materia orgánica, carbono orgánico y Fe, lo que indica que mientras aumenta el contenido de limo aumenta también el contenido o concentración de estos parámetros. La arcilla al igual que el limo mostró una correlación positiva con casi todos los parámetros estudiados, excepto con la arena, pero significativa con el limo, materia orgánica, carbono orgánico, Cd, Fe, Co, Pb y Zn.

La materia orgánica presenta una correlación positiva y significativa con cinco de los diez metales estudiados, presentando correlación significativa Cd, Fe, Co, Pb y Zn. También puede observarse que presenta una fuerte correlación con el carbono orgánico, el limo y la arcilla. El carbono orgánico muestra una correlación positiva y significativa con 3 de los metales analizados (Fe, Co y Pb) para los sedimentos del sector marino costero Arapito-Santa Fe por lo que se puede deducir que las concentraciones de estos metales están fuertemente controladas por el contenido de carbono orgánico y materia orgánica. Ahumada (1992), señala que por lo general los metales presentan correlación con la materia orgánica, ya que parece ser el factor determinante en la distribución y concentración de metales en los sedimentos superficiales de muchos ecosistemas marinos costeros.

La importancia del papel que juega el tamaño de grano y contenido de materia orgánica sobre la distribución de los metales en los sedimentos ha sido bien sustentada. Los antecedentes indican que el tamaño de grano, el contenido de aluminosilicatos y el contenido de materia orgánica de origen marino, terrestre y antrópico constituyen los principales factores de control de la distribución de los elementos metálicos en los sedimentos de ambientes acuáticos (Gutierrez *et al.*, 1994; Naidu *et al.*, 1997; Shriadah, 1999; Rubio *et al.*, 2000).

De igual manera, las correlaciones entre los metales son todas positivas pero significativas para ciertos metales, entre ellas Cd (Fe, Co, Pb y Zn), Ni (Cr y Al), Fe (Co y Pb), Co (Pb y Zn) y Pb-Zn. Estas correlaciones indican que estos metales pueden tener un origen común y, por lo tanto, provenir de la misma fuente y son geoquímicamente similares (Rosas, 2001; Velásquez, 2005). Rosales y Álvarez (1986) indican que es muy frecuente encontrar correlación entre varios metales y a su vez con el hierro y manganeso, sugiriendo una misma fuente y sistema de transporte, así como su adsorción en los oxihidróxidos de hierro y manganeso.

Rubio *et al.* (2001) afirman que el contenido de metales trazas y su correlación con la materia orgánica y textura de los sedimentos en diferentes ecosistemas costeros, exhiben un amplio rango que es reflejo de las condiciones locales, determinada principalmente por los aportes o procesos de remoción que se presentan en cada zona.

Tabla 4. Matriz de correlación de Pearson que expresa la asociación entre los metales Totales (MT) con el contenido de materia orgánica, carbono orgánico total, equivalente de carbonato de calcio y textura de los sedimentos superficiales del sector costero Arapito-Santa Fe.

	Arena	Limo	Arcilla	MO	CO	CaCO <sub>3</sub>	Cd	Ni	Fe	Mn	Cu	Co	Cr	Pb	Zn	Al
Arena	1,000															
Limo	-0,906	1,000														
Arcilla	-0,912	*0,679	1,000													
Mat Org	-0,777	*0,585	*0,823	1,000												
Corg	-0,747	*0,565	*0,768	*0,757	1,000											
CaCO <sub>3</sub>	0,182	0,076	0,258	0,070	0,193	1,000										
Cd	-0,629	0,409	*0,711	*0,518	0,441	-0,339	1,000									
Ni	0,241	0,265	0,174	0,176	0,042	0,235	0,339	1,000								
Fe	-0,754	*0,539	*0,771	*0,684	*0,682	-0,228	*0,766	0,138	1,000							
Mn	-0,126	0,018	0,176	0,338	0,169	0,159	0,153	0,205	0,237	1,000						
Cu	-0,288	0,267	0,260	0,138	0,321	-0,231	0,017	0,068	0,166	0,126	1,000					
Co	-0,698	0,399	*0,793	*0,688	*0,663	-0,255	*0,797	0,148	*0,929	0,337	0,037	1,000				
Cr	0,265	0,192	0,277	0,298	0,168	0,278	0,455	*0,950	0,252	0,299	0,010	0,315	1,000			
Pb	-0,661	0,394	*0,740	*0,635	*0,692	-0,289	*0,722	0,169	*0,917	0,259	0,119	*0,912	0,326	1,000		
Zn	-0,707	*0,584	*0,672	*0,713	0,531	-0,063	*0,590	0,183	0,827	0,202	0,292	*0,716	0,237	*0,708	1,000	
Al	0,067	0,155	0,025	0,159	0,134	-0,368	0,131	*0,501	0,259	0,068	0,195	0,149	0,426	0,260	0,151	1,000

MO: Materia orgánica; CO: Carbono orgánico; \*: significativo

## CONCLUSIONES

El análisis granulométrico de los sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe, indicó que son principalmente de textura arenosa, en algunos sectores areno-limoso y areno-arcilloso. Las estaciones con textura fina (areno-limoso y areno-arcilloso) presentan un mayor contenido de materia orgánica y una mayor proporción de metales.

La distribución de los metales pesados en los sedimentos analizados del sector costero Arapito-Santa Fe presentan el siguiente orden de concentración: Fe >Al >Mn >Zn >Cr >Ni >Co >Cd >Cu >Pb.

La especiación geoquímica de los metales pesados en los sedimentos del sector marino costero Arapito-Santa Fe sigue el siguiente orden: residual > oxihidróxidos de Fe y Mn > materia orgánica y sulfuros > carbonatos > intercambiables. A excepción del Cu, Cr, Ni, Zn y el Co, los demás metales estudiados están presentes en las fracciones más disponibles (F1 y F2), lo cual indica una alta movilidad y biodisponibilidad de estos elementos en la zona en estudio.

La materia orgánica presente en el sector costero Arapito Santa Fe varió entre 0,30 y 6,62 %, con un máximo valor en la estación 46 y el mínimo en la estación 10. El porcentaje en la estación 46 (6,62 %), posiblemente podría estar influenciado por factores que aportan al ecosistema grandes cantidades de materia orgánica, tanto de origen biogénico como de origen antrópico.

Se presentaron correlaciones significativas entre la materia orgánica y los metales pesados (Cd, Fe, Co, Pb y Zn), indicando que la materia orgánica en los sedimentos superficiales del sector costero Arapito-Santa Fe puede ser el factor determinante en el enriquecimiento y distribución de estos metales pesados.

El método de extracción empleado además de dar a conocer las posibles fuentes de contaminación de metales en el sector costero Arapito-Santa Fe, ha permitido obtener información de la variabilidad y concentraciones relativas de los metales pesados en las diferentes fracciones geoquímicas que componen la matriz sedimentaria.

