



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

**ESTUDIO DE METALES EN SEDIMENTOS RECIENTES DE LA REGIÓN
MARINO-COSTERA DE PUERTOS DE SUCRE, CUMANÁ, VENEZUELA**
(Modalidad: Tesis de grado)

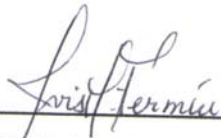
DAVID ENRIQUE ASAEDA LUNAR

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

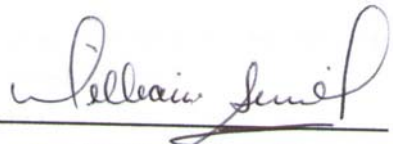
CUMANÁ, 2013

**ESTUDIO DE METALES EN SEDIMENTOS RECIENTES DE LA REGIÓN
MARINO-COSTERA DE PUERTOS DE SUCRE, CUMANÁ, VENEZUELA**


APROBADO POR:



Prof. Ivis Fermín
Asesora



Prof. William Senior
Co Asesor



Jurado



Jurado

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
LISTA DE TABLAS	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
RESUMEN	vii
INTRODUCCIÓN	1
METODOLOGÍA	6
Área de estudio	6
Recolección y almacenamiento de los sedimentos	7
Textura de los sedimentos	8
Determinación de materia orgánica total	9
Determinación de carbonato	9
Determinación de metales	10
Procesamiento y análisis de los datos	12
Calidad de análisis	13
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
Textura de los sedimentos	14
Materia orgánica total	22
Carbonato	26
Metales	29
Hierro (Fe)	30
Manganeso (Mn)	37
Cadmio (Cd)	43
Zinc (Zn)	50
Plomo (Pb)	56
Cobre (Cu)	63
Cromo (Cr)	69
Níquel (Ni)	76
Mercurio (Hg)	82
Análisis de correlación	89

CONCLUSIONES	94
BIBLIOGRAFÍA.....	96
APÉNDICES	109
HOJA DE METADATOS	115

DEDICATORIA

Le dedico este trabajo de grado a:

Dios, todo poderoso, padre celestial de todos los seres vivos, por darme la valentía, el coraje y la constancia que tanto necesite para culminar mis estudios de pregrado.

Mis abuelas: Josefa Margarita Palomino de Asaeda (QEPD) y Verónica Lunar, por su gran amor y dedicación en mi crianza.

Mi familia en especial mi madre Aldalicia del Valle lunar de Asaeda por ser mi pilar fundamental y gran amor.

Mis tías (os): María, Iliana, Maite, Yuraima, Pedro, Brenda y en especial Mariela Lunar, Gustavo Pérez y Mercedes Mendieta.

Todos los estudiantes de la licenciatura en biología que día a día luchan por ser jóvenes dedicados.

Mis amigos: Ever, Oreanna, Robert, Luis, María, Miriangel, Jennyfer, Oscarlina, Romelina, Erika y Denicse. Se les quiere.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer muy especialmente a:

La profesora Ivis Marina Fermín por su colaboración como asesora, por sus buenos consejos y por ser una especie de madre, un ser especial en mi vida como estudiante universitario de pre grado.

Al profesor William Senior por creer en mí y en este trabajo de investigación.

Los técnicos del departamento de oceanografía del instituto oceanográfico de Venezuela: Ricardo de la Cruz y Edymir Parra por ayudarme en los muestreos y análisis químicos.

Mis compañeros de clase: Elena, Linda, Onnelys, Dialys, Ana, Fanny, Anolaima, Yitza, Esnardo, Adrian, Adriana, entre otros. Por darme su amistad, apoyo, consejos y valiosa compañía. Sin ustedes nada sería igual.

A todos Los profesores del Departamento de Biología, por creer en mí, por su apoyo y confianza, en especial a las profesoras: Gisela Estrella, Sinatra Salazar, María E. Álvarez, Vanessa Acosta, Isabel Mímbela y Bertha Velásquez.

Al departamento de oceanografía del instituto oceanográfico de Venezuela por darme la oportunidad de realizar mi trabajo de grado en sus instalaciones.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Coordenada geográfica de las estaciones de muestreo de Puertos de Sucre, Cumaná, Estado Sucre, Venezuela.	7
Tabla 2. Longitud de onda y límite de detección para los metales evaluados en el presente estudio.	12
Tabla 3. Precisión de la técnica utilizada para la extracción de metales mediante el análisis de tres patrones de sedimento certificado: HISS-1 y MESS-3 Marine Sediments.	13
Tabla 4. Porcentaje de arenas, limos y arcillas en sedimentos recientes de Puertos de Sucre para febrero 2010.	15
Tabla 5. Porcentaje de arenas, limos y arcillas en sedimentos recientes de Puertos de Sucre para noviembre 2010.	16
Tabla 6. Matriz de correlación de Pearson entre las diferentes variables estudiadas en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para el mes de febrero de 2010.	92
Tabla 7. Matriz de correlación de Pearson entre las diferentes variables estudiadas en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para el mes de noviembre de 2010.	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio.....	6
Figura 2. Distribución espacial del contenido de arena (%) en los sedimentos recientes de la zona marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.	17
Figura 3. Distribución espacial del contenido de limo (%) en los sedimentos recientes de la zona marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.	17
Figura 4. Distribución espacial del contenido de arcilla (%) en los sedimentos recientes de la zona marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.	18
Figura 5. Distribución espacial del contenido de arena (%) en los sedimentos recientes de la zona marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.....	18
Figura 6. Distribución espacial del contenido de limo (%) en los sedimentos recientes de la zona marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.....	19
Figura 7. Distribución espacial del contenido de arcilla (%) en los sedimentos recientes de la zona marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.....	19
Figura 8. Distribución espacial del contenido de MOT (%) en los sedimentos recientes de la zona marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.	24
Figura 9. Distribución espacial del contenido de MOT (%) en los sedimentos recientes de la zona marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.....	24
Figura 10. Distribución espacial del contenido de carbonato (%) en los sedimentos recientes de la zona marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.	27
Figura 11. Distribución espacial del contenido de carbonato (%) en los sedimentos recientes de la zona marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.	27
Figura 12. Distribución espacial de hierro total (mg/ kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.	32
Figura 13. Distribución espacial de hierro total (mg/ kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.....	32
Figura 14. Fraccionamiento de hierro en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.	35

Figura 15. Fraccionamiento de hierro en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.	35
Figura 16. Distribución espacial de manganeso total (mg/kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.	38
Figura 17. Distribución espacial de manganeso total (mg/kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010. .	38
Figura 18. Fraccionamiento de manganeso en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.	41
Figura 19. Fraccionamiento de manganeso en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.	42
Figura 20. Distribución espacial de cadmio total (mg/kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.	44
Figura 21. Distribución espacial de cadmio total (mg/kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.	44
Figura 22. Fraccionamiento de cadmio en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.	48
Figura 23. Fraccionamiento de cadmio en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.	48
Figura 24. Distribución espacial de zinc total (mg/kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.	51
Figura 25. Distribución espacial de zinc total (mg/kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.	51
Figura 26. Fraccionamiento de zinc en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de sucre, Cumaná para febrero 2010.	55
Figura 27. Fraccionamiento de zinc en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de sucre, Cumaná para noviembre 2010. .	55
Figura 28. Distribución espacial de plomo total (mg/kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.	58
Figura 29. Distribución espacial de plomo total (mg/kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.	58
Figura 30. Fraccionamiento de plomo en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.	61
Figura 31. Fraccionamiento de plomo en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.	61
Figura 32. Distribución espacial de cobre total (mg/kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.	65

Figura 33. Distribución espacial de cobre total (mg/kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.	65
Figura 34. Fraccionamiento de cobre en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.	68
Figura 35. Fraccionamiento de cobre en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.	68
Figura 36. Distribución espacial de cromo total (mg/kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.	71
Figura 37. Distribución espacial de cromo total (mg/kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.	71
Figura 38. Fraccionamiento de cromo en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.	74
Figura 39. Fraccionamiento de cromo en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.	74
Figura 40. Distribución espacial de níquel total (mg/kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.	78
Figura 41. Distribución espacial de níquel total (mg/kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.	78
Figura 42. Fraccionamiento de níquel en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.	80
Figura 43. Fraccionamiento de níquel en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.	80
Figura 44. Distribución espacial de mercurio total (mg/kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.	84
Figura 45. Distribución espacial de mercurio total (mg kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010. .	84
Figura 46. Fraccionamiento de mercurio en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.	87
Figura 47. Fraccionamiento de mercurio en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.	87

RESUMEN

Se determinaron las concentraciones de los metales: Cd, Cu, Ni, Mn, Cr, Zn, Fe, Pb y Hg en sedimentos recientes de la región marino costera de Puertos de Sucre, Cumaná, durante el mes de febrero y noviembre del 2010, se evaluó también las asociaciones con otras variables como; la textura de los sedimentos, materia orgánica y carbonato. Se tomaron muestras en 18 estaciones ubicadas en dos zonas ambos lados del muelle (este y oeste). Se aplicó el método del densímetro de Bouyoucus para clasificar la textura de los sedimentos; la materia orgánica se obtuvo por calcinación de las muestras a 550°C, el carbonato se calculó por digestión ácida y por último se determinaron los metales con el empleo de diferentes extractantes ácidos, su cuantificación se hizo mediante espectrofotometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente, en el caso del mercurio se empleó el método de espectrofotometría con vapor al frío al frío. Los sedimentos que predominaron fue de tipo arenoso, los porcentajes medios de materia orgánica fueron de 7,57 y 7,061%, y el carbonato de 16,67 y 13,52%, las concentraciones promedio para metales totales fueron: 0,50 y 0,40 mg/kg (Cd), 39,60 y 33,58 mg/kg (Zn), 4,38 y 3,87 mg/kg (Pb), 8,56 y 7,46 mg/kg (Cu), 12,97 y 10,83 mg/kg (Cr), 12,97 y 7,89 mg/kg (Ni), 14,77 y 13,25 mg/kg (Mn), 6497,15 y 7160,72 mg/kg (Fe) y 0,01 y 0,15 mg/kg (Hg) para los meses de febrero y noviembre respectivamente. El fraccionamiento geoquímico mostró que todos los metales estudiados presentaron mayor asociación con la fracción residual a excepción del Hg que está presente en forma intercambiable. Con respecto a la materia orgánica y carbonato fueron mayor en la época de sequía (febrero) junto con los metales totales lo que demuestra una correlación positiva entre estas variables influenciadas por actividades antropogénicas y procesos fisicoquímico que estuvieran alterando su concentración y distribución en la zona portuaria.

Palabras clave: Metales pesados, Sedimento marino, Contaminación antropológica, Aguas residuales.

INTRODUCCIÓN

La zona mariano costera se caracteriza por presentar una intensa actividad humana y por una gran riqueza ecológica, son zonas en las que tienen lugar procesos interdependientes físicos, biológicos, sociales, económicos y culturales; en las que, las presiones causadas por las diversas actividades humanas, tales como, la implementación de puertos comerciales, pesqueros y/o de cabotaje, que desde el punto de vista económico generan grandes ingresos a una determinada región, al mismo tiempo, perjudican dicho ecosistema; lo que ha producido a nivel mundial una reacción en pro de la protección de dichas zonas y sus recursos, tanto con fines de utilización como de conservación. Cabe destacar, que los cambios inducidos por las acciones humanas o naturales tienen el potencial de generar reacciones acumulativas, incluso en puntos muy distantes a su lugar de origen (Aguirre-Martínez *et al.*, 2009).

Alonso *et al.* (2003), mencionan que, para que las zonas costeras, recurso natural, único, frágil y limitado del país, conserven sus funciones naturales y productividad es necesario mejorar considerablemente su planificación y administración, lo que demandan esfuerzos de investigación científica y técnica de los componentes oceanográficos, físicos y socio-económicos. La compleja actividad portuaria, requiere de servicios de carga/descarga, suministro, combustible, traslado de personal y reparaciones, lo que sumado a eventos de derrames crónicos de hidrocarburos e ingreso de residuos tales como sustancias tóxicas corrosivas, usadas en el mantenimiento de las embarcaciones, aguas residuales provenientes de comunidades e industrias cercanas, entre otras, hacen de las zonas portuarias sistemas fuertemente

alterados, con una alta presión ambiental y una pérdida paulatina de la calidad de las aguas y sedimentos (Ahumada, 1995; Rudolph *et al.*, 2002; Mc Cready *et al.*, 2003; Casado-Martínez *et al.*, 2007; Sprovieri *et al.*, 2007).

En los puertos y muelles, debido a la morfología protegida del área, la batimetría, el patrón de circulación y el restringido intercambio de agua mareal, generalmente, se acumulan cantidades considerables de sedimentos que pueden reducir su profundidad e impedir el paso de las embarcaciones de gran calado, en consecuencia, las actividades económicas de la región se afectarían (Aguirre-Martínez *et al.*, 2009).

Los sedimentos marinos, como matriz ambiental, son considerados el último reservorio de una gran cantidad de sustancias y elementos producidos en forma natural o por actividad antropogénica (Izquierdo *et al.*, 1997). Los sedimentos proporcionan una indicación temporal integrada de las condiciones del medio acuático ya que son considerados un sumidero de contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos, que ingresan y/o se generan en la columna de agua (Caccia *et al.*, 2003) y pueden alcanzar niveles de contaminación (Adams *et al.*, 1992; Burton y Scott, 1992). Existen abundantes evidencias sobre la acumulación de contaminantes en los sedimentos de las instalaciones portuarias y sus alrededores (Wong *et al.*, 1995; Van Den Hurk *et al.*, 1996; Cornelissen *et al.*, 2001; Mc Cready *et al.*, 2003; Del Valls *et al.*, 2004; Casado-Martínez *et al.*, 2007; Sprovieri *et al.*, 2007).

Se ha demostrado que los contaminantes no permanecen inmovilizados en los sedimentos, tanto metales pesados como compuestos orgánicos pueden ser removilizados por procesos de bioperturbación y/o resuspensión del sedimento (Sprovieri *et al.*, 2007). Pudiendo actuar como fuentes secundarias de contaminación (Lee *et al.*, 2001; Tolun *et al.*, 2006), alterando

la vida acuática y afectando los recursos pesqueros (Rudolph *et al.*, 2002; Liou *et al.*, 2003; Yim *et al.*, 2005).

Entre las sustancias que ingresan a los cuerpos de agua costeros, los metales pesados son los más comunes, estos son elementos naturales de la corteza terrestre, sólidos a temperatura ambiente (excepto el mercurio), conductores de la electricidad y del calor, insolubles en agua y con características físicas y químicas únicas (Adriano, 1986; Sadiq, 1992).

El término metal pesado abarca aquel elemento químico como es el caso del mercurio, cadmio, arsénico, cromo, níquel, plomo, entre otros; los cuales presentan una alta densidad y suelen ser tóxicos o venenosos en concentraciones bajas y deben su peligrosidad al hecho de no ser química ni biológicamente degradables. Una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años, además, representan un gran peligro y riesgo cuando ingresan a los ecosistemas en altas concentraciones, causando la destrucción de fauna y flora, también afectan cuando se encuentran en bajas cantidades, pudiendo causar graves daños a nivel celular, dada su capacidad para desnaturalizar proteínas, pueden ser asimilados por el fitoplancton y organismos filtradores que los incorporan a la cadena alimenticia; dando paso a los procesos de bioacumulación y biomagnificación que agravan su condición de toxicidad. Ya que estos pueden ser incorporados en los seres vivos y transmitidos en la trama trófica aumentando su concentración, el cual implica que los organismos en los niveles más elevados de la cadena alimenticia tengan los mayores contenidos de metales (Libes, 1992; Viarengo, 1985; Sadiq, 1992; López-González *et al.*, 2006).

Los metales pesados son distribuidos fácilmente debido a la movilidad y

disponibilidad que dichos elementos adquieren en los diferentes procesos geoquímicos que ocurren en los sedimentos (Peinado *et al.*, 1987). El comportamiento de los metales pesados, de acuerdo con estudios realizados, está gobernado principalmente por una serie de factores físicos, hidroquímicos y geoquímicos que controlan de una u otra manera, la distribución y sedimentación de estas sustancias en el medio ambiente. La materia orgánica es la más relevante, pues favorece la presencia de estos elementos en los sedimentos al estar conformada de productos de origen animal y vegetal en distintas etapas de descomposición, siendo una fuente potencial de acumulación y depósito de sustancias tóxicas (Ferguson, 1990; Han *et al.*, 2006; Marval, 2008).

La deposición final de los metales está controlada por la dinámica, los cambios y procesos físicos químicos de las aguas y es el resultado de la interacción entre aportes antropogénicos y procesos naturales (Palanques y Farrán, 1995). A menudo resulta complicado determinar si las concentraciones de metales en sedimentos representan condiciones de enriquecimiento natural o antropogénico. Varios métodos han sido utilizados para solventar esta dificultad, incluyendo el análisis de ciertas fracciones de las partículas sedimentarias. Pero tal vez, el más ampliamente usado es la extracción selectiva con compuestos químicos, debido a que este permite, a través del tratamiento de los sedimentos con diferentes compuestos, extraer sólo los metales asociados a una determinada fracción (Marcet *et al.*, 1997; Fermín, 2002).

La mayoría de las investigaciones realizadas de los metales pesados en sedimentos están relacionadas con la concentración total del elemento. Sin embargo, no es suficiente conocer las concentraciones totales de un metal, se hace necesario saber, que tipo de asociaciones se encuentra formando;

de esto depende su biodisponibilidad (López-González *et al.*, 2006).

En Venezuela, los estudios sobre el contenido de metales pesados en sedimentos son realizados generalmente en zonas marino-costeras que han sido impactadas por las actividades humanas así como en estuarios, lagunas y bahías, estas aéreas son continuamente afectadas por los ríos, escorrentías continentales, aguas residuales, domesticas e industriales, disminuyendo la calidad de sus sedimentos. Landaeta (2002) señaló focos de contaminación en la región marina costera de la ciudad de Cumaná. Fermín (2002) demostró la alta disponibilidad de los metales de Cd y Hg, exhortando el deterioro de los sedimentos de la Laguna de Unare. Martínez (2002) atribuye a la influencia antropogénica los niveles de metales pesados encontrados en los sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco. López (2002) reportó que la Laguna de Píritu se ve afectada por el vertido de aguas servidas sin tratamiento previo, la restringida circulación y la escasa renovación de sus aguas existiendo algunos aportes atmosféricos de algunos metales (Pb y Hg).

A pesar de los múltiples trabajos realizados con respecto a las concentraciones totales y biodisponibles de metales en sedimentos de estuarios, ríos, lagunas, golfos y zonas costeras, fueron pocos los estudios encontrados en la revisión bibliográfica que estén relacionados con los puertos comerciales de Venezuela, por lo que nace la necesidad de llevar a cabo un proyecto de investigación que contemple la distribución espacial y temporal de los metales pesados y su asociación con la textura del sedimento, carbonato y materia orgánica, en sedimentos superficiales de la región marina costera donde se encuentra puertos de sucre, Cumaná, Venezuela.

METODOLOGÍA

Área de estudio

Puertos de Sucre está situado en la región marino costera de la ciudad de Cumaná, específicamente en la costa oriental de Venezuela frente a Punta Arena en la entrada del Golfo de Cariaco, entre los $10^{\circ} 27' 41''$ N y $64^{\circ} 11' 27''$ O a 0,80 km al sur de Punta Carenero y de la desembocadura del Río Manzanares. Tiene acceso al océano atlántico nororiental y el gran Caribe para la movilización total de la carga de mercancía que llega y sale del país; además está habilitada para las operaciones de importación, exportación, tránsito y los servicios de transbordo, cabotaje y bultos postales. Presenta un muelle tipo espigón con 2 frentes de atraque ubicado al norte con una distancia de 140,70 m y una anchura de 24,80 m (Balmores, 2002).

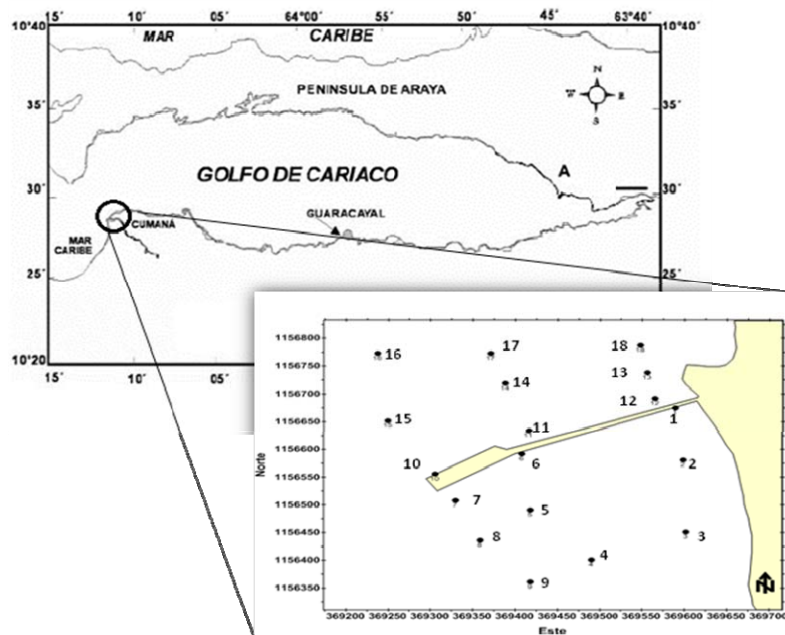


Figura1. Área de estudio.

Tabla 1. Coordenada geográfica de las estaciones de muestreo de Puertos de Sucre, Cumaná, Estado Sucre, Venezuela.

Estación (N°)	Latitud (UTM)	Longitud (UTM)
1	369589	1156581
3	369602	1156451
4	369490	1156401
5	369418	1156491
6	369408	1156592
7	369330	1156508
8	369359	1156436
9	369418	1156361
10	369306	1156556
11	369416	1156634
12	369565	1156692
13	369556	1156738
14	369388	1156719
15	369249	1156652
16	369237	1156773
17	369371	1156773
18	369548	1156787

Recolección y almacenamiento de los sedimentos

Para el desarrollo de esta investigación se establecieron un total de 18 estaciones de muestreos, 9 ubicadas en la zona este y las otras 9 restantes en la zona oeste, del muelle de Puertos de Sucre, durante el mes de febrero y noviembre de 2010, las muestras de sedimento se recolectaron con el uso de una draga tipo Ekman de 0,02 m² de área. Cada muestra fue almacenada en bolsas plásticas, previamente rotuladas y se refrigeraron a -20°C para su preservación hasta el momento de su procesamiento y análisis químico en el laboratorio del Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente. En el laboratorio cada una de las muestras de sedimentos fueron descongeladas y separadas en dos porciones, de las cuales, una se secó a

60°C y se pulverizó finamente en un mortero de porcelana para ser conservada 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 granulométrico. En la aplicación de todos los métodos se emplearon reactivos de grado analítico y agua desionizada calidad "Nanopure".

Textura de los sedimentos

Para determinar las diferentes fracciones de sedimento marino (arena, limo y arcilla) se utilizó el método del densímetro (Primo y Carrasco, 1973), el cual consiste en medir la densidad de una suspensión a través del tiempo de sedimentación usando un densímetro de Bouyoucos con escala desde -5 hasta 60 g/l.

Se tomó una muestra de 50 g de sedimento seco, previamente tamizado en una malla de 2 mm de haz de luz, se licuó durante 5 minutos con 10 ml de solución dispersante de calgón y 300 ml de agua destilada. La solución se vertió en un cilindro arrastrando toda partícula de sedimento con ayuda de una piseta hasta completar un litro de solución con agua destilada. Luego se agitó vigorosamente durante un minuto a fin de homogenizar el contenido y a los 40 segundos de terminar la agitación, se tomó la primera lectura del densímetro y temperatura de la suspensión. Al cabo de 2 horas se toma nuevamente la segunda lectura del densímetro y temperatura. La concentración de sólidos totales indicada que la primera lectura corresponde a partículas de diámetro $\leq 20 \mu\text{m}$ (limo + arcilla) y la segunda lectura corresponde a partículas de diámetro $\leq 2 \mu\text{m}$ (arcilla). Por consiguiente, la concentración de limo se obtuvo restando la segunda lectura con la primera y el contenido de arena se calculó por diferencia entre el peso total de

sedimento y el peso de limo más arcilla.

Determinación de materia orgánica total

El contenido de materia orgánica se determinó por el método descrito por De la Lanza (1980); Palanques y Díaz (1994); González y Ramírez (1995) y Bernal y Betancur (1996), el cual se fundamenta en la mineralización total de la materia orgánica que se encuentra contenida en los sedimentos marinos. Esto se logró a través de la calcinación de las muestras a altas temperaturas, de tal manera que se obtenga una fracción libre de materia orgánica. La determinación de materia orgánica total (MOT) se realizó por la pérdida de masa debido a la oxidación de materia orgánica en la muestra a CO₂, el cual es liberado a la atmósfera.

Muestras de 2 g de sedimento seco se pesaron en crisoles de porcelana libres de materia orgánica previamente tarados y lavados con una solución sulfocrómica y agua destilada, posteriormente se colocaron en una mufla a 550°C durante 24 horas. Después de enfriados se pesaron los crisoles, obteniéndose por diferencia de masa el contenido de materia orgánica.

Determinación de carbonato

La digestión ácida permite el cálculo de la cantidad de carbonatos presentes en los sedimentos, al desprenderse estos en presencia de un medio ácido (Neira *et al.*, 2001; Soto-Jiménez y Páez-Osuna, 2001). El método fue descrito por Barnes (1959), descrito en Palanques y Díaz (1994) y Fuentes (1998).

Muestras de 2 g de sedimento seco se colocaron en vasos de precipitado y

se le agregó ácido clorhídrico (5 N) hasta cubrirlo por completo, luego de 24 h se procedió a enjuagarlos con agua desionizada y se dejaron sedimentar por 24 h, este proceso de lavado se repitió hasta que no se observó efervescencia; posteriormente las muestras fueron secadas en estufa a 60°C y se calculó la cantidad de carbonatos (%) en equivalentes de carbono de calcio por diferencia de peso.

Determinación de metales

Para la determinación de la concentración total y el fraccionamiento químico de los metales se empleó el método presentado por Tessier y Campbell (1979), descrito por Lewis y Landing (1992), Izquierdo *et al.* (1997) y Roux *et al.* (1998) realizando las extracciones parciales en dos etapas, como se describe a continuación. Se pesó en cada una de las etapas 1 g de sedimento seco en erlenmeyers de 125 ml de capacidad, previamente pesados, rotulados y lavados con una solución de ácido nítrico al 0,5%.

Es importante aclarar que las extracciones no se realizaron secuencialmente con la finalidad de evitar algunos problemas analíticos asociados a la extracción secuencial; como por ejemplo la pérdida de materia orgánica entre cada paso de la extracción (Fermín, 2002). Etcheber *et al.* (1983) señalan una pérdida de materia orgánica entre el 15 y 20% en sedimentos estuarinos en los que se incluye, además, pérdida de óxidos durante los primeros tres pasos de una extracción de cinco pasos; así mismo, el proceso de extracción secuencial requiere de un lavado del sedimento entre cada etapa. Dutton *et al.* (1991) señalan que durante este lavado puede perderse más del 10% de los sedimentos ligados al manganeso, por lo que si se utilizan alícuotas individuales, este lavado se hace innecesario y se elimina totalmente la posibilidad de esta pérdida.

Otro punto de gran importancia es el tiempo que puede tomar la extracción secuencial, ya que teóricamente para completar cuatro o cinco pasos de extracción para cada muestra puede tomar como mínimo tres días para poder completar todo el proceso, sin embargo, con alícuotas individuales esta extracción puede realizarse hasta en menos de un día (Fermín, 2002). Este procedimiento ha sido corroborado por otros investigadores entre los que puede mencionarse a Bendell–Young y Harvey (1992) y Cacador *et al.* (1996).

Para la primera etapa, la fracción biodisponibles (FB) se añadió 10 ml de ácido acético al 10% a cada muestra y se sometieron a digestión por 5 h, a la temperatura del laboratorio y agitación constante. Las muestras se filtraron a través de filtros Whatman N° 542 de 11 cm de diámetro y se colectó en balones aforados de 25 ml. La segunda etapa es la fracción residual (FR), se llevó a cabo agregando 10 ml de una mezcla de HNO₃, HCl y HClO₄ en una proporción 3:2:1 a cada muestra y se sometió a digestión a 100°C por 2 h. Luego se filtró a través de filtros Whatman N° 542 y se colectó en balones aforados de 25 ml. La fracción total (FT) es la suma de la FR con FB.

$$FR = FT + FB$$

Según Rubio *et al.* (1991), los metales de origen antropogénico son obtenidos principalmente en la primera fracción, mientras que la segunda contiene los metales de origen litogénico. la cuantificación de metales se determinó por espectrofotometría de absorción atómica, utilizando un espectrofotómetro de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente, Perkin Elmer, modelo 5300 DV, a las respectivas longitudes de ondas para cada metal como se muestra en la Tabla 2 (Aguado, 2011).

Para la determinación de mercurio se utilizó el método CVAA (Cool Vapour

Atomic Absorption Spectrometry), basado en la reducción de los compuestos demercurio presentes en la muestra a metal libre, mediante la digestión de la muestra con ácido nítrico. A 5 ml del filtrado se le agregaron 5 ml de ácido nítrico al 1,5%, en envases de reacción, estos fueron llevados a las celdas de lectura en el espectrómetro de absorción atómica, donde se les añadió un volumen de Borohidruro de sodio al 3%, diluido en hidróxido de sodio al 1%; las concentraciones se determinaron por altura de pico, sin llama. Este método permitió la medición de las concentraciones del metal a través del desprendimiento de vapor, manteniendo las celdas a temperatura ambiente, (EPA, 1999; Martínez, 1999).

Tabla 2. Longitud de onda y límite de detección para los metales evaluados en el presente estudio.

Metal	Longitud de onda (nm)	LD
Manganeso	260,568	0,007
Cadmio	228,802	0,008
Cromo	267,71	0,214
Cobre	327,393	0,059
Hierro	238,204	0,246
Plomo	220	0,145
Níquel	231,604	0,008
Cinc	206	0,059
Mercurio	2,537	----

Procesamiento y análisis de los datos

El análisis de la data obtenida, se llevó a cabo utilizando el programa Excel del Microsoft Office XP, los gráficos de distribución espacial fueron realizados con el programa Surfer versión 10,0 y el informe se realizó con el programa Word del Microsoft Office XP.

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 orgánica, los carbonatos y la textura de los sedimentos (Sokal y Rohlf, 1999).

Calidad de análisis

Con la finalidad de comprobar la repetitividad de los datos para la cuantificación de metales, el fraccionamiento se realizó por triplicado para algunas muestras. Así mismo, para demostrar la eficiencia y precisión de la técnica utilizada se calculó la desviación estándar experimental (DS), para ello se realizaron pruebas con dos patrones de sedimento certificados: HISS-1 y MESS-3 Marine Sediment y se compararon los resultados obtenidos con los señalados por la casa fabricante. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3. Revelando que el método analítico de extracción total aplicado al estándar de referencia es aceptable para la mayoría de los elementos estudiados y arroja resultados reproducibles.

Tabla 3. Precisión de la técnica utilizada para la extracción de metales mediante el análisis de tres patrones de sedimento certificado: HISS-1 y MESS-3 Marine Sediments.

Metal	Presente estudio	Estándar (HISS-1)	Presente estudio	Estándar (MESS-3)
	Promedio	Promedio	Promedio	promedio
Cu	2,06 ± 0,05	2,29 ± 0,37	22,58 ± 3,36	33,9 ± 1.6
Cd	0,01 ± 0,001	0,024 ± 0,009	0,17 ± 0,03	0,24 ± 0,01
Ni	2,56 ± 0,20	2,16 ± 0,29	50,02 ± 0,10	46,9 ± 2,2
Cr	29,03 ± 0,14	30,0 ± 6,8	99	105 ± 4
Zn	2,48 ± 0, 63	4,94 ± 0,79	232 ± 55	243 ± 10
Mn	69,26 ± 3,33	66.1 ± 4,2	311 ± 35	324 ± 12
Fe	605,32 ± 21,50	-	9138,052 ± 68	-
Pb	3,84 ± 0,39	3,13 ± 0.40	23,11 ± 0,3	21,1 ± 0,7
Hg	ND	ND	ND	ND

ND: no detectado

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Textura de los sedimentos

Los sedimentos marinos, son un conjunto de partículas sólidas de diferentes tamaños, depositadas en el fondo de los mares y océanos por diferentes agentes de transporte, compuestas principalmente por rocas sedimentarias, materia orgánica y componentes carbonatados (Marval, 2008).

En los sedimentos de Puertos de Sucre, Cumaná, en el mes de febrero (Tabla 4), el porcentaje de arena oscilo entre 63,94% (estación 9) y 92,47% (estación 7) con promedio de 74,41%, los valores más altos se encontraron en la zona oeste del muelle (Figura 2). El limo se encontró en menor proporción, su porcentaje varió entre 1,19% (estación 7) y 29,72% (estación 9) con promedio de 14,66%, siendo mayor su distribución en la zona este (Figura 3). El porcentaje de arcilla fue mucho menor en comparación con los limos y arenas estuvo entre 1,59% (estación 18) y 12,97% (estación 1) con una media de 5,38%, sus mayores porcentajes se hallaron en la zona oeste (Figura 4).

Con respecto al mes de noviembre los sedimentos superficiales de Puertos de Sucre presentó un porcentaje promedio del contenido de arena de 84,99% (Tabla 5), con valores que oscilaron entre 80,55% (estación 12) y 96,01% (estación 1). La mayor concentración fue observada en la zona oeste y tuvo una distribución similar al mes anterior, siendo mayor que los limos y las arcillas (Figura 5). El limo disminuyó considerablemente su porcentaje en comparación con febrero, con valores entre 1,33% (estación 1) y 15,08%

(estación 12) y una media de 5,19% con mayor contenido en la zona este del muelle (Figura 6) y por último los valores de arcilla presentaron porcentajes que fueron de 1,60% (estación 16) y 8,40% (estación 8) con promedio de 4,26%. Los máximos valores se hallaron en la zona oeste (Figura 7).

