

**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE QUÍMICA**



**ESTUDIO GEOQUÍMICO DE METALES PESADOS EN SEDIMENTOS DE FONDO  
DEL GOLFETE DE CUARE, ESTADO FALCÓN**

**Trabajo Especial de Grado  
presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela,  
por el Br. Olga Lucía Orta G, para  
optar al título de Licenciado en Química**

**Caracas, octubre 2008**

Los abajo firmantes designados por la Universidad Central de Venezuela, como integrantes del jurado examinador del Trabajo Especial de Grado titulado: "Estudio Geoquímico de metales pesados en sedimentos de fondo del Golfete de Cuare, estado Falcón". Presentado por la Br. Olga L Orta G, certificamos que este trabajo cumple con los requisitos exigidos por nuestra Magna Casa de Estudios para optar por el título de Licenciado en Química.

---

Prof. Carlos Yanes

C.I. 4164561

(Director)

---

Prof. William Meléndez

C.I. 4680564

(Director)

---

Santiago Marrero

C.I. 5423244

(Jurado)

---

Armando Ramírez

C.I. 2928513

(Jurado)

## INDICE GENERAL

1. Introducción.	1
2. Objetivos.	4
2.1. Objetivo general.	4
2.2. Objetivos específicos.	4
3. Revisión bibliográfica.	5
4. Definición de sedimentos	5
5. Factores que determinan la composición de los sedimentos.	5
5.1. Litología.	5
5.2. Relieve.	6
5.3. Clima.	6
5.4. Vegetación.	6
5.5. Actividad humana.	6
6. Principales fuentes de sedimentos.	7
6.1. Fuentes naturales.	7
6.2. Fuentes antrópicas.	7
7. Definición de metales pesados.	7
8. Principales vías de transportes de metales pesados.	8
9. Factores y mecanismos que influyen en la fijación de metales pesados en sedimentos de fondo.	8
9.1. Factores.	9
9.1.1. Características texturales del sedimento.	9
9.1.2. Composición química-mineralógica del sedimento.	9
9.1.3. Ph.	9
9.1.4. Potencial redox (Eh) (mV).	9

9.1.5. Salinidad.	11
9.1.6. Temperatura.	11
9.2. Mecanismos.	11
9.2.1. Adsorción.	11
9.2.2. Intercambio Iónico.	12
9.2.3. Floculación.	12
9.2.4. Precipitación.	12
9.2.5. Coprecipitación.	13
9.2.6. Acomplejamiento-Quelatación.	13
10. Comportamiento geoquímico de los metales pesados en estudio.	14
11. Área de estudio.	25
11.1. Ubicación.	25
12. Características de la zona.	26
12.1. Relieve y geomorfología.	26
12.2. Clima.	26
12.3. Hidrografía.	27
12.4. Suelo.	27
12.5. Vegetación.	27
13. Geología de la zona.	27
14. Metodología experimental.	28
14.1. Etapa preliminar.	29
14.1.1. Captación y preservación de las muestras.	31
14.1.2. Medición de los parámetros fisicoquímicos.	33
14.2. Etapa de laboratorio.	33
14.2.1. Tratamiento de la muestra.	33
14.2.2. Tamizado.	34
14.2.3. Análisis mineralógico.	34
14.2.4. Determinación de la concentración de los metales pesados en las	

muestras de sedimento.	35
14.2.5. Extracción química parcial ácida.	35
14.2.6. Determinación de la concentración de mercurio.	37
15. Técnicas, métodos y equipos analíticos a emplear para la obtención de resultados.	37
16. Presentación y discusión de resultados.	38
16.1. Características físicas, textuales de los sedimentos.	38
16.2. Concentración de los elementos bajo estudio Fe, Mn, Ca, Mg, Zn, Cu, Ni, Pb, Cr y Cd obtenidos por la extracción parcial.	42
16.2.1 Distribución espacial y a profundidad.	45
16.2.1. 1 Fe y Mn extracto de HCl.	45
16.2.1. 2 Fe y Mn extracto de HNO <sub>3</sub> .	49
16.2.2. 1 Ca y Mg extracto de HCl.	52
16.2.2. 2 Ca y Mg extracto de HNO <sub>3</sub> .	57
16.2.3. 1 Zn y Cu extracto de HCl.	60
16.2.3. 2 Zn y Cu extracto de HNO <sub>3</sub> .	62
16.2.4. 1 Ni y Pb extracto de HCl.	67
16.2.4. 2 Ni y Pb extracto de HNO <sub>3</sub> .	69
16.2.5. 1 Cr extracto de HCl.	72
16.2.5. 2 Cr extracto de HNO <sub>3</sub> .	74
16.2.6. 1 Cd extracto de HCl.	77
16.2.6. 2 Cd extracto de HNO <sub>3</sub> .	79
16.2.7. 1 Hg extracto de agua regia.	80
16.3. Análisis mineralógico DRX.	83
17. Conclusiones.	85
18. Recomendaciones.	87
19. Bibliografía.	88
20. Apéndice.	98

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Condiciones de Eh y pH en sistemas naturales.	10
Figura 2. Mapa del Golfete de Cuare.	30
Figura 3. Diseño del muestreador para captar las muestras de sedimentos y accesorios para manipular el sedimento durante el proceso de trasvase de material.	32
Figura 4. Método de extracción química parcial.	32
Figura 5. Distribución espacial y a profundidad del porcentaje de las distintas fracciones de arena del sedimento de fondo en el Golfete de Cuare.	36
Figura 6. Porcentaje total de arena de todas las muestras a las distintas profundidades, tomando en cuenta su tamaño de grano.	39
Figura 7. Distribución espacial y profundidad del porcentaje de las distintas fracciones de arena y limo del sedimento de fondo en el Golfete de Cuare.	40
Figura 8. Porcentaje total de arena, limo y lodo.	42
Figura 9. Curva de correlación de las concentraciones de los elementos: Fe/Mn en el extracto HCl.	47
Figura 10. Diagrama de distribución espacial y a profundidad de las concentraciones de Fe y Mn en los sedimentos de fondo del Golfete de Cuare, extraídos con HCl y HNO <sub>3</sub> .	48
Figura 11. Diagrama de distribución espacial y a profundidad de las concentraciones de Ca y Mg en los sedimentos de fondo del Golfete de Cuare, extraídos con HCl y HNO <sub>3</sub> .	55
Figura 12. Curvas de correlaciones de las concentraciones de los elementos: Ca/Mg, Ca/Fe, Ca/Mn y Mg/Fe en el extracto HCl.	56
Figura 13. Curvas de correlaciones de las concentraciones de los elementos:	59

Mg/Fe y Mg /Mn en el extracto HNO<sub>3</sub>.

- Figura 114. Diagrama de distribución espacial y a profundidad de las concentraciones de Zn y Cu en los sedimentos de fondo del Golfete de Cuare, extraídos con HCl y HNO<sub>3</sub>. 65
- Figura 15. Curvas de correlaciones de las concentraciones de los elementos: Zn/Fe, Zn/Mn, Zn/Mg y Cu/Mn en el extracto HNO<sub>3</sub>. 66
- Figura 16. Diagrama de distribución espacial y a profundidad de las concentraciones de Ni y Pb en los sedimentos de fondo del Golfete de Cuare, extraídos con HCl y HNO<sub>3</sub>. 68
- Figura 17. Curvas de correlaciones de las concentraciones de los elementos: Ni/Fe, Ni/Zn, en el extracto HNO<sub>3</sub>. 72
- Figura 18. Diagrama de distribución espacial y a profundidad de las concentraciones de Cr en los sedimentos de fondo del Golfete de Cuare, extraídos con HCl y HNO<sub>3</sub>. 74
- Figura 19. Curvas de correlaciones de las concentraciones de los elementos: Cr/Ni, Cr/Zn y Cr/Mg en el extracto HNO<sub>3</sub>. 76
- Figura 20. Diagrama de distribución espacial y a profundidad de las concentraciones de Cd en los sedimentos de fondo del Golfete de Cuare, extraídos con HCl y HNO<sub>3</sub>. 78
- Figura 21. Diagrama de distribución espacial y profundidad de la concentración Hg en el sedimento de fondo del Golfete de Cuare, en agua regia. 82

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Esquema de extracción química secuencial.	22
Tabla 2. Valores de los coeficientes de variación de los métodos de extracción.	43
Tabla 3. Valores de los coeficientes de variación espacial y a profundidad en cada extracto.	44
Tabla 4. Valores de concentración de los elementos Fe y Mn en el extracto de HCl, de las estaciones muestreadas a tres profundidades distintas del sedimento.	47
Tabla 5. Valores de concentración de los elementos Fe y Mn en el extracto de HNO <sub>3</sub> , de las estaciones muestreadas a tres profundidades distintas del sedimento.	50
Tabla 6. Valores promedios mundiales, publicados por diversos autores, de los elementos en estudio en sedimentos próximos costeros.	52
Tabla 7. Valores de concentración de los elementos Ca y Mg en el extracto de HCl, de las estaciones muestreadas a tres profundidades distintas del sedimento.	53
Tabla 8. Valores de concentración de los elementos Ca y Mg en el extracto de HNO <sub>3</sub> , de las estaciones muestreadas a tres profundidades distintas del sedimento.	58
Tabla 9. Concentración promedio en los extractos HCl y HNO <sub>3</sub> de los elementos en estudio, de los sedimento del Golfo de Cuare.	60
Tabla 10. Valores de concentración de los elementos Zn y Cu en el extracto de HCl, de las estaciones muestreadas a tres profundidades distintas del sedimento.	61
Tabla 11. Valores de concentración de los elementos Zn y Cu en el extracto de HNO <sub>3</sub> , de las estaciones muestreadas a tres profundidades distintas del sedimento.	63
Tabla 12. Valores de concentración de los elementos Ni y Pb en el extracto de HCl, de las estaciones muestreadas a tres profundidades distintas del sedimento.	69
Tabla 13. Valores de concentración de los elementos Ni y Pb en el extracto de HNO <sub>3</sub> , de las estaciones muestreadas a tres profundidades distintas del sedimento.	70



Tabla 14. Valores de concentración de los elementos Cr en el extracto de HCl, de las estaciones muestreadas a tres profundidades distintas del sedimento.	73
Tabla 15. Valores de concentración de los elementos Cr en el extracto de HNO <sub>3</sub> , de las estaciones muestreadas a tres profundidades distintas del sedimento.	75
Tabla 16. Valores de concentración de los elementos Cd en el extracto de HCl, de las estaciones muestreadas a tres profundidades distintas del sedimento.	78
Tabla 17. Valores de concentración de los elementos Cd en el extracto de HNO <sub>3</sub> , de las estaciones muestreadas a tres profundidades distintas del sedimento.	79
Tabla 18. Valores de concentración de los elementos Hg en el extracto de agua regia, de las estaciones muestreadas a tres profundidades distintas del sedimento.	81
Tabla 19. Minerales identificados en las muestras de sólidos suspendidos y sedimentos de fondo.	83

## RESUMEN

Este trabajo consistió en estudiar geoquímicamente los sedimentos de fondo del Golfete de Cuare, estado Falcón, para determinar la concentración y distribución de Fe, Mn, Ca, Mg, Zn, Cu, Ni, Pb, Cr, Cd y Hg, en el sedimento. Los resultados obtenidos indicaron que las concentraciones de los elementos mayoritarios como Fe, Ca, Mg, y algunos trazas como Mn, están controladas por diversos factores, entre los cuales se puede mencionar: la litología (lutitas calcáreas, areniscas y calizas preferentemente) que se encuentra alrededor de la zona de estudio, por donde drenan diversos afluentes (río Tocuyo, el caño El Estero y Dieguito), procesos de erosión, cambios en el patrón de sedimentación, influencia del agua de mar y relieve. Para el resto de los elementos los factores antes mencionados pueden estar operando sin embargo otro factor no menos importante como lo es el antrópico puede estar controlando la presencia de elementos como Cu, Cd Pb, Ni, Cr Zn y Hg en la zona.

Por otra parte fue establecida la distribución de los elementos en las distintas fases (iones débilmente adsorbidos, carbonatos, oxihidróxidos y solubles en ácidos fuertes) que componen la fracción lodo de los sedimentos de fondo, mediante un proceso de extracción parcial. Los resultados indican que los elementos Ca y Mg, presentaron una buena afinidad en el extracto de HCl, lo cual sugirió que parte de estos elementos están siendo aportados al sistema por actividad biológica y procesos de erosión.

La distribución espacial de las arenas y la fracción más fina de los sedimentos (lodo), en el sector estudiado del Golfete de Cuare, indican que las arenas gruesas fueron las más abundantes en los primeros centímetros (0-5) cm de profundidad de los sedimentos estudiados. Luego dicha fracción disminuye en los siguientes 10 cm restantes, aumentando a su vez los porcentajes de arena fina y muy fina. Posiblemente por un cambio en el patrón de sedimentación de los últimos años.

## 1. Introducción

Las costas litorales a nivel mundial están constituidas por estuarios, bahías, playas, y otros ambientes que son de gran importancia ecológica, debido a que allí habitan, se desarrollan y reproducen un gran número de especies, tanto animales como plantas, entre las cuales se pueden mencionar aves, peces, mariscos, fitoplancton manglares, entre otras. <sup>[1,2,3]</sup>

Estos ecosistemas pudiesen estar eventualmente siendo afectados por la intervención del hombre, producto del desarrollo de actividades agropecuarias, turísticas recreacionales, urbanísticas, e industriales, que podrían causar alteraciones y degradación de los recursos naturales, debido al gran aporte de desechos tóxicos o no tóxicos que estas generan, como (compuestos organoclorados, pinturas, aceites, hidrocarburos, aguas servidas, basura y metales pesados), que son vertidos a los cuerpos de agua como lagos, mares y ríos, los cuales contienen y transportan en sus aguas este material, ya sea disuelto o asociado a los sólidos suspendidos y sedimentos. Este material pudiera representar riesgos de contaminación según el nivel de concentración en que se encuentren estas sustancias en los sedimentos. <sup>[1,2,3]</sup>

Los metales pesados son constituyentes de la corteza terrestre cuya fuente de origen puede ser tanto natural como antrópica, por lo que su distribución en los sedimentos costeros va a depender de la fuente que los suministren o movilicen. Formándose así especies químicas que tienen diferente grado de asimilación o toxicidad por parte de los organismos, e incluso podrían quedar biológicamente no disponibles (no-biodegradable). <sup>[4,5,6,7,8]</sup>

Una de las principales vías de transporte de metales pesados la constituyen los ríos, debido a la gran afinidad que tienen estos elementos químicos para ser transportados en el material suspendido, que al entrar en contacto con la zona marino-

costera sufren mecanismos fisicoquímicos que permiten su acumulación en los sedimentos donde pueden alcanzar niveles de concentración excesivos, convirtiéndose así en contaminantes estables y persistentes que pueden ser peligrosos para la biota marina, el hombre y el deterioro ambiental en general. <sup>[8,9, 10,11,12,13]</sup>

Debido a lo anteriormente indicado existe un gran interés a nivel mundial en realizar estudios de metales pesados a nivel de agua, sedimentos y organismos, en los ecosistemas más sensibles a la contaminación, como son los estuarios y bahías. Esto con el fin de establecer los niveles de concentración de estos elementos que podrían estar afectando a los organismos presentes en los diferentes ambientes marinos, costeros, lacustres y fluviales. <sup>[9, 14, 15,16, 17, 18,19]</sup>

Al noreste de Venezuela en la costa oriental del estado Falcón, se encuentra localizado el Refugio de Fauna Silvestre de Cuare, que es uno de los refugios de fauna silvestre más importantes del país e incluso a nivel mundial. Allí está ubicado El Golfete de Cuare un sistema gran importancia ecológica, donde habitan numerosas especies, tanto de animales como de plantas los cuales toman de su suelos y sedimentos, cantidades necesarias de los elementos esenciales para vivir. Entre las especies que se pueden mencionar están: los organismos bentónicos, el fitoplancton y los manglares, que son ambientes propicios para el refugio, alimentación, reproducción y desarrollo de aves, invertebrados, vertebrados, peces y mariscos. Además protegen a las zonas costeras contra la erosión, marejadas, tormentas y huracanes. <sup>[20,21, 22,23]</sup>

En El Golfete de Cuare se ha venido observando un deterioro progresivo así como la mortalidad de algunas especies de manglar, y aun no se conoce la cusa de porque está ocurriendo esto. Por tal motivo se han llevado acabo una serie de estudios, enfocados principalmente desde el punto de vista biológico, <sup>[14,15,20]</sup> los cuales indican que estos cambios ecológicos pueden estar asociados a alteraciones de origen

antrópico, por causa de las actividades humanas ya mencionadas. Así lo demuestran los trabajos que se han realizado en estos manglares y en sus zonas adyacentes. Donde se ha determinado la concentración de elementos químicos mayoritarios a nivel de suelos, sedimentos y aguas, dentro del Golfete de Cuare, como en las zonas de inundación del río Tocuyo. Este es uno de los principales afluentes de agua dulce mas cercano al área de estudio. [7,20,24,25,26, 27,28,29,30]

No obstante queda por realizar un estudio geoquímico de la concentración de metales pesados en sedimentos de fondo del Golfete de Cuare, el cual recibe aportes de sedimentos directamente del Mar Caribe, y en épocas de invierno producto de desbordamientos de los caños (Esteros, Dieguito) conjuntamente con el río Tocuyo, la cual se sabe está altamente contaminado. [7,20,24,25,26, 27,28,29]

En tal sentido surge la necesidad de llevar a cabo un estudio geoquímico de los metales pesados en los sedimentos de fondo en El Golfete de Cuare, y así de esta manera poder descartar posibles contaminaciones en estos sedimentos, que pudiesen estar afectando algunas especies de manglares presentes en dicho ecosistema. Para cumplir con este trabajo son propuestos los objetivos siguientes.

## **2. Objetivos**

De acuerdo a lo anteriormente mencionado se establecieron los siguientes objetivos.

### **2.1. Objetivo general**

Estudiar geoquímicamente los sedimentos de fondo del Golfete de Cuare, estado Falcón.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Estudiar la distribución granulométrica de los sedimentos de fondo del Golfete de Cuare.
- Determinar la concentración de los elementos Fe, Mn, Ca, Mg, Zn, Cu, Ni, Pb, Cr, Cd y Hg, en los sedimentos de fondo.
- Establecer la distribución espacial y a profundidad de las concentraciones de estos elementos en dichos sedimentos.
- Realizar el estudio mineralógico del sedimento de fondo de la fracción lodo (limo-arcilla) de algunas muestras a través de la técnica de difracción de rayos X.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios todo poderoso, quien me dio la fortaleza, me ilumino y me bendijo con su fuerza divina, para así obtener este logro tan importante en mi vida. Se que así como este logro habrán muchos otros más y cada vez mejores, porque Dios siempre ha estado conmigo en todo momento, siempre guía mis pasos y mis pensamientos. Porque él está en mi, en mis palabras, mis acciones y en cada cosa que hago. Gracias mi Dios por hacer de mí una persona exitosa.

A mí madre querida y adorada, quien siempre se ha preocupado por mí futuro. Hoy cumplí un sueño anhelado por ti madrecita, este logro te lo dedico con todo mi amor. Se que mi padre Dios lo tiene en su gloria y hoy también él está muy feliz por haber cumplido la promesa que una vez le hice. Este éxito también es suyo porque siempre lo llevo en mi corazón, los amo.

A mis hermanos, Tamara y Daniel a quienes adoro, siempre los llevo en mí corazón. A mis nonos lindos que siempre recuerdo, especialmente a ti nonita. Gracias a todos por ser mi familia.

A mi hermana, amiga y querida Dra. Gabriela Arcano, gracias infinitas por ser tan especial e incondicional. Gracias por ser quien eres conmigo, por ayudarme y estar junto a mí en cada momento tan importante de mi vida, te adoro. También agradezco al Dr. J Mario Montesinos, a quien aprecio, respeto y admiro, porque me ayudaste, me apoyaste con tu buena voluntad y cariño. Los quiero muchos mis excelentísimos doctores.

A mi querido, bello y adorado hermano Jorge Molina Z, quien siempre ha sido mi amigo inseparable, mi confidente, eres muy especial he importante en mi vida. Gracias

por estar en cada instante y cada cosa que hemos vivido juntos, por entenderme como solo tú lo sabes hacer. Te quiero mucho.

Gracias a los profesores Carlos Yanes y William Meléndez, por permitirme realizar la tesis bajo su dirección. Gracias por su paciencia y ayuda.

Gracias al Licenciado Carlos Barrios por su colaboración. Por siempre estar cuando lo necesite. Eres excelente amigo y profesor.

Gracias a todas aquellas personas, amigos y amigas que estuvieron a mi lado en momentos buenos y malos, porque siempre demostraron ser mis amigos: María Francia, Omeri, Omar Arcano, Luis Quintero y su hermano, Ángel Rivas. Gracias a todos, incluso a los que no menciono en estas cortas líneas. Gracias a todos los presentes por estar allí, por todos los favores recibidos.





## 2. Revisión bibliográfica:

A continuación se hace una breve descripción de los principales aspectos teóricos en los que se basa esta investigación. Los mismos servirán de soporte teórico para la interpretación de los datos generados durante el desarrollo del mismo. Debido a que el sistema a estudiar comprende los sedimentos de fondo, se comienza esta etapa del trabajo revisando los principales conceptos relacionados con los sedimentos, y su asociación con metales.

## 3. Definición de sedimentos:

Los sedimentos son una mezcla compleja de un número de fases sólidas que pueden incluir carbonatos, silicatos, materia orgánica, óxidos y oxihidróxidos de hierro-manganeso y sulfuros (ejemplo la pirita). Estos se forman por la meteorización de las rocas, por precipitación química de soluciones acuosas o por secreciones de organismos, y a la vez son transportados por el agua, el viento o los glaciares. Para que estos se formen se ven involucrados una serie de factores que van a determinar su composición. [1, 5,16,26]

## 4. Factores que determinan la composición de los sedimentos:

La composición de los sedimentos se ve influenciada por una serie de factores que se encuentran relacionados entre si, tales como: litología, relieve, clima, vegetación y las actividades humanas.

**5.1 Litología:** Este factor tiene que ver con la influencia que ejerce la composición de las rocas, suelos y sedimentos que están en contacto con las agua. Cuando ocurren los proceso de meteorización y transporte se produciéndose la alteración de muchos minerales, que conlleva a la liberación de los elementos químicos que están formando parte de su estructura. Estos luego pasan a los cuerpos de agua así como a los sedimentos determinando su composición. [26,28,31,32]



**5.2. Relieve:** Este factor se refiere a la forma y topografía del terreno, los cuales determinan la acumulación y transporte de los sedimentos, por aumento o disminución de la pendiente; en zonas de alta pendiente ocurre un incremento de los procesos de meteorización física y transporte, producto de la gran energía que adquieren las aguas, generando un aumento de la acumulación de sedimentos en los diferentes ambientes sedimentarios, ocurriendo lo contrario, en las zonas de baja pendiente, ya que aquí los procesos de meteorización química y sedimentación aumentan. <sup>[29, 30, 31]</sup>

**5.3. Clima:** Es importante en los procesos de meteorización y transporte, ya que abarca las variaciones de temperatura y precipitación. La temperatura controla la velocidad de reacción y solubilidad de los minerales. La precipitación determina la relación volumen de material erosionado / volumen de agua y por ende la capacidad de disolución; y finalmente la escorrentía determina la capacidad de remoción de material presente en dicho sistema. <sup>[31]</sup>

**5.4. Vegetación:** Es uno de los factores biológicos más importantes ya que debido a la presencia de las plantas y sus raíces protege a los suelos, contra la erosión y contribuye a la estabilidad de las pendientes, disminuyendo considerablemente la concentración de los sedimentos transportados por las aguas. <sup>[31]</sup>

**5.5. Actividad humana:** Las actividades humanas de origen doméstico, agropecuario e industrial pueden generar cualquier cantidad de desechos tóxicos y no tóxicos, que luego son descargados en cuerpos de agua, principalmente los ríos. Estos son los encargados de transportar en sus aguas estos desechos a diferentes ambientes sedimentarios fluviales, lacustres y próximos costeros en los que pueden ocurrir efectos de contaminación por la presencia de estos desechos; un ejemplo: es la presencia de metales pesados y compuestos organoclorados como el DDT (Dicloro-Difenil-Tricloroetano) en sedimentos y aguas de los distintos ecosistemas. <sup>[31, 32]</sup>



## 5. Principales fuentes de sedimentos:

Las fuentes de sedimentos pueden ser naturales y antrópicas. [6, 7, 8, 29,32, 33]

**6.1. Fuentes naturales:** Están relacionadas con los procesos naturales de erosión continental que se ve reflejada a gran magnitud en áreas montañosas, tal como se evidencia en las cordilleras activas (Los Andes), donde las tasas de levantamiento son altas, originando de esta manera sedimentos transportados que eventualmente pueden comenzar a asentarse o transportarse nuevamente, a los diferentes ambientes sedimentarios (terrestres, transicionales y marinos). [10,14,25,27,34]

**6.2. Fuentes antrópicas:** Estos sedimentos son producto de las actividades humanas tales como: urbanas, industriales, mineras, deforestación, actividades agrícolas y turísticas recreacionales. Las mismas conllevan a un incremento de los sedimentos por desechos de estas actividades [10,14,15,27, 33,34]

## 6. Definición de metales pesados:

La corteza terrestre contiene muchísimos elementos químicos, entre ellos muchos metales, que desde tiempos remotos han sido de gran utilidad y importancia para el desarrollo y progreso de las civilizaciones. Se consideran como metales pesados aquellos elementos cuya densidad es igual o superior a  $5 \text{ gr/cm}^3$  cuando está en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20, excluyendo a los metales alcalinos y alcalino-térreos, que como se sabe ellos también forman parte de la clasificación de la tabla periódica de todos los elementos químicos conocidos. Entre los metales pesados que pueden mencionarse están: Cu, Zn, Cd, Pb, Fe, Mn, Ni, Cr, y Hg, de los cuales el Fe, Cr, Cu, Mn, Mg, Ca Ni y Zn son considerados oligoelementos o micro nutrientes, que se requieren en pequeñas cantidades, o cantidades traza, por las plantas, animales y seres vivos; todos ellos son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital, pero al elevar sus concentraciones se vuelven tóxicos. Se sabe que estos son componentes habituales de los suelos, aguas y sedimentos, pues su procedencia esta relacionada con la composición del material original (las rocas). [5,16,35, 36]



## **7. Principales vías de transporte de metales pesados:**

Una de las principales vías de transporte de metales pesados a las zonas costeras son los ríos, debido a su gran afinidad por los metales pesados a ser transportados en el material suspendido y los sedimentos. Además de las corrientes de agua, el viento y el movimiento del hielo son también factores geológicos responsables de separar, arrastrar y transportar los sedimentos. [1, 2,16,31,33,35].