## BIBLIOGRAFÍA

Acosta, V. 2001. Estado fisiológico de poblaciones del guacuco *Tivela mactroides*. Born, 1779 (Bivalvia: Veneridae) en ambientes con diferentes grados de contaminación. Trabajo de Grado (MSc. Ciencias Marinas-Biología Marina). UDO - Sucre. Cumaná.

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.

Acuña, J.; Vargas, J.; Gómez, E. y García, J. 2004. Hidrocarburos de petróleo, disueltos y dispersos, en cuatro ambientes costeros de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 52(2): 43-50.

Adriano, D. 1986. *Trace Elements in the Terrestrial Environment*. Springer-Verlag, New York.

Adriano, D. 2001. *Ecological and Health Risks of Metals. En: Trace Elements in the Terrestrial Environments. Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals*. 2<sup>nd</sup> Edition. Springer-Verlag. New York.

Agemian, H. y Chau, A. 1977. A study of different analytical extraction methods for nondetrital heavy metals in aquatic sediments. *Archives .Environmental Contamination and Toxicology*, 6: 69-82.

Aguilera, D. 2005. Evaluación geoquímica de los sedimentos superficiales de las bahías este y oeste del Morro de Puerto Santo, estado Sucre, Venezuela. Trabajo de postgrado. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná.

Ahumada, R. 1992. Patrones de distribución de Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, y Pb en sedimentos superficiales de la Bahía San Vicente, Chile. *Revista de Biología Marina*, 27(2): 265-282.

Ahumada, R.; González, E. y Neira, J. 2004. Especiación de zinc en sedimentos marinos del fiordo Aysén. *Investigaciones Marinas*, 32(1): 3-10.

Andrés, S.; Ribeyre, F.; Tourencq, J. y 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), *Science Total Environment*, 248: 11-25.

Aston, S. y Hewitt, C. 1997. Phosphorus and carbón distribution in a polluted coastal environment. *Estuarine, Coastal and Marine Science*, 5 (1y2): 243-254

Aranda, S. 1999. Condiciones geoquímicas de los sedimentos superficiales de la Ensenada Grande del Obispo, estado Sucre. Trabajo de pregrado. Departamento de Química, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.

Baeyens, W.; Monteny, F.; Leermakers, M. y Bouillon, S. 2003. Evaluation of sequential extractions on dry and wet sediments. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 376: 890–901.

Bay, A. 1981. Análisis de sedimentos y sólidos en suspensión de la Laguna de Unare. Tesis de Grado. U.C.V. Licenciatura en Química, Caracas, Venezuela

Bonilla, J. y González, C. 1992. Algunos aspectos geoquímicos y características químicas en los sedimentos de la Laguna de Píritu, Estado Anzoátegui, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 31(1 y 2): 27-44.

Bonilla, J.; Cedeño, J. y Gamboa, B. 1986. Características químicas en sedimentos de la bahía de Pozuelo y áreas adyacentes, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 25(1y2): 215-231.

Bonilla, J. 1982. Algunas características geoquímicas de los sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 21(1y2): 133-155.

Bonilla, J. y Lin, C. 1979. Materia orgánica en los sedimentos de los Golfos de Paria y Cariaco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 31(1 y 2): 12-23.

Bonilla, R. J. 1977. Condiciones hidroquímicas del agua y características de los sedimentos del golfo de Paria durante la expedición LS- 7302. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 16 (1-2): 99-114.

Bonilla, J., Fermín, J. y González, C. 1998. Análisis estadístico multivariantes aplicado al grado textural y a los aspectos geoquímicos de los sedimentos del ecosistema marino costero de Jose, Estado Anzoátegui, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 37(1 y 2): 53-62.

Bonilla, J.; Aranda, S.; Ramírez, C.; Moya, J. y Espinosa, L. 2003. Calidad de los sedimentos superficiales de la Ensenada Grande del Obispo, Estado Sucre, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 42(1 y 2): 3-27.

Botello, A.; Rojas, J.; Benítez, J. y Zárate, D. 1996. Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. *Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografías del Golfo de México*, 5: 25-44.

Botello, A.; Vélez, G.; Toledo A, Díaz-González G, Villanueva, S. 1992. Ecología, recursos costeros y contaminación en el Golfo de México. *Ciencia y Desarrollo*. 17: 28-48.



- Campanella, L.; D'Orazio, D.; Petronio, B. y Pietrantonio, E. 1995. Proposal for a metal speciation study in sediments. *Química Analítica Acta* 309: 387-393.
- Castellar, F. 2004. Estudio geoquímico de los sedimentos superficiales del Golfo de Santa Fe, estado Sucre, Venezuela. Trabajo de pregrado. Departamento de Química. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.
- Caraballo, L. 1982. El Golfo de Cariaco. Parte III. Contenido de carbonatos y constituyentes de las partículas de los sedimentos. Su distribución por el fondo. Fauna característica. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 21 (1y2): 67-83.
- Cobelo, A.; Priego, R. y Nieto, O. 2003. Especiación química del plomo disuelto en ambientes contaminados. Caso de estudio: la Ría de Pontevedra (NO España). *Ciencias Marinas*, 29(4): 377-388.
- Cherter, R. and Voutsinou F. 1981. The Initial Assessment of Trace Metals Pollution in Coastal Sediment. *Marine Pollution Bulletin*, 12(3): 84-91
- Chester, R. y Hughes. M. 1967. A chemical technique for the separation of ferromanganese minerals, carbonate minerals and adsorbed trace elements from pelagic sediments. *Chemical Geology*, 2: 249-262.
- Cho, J.; Park, K.; Ihm, H.; Park, J.; Kim, S.; Kang, I.; Lee, K.; Jahng, D.; Lee, D. y Kim, S. 2004. A novel continuous toxicity test system using a luminously modified freshwater bacterium. *Biosensors and Bioelectronics*, 20: 338-344.
- Dekov, V.; Komy, Z.; Araujo, F.; Van Put A. and Van Grieken, R. 1998. Chemical composition of sediments, suspended matter, river water and ground water of the Nile (Aswan-Sohag traverse). *Science Total Environment*, 201: 195-210.
- De La Lanza. G. 1986. Materia orgánica de los sedimentos del sistema lagunar Huinzanche y Caimanero: importancia, comportamiento y significado en módulos de predicción. Universidad Nacional Autónoma de México *Anuales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, 13: 251-286
- Deming, J. and Baross J. 1993. The early diagenesis of organic matter: bacterial activity. In *Organic Geochemistry: Principles and Applications*, Vol. M. H. Engel and S. A. Macko. ed., New York: Plenum. 119 -144 pp.
- Díaz, A. 2008. Especiación de los metales pesados manganeso, plomo, níquel, cobre, cinc y cadmio en sedimentos del Saco del Golfo de Cariaco, Venezuela. Trabajo de pregrado. Departamento de Química, Universidad de Oriente, Cumaná.
- Divakar, P.; Prakash, C. y Rao, Ch. 1992. The upwelling record in the sediments of the western continental margin of India. *Deep-Sea Research*, 39: 715-723.