Tabla 4. Porcentaje de arenas, limos y arcillas en sedimentos recientes de Puertos de Sucre para febrero 2010.

Estación	Arena (%)	Limos (%)	Arcillas (%)
1	78,92	11,12	12,97
2	85,71	8,73	5,56
3	82,66	14,98	2,36
4	75,76	17,88	6,36
5	72,04	19,70	8,27
6	80,70	11,82	7,49
7	92,47	1,19	6,34
8	84,46	11,95	3,59
9	63,94	29,72	6,34
10	74,50	19,92	5,58
11	79,68	14,14	6,19
12	85,73	7,92	6,34
13	87,78	9,85	2,37
14	ND	ND	ND
15	78,53	15,90	5,57
16	67,73	26,70	5,58
17	74,01	21,66	4,33
18	77,76	20,65	1,59
Promedio	74,41	14,66	5,38
Mínimo	63,94	1,19	1,59
Máximo	92,47	29,72	12,97

ND: no detectado

Tabla 5. Porcentaje de arenas, limos y arcillas en sedimentos recientes de Puertos de Sucre para noviembre 2010.

Estación	Arena (%)	Limos (%)	Arcillas (%)
1	96,01	1,32	2,56
2	94,40	3,19	2,39
3	92,52	3,15	4,33
4	91,33	5,42	3,25
5	88,55	7,11	4,34
6	89,67	5,96	4,37
7	88,41	5,20	6,39
8	86,40	5,20	8,40
9	91,38	4,11	4,52
10	ND	ND	ND
11	84,63	9,06	6,30
12	80,55	15,08	4,37
13	89,77	5,90	4,33
14	85,78	7,90	6,32
15	91,66	1,99	6,35
16	93,60	4,80	1,60
17	93,63	3,97	2,39
18	91,60	4,00	4,40
Promedio	84,99	5,19	4,26
Mínimo	80,55	1,33	1,60
Máximo	96,01	15,08	8,40

ND: no detectado

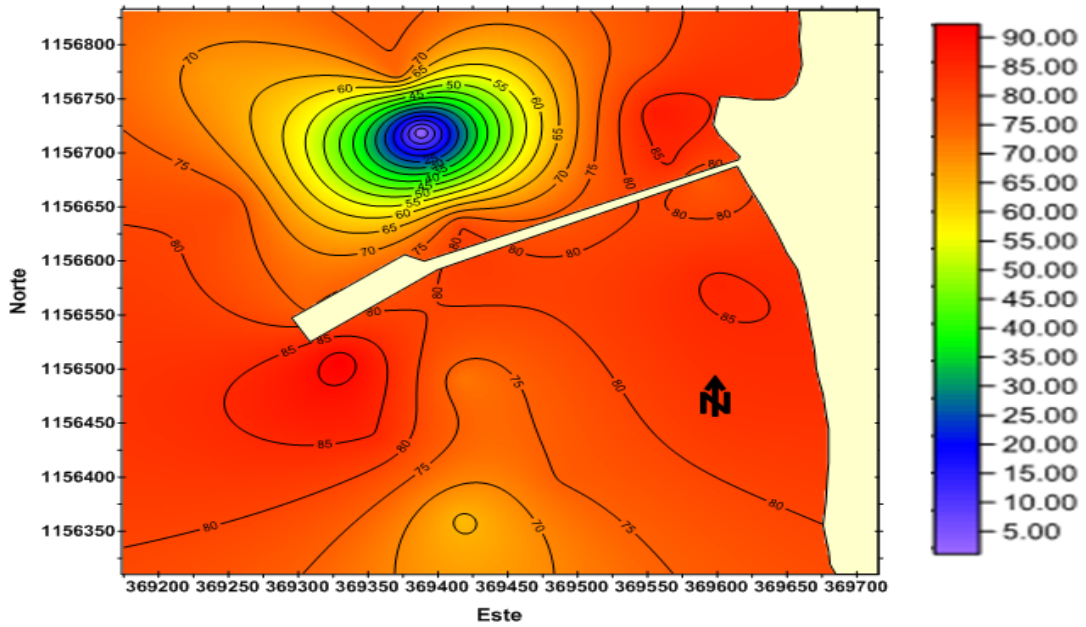


Figura 2. Distribución espacial del contenido de arena (%) en los sedimentos recientes de la zona marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.

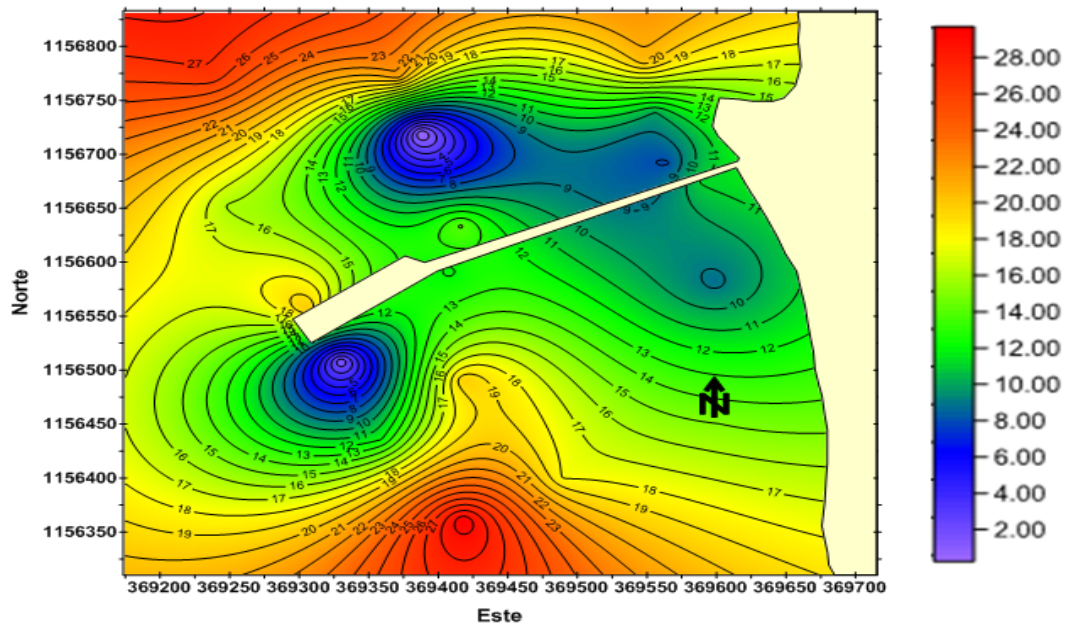


Figura 3. Distribución espacial del contenido de limo (%) en los sedimentos recientes de la zona marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.

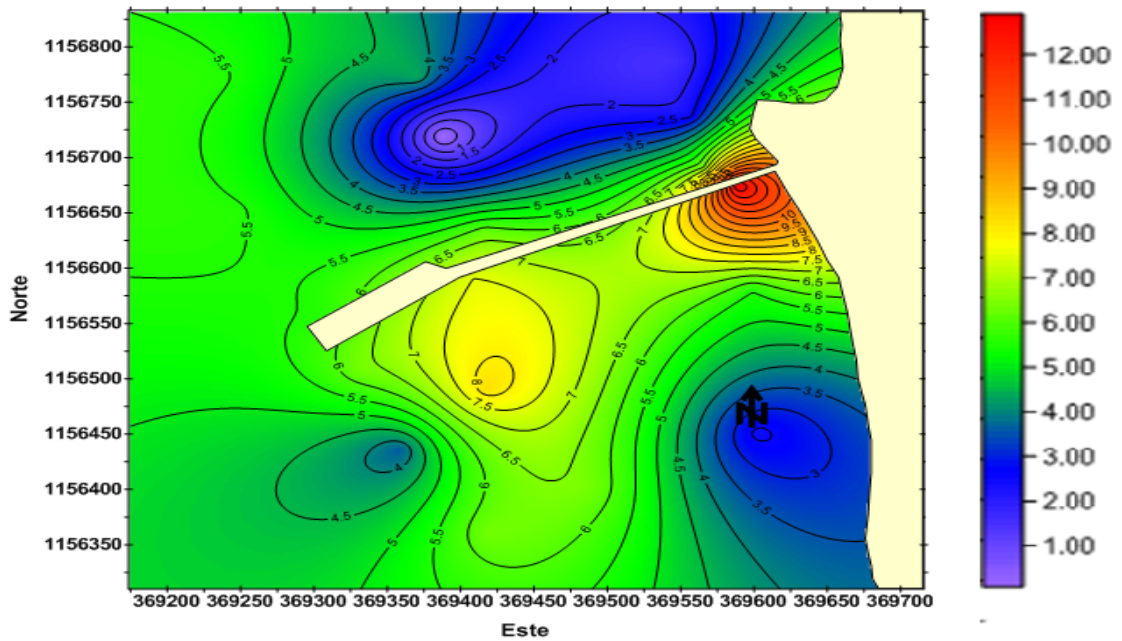


Figura 4. Distribución espacial del contenido de arcilla (%) en los sedimentos recientes de la zona marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.

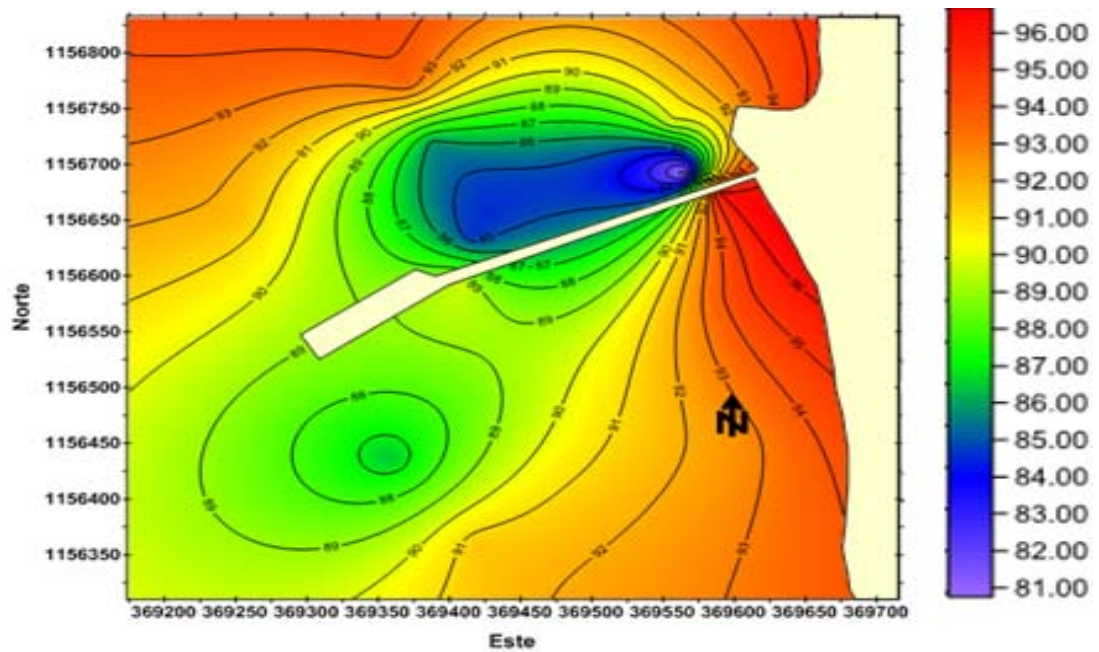


Figura 5. Distribución espacial del contenido de arena (%) en los sedimentos recientes de la zona marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.

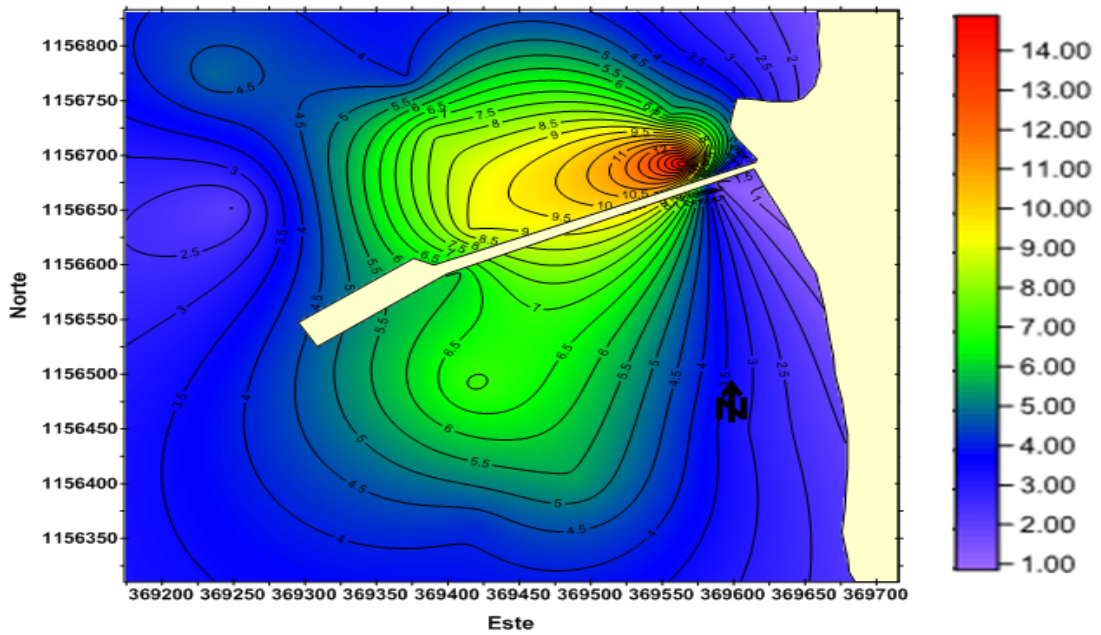


Figura 6. Distribución espacial del contenido de limo (%) en los sedimentos recientes de la zona marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.

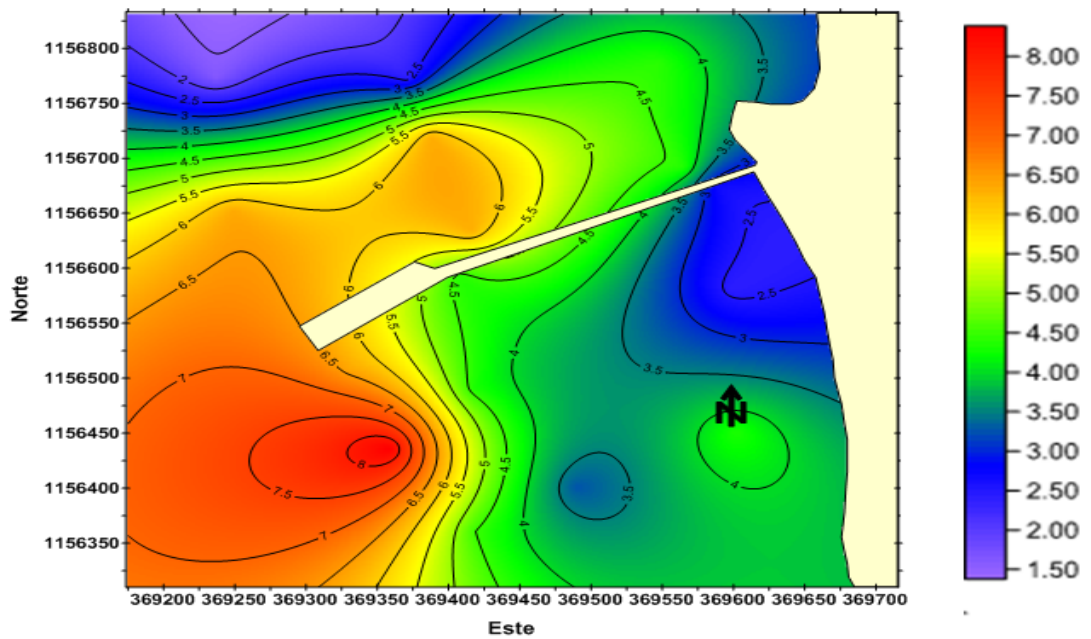


Figura 7. Distribución espacial del contenido de arcilla (%) en los sedimentos recientes de la zona marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.

El ANOVA muestra que existió diferencia significativa entre ambos meses de muestreos con respecto al promedio de arena (0,0003; $P < 0,05$) y limo (0,0004; $P < 0,05$). En el caso de la arcilla no existe diferencia significativa (0,1643; $P < 0,05$).

Según los resultados obtenidos en el mes de noviembre se presentaron mayor contenido de arena y esto puede estar relacionado con la presencia de precipitaciones que aumenta la descarga de agua del río Manzanares al área de estudio, llevando a cabo la deposición de material sedimentario transportado por el mismo, compuesto de partículas de estructura gruesa de tipo arenoso.

Marval (2008) señala que el contenido de arena podría estar influenciado por procesos de ablación marina, vientos y agitación de olas, además, de la erosión de conchas producidas por organismos perforantes.

Con respecto a los limos y arcillas siempre fueron menores que las arenas para ambos periodos, pero es importante destacar que en las estaciones donde se presentaron mayores porcentajes de limos se encontraron menores porcentajes de arenas, ese patrón de distribución se observó en las dos épocas de muestreo. Para el mes de febrero los porcentajes de limos y arcillas fueron mayores, según estudios realizados anteriormente en el golfo de Cariaco y en el margen marino-costero de la ciudad de Cumaná, estos valores de sedimentos finos pueden provenir de diversas fuentes: biogénicos y terrígenos, transportados por escorrentías continentales, desechos orgánicos e inorgánicos de origen antropogénico, la erosión del margen costero e hidrodinámica de la zona, las aguas de escorrentías y otro factor importantes que cabe resaltar es el viento que transporta dichas partículas finas hacia la zona del muelle y luego precipitan por acción de la gravedad al

fondo marino y forman parte de la composición granulométrica del sedimento (Marval, 2008).

Los sedimentos de la costa de Cumaná han sido descritos anteriormente como areno-limosos en los que predominan altas proporciones de arena (Landaeta, 2002). Igualmente Martínez *et al.* (2002) señala que los sedimentos del Golfo de Cariaco han sido descritos como areno-limosos, predominando mayormente las arenas (superior al 50%) y de limos, con menores porcentajes de arcillas. En el año 2002, Landaeta reportó altos niveles de arenas (99,41%) y bajos niveles de limos y arcillas en la zona costera frente a la ciudad de Cumaná.

Castellar (2004) señaló elevados porcentajes de arenas (86,64%), secundados por las arcillas (8,59%) y luego por limos (4,76%) en los sedimentos superficiales del Golfo de Santa Fe. tales estudios son comparables con la granulometría de esta investigación en la que se detectó sedimentos de textura arenosa en su mayoría. Velásquez (2005) asoció altos porcentajes de arena en el sector oriental del Golfo de Cariaco a los aportes provenientes de la desembocadura del río Carinicuaó.

Fuentes (2008) analizó los sedimentos superficiales del Puerto de Güiría, y obtuvo para los sedimentos en la zona interna del muelle porcentajes de 9,27% de arena, 87,08% de limo y 3,42% de arcilla, y los externos mostraron 80,34% de arena, 10,08% de limo y 0,86% de arcilla distinguiendo un ambiente limoso dentro del muelle, con muy pocas variaciones de energía cinética media, aguas tranquilas, oleaje suave, deposición libre, favorable a la acumulación y sedimentación de las partículas finas arrastradas en suspensión por las corrientes superficiales y por los vientos alisios, y otro arenoso fuera del muelle, con deposición forzada, donde existen fuertes

turbulencias y fluctuaciones de energía cinética media suficientemente amplias como para permitir la deposición de granos más gruesos. Este último ambiente es similar si lo comparamos con el de Puertos de Sucre, Cumaná, el cual presentaba fuertes vientos, mayor actividad hidrodinámica y un oleaje moderado en el mes de febrero.

Materia orgánica total

La materia orgánica está definida como toda clase de sustancia que involucra dentro de su estructura molecular el carbono, haciendo referencias a dos tipos: a) la de origen viviente que comprende todo los residuos y desechos provenientes de organismos vivos, como son: las proteínas, ácidos grasos, pigmentos, aminoácidos y carbohidratos que conforman la actividad metabólica y estructura de los organismo y b) la de origen antrópico en la que entra todas las sustancias sintetizadas por el hombre a través de procesos industriales (Alonso *et al.*, 2003). La distribución y contenido de materia orgánica en los sedimentos depende tanto del origen, textura, la tasa de sedimentación y descomposición orgánica presente en la fracción sedimentaria de los diferentes ecosistemas y también de las condiciones hidrográficas, hidroquímicas y biogeoquímicas del ambiente sedimentario (Han *et al.*, 2006).

La materia orgánica total (MOT), es uno de los factores que favorece la presencia de metales pesados en los sedimentos, siendo una fuente potencial de acumulación y depósito de sustancias tóxicas (Fergusson, 1990; Han *et al.*, 2006; Marval, 2008).

El contenido de MOT presente en Puertos de Sucre, Cumaná, varió entre 13,95% (estación 1) y 4,32 (estación 7) con promedio de 7,57% en el mes de

febrero. Los valores más altos fueron hallados en la zona este (Figura 8) en las estaciones 11, 16 y 15 (11,05; 9,16 y 9,03% respectivamente). Para noviembre, el porcentaje de MOT disminuyó con una media de 7,06% con porcentajes que oscilaron entre 11,79 (estación 4) y 2,80% (estación 3). Las cantidades más altas se ubicaron en el oeste de Puertos de Sucre (Figura 9) específicamente en las estaciones 7 y 11 (10,85 y 9,86% respectivamente) presentando una distribución espacial diferente al período anterior, sin embargo, entre estaciones el contenido de materia orgánica para ambos meses tuvo un comportamiento equitativo.

El análisis de varianza, mostró que estadísticamente no existe diferencia significativa entre los meses muestreados (0,6315; $P < 0,05$) y estaciones (0,8795; $P < 0,05$) con respecto a los porcentajes de materia orgánica.

El contenido de materia orgánica parece estar relacionado con la textura del sedimento, fue alto en zonas donde hubo mayor presencia de lodos (limo y arcilla) y menor predominio de partículas sedimentarias gruesas (arena). Este aumento importante de materia orgánica en la zona este del muelle puede estar altamente relacionada por actividades de desembarque y lavado de productos pesqueros como sangre, escamas y vertidos de aguas residuales provenientes de comunidades cercanas. Además, los sedimentos de esta área son muy finos y arcillosos de color negro y con fuerte olor a sulfuro de hidrógeno. Por otro lado, la baja actividad de los procesos hidrodinámicos y la rápida sedimentación son factores que ayudan a la deposición de compuestos orgánicos (Aguirre-Martínez *et al.*, 2009).

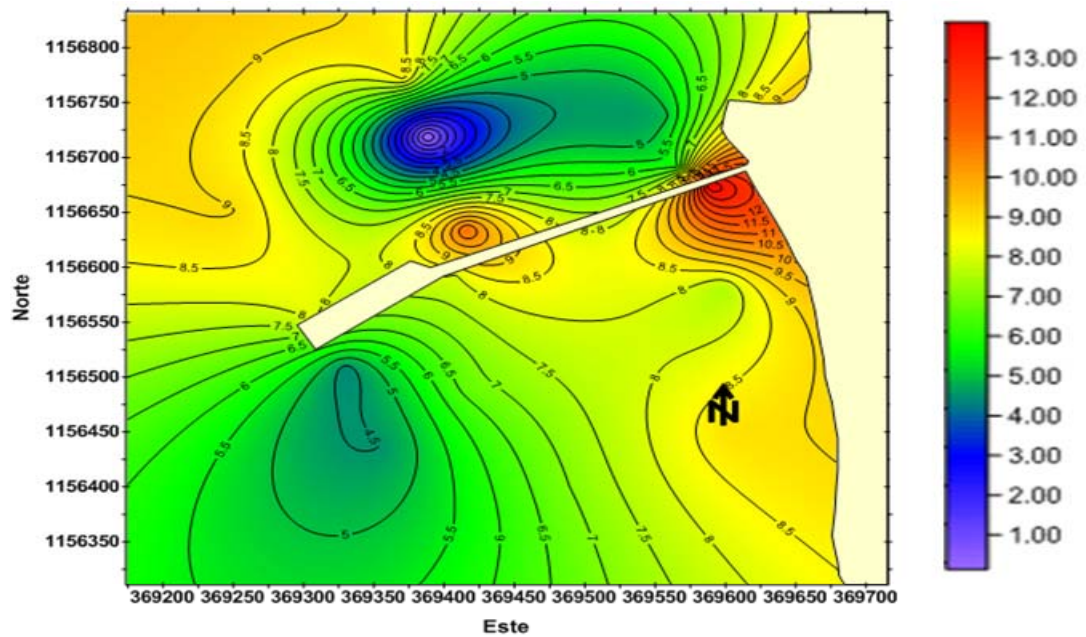


Figura 8. Distribución espacial del contenido de MOT (%) en los sedimentos recientes de la zona marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.

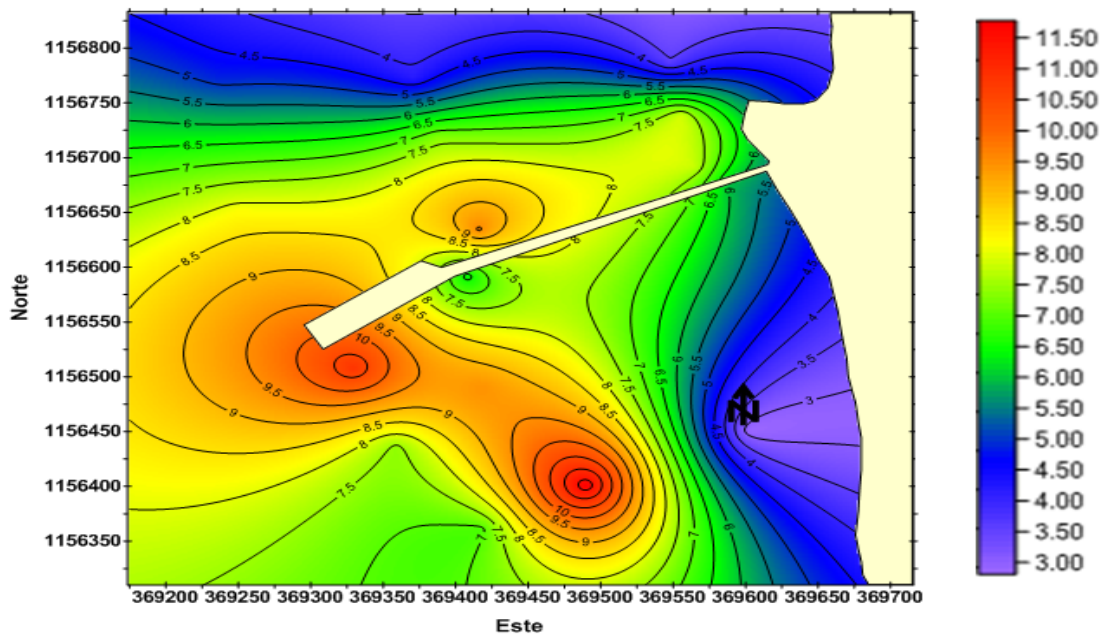


Figura 9. Distribución espacial del contenido de MOT (%) en los sedimentos recientes de la zona marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.

Rodríguez (2007), señala valores comparables con los de este estudio en sedimentos superficiales de la región marino-costero de la ciudad de Cumaná, para el mes de marzo con una media de 7,49% pudiendo estar íntimamente relacionado con la estructura granulométrica de la matriz del sedimento, además, del aporte principal por algas o del material particulado producto de excreción del plancton y de niveles tróficos superiores, como peces y aves, que una vez degradada, sedimenta desde la columna de agua.

Resultados similares a este estudio fueron reportados por Moya (2010) en el sector oriental del Golfo de Cariaco con un promedio de 9,18%, lo cual fue asociado a la productividad biológica en las aguas superficiales, que tiende a ser alta cerca de la costa norte debido al aumento de nutrientes aportados por los ríos, así como por los procesos de surgencia que se dan en la región Nororiental de Venezuela (Velásquez, 2005).

Por su parte, Valores altos de materia orgánica fueron reportados por Fermín (2002) con un promedio de 11,85% registrándose las mayores concentraciones en la región central de la laguna de Unare, coincidiendo con las concentraciones de limos y arcillas, los cuales facilitan la retención de la materia orgánica (Palanques y Díaz, 1994; Rubio *et al.*, 1995). Sin embargo, Marval (2008) reportó valores bajos en comparación con este estudio con un promedio de 5,89% encontrados en sedimentos del golfo de Cariaco, indicando el efecto de la corriente marina que reduce la tasa de sedimentación del material orgánico en la fracción sedimentaria, de igual manera Gómez *et al.* (2006) señala porcentajes muchos más bajos en la Bahía de Panamá con concentraciones que van de 0,13 a 1,23%, valores típico de ambientes arenosos, hidrodinámicos y abiertos.

Carbonato

Las rocas carbonatadas son aquellas formadas por la litificación de sedimentos ricos en carbonato (> 80%), los cuales han sido depositados a partir de la precipitación química dentro de una solución acuosa, aunque el porcentaje actual de afloramientos es muy similar al de las areniscas. Los minerales más comunes dentro de las rocas carbonatadas son la calcita (CaCO_3), la dolomita ($\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)_2$) y la argonita (CaCO_3). Estas rocas son productos de procesos biológicos e inorgánicos (Montijo, 2012).

La cantidad de carbonato presente en la zona marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná, varió entre 7,84 (estación 7) y 32,12% (estación 1) con promedio de 16,67% en el mes de febrero. Altos valores fueron hallados en la zona este (Figura 10) y en las estaciones 11, 12 y 6 (24,26; 28,52 y 19,62% respectivamente).

Para noviembre, el porcentaje de carbonato estuvo entre 3,72 (estación 8) y 24,04% (estación 4) con promedio de 13,52%. Las cantidades más altas se ubicaron en la zona oeste del muelle (Figura 11), y niveles mayores también se determinaron en las estaciones 13, 14 Y 17 (19,17; 16,02 Y 15,04%, respectivamente).

El análisis de varianza mostró que estadísticamente no existe diferencia significativa entre los muestreos (0,0910; $P < 0,05$) y estaciones (0,3695; $P < 0,05$) con respecto a los porcentajes de carbonatos.

Según los resultados obtenidos el carbonato tuvo una distribución igual a la materia orgánica entre estaciones y para ambos meses, representada por las conchas de moluscos, evidenciando de esta manera la alta presencia de

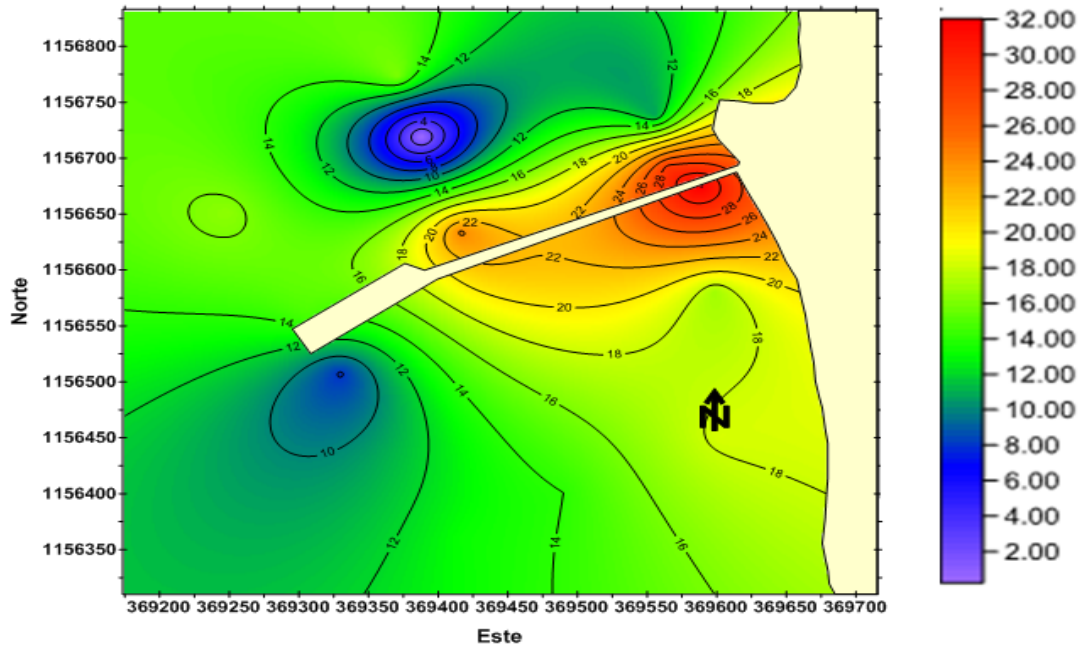


Figura 10. Distribución espacial del contenido de carbonato (%) en los sedimentos recientes de la zona marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.

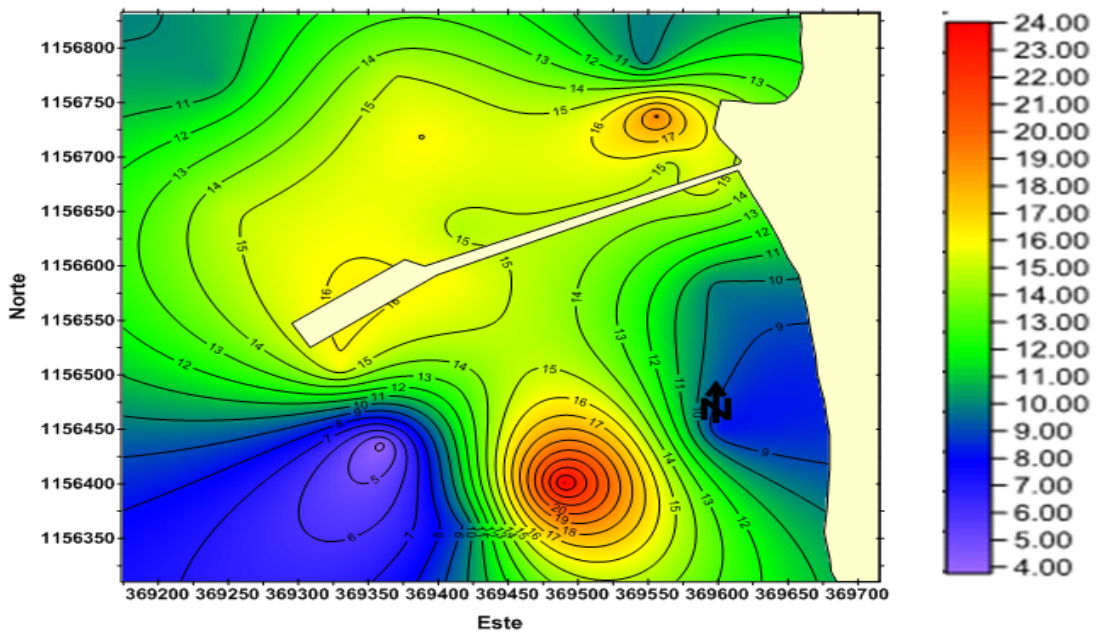


Figura 11. Distribución espacial del contenido de carbonato (%) en los sedimentos recientes de la zona marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.

compuestos carbonatados en el medio sedimentario, así como también, el posible suministro de carbono generado por los aportes continentales de sedimentos calcáreos y el proveniente de la precipitación química que ocurre en la columna de agua (Rodríguez, 2007).