## **8. Factores y mecanismos que influyen en la fijación de metales pesados en sedimentos de fondo:**

La fijación de los metales pesados está influenciada por factores y mecanismos fisicoquímicos que ocurren en los distintos ambientes sedimentarios. Entre los factores que intervienen están: características texturales, composición química y mineralógica del sedimento, pH, potencial redox, salinidad, temperatura, organismos y acción bacterial. [1, 5,37]



## 9.1. Factores:

**9.1.1. Características texturales del sedimento:** La principal característica es el tamaño de grano del material sedimentario. La mayor tendencia de acumulación de metales ocurre en los sedimentos de menor tamaño de grano, debido a la mayor superficie de contacto que puede existir en estos. <sup>[1,5,37]</sup>

**9.1.2. Composición química y mineralógica del sedimento:** dependiendo de la mineralogía hay un conjunto de metales pesados que pueden encontrarse en los sedimentos, puesto que son una mezcla compleja de un número de fases sólidas que pueden incluir: carbonatos, silicatos, materia orgánica, óxidos y oxihidróxidos de hierro-manganeso) y sulfuros. <sup>[1,5,37]</sup>

**9.1.3. pH:** Es una medida de la actividad de los iones hidrogeniones en el medio. Su determinación es de gran importancia ya que la solubilidad de los hidróxidos, óxidos, carbonatos y otros minerales están influenciados por la actividad de los iones hidroniones en solución. Además permite identificar descargas ácidas o alcalinas. La mayoría de los metales son más móviles en condiciones ácidas, excepto el Cr. <sup>[1,5,37, 38,39]</sup>

**9.1.4. Potencial redox (Eh) (mV):** El potencial redox es una medida del carácter oxidante o reductor de un medio. Está relacionado con el pH y con el contenido de oxígeno. Este mide la capacidad de oxidación y reducción de los elementos químicos, en otras palabras el potencial redox es una medida cuantitativa del cambio de energía, al añadir o separar electrones de los elementos, para obtener diferentes estados de oxidación, en busca de su estabilidad.



A altos valores de Eh se favorecen los efectos oxidantes, mientras que a bajos valores los reductores. La movilidad de algunos metales como Fe y Mn depende de su estado de oxidación, ejemplo: en condiciones reductoras el Fe (III) se transforma en Fe (II), mucho más soluble, liberando los metales adsorbidos, así como también en condiciones muy reductoras el Fe se combina con el S para formar la pirita ( $\text{FeS}_2$ ); además de la precipitación de otros metales en forma de sulfuros ( $\text{HgS}$ ,  $\text{CuS}$ ,  $\text{MnS}$ ,  $\text{ZnS}$ ). Luego en condiciones oxidantes la pirita se oxida liberando sulfatos solubles y metales. De esta manera se puede decir que la oxidación se efectúa con más facilidad cuando más alcalina sea la solución. Los depósitos de compuestos ferrosos en la naturaleza exigen ya sea un medio muy ácido o un potencial de oxidación muy bajo, de carácter negativo. Figura (1). [1,5,37, 38,39]

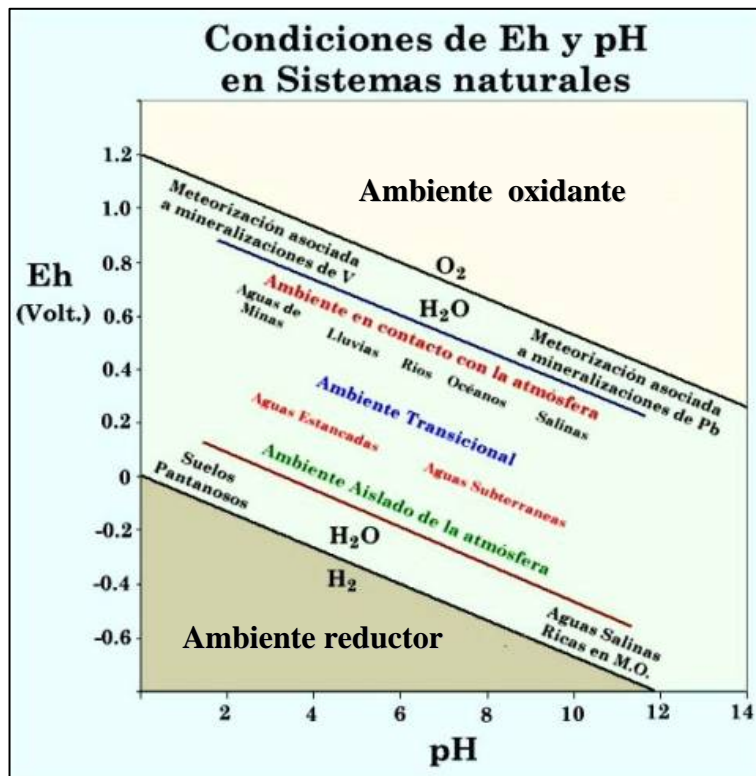


Figura 1: Condiciones de Eh y pH en sistemas naturales. [52]



**9.1.5. Salinidad:** La salinidad es la cantidad de sólidos disueltos (g.) en 1 Kg de Agua de mar. La salinidad normal del Agua de mares: ~ 35%. La salinidad puede incrementar la movilidad de los metales alojados en posiciones de intercambio, ejemplo: el Na, K, Ca y Mg pueden reemplazar a metales pesados en los lugares de adsorción, así como el anión cloruro puede formar complejos solubles estables con metales pesados como Zn, Cd y Hg. <sup>[1,5,27,37]</sup>

**9.1.6. Temperatura:** La temperatura controla la velocidad de las reacciones químicas y el campo de estabilidad de muchas especies en solución. Esta controla muchos de los mecanismos fisicoquímicos tales como: adsorción, intercambio iónico, floculación, precipitación, Coprecipitación y acomplejamiento-quelación, que se describen a continuación. <sup>[1,5,37]</sup>

## **9.2. Mecanismos:**

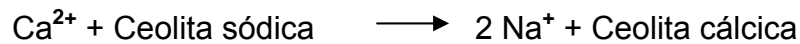
### **9.2.1. Adsorción:**

Este mecanismo involucra la concentración de moléculas de una solución sobre la superficie de un sólido pudiendo haber un exceso de concentración de estas moléculas sobre la superficie sólida. La magnitud de la adsorción y la firmeza con que la sustancia adsorbida es retenida dependen en gran parte de la naturaleza del adsorbente y de la sustancia adsorbida. Por ejemplo: los sólidos que presentan una superficie porosa e irregular, implican que el área superficial por unidad de masa es mayor al área geométrica aparente, la cual ayuda a concentrar mayor número de moléculas en la superficie en forma de una película o monocapa. A diferencia de la adsorción la absorción es la penetración más o menos uniforme del sólido por una sustancia dada. Tanto los óxidos de Mn como los de Fe pueden incorporar una diversidad de elementos de transición (por ejemplo (Cu, Ni, Zn, y Pb), ya sea por adsorción en la superficie de los óxidos o por incorporación en la estructura cristalina.

[36, 38,39,40]



**9.2.2. Intercambio Iónico:** el intercambio iónico es un mecanismo por medio del cual un sólido insoluble remueve iones de carga positiva o negativa de una solución electrolítica y transfiere otros iones de carga similar a la solución en una cantidad equivalente. Este mecanismo está controlado por la naturaleza de las especies involucradas y las condiciones fisicoquímicas del medio. Ejemplo, la dureza del agua se puede eliminar reemplazando los iones calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) por los iones ( $\text{Na}^+$ ) utilizando una resina intercambiadora de cationes (zeolita), según la siguiente reacción de cambio:



Otro ejemplo son las partículas de arcilla y las moléculas orgánicas, los cuales presentan una carga residual negativa sobre su superficie, por lo que son intercambiadores catiónicos preferentemente; mientras que los oxihidróxidos de hierro, aluminio y manganeso están cargados positivamente y son intercambiadores aniónicos. <sup>[36,39,40, 41, 42]</sup>

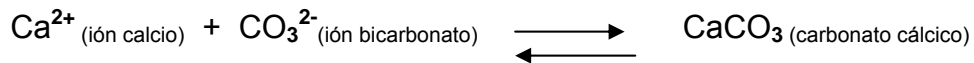
**9.2.3. Floculación:** es el mecanismo mediante el cual ocurre la formación de partículas gruesas por aglomeración de partículas más pequeñas, formándose así masas de diversos tamaños, tal que su peso específico supera a la del agua facilitando su precipitación. Esta íntimamente relacionado con las especies coloidales. Un ejemplo de floculación es el que se da por la influencia del agua de mar sobre la del río, una vez que los metales pesados son liberados al medio marino, permitiendo que los metales puedan ser acumulados en la materia orgánica del sedimento. <sup>[26,36,38,39]</sup>

**9.2.4. Precipitación:** La precipitación se produce casi siempre por efecto de la solubilidad de una sustancia en cierto disolvente. Este mecanismo a su vez envuelve la formación de los sólidos mediante el proceso de nucleación. La precipitación está determinada por varios factores tales como: la naturaleza de las especies presentes y las características fisicoquímicas del medio donde tiene lugar el fenómeno. Por ejemplo, si se disuelve sal en agua hasta que no se disuelva más y se filtra se tendrá





una disolución (saturada). Al dejar evaporar el agua, se formarán cristales de sal: es decir la sal esta precipitando. Otro ejemplo es la precipitación de calcita (carbonato de calcio):



El ión bicarbonato es un agente con capacidad reguladora del pH de las aguas en los ríos, frente a las posibles descargas acidas o básicas del medio. [13,38]

#### 9.2.5. Coprecipitación:

Es un mecanismo en el cual los compuestos que normalmente son solubles se separan de la solución por un precipitado.

Hay cuatro tipos de Coprecipitación: adsorción en la superficie, formación de cristales mixtos, oclusión y atrapamiento mecánico. La adsorción en la superficie y la formación de cristales mixtos son mecanismos en equilibrio, mientras que la oclusión y el atrapamiento mecánico están controlados por la cinética de crecimiento del cristal. [26,36, 39]

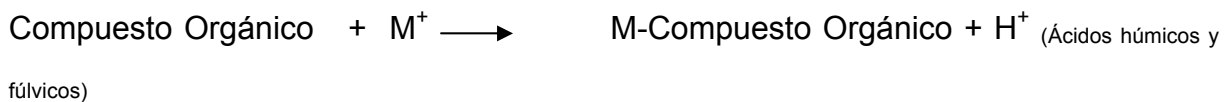
En la formación de cristales mixtos uno de los iones de la red cristalina de un sólido se reemplaza por un ión de otro elemento. Para ello los iones deben tener la misma carga y su tamaño no debe diferir mas de un 5%. La oclusión es un tipo de coprecipitación en el cual un compuesto queda atrapado en huecos formados durante un crecimiento rápido del cristal. El atrapamiento mecánico sucede cuando los cristales crecen juntos, y en consecuencia, una porción de la solución queda atrapada en los pequeños intersticios. [26,36, 39]

**9.2.6. Acomplejamiento-Quelatación:** los quelatos son compuestos cíclicos organometálicos en los que el metal es parte de uno o más anillos de cinco o seis miembros. Los reactivos que determinan este tipo de compuestos se denominan agentes quelatantes y sus productos se conocen como quelatos. Los quelatos



metálicos son relativamente no polares por lo que su solubilidad en agua es baja, pero alta en los líquidos orgánicos. Estos compuestos a menudo son de baja densidad y de color intenso. [39,41]

El acomplejamiento está determinado por la naturaleza de la especie metálica, del tipo de ligando y de las condiciones fisicoquímicas del medio. La materia Orgánica puede controlar la movilidad de muchas especies químicas en el ambiente de meteorización y sedimentación, mediante la formación de complejos orgánicos. La materia orgánica producto de la descomposición de los organismos vivos actúa como agente quelante:



## 9. Comportamiento geoquímico de los metales pesados en estudio:

Conocer el comportamiento geoquímico de los metales pesados: Cu, Zn, Cd, Pb, Fe, Mn, Ni, Cr, y Hg, y poder explicar su asociación con las diferentes fases minerales, tienen gran importancia, ya que aporta información sobre su biodisponibilidad, movilización en los diferentes ambientes marinos, costeros, lacustrines y fluviales. La aplicación de diferentes métodos químicos y técnicas analíticas permiten determinar y establecer niveles de concentración de cualquier elemento químico, tanto en agua, como sedimentos y organismos, creando de esta manera una base de datos que sirve como referencia o marco comparativo para futuros estudios. [10,36, 41,42, 43, 44,45, 46,47]

Es bien sabido que el destino final de los metales pesados liberados en los ríos son los sedimentos marinos. Generalmente estos metales son transportados en el material suspendido e incorporados en las fases minerales de los sedimentos:



carbonatos, silicatos, materia orgánica, oxi-hidróxidos de Fe-Mn, y sulfuros. Es aquí donde se pueden encontrar asociados cualquiera de los metales antes mencionados, siendo controlada su distribución principalmente por factores y mecanismos fisicoquímicos. [5,10,41,42, 44,45,46,47, 48]

A la hora de hablar de los carbonatos se puede decir que estos garantizan la alcalinidad de las aguas, favoreciendo la adsorción y coprecipitación de los metales pesados, conjuntamente. En cuanto a las arcillas se sabe que son aluminosilicatos hidratados de Fe, Mg, K, Na principalmente, producto de hidrólisis. Estructuralmente son filosilicatos (similares a las micas), que tienen la capacidad de adsorber, fijar e intercambiar cationes gracias a la elevada superficie específica y a la deficiencia de carga negativa que poseen. [41,42,45,46,47,48, 49]

Los oxihidróxidos son óxidos e hidróxidos de Fe y Mn, principalmente, producto de hidrólisis y oxidación. Estos también poseen capacidad de intercambiar cationes al igual que las arcillas, y son sensibles a los cambio de Eh. En condiciones reductoras, el Fe y Mn son más solubles, anulando el poder de adsorción ya que se encuentran en sus formas  $Fe^{2+}$  y  $Mn^{2+}$ , así una porción de estos dos constituyentes disueltos pueden difundirse hacia la interfase sedimento-agua, en el que son oxidados y reprecipitados. De está manera ocurren mecanismos de disolución-precipitación, que traen consigo la solubilización de los elementos asociados con la fases oxidadas, que eventualmente coprecipitaran con los oxi-hidróxidos de Fe y Mn, en las capas superficiales de los sedimentos. [5, 10,41,42,45,46,47]

La materia orgánica al igual que los oxihidróxidos puede adsorber metales pesados, y a la vez formar complejos organometálicos de diferente masas moleculares, las cuales condicionan su movilidad, que a su vez depende del medio en que se encuentren. [40, 41,47, 48, 49, 50]

La formación de sulfuros como la pirita ( $FeS_2$ ), por la reducción de sulfatos, trae consigo la coprecipitación de muchos metales como: Hg, Co, Cu, Ni, Cr, Pb, Zn,



a la fase sólida, ya sea formando el sulfuro característico de cada metal, así como por adsorción, o en última instancia formando parte de las estructuras cristalinas del sulfuro en particular. [5,41,42,45,46,47,48, 49]

Dicho esto es necesario hablar un poco de cada uno de los metales pesados por separado, empezando por el Cu, ya que este es un metal relativamente abundante en la corteza terrestre, que se presenta principalmente en forma de sulfatos, carbonatos, y sulfuros de Fe-Cu. A su vez este metal puede ser adsorbido por la materia orgánica, los óxidos de Fe-Mn y los minerales de arcilla. A diferencia del Cu el Cd no es tan abundante, y en el medio ambiente no aparece en su forma pura. La forma más común del Cd es como sulfuro (CdS) y se obtiene siempre como producto secundario de extracción de otros elementos como el Zn. También el Zn es un metal abundante en la corteza terrestre, así como el cobre, y ambos son considerados micronutrientes al igual que el Mn y el Fe. El Zn forma compuestos poco solubles (hidróxidos y carbonatos), y además tiene la capacidad de adsorberse fuertemente sobre los sedimentos. [33,34, 35, 36,42, 43, 44,45,46,47, 48]

El Pb, es un metal poco móvil que tiende a ser adsorbido por los minerales de arcilla y la materia orgánica del sedimento. Puede encontrarse en forma de sulfuros, carbonatos y sulfatos. A pH básicos puede precipitar como  $Pb(OH)_2$ . [33,34, 35, 36,42, 43, 44]

El Cr se presenta casi siempre en forma trivalente  $Cr^{3+}$ . En condiciones ácidas se encuentra como ión dicromato ( $Cr_2O_7^{2-}$ ), el cual posee una gran capacidad oxidante; no obstante a pH intermedio de condiciones ambientales predomina es el ión cromato ( $CrO_4^{2-}$ ), cuya capacidad oxidante es menor; por lo tanto la reducción de estas especies iónicas trae como resultado la transformación de  $Cr^{6+}$  a  $Cr^{3+}$ . Este catión, al pH del medio natural, precipita como hidróxido,  $Cr(OH)_3$  que puede permanecer en suspensión en estado coloidal o precipitar en el sedimento; por tal motivo es poco probable que exista como cromo disuelto en una solución acuosa. Finalmente el  $Cr^{6+}$  es de naturaleza aniónica y no es fuertemente



adsorbido por el sedimento, por ello es mas móvil que el  $\text{Cr}^{3+}$  y no está propenso a sedimentar. En vista de esto el Cr presenta distintos grados de solubilidad, lo que dificulta la determinación de su grado de concentración en los sedimentos. [10, 33,46,47, 48]

De igual manera, el Ni suele estar presente mayormente, en forma soluble ( $\text{Ni}^{2+}$ ) en ambientes acuáticos. Solo una cierta cantidad de níquel puede permanecer adsorbido sobre las partículas sólidas, materia orgánica o formando parte de las estructuras cristalina de los minerales. El ión  $\text{Ni}^{2+}$  también es fácilmente desplazado de los sitios de intercambio de los minerales arcillosos. Este metal puede formar minerales con los oxidos, sulfuros y arseniuros. En ambientes anaeróbicos, como ocurre en sedimentos profundos, el ion sulfuro puede controlar la solubilidad del  $\text{Ni}^{2+}$  formado así el  $\text{NiS}$ . [33,34, 35, 48]

El Hg es un metal líquido a temperatura ambiente, habitualmente no se encuentra en el medio natural y su presencia podría significar contaminación de carácter antrópico. Este se encuentra en el ambiente comúnmente como sulfuro ( $\text{HgS}$ ), también puede formar oxidos ( $\text{HgO}$ ), cloruros ( $\text{HgCl}_2$ ) y compuestos orgánicos como el dimetilmercurio ( $\text{H}_3\text{C-Hg-CH}_3$ ), acetato de fenilmercurio, cloruro de metilmercurio y el metilmercurio ( $\text{Hg-CH}_3$ ), siendo está ultima la forma más común. El Hg puede estar asociado a las diferentes fases minerales. [33, 43, 44,45,46,47, 48]

Tomando en cuenta el comportamiento de los metales pesados y la afinidad de estos por las diferentes fases antes mencionadas, es que se ha realizado el estudio de su concentración en sedimentos. La mayoría de los trabajos realizados en diferentes partes del mundo están enfocados a la determinación de la concentración y distribución de los metales pesados en sedimentos superficiales, tanto de ríos, bahías, estuarios, etc. Con el fin de conocer si existe o no algún indicio de contaminación, además de poder establecer en algunos casos valores de fondo. En la mayoría de estos estudios los análisis químicos se han llevado acabo utilizando



métodos y técnicas que permiten el tratado de las muestras y la obtención de resultados; su aplicación va depender de cual sea el objetivo del estudio. Algunos de los métodos son: el método de extracción química secuencial y la extracción química total (digestión total); en cuanto a las técnicas: espectroscopia de absorción atómica (AAS), espectroscopia de emisión atómica con plasma inductivamente acoplado (ICP-EEA), y la técnica de difracción de Rayos X. [33,34, 35, 36,47, 48]

Estudios de la concentración de metales pesados en sedimentos de mangle han venido realizándose en un gran número de sitios incluyendo: Hong-kong, Singapur, Brazil, Guyana Francesa, Mazatlán entre otros. [49,50,51,52,53,54] Por ejemplo en Maipo Hong-kong en 1999, se determino la concentración de Zn, Fe, Cu, Cr, Cd, Pb, Ni. El estudio indicó que estos se encuentran asociados mayormente en los sedimentos finos, con la materia orgánica y los oxihidróxidos de Fe-Mn. De igual forma un año después en Hong-Kong se determinó el grado de contaminación de los sedimentos de Swamps, así como también se establecieron algunos valores de fondo. Los análisis indicaron que la mayor concentración de metales pesados se encontraba en la fracción (limo-arcilla) y en la materia orgánica. [59,63]

La obtención de los valores de fondo se ha realizado en sedimentos de zonas consideradas relativamente limpias sin influencia antrópica. [59,63] Posteriormente en Mazatlán, se estudió la concentración de metales pesados, los cuales presentaron una influencia antrópica moderada en la mayoría de los metales, excepto el Cd que reflejo una concentración alta. Así mismo se hicieron estudios en sedimentos contaminados en la bahía de Guanabara Brazil 2003, donde se consiguieron altas concentraciones para todos los metales, (Cd, Cr, Cu, Pb, Zn y Hg), pero la concentración de Zn fue bastante elevada, y la asociación de estos metales al sedimento se vió mayormente reflejada en la fracción fina.

En los sedimentos de la costa norteña de Singapur en el 2005 se realizó la determinación de la concentración de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn, cuya concentración fue relativamente baja con respecto a los mangles de Brazil y Hong-Kong, encontrándose generalmente asociados al sedimento fino y la materia orgánica. [61,62] Por otra parte



en la Guyana Francesa, en el 2007, se realiza la determinación de la distribución de metales pesados en 7 áreas diferentes, tomando en cuenta la variación de profundidad, así como las condiciones de oxido-reducción que están ampliamente relacionadas con el valor del potencial redox. Se consigue que en zonas sulfato-reductoras hay mayor concentración de metales que en zonas de oxidación de sulfuros; esto quiere decir que la reducción de sulfatos trae consigo la formación de sulfuros como pirita ( $\text{FeS}_2$ ), y por consiguiente la coprecipitación de muchos metales como  $\text{Hg} > \text{Co} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Cr} > \text{Pb} > \text{Zn}$ , a la fase sólida. Posteriormente cuando comienza la oxidación de los sulfuros, el medio se hace más ácido y estos metales se vuelven a liberar a la fase acuosa. Adicionalmente se verificó que los la mayor concentración de los metales está asociada a la fracción más fina, en los minerales de arcilla, así como en los oxihidroxidos de Fe-Mn y la materia orgánica, formando complejos organometálicos. <sup>[58,60]</sup>

En el año 1990, en el Golfo Bajo de California se hizo un análisis para determinar la distribución de Cd, Mn, Ni, Pb, Cu, Cr, Fe, en las diferentes fases minerales, aplicando el método de extracción química secuencial <sup>[5,46]</sup> cuyos resultados indicaron que la mayor concentración de todos los metales se encontraba en la fracción residual, indicando un origen litogenico. Adicionalmente se observó que Fe y Cu tienen las concentraciones más elevadas en la fracción oxidable (fase de los sulfuros) que en la reducible (fase de los oxihidróxidos), contrario al Ni, Cr, Pb y Mn. De igual forma el Cd y Pb se encontraron asociados a los carbonatos y la materia orgánica, en la mayor parte de las muestras. Posteriormente al noreste de Turkía en el 2001, se realizó el análisis de Fe, Mn, Cu, Zn, Pb y Ni, está vez aplicando el método de extracción química total, cuyos resultados indicaron que los metales pesados se encontraron mayormente asociados al sedimento fino (limo-arcilla) y sus concentraciones no reflejaron influencias antrópicas. <sup>[5,7]</sup>

Al año siguiente en la bahía de Bergantín Venezuela 2002, se realizó el estudio la concentración de Cd, Zn, Cr, y Pb, aplicando igualmente el método de extracción química secuencial. Los resultados reflejaron un gran impacto antrópico en los sedimentos, que contenían un alto porcentaje de arcilla y limo. El Cd se encontró



asociado principalmente a la materia orgánica y al material residual, en el que también se encontró Cr y Zn; este último mostró a su vez un alto valor de concentración. Finalmente el Pb se obtuvo en la fracción cambiante, los oxihidróxidos y la fracción residual. [17]

De aquí la importancia de realizar extracciones químicas secuenciales, siendo un método práctico y sencillo que consiste en extraer de una manera fraccionada los elementos asociados a las diferentes fases minerales del sedimento, usando reactivos químicos con distintos grados de concentración como extractantes, permitiendo evaluar la movilidad, disponibilidad de los metales pesados, para poder determinar si el origen de estos metales es litogénico o antrópico. [5,7, 8, 17,46]

Uno de los primeros métodos de extracción química secuencial fue desarrollado por [46], y éste ha servido de base para el desarrollo de otros esquemas posteriores de especiación. [7,8,32,55] Es uno de los métodos más utilizados en suelos y sedimentos, ya que es práctico, sencillo, además de económico. Este consiste en una serie de extracciones químicas sucesivas, que consiguen remover los constituyentes más importantes de las principales fases acumulativas de metales pesados en los sedimentos: carbonatos, oxihidróxidos de Fe-Mn, materia orgánica, sulfuros. [46] Este incluye 5 pasos que se pueden observar en la tabla (1). En la mayoría de los esquemas de especiación se pretende separar los metales en cinco fracciones que son las siguientes:

**1- Fracción cambiante:** Metales en forma de iones intercambiables. Estos se encuentran adsorbidos o retenidos en la superficie de las partículas del sólido por interacciones electrostáticas débiles, metales liberables por mecanismos de intercambio iónico y que pueden coprecipitar en presencia de carbonatos. Estos metales pueden ser fácilmente liberados a los sistemas acuáticos por pequeños cambios ambientales. [5,7, 8, 17,46]





**2- Fracción de los carbonatos:** Metales ligados a carbonatos. Se considera que los metales unidos a esta fase se liberarán al descender el pH del medio, a través de procesos de disolución de los carbonatos, a pH cercanos e inferiores a 5. [5,7, 8, 17,46]

**3- Fracción Reducible:** Metal asociado a los oxi-hidróxidos de Fe y Mn. Los metales presentes en esta fase pasarán al medio acuoso en aquellas zonas donde el sedimento se encuentre bajo condiciones reductoras. Estos óxidos son sustancias de alto poder de adsorción y son termodinámicamente inestables en condiciones anóxicas (valores bajos de potencial redox). Se presentan en forma de nódulos, como matriz, cemento o recubrimiento de partículas. [5,7, 8, 17,46]

**4- Fracción Oxidable:** Metal ligado a la materia orgánica y sulfuros. Estos metales representan la fracción que se liberaría al pasar a condiciones oxidantes. Un ejemplo de esto es la deposición de los sedimentos anóxicos sobre superficies en contacto con la atmósfera. [5,7, 8, 17,46]

**5- Fracción residual o litogénica:** Son los metales ligados a los minerales primarios, secundarios y que forman parte de su estructura cristalina. Se considera una fracción de carácter inerte, dado que la movilización de los metales asociados, es posible bajo condiciones extremas. [5,7, 8, 17,46]



PASO	Fracción	Extracción
1	Cambiable	1 mol/L MgCl <sub>2</sub> (pH 7), 20 °C
2	Carbonatos (Carbonatos solubles)	1 mol/L NaOAc + HOAc (pH), 20 °C
3	Reducible (Oxi-hidróxidos de Fe-Mn)	0.04 mol/L NH <sub>2</sub> OH.HCL + HOAc 25 %, 95°C
4	Oxidable (MO y sulfuros)	30% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + 0.02 mol/L HNO <sub>3</sub> (pH), 85 °C; 2 mol/L NH <sub>4</sub> OAc + HNO <sub>3</sub> 20%
5	Residual (Residual-Silicatos)	HF/HClO <sub>4</sub>

**Tabla 1:** Esquema de extracción química secuencial. <sup>[46]</sup>

En el método de extracción química total, a diferencia del método de extracción química secuencial, la muestra se trata como un todo. Se le realiza digestión total con diversos reactivos de carácter ácido, a condiciones extremas; este método se aplica según sea el interés del estudio, cuando se requiere conocer la concentración de metales pesados en sedimentos, sin importar en que fase mineral están asociados, y poder de esta manera establecer valores de concentraciones o de fondo (valores base). <sup>[5,7, 8, 17,46]</sup>