Doménech, X. 1995. *Química de la hidrósfera. Origen y destino de los contaminantes*. Estado. Miraguano, Madrid.

Eglinton, G., Barnes, S. and Zoro, J. 1989. The recognition of organic pollutants in aquatic sediments. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 189: 415-442.

Espinoza, L. 2001. Aspectos químicos de los sedimentos superficiales de los litorales norte y sur del Golfo de Cariaco. Trabajo de pregrado. Departamento de Química. Universidad de Oriente, Cumaná.

Farrel, J., Pedersen, T., Nielsen, B. and Calvert, S. 1995. Glacial-interglacial changes in nutrient utilization in the equatorial Pacific. *Nature*, 377: 514-517.

Fermín, I. 2002. Estudio geoquímico de los sedimentos superficiales de la Laguna de Unare. Trabajo de postgrado. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná.

Förstner, U. 1984. Effects of salinity on the metal sorption onto organic particulate matter. *Netherlands Institute for Sea Research Publication Series*, 10: 195-209.

Förstner, U., y Patchineelam, S. 1981. Chemical association metals in marine deposits with special reference to pollution in the German North Sea. V Reunion Cons. *International Exploration Marine*. 181: 49-58.

Fuentes, M. 1998. Condiciones geoquímicas de los sedimentos superficiales de la Laguna de Chacopata, estado Sucre, Venezuela. Trabajo de postgrado Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente. Cumaná.

From, P. O. and Stokes, R. 1962. Assimilation and metabolism of chromium by trout. *Journal Water Pollution Control Federal*, 34: 1151-1155.

Gamboa B., Bonilla R. and Cedeño G. 1986. Concentración de algunos metales pesados en sedimentos superficiales de la Bahía de Pozuelo y áreas adyacentes, Edo. Anzoátegui, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 25 (1-2). 233-240.

Gamboa B., Bonilla J. 1983. Distribución de metales (Fe, Mn, Cu, Zn) en sedimentos superficiales de la Cuenca Tuy- Cariaco. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 22 (1 y 2): 103-110

García, J.; Acuña, J. y Vargas, J. 2004. Metales traza en sedimentos costeros de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 52: 51-60.

Gerlach, S. 1981. *Marine Pollution. Diagnosis and Therapy*. Springer-Verlang. Berlin.

- González, C. 1995. Caracterización ambiental: Calidad del agua y sedimentos del ecosistema Puerto Pesquero de Cumaná, Edo. Sucre. Venezuela. Trabajo de Ascenso a Profesor Asociado. Escuela de Ciencias. Universidad de Oriente. Núcleo Nueva Esparta. Venezuela.
- Gutiérrez, E.; Flores, G.; Ortega, V. y Villaescusa, J. 1994. Metales pesados en sedimentos de la costa fronteriza Baja California (Mexico)-California (EUA). *Ciencias Marinas*, 20(1): 105-124
- Gutiérrez, E.; Villaescusa, J. y Arreola, A. 1999. Bioacumulación de metales en mejillones de cuatro sitios selectos de la región costera de Baja California. *Ciencias Marinas*. 25(4):557- 578.
- Heanes, D. 1984. Determination of total organic-C in soils by an improved chromic acid digestion and spectrophotometric procedure. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 15: 1191-1213.
- Hedges, J. 1992. Global biogeochemical cycles: progress and problems. *Marine Chemistry*, 39: 67-93.
- Henrichs, S. 1993. Early diagenesis of organic matter: the dynamics (rates) of cycling of organic compounds. *In Organic Geochemistry: Principles and Applications*. M. H. Engel and S. A. Macko. ed. New York: Plenum. 101-117 pp.
- Hiner, A. (1992). Trace element speciation in soil and sediments using sequential chemical extraction methods. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 46: 77-85.
- Inda, J. y Trucco, R. 1999. *Contaminantes en el medio marino*. Libro de predicción Facultad de Ciencias del Mar.
- IOV-PALMAVEN. 1999. Estudio ambiental del río Orinoco. *Informe final*. Convenio IOV-PALMAVEN.
- Izquierdo, C.; Usero, J. y Garcia, I. 1997. Speciation of heavy metals in sediments from salt marshes on the Southern Atlantic coast of Spain. *Marine Pollution Bulletin* 34(2): 123-128.
- Kerstner, M, y Förstner, U. 1986. Chemical fractionation of heavy metals in anoxic estuarine and coastal sediments. *Water Science y Technology*, 18: 121-130.
- Landaeta, R. 2002. Especiación de metales en sedimentos superficiales de la Región Marino-Costero frente a la Ciudad de Cumaná, Estado Sucre, Venezuela. Trabajo de Pregrado. Departamento de Química, Esc. De Ciencias. UDO, Cumaná.

Lange, C. Burke, S. y Berger, W. 1990. Biological production off southern California is linked to climatic change. *Climatic Change*, 16: 319-329.

López, F., Senior, W., Fermín, I. Márquez, A. y Martínez, G. 2006. Fraccionamiento de los metales pesados Fe, Cd, Cr y Pb en los sedimentos superficiales de la laguna de Píritu. Estado Anzoátegui, Venezuela. *Boletín del Instituto de Oceanográfico de Venezuela*, 45(1): 51-60.

Loring, D. y Asmund, G. 1995. Geochemical factors controlling accumulation. *Environmental Geology*, 28(1): 1-11.

Luoma, S. y Jenne, E. 1976. *Estimating bioavailability of sediment-bound trace metals with chemical extractants*. In: D. Hemphill (ed.). Trace Substances in Environmental Health, v. 10. University of Missouri Press, Columbia. Missouri. 343-351 pp.

Madureira, M.J.; Vale, C. y Fonseca, N. 2003. Distribución de metales traza en sedimentos de zonas de lodo de la plataforma costera norte de Portugal. *Ciencias Marinas*. 29(4):435-445.

Márquez, J. 2003. Algunos aspectos de la condición ambiental, la calidad del agua y sedimentos del Golfo de Santa Fe. Trabajo de pregrado. Departamento de Química. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.

Martin, J. H. And Knauer, G. A. 1984. VERTEX: manganese transport through oxygen minima. *Earth Planet. Science Letters*. 67: 35-47.

Martínez, G. 1999. Especiación de metales pesados en la cuenca baja y pluma del Río Manzanares, estado Sucre, Venezuela. Trabajo de postgrado. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná.