Montijo (2012) señala, que según los principales componentes que conforman a las rocas carbonatadas, se pueden dividir en dos grandes grupos: ortoquímicos (producto de la precipitación química directa en el agua ya sea marina o meteórica, al momento de la sedimentación o durante la diagénesis) y aloquímicos (partículas formadas por restos de organismos que vivieron al momento de la sedimentación o partículas producidas mecánicamente)

En el ambiente marino hay una producción considerable de carbonato permaneciendo la mayor parte en el lugar donde se precipitó, debido a la presencia de organismos que no sólo secretan el CaCO_3 , sino que también lo utilizan para la construcción de sus conchas o esqueletos, como ejemplos tenemos: moluscos, bivalvos, cefalópodos, algas calcáreas, esponjas, etc. (Montijo, 2012).

Velásquez (2005), en el saco del Golfo de Cariaco señaló valores promedio de carbonato de 13,26% para la temporada de sequía y 19,33% para la temporada de lluvia, comparados con el presente estudio el comportamiento del contenido de carbonato fue contrario en los meses de muestreos pudiendo estar relacionado con la alta tasa de sedimentación, la baja actividad hidrodinámica, la presencia de compuestos carbonatados y conchas en los sedimentos de Puertos de Sucre, los cuales fueron mayores en el mes de febrero.

Valores muchos más bajos a los de esta investigación fueron obtenidos por Fermín (2002) en sedimentos de la laguna de Unare con un promedio de 5,61%, la autora señala que los carbonatos presentan un comportamiento similar a la materia orgánica, con los mayores registros en el centro de la laguna, la cual se asocia a la presencia y abundancia de un micromolusco de la Clase Gasterópoda perteneciente al género *Bittium*, que es un residente común de esta zona de la laguna y los menores hacia la región más oriental de la misma. Para ese mismo año, López (2002) reportó valores de carbonato con un promedio de 4,58% para sedimentos de la laguna de Píritu siendo mayor en sedimentos lodosos, además, de la presencia de un gasterópodo del género *Bittium*.

Por otra parte Marval (2008), obtuvo valores altos con un promedio total de 33,66% para los sedimentos superficiales de la región oeste del golfo de Cariaco, donde se detectó un mayor porcentaje de arena asociada a las características físico-geográficas del medio y a las formas bentónicas que caracterizan la fauna marina del lugar, siendo las conchas del exoesqueleto de estos organismos parte de los componentes calcáreos presentes en los sedimentos, de modo que los contenidos de carbonato de calcio son significativos, en comparación con este estudio no presentó un patrón de distribución relacionada al contenido de lodos.

Metales

La presencia de ciertas sustancias tóxicas como metales pesados en los sedimentos representan daños potenciales para los organismos marinos, en tal sentido determinar las concentraciones de estos elementos trazas permiten señalar el grado de contaminación presente (Moya, 2010). A menudo resulta difícil determinar si las concentraciones de metales

representan condiciones de enriquecimiento natural o antropogénico. Esta dificultad es debida a que el contenido natural de los metales en el sedimento puede variar dependiendo de la mineralogía, contenido de materia orgánica y distribución del tamaño del grano (Loring, 1991; Fermín, 2002).

Hierro (Fe)

El hierro es uno de los metales más abundante de la naturaleza, presentándose generalmente como minerales. Este elemento es muy reactivo, especialmente en la regulación de los procesos de adsorción en los sedimentos y en agua de mar; siendo el componente principal de las partículas suspendidas, presentándose generalmente como oxihidróxidos. Las partículas de óxidos e hidróxidos de hierro están involucrados en la precipitación y adsorción de los metales trazas e influye en el comportamiento químico de éstos en el ambiente marino (Sadiq, 1992; Lohan y Bruland, 2006). La mayor parte del hierro a nivel comercial se utiliza en la industria del acero, para obtener laminas metálicas galvanizadas y electroimanes (Querelle y Cia, 2012).

La distribución espacial de hierro para el mes de febrero oscilo entre 1 147,89 y 22 319,88 mg/kg (estaciones 13 y 11 respectivamente) con promedio de 6 497,15 mg/kg (Figura 12), se observó altas concentraciones hacia la zona este del muelle y en las estaciones 16, 9 y 15 con valores de, 13 148,22; 12 013,23 y 10 614,33 mg/kg respectivamente, donde las partículas limosas y la materia orgánica en el sedimento favorecen la retención del metal.

En noviembre, la concentración de hierro osciló entre 1 063,40 (estación 3) y 22 005,68 mg/kg (estación 14) con promedio de 7 160,72 mg/kg. En la Figura

13, se observó que valores altos de hierro también fueron encontrados en las estaciones 4 (9 236,02 mg/kg); 5 (12 181,23 mg/kg) y 13 (18 314,35 mg/kg), en la cual la presencia de los limos y la M.O influyó en el comportamiento de este metal, igual que en el periodo anterior.

Las mayores concentraciones estuvieron relacionadas con el período de precipitaciones donde los ríos y escorrentías continentales pueden ser la vía de transporte de hierro hacia los ambientes marinos (Wells y Mayer, 1991), además de las actividades antropogénicas que pueden ser una fuente de origen del metal en el mar, sin embargo, Hyun *et al.* (2006) señala que altas concentraciones de hierro son normales en algunas áreas, especialmente las influenciadas por las industrias.

El análisis de varianza señaló que no hubo diferencia significativa entre ambos meses de muestreos (0,4365; $P < 0,05$) y entre estaciones (0,7036; $P < 0,05$) con respecto a las concentraciones promedio de hierro total.

Martín *et al.* (1993), indicaron que la remoción de hierro a bajas salinidades ocurre por la floculación y precipitación de los oxihidróxidos coloidales debido a los cambios en el pH y la fuerza iónica, en tal sentido, las altas concentraciones de Fe pueden estar provocando la precipitación del metal hacia los sedimentos en forma de óxidos o hidróxidos. Según Bonilla *et al.* (2003), afirman que altas concentraciones de hierro encontradas en la ensenada Grande del Obispo se relaciona con sedimentos de granos más finos, así como el favorecimiento de procesos de floculación del metal, presentando cargas iónicas negativas que ayudan a la captación y acumulación de otros metales presentes en el ambiente.

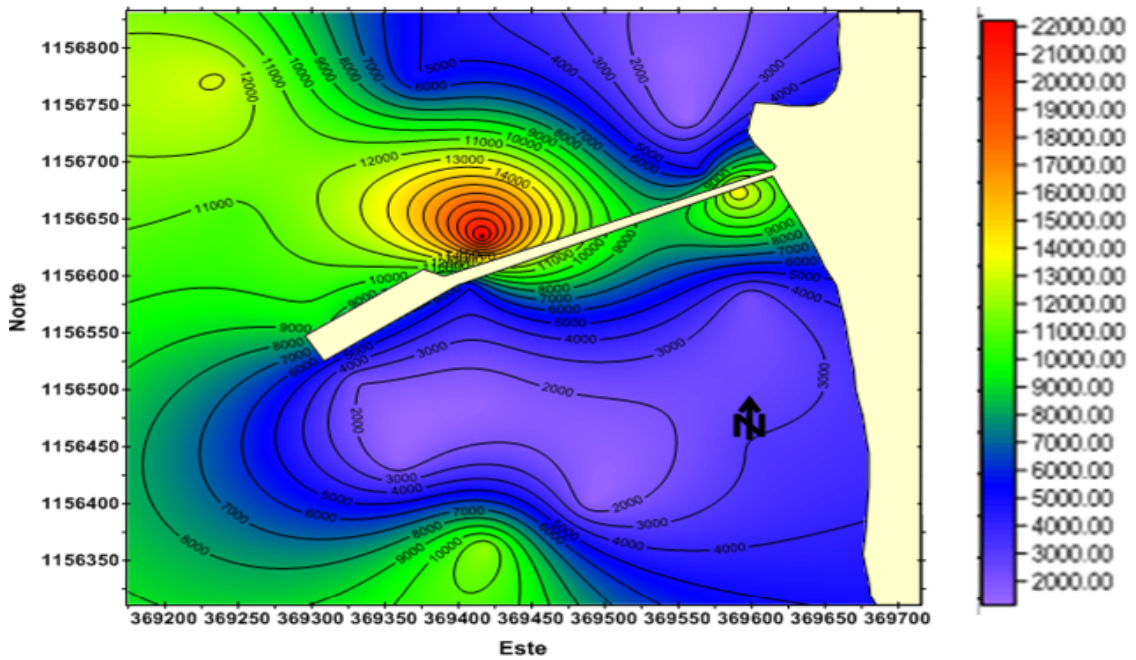


Figura 12. Distribución espacial de hierro total (mg/ kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.

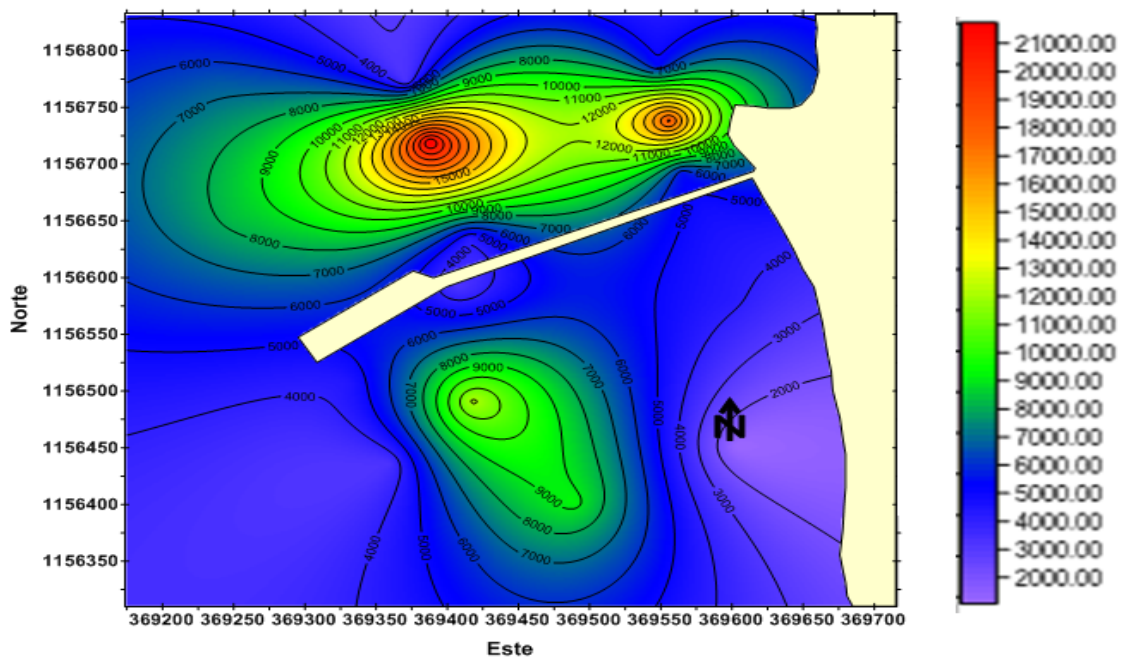


Figura 13. Distribución espacial de hierro total (mg/ kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.

Rodríguez (2007) reportó valores comparables y muy similares con los obtenidos en el presente trabajo, en la región marino-costera de Cumaná, con un promedio mayor en agosto de 12,02 mg/kg, correspondiente a la época de lluvia y menor en marzo de 7,19 mg/kg (época de sequía), relacionadas para ambos muestreos con sedimentos superficiales ricos en limos. De igual manera Marval (2008) en sedimentos del golfo de Cariaco señaló valores entre 0,46 y 20 mg/kg, con promedio de 10,06 mg/kg relacionadas con alto contenido de partículas finas.

Velásquez (2005) relacionó las mayores concentraciones de hierro en la costa norte, centro y occidente del Golfo de Cariaco con la presencia de sedimentos limo-arcillosos, los cuales favorecen la retención de este elemento y para el sector oriental, con los procesos biogénicos y de corrosión que ocurren en el ambiente natural.

Aguilera (2005) reportó para la bahía este y oeste del Morro de Puerto Santo promedios de 7 317,42 y 29 794,0 mg/kg respectivamente, influenciada por el aporte antropogénico presente en la zona. Por su parte, Moya (2010) determinó un promedio total de Fe para el sector oriental del Golfo de Cariaco de 12 613 mg/kg relacionada a sedimento areno-limoso y limo-arenoso, los cuales favorecen la adsorción de este elemento en el sedimento.

Por otro lado valores muy bajos fueron reportados por González- Lozano (2006) en sedimentos del área portuaria y zona costera de salina Cruz, Oxaca- México, con concentraciones que oscilaron entre 2,5 y 0,5 mg/kg relacionándolo con los sedimentos arenosos.

Fermín (2002) señaló un promedio de 15 600 mg/kg en la Laguna de Unare

con las mayores concentraciones en el centro de la misma. Bonilla *et al.* (2003) indicó la existencia de estaciones en la Ensenada Grande del Obispo con bajo contenido de hierro que corresponden con el tipo de grano grueso y la baja tasa de sedimentación, lo cual puede ser producto de bajos valores de pH que disuelven la fase particulada del metal y por desorción vuelve a la columna de agua.

El fraccionamiento de hierro en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre para el mes de febrero (Figura 14) indicó que existe una mayor asociación con la FR, en la que varió de 1 137,50 y 22 309,45 mg/kg, promedio de 6 488,32 mg/kg que equivale a 99,86% del total del metal. Para la FB se detectaron valores de hierro comprendidos entre 5,90 y 11,83 mg/kg, concentración promedio de 8,83 mg/kg, correspondiente a 0,14% del hierro total en la zona.

En el mes de noviembre (Figura 15), las concentraciones de hierro residual fluctuaron entre 1 049,80 y 21 990,02 mg/kg, media de 7 147,46 mg/kg que representa el 99,81% del total. Los valores para la FB estuvieron comprendidos entre 4,01 y 21,04 mg/kg, que promediaron 13,27 mg/kg, lo que es igual al 0,19% del hierro total.

Los resultados indican una clara superioridad del hierro asociado a la fracción residual sobre la fracción que se asocia a los intercambiables. Esto demuestra que casi todo el hierro presente en la región marino-costera de Puertos de Sucre, es de origen litogénico, lo cual no es extraño ya que este metal es abundante en la corteza terrestre, aunque también podría estar asociado con la materia orgánica. Esta tendencia en el comportamiento geoquímico del hierro ha sido expuesta en otros estudios de fraccionamiento aplicado a los sedimentos. Rodríguez (2007) determinó en la región marino-

costera de Cumaná un mayor porcentaje para la fracción residual en marzo (97,00%) y agosto (96,89%) asociada a la matriz mineralógica.

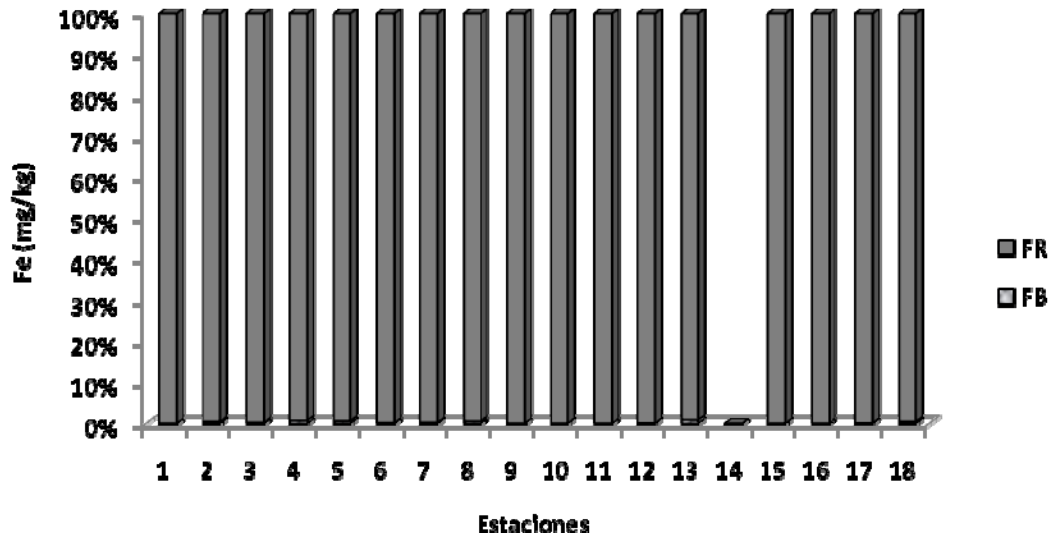


Figura 14. Fraccionamiento de hierro en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.

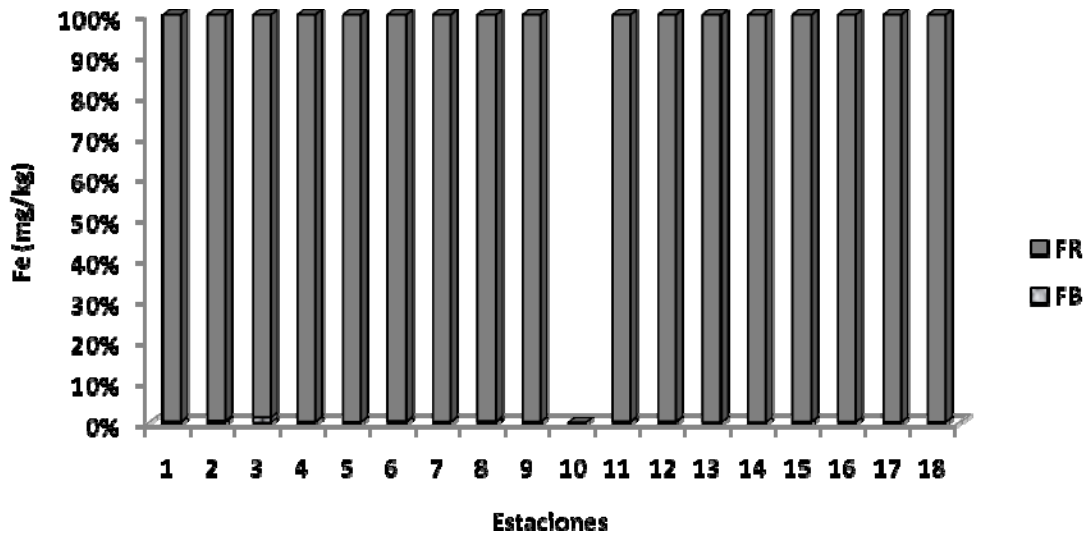


Figura 15. Fraccionamiento de hierro en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.

Aguilera (2005), reportó para la bahía este y oeste del Morro de Puerto Santo, altos porcentajes correspondiente a la fracción residual con valores de 89,2% y 82,3% respectivamente, lo cual indica que el Fe es de origen litogénico, con respecto a la fracción intercambiable no se detectó el metal. Marval (2008) señaló un 56,16% de hierro asociado a la fracción residual en sedimentos del Golfo de Cariaco indicando un origen litogénico y un 53,58% asociado a oxihidróxidos de Fe y Mn, pudiendo estar relacionado a los procesos biogénicos y de corrosión que se efectúan en ambientes naturales produciendo óxidos de hierro y manganeso, los cuales pueden ser incorporados a los sedimentos marinos, así los metales pesados, pueden adsorberse en la superficie de estos óxidos y/o coprecipitar con ellos.

Fermín (2002) señaló un 90,08% de Fe en la fracción residual con un promedio de 14 000 mg/kg y valores indetectables en la fracción intercambiable, en los sedimentos de la Laguna de Unare. Por su parte Moya (2010) obtuvo un 20,86% asociada a la fracción litogénica y un 62,36% relacionada a la materia orgánica presente en sedimentos de la zona oriental del golfo de Cariaco. Las altas concentraciones de hierro son normales en las áreas costeras y estuarinos, especialmente por encontrarse en grandes proporciones en la corteza terrestre (Fermín, 2002).

Los resultados de este estudio y los de otros autores señalan que la mayor concentración de hierro se encuentra relacionada a la fase residual y esto se debe a que grandes cantidades de este metal se han encontrado asociadas a cristales de minerales que conforman las partículas del sedimento. Valores elevados de hierro coinciden con la presencia de caolinita y clorita, originadas mediante la transformación natural que experimentan ciertos minerales (Marval, 2008).

Manganeso (Mn)

El manganeso puro es un elemento metálico duro, quebradizo, plateado que se encuentra en tres formas polimórficas (beta, alfa y gamma) y tiene su estructura cristalina compleja. El Mn junto con el Fe es probablemente uno de los metales más importantes en la dinámica de las aguas naturales. Es un metal esencial en el metabolismo enzimático de muchas especies (Viarengo, 1985). Entre las aleaciones no ferrosas de manganeso se encuentran el bronce de manganeso (compuesto Mn, Cu, Sn y Zn), 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 Mn, Cu y Ni), usada en forma de cables para mediciones eléctricas de alta precisión, dado que su conductividad eléctrica casi no varía con la temperatura (Moore y Ramammorthy, 1984).

La Figura 16, muestra la distribución espacial del contenido total de manganeso en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná. Para el mes de febrero, los valores fueron 4,13 (estación 1) y 25,54 mg/kg (estación 15), con una media de 14,77 mg/kg. Las mayores concentraciones de Mn corresponden a la zona oeste del muelle con valores que alcanzaron 20,67 mg/kg (estación 3); 23,72 mg/kg (estación 9) y 22,90 mg/kg (estación 11), durante este periodo las altas concentraciones de Mn se asocian a las partículas limosas de los sedimentos.

Para el mes de noviembre las máximas concentraciones de manganeso se encontraron localizadas igualmente en la zona oeste del muelle (Figura 17), Los valores de este metal variaron entre 4,41 (estación 18) y 20,74 mg/kg (estación 7) con promedio de 13,25 mg/kg. En las estaciones 4 (18,22

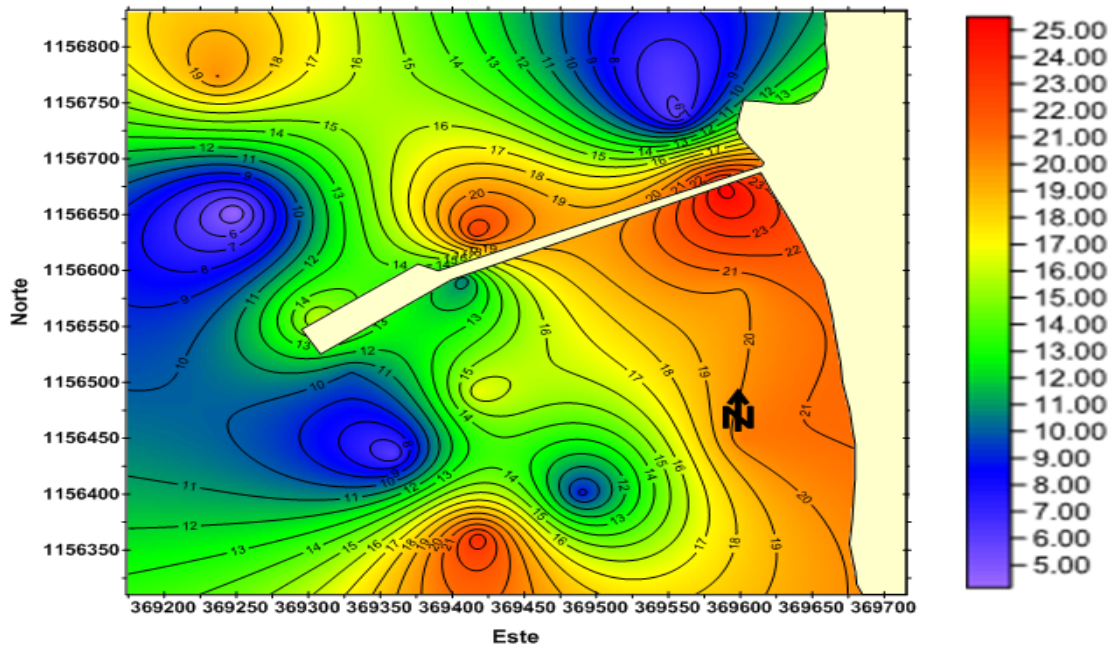


Figura 16. Distribución espacial de manganeso total (mg/kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.

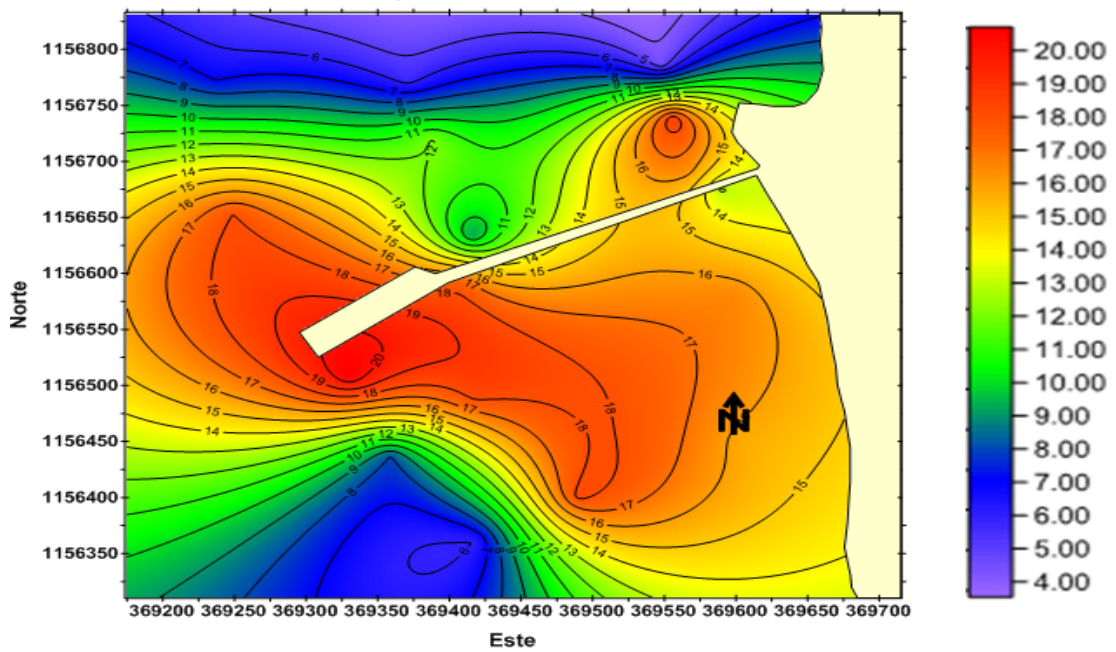


Figura 17. Distribución espacial de manganeso total (mg/kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.

mg/kg), 5 (18,3 mg/kg) y 13 (18,64 mg/kg) se encontraron concentraciones elevadas con una distribución asociada a los carbonatos y materia orgánica en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre.

El análisis de varianza, demostró que no existieron diferencias significativas entre meses y estaciones (0,1486; $P < 0,05$ y 0,5095; $P < 0,05$ respectivamente) con respecto a los promedios de las concentraciones de manganeso total.

Marval (2008), señaló que la distribución geoquímica de manganeso en el golfo de Cariaco está altamente influenciada por las fluctuaciones de los procesos redox. La ocurrencia de grandes cantidades de nódulos de Mn en los suelos acuáticos, indican exceso del metal de origen antrópico, precipitado y depositado en los sedimentos, debido principalmente al uso que, el hombre le da a este elemento en la manufactura del acero. La concentración de manganeso para los meses de muestreo en la región marino-costera de Puertos de Sucre es mucho menor que la reportada para sedimentos no contaminados que es de $1,1 \times 10^3$ mg/kg (Sadiq, 1992).

Altos Valores de Mn fueron reportados por Rodríguez (2007), para sedimentos de la región marino-costera de la ciudad de Cumaná, con una media de 52,42 y 39,62 mg/kg para marzo y agosto respectivamente, resultando mayor en el primer mes, este mismo comportamiento se tuvo en los resultados de este estudio siendo mayor en la época de estratificación (febrero). Por su parte Marval (2008), señaló un promedio de 18,30 mg/kg para sedimentos del golfo de Cariaco y lo relacionó con la hidrodinámica del golfo. Bonilla *et al.* (2003) reportaron en la Ensenada Grande del Obispo un promedio de 49,37 mg/kg, lo cual, fue menor a lo reportado por Sadiq (1992) para sedimentos no contaminados ($1,1 \times 10^3$ mg/kg), indicando que los valores

bajos de manganeso se pudo deber al proceso de lavado y remoción del material, aunado a los procesos de dilución del metal que ocurre en la fracción sedimentaria.

Aguilera (2005) reportó una media para las bahías; este de 83,38 mg/kg y oeste de 134,73 mg/kg en sedimentos del Morro de Puerto Santo. Mudarra (2002) señaló un promedio de 17,00 mg/kg para los sedimentos de la Ensenada de Puerto Escondido y lo atribuyó al tipo de sedimento y al aporte terrígeno. Fermín (2002) obtuvo un promedio superior al de este estudio con una concentración de 516,37 mg/kg en sedimentos de la Laguna de Unare, con el máximo contenido ubicado en la región sur-occidental. Haynes y Kwan, (2002) presentaron concentraciones entre 109 y 1363 mg/kg en sedimentos del Golfo de Papua y el estrecho Torres (Nueva Guinea) respectivamente, donde sugieren que el patrón de circulación oceánica predominante en la zona favorece la distribución de los metales.

En el mes de febrero, el fraccionamiento de Mn asociado a la FB (Figura 18), presentó concentraciones de 2,03 mg/kg como valor máximo y 0,11 mg/kg como valor mínimo con un promedio de 1,00 mg/kg, equivalente a 6,76% del total de manganeso. Para la FR, la cantidad de Mn varió entre 3,09 y 23,51 mg/kg, con promedio de 13,77 mg/kg, representando esta cantidad el 93,24% del Mn total.

Para el mes de noviembre, el manganeso asociado a la FB fluctuó entre 0,06 y 1,89 mg/kg, con una concentración media de 0,98 mg/kg, representando el 7,42% de la totalidad del metal existente en la zona (Figura 19). En la FR el manganeso presentó valores entre 3,84 y 19,99 mg/kg, promedio de 12,27 mg/kg, equivalente a 92,58% del Mn total. El fraccionamiento en los sedimentos de la región marino costera de Puertos de Sucre mostró que la

forma geoquímica más importante para el manganeso fue la fase residual, indicando un origen litogénico del metal.

Diversos estudios han mostrado una similar distribución geoquímica del Mn: Villaescusa-Celaya *et al.* (1997), reportaron en sedimentos de la región fronteriza de Baja California (México) y California (EUA) que alrededor del 90% de manganeso estaba asociado con la fracción residual; y que dentro de la fase reactiva se encontró asociado principalmente con los oxihidróxidos de Fe y Mn (42%). Fermín (2002) señaló el 65,19% del total de Mn asociado a la fracción residual en la Laguna de Unare.

Sadiq (1992) señala que la presencia de Mn en muchas rocas y minerales e indica la importancia del metal en la estructura cristalina de las partículas sedimentarias, en el fondo de ríos y mares.

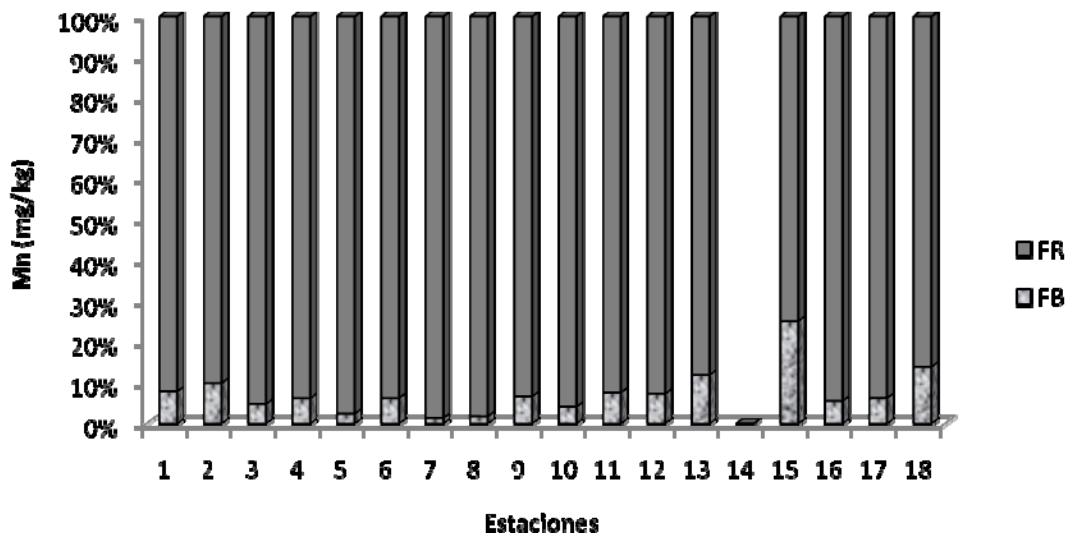


Figura 18. Fraccionamiento de manganeso en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.