Todas las extracciones químicas, tanto secuenciales como la total, tienen prácticamente el mismo procedimiento. La diferencia está en la utilización de diversos extractantes y sus formas de aplicación. <sup>[5,7, 8, 17,46]</sup>

Se sabe que la determinación de la contaminación de los sedimentos de un área dada depende en gran medida del establecimiento de los valores de fondo. <sup>[17, 19,44]</sup> Para un metal pesado este valor es el contenido natural de ese metal en el sedimento sin la intervención humana. Se establece en zonas o áreas libres de influencia antrópica. Así a la hora de hablar de contaminación por metales pesados en sedimentos, se debe conocer previamente su valor de fondo. Un ejemplo en el que se proponen nuevos valores de fondo para elementos como: Cu, Cr, Pb y se



confirman valores ya establecidos para el Fe, Al, Mn, Ni, Co y Zn, es el estudio realizado en sedimentos del Río Vigo España. Estos valores se establecieron sobre la fracción total de la muestra, obteniendo nuevos valores para el Cu: 20  $\mu\text{g/g}$ , Pb: 22  $\mu\text{g/g}$  y Cr: 37 $\mu\text{g/g}$ .<sup>[6]</sup>

Seguidamente en el Golfo Cariaco de Venezuela, en el 2002, también se realizó la determinación de la concentración de metales pesados y el establecimiento de valores de fondo, a lo largo de la costa Norte-sur y un transepto central del Golfo (tabla 2), se observan estos valores tanto de fondo como los que reflejan influencia antrópicas en metales como Cd, Cu, Cr, Ni, Pb y Zn. Adicionalmente se puede decir que la mayor concentración de metales se encontró asociada a la fracción de grano fino. (limo-arcilla).<sup>[18]</sup>

Los lagos de Maracaibo y Valencia también han sido incluidos en los estudios de metales pesados. En los sedimentos del Lago de Valencia 1993, se encontraron concentraciones de Pb, Zn, Ni, Co, Cr, Cd, que reflejaron influencia antrópica, atribuidas a las actividades industriales y urbanas La zona más contaminada se ubicó en la boca de los Ríos Guayos, Güey (afluentes del Lago).<sup>[11,12]</sup>

En el Lago de Maracaibo 2001, se determinaron algunos metales como Fe, Al, Mn, Ni, Pb, V, Zn, detectándose que existe influencia de origen antrópico en los valores de concentración de algunos metales, tal como es el caso del Pb. En otros estudios realizados en tres zonas litorales de Venezuela en el 2002, se encontraron en la Boca de Paparo concentraciones altas de metales como: Cu, Cd, Cr, atribuidas a la influencia del Río Tuy; Río Chico fue otra zona litoral que presentó influencia antrópica pero en menor grado que la Boca de Paparo, caso contrario ocurrió en la playa Guiria que no mostró contaminación de los metales estudiados (Cu, Cd, Cr, Pb, Ni).<sup>[11,12]</sup>



En el 2004, se realizó un estudio en cuatro distintos ecosistemas de Costa Rica, y en base a los datos obtenidos se pudo establecer que la Bahía Culebra fue una de las zonas más limpia. La Bahía Moin y el Golfo de Nicoya resultaron los sitios con concentraciones intermedias. Por último en la Bahía Golfito, se considero la más contaminada. en todas estas zonas se encontró que la mayor concentración de los metales se asoció a la fracción de grano fino. En todas estas se observó la misma tendencia de concentración de los metales pesados.  $Fe > Zn > Cu > Pb$ .<sup>[9]</sup>

También en el 2004, en Venezuela, se determinó la concentración de los elementos Al, Fe, Mg, Ca, K, P, Mn, Pb, Cu, Ni, Cr, Zn, V, Co, Sr, Ba, Cd y Hg en los sedimentos superficiales del Sistema Unare-Píritu, encontrándose que los promedios de estos metales resultaron menores a los valores en la corteza terrestre, lo que permite proponer que esas concentraciones corresponden a niveles de línea base para el sistema, a excepción de Hg y Cd. Así de esta manera se determinaron los Factores de Enriquecimientos (FE), los cuales resultaron igual a la unidad, lo que permitió concluir que no existe ningún grado de enriquecimiento respecto al Al, ni al Fe a excepción del Cd y Hg. Estos últimos fueron los metales pesados cuyos FE de enriquecimiento resultaron relativamente elevados, atribuidos a influencias antrópicas.

Los sedimentos del Río Jordán de (Arab-An) así como Ferrol y Corme-Laxe de la península de Iberia, han sido también objeto de estudio. En el 2005, se realizó la determinación de la concentración de Cd, Cu, Pb y Zn en sedimentos de grano fino del Río Ferrol y Corme-Laxe, los cuales poseen características contrapuestas. Los resultados arrojaron que en los sedimentos del Río Corme-Laxe las concentraciones de los metales eran consideradas bajas, y puedan servir como referencia de valores de fondo, mientras que en los sedimentos del Río Ferrol ocurre lo contrario, la concentración de los metales se consideró alta, debido a que este río se encuentra en una zona bastante urbanizada e industrializada, no siendo así en el caso del Río Corme-Laxe.<sup>[10]</sup>



Con respecto al Río Jordán en el año 2006, se determinó la concentración de Mn, Fe, Cu, Zn y Cd. Los resultados reflejaron asociaciones de estos metales pesados con los carbonatos, materia orgánica y la fracción cambiante de los sedimentos finos. Estos sedimentos no se encuentran contaminados según los resultados obtenidos. <sup>[57]</sup>

De acuerdo a los resultados arrojados por todos estos estudios se puede concluir que los metales pesados tienden a estar asociados a distintas fases minerales en el sedimento fino (limo-arcilla). Con base a esta asociación se deben realizar los estudios para determinar la concentración de metales pesados empleando métodos químicos y técnicas analíticas, para así de esta manera poder descartar posible contaminación en cualquiera de los casos.

La tabla A2 del apéndice (A) muestra los distintos valores de concentración de metales pesados en sedimentos de los diferentes estudios anteriormente mencionados. Adicionalmente se muestran algunos valores de concentración promedio, reportados para la corteza terrestre, que sirven como datos de referencia. <sup>[54, 55,56]</sup>

## **11. Área de estudio:**

### **11.1. Ubicación:**

El Golfete de Cuare se encuentra localizado en la costa oriental del estado Falcón, dentro del Refugio de Fauna Silvestre de Cuare. Este está ubicado en la región centro oeste del país, Municipio Monseñor Iturriza. Su localización geográfica es de 10°48' y 11° 02' Latitud Norte y 68° 14' y 68° 22' Longitud Oeste. Su área aproximada es de 11.853 hectáreas. Hacia el sur el área limita con el parque Nacional Morrocóy. <sup>[14, 21, 22,23]</sup>



## **12. Características de la zona de estudio:**

El Golfete de Cuare Es un cuerpo de agua comunicado directamente con el mar en la zona este por una boca de 560 m de ancho; posee una profundidad que oscila entre 2 y 6 metros aproximadamente y está bordeado de bosques de mangle, y numerosos canales y cuevas. En general como ocurre con todas las zonas costeras, el Golfete de Cuare pose planicies de descarga de grandes ríos. El drenaje en el área es deficiente debido a las bajas pendientes del terreno, característica que da origen a extensiones del territorio con un régimen de inundaciones que, a su vez, depende de los patrones de precipitación y mareas. <sup>[14, 21, 22,23]</sup>

### **12.1. Relieve y geomorfología:**

La zona en general se destaca por una topografía homogénea, sólo interrumpida por las elevaciones representadas por los cerros Misión, Sanare y Chichiriviche, con alturas que no sobrepasan los 480 msnm. El resto del área corresponde a terrenos planos conformados por aluviones recientes, generalmente estables y poco influenciados por actividad sísmica, que encierran los Valles bajos de los ríos Tocuyo, Aroa, Yaracuy, además de sus planicies de desborde y explayamiento. <sup>[14, 21, 22,23]</sup>

### **12.2. Clima:**

A nivel costero, la temperatura media anual oscila entre 25 y 27°C. Sin embargo existen registros de máximas absolutas de 36 y 37° C en los días más calurosos del año. La precipitación media anual es de 1.100 mm.en la zona de Cuare. En general la precipitación máxima ocurre en los meses de octubre y noviembre, la mínima entre febrero y marzo. <sup>[14, 21, 22,23]</sup>



### **12.3. Hidrografía:**

El Golfete de Cuare está ubicado en el área de inundación del río Tocuyo, con aportes del río Sanare y de los cursos intermitentes que nacen en el Cerro Chichiriviche, por el sur, y por el oeste los caños El Estero y Dieguito; por el este se comunica directamente con el mar Caribe. <sup>[14, 21, 22,23]</sup>

### **12.4. Suelo:**

Los suelos son mayormente arcillosos y sus superficies están sometidas a la influencia de las mareas y de las aguas de inundación de los ríos. Estos presentan una permeabilidad y drenaje muy lentos, trayendo como consecuencia graves problemas de inundación. En el Cerro Chichiriviche, los suelos presentan un horizonte oscuro de materia orgánica, de profundidad variable, que descansa directamente sobre la roca caliza. <sup>[14, 21, 22,23]</sup>

### **12.5. Vegetación:**

En el sector de la planicie costera, la vegetación presenta una marcada influencia marina, fluvio-deltaica y de ambientes de laguna. Esta corresponde en su mayor parte al Bosque Seco Tropical. Esta formación bioclimática abarca, en el Golfete, varias unidades principales de vegetación como son: los bosques y zonas de manglar, integradas por cuatro especies de mangle (*Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*); además de matorrales, herbazales naturales asociados a suelos arenosos, salinos o inundables, pastizales y áreas de cultivo. <sup>[14, 21, 22,23]</sup>

## **13. Geología de la zona:**

El área de estudio está ubicada en la cuenca de Falcón, originada a fines del Eoceno y compuesta por sedimentos del Oligoceno, Mioceno, Plioceno y Cuaternario. Las formaciones más cercanas son la Formación Capadare y la



Formación Agua Linda. La unidad geológica más resaltante del área de estudio es el Cerro de Chichiriviche, que corresponde a la Formación Capadare. Esta unidad está compuesta de sedimentos calcáreos, y mide casi 20 km de largo, con una altura máxima de 284 m. La formación Capadare tiene una edad correspondiente al Mioceno Superior y su litología está descrita como caliza de colores claros, banda arrecifal, que forman abruptos farallones blanquecinos. <sup>[42]</sup>

Por otra parte, la Formación Agua Linda tiene una edad correspondiente al Mioceno medio, consiste en una intercalación de arcillas, lutitas y calizas con menor proporción de conglomerados calcáreos, areniscas calcáreas y limolitas. Según estas descripciones, se puede decir que las areniscas caracterizan principalmente a las zonas montañosas, las lutitas el paisajes de topografía más baja y las calizas arrecifales constituyen los topes de las sierras más altas, esto debido a la presencia del anticlinal de Falcón que está constituido por interestratificaciones de areniscas y lutitas con algunos arrecifes de caliza. <sup>[42]</sup>

#### 14. Metodología:

La metodología contempló las técnicas, métodos, equipos y análisis que deben ser utilizados para poder llevar a cabo el objetivo general de este trabajo. La metodología implementada se dividió en dos etapas:

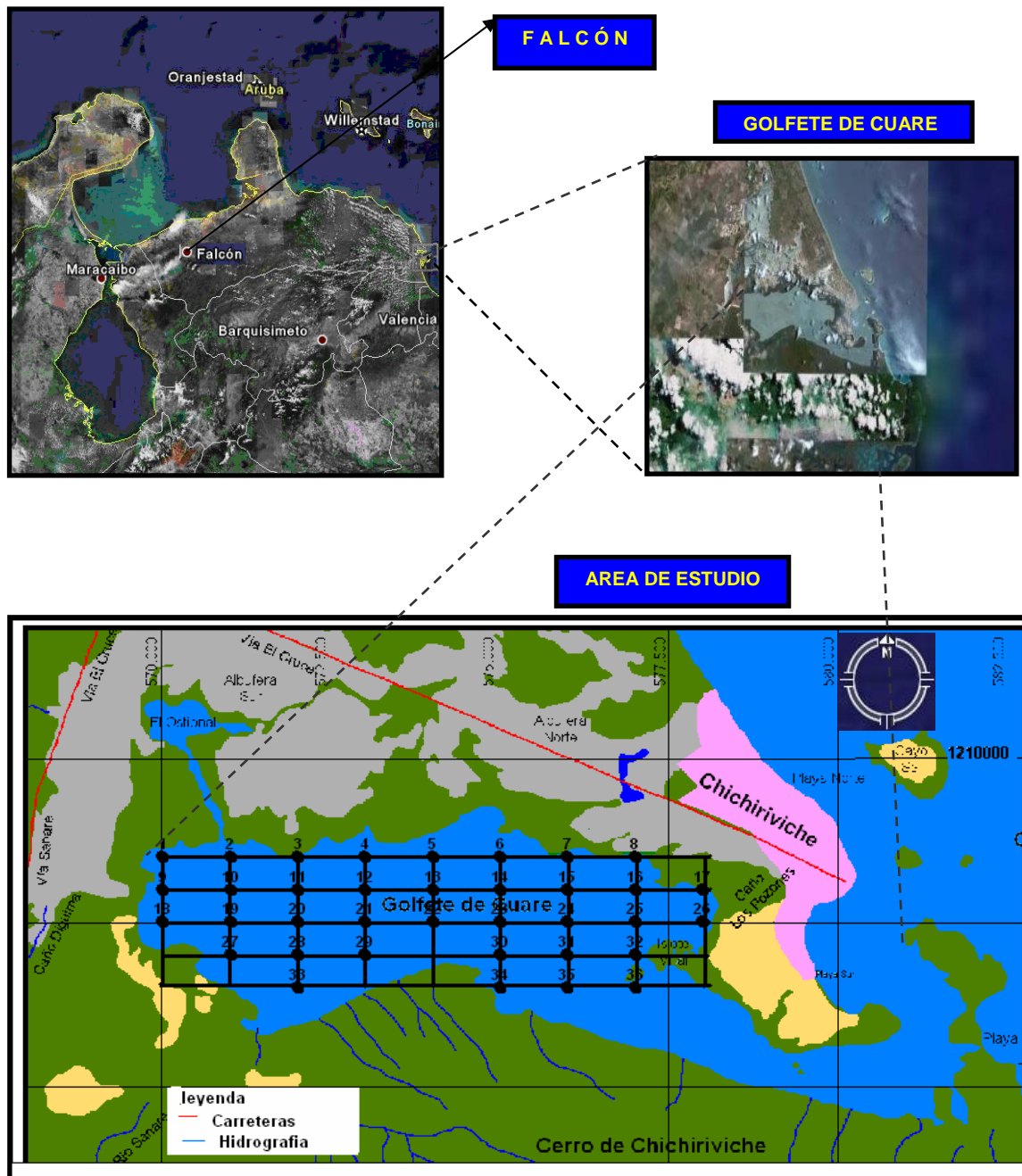
- Etapa preliminar {
  - Captación y preservación de las muestras.
  - Medición de los parámetros fisicoquímicos.
- Etapa de laboratorio.





#### **14.1. Etapa preliminar:**

Esta etapa abarcó la selección de las muestras empleadas en este estudio, a partir del muestreo realizado en un estudio previo de la zona <sup>[43]</sup>. En dicho estudio, las estaciones de muestreo fueron establecidas mediante el empleo de un GPS marca GARMIN, modelo II con el datum La Canoa. De esta forma se llevó acabo el muestreo según el diseño realizado sobre el mapa mostrado en la Figura 2, trazando una malla de 500 x 1000 m, valores que representan la distancia entre cada una de las 36 estaciones que demarcó ese autor. Estas coordenadas coinciden con las del mapa de cartografía nacional, hoja 6548- IV-NE escala (1:25000). <sup>[43]</sup>



**Figura # 2.** Mapa del Golfete de Cuare escala (1:100000) que muestra la ubicación de la zona de estudio y el trazado de la malla (500 x 1000 m) diseñada para la captación de las muestras. <sup>[43]</sup>



Los puntos de muestreo fueron fijados a lo largo de la malla previamente mencionada, de tal manera que las muestras fuesen representativas de los diversos aportes de sedimentos que recibe El Golfete de Cuare. Para alcanzar los objetivos del presente estudio fueron seleccionadas 16 estaciones de las establecidas previamente por <sup>[43]</sup> en esta zona, que corresponden a 16 muestras superficiales (los primeros 5 cm). En estas se determinó la concentración de elementos mayoritarios y la concentración de metales pesados. <sup>[43]</sup> Adicionalmente fueron estudiadas dos muestras por cada punto de muestreo, que corresponden a las porciones depositadas estratigráficamente cada 5 cm, de tal forma de completar el estudio de los primeros 15 cm de profundidad, de cada núcleo. Esto dio un total de 48 muestras. En la Tabla A1 del apéndice A se muestran las coordenadas UTM de los puntos de muestreo en campo, los cuales corresponden a los puntos localizados en el sector oeste de la referida hoja 6548- IV-NE escala (1:25000). <sup>[43]</sup>

#### **14.1.1. Captación y preservación de las muestras:**

Para la toma de las muestras de sedimento se diseñó un muestreador <sup>[43]</sup> con un tubo de plástico (PVC) de 1 m de largo y 10 cm de diámetro, acoplado a un accesorio en forma de T, también de plástico, en su extremo superior. Esto para facilitar la captación del sedimento, y poder acoplarlo a otros segmentos de tubo con el fin de alcanzar una longitud final de 6 m. La mayor longitud permitió tomar muestras de sedimentos en aquellos sitios del Golfete donde la columna de agua fue superior a los 2 m de profundidad, permitiendo captar núcleos del material depositado en los primeros 80 cm del fondo del Golfete. Cada segmento del tubo fue unido al tubo principal por un anillo con rosca. El extremo inferior del muestreador un segmento de 20 cm de longitud, cortado en forma de V, con bordes afilados para facilitar su penetración en el sedimento durante la captación de la muestra figura (3). Luego de ser tomada la muestra, la base del muestreador fue desenroscada y el sedimento trasvasado a otro tubo de plástico de PVC del mismo diámetro que el tubo de recolección, pero de 25 cm de longitud; tapado por ambos lados con una tapa del mismo plástico y envuelto con envoplast para su traslado al laboratorio (Figura 4). <sup>[43]</sup>

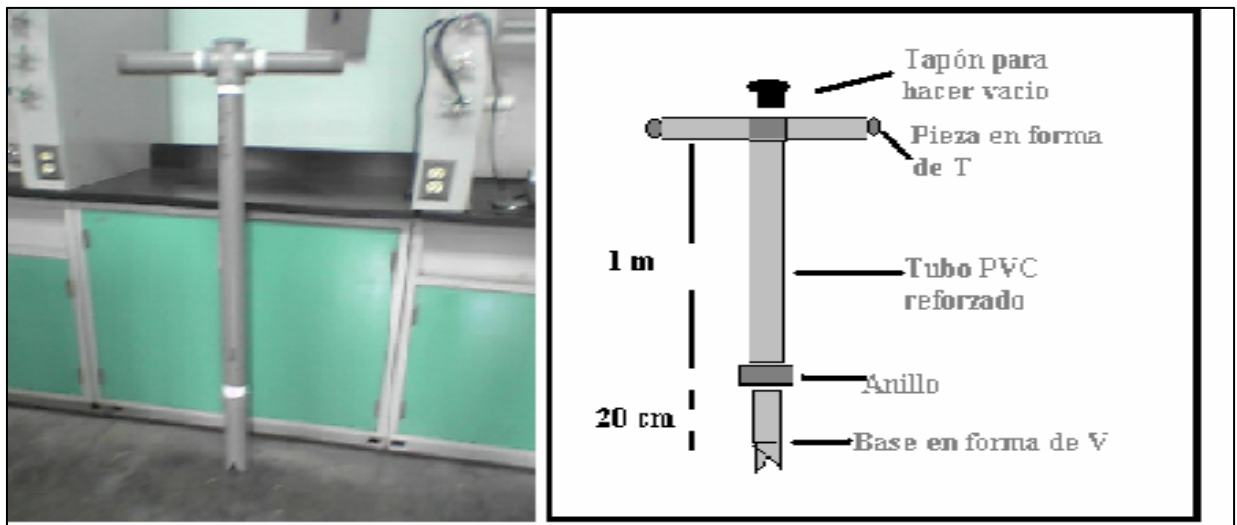


Figura # 3A: Mustreador diseñado para captar las muestras de sedimento en la zona de estudio. [43]

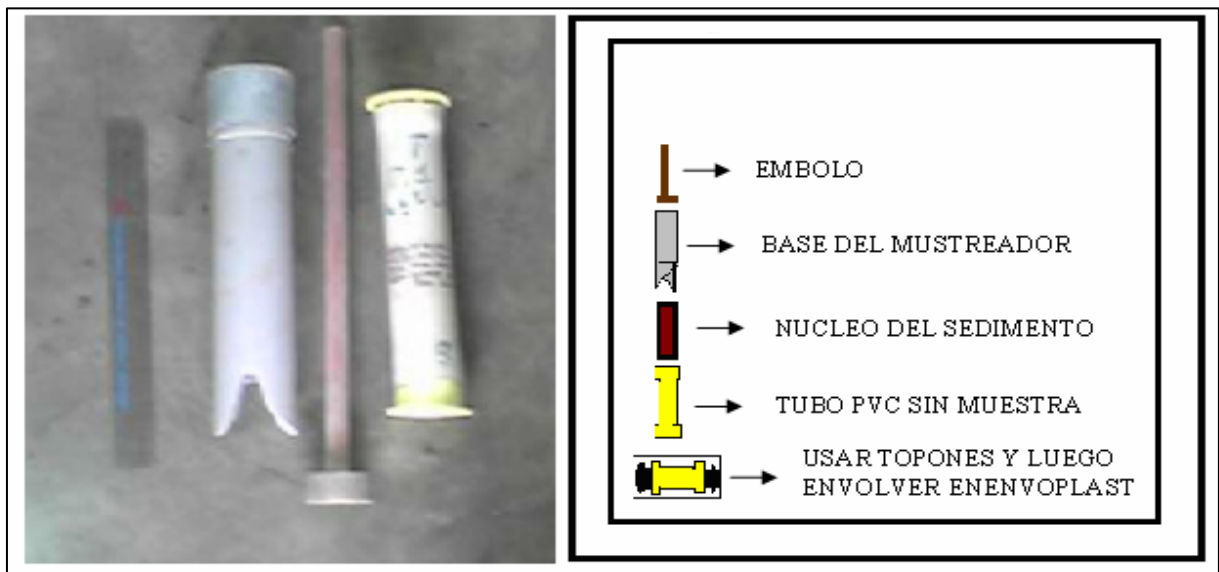


Figura # 3B: Accesorios para manipular el sedimento durante el proceso de trasvase de material y procedimiento que ilustra este paso. [43]



#### **14.1.2. Medición de los parámetros fisicoquímicos:**

En cada punto de muestreo fueron medidos in situ los parámetros fisicoquímicos del agua (pH, temperatura, Eh, salinidad, conductividad), utilizando una sonda multiparamétrica, marca YSI, modelo 610-D versión 2.0-5.16. Esto permitió medir la profundidad con una ecosonda. Los resultados de los parámetros fisicoquímicos (conductividad, salinidad, pH y temperatura) medidos en el laboratorio antes de tamizar las muestras son mostrados en el apéndice B. <sup>[43]</sup>

#### **14.2. Etapa de laboratorio:**

En esta etapa se determinaron las concentraciones de los elementos Fe, Mn, Ca, Mg, Zn, Cu, Ni, Pb, Cr, Cd y Hg, en los sedimentos de fondo del Golfete de Cuare, además de hacer el estudio mineralógico y de la distribución granulométrica en las diferentes muestras. Para ello las muestras seleccionadas en la etapa preliminar fueron tratadas como se muestra a continuación.

##### **14.2.1. Tratamiento de las muestras:**

Una vez que las muestras llegaron al laboratorio estas fueron congeladas para su preservación con el fin de evitar posibles procesos de descomposición por acción bacteriana. Esto facilitó su extracción y corte para describir las mismas.

Se tomaron los 10 cm restantes de los núcleos utilizados anteriormente por otro autor. <sup>[43]</sup> Los núcleos se dividieron en 2 partes iguales de tope a base; seguidamente se realizó la descripción física que consistió en observar el color, granulometría, esfericidad, redondez, escogimiento, y anotar la presencia de conchas y otras características resaltantes; posteriormente estas se guardaron en papel envoplast y bolsas plásticas bajo refrigeración para su posterior uso durante el tamizado. <sup>[43]</sup>



#### **14.2.2. Tamizado:**

La separación granulométrica de las muestras de sedimento fueron realizadas mediante el uso tamices de acero inoxidable y diferentes tamaños (1000, 500, 250, 125 y 63  $\mu\text{m}$ ) hasta obtener la fracción de interés. El estudio se realizó en la fracción (limo-arcilla), separada del resto de la muestra y pesada en húmedo con el fin de determinar su contenido de agua. Antes de proceder a su secado final, la conductividad de la mezcla agua-sedimento se midió para comparar estos valores con las alícuotas de los demás puntos de muestreo, luego la fracción separada (limo-arcilla) se dejó secar al aire libre, y finalmente esta fracción se pesó, para determinar de esta manera la cantidad de muestra, por diferencia de peso. La fracción limo separada se analizó para determinar la concentración de metales pesados; además de realizar el estudio mineralógico. <sup>[43]</sup>

#### **14.2.3 Análisis mineralógico:**

El análisis mineralógico se realizó sobre la fracción lodo (limo-arcilla), de algunas de las muestras, previamente separadas (N4, N9, N12, N20). Para ello se empleó un equipo de Rayos X marca Philips modelo PW. 1963-60. Este es capaz de suministrar información cualitativa sobre los compuestos presentes en una muestra sólida, basado en el hecho de que toda sustancia cristalina tiene un único patrón de difracción. La muestra debe cumplir con dos requisitos básicos: ser muy homogénea y poseer cristalinidad. La homogeneidad es conseguida trabajando con un tamaño de grano muy fino para que haya gran abundancia de todos los planos de reflexión. La cristalinidad tiene que ver con el grado de desarrollo cristalino y con el tamaño de los microcristales, que proporcionan los diferentes planos para que exista difracción <sup>[43]</sup>



#### **14.2.4. Determinación de la concentración de los metales pesados en las muestras de sedimento:**

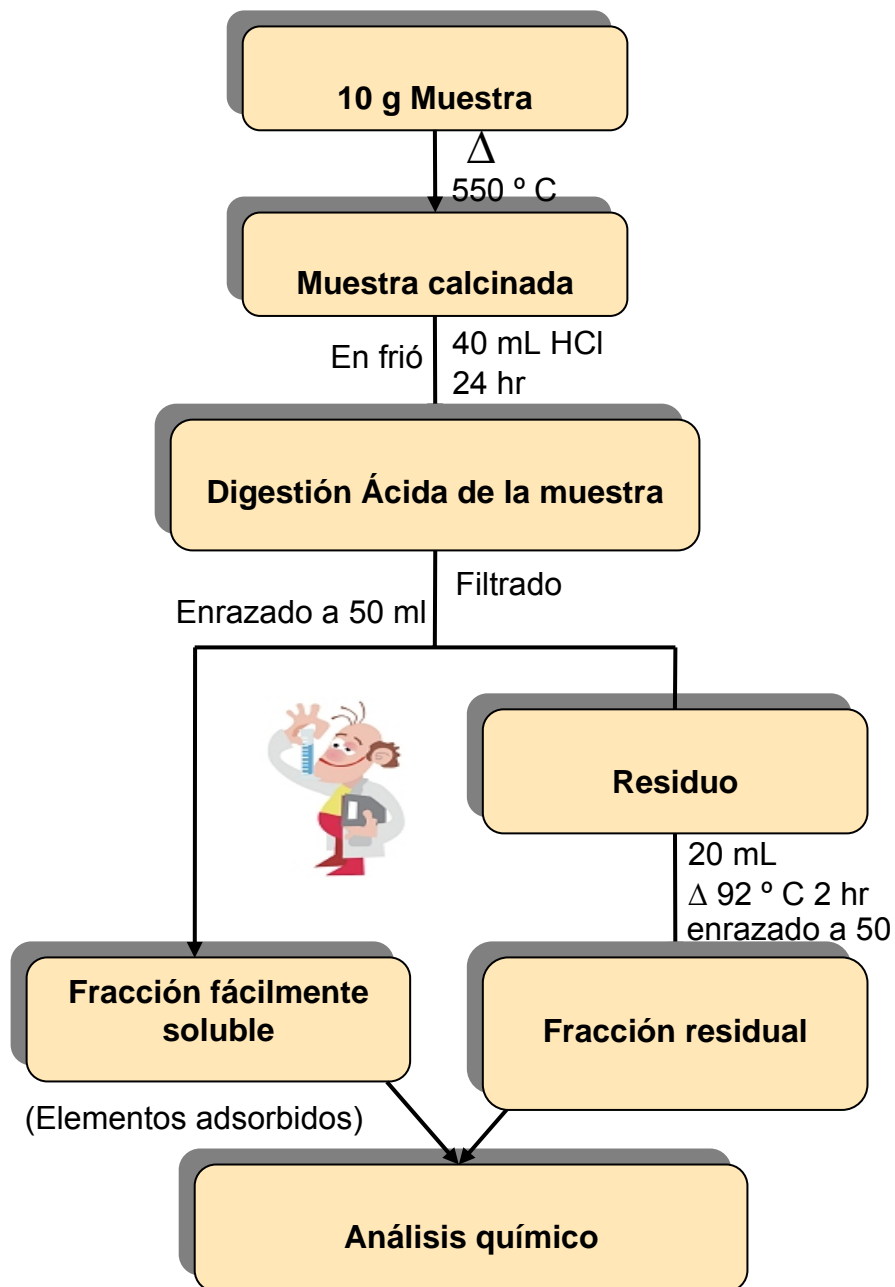
Para determinar las concentraciones de los elementos Fe, Mn, Ca, Mg, Zn, Cu, Ni, Pb, Cr y Hg fue necesario llevar todas las muestras de sedimento a solución, empleando el método de extracción química secuencial ácida, descrita en los apartados que aparecen en los párrafos inferiores <sup>[43]</sup> ver (Figura 5).