Martínez, G. y Senior, W. 2001. Especiación de metales pesados (Cd, Zn, Cu, Cr) en el material en suspensión de la pluma del río Manzanares, Edo. Sucre, Venezuela. *Interciencias*, 26(2): 1-10.

Martínez, G., Rodríguez, L. y Senior, W. 2002. Especiación de Cd, Zn, Cr y Pb en núcleos de sedimentos de la bahía de Bergantín, Edo. Anzoátegui, Venezuela, *Interciencia*, 27(4): 173-179.

Martínez, G. 2002. Metales pesados en sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 41(1 y 2): 83-96.

Martínez, G; Senior, W. y Márquez A. 2006. Especiación de metales pesados en la fracción disuelta de las aguas superficiales de la cuenca baja y la pluma del Río Manzanares, Estado Sucre. *Ciencias Marinas*, 32(2): 239-257.

Martínez, M. 2002. Especiación de Metales Pesados en Columnas de Sedimentos de la Lagunas de Píritu y Unare, Estado Anzoátegui, Venezuela. Trabajo de Pregrado. Departamento de Química, Escuela de Ciencias. UDO, Cumaná.

Martinez, P.; Bertrand, P.; Bouloubassi, I.; Barielle, G.; Shimmield, G.; Vautravers, B.; Grousset, F.; Guichard, S.; Ternois, Y. y Sicre, M. 1996. An integrated view of inorganic and organic biogeochemical indicators of paleoproductivity changes in a coastal upwelling area. *Organic Geochemistry*, 24: 411-420.

Miyazawa, M., Pavan, M.A., Oliveira, E.L. de, Ionashiro, M. and Silva, A.K. (2000b), Gravimetric determination of soil organic matter. Brazilian. Archives of Biology and Technology, 43: 475-478.

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

Moore, R. 1983. Dissolved particulate interactions of aluminum in ocean water. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 45: 235-241.

Moya, A. 2010. Fraccionamiento geoquímico de metales trazas en sedimentos superficiales del sector oriental del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela, Trabajo de pregrado. Departamento de Química. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.

Mudarra, O. 2002. Hidroquímica de la Ensenada de Puerto Escondido, estado Sucre, Venezuela. Trabajo de pregrado. Departamento de Química. Universidad de Oriente. Cumaná.

Nipper, M.; Roper, D.; Williams, E.; Martin, M.; Van Dam, L. y Mills, G. 1998. Sediment toxicity and benthic communities and mildly contaminated mudflats. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 17(3): 502-510.

Naidu, A.; Blanchard, A.; Kelley, J.; Goering, J.; Hameed, M. y Baskaran, M. 1997. Heavy metals in Chukchi Sea sediments as compared to selected Circum-arctic Shelves. *Marine Pollution Bulletin*, 35(7): 260-269.

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

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

Nriagu, J. O. 1979. Copper in the atmosphere and precipitation. In Nriagu, J. O. (ed), Copper in the Environment. I. *Ecological Cycling*. Wiley-Interscience, New York. 43-75 pp.

- Phillips, D. y Rainbow, P. 1993. *Biomonitoring of Trace Aquatic Contaminants*. Elsevier Applied Science. London.
- Prego, R.; Cobelo, A.; Tubío, C. y Barciela, M. 2003. Presencia, distribución y niveles de contaminación de plomo en sedimentos superficiales de la Ría de Ferrol. *Ciencias Marinas*, 29(4): 561-571.
- Rainbow, P. 1985. The biology of heavy metals in the sea. *International Journal of Environmental Studies*, 25: 195-211
- Rainbow, P. 1995. Biomonitoring of heavy metal availability in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 31: 183-192.
- Ramirez, C. 1999. Geoquímica de sedimentos recolectados en trampas ubicadas en Punta Arenas y Golfo de Cariaco, Estado Sucre, Venezuela. Trabajo de Pregrado. Departamento de Química, Universidad de Oriente, Cumaná.
- Rantala, R.; y Loring, D. 1985. Partition and determination of cadmium, copper, lead and zinc in marine suspended particulate matter. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 19: 165-173
- Rosales, L. y Álvarez, U. 1986. Sedimentological and chemical studies in sediment from Alvarado Lagoon system, Veracruz, México. Universidad Nacional Autónoma de México *Anuales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.*, 13(3): 19-28.
- Rosas, H. 2001. Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca de Llobregat. Trabajo de postgrado. Universidad Politécnica de Manresa. España.
- Rubio, B.; Nombela, M.; Vilas, F.; Alejo, I.; García-Gil, E. y Pazos, O. 1995. Distribución y enriquecimiento de metales pesados en sedimentos actuales de la parte interna de la Ría de Pontevedra. *Thalassas*, 11: 35-45.
- Rubio, B.; Nombela, M. y Vilas, F. 2000. Geochemistry of major and trace elements in sediments of the Ria de Vigo (NW Spain): assessment of metal pollution. *Marine Pollution Bulletin*, 40(11): 968-980.
- Rubio, B.; Pye, K.; Rae, J. y Rey, D. 2001. Sedimentological characteristics, heavy metal distribution and magnetic properties in subtidal sediments, Ría de Pontevedra, NW Spain. *Sedimentology*, 48: 1-20.
- Sadiq, M. 1992. *Toxic Metal Chemistry in Marine Environments. Series Advisors Environmental Science and Pollution Control Series*. Marcel Dekker, N. Inc., New York.

Salazar, J.; J. Bonilla y B. Gamboa. 1986. Metales pesados y materia orgánica en los sedimentos superficiales de la Laguna las Marites. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 25(1-2): 137-154

Sanguinetti, O. 2009. Evaluación de los métodos propuestos por Campanella y BCR utilizados para la extracción secuencial de metales pesados en sedimentos y posibles efectos tóxicos de estos sedimentos. Trabajo de pregrado. Departamento de Química, Universidad de Oriente, Cumaná.

Schumacher, B.A. 2002. Methods for determination of total organic carbon (TOC) in soils and development. US Environmental Protection Agency. Las Vegas, NV. 25

Senior, W., Castañeda J. y Martínez G. 1999. Estudio oceanográfico y calidad de agua y sedimentos del nororiente de Venezuela: caso del sistema lagunar Unare-Píritu. Departamento de Oceanografía. Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente. Cumaná, 70 pp (Informe Técnico).

Shaule, B. K. and Patterson, C. C. 1983. Perturbation of the natural Pb depth profile in the Sargasso Sea by industrial Pb. In Wong, C. S., Boyle, E., Bruland, K. W., Burton, J. D., and Golberg, E. D. (eds), *Trace Metals in Sea Water*. Plenum Press, New York, pp. 487-503.

Sheppard, F. 1954. Nomenclature based on the sand-silt-clay ratios. *Journal Sediment of Petrology*, 24(3): 151-158.

Shriadah, M. 1999. Occurrence of trace metals in the Arabian Gulf and the Gulf of Oman sediments off the United Arab Emirates. *Oceanologia*, 25: 43-52.