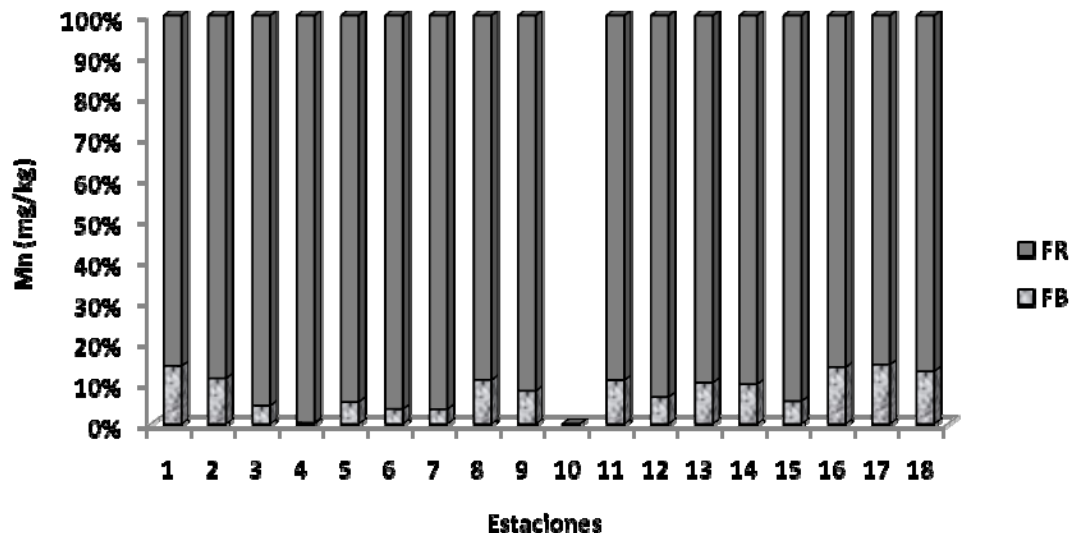


Figura 19. Fraccionamiento de manganeso en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.

Marval (2008) reportó un resultado de 24,65% del contenido total de manganeso asociada a la fracción residual, lo cual se encuentra formando parte de la estructura reticular de los componentes minerales de la fracción sedimentaria. Aguilera (2005) señaló para las bahías oeste y este del Morro de Puerto Santo, relación del metal con la fracción residual con un 66,5% y 49,9% respectivamente, indicando un origen litogénico.

Por su parte Moya (2010), señaló un 50,52% del Mn total asociada a la materia orgánica y azufre, la cual es considerada como potencialmente biodisponibles. También se encontró asociada a los carbonatos, como consecuencia de los procesos de adsorción y coprecipitación del Mn con CaCO_3 en los sedimentos superficiales del sector oriental del Golfo de Cariaco. De igual manera, Rodríguez (2007) señaló asociación del Mn con la fase biodisponible en la región marino-costera de Cumaná para marzo (51,45%) y agosto (52,96%), indicando la posible influencia de los efluentes industriales y domésticos descargados en la zona.

Cadmio (Cd)

El cadmio es un elemento metálico de transición que pertenece al grupo II-B de la tabla periódica, su número atómico es 48 y su masa atómica relativa 112,44. El cadmio en su forma elemental es un metal blanco plateado, dúctil y maleable. Representa el 1,5 al 10,5 % en peso de la corteza terrestre, encontrándose ampliamente distribuido en la misma. Se encuentra en forma isomorfa en casi todos los yacimientos de zinc (que constituye el 95% de la producción de cadmio), y en los minerales de cobre y plomo, además se encuentra en la naturaleza formando compuestos con óxidos, sulfuros y carbonatos (Martorell, 2010).

La Figura 20, muestra la distribución espacial del cadmio en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná, durante el mes de febrero. El contenido de cadmio total osciló entre 0,01 mg/kg (estaciones 5, 6 y 9) y 1,59 mg/kg (estación 1) con promedio de 0,50 mg/kg. Las estaciones 11, 15 y 16 correspondiente a la zona este del muelle presentaron valores altos (0,9 mg/kg, 0,98 mg/kg y 1,39 mg/kg, respectivamente), señalando la posible influencia que puede ejercer la descarga del río Manzanares y aguas de escorrentías aledañas a la zona de estudio, además del uso de sustancias corrosivas ricas en cadmio, zinc y cromo, que se emplean en el puerto para el mantenimiento de las embarcaciones.

Sin embargo, para el mes de noviembre, la presencia de cadmio total disminuyó, variando de, no detectado (ND) a 1,30 mg/kg (estación 5), con un promedio de 0,41 mg/kg, valores altos también se mostraron en las estaciones 4, 14 y 15 (0,84 mg/kg, 0,92 mg/kg y 1,28 mg/kg respectivamente) (Figura 21).

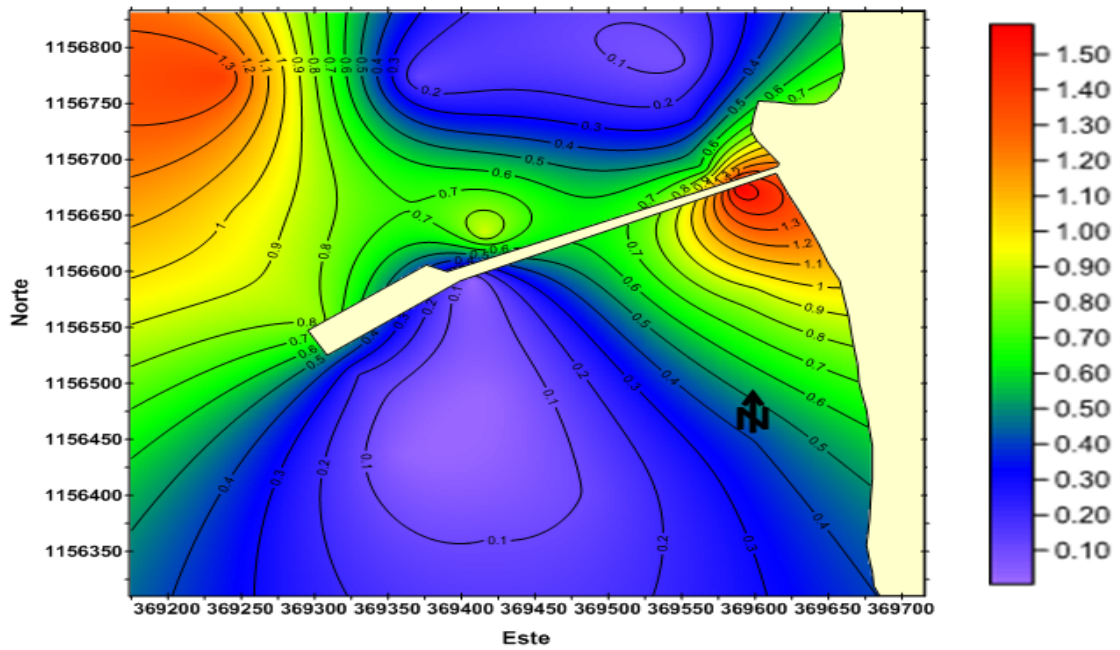


Figura 20. Distribución espacial de cadmio total (mg/kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.

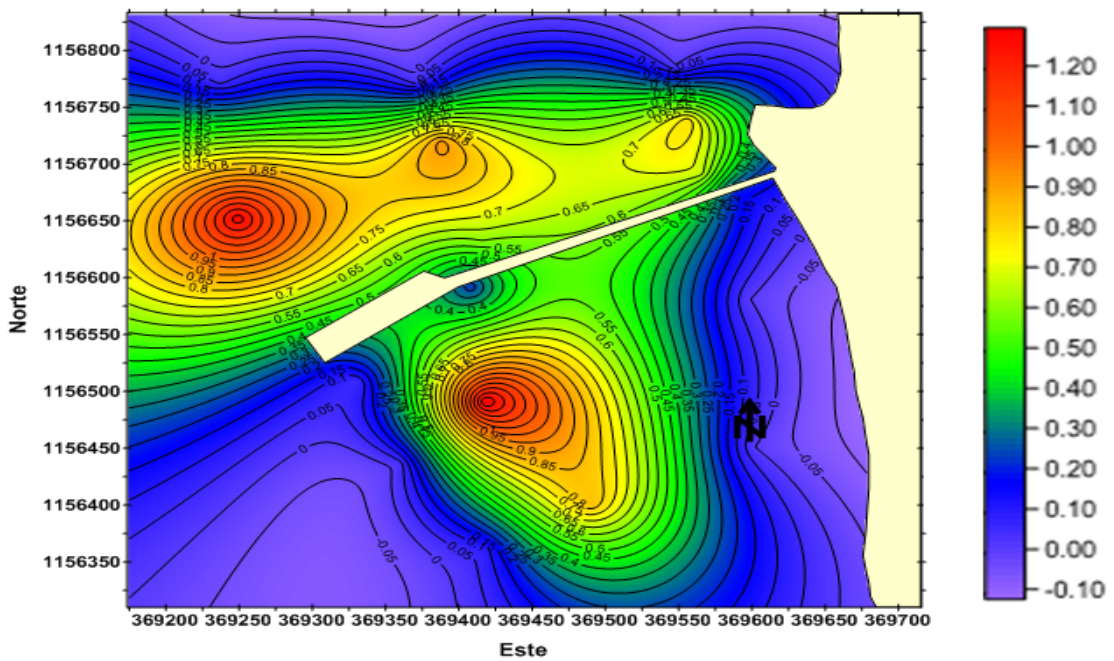


Figura 21. Distribución espacial de cadmio total (mg/kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.

En ambas épocas, estos valores de cadmio mostraron una distribución espacial equitativa en la región portuaria y se asociaron a sedimentos del tipo limoso, materia orgánica y carbonatos.

El análisis de varianza, mostró que no existieron diferencias significativas con respecto al promedio de las concentraciones totales de cadmio para ambos muestreos (0,1381; $P < 0,05$) y entre estaciones tampoco se observó diferencias significativas (0,5868; $P < 0,05$).

Es bien sabido que la composición granulométrica controla el contenido de metales pesados en una muestra, ya que éstos tienden a ser más abundantes en los sedimentos finos por su alta superficie específica, que ofrece una mayor adsorción y también por la atracción iónica de cargas negativas de las partículas arcillosas (Mc Cave, 1984; Horowitz y Elrick, 1987), lo que permitió ésta relación del contaminante y el tipo de sedimento.

Según los resultados obtenidos, la región marino-costera de Puertos de Sucre posiblemente no estaría presentando serios daños de contaminación por cadmio, según lo establecido por Sadiq (1992), para sedimentos no contaminados ya que no hubo valores promedios que excedieran el límite de 1,0 mg/kg, sin embargo, es importante resaltar que la concentración en algunas estaciones para el mes de febrero (estación 1 y 16) y para el mes de noviembre (estación 5 y 15), sobrepasa el valor antes mencionado, pudiendo estar asociado a actividades antropogénicas.

Rodríguez (2007), reportó valores por debajo de los encontrados por éste estudio, en sedimentos superficiales de la región marina-costera de Cumaná, con un promedio para el mes de marzo de 0,04 mg/kg y para el mes de agosto de 0,12 mg/kg atribuyéndolo a la relación que tienen los metales con

descargas de aguas domesticas que generalmente no son tratadas. Aguilera (2005) señaló concentraciones de 1,26 mg/kg y 1,08 mg/kg en las bahías este y oeste respectivamente del Morro de Puerto Santo, indicando que los altos valores pueden ser considerado un riesgo a la biota y a la salud humana, debido a que el Cd es uno de los metales pesados considerados como serio contaminante de los ecosistemas marinos, bien sea por su persistencia en el ambiente y habilidad para ser incorporados a la cadena alimentaria. Ponce *et al.* (2000) publicaron un valor de cadmio total de 0,23 mg/kg para sedimentos de la Bahía de Cádiz (España) y en la Bahía de Chetumal (México). Díaz *et al.* (2006) reportaron valores de Cd total entre 0,05 y 1,00 mg/kg. Abrantes *et al.* (2005) señalaron la presencia de cadmio para sedimentos superficiales en la laguna de Aveiro (Portugal) con valores menores a 0,05 mg.kg.

En el caso contrario, Marval (2008) reportó concentraciones de cadmio para sedimentos de la zona este del golfo de Cariaco con valores que oscilaron entre no detectado (ND) y 6,23 mg/kg, las concentraciones estuvieron influenciadas por el contenido de limo. Kishe y Mashiwa (2003) reportaron un promedio de 4,0 mg/kg para Cd en sedimentos superficiales del Golfo de Mwanza–Kenya, en áreas adyacentes a un puerto pesquero de la ciudad de Tanzania (África) y consideran a la descargas de desechos domésticos e industriales, incluyendo industrias procesadoras de pescados, desembocaduras de ríos y deposiciones atmosféricas como las principales fuentes contribuyentes a los niveles de metales pesados en el ambiente acuático. Aguirre-Martínez *et al.* (2009), reportaron niveles altos de cadmio con valores de: 20,03 mg/kg; 0,93 mg/kg, 2,70 mg/kg; 2,27 mg/kg; 0,47 mg/kg en los puertos: Iquique, Patache, Talcahuano, San Vicente y Coliumo (costa de Chile), respectivamente, relacionadas con zonas de sedimentos finos, reductoras y con alto contenido de materia orgánica.

Los metales acumulados en los puertos pueden corresponder a sulfuros y oxihidróxidos de muy baja solubilidad, por lo que, el riesgo mayor es la resolubilización por cambio en las condiciones físicoquímicas del medio, las que pueden ser generadas por dragado y posterior removilización del sedimento en áreas no contaminadas. Todos los valores descritos en los trabajos anteriores son superiores a las concentraciones promedio encontrados en esta investigación.

En el fraccionamiento de cadmio, se observa mayor biodisponibilidad en el mes de febrero (Figura 22), donde alcanzó en la fracción biodisponible un valor máximo de 0,60 mg/kg y un mínimo de no detectado (ND), con promedio de 0,09 mg/kg representando el 17,63%, con respecto a la fracción residual el valor máximo fue de 0,99 mg/kg y el mínimo de 0,01 mg/kg, con un promedio de 0,41 mg/kg lo que representa el 82,37% del cadmio total. En noviembre (Figura 23), la máxima biodisponibilidad de este metal fue de 0,56 mg/kg y la mínima ND, con promedio de 0,07 mg/kg que equivale al 16,69% del cadmio total con respecto a la fracción residual (FR), osciló entre ND y 0,91 mg/kg con un promedio de 0,34 mg/kg lo cual representa el 83,31% del cadmio total.

Lo antes mencionado evidencia que el cadmio estuvo principalmente asociado a la fracción residual durante los dos períodos, aunque durante el mes de febrero, es mayor la biodisponibilidad del metal, en esta última se encuentran los metales libres y/o débilmente unidos a complejos orgánicos e inorgánicos del sedimento (Carapeto y Purchase, 2000), los cuales dependiendo de los cambios iónicos del agua pueden ser movilizadas con relativa facilidad, por lo tanto puede indicar un problema de contaminación desde el punto de vista ambiental en vista de la movilidad y biodisposición del elemento.

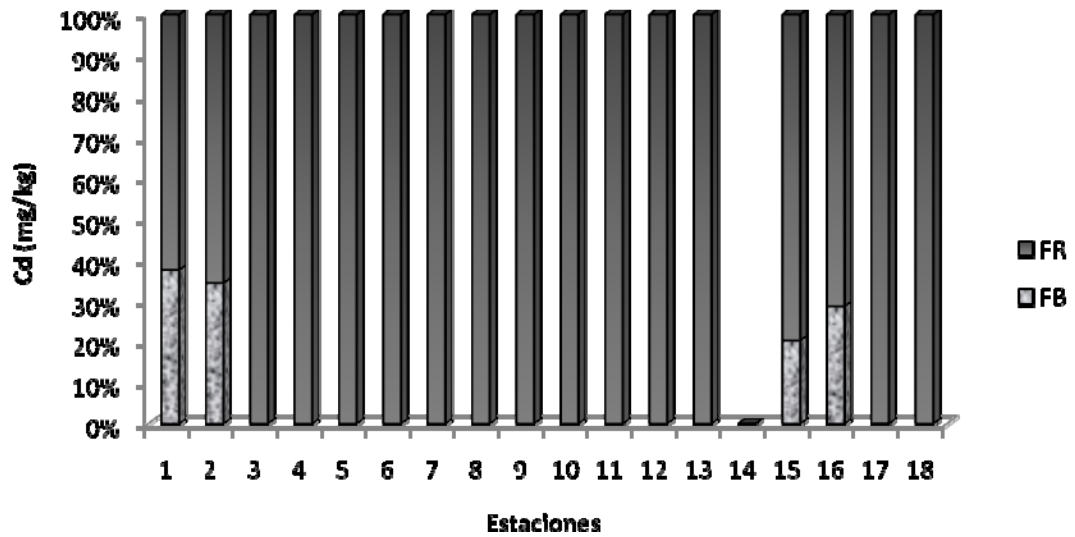


Figura 22. Fraccionamiento de cadmio en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.

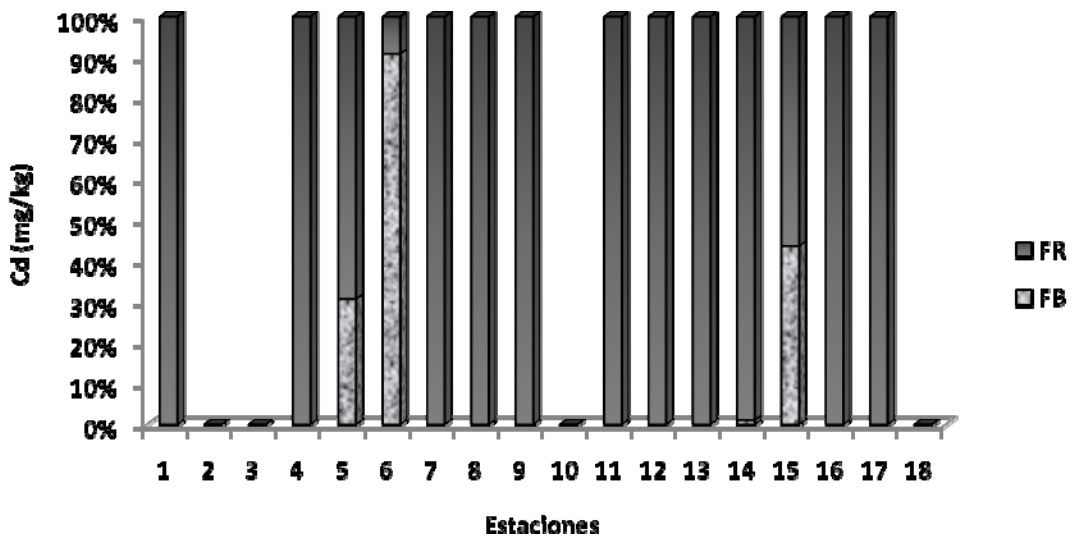


Figura 23. Fraccionamiento de cadmio en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.

Ramírez *et al.* (2005), indica que las fases intercambiables y enlazadas a la materia orgánica y sulfuros son potencialmente tóxicas debido a que el metal

es fácilmente removido y usado por los organismos. Por otro lado, estos elementos pueden ser solubilizados dependiendo de las condiciones físicas y químicas, por ejemplo cambios en el contenido de oxígeno y potencial redox, así como por la actividad bacteriana.

Valores muy similares fueron señalados por Rodríguez (2007) para sedimentos de la zona marina-costera de la ciudad de Cumaná, donde la fracción residual para el mes de marzo y agosto (0,03 mg/kg y 0,07 mg/kg respectivamente) resultó mayor que la biodisponible (0,01 mg/kg y 0,05 mg/kg).

Moya (2010), reportó valores altos para la fracción biodisponibles con promedio de 0,35 mg/ kg en comparación con los de origen litogénico (0,32 mg/kg) en sedimentos superficiales del sector oriental del golfo de Cariaco, lo que indica que pueden existir probables fuentes antrópicas como las actividades domésticas y agrícolas. López-González *et al.* (2005) señalaron que el mayor porcentaje de Cd estaba en la fracciones biodisponibles (80%) en sedimentos en la Ría de Huelva-España, contrario al comportamiento de este metal en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná. Por su parte resultados comparables a esta investigación son mostrados por Marval (2008), el cual señala un 30,6% del cadmio total relacionado con la fracción residual y 14,5 % correspondidos a la fracción intercambiable. Aguilera (2005) reportó valores de Cd mayores en la fracción asociados a carbonatos (83,2% y 50,1%) y a la residual (10,5% y 46,6%) y ND para la fracción biodisponible en las bahías este y oeste del Morro de Puerto Santo, Estado Sucre, Venezuela. García-Rico *et al.* (2004) reportaron concentraciones de cadmio mayormente asociada a la fracción residual (más de 60%) en sedimentos superficiales de zonas ostrícolas del Estado de Sonora, México.

Zinc (Zn)

El cinc es un elemento que está ampliamente distribuido en el medio ambiente, ocupa el puesto número 24 entre los elementos más abundantes de la corteza terrestre y su contenido en la litosfera está en torno a 70 mg.Kg^{-1} . Se conocen cincuenta y cinco minerales que contengan cinc, siendo los más importantes la esfalerita (ZnS), esmithsonita (ZnCO_3) y la cincita (ZnO) (Martorell, 2010). El cinc metálico se encuentra en la naturaleza, en su estado de oxidación +II es incoloro y forma gran variedad de sales; los cloratos, cloruros, sulfatos y nitratos son solubles en agua mientras que los óxidos, carbonatos, fosfatos, silicatos y sulfuros son relativamente insolubles en agua (Martorell, 2010).

Las concentraciones de zinc total para la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná en el mes de febrero estuvieron comprendidas entre 8,72 y 109,81 mg/kg (estación 13 y 1 respectivamente), valor promedio de 39,60 mg/kg (Figura 24). Los valores más altos se detectaron en las estaciones 2, 11 y 15 (98,53; 58,67 y 60, 41 mg/kg respectivamente). El Zn tuvo una distribución homogénea en ambas zonas del muelle presentando un comportamiento semejante a los limos y M.O.T, indicando la alta adsorción del metal por estas partículas. Para el mes de noviembre, los valores de cinc estuvieron alrededor de 32,58 mg/kg, con un máximo de 64,05 mg/kg (estación 13) y un mínimo de 13,93 mg/kg (estación 2) (Figura 25). Altas concentraciones se evidenciaron en las estaciones 12, 14 y 15 (52,09; 55, 61 y 48,46 mg/kg respectivamente), mostrando fuerte relación con los sedimentos finos de tipo limoso.

El análisis de varianza mostró que no hay diferencia significativa con respecto al promedio total de cinc entre los meses de muestreos (0,8574;

$P < 0,05$) y entre estaciones (0,6182; $P < 0,05$) con nivel de confianza de 95%.

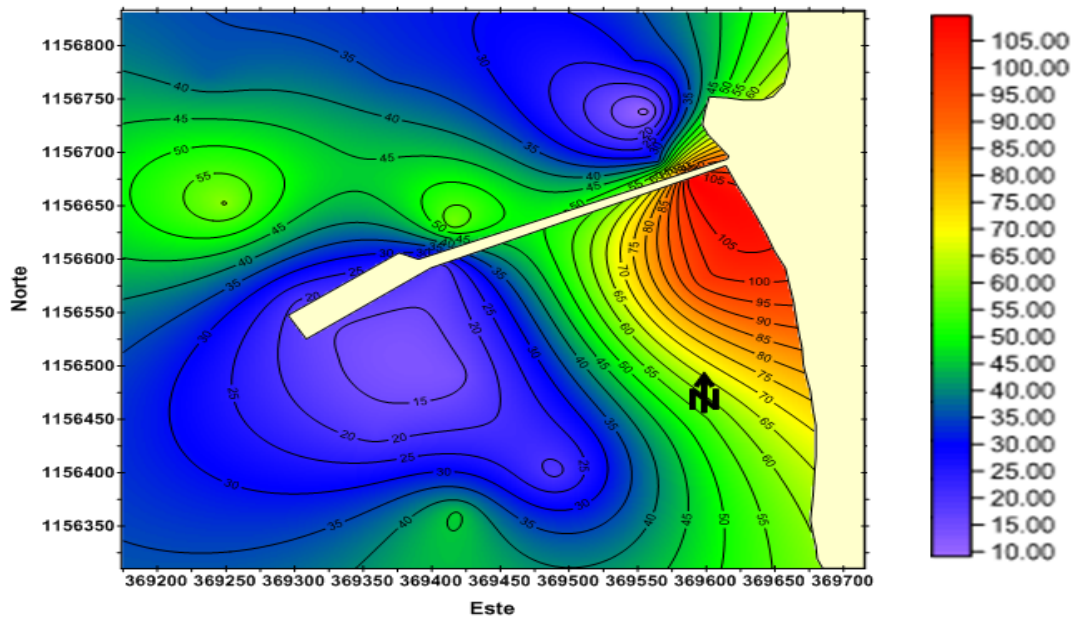


Figura 24. Distribución espacial de zinc total (mg/kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.

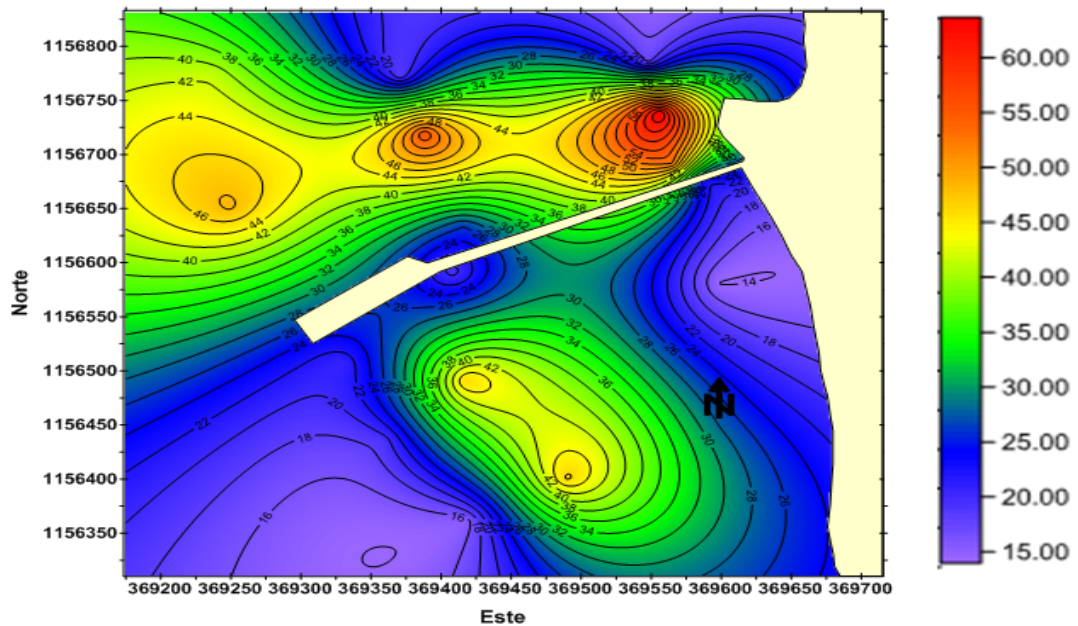


Figura 25. Distribución espacial de zinc total (mg/kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.

Los promedios obtenidos para los dos meses de muestreo están por debajo del valor de 110 mg/kg de zinc para sedimentos no contaminados (Sadiq, 1992), lo que indica que la zona posiblemente no presente contaminación por este metal, Sin embargo, hay que resaltar que la estación 1 para el mes de febrero presentó una concentración cercana a este valor, lo cual puede estar relacionado con ciertas actividades del puerto que pudieran alterar su concentración y distribución, como el atraque de embarcaciones de carga pesadas en el muelle y la actividad de talleres y astilleros, además de altos contenidos de M.O, carbonatos y arcillas.

Resultados similares a esta investigación fueron reportados por Rodríguez (2007) en sedimentos superficiales para la región marino-costera de la ciudad de Cumaná, con valores para marzo y agostos de 47,15 mg/kg y 77,82 mg/kg respectivamente, indicando alta relación de este metal con sedimento de partículas fina. Aguilera (2005), señala que para los sedimentos marinos de la bahía este y oeste del Morro de Puerto Santo, los valores presenta un promedio de 84,84 y 22,06 mg/kg. Sin embargo, algunas estaciones sobrepasan los 110 mg/kg e indica que el litoral costero del morro presenta una alta actividad pesquera y de tráfico de embarcaciones marítimos y terrestres necesarios para el transporte del pescado, donde todos sus desechos son vertidos crudamente o llegan al mar a través de las aguas de escorrentías en épocas de lluvia.

Mudarra (2002) reportó un promedio de zinc total de 35,50 mg/kg para los sedimentos superficiales de la Ensenada de Puerto Escondido, valor que es inferior al reportado para sedimento no contaminado y cercano a los encontrados en el presente estudio.

Por su parte, Martínez (2002) encontró para los sedimentos superficiales del

golfo de Cariaco un valor promedio de zinc total de 57,66 mg/kg; asociados tanto a las características granulométricas del sedimento como al contenido de materia orgánica que prevalece en el área. Campos (2010), reporta valores totales de cinc que fluctuaron entre 41,08 y 102,93 mg/kg en sedimentos superficiales ligados a bosques de mangles de un sistema lagunar-estuarino en Colombia, siendo mayor en la época seca relacionada a sedimentos reducidos, ácidos, con baja salinidad y con gran contenido de materia orgánica.

Resultados con concentraciones más altas a los reportados por este estudio en el contenido total de zinc, fueron representados por los siguientes autores: Marval (2008) presentó valores con una media de 117,41 mg/kg para sedimentos superficiales del golfo de Cariaco proporcionadas en su mayor parte por las diferentes actividades humanas. Moya (2010) señaló altos valores en el sector oriental del golfo de Cariaco con un valor máximo de 112,19 mg/kg en sedimentos cercanos al desagüe de la industria camaronera “Aquacam” frente a la zona de Guacarapo. Fermín (2002) obtuvo una media de 127,49 mg/kg en la zona central y occidental de la Laguna de Unare con una distribución similar a la presentada por el cadmio y cobre.

González-Lozano *et al.* (2006) encontró altas concentraciones de zinc (469,7; 597,4 y 423 mg/kg) en algunos sitios puntuales de la salina de Cruz, México, influenciadas por las aguas residuales, explotación minera y fundición, así como las actividades de la refinación, la combustión de madera, incineración de desechos y otras emisiones atmosféricas.

Kishe y Machiwa (2003) demostraron que existió contaminación en algunos puntos de muestreos con niveles de Zn de 244,7 y 254,4 mg/kg en muestras de sedimentos adyacentes al área costera de la ciudad de Mwanza, Kenya,

señalando a los desagües domésticos, descargas industriales y al río Mirongo, que viertes sus aguas en el Golfo de Mwanza. Ponce *et al.* (2000) indicaron que los máximos valores de Zn (230 $\mu\text{g/g}$) en sedimentos de la Bahía de Cádiz (España) estaban relacionados con la presencias de industrias del sector naval. Para sedimentos de la laguna de Aveiro (Portugal), Rocha *et al.* (2005) registraron altos valores en la plataforma interna y media (175 y 145 mg/kg respectivamente), frente a la boca del río de Aveiro, relacionada con la presencia de limo y arcilla. Todos estos valores antes citados sobrepasan el contenido reportado en el presente estudio.

El comportamiento del fraccionamiento de Zn para el mes de febrero (Figura 26) muestra que la FB registró un valor mínimo de 2,64 mg/kg y un valor máximo de 35,92 mg/kg, promedio de 11,59 mg/kg, correspondiendo a un 29,27% del total de cinc en la zona. La FR presentó valores entre 6,01 y 73,89 mg/kg, valor medio de 28,01 y esta cantidad equivale a 70,73%. Para el mes de noviembre (Figura 27) el fraccionamiento indica que la FB registró concentraciones de cinc comprendidas entre 1,07 mg/kg, como mínimo y 19,99 mg/kg, como máximo, promedio de 8,11 mg/kg, equivalente a 24,88% del total para este periodo. En la FR los valores fluctuaron entre 11,32 y 48,87 mg/kg, promedio de 24,47 mg/kg, lo que significa el 75,12% de la concentración de Zn total.

Lo antes descrito demuestra que el zinc está asociado mayormente a la fracción residual, indicando que la proporción del metal existente en Puertos de Sucre, puede ser de origen litogénico. A pesar de que se observó para el mes de febrero mayor biodisponibilidad de zinc con respecto a noviembre, lo cual podría indicar la existencia de alguna fuente antropogénica en la zona o procesos de oxido reducción que podrían estar liberando al metal al medio. Martínez (2006), indica que el Zn en los sistemas marinos se encuentra como

un ion positivo y por ende, tiende a unirse a las superficies cargadas negativamente como son; las arcillas y oxihidróxidos de Fe y Mn.

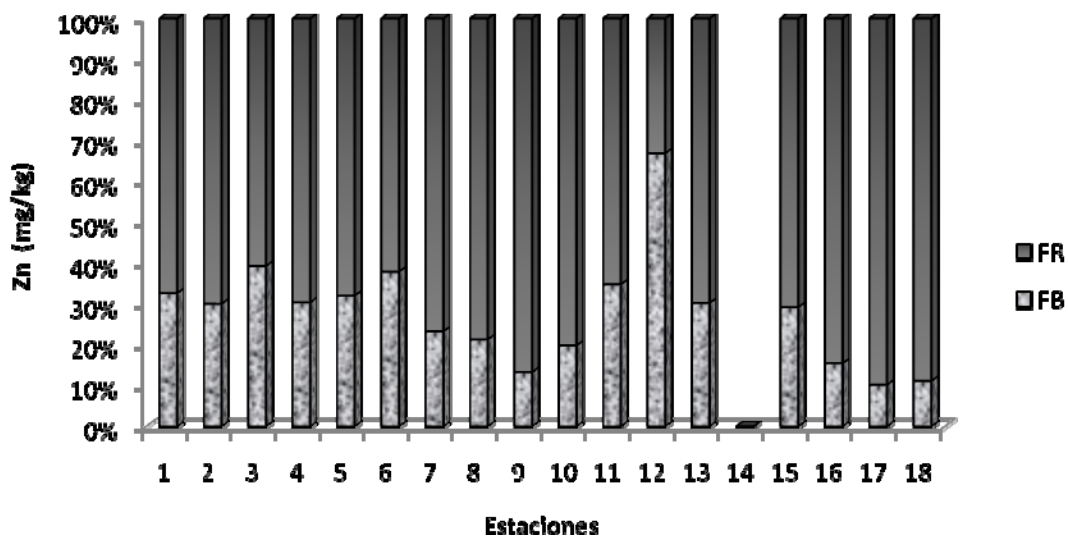


Figura 26. Fraccionamiento de zinc en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de sucre, Cumaná para febrero 2010.