#### **14.2.5. Extracción química parcial ácida:**

La fracción de lodo del sedimento de fondo, fueron sometidas al procedimiento de extracción química parcial ácida en 2 etapas. <sup>[43]</sup> Las etapas de la extracción según las siguientes:

**1) Fracción fácilmente soluble:** Las muestras del sedimento fueron calcinadas a 550 °C para asegurar la eliminación de la materia orgánica y facilitar el proceso de extracción. Luego las muestras se trataron con 40 mL de HCl 1M por 24 horas en frío, para extraer los componentes fácilmente solubles (carbonatos) o los elementos adsorbidos, retenidos en la superficie de las partículas del sólido (arcillas, materia orgánica y oxihidroxidos de Fe-Mn). Estas mezclas se filtraron y enrasaron a 50 ml con agua deionizada para su posterior análisis. <sup>[43]</sup>

**2) Fracción residual:** El residuo restante de la primera extracción se trató con 20 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado, en caliente (92 °C) por 2 horas, para así extraer los elementos asociados algunas de las fases minerales que no pudieron atacarse completamente con el HCl 1M, y de esta manera obtener en un posterior análisis, la concentración de los elementos metálicos presentes en el sedimento. <sup>[43]</sup>



**Figura # 4.** Método de extracción química parcial. <sup>[43]</sup>

**Nota:** Todas las Soluciones deben ser enrazadas a 50 mL con H<sub>2</sub>O deionizada.





#### **14.2.6. Determinación de la concentración de mercurio:**

Para la determinación de la concentración de Hg, 2 g de muestra de los sedimentos de fondo de cada punto de muestreo fueron llevadas a un tubo de vidrio de 20 cm de longitud y 2 cm de diámetro. Posteriormente, se agregaron 15 mL de agua regia y la solución resultante se agito para facilitar la mezcla de ambos componentes. Posteriormente las soluciones se colocaron en un reflujo por un período de 2 horas entre 60 y 62 °C, con agitación cada 10 minutos. Después de finalizar el reflujo, los tubos con las muestras en su interior se enfriaron a temperatura ambiente para finalmente filtrar el material digerido de cada muestra empleando un papel de filtro de 0,45  $\mu\text{m}$ . La solución obtenida del filtrado se enrazó a 50 mL con agua deionizada. Las muestras se almacenaron en envases de plástico previamente lavados con agua deionizada y con una solución de ácido nítrico al 5%.  
[29]

#### **15. Técnicas, métodos y equipos analíticos a emplear para la obtención de resultados:**

La técnica analítica empleada para los análisis cuantitativos de los elementos en estudio, en los sedimentos de las distintas muestras fue espectroscopia de emisión atómica con plasma inductivamente acoplado (ICP-EEA), empleando un equipo Jobin Yvon 124. [29,43]

La determinación de la concentración de Hg se efectuó por la técnica de espectroscopia de absorción atómica con vapor frío. Por otro lado el análisis mineralógico de las muestras de sedimento de fondo se realizó por la técnica de difracción de Rayos X, utilizando el método del polvo. [29,43]



## **16. Presentación y discusión de resultados:**

Las determinaciones de los elementos Fe, Mn, Ca, Mg, Zn, Cu, Ni, Pb, Cr, Cd y Hg, fueron realizadas en la fracción limo-arcilla, fracción menor de 63  $\mu\text{m}$ . A continuación serán discutidos los resultados obtenidos de las actividades de campo y laboratorio. En primer lugar se realiza la descripción de las características físicas, texturales de las muestras y la distribución granulométrica en el área de estudio; seguidamente se discuten los resultados de la concentración de estos elementos en los extractos ácidos (HCl y HNO<sub>3</sub>), conjuntamente con la distribución espacial y a profundidad. Los resultados de Hg son discutidos al final de la presente discusión.

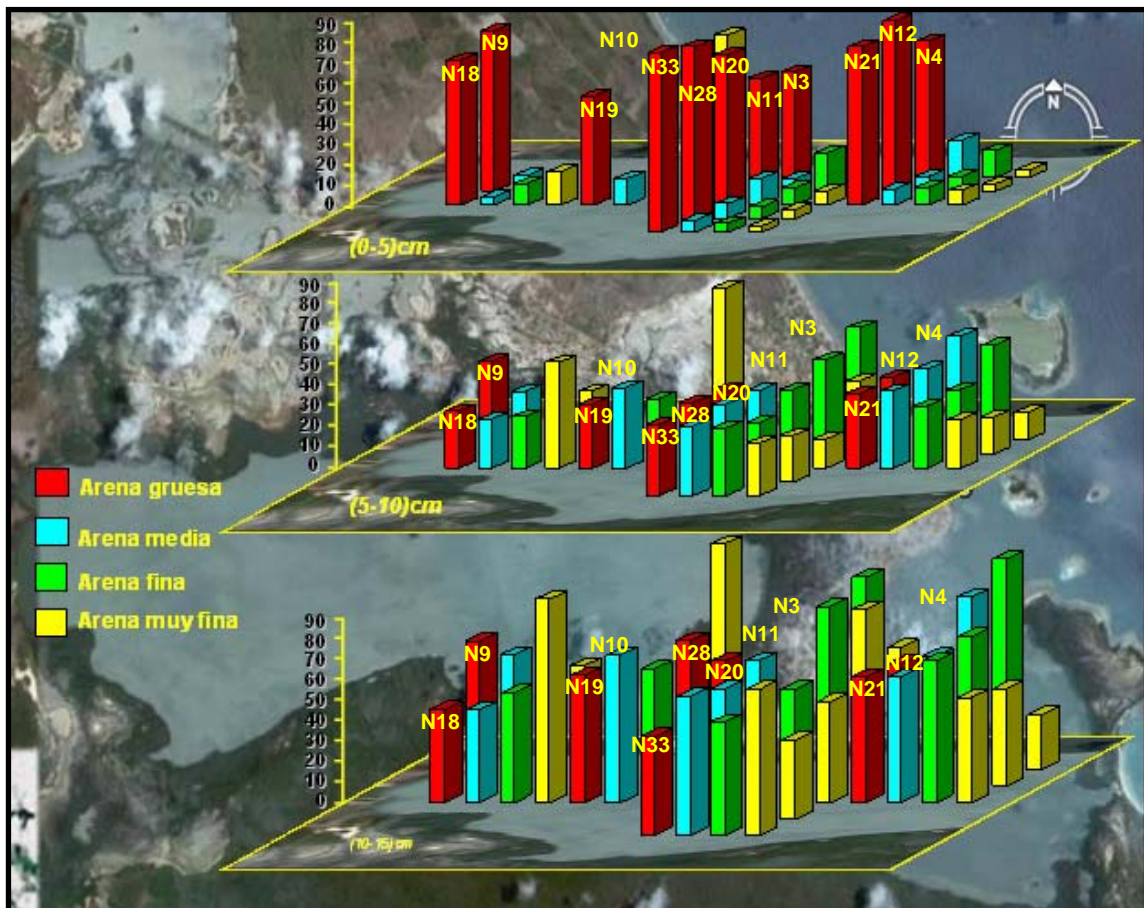
### **16.1. Características físicas, texturales de los sedimentos**

El color de los sedimentos mostró diferentes tonalidades de marrón y gris, gradado a verdoso, típico de material depositado bajo condiciones reductoras [1, 4, 43]. En términos texturales, las muestras de sedimentos son arenosas, con poco escogimiento y matriz lodosa que en algunas muestras fue escasa. Sus granos mostraron poca redondez y esfericidad. Además la mayoría de las muestras presentaron fragmentos de conchas, algunos bien preservados Tabla H3, apéndice H. La descripción de las características granulométricas de las muestras de sedimentos es indicada en la Tabla C1, apéndice C. De igual manera se elaboraron graficas que representan la distribución espacial y a profundidad de la fracción de arena y limos de cada una de las muestras, Figuras H1y H2, apéndice H. Los valores empleados para tal fin aparecen en las tablas D1, D2, E1, E2 de los apéndices D y E.

En los primeros centímetros (0-5) cm de profundidad de los sedimentos estudiados, la clase arena más abundante fue la gruesa. La mayor proporción de estas arenas están ubicadas hacia la zona sur-este del Golfete de Cuare, estaciones N12, N21, N28, N33. Esto debido a que en ese sector del Golfete hay una mayor influencia de restos de bioclastos de origen marino favorecido por la entrada del Mar



Caribe por el este, y menor influencia de los sedimentos finos acarreados por los caños y quebradas que drenan la zona oeste de este cuerpo de agua. En los siguientes 10 cm de profundidad, el porcentaje de arena gruesa disminuye, posiblemente por un cambio en el patrón de sedimentación de los últimos años. El gráfico que muestra la proporción de las distintas fracciones de arena (muy fina, fina, media y gruesa) en los sedimentos de toda la zona estudiada, así como a profundidad es presentado en la figura 5, y los valores de esta proporción en los apéndices (tablas D1, D2, E1, E2 de los apéndices D y E)

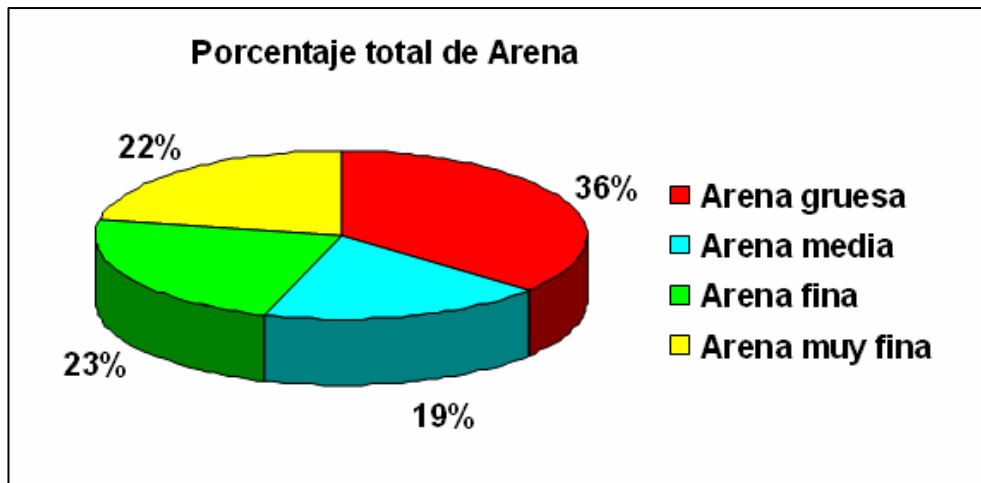


**Figura # 5.** Distribución espacial y a profundidad del porcentaje de las distintas fracciones de arena del sedimento de fondo en el Golfete de Cuare.

La proporción de las arenas (arena muy fina > arena fina > arena media y arena gruesa), en términos de valores promedio de todas las muestras de



sedimentos captadas en la zona estudiada indica que las más abundantes son las fracciones gruesas (Figura 6).



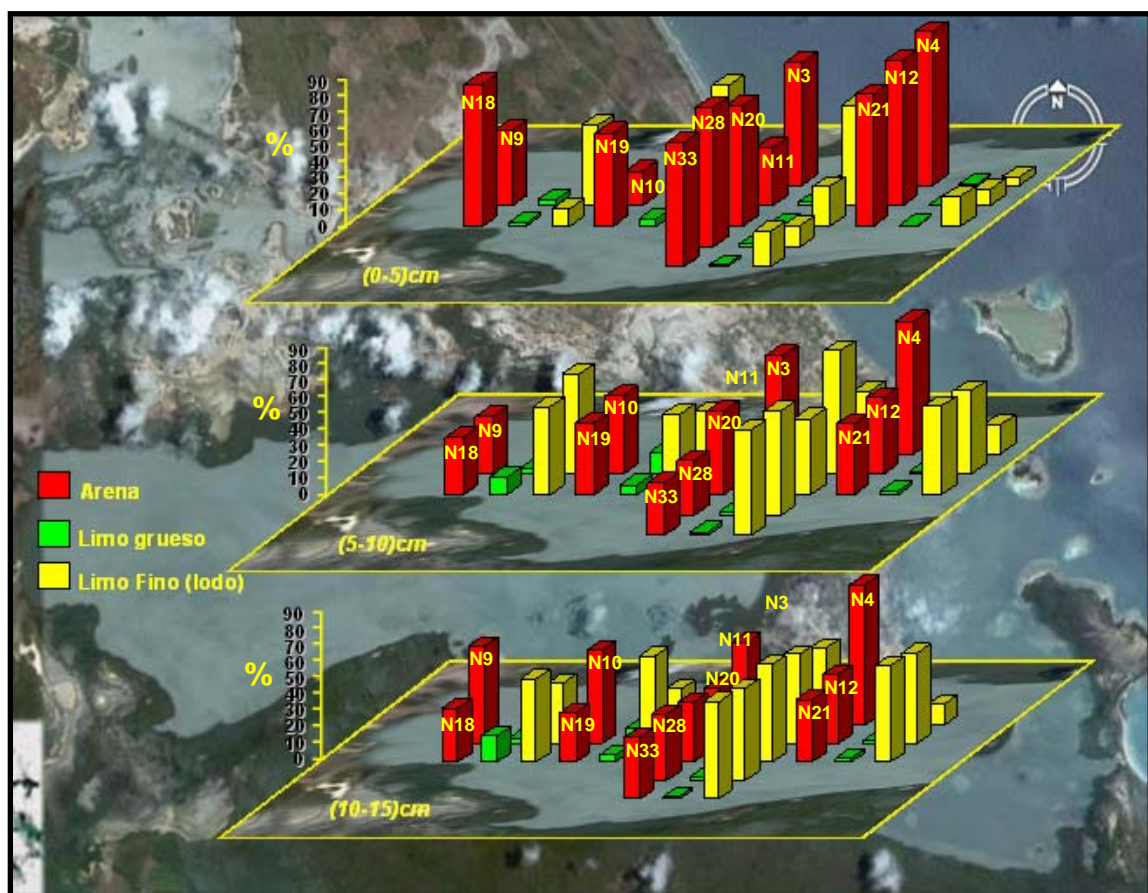
**Figura # 6.** Porcentaje total de arena de todas las muestras a las distintas profundidades, tomando en cuenta su tamaño de grano.

La fracción de limo y lodo (limo-arcilla) en las muestras de sedimentos indicaron un comportamiento contrario al anteriormente descrito para la fracción arena. Este material fino se incrementa con la profundidad en los primeros quince centímetros (0-15 cm), siendo el lodo (limo-arcilla) más abundante que el limo (tablas E1 y E2 de los apéndices D y E).

Desde el punto de vista espacial, de 5 a 10 cm de profundidad, el sector central de la zona de estudio (N3, N10, N11 y N19) presentó una mayor proporción de arena muy fina, lodo y muy poca arena gruesa. Esto puede deberse a que dichas estaciones están más alejadas de los bordes del Golfete, donde solo se acumulan las fracciones más finas. El gráfico que muestra la proporción de arena, limo grueso y lodo, de las distintas muestras de sedimentos, así como a profundidad, es presentado en la figura 7, y sus valores en los apéndices D y E. Los resultados obtenidos de los porcentajes promedio en peso de las muestras de sedimentos de fondo del Golfete de Cuare indicaron que la fracción arena es la más abundante



(54%), seguido del lodo (42 %), y del limo grueso (4%), (Figura 8). Vale la pena mencionar que la fracción del sedimento más activa desde el punto de vista geoquímico es la de menor tamaño de grano (limo-arcilla). Las arcillas y las partículas de otros minerales tamaño limo actúan como buenos receptores de elementos químicos en su superficie, debido al recubrimiento generado sobre la superficie de la partícula por parte de los oxhidróxidos, los cuales generan gran poder de adsorción sobre los elementos químicos en solución. [67,68]



**Figura # 7.** Distribución espacial y profundidad del porcentaje de las distintas fracciones de arena y limo del sedimento de fondo en el Golfete de Cuare.

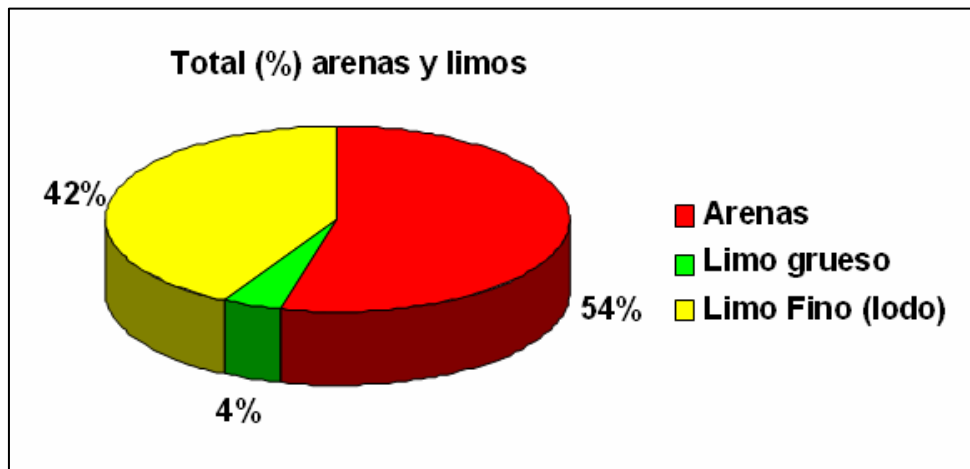


Figura # 8. Porcentaje total de arena, limo y lodo.

### 16.2. Concentración de los elementos bajo estudio Fe, Mn, Ca, Mg, Zn, Cu, Ni, Pb, Cr y Cd obtenidos por la extracción parcial.

En función de visualizar los valores de concentración de los elementos Fe, Mn, Ca, Mg, Zn, Cu, Ni, Pb, Cr y Cd, determinados durante la extracción parcial con HCl y HNO<sub>3</sub>, se realizaron diagramas de concentración a partir de esos resultados. Estos permiten observar como es la distribución tanto espacial como a profundidad, para cada uno de los elementos, en las muestras captadas del sedimento de fondo del Golfete de Cuare. Los valores de concentración de estos elementos, son mostrados en las tablas F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9 y F10, apéndice F. Estos brindan información de la precisión de los métodos de extracción empleados.

La precisión obtenida en estas determinaciones (Tabla 2) fue expresada a través de los coeficientes de variación (CV) de cada uno de los elementos estudiados en los extractos HCl y HNO<sub>3</sub>, obtenidos por la digestión de tres réplicas de un sedimento del núcleo 3.2.





El coeficiente de variación es el porcentaje de dispersión o variabilidad de los elementos en estudio en relación al valor de la concentración promedio. El cálculo fue realizado con la siguiente ecuación <sup>[38]</sup>

$$CV (\%) = \frac{\text{Desviación estándar}}{\text{Promedio}} \times 100$$

El valor promedio representa el valor de la media aritmética de las concentraciones de los elementos bajo estudio, mientras que la desviación estándar indica la dispersión de las concentraciones obtenidas en relación al valor de concentración promedio <sup>[38]</sup>

Elementos	Variabilidad (CV %)	
	Método	
	HCl	HNO <sub>3</sub>
Fe	25	9
Mn	25	5
Ca	12	20
Mg	23	6
Zn	23	29
Cu	18	8
Ni	30	6
Pb	21	7
Cr	25	28
Cd	31	34

**Tabla # 2.** Valores de los coeficientes de variación de los métodos de extracción.

La tabla 2 presenta los coeficientes de variación asociados al método: Nótese que los valores obtenidos son en su mayoría inferiores al 30 %. Los CV más altos fueron asociados con la extracción de HCl. No obstante la magnitud de los mismos está en el orden de la variabilidad composicional encontrada en los sistemas naturales, por lo que puede considerarse que para los objetivos planteados en este trabajo, la metodología aplicada tiene una buena precisión.



La tabla 3 muestra los intervalos de coeficiente de variación espacial y a profundidad de la concentración de Fe, Mn, Ca, Mg, Zn, Cu, Ni, Pb, Cr, Cd y Hg determinada en los sedimentos del Golfete de Cuare.

Para alcanzar los objetivos de este trabajo, los cálculos de la variabilidad espacial y a profundidad de las concentraciones de los elementos muestran información referente a la homogeneidad del sistema; es decir, mayores intervalos de variabilidad (CV) para un elemento determinado, indican una mayor dispersión en cuanto a la distribución espacial y a profundidad de dicho elemento dentro del sistema, producto de diferencias en la proporción y composición química del sedimento en zonas específicas del Golfete o a lo largo de la columna de sedimentos. Bajos valores de variabilidad para un elemento indican una distribución más homogénea dentro del sistema y con ello, de la fase mineral de la cual proviene dicho elemento. Este conjunto de datos brindan una visión general del comportamiento de los elementos en los sedimentos del Golfete de Cuare.

<i>Variabilidad (CV %)</i>			
<i>Espacial</i>		<i>Profundidad</i>	
<i>HCl</i>	<i>HNO<sub>3</sub></i>	<i>HCl</i>	<i>HNO<sub>3</sub></i>
<i>Fe</i>	18-81	23-57	15-91
<i>Mn</i>	33-62	28-56	10-84
<i>Ca</i>	40-74	47-104	11-115
<i>Mg</i>	18-57	50-56	5-67
<i>Zn</i>	21-48	26-48	9-70
<i>Cu</i>	13-33	25-27	2-69
<i>Ni</i>	18-65	9-53	35-83
<i>Pb</i>	28-58	25-54	4-59
<i>Cr</i>	15-75	20-56	9-68
<i>Cd</i>	2-45	1-76	1-81
<i>Variabilidad (CV %)</i>			
<i>Elemento</i>	<i>Método</i>	<i>Espacial</i>	<i>Profundidad</i>
<i>Hg</i>	2	18-28	4-34

**Tabla # 3.** Valores de los coeficientes de variación espacial y a profundidad en cada extracto.





Los coeficientes de variación espacial y a profundidad de las concentraciones de los elementos obtenidos con los extracto de HCl y HNO<sub>3</sub> son altos, especialmente los asociados a Fe, Ca y Mn. Esto indica que composicionalmente hay variaciones importantes debido a la proporción de los componentes del sedimento, y por lo tanto los elementos no están uniformemente distribuidos, tanto espacialmente como a profundidad, ya sea por la presencia de oxi-hidróxidos de Fe-Mn, carbonatos y arcillas. De igual manera la mayor variabilidad se aprecia con la profundidad, (tabla 3). Esto está en correspondencia con los cambios texturales descritos en los sedimentos, y previamente discutidos en la sección anterior, confirmando la ocurrencia de variaciones temporales de la sedimentación en el Golfete. Las cifras de CV de Hg indican que son más uniformes espacialmente, cuando se comparan con muchos de los otros elementos estudiados; mientras que a profundidad posiblemente existan acumulaciones preferenciales de Hg dentro de la columna de sedimentos debido a su mayor variabilidad.

### **16.2.1 Distribución espacial y a profundidad**

#### **16.2.1.1 Fe y Mn extracto de HCl**

Los valores de concentración para Fe obtenidos en el extracto de HCl oscilaron entre (0,4 y 1,4 %), con un promedio total de 1,03 %, mostrando una variación espacial significativa en los primeros 5 cm del sedimento. Luego 5 a 15 cm de profundidad la distribución espacial es homogénea. Verticalmente la distribución espacial varió considerablemente (tabla 3). Este comportamiento antes descrito para el Fe, se repite para el Mn; los valores para el Mg en el extracto de HCl oscilaron entre 46 y 1002 mg/kg, con un promedio total de 82 mg/kg, (tablas 4 y 9) y (figura 10).

La figura 10 muestra los diagramas de distribución espacial y a profundidad de los elementos Fe y Mn. Estos representan la distribución espacial y a profundidad para cada elemento. En los primeros 5 cm del sedimento los valores de



concentración de Fe y Mn aumentan y disminuyen en cada una de las estaciones sin ningún patrón definido. Dando una concentración promedio para el Fe de 0,4 % y para el Mn 46 mg/Kg. De (5-10) cm de profundidad el Fe presento un aumento de concentración promedio alrededor de 3 veces la concentración (1.4 %), con respecto a los primeros 5 cm (tabla 4). Por su parte la concentración de Mn también aumento alrededor de 2 veces (100 mg/Kg). Posteriormente en la capa inferior (10-15) cm la concentración promedio de Fe no varió significativamente (1.3%), al igual que la concentración de Mn (102 mg/Kg). Se puede decir que por debajo de 10 cm sigue sin haber un patrón definido, en cuanto a la distribución espacial para ambos elementos. Las mayores concentraciones de Fe se encontraron en las estaciones (10-11-12- 20 y 21), al igual que para el Mn (10 -11-12 -19 y 20). Estas estaciones están ubicadas hacia la zona central del Golfete, por lo que se pudiera decir que los elementos Fe y Mn reflejan un comportamiento similar. La tendencia general que mostró la concentración el Fe y Mn, en el extracto de HCl, fue de aumentar en función de la profundidad. Dicha distribución indica que posiblemente existieron cambios temporales en el aporte de minerales a la columna de sedimentos.