Tessier, A. y Campbell, P. 1987. Partitioning of trace metals in sediments: Relationships with bioavailability. *Hydrobiologia*, 149: 43-52

Tessier, A.; Campbell, P. y Bisson, M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytica Chemistry*, 51(7): 844-851.

UDO-CORPOVEN. 1991. Caracterización ambiental del área de Jose. Proyecto AFEAM. Convenio IOV (UDO)-CORPOVEN.

UDO-CORPOVEN. 1992. Estudio ambiental de las costas del estado Anzoátegui. Proyecto EACA-Área de Jose. Informe final. Convenio IOV (UDO)-CORPOVEN.

Ure, A.; Quevauviller, Ph.; Muntau, H. y Griepink, B. 1993. Speciation of heavy metals in soils and sediments. An account of the improvement and harmonization of extraction techniques undertaken under the auspices of the European communities. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry Acta* 51: 135-151.

Usero, J., Morillo, J. y Gracia, I. 1997. Contaminación por metales pesados en sedimentos acuáticos del río Odiel. *Tecnología del agua*, 130: 47-54.

Velásquez, L. 2005. Distribución y comportamiento de los metales pesados Cd, Cu, Ni, Zn, Fe, Mn, Co, Cr y Pb en sedimentos superficiales del sector oriental del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. Trabajo de pregrado. Departamento de Química, Universidad de Oriente, Cumaná.

Viarengo, A. 1985. Biochemical effects of trace metals. *Marine Pollution Bulletin*, 16 (4): 155-158.

Vink, R.; Behrendt, H. y Salomons, W. 1999. Development of the heavy metal pollution trends in several European rivers: an analysis of point diffuse sources. *Water Science Technology*, 39(12): 215-223.

Villanueva, S. y Botello, A. 1992. Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe Mexicano. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 8: 47-41.

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

Von Rod, U.; Schaaf, M.; Michels, K.; Schulz, H.; Berger, W. y Sirocko, F. 1999. A 500 year record of climate in varved sediments from the Oxygen Minimum Zone off Pakistan, northern Arabian Sea. *Quaternary Research*, 51: 39-53.

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

Weber, M.; Wiedicke, M. y Riech, V. 1995. Carbonate preservation history in the Peru basin: paleoceanography implications. *Paleoceanography*, 10: 775-800.

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



## APENDICE

Tabla A1. Texturas de los sedimentos superficiales del Sector Costero Arapito-Santa Fe, Estado Sucre

Estación	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura
1	75	18	7	areno limoso
2	82	6	12	areno arcilloso
5	-	-	-	
6	100	0	0	arenoso
9	100	0	0	arenoso
10	100	0	0	arenoso
16	98	2	0	arenoso
18	97	3	0	arenoso
19	100	0	0	arenoso
24	100	0	0	arenoso
26	100	0	0	arenoso
29	97	3	0	arenoso
30	82	8	10	areno arcilloso
33	49	20	32	areno arcilloso
34	49	20	32	areno arcilloso
35	72	5	12	areno arcilloso
37	68	20	12	areno limoso
38	76	12	12	arenoso
42	78	10	12	areno arcilloso
43	74	17	9	areno limoso
44	76	14,5	9,5	areno limoso
45	99	2	0	arenoso
46	49	28	23	areno limoso
48	76	14	10	areno limoso
49	54	37	9	areno limoso
Max	100	37	32	
Min	49	0	0	
Promedio	81,32	9,98	8,38	

Tabla A2. Contenido de carbono orgánico, carbonatos y materia orgánica en los sedimentos de la superficie del Sector costero Arapito-Santa Fe.

Estación	% CO	% CaCO <sub>3</sub>	Materia Orgánica (500°C)
1	2,327	34,76	1,61
2	2,905	19,29	4,09
5	-	-	-
6	1,314	47,21	0,45
9	1,364	29,77	0,36
10	1,477	12,95	0,30
16	2,572	24,03	2,23
18	1,315	33,84	1,50
19	2,708	13,94	0,78
24	2,061	50,52	3,07
26	2,652	83,16	2,80
29	1,932	10,72	1,27
30	2,983	14,31	1,99
33	3,684	24,37	6,30
34	3,567	18,05	6,27
35	3,249	32,48	4,63
37	3,123	38,81	5,97
38	2,203	34,48	4,73
42	2,701	25,41	2,51
43	2,413	59,51	3,66
44	2,225	45,64	3,46
45	2,120	70,30	3,35
46	3,101	31,26	6,62
48	3,035	11,67	3,94
49	2,871	35,98	2,43
Max	3,684	83,16	6,62
Min	1,314	10,72	0,30
Promedio	2,417	36,47	3,10



Tabla A3. Concentración total de los metales Fe, Cu, Zn, Cd, Al, Cr, Pb, Mn, Ni y Co en los sedimentos superficiales del Sector costero Arapito-Santa Fe.

Estación	Al	Cu	Mn	Cd	Co	Ni	Pb	Cr	Zn	Fe
1	1677,20	7,35	16,60	3,97	0,50	3,08	5,29	16,00	12,87	6790,93
2	963,08	4,18	10,26	3,90	0,82	6,35	5,28	5,03	12,32	5528,29
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	3274,26	2,59	31,80	3,95	1,62	8,64	9,17	13,29	36,51	11165,31
9	5858,49	<LD	2,79	3,80	<LD	44,64	2,02	45,14	1,69	587,10
10	1775,01	<LD	1,52	3,83	<LD	<LD	2,49	8,43	2,10	400,21
16	516,33	3,34	5,69	3,86	<LD	0,75	7,91	2,44	3,42	2091,11
18	1034,64	2,86	8,85	3,95	<LD	1,22	4,78	3,99	4,29	2057,12
19	16549,92	12,34	9,70	3,88	<LD	36,92	7,49	37,50	18,56	6769,65
24	977,60	0,82	195,60	3,81	0,42	1,84	4,21	3,44	7,74	2237,99
26	552,15	1,15	11,13	3,70	<LD	44,27	2,87	45,00	1,69	1384,83
29	4618,54	3,17	25,77	4,01	1,07	2,24	5,26	1,89	15,12	6036,32
30	3634,62	1,82	30,02	3,91	1,35	2,22	7,99	1,92	17,07	7248,80
33	4089,83	5,39	62,39	4,13	4,25	9,96	16,86	6,18	50,91	18683,36
34	2666,36	4,05	58,26	4,27	4,08	7,31	12,83	4,23	38,97	15141,36
35	7172,87	4,94	69,47	4,08	4,31	8,55	14,79	5,51	43,06	17002,47
37	3312,61	9,09	47,11	3,92	2,21	8,70	9,49	9,49	66,27	12817,33
38	2612,16	5,21	32,92	3,98	1,22	6,35	7,78	10,86	50,01	9693,31
42	2019,12	31,90	15,08	3,87	0,40	2,36	4,93	8,17	28,39	4335,56
43	1113,49	5,60	27,65	3,83	0,30	3,61	7,00	7,07	17,15	4848,36
44	2098,57	1,84	31,06	3,95	0,55	4,79	5,81	10,42	39,02	3442,97
45	901,50	<LD	17,78	3,96	0,00	3,59	2,79	6,80	18,06	4022,42
46	3815,46	10,79	35,92	3,98	2,01	12,01	9,10	16,66	44,70	13217,66
48	2138,78	7,81	21,62	3,88	1,59	2,88	8,97	9,00	27,18	9449,04
49	1925,76	5,96	22,62	3,94	0,85	4,21	6,13	12,84	29,68	9061,52
Max	16549,92	31,90	195,60	4,27	4,31	44,64	16,86	45,14	66,27	18683,36
Min	516,33	<LD	1,52	3,70	<LD	<LD	2,02	1,89	1,69	400,21
Promedio	3552,48	7,17	38,03	3,94	1,59	10,87	7,31	13,01	25,18	7426,79