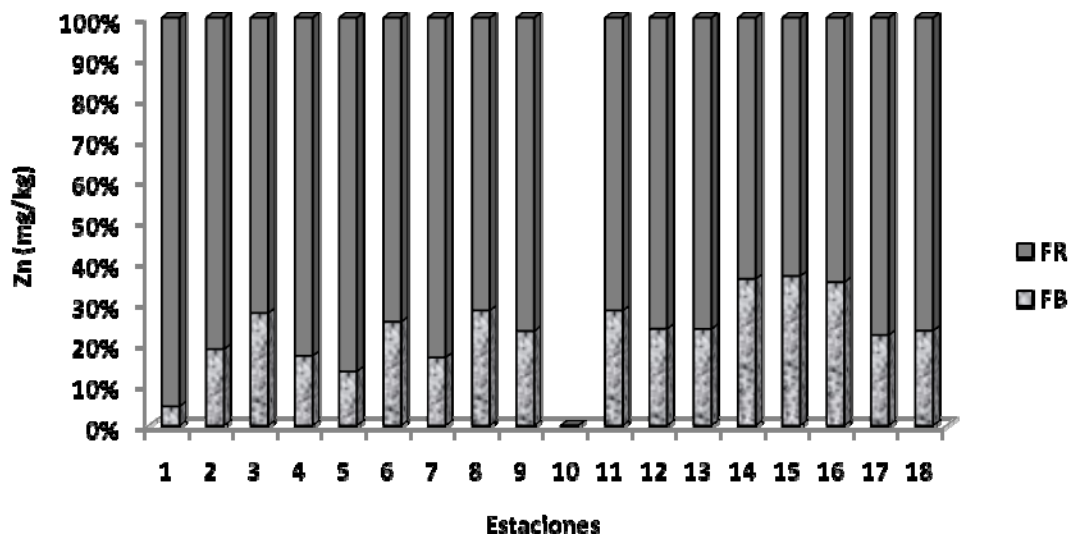


Figura 27. Fraccionamiento de zinc en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de sucre, Cumaná para noviembre 2010.

Rodríguez (2007) reportó resultados similares a este estudio con una media para la fracción biodisponible de 21,74 mg/kg (marzo) y 25,18 mg/kg (agosto) y para la fracción residual de 25,41 mg/kg (marzo) y 52,6 mg/kg (agosto), indicando que es de origen litogénica. Marval (2008) reportó altos valores en la fracción residual que oscilan entre 3,47 y 148,11mg/kg con 28,72% del contenido total del zinc. Aguilera (2005) indicó altas concentraciones en la fracción residual representando un 71,5% para la bahía oeste y un 64,0% para la bahía este del Morro de Puerto Santo, lo que indica un origen litogénico del metal o que ésta porción forma parte de la red cristalina de los minerales sedimentarios por lo que se le considera química y biológicamente estable e inerte.

Fermín (2002) reportó para sedimentos superficiales de la Laguna de Unare una media de 124,54 µg/g la cual corresponde al 97,69% del total de cinc, indicando que casi todo el metal existente en la laguna es de origen litogénico y fue adicionado a la matriz sedimentaria durante la diagénesis temprana, y por tanto no está biodisponible. Chen *et al.* (2000) señalaron que la concentración de metales traza en la fracción residual depende principalmente del grado de desintegración de los minerales primarios en los sedimentos. Sin embargo, Velásquez (2005) reportó la mayor cantidad de Zn asociado a las fracciones biodisponibles en el sector oriental del golfo de Cariaco. López-González *et al.* (2005) publicaron un porcentaje de biodisponibilidad de Zn (50%) para los sedimentos de la Ría de Huelva (España).

Plomo (Pb)

El plomo representa aproximadamente el 0,002% de la corteza de la tierra y es el elemento más abundante entre los metales pesados con número

atómico mayor a 60. Aunque hay más de 200 minerales de plomo, sus minerales más importantes son la galena (PbS), la cerusita (PbCO_3), la crocoita (PbCrO_4) y la piromorfita ($\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$). Pertenece al grupo IV-A de la tabla periódica y presenta dos estados de oxidación +II y +IV (Martorrel, 2010). Las principales causas naturales de movilización de plomo desde la corteza terrestre la constituyen las erupciones volcánicas y la meteorización de las rocas, los compuestos insolubles de plomo se hunden y se adsorben en los sedimentos o bien se adhieren en las partículas en suspensión (especialmente partículas de arcilla), funcionando éstas como secuestrante de compuestos de plomo (Martorrel, 2010).

La Figura 28, muestra la distribución de plomo en la región marino-costera de Puertos de Sucre, para el mes de febrero. Durante este período las concentraciones detectadas variaron entre 1,13 mg/kg (estación 6) y 9,88 mg/kg (estación 1), media de 4,38 mg/kg. Estaciones como la 2 (6,96 mg/kg); 15 (5,74 mg/kg) y 16 (5,77 mg/kg) presentaron altos valores, la mayor concentración de Pb se ubica en la zona este del muelle y se relacionan con las partículas finas de sedimentos, como son los limos y la presencia de M.O.T.

Para el mes de noviembre (Figura 29) los valores detectados fluctuaron entre 0,20 mg/kg (estación 9) y 6,38 mg/kg (estación 4), promedio de 3,87 mg/kg. Las estaciones 5, 7 y 13 presentaron valores considerables (6,14; 5,94 y 6,33 mg/kg, respectivamente). Las máximas concentraciones detectadas se ubicaron hacia la parte oeste y presentaron asociación con los sedimentos de textura fina, M.O.T y carbonatos.

El análisis de varianza mostró que no hay diferencia significativa con respecto al promedio total de cinc entre los meses de muestreos (0,9660;

$P < 0,05$) y entre estaciones (0,6460; $P < 0,05$).

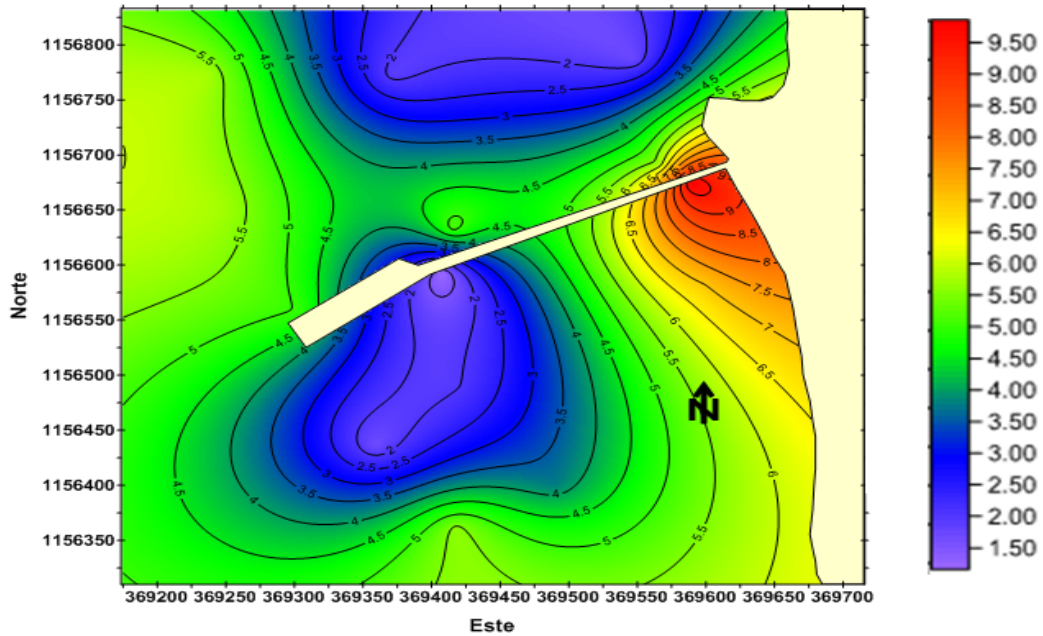


Figura 28. Distribución espacial de plomo total (mg/kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.

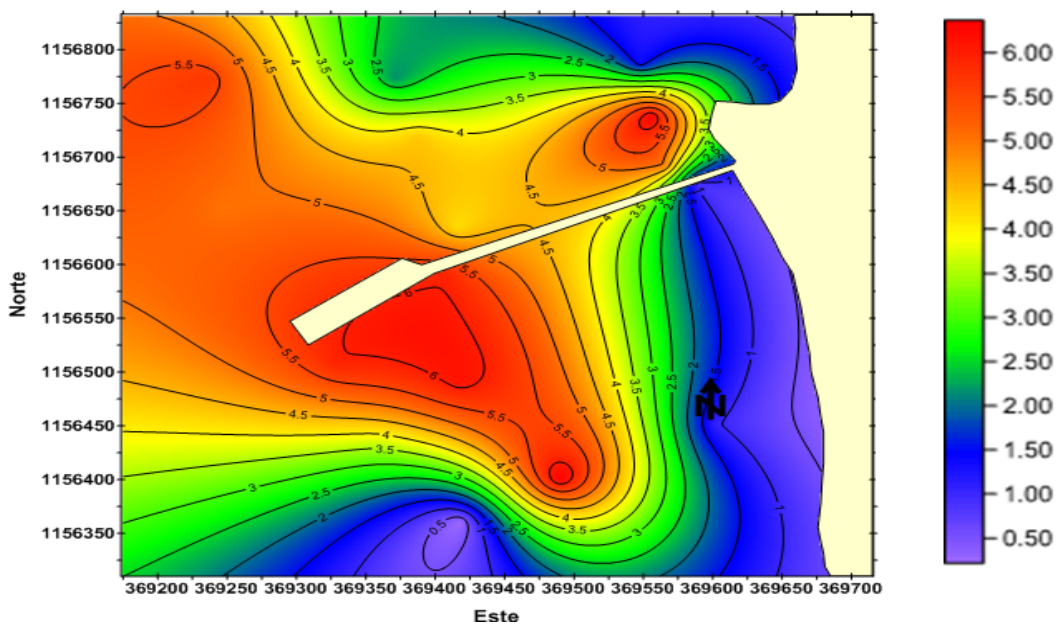


Figura 29. Distribución espacial de plomo total (mg/kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.

En ambas épocas se presentaron estaciones con altas concentraciones del metal, sobrepasando la cantidad de 5 mg/kg la cual establece Sadiq (1992) como valor límite para sedimentos no contaminado, indicando que puede existir una degradación de la calidad de los sedimentos en algunos puntos de muestreos del litoral costero de la zona de Puertos de Sucre por Pb, la cual podría estar influenciada por el tráfico de embarcaciones.

Otros factores que pueden estar influyendo en la distribución del contenido de plomo es el uso de pinturas anticorrosivas en las embarcaciones, soldaduras, y los aportes de aguas de escorrentías. Es importante señalar la presencia de un astillero el cual puede ser un factor importante de suministro de Pb, Cu, Cr y Cd para el área estudiada (Aguirre-Martinez *et al.*, 2009).

Valores mayores de plomo a los obtenidos en este estudio han sido encontrados en las siguientes investigaciones: Rodríguez (2007) reportó valores altos de plomo para sedimentos de la zona marino-costera de la ciudad de Cumaná en el mes de agosto con un promedio de 5,36 µg/g relacionados con la alta presencia de limos y arcillas. Marval (2008) indicó un promedio de 10,32 µg/g en sedimentos del Golfo de Cariaco coincidiendo con el mayor porcentaje de limo y la gran actividad antropogénica presente en el área. Aguirre-Martínez *et al* (2009) indicaron valores de 370; 3,97; 50,50; 68,07; 16,62 y 20 mg/kg en los puertos de Iquique, Patache, Talcahuano, San Vicente y Coliumo, respectivamente de la costa chilena, asociada a la actividad metalúrgica y de producción de plástico y pinturas. En la zona costera de Salina Cruz (México) se reportaron valores de Pb (36,6 mg/kg) que, según González-Lozano *et al.* (2006), reflejaron la introducción continua y a veces masiva de aguas residuales, así como las emisiones atmosféricas provenientes de las áreas urbanas e industriales.

De igual manera, Ponce *et al.* (2000) reportaron valores altos de plomo (69,6 mg/kg) en zonas afectadas por los vertidos de tipo urbano. Fermín (2002) señaló una media de 29 mg/kg en sedimentos de la laguna de Unare con valores altos en la zona central y occidental. Aguilera (2005) indica un promedio para el Morro de Puerto Santo de 16,16 mg/kg (bahía oeste) y 2,37 mg/kg (bahía este), pudiendo estar influenciado por la contribución del tráfico marítimo y anclaje de embarcaciones pesqueras de diferentes calados, las cuales usan gasolina para sus motores centrales y fuera de borda, además de la existencia de un muelle de suministro de gasolina y de otros combustibles. Abrantes *et al.* (2005) determinó altos valores de Pb en sedimentos de la laguna de Aveiro (Portugal) relacionadas a partículas de limos y arcillas y también a coprecipitados en oxihidróxidos de Fe y Mn, precipitados en los niveles más superficiales de los sedimentos. Por su parte, Qari *et al.* (2005) reportaron valores de plomo total (0,084 mg/kg) muy inferiores a los señalados para la región marino-costera de Puertos de Sucre.

El fraccionamiento de plomo para el mes de febrero (Figura 30) indica que para la FB el promedio registrado fue de 1,08 mg/kg, representando 24,76% del total, con un valor mínimo de 0,21 y un máximo de 4,54 mg/kg. La FR presentó un promedio de 3,29 mg/kg, lo que equivale al 75,24%, con un mínimo de 0,28 y un máximo de 5,34 mg/kg. Para el mes de noviembre (Figura 31), la FB registró valores comprendidos entre ND y 2,12 mg/kg, promedio de 0,77 mg/kg, que significa 20,03% de la concentración total de plomo. En la FR, los valores oscilaron entre 0,20 y 5,14 mg/kg, promedio de 3,09, que comprende 79,97% del plomo total.

Estos resultados indican que en ésta área existe una asociación del plomo con la fracción residual, y en menor proporción se asocia a la fracción

biodisponible, que comprende la fase intercambiable y asociada a materia orgánica, carbonatos, oxihidróxidos de hierro y manganeso.

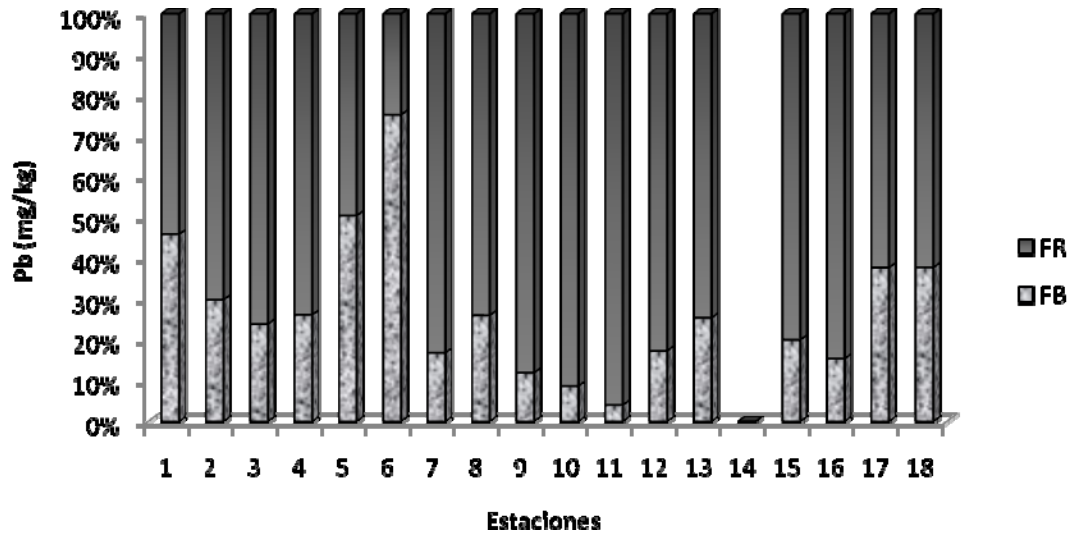


Figura 30. Fraccionamiento de plomo en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.

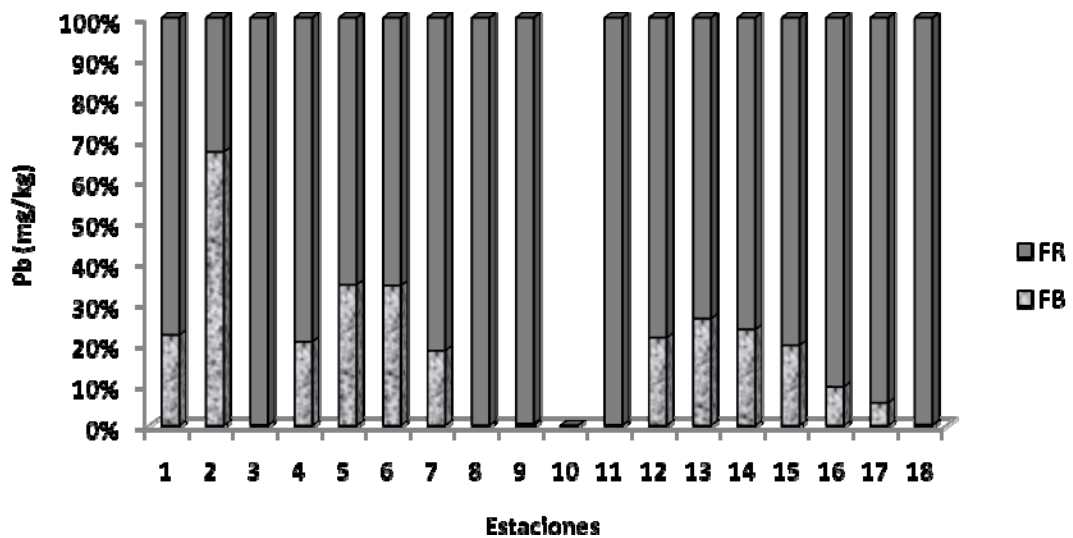


Figura 31. Fraccionamiento de plomo en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.

La estación 1, la cual es la más cercana a la costa, correspondiente a la FB en el mes de febrero, tuvo un valor de 4,54 mg/kg muy cercano al límite para sedimentos no contaminados establecido por Sadiq (1992), lo que indica que puede existir un claro aporte antropogénico de plomo hacia la región marino costera de Puertos de Sucre, el cual podría estar asociado al uso de pinturas, materiales de construcción y otros enseres que contengan plomo.

Por ser un elemento considerado como un contaminante altamente tóxico, que acarrea graves consecuencias a los humanos, se hace necesario el monitoreo constante de este metal. Rodríguez (2007) señaló que el contenido de Pb estaba asociado a la fracción residual para marzo y agosto con promedios de 3,79 y 3,93 mg/kg. Marval (2008) no señaló valores para la fracción biodisponibles y residual, sin embargo, para la fracción ligada a oxihidróxidos de Fe y Mn señaló un 61% del Pb total, reportes hechos por Sadiq (1992) indican que tanto en ríos como en mares, los oxihidróxidos de hierro constituyen una “carga eléctrica activa” que origina la adsorción del metal en fase sólida en los ecosistemas marinos.

Aguilera (2005) señaló que para sedimentos de la bahía este del Morro de Puerto Santo no se detectó Pb en la fracción biodisponible, sin embargo, para la bahía oeste la fracción biodisponible tuvo una media de 0,93 mg/kg, por otra parte los valores para la fracción residual oscilaron entre 13,67 y 1,29 mg/kg respectivamente.

Velásquez (2005) señaló que la mayor cantidad de plomo estaba asociada a los oxihidróxidos de Fe y Mn, posiblemente por la carga iónica que atrae al metal. Fermín (2002) registró valores altos asociados a la FR representando un 67,22% del Pb total. López-González *et al.* (2005) reportaron más del 60% de plomo asociado a la fracción residual, mientras que García-Rico *et al.*

(2004) señalaron más del 70% de Pb asociado a la fracción residual en sedimentos del Estado de Sonora (México). Sin embargo, Campos (2010) Indicó valores altos para la fracción biodisponible de Pb, en comparación con este estudio, con un valor de 7,79 mg/kg en sedimentos superficiales asociados a bosques de mangle en un sistema deltaico-estuarino de Colombia, relacionadas con mayor contenido de materia orgánica, limo y arcillas.

Cobre (Cu)

El cobre es un metal de transición que pertenece al grupo I-B de la tabla periódica. Es un metal maleable, dúctil con una muy buena conductividad al calor y la electricidad (Bradl *et al.*, 2005).

Presenta tres estados de oxidación 0, +I, +II. Es un elemento relativamente abundante en la corteza terrestre y moderadamente soluble, ocupando el puesto 26 en el ranking de abundancia en la corteza de la tierra detrás del Zn. El cobre aparece en una gran variedad de formas: sulfuros, sulfatos, carbonatos, y también como cobre elemental. La adsorción de este metal y su reparto entre los sedimentos y el compartimento acuático depende de las características adsorbentes del sedimento, las características metálicas y algunos parámetros medioambientales. El cobre es usado como buen conductor del calor y la electricidad, tuberías de agua, techos, productos químicos y farmacéuticos, pigmentos, entre otras aplicaciones (Martorrel, 2010).

Para el mes de febrero, la concentración de cobre (Figura 32) en Puertos de Sucre, varió entre 1,72 (estación 7) y 17,76 mg/kg (estación 1) con un promedio de 8,56 mg/kg. Las mayores concentraciones se encontraron hacia

la zona este y en las estaciones 2 y 9 con valores de 13,36 y 17,74 mg/kg relacionadas con altos contenidos de limos, materia orgánica, carbonato y menores concentraciones de arenas en sedimentos.

Para el mes de noviembre la distribución espacial (Figura 33) señala, que las máximas cantidades de cobre total se ubicaron hacia la zona este con concentraciones que fluctuaron entre 1,20 (estación 1) y 12,46 mg/kg (estación 12) para un valor medio de 7,46 mg/kg, mostrando al igual que en el mes de febrero, asociación con los sedimentos finos (limos) y con la materia orgánica.

El análisis de varianza reveló que no existieron diferencia significativa en las concentraciones promedio del contenido cobre total entre ambos meses y estaciones en sedimentos de Puertos de Sucre (0,7122; $P < 0,05$ y 0,7537; $P < 0,05$, respectivamente).

Los promedios registrados para ambos meses no sobrepasan el límite de 10 mg/kg para sedimentos no contaminados (Sadiq, 1992), aunque en algunas estaciones de muestreos si presentan valores mayores al antes mencionado, estas concentraciones pudieron ser provocadas por las descargas de aguas residuales, municipales y la reparación de barcos y botes en Puertos de Sucre. Gibbs y Guerra (1997) relacionan el Cu con la pintura utilizada en las embarcaciones. Rodríguez (2007) reportó un promedio para el mes de marzo de 6,13 mg/kg y para agosto de 4,84 mg/kg en sedimentos del margen marino-costera de Cumaná, ambos muestreos resultaron por debajo al límite para sedimentos no contaminados y presentaron valores comparables para este estudio relacionados con la presencia de sedimentos limosos.

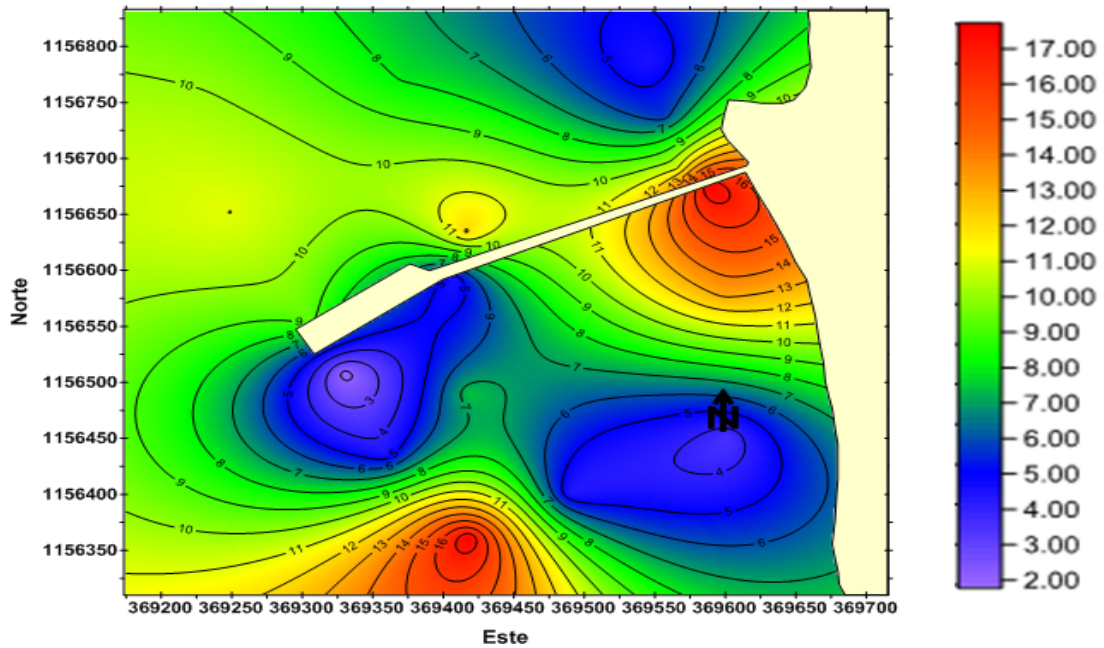


Figura 32. Distribución espacial de cobre total (mg/kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.

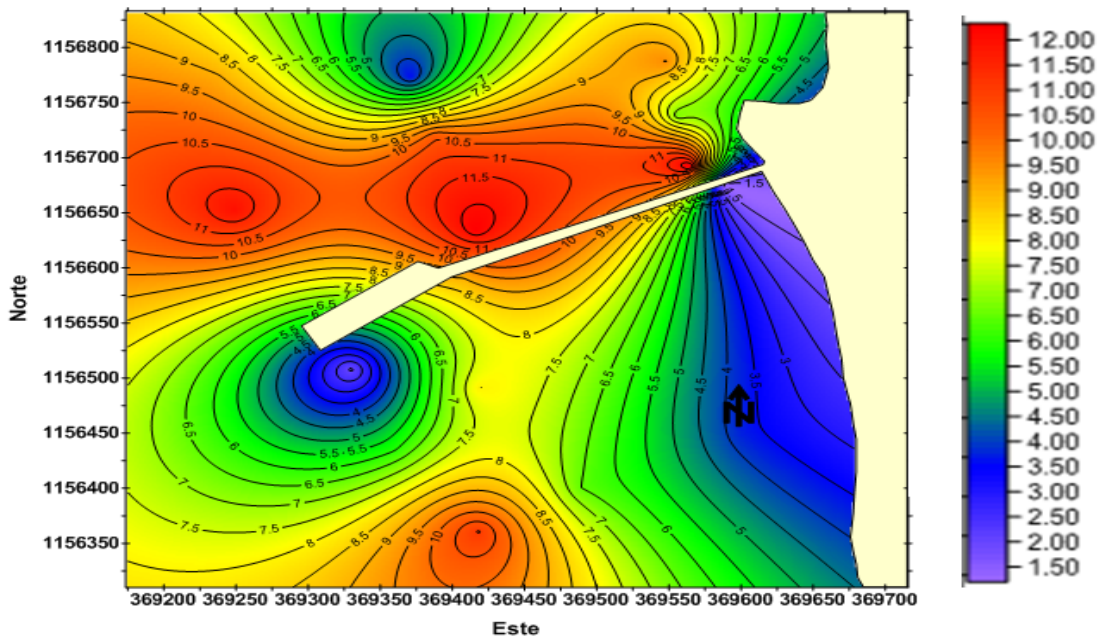


Figura 33. Distribución espacial de cobre total (mg/kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.

Marval (2008) reportó valores que oscilan entre 0,34 y 23,75 mg/kg con una media de 7,11 mg/kg en el transepto central del golfo de Cariaco, donde especifica que las bajas concentraciones están asociadas a las zonas donde hay predominio de arenas y donde las escorrentías continentales y la hidrodinámica podrían ofrecer remoción del metal desde los sedimentos a la columna de agua por el efecto de las corrientes. Igualmente Martínez (2002), en la costa sur del Golfo de Cariaco señaló un bajo promedio de 5,49 mg/kg, atribuyéndoselo a la presencia de sedimentos con alto contenido de arenas.

Por su parte Moya (2010), para sedimentos de la región oriental del Golfo de Cariaco determinó una media de 8,44 mg/kg principalmente asociados a partículas finas, mientras que Aguilera (2005) reportó bajos niveles de Cu para la bahía este del Morro de Puerto Santo, con una media de 3,41 mg/kg favorecido por la dirección de las corrientes marinas generadas por los fuertes vientos y por el tipo de sedimento arenoso dominante en esta zona, sin embargo, valores altos fueron encontrados para la bahía oeste con una media de 23,74 µg/g indicando una posible contaminación por este metal.

Mudarra (2002) señaló un bajo promedio de cobre total de 0,99 µg/g en 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 reportado por este autor es bastante inferior a los encontrados en el presente estudio.

Valores por encima a los encontrados en este trabajo de investigación, fueron señalados por Fermín (2002) para sedimentos de la Laguna de Unare con una media de 41,13 mg/kg y por Ponce *et al.* (2000) para los sedimentos costeros de Bahía de Cádiz, España (106,3 mg/kg). González-Lozano *et al.*

(2006) para el área portuaria de Salina Cruz, México reportaron una media de 35,7 mg/kg, asociadas a sedimentos finos y materia orgánica, además de la descarga de aguas domésticas sin tratamiento y la cercanía de fábricas de fertilizantes, empresas de metalurgia y mineras. Aguirre-Martínez *et al.* (2009) reportó altos valores para sedimentos de los puertos de Iquique (514,33 mg/kg) y Talcahuano (512,19 mg/kg) en las costas chilenas atribuidas a la presencia de minas de cobre y una mayor actividad de astilleros navales en el área portuaria.

El fraccionamiento de cobre para el mes de febrero (Figura 34) muestra una asociación con la fracción residual, en la cual varió entre 1,72 y 17,74 mg/kg promedio de 8,56 mg/kg, equivalente al 99,91% del cobre total para la fracción biodisponible los valores oscilaron entre ND y 0,06 mg/kg con promedio de 0,01 mg/kg que significa un 0,09%. Para el mes de noviembre, no se encontraron valores para la fracción biodisponible siendo la fracción residual la que dominó en este mes con valores que variaron desde 1,20 a 12,45 mg/kg, concentración media de 7,46 mg/kg, que equivale al 99,99% del total de cobre (Figura 35). El fraccionamiento muestra, que el cobre en los sedimentos de Puertos de Sucre, Cumaná, es de origen litogénico formando parte de la matriz mineralógica de la zona.

Rodríguez (2007), reportó valores similares a esta investigación mostrando un porcentaje del 100% del cobre total para ambos meses en los sedimentos de la región marina-costera de Cumaná, de igual manera Velásquez (2005) reportó la mayor cantidad de cobre en sedimentos del sector oriental del Golfo de Cariaco asociada a la fracción residual y un pequeño porcentaje a la materia orgánica, indicando que el cobre presente en esta zona en porcentajes altos (78,03 %) se encuentra formando parte de los componentes mineralógicos del sedimento.

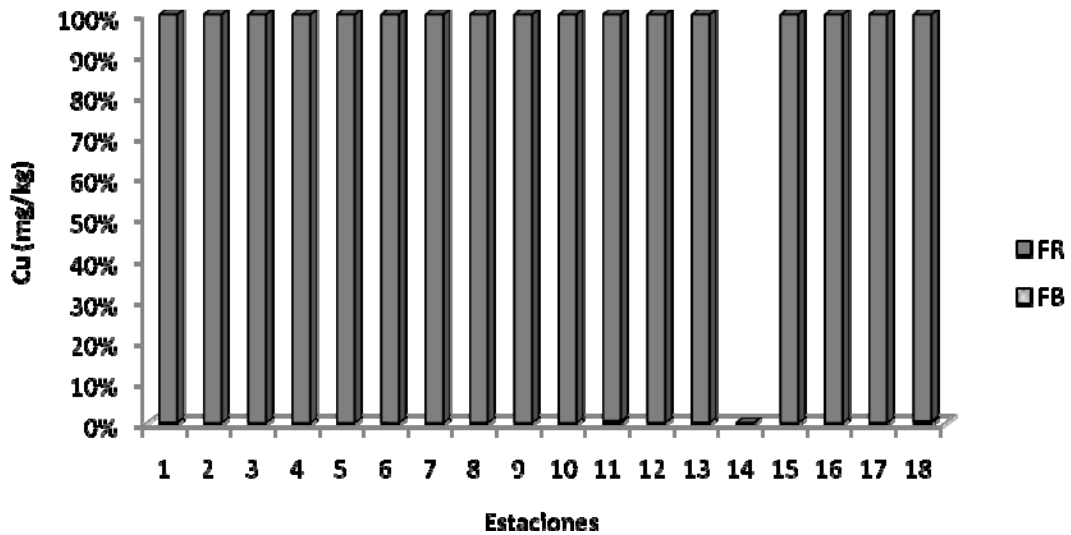


Figura 34. Fraccionamiento de cobre en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.