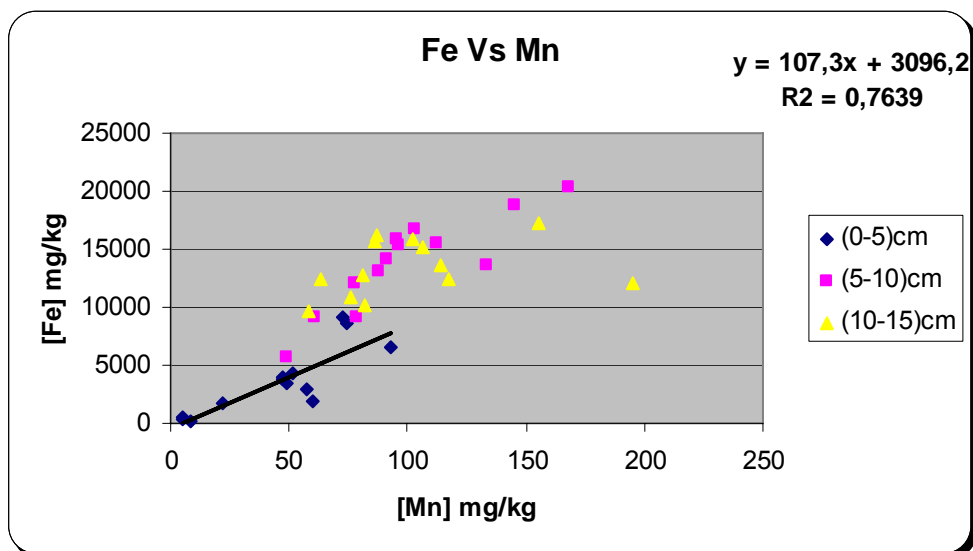
La figura 9 muestra la relación Fe/Mn en el extracto de HCl en los primeros 5 cm de profundidad. Indicando un buen coeficiente de correlación ( $r^2 > 0,70$ ), lo que sugiere la asociación geoquímica de estos elementos. Sin embargo se puede observar en la grafica 9, la existencia de distintas poblaciones de datos, que representa la distribución de las concentraciones de los elementos en el sedimento, en los 15 cm de profundidad. Esto parece ser indicativo de que posiblemente existieron cambios temporales en el patrón de sedimentación y por consiguiente que haya varias fuentes diferentes para los elementos en las distintas profundidades.

El comportamiento similar entre el Fe y Mn espacialmente hablando dentro del Golfete de Cuare posiblemente ocurre por formar fases comunes de oxihidroxidos, u óxidos de Fe y Mn <sup>[26]</sup>.



HCl	Fe			Mn		
	(0-5)	(5-10)	(10-15)	(0-5)	(5-10)	(10-15)
Profundidad	[%]	[%]	[%]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
PROMEDIO	0,4	1,4	1,3	46	100	102
DESV STAD	0,3	0,4	0,2	28	33	38
COEF V %	81	30	18	62	33	37

**Tabla # 4.** Valores de concentración de los elementos Fe y Mn en el extracto de HCl, de las estaciones muestreadas a tres profundidades distintas del sedimento.



**Figura # 9.** Curva de correlación de las concentraciones de los elementos: Fe/Mn en el extracto HCl.

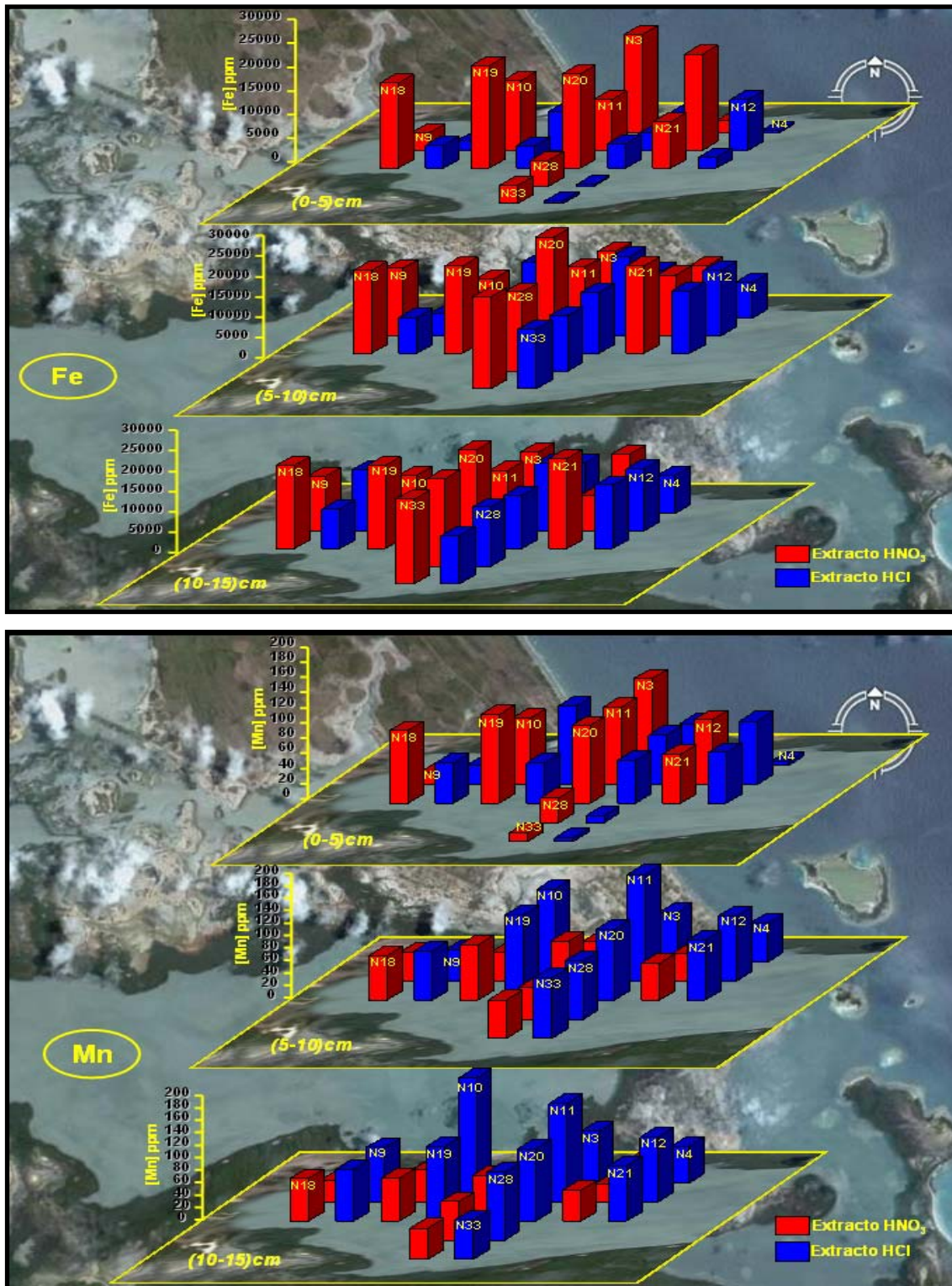


Figura # 10. Diagrama de distribución espacial y a profundidad de las concentraciones de Fe y Mn en los sedimentos de fondo del Golfete de Cuare, extraídos con HCl y HNO<sub>3</sub>.



### 16.2.1. 2 Fe y Mn extracto de HNO<sub>3</sub>

Esté extracto contiene a los elementos que están asociados a la materia orgánica, oxihidróxidos de Fe con Mn, así como también los aluminosilicatos (arcillas) con enlaces químicos débiles que pueden ser parcialmente extraídos. [26, 29]

La concentración de Fe en el extracto de HNO<sub>3</sub> osciló entre (1,1 y 1,9 %) con un promedio total de 1,62 %. Al igual que en el extracto de HCl mostrando una variación espacial significativa en los primeros 5 cm del sedimento. Luego 5 a 15 cm de profundidad la distribución espacial es homogénea, y verticalmente la distribución espacial varió considerablemente, (tabla 3). Este comportamiento antes descrito para el Fe, se repite para el Mn; los valores para este elemento en el extracto de HNO<sub>3</sub> oscilaron entre (52 y 64 mg/kg) con un promedio total de 58 mg/kg, (tablas 5 y 9) y (figura 10).

La figura 10 muestra los diagramas de distribución espacial y a profundidad de los elementos Fe y Mn. En los primeros (0-5) cm de profundidad la concentración promedio de Fe fue 1,1 %. La variación espacial no muestra ningún patrón definido. La concentración promedio aumenta verticalmente de (5-10) y (10-15) cm a un valor de 1,9%. Las mayores concentraciones de Fe se encontraron entre la zona central y los bordes del Golfete, en las estaciones (18,19, 20 21, 28 y 33) que se encuentran más al sur del Golfete.

En el caso del Mn los valores de concentración de este elemento aumentan y disminuyen en cada una de las estaciones, sin ningún patrón definido, al igual que ocurrió con el Fe. Este comportamiento espacial se repite en las siguientes profundidades. La concentración promedio entre (0-5) cm fue de 64 mg/Kg, y disminuyó a 57 y 52 mg/Kg, con la profundidad (5-10) y (10-15) cm respectivamente, La tendencia general que mostró la concentración el Fe en el



extracto  $\text{HNO}_3$ , fue de aumentar en función de la profundidad y mientras que la concentración del Mn disminuyó, (tabla 5 y figura 10).

$\text{HNO}_3$	Fe			Mn		
	Profundidad (0-5)	(5-10)	(10-15)	(0-5)	(5-10)	(10-15)
	[%]	[%]	[%]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
PROMEDIO	1,1	1,9	1,9	64	57	52
DESV STAD	0,6	0,4	0,5	36	18	14
C V %	57	23	26	56	31	28

**Tabla # 5.** Valores de concentración de los elementos Fe y Mn en el extracto de  $\text{HNO}_3$ , de las estaciones muestreadas a tres profundidades distintas del sedimento.

La relación Fe/Mn no presentó una buena correlación ( $r^2 > 0,70$ ). El coeficiente de correlación fue de ( $r^2 > 0,30$ ). Las bajas concentraciones de Mn asociadas al extracto  $\text{HNO}_3$ , permiten determinar que la presencia de Fe en  $\text{HNO}_3$  no está asociada a oxihidróxidos de Fe y Mn cristalinos, sino a oxihidróxidos de Fe cristalinos principalmente.

Se pudiera indicar que el Fe está asociado a fases minerales más solubles en el ácido nítrico. Este comportamiento era de esperarse ya que geoquímicamente este elemento está asociado a sulfuros tipo pirita y/o oxihidróxidos de Fe cristalinos tipo hematita o goetita; siendo esta última parcialmente soluble en este medio [13, 29, 40]. En cuanto al Mn pudiera estar mayormente asociados a la fase oxihidróxidos de Fe, producto de los fenómenos de coprecipitación y/o minerales de arcilla [44].

De acuerdo a la discusión previa de las concentraciones de los elementos Fe y Mn en ambos extractos se puede concluir que: Los valores de concentración promedio de Fe resultaron ser mayor en el extracto de  $\text{HNO}_3$  que en HCl tanto a nivel espacial como a profundidad, caso contrario ocurrió con el Mn, ya que estos valores fueron menores en el extracto de  $\text{HNO}_3$  con respecto al extracto de HCl.



Las concentraciones de Fe en los sedimentos de fondo de la zona este del Golfete de Cuare, obtenidas por <sup>[79]</sup> en el extracto de HNO<sub>3</sub>, son menores a las concentraciones de Fe obtenidas en HCl, presentando un comportamiento inverso a las concentraciones de Fe del presente trabajo. Dicha comparación permite inferir que posiblemente existe una diferencia en la fuente de sedimentos, que están aportando mayor cantidad de oxihidróxidos amorfos hacia la zona este del Golfete, mientras que hacia el oeste existe un mayor aporte de oxihidróxidos de Fe cristalinos.

Finalmente la concentración total de Fe fue de 2.65 %, para el Mn fue de 140 mg/kg, (tabla 6 y tablas G1, G2 y G3 apéndice G). El valor promedio de Fe hallado en este estudio es inferior al valor reportado en el Golfete de Cuare <sup>[79]</sup> mientras que la concentración de Mn es comparable. De igual forma los valores encontrados en la cuenca baja del río Tocuyo <sup>[29, 69]</sup> para estos elementos, son mayores que los valores encontrados en este estudio.

Tomando como referencia los valores promedios encontrados en la literatura, correspondientes a valores publicados a nivel mundial por otros autores para Fe y Mn, en sedimentos próximos costeros, indica que la concentración promedio de Fe en el presente estudio es comparable al promedio de esos valores, mientras que para el Mn es menor, (tabla 6).



Localización	Ca (%)	Mg (%)	Fe (%)	Mn	Zn	Cu	Pb	Ni	Cr	Cd	Hg (ppb)	Referencia
Bahía de Bengala (Costa-India)	ND	ND	2.7	451	173	22.9	30.2	24.3	69.8	0.6	ND	Muthu S., 2007
Mangle Guyana (Francesca)	ND	ND	0.2	42	241	34	80	41	61	ND	88	Marchand et al, 2007
Mangle (Singapur)	ND	ND	ND	ND	85.7	19.5	21.6	9.54	24.3	0.22	ND	Wong et al, 2005
Mangle Swamps (Hong- kong)	ND	ND	ND ND	ND ND	51 >20	8 >64	21 >75	11 >40	15 >80	0.1 >1.5	51	Tam et al, 2000
<b>Sistema en estudio</b>												
Extracto HCl	6.3	0.7	1.0	82	87	19	15	14	20	0.6	---	Golfete de Cuare 2008
Extracto HNO3	0.6	0.3	1.6	58	49	15	5	11	23	0.6	---	
Promedio	6.9	1	2.7	140	136	34	20	25	43	1.2	60	

**Tabla # 6:** valores promedios mundiales, publicados por diversos autores, de los elementos en estudio en sedimentos próximos costeros [58, 59, 60, 76]

ND: No determinado

### 16.2.2. 1 Ca y Mg extracto de HCl

Los valores de concentración para Ca obtenidos en el extracto de HCl oscilaron entre 33310 y 80217 mg/kg, con un promedio total de 62903 mg/kg, mostrando una variación espacial significativa en los primeros 5 cm del sedimento. Luego 5 a 15 cm de profundidad la variación espacial disminuye con respecto a los primeros 5 cm del sedimento. Verticalmente la distribución espacial varió considerablemente (tabla 3). Este comportamiento antes descrito para el Ca, se repite para el Mg; los valores para este elemento en el extracto de HCl oscilaron entre (5108 y 7896 mg/kg), con un promedio total de 6887 mg/kg, (tablas 7 y 9).

La figura 11 muestra los diagramas de distribución espacial y a profundidad de los elementos Ca y Mg. Estos representan la distribución espacial y a profundidad para cada elemento. En los primeros 5 cm de profundidad tanto el Ca como el Mg mostraron un comportamiento similar en la variación de sus





concentraciones. Las concentraciones de Ca y Mg aumentaron y disminuyeron en cada una de las estaciones sin ningún patrón definido. Dando una concentración promedio para el Ca de 33310 mg/Kg y para el Mg 5108 mg/Kg. Cabe destacar que en las estaciones como (3-10-18-19-20) las concentraciones de Ca son similares.

De (5-10) cm de profundidad el Ca presento un aumento de concentración promedio 75181 mg/kg con respecto a los primeros 5 cm (tabla 7). Por su parte la concentración de Mn también aumento 7656 mg/Kg. Posteriormente en la capa inferior (10-15) cm la concentración promedio de Ca fue de 80217 mg/Kg, pero si es mucho mayor que la obtenida en los primeros 5 cm de sedimento. Por otro lado la concentración promedio de Mg fue de 7896 mg/Kg. Se puede decir que por debajo de 10 cm sigue sin haber un patrón definido, en cuanto a la distribución espacial para ambos elementos. Nótese la apreciable tendencia general de aumento de la concentración de Ca y Mg hacia la base del núcleo. Este comportamiento posiblemente esté relacionado al aumento del aporte de sedimentos calcáreos, asociados a cambios en los procesos de sedimentación.

HCl	Ca			Mg		
	(0-5)	(5-10)	(10-15)	(0-5)	(5-10)	(10-15)
Profundidad	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
PROMEDIO	33310	75181	80217	5108	7656	7896
DESV STAD	24569	29775	40941	2917	1524	1386
C V %	74	40	51	57	20	18

**Tabla # 7.** Valores de concentración de los elementos Ca y Mg en el extracto de HCl, de las estaciones muestreadas a tres profundidades distintas del sedimento.

La presencia de Ca en este extracto está asociado a sedimentos carbonáticos <sup>[43]</sup>; sin embargo, podría existir cierta cantidad de Ca que se encuentra sorbida sobre oxihidróxidos y/o arcillas <sup>[29]</sup> No obstante, la cantidad de Ca sorbido debe ser menor en relación a la cantidad de Ca proveniente de carbonatos.



La figura 12 muestra la relación Ca/Mg, Ca/Fe, Ca/Mn y Mg/Fe en el extracto de HCl en los 15 cm de profundidad. Indicando un buen coeficiente de correlación ( $r^2 > 0,70$ ), lo que sugiere la asociación geoquímica de estos elementos. La existencia de una buena relación Ca/Mg, Fe/Ca y Mn/Ca, parece indicar que posiblemente estos elementos estén asociados geoquímicamente formando fases minerales carbonáticas. El Fe, Mn y Mg pueden estar en este extracto, como carbonatos, sin llegar a ser minerales del tipo: dolomita  $(Ca, Mg)(CO_3)_2$ , rodocrosita  $(MnCO_3)$  y siderita  $(FeCO_3)$ , favorecidas por condiciones anóxicas asociada a altas concentración de materia orgánica, que permiten la presencia de  $Mn^{+2}$  y  $Fe^{+2}$  [29, 69,79]. Adicionalmente la relación Mg/Fe (figura 12) indica que puede haber otra fuente de Mg al sistema diferente de los carbonatos, que posiblemente está asociada a oxihidróxidos amorfos u arcillas de alto grado de meteorización [79], debido a sustituciones isomórficas de Fe y Mg [29, 69]

Estos resultados pueden tener explicación al mencionar el factor litológico, ya que a pesar de que el sistema fluvial conformado por el río Tocuyo y caño El Estero drenan por una zona caracterizada por la presencia de arcillas margosas, lutitas calcáreas y areniscas [40, 45, 69] el caño El Estero recibe las aguas de escorrentía del cerro Chichiriviche, siendo este un cuerpo rocoso compuesto por calizas arrecifales. [38,39]

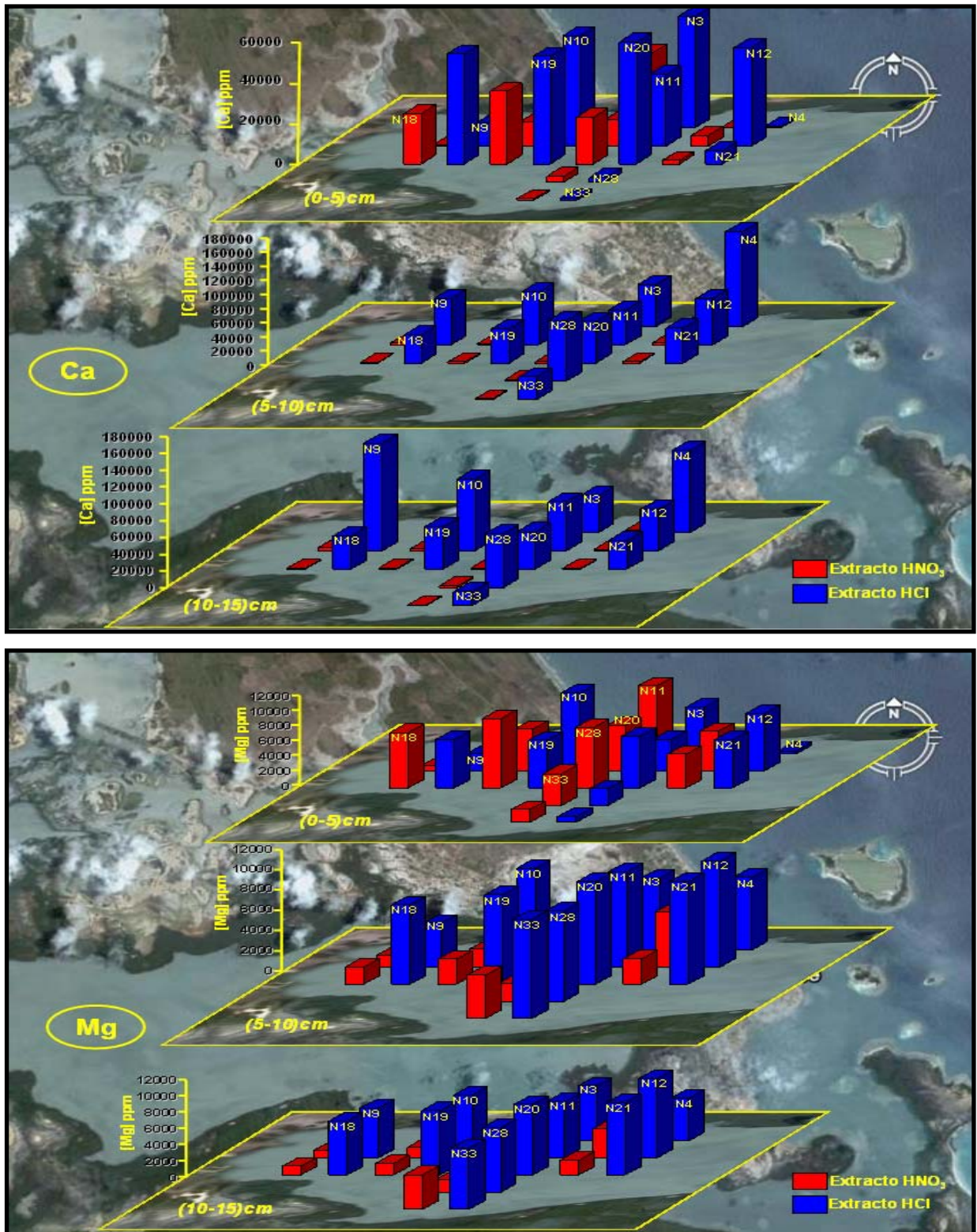


Figura # 11. Diagrama de distribución espacial y a profundidad de las concentraciones de **Ca** y **Mg** en los sedimentos de fondo del Golfo de Cuare, extraídos con HCl y HNO<sub>3</sub>.

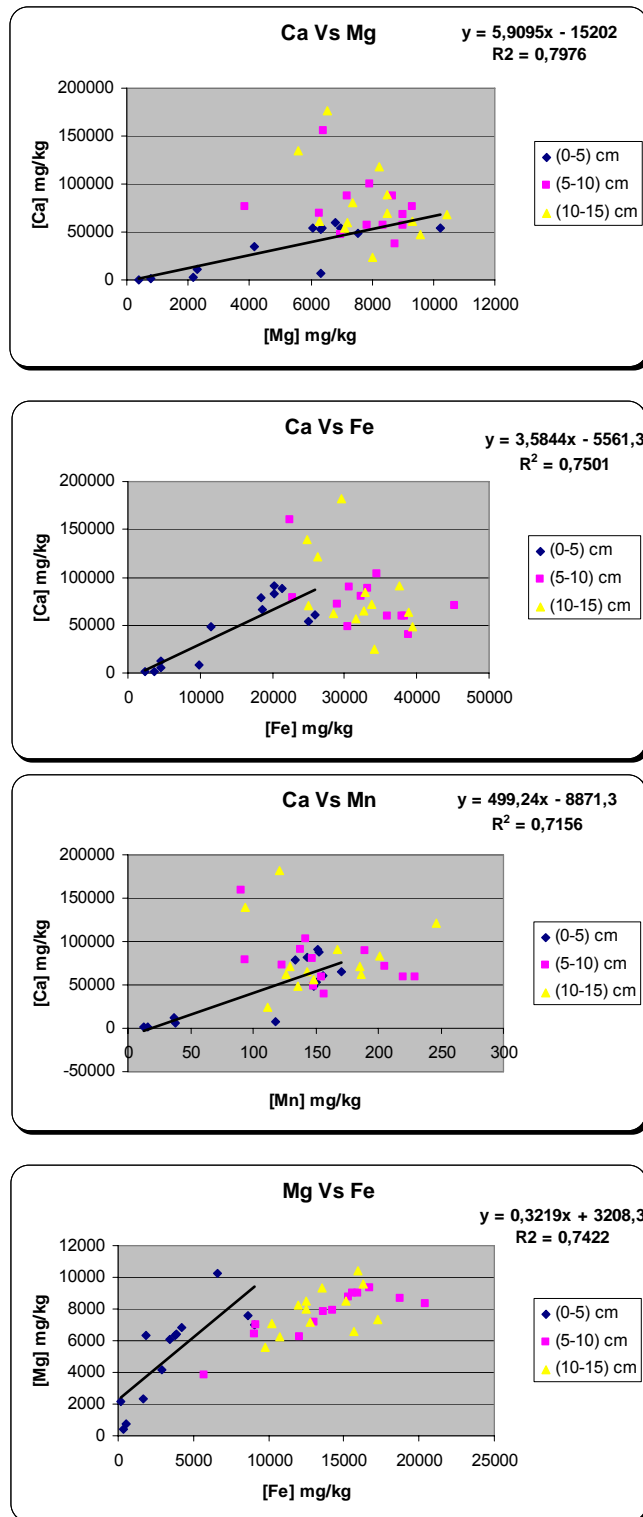


Figura # 12. Curvas de correlaciones de las concentraciones de los elementos: Ca/Mg, Ca/Fe, Ca/Mn y Mg/Fe en el extracto HCl.



### 16.2.2. 2 Ca y Mg extracto de HNO<sub>3</sub>

La concentración de Ca en el extracto de HNO<sub>3</sub> osciló entre (12566 y 2716 mg/kg con un promedio total de 5934 mg/kg. Al igual que en el extracto de HCl mostrando una variación espacial significativa en los primeros 5 cm del sedimento. Luego 5 a 15 cm de profundidad la distribución espacial tiende a ser homogénea. Verticalmente la distribución espacial varió considerablemente, (tabla 3). El Mg por su parte presentó igual variación espacial de 5 a 15 cm de profundidad. Los valores para este elemento en el extracto de HCl oscilaron entre 5227 y 2021mg/kg con un promedio total de 3140 mg/kg, (tablas 8 y 9) y (figura 11).

La figura 11 muestra los diagramas de distribución espacial y a profundidad de Ca y Mg, observándose significativas variaciones de las concentraciones para cada uno de estos elementos. En los primeros (0-5) cm de profundidad la concentración promedio de Ca fue 12566 mg/kg, y disminuyó a 2522 y 2716 mg/kg con la profundidad (5-10) y (10-15) cm respectivamente. En líneas generales la tendencia que mostró la concentración de Ca y Mg, en el extracto de HNO<sub>3</sub>, fue a disminuir en función de la profundidad. Dicha distribución está sujeta a posiblemente existieron cambios temporales en el aporte de minerales a la columna de sedimentos, como se ha venido indicando anteriormente (tablas 3 y 8).