<LD: menor al límite de detección

Tabla A4. Concentraciones (mg/kg) obtenidas para F1 de los metales en los sedimentos superficiales del sector Costero Arapito-Santa Fe.

<b>Estación</b>	<b>Fe</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Cd</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Al</b>	<b>Cr</b>	<b>Zn</b>
1	4,99	<LD	0,42	1,13	<LD	<LD	0,57	0,82	<LD	<LD
2	2,42	<LD	0,42	1,11	<LD	<LD	0,12	<LD	<LD	<LD
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	11,66	<LD	1,00	1,14	<LD	<LD	1,20	3,64	<LD	<LD
9	3,44	<LD	0,35	1,11	<LD	<LD	0,77	1,22	<LD	<LD
10	1,52	<LD	0,27	1,14	<LD	<LD	0,57	<LD	<LD	<LD
16	2,97	<LD	0,30	1,11	<LD	<LD	<LD	2,02	<LD	<LD
18	1,84	<LD	0,27	1,14	<LD	<LD	0,95	<LD	<LD	<LD
19	6,47	<LD	0,37	1,14	<LD	<LD	0,60	2,25	<LD	<LD
24	4,03	<LD	0,32	1,15	<LD	<LD	<LD	1,79	<LD	<LD
26	2,19	<LD	0,27	1,11	<LD	<LD	0,55	0,12	<LD	<LD
29	4,51	<LD	0,57	1,22	<LD	<LD	0,55	0,81	<LD	<LD
30	4,23	<LD	1,49	1,25	<LD	<LD	<LD	3,38	<LD	<LD
33	6,01	<LD	2,52	1,24	<LD	<LD	1,00	4,51	<LD	<LD
34	3,91	<LD	4,35	1,39	<LD	<LD	0,97	1,64	<LD	<LD
35	2,84	<LD	4,84	1,24	<LD	<LD	0,70	<LD	<LD	<LD
37	7,79	<LD	0,65	1,14	<LD	<LD	0,15	7,05	<LD	<LD
38	11,82	<LD	0,57	1,11	<LD	<LD	0,20	8,72	<LD	<LD
42	3,51	<LD	0,50	1,14	<LD	<LD	0,00	1,73	<LD	<LD
43	5,68	<LD	0,50	1,15	<LD	<LD	1,34	4,11	<LD	<LD
44	28,28	<LD	0,77	1,11	<LD	<LD	<LD	32,24	<LD	<LD
45	2,71	<LD	0,45	1,22	<LD	<LD	0,12	<LD	<LD	<LD
46	3,57	<LD	0,87	1,14	<LD	<LD	<LD	0,45	<LD	<LD
48	3,42	<LD	0,82	1,11	<LD	<LD	0,50	<LD	<LD	<LD
49	9,18	<LD	0,55	1,12	<LD	<LD	0,62	1,55	<LD	<LD
Max	28,28	<LD	4,84	1,39	<LD	<LD	1,34	32,64	<LD	<LD
Min	1,52	<LD	0,27	1,11	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Promedio	5,79	<LD	1,07	1,16	<LD	<LD	0,50	3,25	<LD	<LD

<LD: menor al límite de detección

Tabla A5. Concentraciones (mg/kg) obtenidas para F2 de los metales en los sedimentos superficiales del sector Costero Arapito-Santa Fe.

Estación	Fe	Cu	Mn	Cd	Co	Ni	Pb	Al	Cr	Zn
1	9,47	<LD	3,95	1,34	<LD	<LD	0,65	5,96	<LD	<LD
2	17,62	<LD	0,99	1,34	<LD	<LD	1,10	230,01	<LD	<LD
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	0,97	<LD	4,70	1,37	<LD	<LD	1,30	0,65	<LD	<LD
9	19,11	<LD	0,84	1,30	<LD	<LD	<LD	1191,81	<LD	<LD
10	12,82	<LD	0,35	1,32	<LD	<LD	1,22	18,28	<LD	<LD
16	1,76	<LD	2,76	1,35	<LD	<LD	2,17	3,59	<LD	<LD
18	2,43	<LD	4,25	1,39	<LD	<LD	0,55	6,97	<LD	<LD
19	14,36	<LD	1,17	1,32	<LD	<LD	1,40	25,91	<LD	<LD
24	0,02	<LD	15,63	1,34	<LD	<LD	1,74	<LD	<LD	<LD
26	0,50	<LD	2,19	1,32	<LD	<LD	0,40	236,35	<LD	<LD
29	36,32	<LD	9,96	1,35	<LD	<LD	1,32	362,34	<LD	<LD
30	20,72	<LD	8,42	1,32	<LD	<LD	1,05	19,08	<LD	<LD
33	36,95	<LD	9,39	1,40	0,07	<LD	1,82	971,47	<LD	<LD
34	28,45	<LD	10,76	1,42	0,12	<LD	1,42	68,51	<LD	<LD
35	44,92	<LD	13,57	1,40	<LD	<LD	1,32	539,23	<LD	<LD
37	6,86	<LD	7,35	1,32	<LD	<LD	1,12	212,10	<LD	<LD
38	2,21	<LD	5,14	1,35	<LD	<LD	0,97	0,82	<LD	<LD
42	4,42	<LD	3,58	1,32	<LD	<LD	0,70	5,23	<LD	<LD
43	0,80	<LD	4,57	1,34	<LD	<LD	0,25	2,27	<LD	<LD
44	1,07	<LD	4,92	1,35	<LD	<LD	0,35	1,00	<LD	<LD
45	0,27	<LD	3,11	1,30	<LD	<LD	0,27	1,77	<LD	<LD
46	4,00	4,29	5,22	1,32	<LD	<LD	1,22	972,53	<LD	<LD
48	20,15	<LD	2,81	1,32	<LD	<LD	1,37	9,70	<LD	<LD
49	2,11	<LD	5,17	1,35	<LD	<LD	0,62	1,90	<LD	<LD
Max	44,92	4,29	15,63	1,42	0,12	<LD	2,17	1191,81	<LD	<LD
Min	0,02	<LD	0,35	1,30	<LD	<LD	<LD	0,65	<LD	<LD
Promedio	12,01	0,18	5,45	1,34	0,02	<LD	1,01	203,64	<LD	<LD

<LD: menor al límite de detección

Tabla A6. Concentraciones (mg/kg) obtenidas para F3 de los metales en los sedimentos superficiales del sector Costero Arapito-Santa Fe.