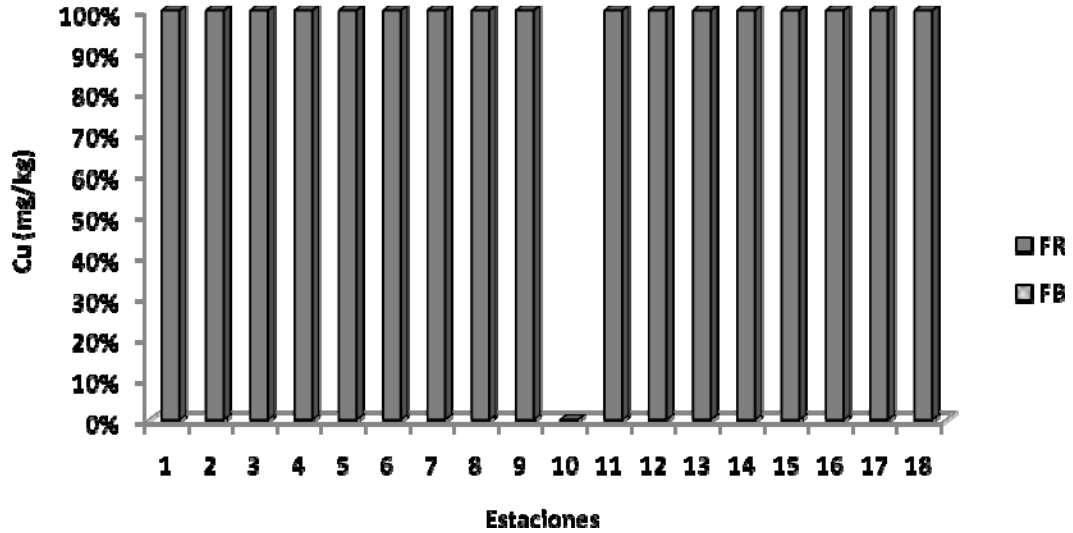


Figura 35. Fraccionamiento de cobre en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.

De igual manera, Marval (2008) obtuvo valores solo para la fracción residual con un 100 % del contenido total del Cu para sedimentos del golfo de Cariaco lo que indica que no posiblemente no haya influencia antropogénica

en el ecosistema marino ya que su biodisponibilidad no fue detectada y que se encuentra en el ambiente formando parte de la red cristalina sedimentaria. López-González *et al.* (2005) señalaron un 77% del cobre total asociado a la fracción residual. Este mismo comportamiento se demostró en sedimentos de la zona oriental del golfo de Cariaco, según el trabajo realizado por Moya (2010).

Aguilera (2005) indicó alta proporción de cobre asociada a la fase residual con un 57,5% del total en la bahía este del Morro de Puerto Santo, fenómeno controlado por la mineralogía del sedimento derivada del aporte terrígeno, sin embargo, para la bahía oeste de la misma zona la fracción asociada a la materia orgánica fue mayor relacionada con las descargas urbanas, escorrentías continentales y desechos de pescado en estado de descomposición. Todos los resultados antes descritos muestran resultados comparables y similares al presentado en este trabajo de investigación.

Cromo (Cr)

El cromo, de símbolo Cr, es un elemento metálico de color gris, que puede presentar un intenso brillo. Es uno de los elementos de transición (grupo de elementos químicos que comparten estructuras orbitales electrónicas similares y por tanto tienen las mismas propiedades químicas) del sistema periódico y su número atómico es 24, es un elemento común y ocupa el lugar 21 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre. Su masa atómica es 51,996; su punto de fusión es de 1.857°C, su punto de ebullición es de 2.672°C y su densidad 7,2 g/cm³ (Leentech, 2011). El cromo entra en el aire, agua y suelo en forma de cromo (III) y cromo (VI) a través de procesos naturales y actividades humanas (Leentech, 2011a).

La concentración total de cromo en los sedimentos de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná, para el mes de febrero (Figura 36), fue de 1,20 (estación 7) y 28,59 mg/kg (estación 1), con un promedio de 12,97 mg/kg. Las máximas concentraciones se ubicaron en la zona este del muelle y en las estaciones 2 (22,01 mg/kg), 3 (20,09 mg/kg) y 9 (23,35 mg/kg), con una distribución espacial igual al que presentó la materia orgánica, el carbonato y limo, confirmando la asociación del cromo con las partículas finas del sedimento.

Para noviembre (Figura 37), las concentraciones de cromo fluctuaron entre 3,89 (estación 3) y 17,51 mg/kg (estación 11), con promedio de 10,83 mg/kg. Los valores más altos se hallaron distribuidos de forma homogénea para ambas zonas, sin embargo, las estaciones 4 (16,05 mg/kg), 5 (16,95 mg/kg) y 13 (15,64 mg/kg) presentaron altas concentraciones, quizás se deba a la relación existente con el material orgánico, el cual también presentó altos valores para esas estaciones.

El análisis de varianza, mostró que no hay diferencias significativas en los meses muestreados (0,1085; $P < 0,05$) y entre estaciones (0,3024; $P < 0,05$) para los valores totales de cromo.

Los promedios registrados para ambos meses no sobrepasan el límite de 10 mg/kg para sedimentos no contaminados (Sadiq, 1992), aunque las estaciones 1, 2 y 3 para el mes de febrero presentan niveles que exceden al valor antes mencionado, pudiendo estar relacionado con la influencia de actividades del hombre que estén alterando la concentración del Cr en el sedimento.

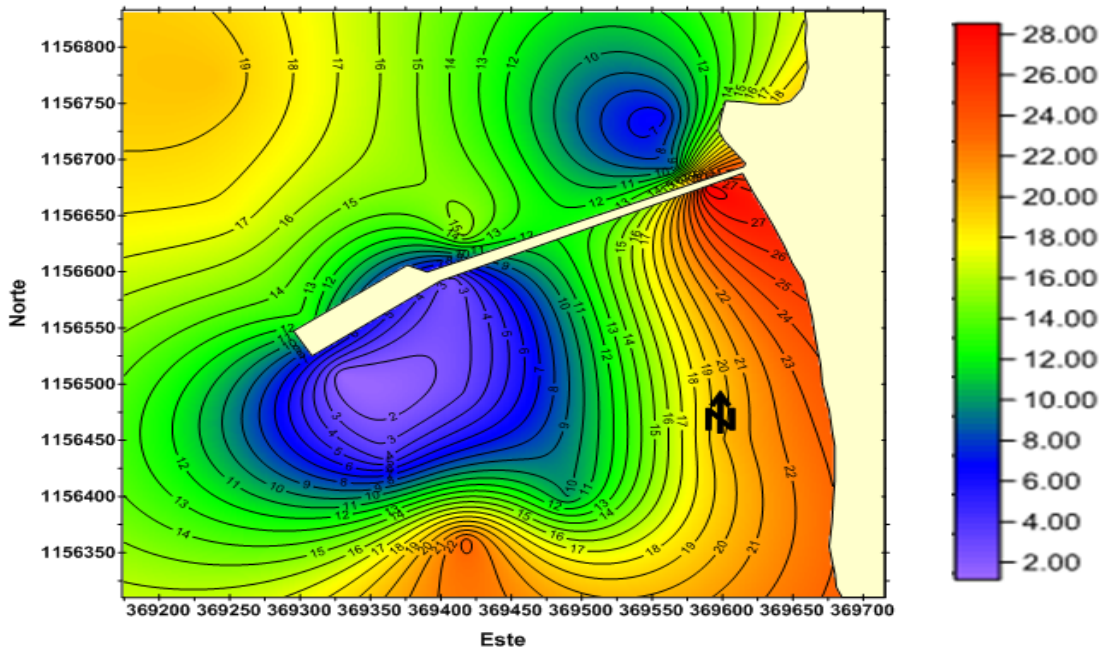


Figura 36. Distribución espacial de cromo total (mg/kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.

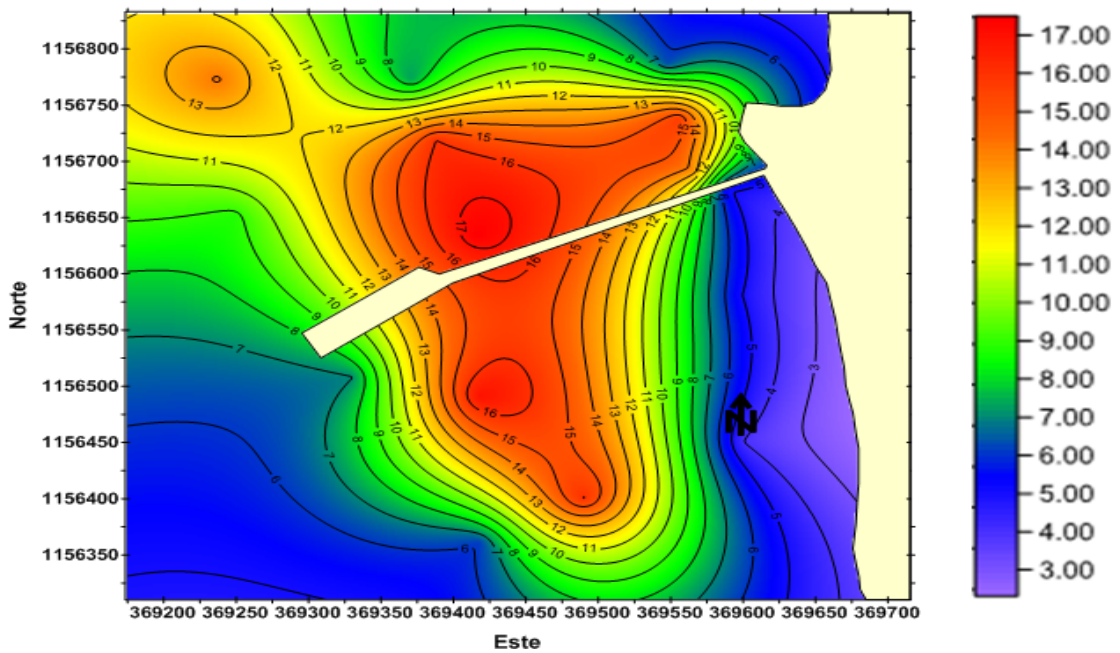


Figura 37. Distribución espacial de cromo total (mg/kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.

La influencia del cromo y su impacto en el ambiente depende de la especiación del metal. La química del cromo y su comportamiento en el agua de mar y en los sedimentos marinos, está afectada por los procesos redox, la precipitación, disolución de la fase sólida, la adsorción y las interacciones biológicas. Muchas investigaciones han argumentado la existencia de cromo adsorbido en los sedimentos, específicamente en la superficie de la materia orgánica, óxidos e hidróxidos, carbonatos y arcillas (Marval, 2008).

Valores muy similares a los presentados en este estudio fueron reportados por Rodríguez (2007), para sedimentos de la zona marino-costera de Cumaná, con un promedio para el mes de marzo de 5,69 mg/kg y para agosto de 7,79 mg/kg. Velásquez (2005) reportó promedios de 11,41 y 13,85 mg/kg para el Golfo de Cariaco, relacionado con la presencia de sedimento de tipo lodoso.

Landaeta (2002), señaló concentraciones más bajas en comparación con las obtenidas en este estudio con un promedio de 5,99 mg/kg en la región costera de Cumaná. Igualmente, Mudarra (2002) reportó 1,37 mg/kg como valor medio de cromo para los sedimentos superficiales de la Ensenada de Puerto Escondido, concentración que es inferior a los promedios reportados para este estudio, sugiriendo que no hay contaminación por cromo en el lugar. Por otro lado Marval (2008), indicó altos valores de Cr para sedimentos superficiales del golfo de Cariaco con un promedio de 28,73 mg/kg, relacionada a sedimento de tipo limoso. Martínez (2002) reportó valores con un promedio de 32,15 mg/kg en el golfo de Cariaco y lo asoció a la textura de los sedimentos con alto contenido de partículas finas y a las elevadas concentraciones de materia orgánica que contienen los sedimentos al igual que al aporte antropogénico.

De igual manera, Aguilera (2005) señaló un promedio de 33,38 mg/kg para la Bahía oeste del Morro de Puerto Santo, lo que indica que los sedimentos de esta bahía están fuertemente influenciados por las actividades antropogénicas. Fermín (2002) también reportó altos valores para sedimentos de la Laguna de Unare con una media de 51,69 mg/kg, la cual estuvo asociada a partículas finas de lodo y arcilla. González- Lozano *et al.* (2006) determinaron altos niveles de Cr (23,5 mg/kg) para los sedimentos de la zona costera de Salina Cruz, México señalando como posibles fuentes antropogénicas, las descargas domésticas que aportan grandes volúmenes de lodos enriquecidos con metales como Cr que son descargados en los ríos o directamente al mar. Bonilla *et al.* (2003) reporta indicios de contaminación de cromo en los sedimentos de la Ensenada Grande del Obispo. Indico que el origen proviene del drenaje de las aguas de desechos divergentes vertidas en la costa sur del Golfo de Cariaco, y por efecto direccional de la hidrodinámica.

El fraccionamiento de cromo para el mes de febrero (Figura 38), muestra que en la FB se detectó un valor mínimo de 0,10 mg/kg y un máximo de 1,63 mg/kg, con promedio de 0,73 mg/kg, que corresponde al 5,63% del cromo total. La FR presentó un valor mínimo de 1,03 mg/kg y un valor superior de 26,96 mg/kg, concentración promedio de 12,24 mg/kg, que equivale al 94,37% de la totalidad del cromo en la zona. Para el mes de noviembre (Figura 39), el fraccionamiento indica un valor mínimo de ND y un máximo de 1,01 mg/kg, con un promedio de 0,51 mg/kg para la FB, lo que corresponde al 5,28% del cromo total. La FR presentó un mínimo de 3,17 mg/kg y como máximo 16,72 mg/kg, promedio de 10,26 mg/kg, equivalente al 94,72% del total de cromo.

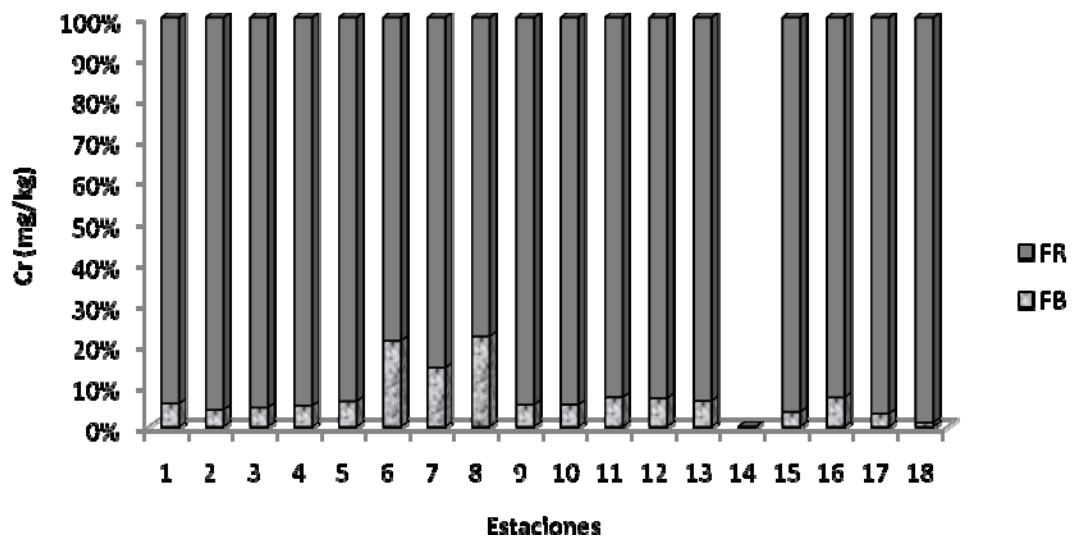


Figura 38. Fraccionamiento de cromo en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.

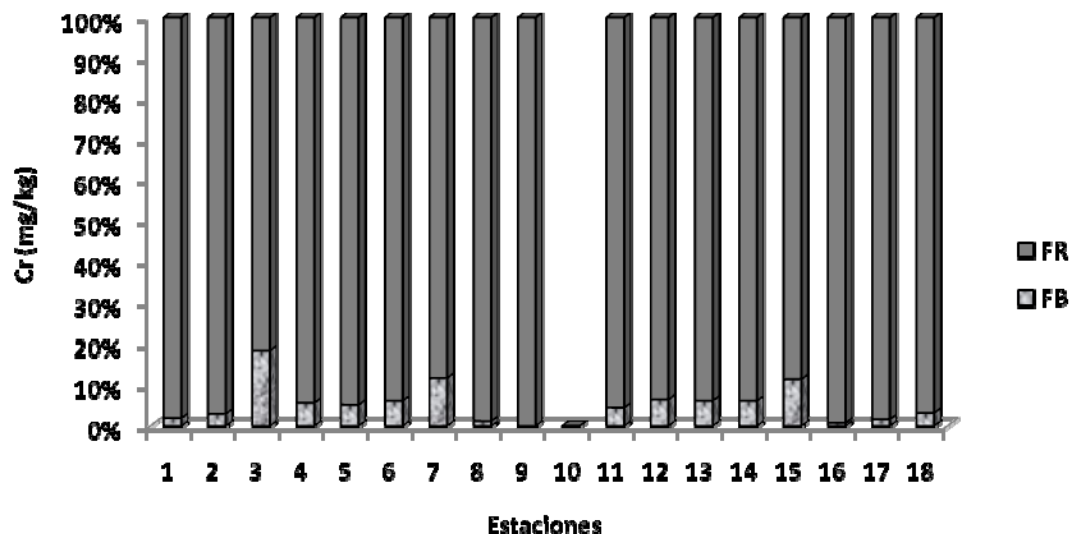


Figura 39. Fraccionamiento de cromo en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.

Según los resultados obtenidos la mayor cantidad de cromo está relacionado con la fracción residual para sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná, sin embargo, es importante

monitorear la entrada de este metal a la zona con la finalidad de evitar que, en el futuro, se convierta en un problema de salud pública, ya que este metal en su forma Cr (VI) es altamente tóxico a pequeñas concentraciones.

No es conocido que el cromo se acumule en los peces, pero altas concentraciones del metal sobre todo en su estado VI, si se encuentra biodisponible puede dañar las agallas de los peces que nadan cerca del punto de vertido. En animales, el cromo puede causar problemas respiratorios, una baja disponibilidad puede dar lugar a contraer las enfermedades, defectos de nacimiento, infertilidad y formación de tumores (Leentech, 2011a).

Rodríguez (2007) presentó concentraciones altas relacionadas con la fracción residual con valores de 82,02% y 75,09% para el mes de marzo y agosto respectivamente, en la región marina-costera de la ciudad de Cumaná

Marval (2008), reportó un valor de 45,8% de Cr correspondiente a la fracción residual en el golfo de Cariaco, demostrando el origen litogénico del metal, con respecto a la fracción biodisponible no hubo asociación. Por otro lado Aguilera (2005), señaló que el Cr no mostro asociación con la fracción biodisponible, sin embargo, la fracción residual para la bahía este tuvo un valor de 73,8% y la oeste de 71,2%, indicado que el metal forma parte de la estructura mineralógica del sedimento marino del Morro de Puerto Santo.

Resultado diferente a lo señalado por este trabajo de investigación fue reportado por Velásquez (2005), donde demostró que la mayor cantidad de Cr estaba asociada con la fracciones biodisponibles (más de 60%), al igual que Landaeta (2002), quien reportó el mayor porcentaje asociado a la fracción biodisponible indicando como posible fuente, las actividades

industriales tales como: galvanizado, pintura, aleaciones, así como también, producto de la oxidación de la materia orgánica.

Níquel (Ni)

El Níquel tiene símbolo Ni, número atómico 28, es un metal duro, maleable y dúctil, que puede presentar un intenso brillo. Tiene propiedades magnéticas por debajo de 345°C. es un elemento bastante abundante, constituye cerca de 0.008% de la corteza terrestre y 0.01% de las rocas ígneas. En algunos tipos de meteoritos hay cantidades apreciables de níquel, y se piensa que existen grandes cantidades en el núcleo terrestre. Ocupa el lugar 22 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre y se presenta en pequeñas cantidades en plantas y animales, en el agua de mar, el petróleo y en la mayor parte del carbón. Se utiliza como catalizador en un gran número de procesos, incluida la hidrogenación del petróleo, en aleaciones, y aporta dureza y resistencia a la corrosión en el acero, es también un componente clave en la fabricación de monedas y recientemente es incorporado en la producción de fertilizantes de fosfatos con fines agrícolas (Leentech, 2011c).

En los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná, para el mes de febrero (Figura 40), se detectaron concentraciones de níquel total entre 1,03 (estación 7) y 33,83 mg/kg (estación 1), promedio de 10,70 mg/kg. Este valor es superior al valor de 10 µg/g para sedimentos no contaminados (Sadiq, 1992). Las mayores concentraciones fueron localizadas hacia la zona este, sin embargo estaciones de la parte oeste como la 10 y 11 presentaron alto contenido con valores de 18,59 mg/kg y 23,11 mg/kg, relacionándose con las partículas finas que constituyen los sedimentos de la zona. Estas altas concentraciones pueden ser indicativas de un gran aporte exógeno de este metal al medio

marino portuario.

Durante el mes de noviembre (Figura 41), las concentraciones de níquel detectadas estuvieron alrededor de 7,89 mg/kg, con 21,77 mg/kg (estación 14) como valor máximo y 0,4 mg/kg (estación 1) como mínimo. Estaciones como la 5 (19,97 mg/kg), 11 (15,13 mg/kg) y 15 (20,41 mg/kg) presentaron concentraciones considerables posiblemente por la textura fina del sedimento, capaz de acumular grandes cantidades de níquel y otros metales.

El análisis de varianza, mostró que no existe diferencia significativa entre los meses de muestreos y estaciones (0,0587; $P < 0,05$ y 0,6458; $P < 0,05$ respectivamente) en cuanto a las concentraciones medias de níquel total.

Valores comparables con los obtenidos en este trabajo fueron reportados para la zona marino-costera de la ciudad de Cumaná por Rodríguez (2007) con una media para el mes de marzo de 10,53 mg/kg y para el mes de noviembre de 7,99 mg/kg, relacionados para ambos casos con la presencia del contenido de lodos, materia orgánica y carbonato, además de las actividades antropogénicas e industriales llevadas a cabo en comunidades cercanas a la costa, alterando el contenido y distribución del metal.

Por su parte Aguilera (2005) señaló contenidos elevados de níquel en la bahía este y oeste con promedios de 26,96 y 38,06 mg/kg respectivamente en el Morro de Puerto Santo, sigieriendo la existencia de una importante descarga antropogénica hacia los sedimentos de estos ecosistemas, producto de las distintas actividades pesqueras, el transporte marítimo, las escorrentías continentales y los vertidos de efluentes domésticos.

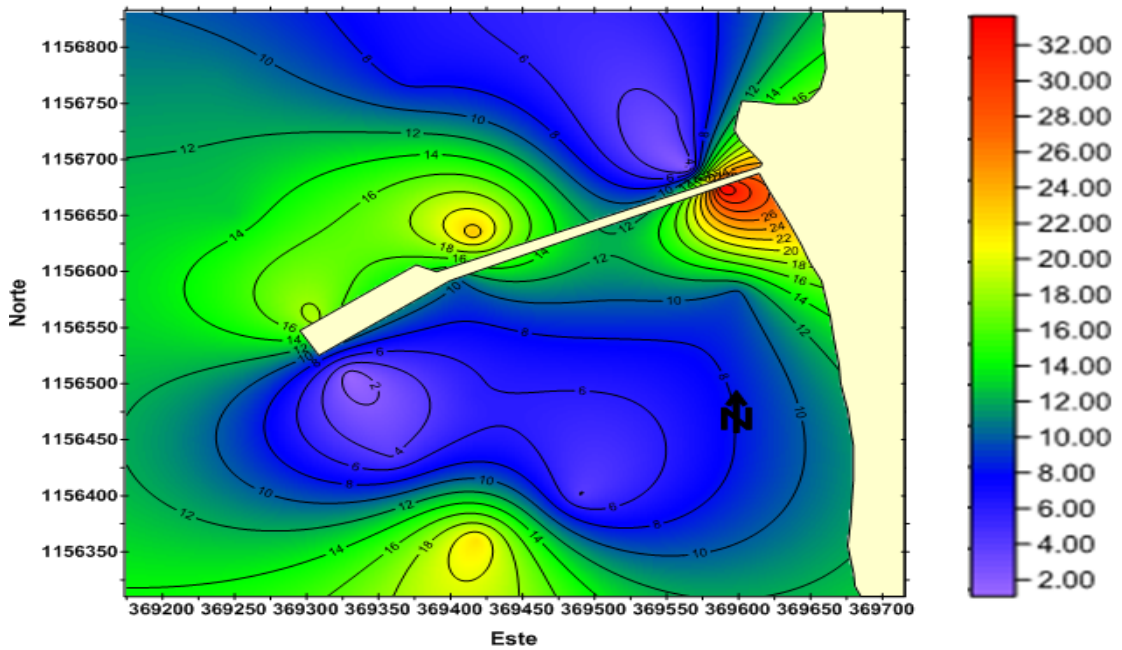


Figura 40. Distribución espacial de níquel total (mg/kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.

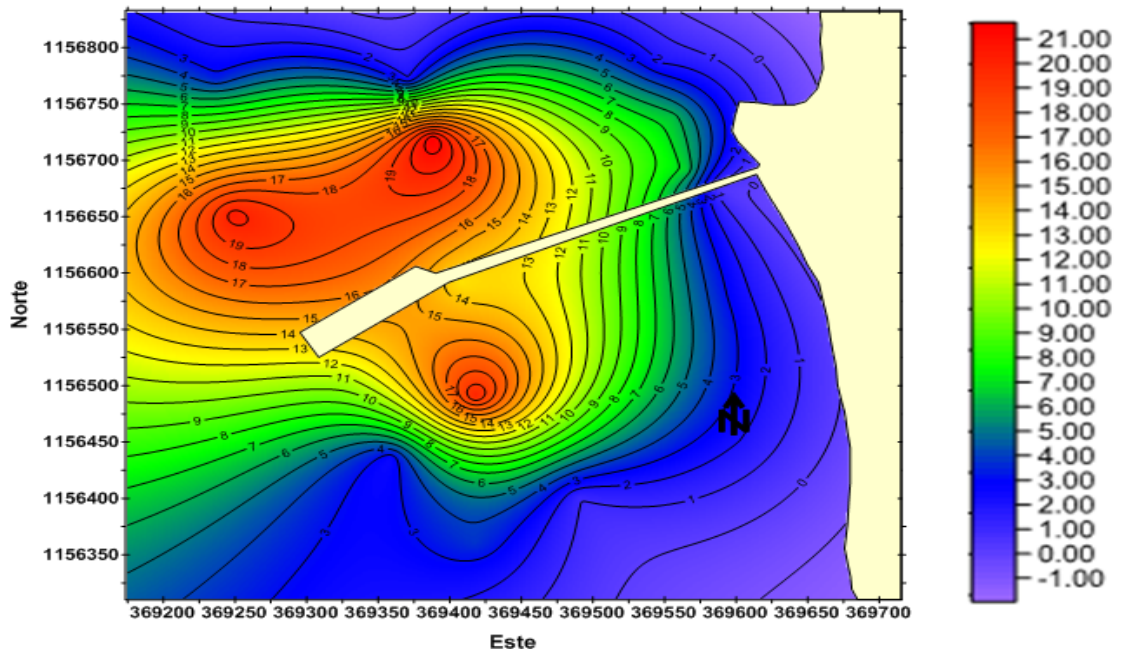


Figura 41. Distribución espacial de níquel total (mg/kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.

De igual manera, Fermín (2002) indicó concentraciones altas para sedimentos de la Laguna de Unare con una media de 52,41 µg/g concluyendo que, existe una fuerte entrada de este metal en el ecosistema. Rocha *et al.* (2005) publicaron valores elevados de níquel (31-48 mg/kg) en sedimentos de Laguna de Aveiro (Portugal) relacionadas con las actividades navales (dársenas y astilleros) asociadas con el puerto de Aveiro, además, la presencia de corrientes costeras y advectivas que ayudan a la deposición del metal en el sedimento.

González-Lozano *et al.* (2006) reportaron altos valores de Ni (24,9 mg/kg) en sedimentos de la zona costera de salina de cruz, México y señalaron que los metales también son introducidos en ambientes marino y costero, por el lavado de suelos, intemperismo de las rocas, erupciones volcánicas, empleo de fertilizantes y plaguicidas en zonas agrícolas, desechos de fundidoras y plantas de cromado.

Marval (2008) reportó valores que oscilaron entre ND en sedimentos del golfo de Cariaco cercanos al aliviadero del Rio Manzanares donde predominan la textura arenosa en la fracción sedimentaria y 24,98 mg/kg en el transepto central del área de estudio donde hay gran porcentaje de limos.

El fraccionamiento de níquel para el mes de febrero (Figura 42) muestra que la mayor cantidad de níquel está asociada con la FR en la que se detectaron valores comprendidos entre 1,03 y 28,81 mg/kg, para hacer un promedio de 10,02 mg/kg, lo cual representa el 93,69% de la concentración total de níquel, mientras que en la FB, los valores se ubicaron entre ND y 5,02 mg/kg, promedio de 0,68 mg/kg, lo que equivale a 6,31% del total.

Para el mes de noviembre, (Figura 43) muestra poca asociación del metal

con la FB en la que se detectó un máximo de 1,90 mg/kg y un mínimo de ND, concentración media de 0,57 mg/kg, equivalente al 7,18% del níquel total. En la FR, las concentraciones variaron entre 20,78 y 0,33 mg/kg, promedio de 7,32 mg/kg que corresponde al 92,82% de la concentración total.

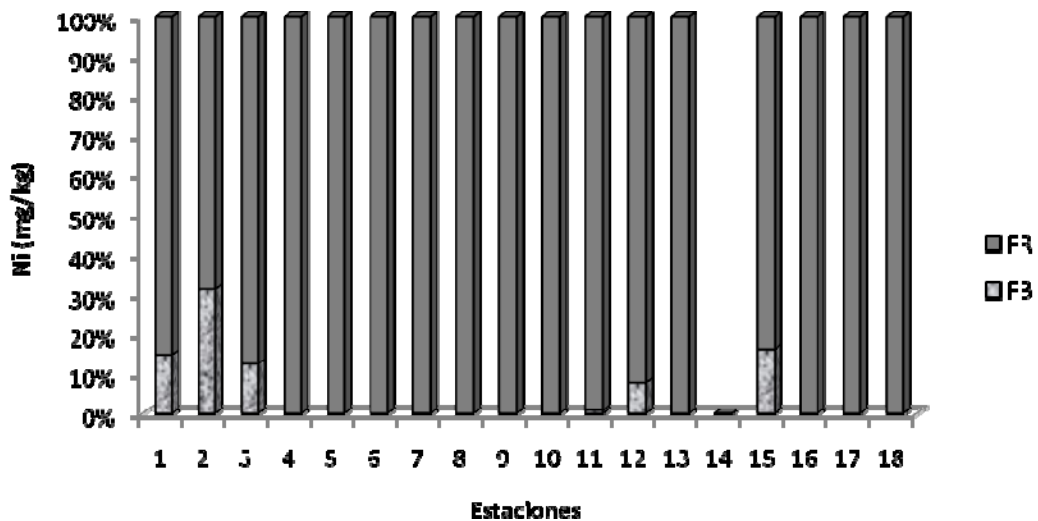


Figura 42. Fraccionamiento de níquel en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.

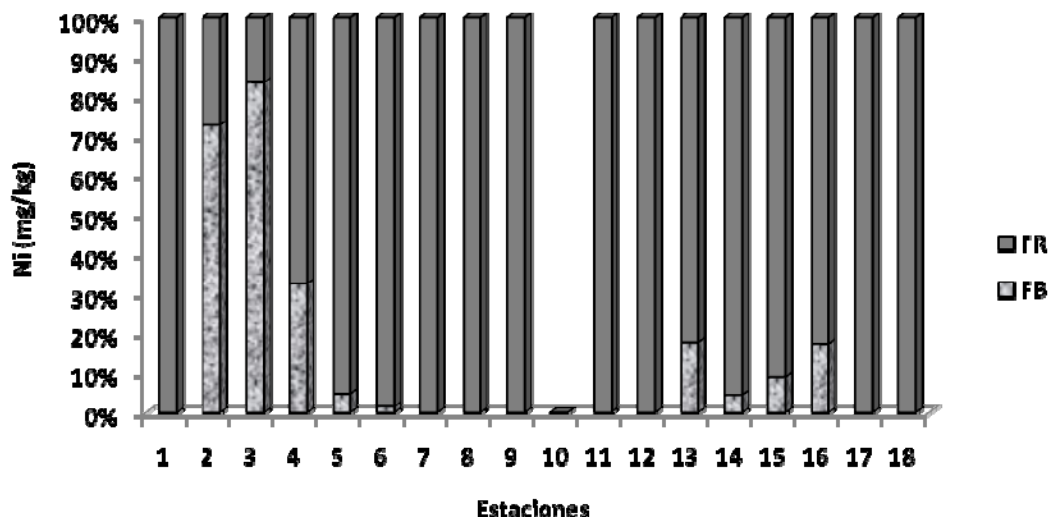


Figura 43. Fraccionamiento de níquel en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.

Para ambos meses la mayor cantidad de níquel estuvo asociada a la fracción residual, indicando que el metal existente en la región marino-costera de Puertos de Sucre, es de origen litogénico, es decir, se encuentra en el ambiente marino formando parte de la matriz mineralógica del sedimento, y solo una cantidad pequeña (aproximadamente 6%) es de origen antropogénico, producto quizás del transporte marítimo, actividades pesqueras y dragados periódicos en el muelle, la presencia de un astillero cercano a la zona, y sistemas de corrientes predominantes que ayudan a transportar y depositar el níquel desde una fuente cercana de contaminación como puede ser el Río Manzanares, además de algunos procesos fisicoquímicos que pueden hacer al metal biodispoble en el ambiente.

Rodríguez (2007) obtuvo porcentajes altos relacionados a la fracción residual para el mes de marzo (88,39%) y agosto (85,17%) en sedimentos de la zona marino-costera de Cumaná y sólo un pequeño porcentaje asociado a la fracción biodisponible (11,61% para el mes de marzo y 14,83% para el mes de agosto), atribuidas a la posible utilización de fertilizantes que contienen en su composición níquel, que suele ser transportado por aguas de escorrentías. Marval (2008) reportó que un 100% del contenido total del níquel es de origen litogénico para el golfo de Cariaco representada por las características mineralógicas de los sedimentos y por otro lado, por el grado de desgaste o erosión de las rocas en los ríos.