El Ca presente en este extracto no presentó correlación con ninguno de los elementos bajo estudio; sin embargo la presencia de Ca posiblemente está asociada con aluminosilicatos del grupo de las arcillas, (montmorillonita) o a partículas de carbonato recubiertas con oxihidróxidos de Fe cristalino <sup>[43,79]</sup>. La posibilidad de la asociación del Ca con las arcillas tipo (montmorillonita) parece ser la más probable ya que el Ca generalmente está absorbido en posiciones de intercapa en estas arcillas, compensando la deficiencia de cargas en la capas octaédricas - tetraédricas <sup>[29,43,69]</sup>



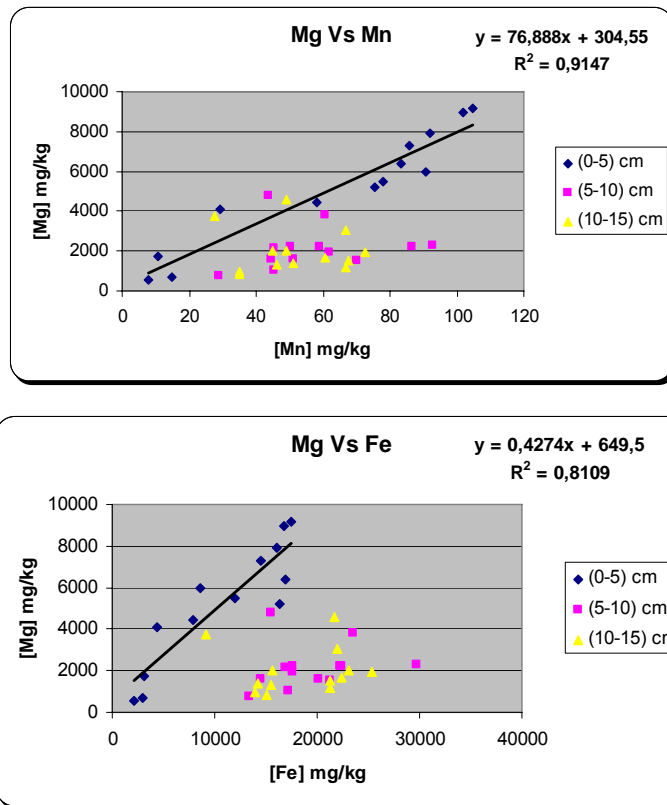
Los análisis de difracción de rayos x, corroboran la procedencia de Ca asociada al extracto de HNO<sub>3</sub>, ya que se identificaron en los difractogramas, arcillas tipo (montmorillonita), en las muestras de (limo-arcilla) del sedimento.

La figura 13 muestra la relación Mg/Fe y Mg/Mn en el extracto de HNO<sub>3</sub> en los 15 cm de profundidad. Indicando un alto coeficiente de correlación ( $r^2 > 0,80$ ), lo que sugiere la asociación geoquímica de estos elementos. Esto permite decir el Mg pudiera estar asociado principalmente arcillas tipo monmorillonita y/o a oxihidróxidos de Fe. <sup>[29,43,69]</sup> Como se indico anteriormente, los análisis de difracción de rayos x, indicaron la presencia de la arcilla tipo (montmorillonita) en el sedimento, lo cual corrobora la asociación de Mg a arcillas.

<i>HNO<sub>3</sub></i>	<i>Ca</i>			<i>Mg</i>		
	<i>Profundidad (0-5)</i>	<i>(5-10)</i>	<i>(10-15)</i>	<i>(0-5)</i>	<i>(5-10)</i>	<i>(10-15)</i>
	<i>[mg/kg]</i>	<i>[mg/kg]</i>	<i>[mg/kg]</i>	<i>[mg/kg]</i>	<i>[mg/kg]</i>	<i>[mg/kg]</i>
<i>PROMEDIO</i>	<i>12566</i>	<i>2522</i>	<i>2716</i>	<i>5227</i>	<i>2171</i>	<i>2021</i>
<i>DESV STAD</i>	<i>13128</i>	<i>680</i>	<i>1280</i>	<i>2882</i>	<i>1087</i>	<i>1123</i>
<i>C V %</i>	<i>104</i>	<i>27</i>	<i>47</i>	<i>55</i>	<i>50</i>	<i>56</i>

**Tabla # 8.** Valores de concentración del los elementos **Ca** y **Mg** en el extracto de HNO<sub>3</sub>, de las estaciones muestreadas a tres profundidades distintas del sedimento.





**Figura # 13.** Curvas de correlaciones de las concentraciones de los elementos: Mg/Fe y Mg /Mn en el extracto HNO<sub>3</sub>.

De acuerdo a la discusión previa de las concentraciones de los elementos Ca y Mg en ambos extractos se puede concluir que: Los valores de concentraciones promedio de Ca resultaron ser mayor en el extracto de HCl que en HNO<sub>3</sub>, tanto a nivel espacial como a profundidad. Esto era de esperarse al suponer que el Ca está principalmente asociado a la fase de carbonatos, que son muy solubles en este medio ácido. Esto se debe al resto de conchas de organismos calcáreos finamente pulverizados, que se encuentran en la fracción lodo del sedimento. De igual manera sucedió para el Mg, por tanto la proporción de carbonatos debe ser relativamente más alta.

Finalmente la concentración total de Ca fue de 68837 mg/kg equivalente a 6.9 %, y para el Mg fue de 10027 mg/kg equivalente a (1 %, (tabla 9 y tablas G1, G2



y G3 apéndice G). Los valores promedios de Ca y Mg hallados en este estudio, son inferiores al valor promedio reportado en el Golfete de Cuare <sup>[79]</sup> y mayores a los valores encontrados en zonas adyacentes, como la cuenca baja del río Tocuyo <sup>[29, 69]</sup>.

Elemento	[%]			[mg/kg]							
	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cr	Ni	Cu	Pb	Cd	Hg
Sistema en estudio Extracto HCl	6.29	0.69	1.03	82	87	20	14	19	15	0,6	—
Sistema en estudio Extracto HNO <sub>3</sub>	0.59	0.31	1.62	58	49	23	11	15	5	0,6	—
Sistema en estudio	6.9	1	2.7	140	136	43	25	34	20	1,2	0,06

**Tabla # 9.** Concentración promedio en los extractos HCl y HNO<sub>3</sub> de los elementos en estudio, de los sedimento del Golfete de Cuare.

### 16.2.3. 1 Zn y Cu extracto de HCl

Los valores de concentración para Zn obtenidos en el extracto de HCl oscilaron entre 58 y 103 mg/kg, con un promedio total de 87 mg/kg, mostrando mayor variación espacial en los primeros 5 cm del sedimento. Luego 5 a 15 cm de profundidad la distribución espacial es homogénea. Verticalmente la distribución espacial varió considerablemente (tabla 3). Este comportamiento antes descrito para el Zn, se repite para el Cu; los valores para este elemento en el extracto de HCl oscilaron entre 16 y 23 mg/kg, con un promedio total de 19 mg/kg, (tablas 9 y 10) y (figura 14).

La figura 14 muestra los diagramas de distribución espacial y a profundidad de los elementos Zn y Cu. Estos representan la distribución espacial y a





profundidad para cada elemento. En los primeros 5 cm del sedimento los valores de concentración de Zn y Cu aumentan y disminuyen en cada una de las estaciones sin ningún patrón definido. Dando una concentración promedio para el Zn de 58 mg/Kg y para el Cu 23 mg/Kg. De (5-10) cm de profundidad el Zn presento un aumento de concentración promedio alrededor de 2 veces la concentración 103 mg/Kg, con respecto a los primeros 5 cm (tabla 10). Por su parte la concentración de Cu disminuyo 17 mg/Kg. Posteriormente en la capa inferior (10-15) cm la concentración promedio de Zn no varió significativamente 101 mg/Kg, al igual que la concentración de Cu 16 mg/Kg. Se puede decir que por debajo de 10 cm sigue sin haber un patrón definido, en cuanto a la distribución espacial para ambos elementos.

La tendencia general que mostró la concentración el Zn en el extracto HCl, fue de aumentar en función de la profundidad y mientras que la concentración del Cu disminuyo. Esta distribución indica que posiblemente existieron cambios en los últimos años en el patrón de sedimentación.

Las concentraciones de Zn y Cu obtenidas en el presente trabajo no presentaron correlación con ninguno de los elementos en el extracto de HCl. indicando que posiblemente dichos elementos están asociados a factores de origen antrópico, en los sedimentos del Golfete. <sup>[5,7,29,79]</sup>

HCl	Zn			Cu		
	(0-5)	(5-10)	(10-15)	(0-5)	(5-10)	(10-15)
Profundidad	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
PROMEDIO	58	103	101	23	17	16
DESV STAD	28	30	21	8	2	3
C V %	48	29	21	33	13	16

**Tabla # 10.** Valores de concentración de los elementos Zn y Cu en el extracto de HCl, de las estaciones muestreadas a tres profundidades distintas del sedimento.



### 16.2.3. 2 Zn y Cu extracto de HNO<sub>3</sub>

La concentración de Zn en el extracto de HNO<sub>3</sub> osciló entre 40 y 62 mg/kg con un promedio total de 49 mg/kg. Al igual que en el extracto de HCl mostrando una variación espacial significativa en los primeros 5 cm del sedimento. Luego 5 a 15 cm de profundidad la distribución espacial es homogénea, y verticalmente la distribución espacial varió considerablemente, (tabla 3). Este comportamiento antes descrito para el Zn, se repite para el Cu; los valores para este elemento en el extracto de HCl oscilaron entre 12 y 20 mg/kg con un promedio total de 15 mg/kg, (tablas 9 y 11) y (figura 14).

La figura 14 muestra los diagramas de distribución espacial y a profundidad de Zn y Cu, observándose variaciones de las concentraciones para cada uno de estos elementos. En los primeros (0-5) cm de profundidad la concentración promedio de Zn fue 62 mg/kg, y disminuyó a 40 y 43 mg/kg con la profundidad (5-10) y (10-15) cm respectivamente. En líneas generales la concentración promedio de Zn disminuye verticalmente y la variación espacial como a profundidad no muestra ningún patrón definido. Este comportamiento antes descrito para el Zn, se repite para el Cu, (tablas 3 y 11).

La figura 15 muestra la relación Zn/Mn, Zn/Fe y Cu/Mn, en el extracto de HNO<sub>3</sub> en los 15 cm de profundidad. Indicando un buen coeficiente de correlación ( $r^2 > 0,70$ ), lo que sugiere la asociación geoquímica de estos elementos. Esto permite decir el Zn y Cu pudiese estar asociado a oxihidróxidos de Fe y/o arcillas. Adicionalmente la figura 14 muestra la relación Zn/Mg pudiendo indicar la presencia de Zn en arcillas tipo (montmorillonita), mediante sustituciones isomórficas de Zn por Mg o Al en la estructura de dichas arcillas <sup>[5,7,26]</sup>



HNO <sub>3</sub>	Zn			Cu		
	(0-5)	(5-10)	(10-15)	(0-5)	(5-10)	(10-15)
Profundidad	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
PROMEDIO	62	40	43	20	12	12
DESV STAD	29	10	16	5	3	3
C V %	48	26	37	27	25	25

**Tabla # 11.** Valores de concentración del los elementos Zn y Cu en el extracto de HNO<sub>3</sub>, de las estaciones muestreadas a tres profundidades distintas del sedimento.

De acuerdo a la discusión previa de las concentraciones de los elementos Zn y Cu en ambos extractos se puede concluir que: Los valores de concentración promedio de Zn resultaron ser mayor en el extracto de HCl que en HNO<sub>3</sub>, las cuales posiblemente están asociadas a oxihidróxidos de Fe amorfos, o sorbidos sobre los minerales de arcilla. [5,7,26]

Cabe destacar que el Zn bajo condiciones anóxicas, posiblemente aportadas por la materia orgánica puede encontrarse como esfalerita (ZnS). [5,7,26] De la misma forma, no se descarta la posibilidad que cierta fracción de Zn y Cu esté asociada a materia orgánica, presente en sedimentos de fondo del Golfete. Es importante destacar que son necesarios análisis de azufre y carbono orgánico, para determinar la presencia de fases minerales asociadas a sulfuros o sulfatos, y poder cuantificar la materia orgánica en el sistema la cual juega un papel importante en la movilidad de especies químicas en ambientes próximos costeros.

Finalmente la concentración total de Zn fue de 136 mg/kg y para el Cu fue de 34 mg/kg, (tabla 6 y tablas G1, G2 y G3 apéndice G). El valor promedio de Zn hallado en este estudio es similar al valor reportado en el Golfete de Cuare [79] mientras que la concentración de Cu es mayor. De igual forma el valor promedio encontrado en la cuenca baja del río Tocuyo por [69] para Zn, es mayor. De igual manera en la costa de la India Bahía de Bengala [76] se reportaron valores promedios de línea base de Zn 191 mg/kg y Cu 25 mg/kg, Donde el valor de Zn fue mayor y Cu menor, comparados con los valores promedio de este estudio, (tabla 6).



Tomando como referencia los valores promedios encontrados en la literatura, correspondientes a valores publicados a nivel mundial por otros autores, para el Zn y Cu, en sedimentos próximos costeros, indican que la concentración promedio de Cu obtenida en el presente estudio es comparable al promedio a nivel mundial, mientras que el Zn esta por debajo de esos valores, (tabla 6). Al evaluar estos resultados se puede decir que la presencia de Cu y Zn en los sedimentos superficiales del Golfete de Cuare puede ser atribuida a factores naturales o a factores antrópicos, o sencillamente a una mezcla de ambos factores. Donde el turismo, las actividades agrícolas, la construcción civil y la improvisación de vertederos de desechos sólidos puede contribuir a la presencia de especies químicas contaminantes en la zona de estudio <sup>[28,29,69]</sup>.

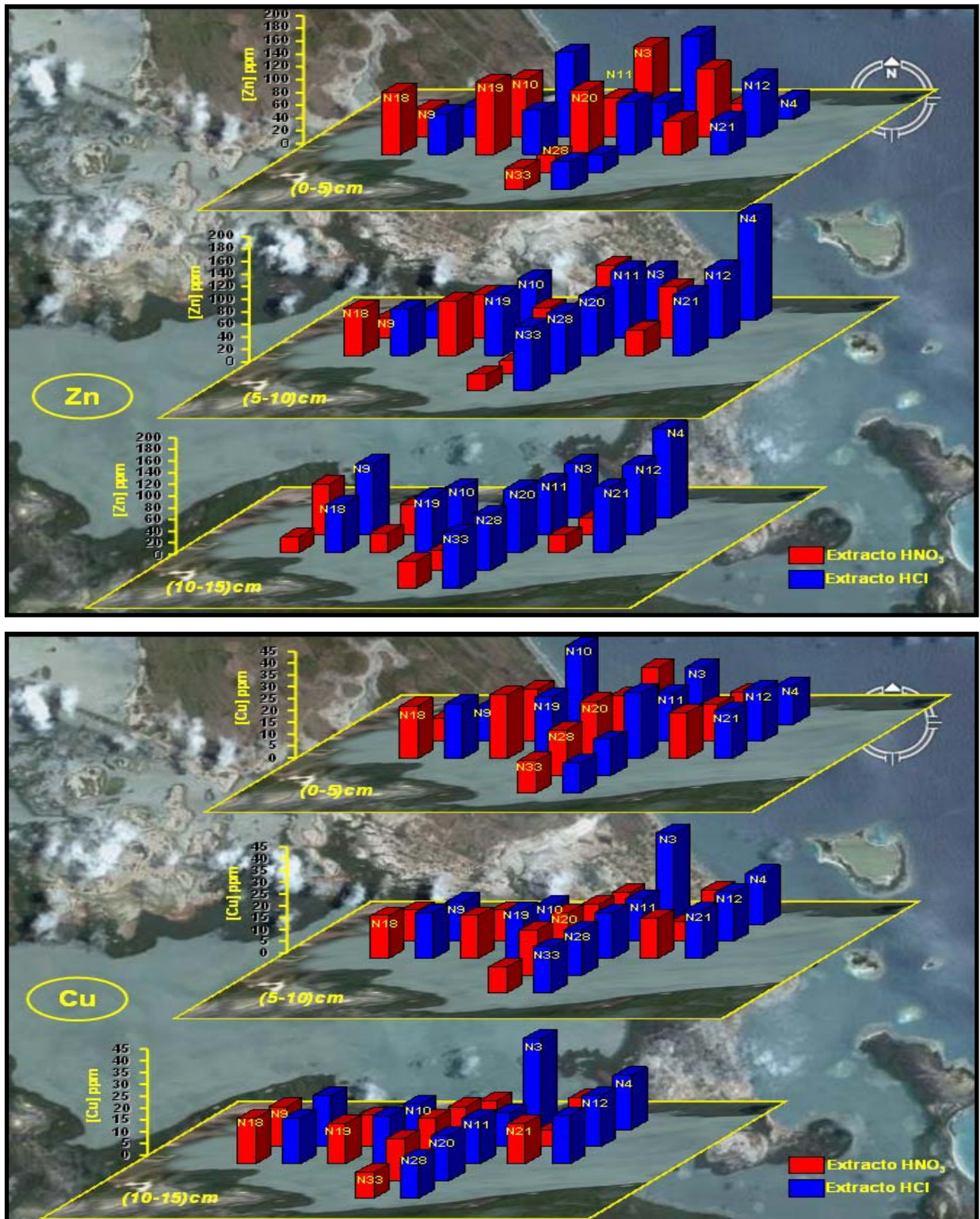


Figura # 14. Diagrama de distribución espacial y a profundidad de las concentraciones de Zn y Cu en los sedimentos de fondo del Golfete de Cuare, extraídos con HCl y  $\text{HNO}_3$

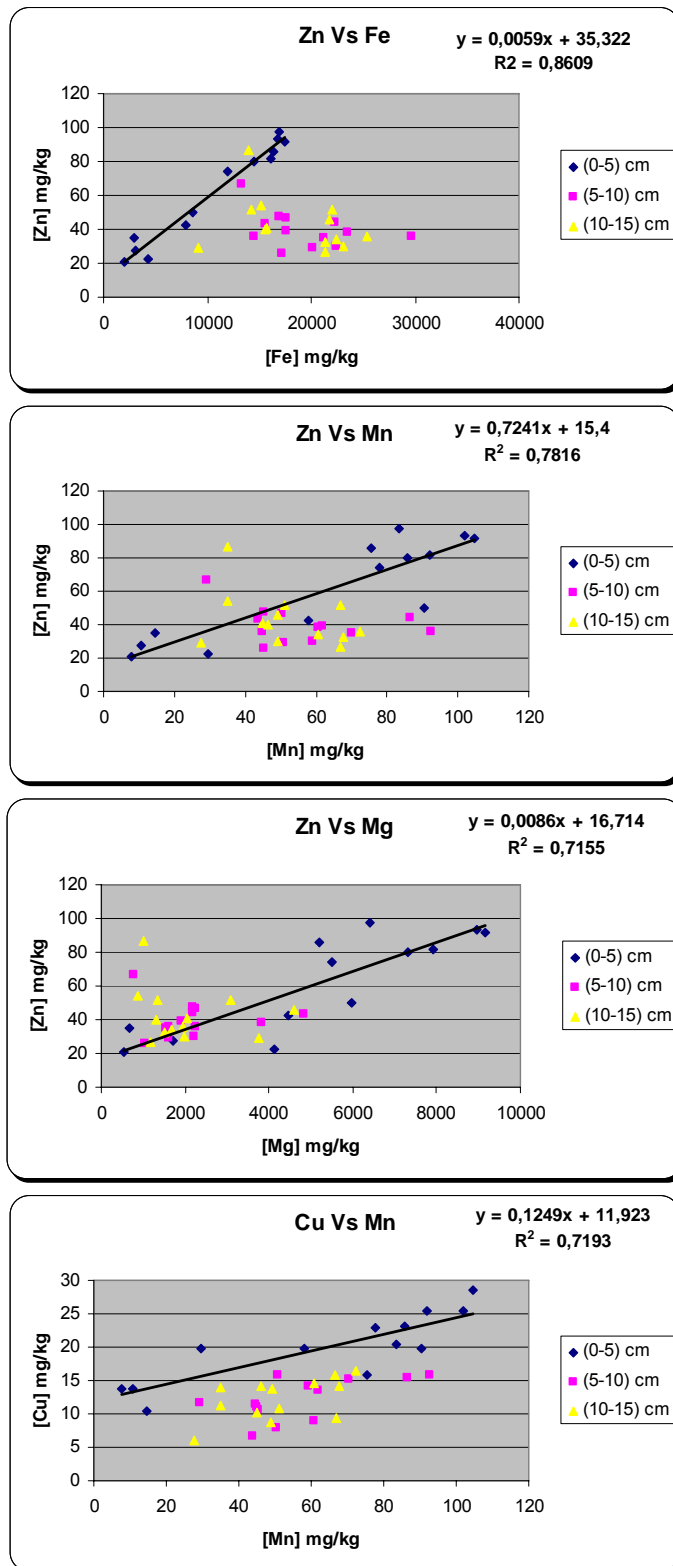


Figura # 15. Curvas de correlaciones de las concentraciones de los elementos: Zn/Fe, Zn/Mn, Zn/Mg y Cu/Mn en el extracto HNO<sub>3</sub>.



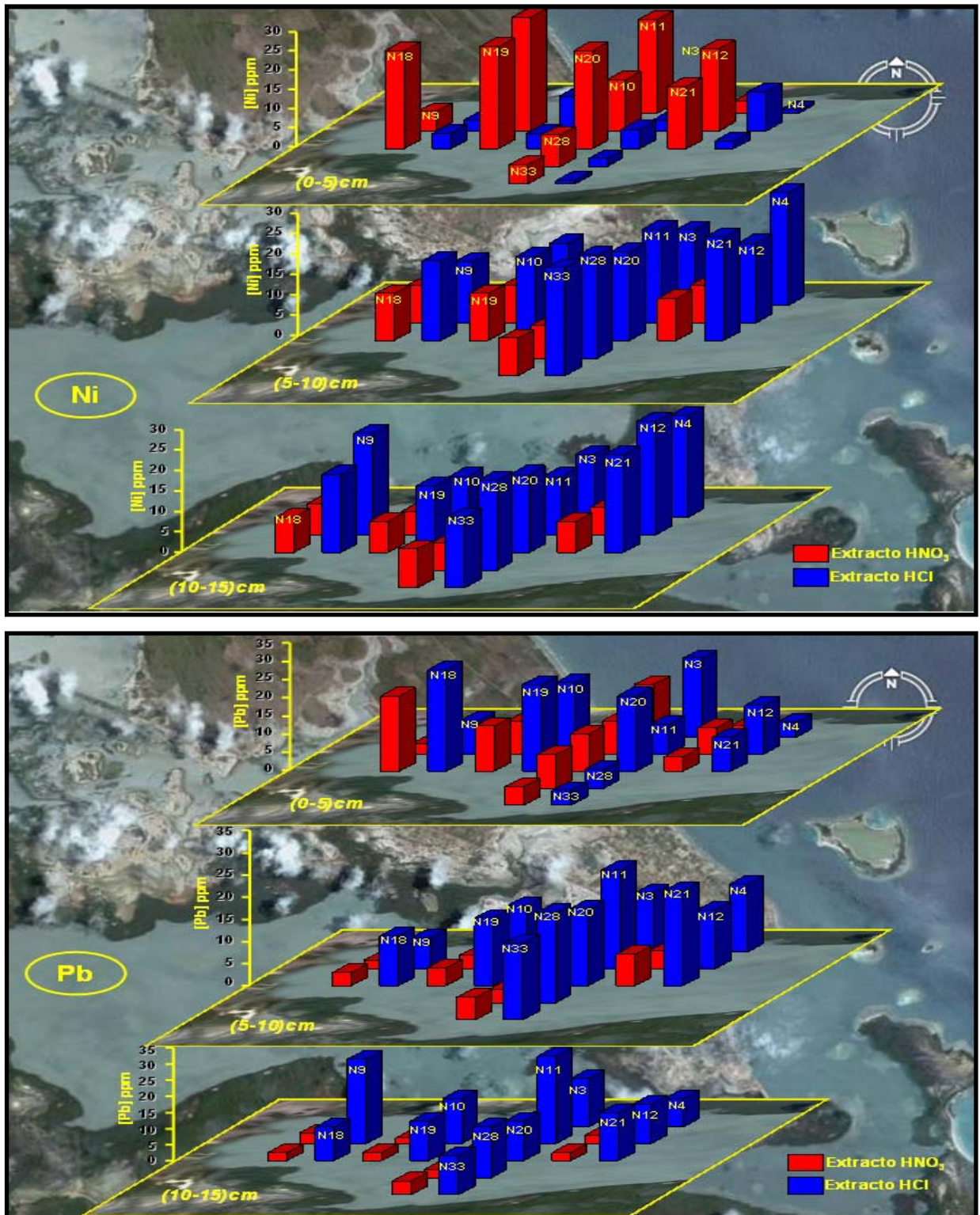
#### 16.2.4. 1 Ni y Pb extracto de HCl

Los valores de concentración para Ni obtenidos en el extracto de HCl oscilaron entre 4 y 20mg/kg, con un promedio total de 14mg/kg, mostrando mayor variación espacial en los primeros 5 cm del sedimento. Luego 5 a 15 cm de profundidad la distribución espacial es homogénea. Verticalmente la distribución espacial varió considerablemente (tabla 3). Este comportamiento antes descrito para el Ni, se repite para el Pb, con la diferencia de que la concentración de dicho elemento no varia considerablemente a profundidad; los valores para este elemento en el extracto de HCl oscilaron entre 14 y 16 mg/kg, con un promedio total de 15 mg/kg, (tablas 9 y 12) y (figura 16).

La figura 16 muestra los diagramas de distribución espacial y a profundidad de los elementos Ni y Pb. Estos representan la distribución espacial y a profundidad para cada elemento. En los primeros 5 cm del sedimento los valores de concentración de Ni y Pb aumentan y disminuyen en cada una de las estaciones sin ningún patrón definido. Dando una concentración promedio para el Ni de 4 mg/Kg y para el Pb 14 mg/Kg. De (5-10) cm de profundidad el Ni presento un aumento de concentración promedio alrededor de 5 veces la concentración (19 mg/Kg), con respecto a los primeros 5 cm (tabla 12). Por su parte la concentración de Pb fue relativamente igual 15 mg/Kg. Posteriormente en la capa inferior (10-15) cm la concentración promedio de Ni no varió significativamente (20 mg/Kg), al igual que la concentración de Pb (17 mg/Kg). Se puede decir que por debajo de 10 cm sigue sin haber un patrón definido, en cuanto a la distribución espacial para ambos elementos.

La tendencia general que mostró la concentración el Ni en el extracto HCl, fue de aumentar en función de la profundidad y mientras que la concentración del Pb no vario mucho. Esto indica que posiblemente existieron cambios temporales en el patrón de sedimentación.





**Figura # 16.** Diagrama de distribución espacial y a profundidad de las concentraciones de Ni y Pb en los sedimentos de fondo del Golfete de Cuare, extraídos con HCl y HNO<sub>3</sub>.





Las concentraciones de Ni y Pb obtenidas en el presente trabajo no presentaron correlación con ninguno de los elementos en el extracto de HCl, indicando que posiblemente dichos elementos están asociados a factores de origen antrópico, en los sedimentos del Golfete.

HCl	Ni			Pb		
	(0-5)	(5-10)	(10-15)	(0-5)	(5-10)	(10-15)
Profundidad	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
PROMEDIO	4	19	20	14	15	16
DESV STAD	3	3	5	8	4	7
C V %	65	18	25	58	28	40

**Tabla # 12.** Valores de concentración del los elementos Ni y Pb en el extracto de HCl, de las estaciones muestreadas a tres profundidades distintas del sedimento.