Estación	Fe	Cu	Mn	Cd	Co	Ni	Pb	Al	Cr	Zn
1	871,20	<LD	3,63	1,49	<LD	<LD	2,21	151,09	<LD	4,72
2	775,67	<LD	1,82	1,44	<LD	<LD	2,02	140,40	<LD	2,49
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	2357,54	<LD	12,98	1,45	<LD	1,94	4,39	350,66	2,34	14,46
9	340,79	<LD	0,85	1,40	<LD	<LD	1,25	31,35	<LD	0,22
10	288,16	<LD	0,77	1,37	<LD	<LD	0,42	1625,60	<LD	0,97
16	443,51	<LD	2,20	1,40	<LD	<LD	3,09	106,90	<LD	2,42
18	561,72	<LD	3,24	1,42	<LD	<LD	2,24	219,74	1,20	2,17
19	661,17	<LD	3,45	1,42	<LD	<LD	2,65	145,80	<LD	7,49
24	722,96	<LD	154,56	1,32	0,15	0,05	0,82	208,62	1,42	3,11
26	544,75	<LD	7,18	1,27	<LD	0,07	1,32	150,29	0,35	0,35
29	1083,89	<LD	7,98	1,45	0,37	<LD	1,92	187,56	<LD	5,61
30	1388,93	<LD	13,50	1,34	0,82	0,22	3,26	2505,23	<LD	8,42
33	2730,25	<LD	22,72	1,50	1,82	1,97	6,08	449,08	<LD	18,25
34	2589,40	<LD	24,35	1,47	2,14	1,52	5,22	472,14	<LD	15,40
35	2425,49	<LD	26,03	1,45	1,65	1,37	4,52	2879,53	<LD	12,20
37	3790,07	<LD	21,49	1,47	1,05	2,69	4,33	422,10	2,49	19,23
38	4208,07	<LD	17,63	1,52	0,35	2,02	3,19	422,07	3,99	19,57
42	2557,38	<LD	8,27	1,42	0,12	0,12	1,89	419,36	3,31	13,80
43	1752,99	<LD	18,12	1,34	<LD	0,60	3,63	305,72	2,69	8,07
44	4546,89	<LD	19,68	1,49	0,05	1,47	3,29	454,21	5,43	15,85
45	1299,29	<LD	11,23	1,44	<LD	0,50	1,87	229,25	2,02	6,87
46	3243,27	<LD	18,92	1,52	0,32	3,19	4,39	1882,23	4,81	16,30
48	1585,77	<LD	5,39	1,45	<LD	<LD	2,87	326,31	<LD	9,31
49	2162,09	<LD	6,46	1,47	<LD	<LD	2,15	277,64	1,50	9,80
Max	4546,89	<LD	154,56	1,52	2,14	3,19	6,08	2879,53	5,43	19,57
Min	288,16	<LD	0,77	1,32	<LD	<LD	0,42	31,35	<LD	0,22
Promedio	1788,80	<LD	17,18	1,43	0,37	0,74	2,88	598,45	1,31	9,04

<LD: menor al límite de detección

Tabla A7. Concentraciones (mg/kg) obtenidas para F4 de los metales en los sedimentos superficiales del sector Costero Arapito-Santa Fe.

<b>Estación</b>	<b>Fe</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Cd</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Al</b>	<b>Cr</b>	<b>Zn</b>
1	1979,23	3,45	2,96	<LD	<LD	1,19	0,45	994,48	2,93	7,83
2	1994,32	0,62	2,42	<LD	<LD	0,87	1,15	400,01	0,80	2,44
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	4673,26	1,89	7,80	<LD	0,27	4,98	2,29	1529,41	4,59	15,55
9	678,15	<LD	<LD	<LD	<LD	0,02	<LD	72,65	0,52	0,30
10	422,49	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	76,69	0,50	<LD
16	707,66	2,94	0,32	<LD	<LD	0,35	1,87	197,00	0,97	<LD
18	1054,49	2,32	0,85	<LD	<LD	0,55	0,55	461,40	1,74	1,59
19	2481,03	0,70	2,60	<LD	<LD	0,87	1,10	201,79	1,45	3,17
24	754,23	0,47	24,63	<LD	<LD	0,85	0,82	388,10	1,07	1,29
26	353,80	0,02	0,60	<LD	<LD	0,47	<LD	130,86	0,92	<LD
29	3568,83	0,97	7,23	<LD	0,12	1,85	1,47	705,64	1,60	7,71
30	2180,50	0,75	4,98	<LD	<LD	1,10	0,92	515,89	0,77	4,08
33	3760,47	3,19	10,30	<LD	0,47	3,09	4,24	1212,75	1,52	10,70
34	3457,96	2,74	10,20	<LD	0,40	3,28	3,63	865,82	1,44	8,18
35	3099,36	3,54	10,23	<LD	0,40	2,62	4,07	1121,02	1,35	6,99
37	6843,56	3,16	14,39	<LD	0,62	5,88	2,96	1992,88	5,11	23,28
38	4801,80	3,42	8,65	<LD	0,15	4,11	2,17	1902,32	4,86	18,65
42	1759,14	29,11	2,37	<LD	<LD	1,44	1,64	1041,34	2,09	7,10
43	2403,65	0,95	3,96	<LD	<LD	1,34	1,49	672,82	2,71	4,08
44	3647,85	0,22	5,06	<LD	<LD	2,59	0,92	1117,85	4,09	13,43
45	1760,49	<LD	2,62	<LD	<LD	1,37	0,52	602,17	3,06	6,25
46	4116,22	1,00	2,42	<LD	<LD	4,04	1,15	400,53	4,71	2,44
48	3161,11	5,11	4,59	<LD	0,07	1,65	2,02	1066,66	1,87	7,78
49	3375,32	1,17	4,32	<LD	<LD	2,20	1,40	922,87	2,82	9,30
Max	6843,56	29,11	24,63	<LD	0,62	5,88	4,24	1992,88	5,11	23,28
Min	353,80	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	72,65	0,50	<LD
Promedio	2626,46	2,82	5,56	<LD	0,10	1,95	1,53	774,71	2,23	6,76

<LD: menor al límite de detección



Tabla A8. Concentraciones (mg/kg) obtenidas para F5 de los metales en los sedimentos superficiales del sector Costero Arapito-Santa Fe.