De igual manera se reportaron valores considerables para la asociación del níquel con la fase residual en la bahía oeste del Morro de Puerto Santo, alrededor del 52,4%. Sin embargo, lo mismo no sucedió para la bahía este la cual tuvo una proporción considerable del 47,6% de origen antropogénico, producto de las distintas actividades que se desarrollan en el Golfo de Paria; agrícolas, petroleras y al transporte de buques comerciales, que a través del

transporte eólico y a la hidrodinámica de las corrientes facilitan la movilización y dispersión de los metales pesados (Aguilera, 2005).

Mercurio (Hg)

El mercurio es un elemento químico de símbolo Hg, número atómico 80 y peso atómico 200.59. Es un líquido blanco plateado a temperatura ambiente con un punto de fusión -38.4°C o -37.46°F y ebullición de 357°C a presión atmosférica. Es un metal noble, soluble únicamente en soluciones oxidantes. El mercurio y sus compuestos son muy tóxicos y forma soluciones llamadas amalgamas con algunos metales (oro, plata, platino, uranio, cobre, plomo, sodio y potasio) (Leentech, 2011b). Es un metal potencialmente tóxico, el cual tiene características de persistencia y bioacumulación. Aproximadamente un 95% del mercurio en nuestro planeta se encuentra en los suelos, en los sedimentos y en todo organismo viviente; alrededor de un 3% se halla en el agua mientras que el restante, cerca del 2%, existe como vapor en la atmósfera. Las emisiones producidas como consecuencia de las actividades humanas son las responsables del 50 al 75% del mercurio que está en la atmósfera (Ramírez, 2009).

Las concentraciones totales de mercurio para sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná en el mes de febrero oscilaron entre 0,01 y 0,11 mg/kg (estación 8), promedio de 0,04 mg/kg. La distribución espacial (Figura 44) revela que las altas concentraciones de Hg se encuentran hacia la parte oeste de Puertos de Sucre y en las estaciones 3 (0,09 mg/kg), 13 (0,08 mg/kg) y 17 (0,08 mg/kg), donde las partículas limosas de sedimento favorecen la retención de este metal. En noviembre, el mercurio osciló entre 0,01 y 1,05 mg/kg (estación 15), promedio de 0,15 mg/kg. En la Figura 45, se observa que los valores más altos de mercurio se

localizaron en la zona oeste y en las estaciones 4, 5 y 6 cuyos valores son 0,17 mg/kg; 0,13 mg/kg y 0,09 mg/kg, en la cual la presencia de los limos influyó en el comportamiento de este metal, igual que en el periodo anterior.

El análisis de varianza mostró que existieron diferencias significativas en cuanto a las concentraciones promedio de mercurio total entre los meses de muestreos (0,0019; $P < 0,05$). No se encontró diferencias significativas entre estaciones (0,7907; $P < 0,05$).

Los resultados obtenidos demuestran que no existe contaminación por mercurio durante el mes de febrero, sin embargo, para el mes de noviembre el valor promedio excedió la cifra de 0,05 mg/kg para sedimentos no contaminados sugerido por Sadiq (1992). La presencia de mercurio en el ambiente tiene implicaciones importantes por los efectos tóxicos que produce en los seres vivos, debido a que es un metal pesado que se acumula en los tejidos blandos y provoca enfermedades irreversibles e incluso la muerte, es importante su estudio, su monitoreo y su tratamiento.

Para efectos de este estudio, se puede observar que las concentraciones de mercurio total reflejan la presencia de actividades antropogénica que liberan este metal al ambiente. La presencia de este metal en los ecosistemas también puede ser aportado por fuentes fluviales y atmosféricas (Gray *et al.*, 2005).

Canadá ha establecido como límite de concentración de mercurio un valor de 0,14 mg/kg en sedimentos, para la protección de la vida acuática (Gaudet *et al.*, 2005). Por su parte, Estados Unidos establece un valor de 0,15 mg/kg, considerada como la concentración por debajo de la cual es poco probable que se presenten efectos biológicos indeseables (Long y Mc Donald, 1998).

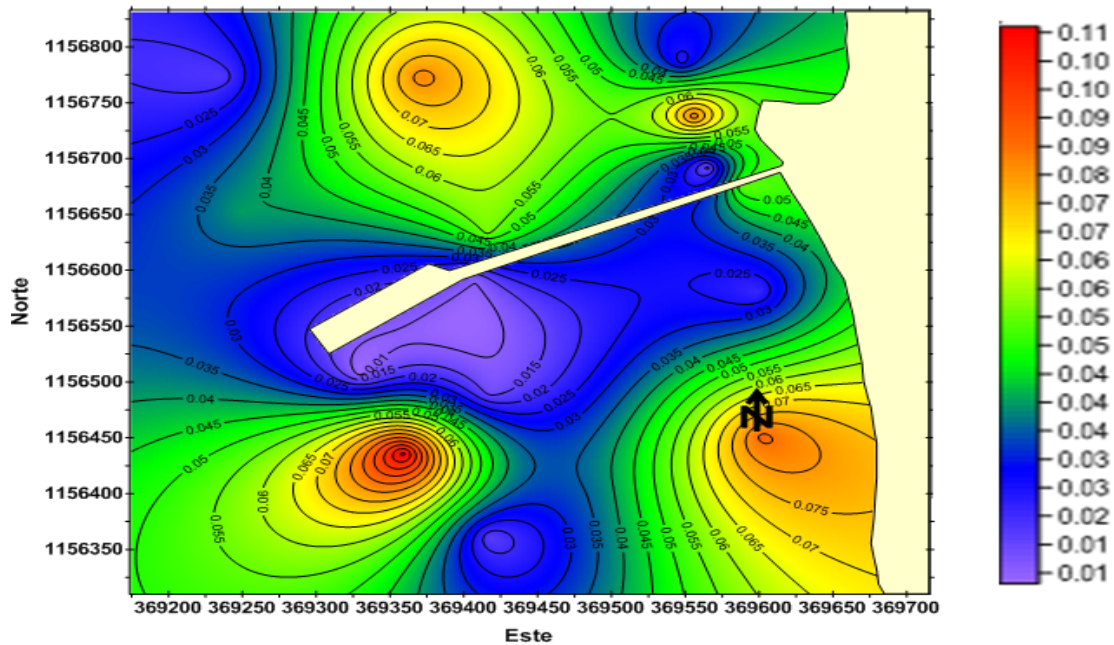


Figura 44. Distribución espacial de mercurio total (mg/kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.

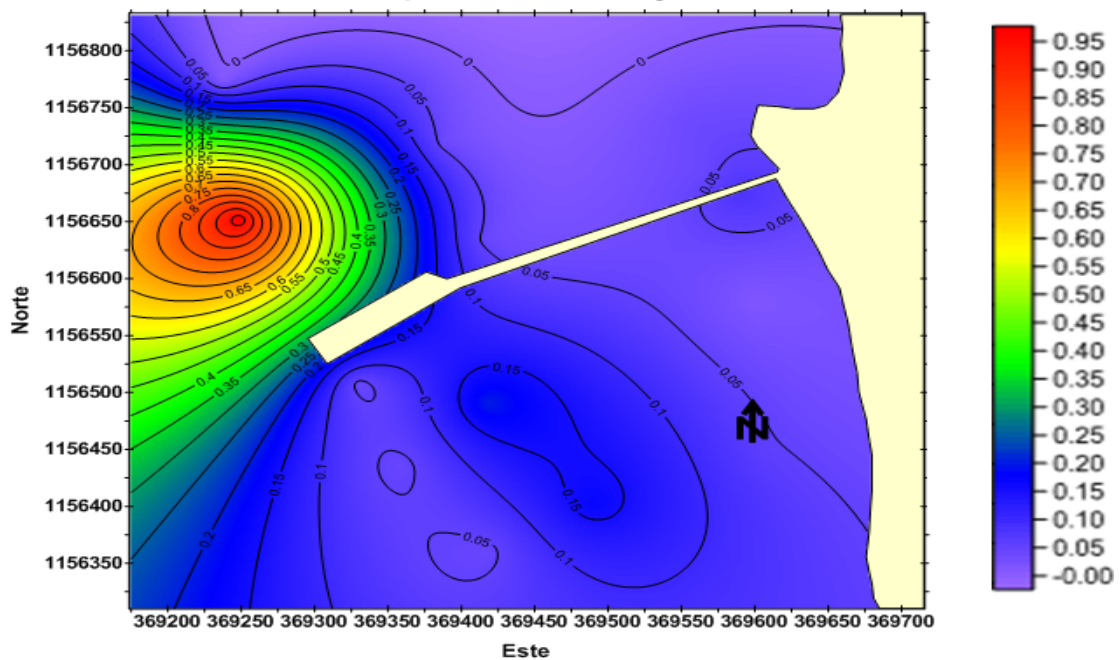


Figura 45. Distribución espacial de mercurio total (mg kg) en la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.

Los valores antes mencionados son comparables con los del presente estudio, pudiéndose concluir que, los sedimentos de Puertos de Sucre, presentan valores altos en algunas estaciones que son potencialmente peligrosos para la vida acuática.

Valores reportados por otros investigadores pueden compararse con los obtenidos en este estudio. Fermín (2002) determinó Hg entre un rango de variación de 0,08 y 0,18 $\mu\text{g/g}$ con un valor promedio de 0,13 $\mu\text{g/g}$ concluyendo que más del 70% del total de este metal presente en la Laguna de Unare es de origen antropogénico e indicando una posible contaminación al comparar sus valores con el límite máximo de detección para sedimentos no contaminados reportados por Sadiq (1992).

De igual manera López (2002) obtuvo resultados similares al caso anterior con un promedio de 0,12 mg/kg. Por su parte, Aguilera (2005) reportó para la bahía oeste del Morro de Puerto Santo un promedio de 0,31 mg/kg y para la bahía este de 0,21 mg/kg sugiriendo la influencia de las descargas de diferentes canales de drenaje que desembocan en el área costera, las actividades antrópicas locales de la población y a los desagües domésticos, los cuales podrían estar adicionando metales trazas en los sedimentos.

Así mismo, Beiras *et al.* (2002) señalaron altos niveles de Hg por encima de una concentración de 2 mg/kg en sedimentos y mejillones de las costas de Galicia, España, respectivamente, demostrando con sus resultados la persistencia de contaminación local por este metal, influenciado por efluentes de la industria Cloro-Alcali.

Ramírez (2009) en sedimentos de los ríos Coatzacoalcos y la presa (Oxaca, México), señaló altos valores de mercurio con concentraciones de 115,70

mg/kg y 11,10 mg/kg, los cuales exceden los niveles límites para sedimentos no contaminados, establecidos por Canadá y Estados Unidos; así mismo, parecen demostrar la hipótesis de que la planta Cloro-Álcali ejerce una fuerte influencia en la zona pudiendo ser una fuente importante de emisión de mercurio.

Jiménez-Ramos *et al.* (2008), señalaron valores mayores a 0,15 mg/kg para sedimentos de la costa norte y Golfo de Paria, Estado Sucre, (Long *et al.*, 1995), debido a que en esas zonas no se desarrollan actividades que involucren el uso del mercurio, surgió una inquietud acerca de su procedencia, sin embargo, estos autores indicaron que podría ser provocado por los desechos de las actividades propias del Puerto Pesquero Internacional de Güiría. También el río Orinoco que posee una gran influencia sobre el Golfo de Paria, hacia donde se dirigen sus aguas, el desarrollo industrial, la minería aurífera y la descarga de aguas servidas, pudieron ocasionar la contaminación ambiental de muchos de los afluentes del mencionado río (Sandoval *et al.*, 2006).

En el fraccionamiento del mercurio, para el mes de febrero (Figura 46), las concentraciones del metal en la FB variaron entre ND y 0,07 mg/kg, con un promedio de 0,01, equivalente a un 17,68% del Hg total. En la FR, el máximo fue de 0,11 mg/kg y el mínimo de 0,01 mg/kg, para un valor medio 0,03 mg/kg que corresponde al 82,32% del total de mercurio. Para el mes de noviembre (Figura 47), el fraccionamiento muestra que en la FB el mercurio varió entre ND y 0,90 mg/kg, con una media de 0,06 mg/kg que representa el 54,22% del Hg total. Para la FR, el promedio fue de 0,05 mg/kg, con un valor de 0,01 mg/kg como mínimo y 0,15 mg/kg como máximo, lo que equivale a un 45,78% de la totalidad del elemento.

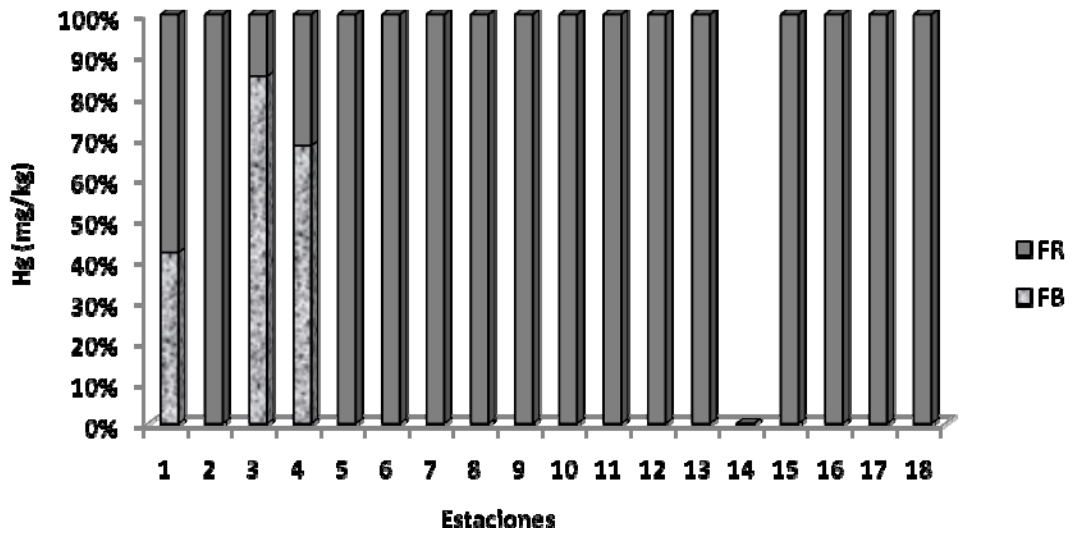


Figura 46. Fraccionamiento de mercurio en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para febrero 2010.

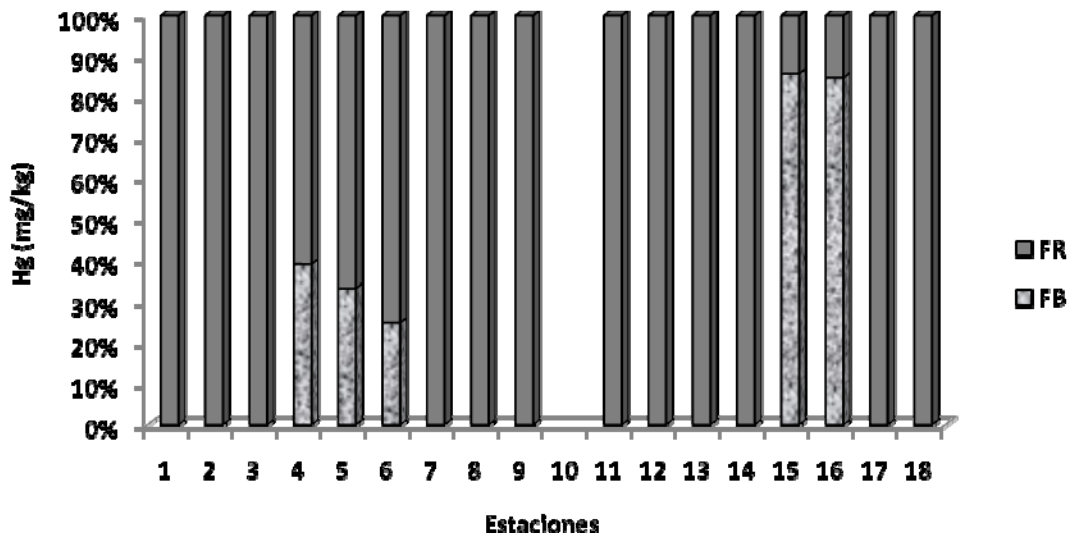


Figura 47. Fraccionamiento de mercurio en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para noviembre 2010.

El mercurio muestra un comportamiento químico relacionado con la fracción residual para febrero pero en el caso de noviembre la biodisponibilidad de

este elemento fue mayor pudiendo estar asociada a la presencia de aguas de escorrentías y pequeños canales que pudieran estar transportando este metal desembocando en zonas aledañas a puertos de Sucre. Varios estudios han demostrado mayor relación con la biodisponibilidad del mercurio como es el caso de Marval (2002), quien informó sobre una alta correlación entre el porcentaje de materia orgánica y este metal, en los sedimentos de la región central del delta del Río Orinoco.

Fermín (2002) en sedimentos de la laguna de Unare señaló para la fracción biodisponible un porcentaje de 6,11% y para la fracción residual de 5,23% del mercurio total, sin embargo el mayor porcentaje (65,25%) estuvo asociado a los carbonatos, estableciendo un origen antrópico.

Por su parte, López (2002) señaló mayor asociación del Hg a los oxihidróxidos de Fe y Mn con un 30 y 35% del total mientras que el resto está biodisponible asociado a los carbonatos, lo que indica presencia de actividad antropogénica en la laguna de Puerto Píritu. Jiménez-Ramos *et al.* (2008) señalaron altas concentraciones de Hg asociadas a las fracciones húmicas y carbonatadas de la zona norte y costa de Paria, reseñando la importancia que pueden tener los ácidos húmicos y el carbonato en la movilización de Hg en forma de complejos solubles e insolubles en los sedimentos marinos.

A pesar de que las concentraciones promedios de mercurio para sedimentos de puertos de Sucre no sobrepasan los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (1 mg/kg), Se observó una concentración de 0,90 mg/kg en la estación 15 del mes de febrero, que sobrepasa el valor mínimo admisible de 0,5 mg/kg de mercurio para peces de consumo según la FAO (2002), por tal motivo es importante un monitoreo constante de las concentraciones totales y biodisponibles, así como la determinación de

posibles fuentes de contaminación por el metal, sin dejar de mencionar que el Hg es un metal que tiende a biomagnificarse en la cadena trófica por lo que sus bajas concentraciones en el sedimento se pueden ver aumentadas en los organismos marinos, en consecuencia los organismos competentes deben evaluar desde un punto de vista integral la presencia de este metal en región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná.

Análisis de correlación

Utilizando un sistema de análisis estadísticos multivariante, se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson para establecer los grados de asociación existentes entre el contenido total de los metales y las demás variables analizadas (arenas, limos, arcillas, materia orgánica total y carbonatos) para sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para los meses de febrero y noviembre 2010 respectivamente (Tablas 6 y 7).

Para el mes de febrero la concentración del carbonato muestra una clara correlación con los metales (a excepción del Cr), con la materia orgánica y con la arcilla, a su vez, la MO muestra correlación significativa con todos los metales a excepción del Mn y Fe. Por su parte, la arcilla solo presento correlación con Ni, Cu y Mn, siendo significativa en todo los casos, con un valor $P \geq 0,5$; Lo que quiere decir que los sedimentos finos de puertos de Sucre, Cumaná, está constituido por material particulado rico en compuestos carbonatados y orgánicos, y que su presencia determina el contenido de los metales en el área estudiada. Es importante señalar que el Hg no tuvo ninguna especie de correlación con las variables determinadas (MO, carbonato, limo, arcilla, arena y demás metales), lo q posiblemente indique que la fuente de origen de este último es diferente al del resto de los metales,

posiblemente sea por vía atmosférica, por ser un metal de fácil volatilidad.

Por su parte, el limo presentó una fuerte correlación negativa de $r = -0,93$ con la arena y viceversa, además no se observó ningún tipo de coeficiente correlativo de estas dos variables con los metales. Por otro lado el coeficiente de Correlación de Pearson para el mes de febrero muestra que existe correlaciones positivas significativas entre los metales a excepción del par: Fe-Zn.

Lo antes mencionado muestra, la importancia del papel que juega el tamaño del grano y el contenido de materia orgánica sobre la distribución de los metales en los sedimentos, lo cual ha sido bien sustentado. Antecedentes de algunos estudios señalan que el tamaño de grano y el contenido de materia orgánica de origen marino, terrestre y antropogénico constituyen los principales factores de control de distribución de los elementos metálicos en los sedimentos de ambientes acuáticos. (Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1994; Naidu *et al.*, 1997; Shriadah, 1999; Rubio *et al.*, 2000).

González (1987) y López (2002), señalaron las correlaciones existentes entre la materia orgánica, el tamaño del grano y el contenido de metales en los sedimentos de la Laguna de Píritu. La escasa relación entre las concentraciones de Hg y el tamaño del grano han sido descritas por Morse *et al.* (1993) para la bahía de Galveston en Texas.

Sin embargo, para el mes de noviembre el carbonato y la materia orgánica mostraron correlaciones significativas entre ellas y solo con los siguientes metales: Cd, Cr, Mn y Pb, con un valor $P \geq 0,5$. La arcilla tuvo una correlación inversa con la arena, con un valor de $r = -0,62$ y una directa con el Ni, la cual no fue significativa ($P \leq 0,5$). Por su parte la arena presentó correlación

negativa con la arcilla, MO, Cu y Cr. En el caso de los metales, el Fe sólo presentó correlaciones significativas con cuatro de los metales analizados (Cd, Cr, Ni y Zn), el Mn sólo con tres (Cd, Cr y Pb) y el cobre con dos metales (Cr y Ni), estas correlaciones significativas indican que estos metales tienen un origen común, y por lo tanto, proceden de la misma fuente de contaminación y geoquímicamente son similares (Rosas-Rodríguez, 2001; Velásquez, 2005). Con respecto al Hg presento el mismo comportamiento que el mes anterior, no presento correlación con ninguna variable estudiada.

Ahumada (1992), señala que por lo general los metales pesados presentan correlación con la materia orgánica, ya que puede ser el factor determinante en la distribución y concentración de metales en los sedimentos superficiales de muchos ecosistemas marinos costeros, observación que ha sido corroborada por Rosales y Álvarez, (1986) y Palenques y Díaz (1994), entre otros.

Es importante señalar que en el mes de noviembre el Fe y Mn, no presentaron correlación significativa para algunos metales, sin embargo, para el mes de febrero las correlaciones de estos dos elementos fueron significativas para todas las variables determinadas. Rubio *et al.* (2000) Señala que la correlaciones de los metales con el hierro debe ser el comportamiento esperado en condiciones naturales, ya que el hierro es un elemento definitorio de las características de los sedimentos, razón por la cual, la relación del hierro con cualquier otro metal formará una tendencia lineal, es importante señalar que este fenómeno está relacionado con la facilidad de adsorción de metales en los oxihidróxidos de hierro y también de manganeso. Lo contrario podría significar una contaminación de tipo antropogénica.

Tabla 6. Matriz de correlación de Pearson entre las diferentes variables estudiadas en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para el mes de febrero de 2010.

	arcilla	limo	arena	MOT	CaCO ₃	Cu	Cd	Ni	Cr	Zn	Mn	Fe	Pb	Hg
arcilla	1,0000													
limo	-0,1135	1,0000												
arena	-0,2461	-0,9350	1,0000											
MO	0,5692	0,1243	-0,3244	1,0000										
CaCO ₃	0,6062	-0,1797	-0,0410	0,7322	1,000									
Cu	0,5470	0,2934	-0,4814	0,5259	0,5635	1,0000								
Cd	0,4415	-0,0236	-0,1346	0,7390	0,5887	0,6086	1,0000							
Ni	0,6000	0,2664	-0,4741	0,7750	0,5641	0,7830	0,6231	1,0000						
Cr	0,0326	0,6722	-0,4503	0,6722	0,4647	0,7667	0,6793	0,7116	1,0000					
Zn	0,4205	-0,0862	-0,0659	0,6922	0,6192	0,7063	0,6901	0,6464	0,8363	1,0000				
Mn	0,4871	0,2160	-0,3846	0,5595	0,6142	0,6760	0,4872	0,6235	0,6518	0,5741	1,0000			
Fe	0,4138	0,2829	-0,4237	0,6920	0,5252	0,6659	0,6579	0,8056	0,5577	0,4484	0,5681	1,0000		
Pb	0,4689	-0,0592	-0,1096	0,6130	0,6102	0,7437	0,8417	0,6600	0,8165	0,8031	0,6274	0,5312	1,0000	
Hg	-0,3615	-0,0877	0,2145	0,1015	-0,0070	-0,1761	-0,0826	-0,0177	0,0877	0,0559	-0,1617	-0,0733	-0,0552	1,0000

Tabla 7. Matriz de correlación de Pearson entre las diferentes variables estudiadas en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para el mes de noviembre de 2010.

	arcilla	limo	arena	MOT	CaCO ₃	Cu	Cd	Ni	Cr	Zn	Mn	Fe	Pb	Hg
arcilla	1,0000													
limo	0,2124	1,0000												
arena	-0,6219	-0,8973	1,0000											
MO	0,3988	0,3548	-0,4644	1,0000										
CaCO ₃	-0,2049	0,1890	-0,0589	0,5691	1,000									
Cu	0,2850	0,5361	-0,5584	0,1685	0,0091	1,0000								
Cd	0,2422	0,3285	-0,3727	0,5902	0,5305	0,4796	1,0000							
Ni	0,4923	0,2906	-0,4553	0,4278	0,2316	0,4934	0,7219	1,0000						
Cr	0,1202	0,6207	-0,5517	0,5478	0,5059	0,5343	0,6364	0,5233	1,0000					
Zn	0,0467	0,4260	-0,3625	0,3755	0,5184	0,3822	0,7846	0,4272	0,6455	1,0000				
Mn	0,0791	0,1259	-0,1367	0,5167	0,5163	-0,1944	0,4837	0,3525	0,2193	0,4228	1,0000			
Fe	0,1227	0,2035	-0,2185	0,3189	0,4425	0,2665	0,6545	0,4954	0,5447	0,7735	0,2122	1,0000		
Pb	0,1924	0,4276	-0,4296	0,6646	0,5448	0,2481	0,5777	0,4941	0,7865	0,6397	0,5524	0,4128	1,0000	
Hg	0,2469	-0,2650	0,1009	0,2300	0,1698	0,2931	0,5941	0,4811	-0,0097	0,3015	0,3248	0,0896	0,2231	1,0000

CONCLUSIONES

Los sedimentos de la región marino-costera de Puestos de Sucre, Cumaná, contiene alto porcentaje de arena por lo que se clasifican como arenosos.

La concentración total de la arcilla, materia orgánica y carbonato se asocian con el contenido de metales a excepción del Hg, siendo mayor en las estaciones próximas a la costa y el muelle.

Para el mes de febrero el contenido de casi todos los metales analizados fue mayor en comparación con el mes de noviembre, aunque no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre meses y estaciones.

El mercurio, por su parte presento mayor concentración en el mes de noviembre y diferencias estadísticamente significativa entre meses, comportamiento contrario al resto de los metales estudiados.

Se observa una tendencia generalizada de todos los parámetros estudiados (arena, limo, arcilla, materia orgánica, carbonato y metales) a acumularse hacia la zona oeste del muelle para el mes de febrero, sin embargo, para noviembre las mayores concentraciones están orientadas en su mayoría hacia la zona este con una distribución equitativa entre estaciones.

Las concentraciones del promedio total de los metales analizados no

sobrepasan el valor límite para sedimentos no contaminados, a excepción del Hg, Ni y Cr, según lo establecido por Sadiq (1992).

El contenido de metales totales para ambos meses en la zona estudiada fue: Fe > Zn > Mn > Ni > Cr > Cu > Pb > Cd > Hg.

El contenido de metales biodisponibles para ambos meses en la zona estudiada fue: Hg > Zn > Pb > Mn > Ni > Cr > Cd > Fe > Cu.

El fraccionamiento químico mostró que la mayoría de los metales estudiados presentaron mayor asociación con la fracción residual a excepción del Hg.

BIBLIOGRAFÍA

Abrantes, I.; Rocha, F.; Vidinha, J. y Días, J. 2005. Influence of Aveiro Lagoon heavy metals contents in the adjacent continental shelf (Portugal). *Ciencias Marinas*, 31(1): 149-160.

Adams, W.; Kierle, R. y Barnett, J. 1992. Sediment quality and aquatic life assessment. *Environmental science and technology*, 26: 1865-1875.

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

Aguado, B. 2011. Especiación de metales pesados en sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, Estado Sucre, Venezuela. Trabajo de Pregrado. Instituto oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná.

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.

Aguirre-Martínez, G.; Rudolph, A.; Ahumada, R.; Loyola, R. y Medina, V. 2009. Toxicidad no específica en sedimentos portuarios, una aproximación al contenido de contaminantes críticos. *Revista de biología marina y oceanografía*, 44(3): 725-735.

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

Ahumada, R. 1995. Bahías: Áreas de uso múltiple un enfoque holístico del problema de la contaminación. *Ciencia y Tecnología del Mar*, 1: 59-68.

Ahumada, R. 2001. Concepción Bay a tectonic embayment on the Southeastern Pacific coastline: a case study. En: *The Oceanography and Ecology of the Nearshore and Bays in Chile*. Castilla, J. y Largier, J (eds). Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile. Págs. 67-93.

Alonso, D.; Sierra-Correa, P.; Arias-Isaza, F. y Fontalvo, M. 2003. Conceptos

y guía metodológica para el manejo integrado de zonas costeras en Colombia. Manual 1: preparación, caracterización y diagnóstico. *Serie de documentos generales de INVEMAR*, 12: 94.

Álvarez-Iglesias; Rubio, P. y Vilas, F. 2000. Plomo en sedimentos y organismos de la ensenada de San Simón. *Thalassas*, 16: 81-94.

Baird, C. 2001. *Química ambiental*. Editorial Reverté, Barcelona. España.

Balmores, R. 2002. Aduanas principales Guanta-Puerto la Cruz, Puerto Sucre, Carúpano, Güiría, Cumaná y área de Maturín, su estructura y zona. "SENIAT". <http://www.seniat.gov.ve/seniat/images/mapaaduanero/aduanano_oriental.htm> (27/02/2011).

Barnes, H. 1959. *Apparatus and methods of oceanography*. Part one Chemical. Interscience Publishers, California.

Beiras, R.; Fernandez, N.; Gonzalez, J.; Besada, V. y Schultze, F. 2002. Mercury concentrations in seawater, sediments and Wild mussels from the coast of Galicia (NW Spain). *Marine pollution Bulletin*, 44: 45-349.

Bendell-Young, L. y Harvey, H. 1992. Geochemistry of Mn and Fe in lake sediments in relation to lake acidity. *Marine Chemistry*, 37(3): 603-613.

Bernal, G. y Betancur, J. 1996. Sedimentología de lagunas costeras: Ciénaga Grande de Santa Marta y Ciénaga de Pajarales. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 25: 49-76.

Bonilla, J.; Aranda, S.; Ramírez, C.; Moya, J. y Márquez, A. 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.

Bradl, H.; Kim, C.; Kramar, U. y Stüben, D. 2005. Heavy metals in the environmet. Chapter 2: *interactions of heavy metals*. Editorial Elsevier. California.

Burton, J. y Scott, K. 1992. Sediment toxicity evaluation, their niche in ecological assessment. *Enviromental sciencie and technology*, 26: 2068-2075.

Cacador, I.; Vale, C. y Catarino, F. 1996. Accumulation of Zn, Pb, Cu, Cr, and Ni in sediments between roots of the Tagus Estuary Salt Marshes, Portugal. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 42: 393-403.

Caccia, V.; Millero, F. y Palanques, A. 2003. The distribution of trace metals in Florida Bay sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 46: 1420-1433.

Carapeto, C. y Purchase, D. 2000. Use of sequential extraction procedures for the analysis of cadmium and lead in sediment samples from a constructed wetland. *Bulletin Environmental Contamination Toxicologic*, 64: 51-58.

Casado-Martínez, M.; Forja, J. y DelValls, T. 2007. Direct comparison of amphipod sensitivities to dredge sediments from Spain Ports. *Chemosphere*, 68: 677-685.

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.

Chen, J.; Wang, F.; Li, X. y Song, J. 2000. Geographical variations of trace elements in sediments of the major rivers in eastern China. *Environmental Geology*, 39(12): 1334-1340.

Cornelissen, G., Rigterink, H., Hulscher, D., Vrind, B. y Van Noort, P. 2001. A simple Tenax extraction method to determine the availability of sediment sorbed organic compounds. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 20(4): 706-711.

De la Lanza, G. 1980. Materia orgánica en una laguna costera de Sinaloa México. *Boletín del Instituto Oceanográfico de la Universidad de Sao. Paulo*, 29 (2): 217-222.

Del Valls, T.; Andres, A.; Belzunce, M.; Buceta, J.; Casado-Martínez; Castro, R.; Riba, I.; Vigure, J. y Blasco, J. 2004. Chemical and ecotoxicological guidelines for managing disposal of dredged material. *Trends in Analytical Chemistry*, 23(10 y 11): 819-828.

Díaz, C.; Carrión, J. y González, J. 2006. Estudio de la contaminación por Hg, Pb, Cd y Zn en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 72(1):19-31.

Dutton, M.; Bendell-Young, L. y Pick, F. 1991. A comparison of two methods for the partitioning of metal in toxic lake sediments. *Technical of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1774: 1-649.

Environmental Protection Agency (EPA). 1999. SOS Analytical standard operating procedures for atomic absorption methods acid digestion of sediments, sludges, and soils. Method 3050B (Revisión julio 1999) (Soc-846).

Etcheber, H.; Borug, A. y Conard, D. 1983. Critical aspect of selective extraction of trace metals of stuarine suspended matter, Fe and Mn hydroxides and organic matter interactions. En: *Proceedings International Conference On heavy metals in the environment*. Editorial CEP Consultants Ltd. Págs. 1200-1203.

Food and agriculture organization (FAO). 2002. "Food and agriculture organization of the united nations DOCREP". "Organización de agricultura de las naciones". <<http://www.fao.org/DOCREP/003/T1768S/T1768S04.html>> (20/05/2012).

Fergusson, J. 1990. *The heavy metal elements chemistry environmental impact and health effects*. Pergamon Press, New York.

Fermín, I. 2002. Estudio geoquímico de los sedimentos superficiales de la laguna de Unare, Estado Anzoátegui, Venezuela. Trabajo de Postgrado. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná.