#### 16.2.4. 2 Ni y Pb extracto de HNO<sub>3</sub>

La concentración de Ni en el extracto de HNO<sub>3</sub> osciló entre 8 y 17mg/kg con un promedio total de 11 mg/kg. Al igual que en el extracto de HCl mostrando una variación espacial significativa en los primeros 5 cm del sedimento. Luego 5 a 15 cm de profundidad la distribución espacial es homogénea, y verticalmente la distribución espacial varió considerablemente, (tabla 3). Este comportamiento antes descrito para el Ni, se repite para el Pb; los valores para este elemento en el extracto de HCl oscilaron entre (3 y 9 mg/kg) con un promedio total de 5 mg/kg, (tablas 9 y 13) y (figura 16).

La figura 16 muestra los diagramas de distribución espacial y a profundidad de Ni y Pb, observándose variaciones de las concentraciones para cada uno de estos elementos. En los primeros (0-5) cm de profundidad la concentración promedio de Ni fue 17 mg/kg, y disminuyo a (8 y 9 mg/kg) con la profundidad (5-10) y (10-15) cm respectivamente. En líneas generales la concentración promedio de Ni disminuye verticalmente y la variación espacial como a profundidad no muestro ningún patrón



definido. Este comportamiento antes descrito para el Ni, se repite para el Pb, (tablas 3 y 13).

La figura 16 muestra la relación Ni /Zn y Ni /Fe, en el extracto de HNO<sub>3</sub> en los 15 cm de profundidad. Indicando un buen coeficiente de correlación ( $r^2 > 0,80$ ), lo que sugiere la asociación geoquímica de estos elementos. Esto permite decir el Ni pudiera estar asociado a oxihidróxidos de Fe cristalinos y/o arcillas ricas en Mg.

Las relaciones Ni/Zn (figura 17) y Zn/Mg (figura 15) obtenidas a partir de las concentraciones de dichos elementos en HNO<sub>3</sub>, corroboran lo anteriormente indicado. Estas relaciones permiten inferir la asociación de estos elementos a arcillas ricas en Mg (montmorillonita), debido a procesos de sustitución isomórficas de Ni por Mg, en la estructura de las arcillas. El Pb en dicho extracto, no presento correlación con ninguno de los elementos. [5,7,26, 79]

HNO <sub>3</sub>	Ni			Pb		
	(0-5)	(5-10)	(10-15)	(0-5)	(5-10)	(10-15)
Profundidad	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
PROMEDIO	17	9	8	9	4	3
DESV STAD	9	1	1	5	1	1
C V %	53	9	17	54	34	25

**Tabla # 13.** Valores de concentración del los elementos Ni y Pb en el extracto de HNO<sub>3</sub>, de las estaciones muestreadas a tres profundidades distintas del sedimento.

De acuerdo a la discusión previa de las concentraciones de los elementos Ni y Pb en ambos extractos se puede concluir que: Los valores de concentración promedio de Ni y Pb resultaron ser mayor en el extracto de HCl que en HNO<sub>3</sub>, las cuales posiblemente están asociadas a oxihidróxidos de Fe amorfos o sorbidos sobre los minerales de arcilla en el caso del Ni. [5,7,26] De la misma forma, no se descarta la posibilidad que ambos elementos, estén asociados a factores antrópicos,



por lo menos en los primeros 5 cm de profundidad, en los sedimentos de fondo del Golfete.

Al evaluar estos resultados y falta de correlación de las concentraciones de Pb con el resto de los elementos bajo estudio podría estar indicando que la presencia de dicho elemento en los sedimentos del Golfete de Cuare, puede ser atribuida a factores antrópicos. El trancito de botes utilizado por pescadores de la zona, para realizar actividades turísticas, hacia las diversas cuevas presentes en el Cerro Chichiriviche, podrían estar determinando las mayores acumulaciones de Pb en los sedimentos del Golfete, debido a posibles derrames de gasolina y sus derivados. El tetraetilo de Pb presente en la gasolina como antidetonante podría ser la principal fuente de dicho elemento en los sedimentos recientes de la zona bajo estudio. [28,29,43,69, 79].

Finalmente la concentración total de Ni fue de 25 mg/kg y para el Pb fue de 20 mg/kg, (tabla 6 y tablas G1, G2 y G3 apéndice G). Los valores promedio de Ni y Pb hallados en este estudio son inferiores a los valores encontrados en el Golfete de Cuare [79] y en la cuenca baja del río Tocuyo [29, 69].

Tomando como referencia los valores promedios encontrados en la literatura, correspondientes a valores publicados a nivel mundial por otros autores, para el Ni y Pb en sedimentos próximos costeros, indica que la concentración promedio obtenida de Ni y Pb en el presente estudio están por debajo al promedio a nivel mundial, (tabla 6).

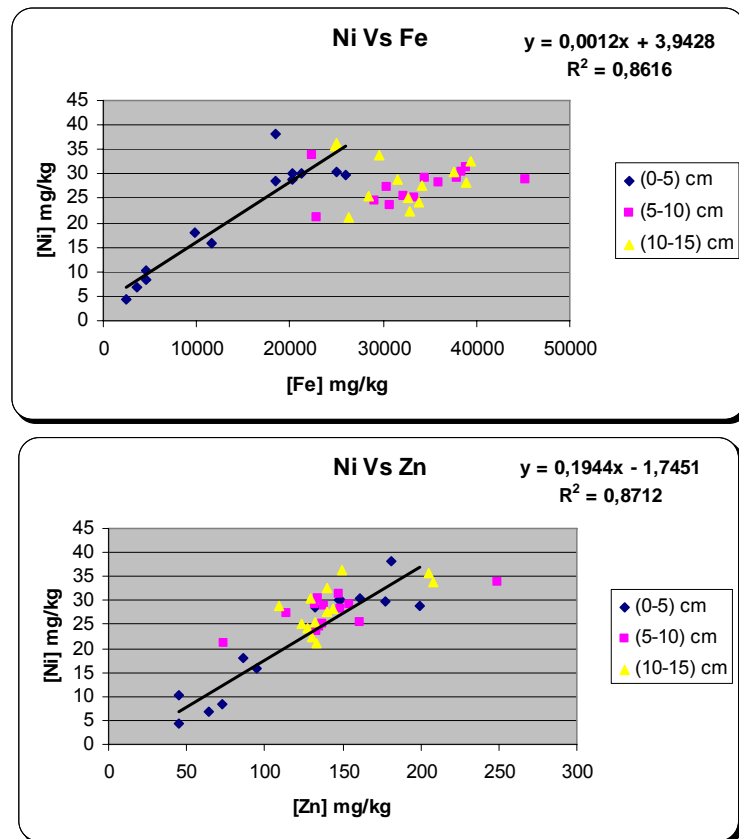


Figura # 17. Curvas de correlaciones de las concentraciones de los elementos: Ni/Fe, Ni/Zn, en el extracto HNO<sub>3</sub>.

#### 16.2.5. 1 Cr extracto de HCl

Los valores de concentración para Cr obtenidos en el extracto de HCl oscilaron entre 11 y 25 mg/kg, con un promedio total de 20 mg/kg, mostrando mayor variación espacial en los primeros 5 cm del sedimento. Luego 5 a 15 cm de profundidad la distribución espacial es homogénea. Verticalmente la distribución espacial varió considerablemente (tablas 3, 9 y 14) y (figura 18).

La figura 18 muestra el diagrama de distribución espacial y a profundidad de Cr. Este representa la distribución espacial y a profundidad para dicho elemento. En los primeros 5 cm del sedimento los valores de concentración de Cr aumentan y

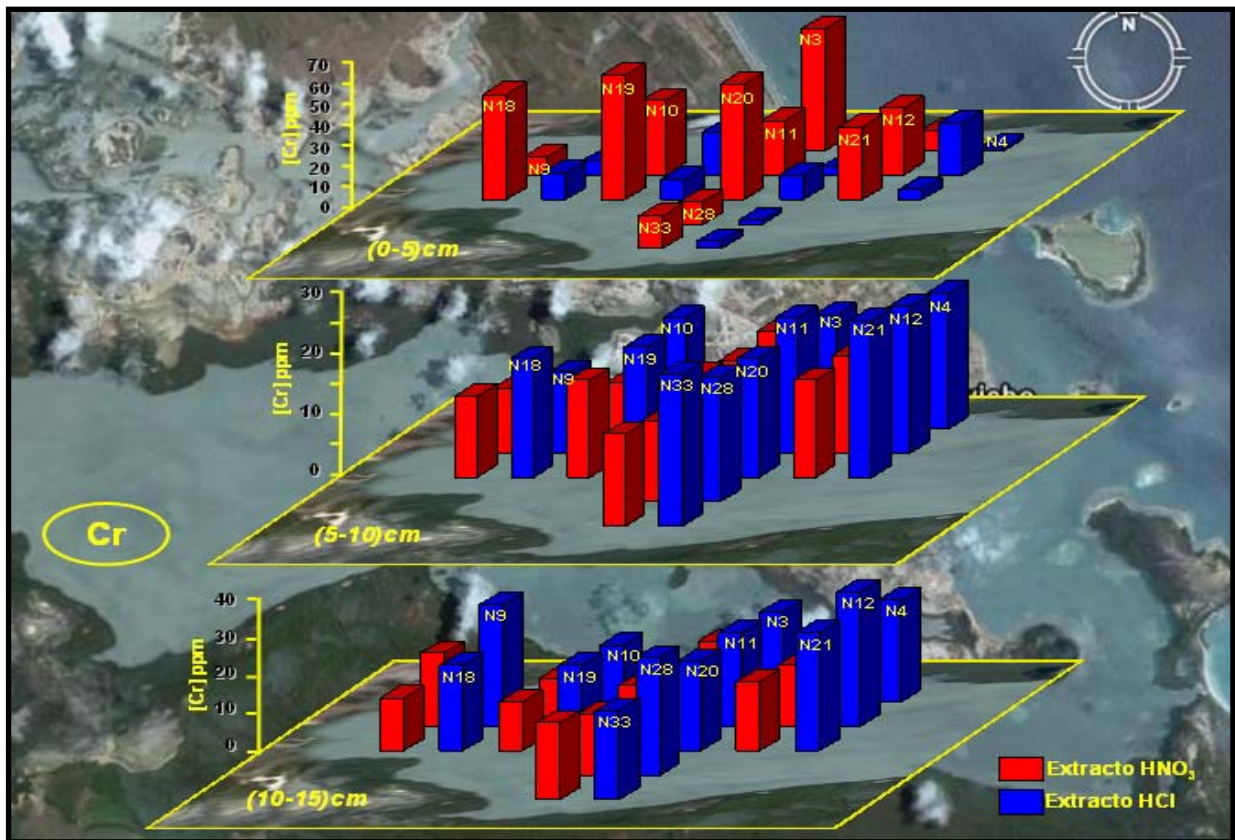


disminuyen en cada una de las estaciones sin ningún patrón definido. Obteniéndose una concentración promedio para el Cr de 11 mg/Kg. De (5-10) cm de profundidad el Cr presento un aumento de concentración promedio alrededor de 2 veces la concentración 24 mg/Kg, con respecto a los primeros 5 cm. Posteriormente en la capa inferior (10-15) cm la concentración promedio de Cr no varió significativamente 25 mg/Kg. Se puede decir que por debajo de 10 cm sigue sin haber un patrón definido, en cuanto a la distribución espacial para el Cr, (tabla 14).

Las concentraciones de Cr obtenidas en el presente trabajo no presentaron correlación con ninguno de los elementos en el extracto de HCl, indicando que posiblemente dicho elemento este asociado a factores de origen antrópico en los sedimentos del Golfete. <sup>[5,7,26,29]</sup>

HCl	Cr		
	Profundidad (0-5)	(5-10)	(10-15)
	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
PROMEDIO	11	24	25
DESV STAD	8	3	4
C V %	75	15	18

**Tabla # 14.** Valores de concentración del los elementos Cr en el extracto de HCl, de las estaciones muestreadas a tres profundidades distintas del sedimento.



**Figura # 18.** Diagrama de distribución espacial y a profundidad de las concentraciones de Cr en los sedimentos de fondo del Golfete de Cuare, extraídos con HCl y HNO<sub>3</sub>.

### 16.2.5. 2 Cr extracto de HNO<sub>3</sub>

La concentración de Cr en el extracto de HNO<sub>3</sub> osciló entre 16 y 35 mg/kg con un promedio total de 23 mg/kg. Al igual que en el extracto de HCl mostrando una variación espacial significativa en los primeros 5 cm del sedimento. Luego 5 a 15 cm de profundidad la distribución espacial es homogénea, y verticalmente la distribución espacial varió considerablemente, (tablas 3, 9 y 15) y (figura 18).



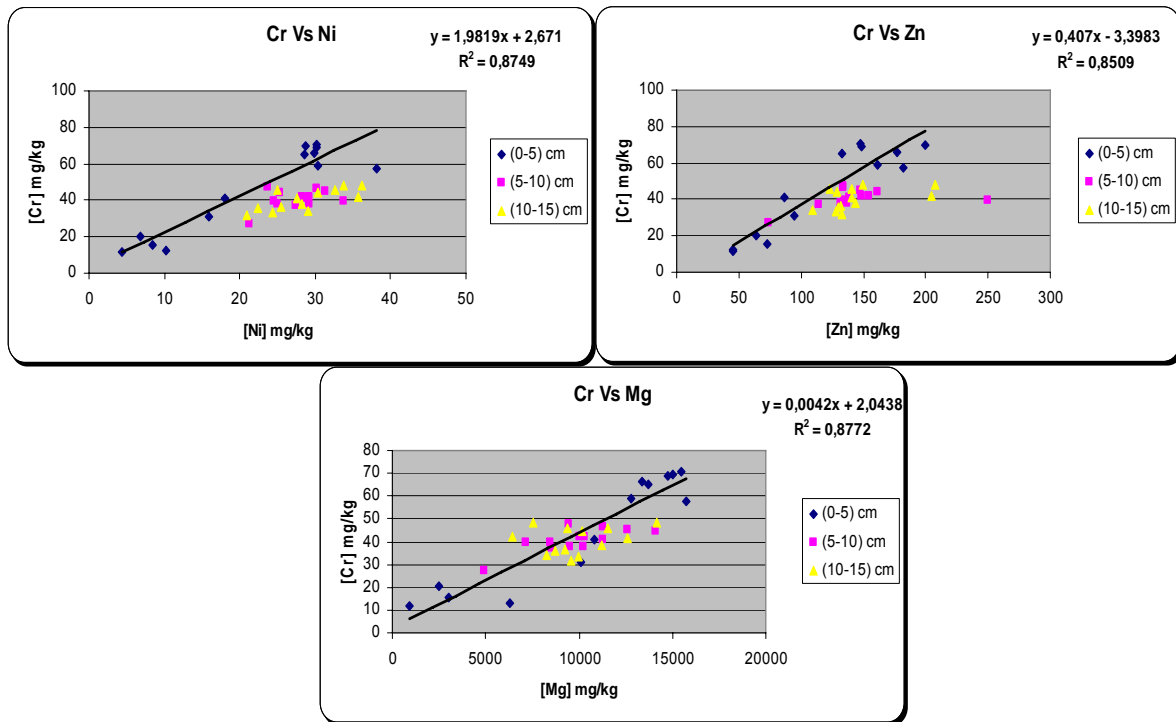
La figura 18 muestra los diagramas de distribución espacial y a profundidad de Cr, observándose variaciones de las concentraciones para este elemento. En los primeros (0-5) cm de profundidad la concentración promedio de Cr fue 35 mg/kg, y disminuyo a 17 y 16 mg/kg con la profundidad (5-10) y (10-15) cm respectivamente. En líneas generales la concentración promedio de Cr disminuye verticalmente y la variación espacial como a profundidad no muestran ningún patrón definido, (tablas 3 y 15).

La tendencia general que mostró la concentración el Cr en el extracto HNO<sub>3</sub>, fue a disminuir en función de la profundidad. Dicha distribución indica que posiblemente existieron cambios temporales en el patrón de sedimentación.

La figura 19 muestra la relación Cr/Ni, Cr/Zn y Cr/Mg, en el extracto de HNO<sub>3</sub> en los 15 cm de profundidad. Indicando un buen coeficiente de correlación ( $r^2 > 0,80$ ), lo que sugiere la asociación geoquímica de estos elementos. Esto permite decir el Cr pudiera estar asociado a oxihidróxidos de Fe cristalinos, arcillas y/o materia orgánica. [5,7,26]

HNO <sub>3</sub>	Cr		
	(0-5)	(5-10)	(10-15)
Profundidad	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
PROMEDIO	35	17	16
DESV STAD	19	3	4
C V %	56	20	23

**Tabla # 15.** Valores de concentración de los elementos Cr en el extracto de HNO<sub>3</sub>, de las estaciones muestreadas a tres profundidades distintas del sedimento.



**Figura # 19.** Curvas de correlaciones de las concentraciones de los elementos: Cr/Ni, Cr/Zn y Cr/Mg en el extracto HNO<sub>3</sub>.

De acuerdo a la discusión previa de las concentraciones de los elementos Cr en ambos extractos se puede concluir que: Los valores de concentración promedio de Cr resultaron ser similar en el extracto de HCl que en HNO<sub>3</sub>, las cuales posiblemente están asociadas a oxihidróxidos de Fe amorfos y cristalinos.<sup>[5,7,26]</sup> adicionalmente se pudiese decir que la presencia de Cr en los sedimentos del Golfete de Cuare, puede ser atribuida a factores naturales y/o antrópicos, o sencillamente a una mezcla de ambos factores.<sup>[28,29,43,69]</sup>

Finalmente la concentración total de Cr fue de 43 mg/kg, (tabla 6 y tablas G1, G2 y G3 apéndice G). El valor promedio de Cr hallado en este estudio es mayor al valor encontrado en la cuenca baja del río Tocuyo<sup>[69]</sup> De igual manera en la costa de la India Bahía de Bengala<sup>[76]</sup> se reportaron valores promedios de línea base para el Cr. El valor promedio de Cr hallado en ese trabajo es mucho mayor que el valor reportado en este estudio, (tabla 6).





Tomando como referencia los valores promedios encontrados en la literatura, correspondientes a valores publicados a nivel mundial por otros autores, la concentración de Cr en sedimentos próximos costeros, indica que el valor obtenido de Cr en el presente estudio está por debajo al promedio a nivel mundial, (tabla 6).

#### **16.2.6. 1 Cd extracto de HCl**

Los valores de concentración para Cd obtenidos en el extracto de HCl oscilaron entre 0,5 y 0,73 mg/kg, con un promedio total de 0,64 mg/kg, mostrando igual variación espacial y vertical de (5-10) y (10-15) cm del sedimento, (tablas 3, 9 y 16) y (figura 20).

La figura 20 muestra el diagrama de distribución espacial y a profundidad de Cd. Este representa la distribución espacial y a profundidad para dicho elemento. En los primeros 5 cm del sedimento los valores de concentración de Cd estuvieron por debajo del límite de determinación (0,01 mg/kg). Obteniéndose una concentración promedio para el Cd de 0,5 mg/Kg. De (5-10) cm de profundidad el Cd presento un aumento de concentración promedio 0,68 mg/Kg, con respecto a los primeros 5 cm. Posteriormente en la capa inferior (10-15) cm la concentración promedio de Cd aumento a 0,73 mg/Kg. Se puede decir que por debajo de 10 cm sigue sin haber un patrón definido, en cuanto a la distribución espacial para el Cd, (tabla 16).

Las concentraciones de Cd obtenidas en el presente trabajo no presentaron correlación con ninguno de los elementos en el extracto de HCl, indicando que posiblemente dicho elemento este asociado a factores de origen antrópico en los sedimentos del Golfete.

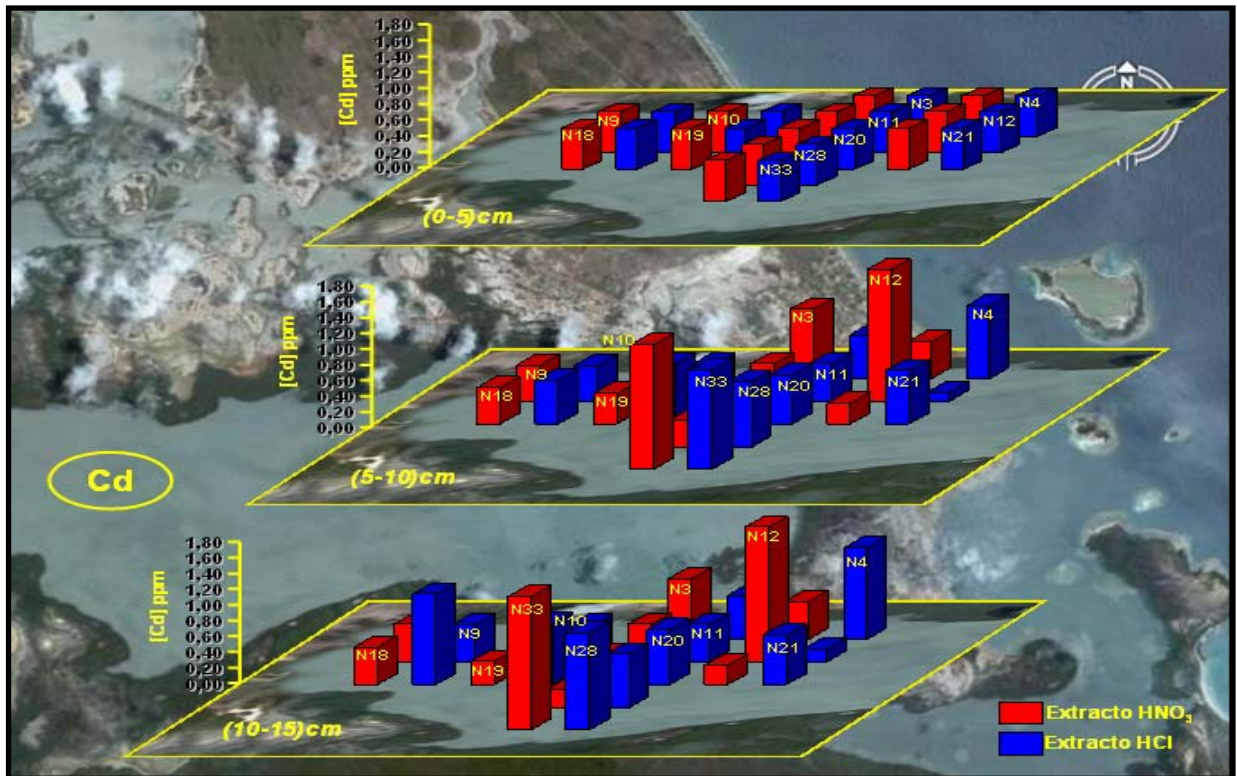


Figura # 20. Diagrama de distribución espacial y a profundidad de las concentraciones de Cd en los sedimentos de fondo del Golfete de Cuare, extraídos con HCl y HNO<sub>3</sub>.

HCl	Cd		
	(0-5)	(5-10)	(10-15)
Profundidad	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
PROMEDIO	0,50	0,68	0,73
DESV STAD	0,01	0,29	0,33
C V %	2	43	45

Tabla # 16. Valores de concentración de los elementos Cd en el extracto de HCl, de las estaciones muestreadas a tres profundidades distintas del sedimento.



### 16.2.6. 2 Cd extracto de HNO<sub>3</sub>

La concentración de Cd en el extracto de HNO<sub>3</sub> osciló entre 0,5 y 0,68 mg/kg con un promedio total de 0,62 mg/kg. Al igual que en el extracto de HCl mostrando igual variación espacial y vertical de (5-10) y (10-15) cm del sedimento, (tablas 3, 9 y 17) y (figura 20).

La figura 20 muestra los diagramas de distribución espacial y a profundidad de Cd, observándose variaciones de las concentraciones para este elemento. En los primeros 5 cm del sedimento los valores de concentración de Cd estuvieron por debajo del límite de determinación 0,1 mg/kg. Donde la concentración promedio de Cd fue 0,5 mg/kg, y se aumento 0,68 y 0,68 mg/kg con la profundidad (5-10) y (10-15) cm respectivamente. En líneas generales la concentración promedio de Cd es igual verticalmente y la variación espacial como a profundidad no muestran ningún patrón definido, (tablas 3 y 15).

Las concentraciones de Cd obtenidas en el presente trabajo no presentaron correlación con ninguno de los elementos en el extracto de HNO<sub>3</sub>, al igual que en el extracto HCl, indicando que posiblemente dicho elemento este relacionado a factores de origen antrópico. <sup>[5,7,26,29]</sup>

HNO <sub>3</sub>	Cd		
	(0-5)	(5-10)	(10-15)
Profundidad	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
PROMEDIO	0,50	0,69	0,68
DESV STAD	0,01	0,48	0,52
C V %	1	70	76

**Tabla # 17.** Valores de concentración de los elementos Cd en el extracto de HNO<sub>3</sub>, de las estaciones muestreadas a tres profundidades distintas del sedimento.

De acuerdo a la discusión previa de las concentraciones de los elementos Cd en ambos extractos se puede concluir que: Los valores de concentración promedio de



Cd resultaron ser similar en el extracto de HCl que en  $\text{HNO}_3$ ,<sup>[5,7,26]</sup> Al igual que Cr, se pudiera decir que la presencia de Cd en los sedimentos del Golfete de Cuare, puede ser atribuida a factores antrópicos, como se indico anteriormente.<sup>[28,29,43,69]</sup>

Finalmente la concentración total de Cd fue de 1,26 mg/kg, (tabla 6 y tablas G1, G2 y G3 apéndice G). El valore promedio de Cd hallado en este estudio es menor al valor encontrado en el Golfete de Cuare por<sup>[79]</sup> y mayor al valor encontrado en la región la costa de la India Bahía de Bengala<sup>[76]</sup> (tabla 6).

Tomando como referencia los valores promedios encontrados en la literatura, correspondientes a valores publicados a nivel mundial por otros autores, la concentración de Cd en sedimentos próximos costeros, indica que el valor obtenido de Cd en el presente estudio está por encima al promedio a nivel mundial, (tabla 6). Tomando en cuenta lo antes descrito, se pudiera decir que las concentraciones de Cd obtenidas en este estudio quizás estén asociadas a algún tipo de fuente antrópica, como se ha venido indicando anteriormente para algunos elementos como Zn, Cu, Ni, Pb y Cr.

#### **16.2.7. 1 Hg extracto de agua regia**

Este extracto corresponde a los elementos como el Hg que pueden estar asociados a la materia orgánica, sulfuros, óxidos, así como también a los aluminosilicatos con enlaces químicos débiles que pueden ser parcialmente extraídos.

La concentración promedio de Hg en el extracto de agua regia fue de 60  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . De 5 a 15 cm de profundidad la distribución espacial y a profundidad fue homogénea, pero sin mostrar un patrón definido (tablas 3 y 18) y (figura 21).

La figura 21 muestra los diagramas de distribución espacial y a profundidad de Hg, observándose variaciones de las concentraciones para este elemento. De tal



manera se puede decir que los valores de concentración obtenidos de (5-10) y (10-15) cm de profundidad, son similares incluso iguales en algunas estaciones. No hay variación de la concentración de Hg, verticalmente (tablas 3 y 18).

Las concentraciones de Hg no mostraron correlación con ningún elemento, lo que puede indicar que las mismas pudieran estar asociadas a fuentes antrópicas y que los procesos que controlan la presencia de Hg en los sedimentos son distintos del resto de los elementos bajo estudio.<sup>[26,29,79]</sup> El origen antrópico del Hg, posiblemente sea atmosférico, vinculado a combustión de hidrocarburos.