Estación	Fe	Cu	Mn	Cd	Co	Ni	Pb	Al	Cr	Zn
1	3926,04	3,90	5,64	<LD	0,50	1,89	1,42	524,85	13,07	0,33
2	2738,27	3,56	4,62	<LD	0,82	5,48	0,90	192,67	4,24	7,39
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	4121,88	0,69	5,33	<LD	1,34	1,71	<LD	<LD	6,36	6,50
9	587,10	<LD	0,75	<LD	<LD	44,61	<LD	4561,46	44,61	1,17
10	400,21	<LD	0,12	<LD	<LD	<LD	0,27	54,44	7,93	1,12
16	935,21	0,40	0,11	<LD	<LD	0,40	0,77	206,82	1,47	0,99
18	436,63	0,55	0,24	<LD	<LD	0,67	0,50	346,53	1,05	0,53
19	3606,62	11,64	2,12	<LD	<LD	36,05	1,75	16174,17	36,05	7,90
24	756,74	0,35	0,46	<LD	0,27	0,95	0,82	379,10	0,95	3,34
26	483,60	1,12	0,89	<LD	<LD	43,73	0,60	34,53	43,73	1,34
29	1342,76	2,19	0,02	<LD	0,57	0,39	<LD	3362,19	0,29	1,80
30	3654,42	1,07	1,62	<LD	0,52	0,90	2,76	591,04	1,15	4,56
33	12149,69	2,20	17,46	<LD	1,88	4,90	3,72	1452,02	4,66	21,96
34	9061,64	1,32	8,60	<LD	1,41	2,51	1,58	1258,25	2,78	15,39
35	11429,85	1,39	14,81	<LD	2,02	4,56	4,18	2633,10	4,16	23,87
37	2169,05	5,93	3,23	<LD	0,54	0,13	0,93	678,48	1,90	23,76
38	669,41	1,79	0,93	<LD	0,72	0,22	1,25	278,23	2,01	11,79
42	11,11	2,79	0,37	<LD	0,27	0,79	0,70	551,45	2,77	7,50
43	685,24	4,66	0,50	<LD	0,30	1,67	0,27	128,58	1,67	5,00
44	3442,97	1,62	0,63	<LD	0,50	0,72	1,25	493,28	0,90	9,74
45	959,66	<LD	0,38	<LD	<LD	1,72	0,00	68,31	1,72	4,93
46	5850,60	5,51	8,49	<LD	1,69	4,78	2,34	559,72	7,13	25,95
48	4678,59	2,69	8,01	<LD	1,52	1,24	0,20	736,10	7,12	10,10
49	3512,81	4,79	6,13	<LD	0,85	2,02	<LD	721,81	8,53	10,57
Max	12149,69	11,64	17,46	<LD	2,02	44,61	4,18	16174,17	44,61	25,95
Min	11,11	<LD	0,02	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,29	0,33
Promedio	3233,75	2,51	3,81	<LD	0,66	6,75	1,09	1499,46	8,59	8,65

<LD: menor al límite de detección

## HOJA DE METADATOS

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

<b>Título</b>	Fraccionamiento Geoquímico De Metales Pesados En Sedimentos Superficiales Del Sector Marino Costero Arapito-Santa Fe, Estado Sucre, Venezuela.
<b>Subtítulo</b>	

#### Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Yolimar, Marcano	CVLAC	17.673.223
	e-mail	yolij9@hotmail.com
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

#### Palabras o frases claves:

Fraccionamiento geoquimico, sedimentos marinos, metales pesados.

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

### Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Ciencias	Química

### Resumen (abstract):

Se determinó el contenido de metales pesados en sedimentos superficiales del sector marino costero Arapito-Santa Fe, estado Sucre, recolectados en veinticuatro (25) estaciones. Las mediciones fueron realizadas con un equipo de espectrometría de emisión óptica por plasma acoplado inductivamente (ICP-OES). La determinación de los metales se llevó a cabo aplicando el método de extracción secuencial propuesto por Tessier *et al.* (1979) para extraer las distintas fracciones geoquímicas de asociación de los metales en el sedimento. Las concentraciones promedios de metales totales fueron para el Fe: 18683,36 mg/kg, Cu: 31,90 mg/kg, Zn: 66,27 mg/kg, Cr: 44,64 mg/kg, Al: 16549,92 mg/kg, Ni: 45,14 mg/kg, Mn: 195,60 mg/kg, Pb: 16,86 mg/kg, Co: 4,31 mg/kg y Ca: 4,27 mg/kg. Se presentaron tres tipos de texturas: arenoso, areno-limosa y areno-arcillosa según orden de predominancia. Además, porcentajes de carbono orgánico 3,684% por el método de combustión húmeda, el carbonato 83,16% y la materia orgánica 6,62% por ignición a 500°C. De acuerdo a las concentraciones totales determinadas, se pudo observar que los metales que presentaron mayor concentración en la zona de estudio fueron el Fe y el Al. El resto de los metales tuvieron concentraciones menores a 110 mg/kg, lo que indica que el contenido de todos los metales estuvo por debajo de los valores sugeridos como límites para sedimentos contaminados. Por otra parte, se encontraron correlaciones significativas entre los metales pesados Fe, Co, Pb y Zn con el carbono orgánico y la materia orgánica. La fracción con mayor contenido de metales fue la fracción residual, mientras que las fracciones asociados a oxihidróxido de Fe y Mn y la fracción asociada a la materia orgánica y sulfuros variaron dependiendo del metal.

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

**Contribuidores:**

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

Fecha de discusión y aprobación:

Año      Mes      Día

2012	05	25
------	----	----

Lenguaje: **SPA**

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

**Archivo(s):**

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

**Alcance:**

Espacial:      Nacional      (Opcional)

Temporal:      Temporal      (Opcional)

**Título o Grado asociado con el trabajo:**

Licenciatura en Química

**Nivel Asociado con el Trabajo:**

Licenciatura

**Área de Estudio:**

Química

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

Universidad de Oriente. Núcleo de Sucre

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



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
CONSEJO UNIVERSITARIO  
RECTORADO

CU N° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

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

Estimado Profesor Martínez:

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

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



Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

**JUAN A. BOLAÑOS CUNVELO**  
Secretario

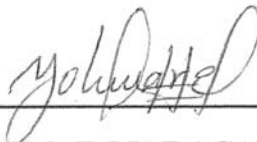


C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación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

JABC/YGC/manuja

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

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



---

**YOLIMAR MARACANO**  
**AUTOR**



---

Gregorio Martínez M.Sc.