Fuentes, M. 1998. Condiciones geoquímicas de los sedimentos superficiales de la Laguna de Chacopata, Estado Sucre, Venezuela. Tesis de Postgrado. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.

Fuentes, M. 2008. Metales pesados Cu, Cr, Ni, Zn, Pb y Cd en los Sedimentos del muelle pesquero de güiria, Estado sucre, Venezuela. *Tecnociencia*, 10(2): 61-79.

Fuentes, M.; Rojas, L.; Díaz, A. y Martínez, G. 2010. Distribución de metales pesados en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, Sucre, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 58(3): 129-140.

García-Rico, L.; Soto-Cruz, M.; Jara-Marini, M. y Gómez-Álvarez, A. 2004. Fracciones geoquímicas de Cd, Cu y Pb en sedimentos costeros superficiales de zonas ostrícolas del Estado de Sonora, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 20(4): 159-167.

Gibbs, R y Guerra, C. 1997. Metals of the bottom muds in Beliza city harbor. Belice. *Environmental Pollution*, 98: 135-138.

Gómez, J.; Fuentes, M.; Leone, O. y Vega, C. 2006. Características geoquímicas de los sedimentos superficiales de la bahía de Panamá. *Tecnociencia*, 8(1): 113-132.

González, C. 1987. Condiciones hidrogeoquímicas de la Laguna de Píritu-Venezuela. Trabajo de Post Grado. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná.

González, H. y Ramírez, M. 1995. The effect of nickel mining and metallurgical activities on the distribution of heavy metals in Levisa Bay, Cuba. *Journal of Geochemical Exploration*, 52: 183-192.

González-Lozano, M.; Méndez-Rodríguez, L.; López-Veneroni, D. y Vázquez-Botello, A. 2006. Evaluación de la contaminación en sedimentos del área portuaria y zona costera de Salina Cruz, Oaxaca, México. *Interciencia*, 31(9): 647-656.

Gray, J.; Fey, D.; Holmes, C. y Lasora, B. 2005. Historical exposition and fluxes of mercury in Narraguinnep Reservoir, outhwestern Colorado, USA. *Applied Geochemistry*, 20: 207-220.

Gutierrez-Galindo, E.; Casas, D.; Muñoz, A.; Macias, J.; Segovia, J.; Orozco, M. y Daessle, L. 2007. Distribución espacial y enriquecimiento de mercurio en sedimentos superficiales de la costa nororiental de Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 33(4): 473-482.

Han, S.; Obraztova, A.; Preto, P.; Choe, K.; Gieskes, J.; Deheyn D. y Tebo, B. 2007. Biogeochemical factors affecting mercury methylation in Sediments of the Venice lagoon, Italy. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 26(4): 655-663.

Haynes, D. y Kwan, D. 2002. Trace metals in sediments from Torres Strait and the Gulf of Papua: concentrations, distribution and water circulation patterns. *Marine pollution Bulletin*, 44 (11): 1296-1313.

Horowitz, A. y Elrick, K. 1987. The relation of stream sediment surface area, grain size and composition to trace element chemistry. *Applied Geochemistry*, 2: 437-451.

Hutton, M. 1987. Lead, mercury, cadmium and arsenic in the environment. En: *Scientific Committee on Problems of the Environment (Scope) 31. Chapter 3: Cadmium*. TC. Hutchinson and K.M. Meena. Editorial: Published on behalf of the Scientific Committee on Problems of the Environment (Scope) of the International Council of Scientific Unions by (ICSU) Wiley. California.

Hyun, S.; Lee, T.; Lae, C. y Park, Y. 2006. The effects of metals distribution

and anthropogenic effluents on the benthic environment of Gwangyang Bay Korea. *Marine pollution Bulletin*, 52: 104-120.

Izquierdo, C.; Usero, J. y Gracia, 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.

Jaworski, J. 1987. Lead, mercury, cadmium and arsenic in the environment. En: *Committee on Problems of the Environment (Scope) 31. Chapter 1: lead*. TC.

Hutchinson and K.M. Meena. Editorial: Published on behalf of the Scientific Committee on Problems of the Environment (Scope) of the International Council of Scientific Unions by (ICSU) Wiley. California.

Jiménez-Ramos, I.; Astudillo, L.; Martínez, G. y Ramírez, A. 2008. Fraccionamiento de mercurio en sedimentos superficiales de la costa norte y golfo de Paria del estado Sucre, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 47(2): 141-147

Kishe, M. y Mashiwa, J. 2003. Distribution of heavy metals in sediments of Mwanza Gulf of Lake Victoria, Tanzania. *Environmental International*, 28: 619-625.

Landaeta, R. 2002. Especiación de metales en sedimentos superficiales de la región marino-costera frente a la ciudad de Cumaná, Estado Sucre, Venezuela. Trabajo de Pregrado. Departamento de química, Universidad de Oriente, Cumaná.

Lee, K.; Tanabe, S. y Koh, C. 2001. Distribution of organochlorine pesticides in sediments from Kyeonggi Bay and nearby areas, Korea. *Environmental Pollution* 114: 207-213.

Leentech, B. 2011a. "Wáter treatment solutions". "Facultad de comunicación blanquerma. Universitat".
<[Http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cr.htm](http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cr.htm).> (2/5/2012).

Leentech, B. 2011b. "Wáter tratment solutions". "Facultad de comunicación blanquerma. Universitat".
<[Http://www.lenntech.es/periodica/elementos/hg.htm](http://www.lenntech.es/periodica/elementos/hg.htm).> (2/5/2012).

Leentech, B. 2011c. "Wáter tratment solutions". "Facultad de comunicación blanquerma. Universitat".

<[Http://www.lenntech.es/periodica/elementos/ni.htm](http://www.lenntech.es/periodica/elementos/ni.htm).> (3/5/2012).

Leentech, B. 2011d. "Wáter tratment solutions". "Facultad de comunicaci3n blanquerma. Universitat". <[Http://www.lenntech.es/periodica/elementos/mn.htm](http://www.lenntech.es/periodica/elementos/mn.htm).> (2/5/2012).

Lewis, B. y Landing, W. 1992. The investigation of dissolved and suspended-particulate trace metal fractionation in the Black sea. *Marine Chemistry*, 40: 105-141.

Libes, S. 1992. *A introduction to marine biogeochemistry*. John Wiley & Sons. Inc. New York.

Liou, S.; Lon, S. y Wang, S. 2003. A generalized water quality index for Taiwan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 22: 1-19.

Lohan, M. y Bruland, K. 2006. Importance of vertical mixing for additional source of nitrate and iron to surface waters of the Columbia River plume: implications for biology. *Marine Chemistry*, 98: 260-273.

Long, E.; Macdonald, D.; Smith, S. y Calder, F. 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*, 19(1): 81-97.

Long, E. y Mac. Donald, D. 1998. Recommended uses of empirically derived, sediment quality guidelines for marine and stuarine ecosystems. *Human and Ecological Risk Assess*, 4: 1019-1039.

L3pez, F. 2002. Determinaci3n del contenido de metales en los sedimentos superficiales de la laguna de P3ritu, Estado Anzoátegui, Venezuela. Trabajo de Postgrado. Instituto Oceanogr3fico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná.

L3pez-Gonz3lez, N.; Borrego, J.; Carro, B. y Lozano-Soria, O. 2005. Biodisponibilidad de Fe y metales pesados en los sedimentos de la R3a de Huelva (Espa1a). *Geogaceta*, 37: 219-222.

L3pez-Gonz3lez, N.; Borrego, J.; Morales, J.; Carro, B. y Lozano-Soria, O. 2006. Metal fractionation in toxic sediments of an estuary affected by acid mine drainage (south-western Spain). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 68: 297-304.

Loring, D. 1991. Normalization of heavy metal data from stuarine and coastal sediments. ICES. *Journal of Marine. Science*, 48: 101-116.

Mago, Y. 2009. Concentración de algunos metales pesados, Cu, Pb, Cr, Cd, Fe, Zn y Mn, en las aguas de la zona costera adyacente a la ciudad de Cumaná. Trabajo de Pregrado. Departamento de Biología. Universidad de Oriente, Cumaná.

Marcet, P.; Andrade, M. y Montero, M. 1997. Contenido y enriquecimiento de metales en sedimentos de la Ría de Vigo (España). *Thalassas*, 13: 87-97.

Martín, J.; Guan, D.; Elbaz, F.; Thomas, A. y Gordev, V. 1993. Preliminary assessment of the distribution of some trace elements (As, Cd, Cu, Fe, Ni, Pb y Zn) in a pristine aquatic environment in the Lena River Estuary (Russia). *Marine Chemistry*, 43: 185-199.

Martínez, G. 1999. Especiación de metales pesados en la cuenca baja y pluma del rio manzanares, Estado Sucre, Venezuela. Trabajo de Postgrado. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná.

Martínez, G. 2002. Metales pesados en sedimentos superficiales del golfo de cariacó, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela. Univ. Oriente, Cumaná*, 41(1 y 2): 83-96.

Martinez, G.; Rodriguez, L y Senior, W. 2002. Especies de Cd, Zn, Cr y Pb en nucleos de sedimentos de la bahía de Bergantín, Estado Anzoátegui, Venezuela. *Interciencia*, 27: 173-179.

Martínez, G. 2006. Contaminación por metales pesados en sedimentos superficiales de seis regiones marino-costera del oriente de Venezuela. Trabajo para ascender a la categoría de profesor asociado. Departamento de Química, Universidad de Oriente, Cumaná.

Martorell, J. 2010. Biodisponibilidad de metales pesados en dos ecosistemas acuáticos de la costa sur atlántica andaluza afectados por contaminación difusa. Trabajo de Postgrado. Departamento de química analítica. Universidad de Cadiz. Nueva Cadiz, España.

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

Marval, M. 2008. Geoquímica de metales pesados en sedimentos superficiales del golfo de Cariaco, Venezuela. Trabajo de Postgrado. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná.

Mc Cave, I. 1984. Size spectra and aggregation of suspended particles in the deep ocean. *Deep Sea Research*, 31: 329-352.

Mc Cready, S.; Spyrikis, G.; Greely, C.; Birch, G. y Long, E. 2003. Toxicity of surficial sediments from Sydney Harbour and Vicinity, Australia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 96(1-3): 53-83.

Montijo, A. 2012. "Calizas en el microscopio". "Universidad de Sonora, Mexico".
<<http://www.geologia.uson.mx/academicos/amontijo/carbonatadas/Introduccion.htm>>. (29/5/2012)

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

Morse, J.; Presley, B.; Taylor, R.; Benoit, G. y Santschi, P. 1993. Trace metal chemistry of Galveston Bay: water, sediments and biota. *Marine Environmental Research*, 36: 34-37.

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.

Mudarra, O. 2002. Hidroquímica de la Ensenada de Puerto Escondido, Estado Sucre, Venezuela. Trabajo de Pregrado. Departamento de Química, Universidad de oriente, Cumaná.

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

Neira, C.; Sellanes, J.; Soto, A.; Gutiérrez, D y Gallardo, V. 2001. Meiofauna and sedimentary organic matter off central Chile: response to changes caused by the 1997-1998 El Niño. *Acta Oceanologica*. 24(3): 313-328.

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

Palanques, A. y Farrán, M. 1995. Contamination of heavy metals in the suspended and surface sediments of the gulf of Cádiz (Spain): the role of sources, curtes, pathways and sinks. *Acta Oceanologica*, 18(4): 469-477.

Peinado, S.; Mogollon, J. y Bifano, R. 1987. Distribución de Co, Ni y Zn en los componentes de sedimentos de un río tropical contaminado. *Acta Científica Venezolana*, 38: 392-393.

Ponce, R.; Forja, J. y Gómez, A. 2000. Influencia de la actividad antropogénica en la distribución vertical de Zn, Cd, Pb y Cu en agua intersticial y sedimentos marinos costeros (Bahía de Cádiz, SW de España). *Ciencias Marinas*, 26 (3): 479-502.

Prego, R. y Cobelo, A. 2003. Concentraciones de cinc en la columna de agua influida por el derrame de aceite en los alrededores a la zona de naufragio del "prestige". *Ciencias Marinas*, 29 (1): 103-108.

Primo, E. y Carrasco, J. 1973. *Química agrícola*. Suelos y fertilización. Editorial Alhambra, S.A. España.

Qari, R.; Alam, S. y Aziz, N. 2005. A comparative study of heavy metal concentrations in surficial sediments from coastal areas of Karachi, Pakistan. *Marine Pollution Bulletin*, 50: 583-608.

Querelle, J. y Cia, H. 2012. "Profesor en línea". "El hierro en su formación mineralógica". <<http://profesorenlinea.Cl/fisica/hierro.htm>> (6/5/2012).

Ramírez, 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.

Ramírez, P. 2009. *Muestreo y análisis de mercurio en sedimentos del río Coatzacoalcos y la Presa "La Zacatecana"*. Informe final. Instituto nacional de ecología (INE).

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

Rocha, F.; Silva, E.; Bernardes, C.; Vidinha, J. y Patinha, C. 2005. Caracterización química y mineralógica de los sedimentos de los canales de Mira, Ílhavo y Ovar de la Laguna de Aveiro (Portugal). *Ciencias Marinas*,

31(1B): 253-263.

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

Rosas- Rodríguez, H. 2001. Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat. Trabajo de Postgrado. Departamento de Energía Minera y Recursos Naturales, Universidad Politécnica de Catalunya, España.

Rosales, L. y Álvarez, U. 1986. Sedimentological and chemical studies in sedimen from Alvarado Lagoon system, Veracruz, México. *Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México*, 13(3): 19-28.

Roux, L.; Le Roux, S. y Appriou, P. 1998. Behaviour and speciation of metallic species Cu, Cd, Mn and Fe during estuarine mixing. *Marine Pollution Bulletin*, 36(1): 56-64.

Rubio, B.; Nombela, V.; Vilas, F.; Alejo, I.; García, 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): an assessment of metal pollution. *Marine Pollution Bulletin*, 40: 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.

Rudolph A.; Ahumada, R. y Pérez, C. 2002. Dissolved oxygen content as an index of water quality in San Vicente Bay, Chile (36°45'S). *Environmental Monitoring and Assessment*, 78: 89-2002.

Sadiq, M. 1992. *Toxic metal chemistry in marine environments*. Marcel Dekker, Inc. New York.

Sandoval, M.C.; Veiga, M.; Hinton, J. y Sandner, S. 2006. Application of sustainable development concepts to an alluvial mineral extraction project in lower Caroni River, Venezuela. *Journal of Cleaner Production*, 14: 415-426.

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

Singh, A.K.; Hasnain, S. y Banerjee, D.K. 1991. Grain size and geochemical partitioning of heavy metals in sediments of the Damodar River a tributary of lower, India. *Environmental Geology*, 39(1): 90 – 98.

Sokal, R. y Rohlf, F. 1999. *Biometry: The principles and practice of statistics in biological reserch*. W.H. Freeman. New York.

Soto-Jimenez, M. y Paez-Osuna, F. 2001. Distribution and normalization of heavy metal concetrations in mangrove and logoonal sediments from Mazatlán harbor (SE Gulf of California). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 53: 259-274.

Sprovieri, M.; Feo, M.; Prevedello, L.; Manta, D.; Sammartino, S.; Tamburrino, S. y Marsella, E. 2007. Heavy metals, polycyclic aromatic of the Naples Harbour (southern Italy). *Chemosphere*, 67: 998-1009.

Stordal, M.; Gill, G.; Wen, L. y Santschi, P.H. 1996. Mercury phase speciation in the surface waters of three Texas estuaries: Importance of colloidal forms. *Limnology and Oceanography*, 41(1):52–61.

Suzuki, T.; Imura, N. y Clarkson, T.W. 1991. Overview. En: *Advances in mercury Toxicology*. Suzuki, T.; Imura, N y Clarkson, T. (eds). Plenum Press, New York.

Tessier, A. y Campbell, P. 1979. Sequential extraction procedure for the especiation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry*, 51: 844-851.

Tolun L.; Martens, D.; Okay O. y Schramm, K. 2006. Polycyclic aromatic hydrocarbon contamination in coastal sediments of the Izmit Bay (Marmara Sea): Case studies before and after the Izmit Earthquake. *Environmental International* 32(6): 758-765.

Van den Hurk , P.; Eertman, R. y Stronkhorst, J. 1996. Toxicity of Harbour Canal sediments before dredging and after off-shore disposal. *Marine Pollution Bulletin*, 34(4): 244-249.

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): 153-158.

Villaescusa-Celaya, J.; Gutiérrez, E. y Flores, G. 1997. Metales pesados en fracciones geoquímicas de sedimentos de la región fronteriza de Baja California, México, y California, EUA. *Ciencias Marinas*, 23(1): 43-70.

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.

Wong, Y.; Tam, N.; Lau, P. y Xue, X. 1995. The toxicity of marine sediments in Victoria Harbour, Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, 31(4 y 12): 464-470.

Yim, U.; Hong, S.; Shim, W.; Oh, J. y Chang, M. 2005. Spatio-temporal distribution and characteristics of PHAs in sediments from Masan Bay, Korea. *Marine Pollution Bulletin*, 50: 319-326.

APÉNDICES

Tabla A1. Contenido de materia orgánica total (MOT), carbonatos y metales pesados en los sedimentos recientes de la Región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para el mes de febrero de 2010.

Estación	M.O (%)	Carbonatos (%)	Concentración (mg/kg)									
			Fe	Mn	Cd	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	Hg	
1	5,95	15,68	5 114,06	12,92	0,19	22,71	0,90	1,20	5,16	0,40	0,08	
2	5,29	9,77	4 212,81	16,51	0	13,93	1,52	3,48	5,03	2,61	0,01	
3	2,81	8,14	1 063,40	15,74	0	27,36	1,05	3,67	3,89	2,01	0,06	
4	11,80	24,04	9 236,02	18,22	0,84	46,39	6,38	6,47	16,05	1,07	0,17	
5	9,47	13,29	12 181,23	18,30	1,3	46,04	6,14	8,01	16,95	19,97	0,13	
6	6,35	16,00	3 145,04	17,53	0,22	19,18	5,91	9,06	15,48	13,07	0,09	
7	10,84	15,93	4 346,94	20,74	0,05	20,62	5,94	1,90	6,97	11,09	0,04	
8	7,41	3,73	3 206,70	7,95	0,02	19,05	3,73	5,88	9,22	2,49	0,04	
9	6,92	9,05	6 110,88	6,03	0,08	15,10	0,20	11,05	6,09	3,74	0,04	
10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
11	9,56	14,64	4 142,00	9,18	0,61	26,13	4,18	12,32	17,51	15,13	0,04	
12	7,80	14,69	5 446,02	16,44	0,67	52,09	4,92	12,46	13,69	6,69	0,04	
13	7,88	19,17	18 314,35	18,64	0,78	64,05	6,33	6,76	15,64	6,36	0,04	
14	7,30	16,02	22 005,68	12,04	0,92	55,61	4,33	10,40	16,00	21,77	0,04	
15	8,17	14,81	8 281,64	18,02	1,28	48,46	5,03	11,97	8,80	20,41	1,05	
16	4,83	10,21	6 592,94	6,96	0,03	41,48	5,68	9,08	14,11	3,28	0,09	
17	4,15	15,04	3 185,80	5,63	0,02	18,52	2,15	3,52	7,29	2,05	0,04	
18	3,55	9,74	5 146,74	4,41	0	17,16	1,36	9,53	6,28	1,94	0,01	
Máximo	11,80	24,04	22 005,68	20,74	1,30	64,05	6,38	12,46	17,51	21,77	1,05	
Mínimo	2,81	3,73	1 063,40	4,41	0,00	13,93	0,20	1,20	3,89	0,40	0,01	
Promedio	7,06	13,53	7 160,72	13,25	0,39	32,58	3,87	7,46	10,83	7,89	0,15	

ND: No detectado.

Tabla A2. Contenido de materia orgánica total (MOT), carbonatos y metales pesados en los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para el mes de noviembre de 2010.

Estación	M.O (%)	Carbonatos (%)	Concentración (mg/kg)									
			Fe	Mn	Cd	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	Hg	
1	13,96	32,13	14 050,28	25,54	1,59	109,81	9,88	17,76	28,59	33,83	0,05	
2	7,51	16,99	2 180,47	19,85	0,87	98,53	6,96	13,36	22,01	9,57	0,02	
3	8,89	18,33	3 124,41	20,67	0,41	55,32	5,52	3,48	20,09	8,21	0,09	
4	7,02	14,00	1 271,85	8,63	0,11	18,30	3,74	4,33	9,90	3,95	0,04	
5	6,76	14,04	1 328,11	16,72	0,01	13,53	1,96	7,40	3,15	5,86	0,01	
6	7,94	19,62	5 163,98	10,50	0,01	17,85	1,13	4,43	2,28	10,02	0,01	
7	4,32	7,84	2 150,80	9,92	0,2	15,17	3,10	1,72	1,20	1,03	0,01	
8	4,52	10,88	1 255,28	6,04	0,02	18,24	1,65	4,43	3,60	3,84	0,11	
9	5,65	13,14	12 013,23	23,72	0,1	45,90	5,60	17,74	23,35	21,78	0,02	
10	8,10	14,67	9 316,09	16,00	0,81	17,51	4,94	9,26	12,60	18,59	0,02	
11	11,04	24,26	22 319,88	22,90	0,9	58,67	5,16	12,08	15,46	23,11	0,06	
12	5,90	28,52	5 166,62	19,45	0,63	33,86	5,65	10,73	8,96	1,93	0,01	
13	4,83	10,83	1 147,89	5,67	0,28	8,72	4,01	5,65	6,53	3,88	0,08	
14	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
15	9,03	16,46	10 614,33	4,13	0,98	60,41	5,74	11,01	17,63	12,85	0,04	
16	9,16	14,83	13 148,22	20,04	1,39	36,82	5,77	9,84	19,73	11,05	0,02	
17	8,64	16,02	5 026,78	15,06	0,12	34,16	1,88	7,89	15,51	7,32	0,08	
18	5,52	10,94	1 173,38	6,30	0,08	30,37	1,72	4,46	9,88	5,01	0,02	
Máximo	13,96	32,13	22 319,88	25,54	1,59	109,81	9,88	17,76	28,59	33,83	0,11	
Mínimo	4,32	7,84	1 147,89	4,13	0,01	8,721	1,13	1,72	1,20	1,03	0,01	
Promedio	7,58	16,68	6 497,15	14,77	0,50	39,60	4,38	8,56	12,97	10,70	0,04	

ND: No detectado.

Tabla A3. Concentraciones de metales pesados (mg/kg) en la FB para los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para el mes de febrero de 2010.

Estación	Fe	Mn	Cd	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	Hg
1	11,83	2,03	0,60	35,92	4,54	0,03	1,63	5,02	0,02
2	10,97	1,98	0,30	29,62	2,08	0,00	0,92	3,00	0,00
3	9,61	1,00	0,00	21,76	1,32	0,00	0,94	1,03	0,07
4	9,96	0,54	0,00	5,57	1,00	0,00	0,51	0,00	0,02
5	8,78	0,41	0,00	4,34	0,99	0,00	0,20	0,00	0,00
6	10,58	0,66	0,00	6,77	0,85	0,00	0,48	0,00	0,00
7	5,9	0,14	0,00	3,54	0,52	0,00	0,17	0,00	0,00
8	7,58	0,11	0,00	3,89	0,43	0,00	0,80	0,00	0,00
9	11,07	1,59	0,00	6,12	0,67	0,00	1,26	0,00	0,00
10	8,09	0,67	0,00	3,48	0,43	0,00	0,69	0,00	0,00
11	10,43	1,75	0,00	20,45	0,21	0,06	1,12	0,20	0,00
12	6,32	1,43	0,00	22,67	0,98	0,00	0,63	0,15	0,00
13	10,39	0,68	0,00	2,64	1,02	0,01	0,41	0,00	0,00
14	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
15	7,56	1,04	0,20	17,66	1,15	0,00	0,64	2,08	0,00
16	8,21	1,12	0,40	5,71	0,89	0,00	1,42	0,00	0,00
17	6,88	0,95	0,00	3,49	0,71	0,00	0,50	0,00	0,00
18	5,99	0,88	0,00	3,39	0,65	0,02	0,10	0,00	0,00
Máximo	11,83	2,03	0,60	35,92	4,54	0,06	1,63	5,02	0,07
Mínimo	5,90	0,11	0,00	2,64	0,21	0,00	0,10	0,00	0,00
Promedio	8,83	1,00	0,09	11,59	1,08	0,01	0,73	0,68	0,01

ND: No detectado.

Tabla A4. Concentraciones de metales pesados (mg/kg) en la FR para los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para el mes de febrero de 2010.

Estación	Fe	Mn	Cd	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	Hg
1	14 038,45	23,51	0,99	73,89	5,34	17,73	26,96	28,81	0,03
2	2 169,50	17,87	0,57	68,91	4,88	13,36	21,09	6,57	0,02
3	3 114,80	19,67	0,41	33,56	4,2	3,48	19,15	7,18	0,01
4	1 261,89	8,09	0,11	12,73	2,76	4,33	9,39	3,95	0,01
5	1 319,33	16,31	0,01	9,19	0,97	7,40	2,95	5,86	0,01
6	5 153,40	9,84	0,01	11,08	0,28	4,43	1,8	10,02	0,01
7	2 144,90	9,78	0,2	11,63	2,58	1,72	1,03	1,03	0,01
8	1 247,70	5,93	0,02	14,35	1,22	4,43	2,8	3,84	0,11
9	12 002,16	22,13	0,1	39,78	4,93	17,74	22,09	21,78	0,02
10	9 308,00	15,33	0,81	14,03	4,51	9,26	11,91	18,59	0,02
11	22 309,45	21,15	0,9	38,22	4,95	12,02	14,34	22,91	0,06
12	5 160,30	18,02	0,63	11,19	4,67	10,72	8,33	1,78	0,01
13	1 137,50	4,99	0,28	6,08	2,99	5,64	6,12	3,88	0,08
14	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
15	10 606,77	3,09	0,78	42,75	4,59	11,01	16,99	10,77	0,04
16	13 140,01	18,92	0,99	31,11	4,88	9,84	18,31	11,05	0,02
17	5 019,90	14,11	0,1	30,67	1,17	7,89	15,01	7,32	0,08
18	1 167,39	5,42	0,08	26,98	1,07	4,44	9,78	5,01	0,02
Máximo	22 309,45	23,51	0,99	73,89	5,34	17,74	26,96	28,81	0,11
Mínimo	1 137,50	3,09	0,01	6,01	0,28	1,72	1,03	1,03	0,01
Promedio	6 488,32	13,77	0,41	28,01	3,29	8,56	12,24	10,02	0,03

ND: No detectado.

Tabla A5. Concentraciones de metales pesados (mg/kg) en la FB para los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para el mes de noviembre de 2010.

Estación	Fe	Mn	Cd	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	Hg
1	14,95	1,84	0,00	1,07	0,20	0,00	0,1	0	0,00
2	19,14	1,85	0,00	2,61	1,02	0,00	0,15	1,9	0,00
3	13,60	0,71	0,00	7,55	0,00	0,00	0,72	1,68	0,00
4	21,04	0,06	0,00	7,92	1,31	0,00	0,91	0,35	0,09
5	18,14	0,99	0,4	6,11	2,12	0,00	0,88	0,96	0,05
6	10,95	0,64	0,2	4,88	2,03	0,00	0,96	0,21	0,00
7	8,55	0,75	0,00	3,44	1,09	0,00	0,82	0,00	0,00
8	11,68	0,86	0,00	5,38	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00
9	11,41	0,49	0,00	3,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
11	11,81	0,99	0,00	7,37	0,01	0,00	0,79	0,00	0,00
12	15,94	1,09	0,00	12,36	1,06	0,00	0,89	0,00	0,00
13	9,36	1,89	0,00	15,18	1,66	0,00	0,97	1,13	0,00
14	15,66	1,18	0,01	19,99	1,02	0,00	0,99	0,99	0,00
15	19,25	1,01	0,56	17,77	0,99	0,00	1,01	1,83	0,90
16	11,85	0,97	0,00	14,59	0,54	0,00	0,11	0,57	0,00
17	4,01	0,82	0,00	4,11	0,12	0,00	0,12	0,00	0,00
18	8,19	0,57	0,00	3,99	0,00	0,00	0,2	0,00	0,00
Máximo	21,04	1,89	0,56	19,99	2,12	0,00	1,01	1,90	0,90
Mínimo	4,01	0,06	0,00	1,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Promedio	13,27	0,98	0,07	8,11	0,77	0,00	0,51	0,57	0,06

ND: No detectado.

Tabla A6. Concentraciones de metales pesados (mg/kg) en la FR para los sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná para el mes de noviembre de 2010.

Estación	Fe	Mn	Cd	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	Hg
1	5 099,11	11,08	0,19	21,64	0,7	1,20	5,06	0,4	0,08
2	4 193,67	14,66	0	11,32	0,5	3,48	4,88	0,71	0,01
3	1 049,80	15,03	0	19,81	1,05	3,67	3,17	0,33	0,06
4	9 214,98	18,16	0,84	38,47	5,07	6,47	15,14	0,72	0,08
5	12 163,09	17,31	0,9	39,93	4,02	8,01	16,07	19,01	0,08
6	3 134,09	16,89	0,02	14,3	3,88	9,06	14,52	12,86	0,09
7	4 338,39	19,99	0,05	17,18	4,85	1,90	6,15	11,09	0,04
8	3 195,02	7,09	0,02	13,67	3,73	5,88	9,11	2,49	0,04
9	6 099,47	5,54	0,08	11,6	0,2	11,05	6,09	3,74	0,04
10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
11	4 130,19	8,19	0,61	18,76	4,17	12,32	16,72	15,13	0,04
12	5 430,08	15,35	0,67	39,73	3,86	12,45	12,8	6,69	0,04
13	18 304,99	16,75	0,78	48,87	4,67	6,76	14,67	5,23	0,04
14	21 990,02	10,86	0,91	35,62	3,31	10,40	15,01	20,78	0,04
15	8 262,39	17,01	0,72	30,69	4,04	11,97	7,79	18,58	0,15
16	6 581,09	5,99	0,03	26,89	5,14	9,08	14	2,71	0,09
17	3 181,79	4,81	0,02	14,41	2,03	3,52	7,17	2,05	0,04
18	5 138,55	3,84	0	13,17	1,36	9,53	6,08	1,94	0,01
Máximo	21 990,02	19,99	0,91	48,87	5,14	12,45	16,72	20,78	0,15
Mínimo	1 049,80	3,84	0,00	11,32	0,20	1,20	3,17	0,33	0,01
Promedio	7 147,46	12,27	0,34	24,47	3,09	7,46	10,26	7,32	0,05

ND: No detectado.

HOJA DE METADATOS

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

Título	Estudio de metales en sedimentos recientes de la Región Marino-Coquera de Puertos de Sucre, Cumaná, Venezuela
Subtítulo	

Autor (es):

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Asaeda L. David E.	CVLAC	17.910.477
	e-mail	<i>david.asaeda@gmail.com</i>
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Metales pesados
Sedimento marino
Contaminación antropológica
Aguas residuales

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

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Ciencias	Biología

Resumen (abstract):

Se determinaron las concentraciones de los metales: Cd, Cu, Ni, Mn, Cr, Zn, Fe, Pb y Hg en sedimentos recientes de la región marino costera de Puertos de Sucre, Cumaná, durante el mes de febrero y noviembre del 2010, se evaluó también las asociaciones con otras variables como; la textura de los sedimentos, materia orgánica y carbonato. Se tomaron muestras en 18 estaciones ubicadas en dos zonas ambos lados del muelle (este y oeste). Se aplicó el método del densímetro de Bouyoucus para clasificar la textura de los sedimentos; la materia orgánica se obtuvo por calcinación de las muestras a 550°C, el carbonato se calculó por digestión ácida y por último se determinaron los metales con el empleo de diferentes extractantes ácidos, su cuantificación se hizo mediante espectrofotometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente, en el caso del mercurio se empleó el método de espectrofotometría con vapor al frío al frío. Los sedimentos que predominaron fue de tipo arenoso, los porcentajes medios de materia orgánica fueron de 7,57 y 7,061%, y el carbonato de 16,67 y 13,52%, las concentraciones promedio para metales totales fueron: 0,50 y 0,40 mg/kg (Cd), 39,60 y 33,58 mg/kg (Zn), 4,38 y 3,87 mg/kg (Pb), 8,56 y 7,46 mg/kg (Cu), 12,97 y 10,83 mg/kg (Cr), 12,97 y 7,89 mg/kg (Ni), 14,77 y 13,25 mg/kg (Mn), 6497,15 y 7160,72 mg/kg (Fe) y 0,01 y 0,15 mg/kg (Hg) para los meses de febrero y noviembre respectivamente. El fraccionamiento geoquímico mostró que todos los metales estudiados presentaron mayor asociación con la fracción residual a excepción del Hg que está presente en forma intercambiable. Con respecto a la materia orgánica y carbonato fueron mayor en la época de sequía (febrero) junto con los metales totales lo que demuestra una correlación positiva entre estas variables influenciadas por actividades antropogénicas y procesos fisicoquímico que estuvieran alterando su concentración y distribución en la zona portuaria.

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

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
Fermín, Ivis	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input checked="" type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	10291815
	e-mail	ivismarina@gmail.com
	e-mail	
Márquez, Arístides	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
Zapata, Edgar	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2013	01	25

Lenguaje: Español

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

Archivo (s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Tesis-asaedad.doc	Aplicación/Word 2007

Alcance:

Espacial:
(Opcional)

Nacional

Temporal:
(Opcional)

Temporal

Título o Grado asociado con el trabajo:

Licenciado en Biología

Nivel Asociado con el Trabajo: Licenciado

Área de Estudio: Biología

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

UNIVERSIDAD DE ORIENTE

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



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN°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/marija

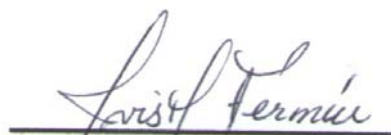
Apartado Correos 094 / Telfs: 4008042 - 4008044 / 8008045 Telefax: 4008043 / Cumaná - Venezuela

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

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



David Asaeda
Autor



Profa. Ivis M. Fermín
Asesor Académico