Extracto de agua regia	Concentración de Hg	
	(5-10)	(10-15)
Profundidad		
	[µg/kg]	[µg/kg]
PROMEDIO	60	60
DESV STAD	20	10
C V %	28	18

**Tabla # 18:** Valores de concentración de los elementos Hg en el extracto de agua regia, de las estaciones muestreadas a tres profundidades distintas del sedimento.



**Figura # 21.** Diagrama de distribución espacial y profundidad de la concentración Hg en el sedimento de fondo del Golfete de Cuare, en agua regia.

Tomando en cuenta el valor promedio de Hg hallado en este estudio, se puede decir que es inferior al encontrado en el Golfete de Cuare<sup>[79]</sup> y en la cuenca baja del río Tocuyo por<sup>[29, 69]</sup>.

De igual manera el valor obtenido en este estudio está por debajo al valor reportado por otros autores a nivel mundial, en sedimentos próximos costeros, (tabla 6).



El mercurio en la naturaleza esta asociado a depósitos de sulfuros formando la fase mineralógica cinabrio. Es transportado en la fracción de menor tamaño de grano y es acumulado en los sedimentos con gran contenido de materia orgánica. [29, 44, 69]

También se puede decir que éste elemento es muy tóxico y puede ser metilado por la acción bacteriana y formar parte del material orgánico suspendido que posteriormente puede acumularse en los organismos vivos y causar serios problemas de contaminación en ambientes naturales. [40, 48]

### 16.3. Análisis mineralógico DRX

Para determinar el análisis mineralógico en la zona de estudio fueron seleccionadas 3 estaciones 9, 12, y 20 que representan el estudio aleatorio de 9 muestras de la fracción lodo (limo-arcilla), de 5 a 15 cm de profundidad, en el sedimento de fondo del Golfete de Cuare. Muestras que se le aplicó el estudio de DRX, obteniendo los difractogramas correspondientes. Los minerales identificados están mostrados en la (tabla 19), y en la sección de apéndice. (Figura 12 y 13, apéndice I).

<b>Muestra</b>	<b>(Limo-arcilla)</b>
<b>Núcleos</b>	<b>Minerales identificados</b>
Núcleo 4	Cuarzo, calcita, moscovita, caolinita, monmorillonita.
Núcleo 9	Cuarzo, pirita, calcita, moscovita, caolinita.
Núcleo 12	Cuarzo, monmorillonita, caolinita.
Núcleo 20	Cuarzo, pirita, calcita, monmorillonita, caolinita, moscovita.

**Tabla # 19:** Minerales identificados en las muestras de sólidos suspendidos y sedimentos de fondo.



Los principales minerales identificados en sedimento de fondo del Golfete de Cuare fueron: cuarzo, calcita, monmorillonita, moscovita, caolinita y posiblemente pirita, ya que se observó un solo pico representativo de este último mineral en el difractograma. Habría que hacer un análisis mineralógico más en detalle, (figura I1 apéndice I). Estos minerales pudieran ser atribuidos a la litología (lutitas y areniscas) [29, 41, 43, 69] por la cual circulan los cuerpos de agua, como el río Tocuyo, el caño El Estero y Dieguito [29, 41, 43, 69] en donde las lutitas son ricas en aluminosilicatos y minerales de arcilla (caolinita, monmorillonita), mientras que las areniscas pueden aportar parte del cuarzo identificado.





## 17. CONCLUSIONES

- ❖ La distribución granulométrica de los sedimentos de fondo del Golfete de Cuare indican que en los primeros centímetros (0-5) cm de profundidad de los sedimentos estudiados, la fracción de arena más abundante fue la gruesa. Luego dicha fracción disminuye en los siguientes 10 cm restantes, aumentando a su vez los porcentajes de arena fina y muy fina.
- ❖ La fracción de limo y lodo (limo-arcilla) en las muestras de sedimentos indicaron un comportamiento opuesta al anteriormente descrito para la fracción arena. Este material fino se incrementa con la profundidad en los primeros quince centímetros (0-15 cm), siendo el lodo (limo-arcilla) más abundante que el limo.
- ❖ Los resultados obtenidos de los porcentajes promedio en peso de las muestras de sedimentos de fondo del Golfete de Cuare indicaron que la fracción arena es la más abundante 54 %, seguido del lodo 42 %, y del limo grueso 4 %.
- ❖ Los coeficientes de variación espacial y a profundidad de las concentraciones de los elementos obtenidos con los extracto de HCl y HNO<sub>3</sub> son altos, especialmente los asociados a Fe, Ca y Mn. Esto indica que composicionalmente hay variaciones importantes debido a la proporción de los componentes del sedimento, y por lo tanto los elementos no están uniformemente distribuidos, tanto espacialmente como a profundidad, ya sea por la presencia de oxihidróxidos de Fe-Mn, carbonatos y arcillas.
- ❖ Los elementos Fe y Mn posiblemente están formando fases comunes de oxihidróxidos, u óxidos, mientras que el Ca esta asociado a carbonatos; De igual manera los minerales del grupo de las arcillas tienden acumularse hacia la base del núcleo de sedimentos, mientras que los oxihidróxidos de Fe y Mn



de baja cristalinidad están en mayor proporción hacia el tope de los sedimentos.

- ❖ Las mayores concentraciones de Mg fueron obtenidas en el extracto de HCl, posiblemente asociados oxihidróxidos amorfos u arcillas de alto grado de meteorización.
- ❖ Los elementos Zn, Cu, Cr, Ni y Pb fueron obtenidos en mayor concentración en el extracto de HCl, posiblemente asociados principalmente a oxihidróxidos de Fe amorfos. Sin embargo, pareciera existir una apreciable cantidad de Ni y en menor proporción de Zn asociadas a arcillas ricas en Mg (monmorillonita).
- ❖ Las concentraciones de Hg se mantiene sin cambio en los 10 cm de la columna de sedimentos, y su distribución espacial fue bastante homogénea. Este parece indicar que a profundidad los valores podrían ser considerados línea base por no estar afectados por factores antropicos.
- ❖ El análisis de DRX indica que los minerales más abundantes en los sedimentos de fondo del Golfete de Cuare son: cuarzo, calcita, monmorillonita, moscovita y caolinita. Estos minerales pudiesen ser atribuidos a la litología (lutitas y areniscas) por la cual circulan los cuerpos de agua, como el río Tocuyo, el caño El Estero y Dieguito, que eventualmente aportan sedimentos al Golfete de Cuare.



## 18. RECOMENDACIONES

- ❖ Realizar el estudio de las concentraciones de carbono orgánico en los sedimentos del Golfete, con el fin de cuantificar la materia orgánica en el sistema la cual juega un papel importante en la movilidad de especies químicas en ambientes próximos costeros.
- ❖ Determinar la concentración de azufre en los sedimentos, para determinar la presencia de fases minerales asociadas a sulfuros o sulfatos.
- ❖ Ampliar el alcance de la presente investigación al estudio de elementos traza y otros elementos mayoritarios, haciendo hincapié sobre elementos contaminantes, con el fin de evaluar si existen aportes antrópicas que puedan poner en riesgo la vida de las especies en este sistema.



## 19. BIBLIOGRAFIA

1. Rubio, B., Gago, L., Vilas, F., Nombela, M., García, S., Alejo, I., Pazos, O., 1996. Interpretación de tendencias históricas de contaminación por metales pesados en testigos de sedimentos de la Ría de Pontevedra. *Thalassas* 12: 137-152.
2. Mogollón, J., Bifano, C., 1989. Estudio geoquímico de contaminación por metales pesados en sedimentos de la cuenca del Río Tuy, Venezuela. *Memorias VI Congreso Geológico Venezolano*. p. 1928.
3. Pekey, Hakan., 2006. The distribution and sources of heavy metals in Izmit Bay surface sediments affected by a polluted stream. *Marine Pollution*. 1197-1208.
4. Huerta, Miguel., 1998. Estudios biogeoquímicos de metales pesados en sedimentos óxicos y anóxicos situados a lo largo de la frontera México-Estados Unidos. Instituto de Investigaciones Oceanológicas. Universidad Autónoma de Baja California.
5. Páez, F., Osuna, J., 1990. Heavy metals distribution in geochemical fractions of surface sediments from the lower Gulf Of California. Mazatlán, Sinaloa. México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. No. 686.
6. Rubio, B., Nombela M., Vilas, F., 2000. La contaminación por metales pesados en las Rías Baixas gallegas: nuevos valores de fondo para la Río de Vigo (NO de España). *Journal of Iberian Geology*. vol. 26, 121-149
7. Cağatay, M., Sarı, E., 2001. Distributions of heavy metals in the surface sediments of the Gulf of Saros, NE Aegean Sea. *Environment International*. 169-173.



8. Li, Xiangdong., Shen, Zhenguo., Wai, Onyx., Li, Yok-Sheung., 2001. Chemical Forms of Pb, Zn and Cu in the Sediment Profiles of the Pearl River Estuary. *Marine Pollution*. 215-223.
9. García, Jairo., Acuña, Jenaro., Vargas, José., 2004. Metales traza en sedimentos costeros de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*. Vol .52. Costa Rica.
10. García, A, Labandeira, A., Prego, R., 2005. Dos casos opuestos en la contaminación de metales en el sedimento del río: Ferrol y corne-laxe (Galicia, NO Península Iberia). *Ciencias Marinas (CSIC)*. Vol.31. pp. 653-659.
11. Mogollón, J., Bifano, C., 1993. Estudio Geoquímico de Metales en el lago de Valencia. T.E.G. Facultad de Ciencias U.C.V.
12. Benzo, D., 2001. Estudio Ambiental de la distribución granulométrica de metales pesados en sedimentos del lago de Maracaibo. T.E.G. Facultad de Ciencias U.C.V.
13. Peinado, S., 1987. Distribución de los Elementos Metálicos en los Distintos Componentes del Sedimento de la Cuenca del Río Tuy. T.E.G. Facultad de Ciencias U.C.V.
14. Osuna, T., 1983. Estudio sedimentológico, fisicoquímico y macrobentos del Golfete de Cuare, Chichiriviche, Estado Falcón. T.E.G. Facultad de Ciencias U.C.V.
15. García, J., 2004. Reporte de evaluación de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del Refugio de Fauna Silvestre de Cuare, Estado Falcón. Ministerio del ambiente y los Recursos Naturales (MARN).



- 16.** Camargo, A., 2004. Estudio de los elementos mayoritarios y trazas en muestras de los núcleos de sedimentos merinos de la fachada Atlántica Venezuela. T.E.G. Facultad de Ciencias U.C.V.
- 17.** Martínez, G., Rodríguez, L., Senior, W, 2002. Especiación de Cd, Zn, Cr y Pb en núcleos de sedimentos de la bahía de bergatin, Edo. Anzoátegui, Venezuela. Interciencia. Vol. 27, pp 173-179.
- 18.** Martínez, G., 2002. Metales pesados en sedimentos superficiales del golfo de Cariaco, Venezuela. 83-96.
- 19.** Acosta, V., Lodeiros, C., Señor, William., Martínez, G., 2002. Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela. Interciencia. Vol .27
- 20.** Barreto, M., 2001. Análisis Estructural de los Manglares en el Refugio de Fauna Silvestre Cuare, Estado Falcón, Venezuela. Acta Biológica Venezolana. 21, 43-51.
- 21.** Quijada, M., 2003. Refugio de Fauna Silvestre de Cuare. Sitio Ramsar de Venezuela. Fundación Agua Clara. Caracas – Venezuela.
- 22.** Fudena – Profauna.,1989. Plan de ordenación y manejo, Refugio de Fauna Silvestre de Cuare. 112 p.
- 23.** Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARN). Dirección General de Fauna Profauna. Florida Center for Enviromental studies. Diagnóstico Integral. Georeferenciado del Refugio de Fauna Silvestre de Cuare y sus Áreas de Influencia.



- 24.** Páez, F., Botello, A., Rojas, J., Benítez, J., Zárate, D., 1996. Fuentes de metales en la zona costera marina, Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental. EPOMEX Serie científica. 5. 666, 297-308.
- 25.** MARNR, 1985. Estudio de la influencia del Río Tuy en el Litoral Barloventeño Venezuela. Serie de Informes Técnicos. DGSIIA/IT/159. 78 pp.
- 26.** Ramírez, A., Bifano, C., 1982. Contaminación geoquímica de la cuenca del Río Tuy. II. Estudio de las aguas. Memoria. Instituto de Geoquímica, Facultad de Ciencias, U.C.V. 80pp.
- 27.** Zhang, J., 1992. Transport of particulate heavy metal towards the China Sea: A preliminary study and comparison. Mar. Chem. 40: 61-178.
- 28.** Andara, M., 1987. Estudio del Grado de Contaminación Geoquímica de la Subcuenca Baja del Río Turbio Tramo Yaritagua-Cojedes. T.E.G. Facultad de Ciencias U.C.V.
- 29.** Ramírez, M., 2006. Caracterización geoquímica de los sólidos suspendidos de la cuenca baja del río Tocuyo y los sedimentos de sus zonas de influencia. Estado Falcón. T.E.G. Facultad de Ciencias U.C.V.
- 30.** Andara, A., 1993. Transporte de Nutrientes por los Ríos Mitare, Tocuyo, Yaracuy, Unare, Neverí y Manzanares. T.M. Facultad de Ciencias U.C.V.
- 31.** Torres, D., Capote, T., 2004. Agroquímicos un Problema Ambiental Global: Uso del Análisis Químico como Herramienta para el Monitoreo Ambiental. Ecosistemas. 3, 1697-2473.



- 32.** Salomons, W., Kerdlik, H., van Pagee, H., Klomp, R. and Schreur, A., 1988. Behaviour and impact assessment of heavy metals in estuary and coastal zone. In Metals in Coastal Environments of Latin America. Springer, New York. pp. 159–198.
- 33.** Meybeck, M., Chapman, D., Helmer, R., 1989. Global Freshwater Quality: A First Assessment. In: Chapter 7. "Suspended Matter in Rivers and Lakes". Blackwell Reference, Oxford, 306 pp.
- 34.** Fergusson, J.F., 1990. The heavy Elements Chemistry, Environmental Impact and Health Effects. Pergamon Press.
- 35.** Rayner-Canham, G., 2000. Química Inorgánica Descriptiva. Editorial Prentice Hall. Segunda Edición. México, 595 p.
- 36.** Mogollón, J., Ramírez A., Bifano, A., 1989. Determinación de los niveles de contaminación en sedimentos del Estado Anzoátegui, Venezuela. Memorias VII Congreso Geológico Venezolano, Barquisimeto. Estado Lara, Venezuela. pp. 1121–1230.
- 37.** Glasstone, S., 1972. Tratado de Química Física. Editorial Aguilar S.A. Segunda Edición. España, 1180 p.
- 38.** Skoog, D.A., West, D.M., Holler, J.F., Croudi, S.R., 2001. Química Analítica. Editorial McGraw-Hill. Séptima Edición. México, 795 p.
- 39.** Bueno, A.H., 1977. Química Analítica y Análisis Agrícola. Cuarta Edición. Universidad de Guayaquil.
- 40.** Rankama, K., Sahama, G., 1962. Geoquímica. Editorial Aguilar, S.A. Segunda Edición. España, 862 p.





41. Brownlow, A., 1996. *Geochemistry*. Editorial Prentice Hall. Segunda Edición. New Jersey, 581 p.
42. González, J., Iturralde, J., Picard, X., 1980. *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Ediciones Foninves. Caracas, 1031 p.
43. Ramos, M., 2006. Estudio de la variabilidad espacial de Ca, K, Mg, Fe, P, C, Na y S en los sedimentos depositados en el Golfete de Cuare, Estado Falcón. T.E.G. Facultad de Ciencias U.C.V.
44. Stummeyer, J., Marching, V., Knabe, W., 2002. The Composition of Suspended Matter from Ganges–Brahmaputra Sediment Dispersal System During Low Sediment Transport Season. *Chemical Geology*. 185, 125-147.
45. Raga, E., 2006. Caracterización de suelos y aguas intersticiales en manglares degradados en el Golfete de Cuare en el estado Falcón. T.E.G Facultad de Ciencias. U.C.V.
46. Tessier, A., Campbell, P., Bisson, M., 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of trace metals. *Analytical Chemistry* 51, 844–851.
47. Turekian, K., Wedepohl, K., 1961. Distribution of the elements in some major units of the Earth's Crust. *Geological Society American Bulletin*, 72: 175-192.
48. Turner, A., Millward, G., 2002. Suspended Particles: Their Role in Estuarine Biogeochemical Cycles. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 55, 857-883.
49. Rubin, A., 1974. Aqueous environmental chemistry of metals. *Ann Arbor Science Michigan*, 390 p



- 50.** A, McIntyre., C, Mills., 1974. Ecological Toxicology Research. Plenum Press. 323 p
- 51.** Landajo, A., Arana, G., De Diego, A., Etxebarria, N., Zuloaga, O., Amouroux, D., 2004. Analysis of heavy metal distribution in superficial estuarine sediments (estuary of Bilbao, Basque Country) by open-focused microwave-assisted extraction and ICP-OES. Chemosphere. 1033–1041.
- 52.** Lo Monaco, S., López, L., 2004. Principios de Geoquímica guías de apoyo, sedimentación y rocas sedimentarias. Facultad de Ciencias U.C.V. 1- 13 p.
- 53.** Ramírez, A., 1980. Contaminación Geoquímica: Aguas y Sedimentos. Trabajo de Ascenso a la Categoría de Asistente. Instituto de Geoquímica U.C.V.
- 54.** Mason, B., 1966. Principles of Geochemistry. Third Edition. John Wiley & Sons. Inc. 329 pp.
- 55.** Förstner, U., Wittmann, G., 1983. Metal Pollution in the Aquatic Environment. Springer, Berlín. 247- 259 pp.
- 56.** Martin, J., Meybeck, M., 1979. Elemental mass-balance of material carried by major world rivers. Marine Chemistry. 173 – 206.
- 57.** Ghrefat, H., Yusuf, N., 2006. Assessing Mn, Fe, Cu, Zn, and Cd pollution in bottom sediments of Wadi Al-Arab Dam, Jordan. Chemosphere xxx xxx–xxx.
- 58.** Wong, K., Sivasothi, N., Obbard, J., 2005. Heavy metal contamination in mangrove habitats of Singapore. Marine Pollution Bulletin 50, 1713–1744.
- 59.** Tam, N., Wong, Y., 2000. Spatial variation of heavy metals in surface sediments of Hong Kong mangrove swamps. Environmental Pollution 110, 195-205.



- 60.** Marchand, C., Vergès, E., Baltzer, F., Albéric, P., Cossa, D., Baillif, P., 2006. Heavy metals distribution in mangrove sediments along the mobile coastline of French Guiana. *Marine Chemistry*. 1-17.
- 61.** Soto, M., Páez, F., 2001. Distribution and Normalization of Heavy Metal Concentrations in Mangrove and Lagoonal Sediments from Mazatlan Harbor, SE Gulf of California. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 53, 259–274.
- 62.** Kehriga, H., Pintoa, F., Moreirab, I., Malma, O., 2003. Heavy metals and methylmercury in a tropical coastal estuary and a mangrove in Brazil. *Organic Geochemistry* 34, 661–669.
- 63.** Ong Che, R., 1999. Concentration of 7 Heavy Metals in Sediments and Mangrove Root Samples from Mai Po, Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin* 39, 269-279.
- 64.** Bornemiza, E., 1982. Introducción a la química de los suelos. Facultad de Agronomía Universidad de Costa rica. Organización de Estados Unidos Americanos Washington, D.C. Derechos reservados. 74 p.
- 65.** Olivo, E., 1994. Introducción a la ciencia del suelo. Facultad de Agronomía U.C.V. Consejo de desarrollo científico y humanístico. 379 p.
- 66.** Barreto, E., 2006. Estudio Hidrogeoquímico de las Aguas Superficiales de la Zona Costera Comprendida Entre las Bocas de los Ríos Yaracuy y Tocuyo, Estado Falcón, Venezuela. T.E.G. Facultad de Ciencias U.C.V.
- 67.** Robert, S., Blanc, G., Schäfer, J., Lavaux, G., Abril, G., 2004. Metal Mobilization in the Gironde Estuary (France): The Role of the Soft Mud Layer in the Maximum Turbidity Zone. *Marine Chemistry*. 87, 1-13.



- 68.** Wu, Y., Falconer, R., Lin, B., 2005. Modelling Trace Metal Concentration Distributions in Estuarine Waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 64, 699-709.
- 69.** Rivas, A., 2008. Estudio de la distribución y abundancia de Al, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, Sr, V, Zn, Hg y P en los sólidos suspendidos de la cuenca baja del río Tocuyo y en los sedimentos de sus zonas de influencia, Estado Falcón, Venezuela. T.E.G. Facultad de Ciencias U.C.V
- 70.** Faure, G., 1986. Principles of isotope geology. 2nd ed., Wiley. New York, 466 pp.
- 71.** Zhang, J., 2002. Riverine Composition and Estuarine Geochemistry of Particulate Metals in China Weathering Features Antropogenic Impact Chemical Fluxes. *Estuarine Coastal And Shelf Science*. 54, 1051-1070
- 72.** Loring, D., 1990. Lithium A New Approach for Granulometric Normalization of Trace Metal Data *Mar Chem*. 29, 155-168.
- 73.** Din, B., 1992. Use of Aluminium to Normalize Heavy Metal Data from Estuarine and Coastal Sediments of Straits of Malaka. *Mar Pollut Bull*. 24, 484-491
- 74.** Covelli, S., Fontolan, G., 1997. Application of a normalization procedure in determining regional geochemical baselines. *Env. Geol*. 30:34-45
- 75.** Goncalves, E., Boaventura, R., Mouvet, C., 1992. Sediments and aquatic mosses as pollution indicators for heavy metals in the Ave river basin, Portugal. *The Science of the Total Environment* 114, 7-24.



- 76.** Muthu, S., Jayaprakash., M., 2007. Distribution and enrichment of trace metals in marine sediments of Bay of Bengal, off ennore, south-east coast of India. Environ Geol. 007, 1156-1
- 77.** José, R., 2004. Evaluación de los sedimentos del sistema Laguna Unare-Piritu: Metales pesados, Estado Anzoátegui, Venezuela. T.E.G. Facultad de Ingeniería U.C.V
- 78.** Mogollón, J., Bifano, C., Brian D., 1995. Distribution of metals in mechanical fractions of soils a lake catchment in Venezuela. Environmental Geochemistry and Health. 17:103 -111
- 79.** De Freitas, F., 2008. Distribución Al, Ca, Cd, Co, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, P, Pb, Zn y Hg en los sedimentos de fondo del Golfete de Cuare, Chichiriviche, Estado Falcón, Venezuela. T.E.G. Facultad de Ciencias U.C.V



## 20. APÉNDICE

### APÉNDICE A

Muestra	Coordenadas al norte (m)	Coordenadas al este (m)
1	1208489	570000
2	1208530	571032
3.1 y 3.2	1208518	572096
4	1208516	572976
9	1208057	570054
10	1208000	571078
11	1208024	571996
12	1207992	573097
18	1207568	570116
19	1207552	571152
20	1207523	571985
21	1207507	573225
27	1207044	570968
28	1207024	571196
33	1206584	522054

**Tabla A1:** Coordenadas UTM de los puntos de muestreo en campo tomadas a partir de un mallado (500 x 1000m) realizado en la HOJA 6548 – IV- NE, escala 1:25000, mapa del departamento de Cartografía Nacional. <sup>[43]</sup>



Estudio Geoquímico de metales pesados Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, Cr, Cd y Hg en Sedimentos de fondo del Golfete de Cuare, estado Falcón



	Cu	Zn	Cd	Pb	Fe	Mn	Ni	Cr	Hg	REFERENCIA
Mangle Mai Po (Hong-kong)	69	219*	1.30*	145*	1857	ND	66*	48	ND	ONG CHE, 1999
Mangle Swaps (Hong-kong)	8 >64*	51 >200	0.1 >1.5*	21 >75*	ND ND	ND ND	11 >40*	15 >80*	51pp b ND ND	Tam et al, 2000
Mangle Mazatlán (California)	84*	330*	1.6*	148*	10%	699	30	43	ND	Soto et al, 2001
Mangle (Brazil)	76*	479**	3.64*	131	42%	523	ND	118*	6.25	Kehriga et al,2003
Mangle (Singapur)	19.5	85.7	0.22	21.6	ND	ND	9.54	24.3	ND	Wong et al, 2005
Mangle Guyana (Francesca)	ND	3.59	0.34	0.13	784	24.8	0.54	1.01	ND	Marchand et al, 2006
Golfo Bajo (California)	25.4	ND	1.9	20	84%	1129	19.4	25.8	ND	Osuna et al, 1990
Golfo saros (Turkia)	19	73	ND	22	2.8%	451	60	ND	63 ppb	Cağatay et al, 2001
Bahía Bergantín (Venezuela)	ND	297	23.1	30.1	ND	ND	ND	2.4	ND	Martínez et al, 2002
Bahía Moín	52	84	ND	6.4	3.4	ND	ND	ND	ND	García, et al 2004
Bahía Nicoya	64	71	ND	5	3.9	ND	ND	ND	ND	
Bahía Golfito	87	96	ND	6	5.8	ND	ND	ND	ND	
Bahía Culebra (Costa Rica)	58	66	ND	3	4%	ND	ND	ND	ND	
Río Vigo (España)	25	191	0,59	34	2.4%	427	30	71	ND	Rubio et al, 2000
Golfo Cariaco (Venezuela)	10 *11	ND ND	1 *1.71	5 *19	ND ND	ND ND	10 *19	20 *34	ND ND	Martínez, 2002
Lago Valencia (Venezuela)	181*	710	----	410**	-----	-----	66*	ND	110 ppb	Mogollón et al, 1993
Lago Maracaibo (Venezuela)	40	143	ND	208**	2.9%	957	17	36	ND	Benzo D, 2001
Río perla (Hong-kong)	0.52	0.56	ND	0.39	ND	ND	ND	ND	ND	Li de Xiangdong et al, 2001
Río Ferrol	20.1	115	0.23	27.9	ND	ND	ND	ND	ND	García et al, 2005
Río Corme-Laxe (España)	5.4	49.4	0.1	12.4	ND	ND	ND	ND	ND	
Playa Guiría	0.03	ND	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Acosta et al, 2002
Río Chico	11.5	ND	1.3	ND	ND	ND	ND	3.8	ND	
Boca de Paparo (Venezuela)	46	ND	24	ND	ND	ND	ND	48	ND	
Sistema Unare-Píritu (Venezuela)	37	164	0,60	12	3,62 %	393	39	39	2,18	García, 2004
Estuario Bilbao (España)	7.2	65	1.02	15	148 9	4.95	16	7.5	ND	Landajo et al, 2004
Río Al-Arab Dam (Jordán)	0.10	0.33	0.01	ND	11.7	0.34	ND	ND	ND	Ghrefat et al,2006
Corteza terrestre	62	118	----	19	-----	770	66	33	----	Forsther et al,1983
Corteza terrestre	----	----	----	----	35%	0.22 %	2.4%	0.26 %	----	Mason, 1966
Corteza terrestre	75	80	9.8 X 10 <sup>-2</sup>	8	7.06 X 10 <sup>4</sup>	1.40 X 10 <sup>3</sup>	105	1.85 X 10 <sup>2</sup>	0.05	Taylor y McLennan 1985

Tabla A2: Concentración de metales pesados (ppm) en sedimentos. (\*) Contaminado



### APÉNDICE B:

Muestra	Peso en húmedo	pH	Temp.	Eh	Conductividad	Profundidad
Profundidad (cm)	(+/- 0,1 g)	N.M.	°C	mv	ms/cm	m +/-0,01
Núcleo 3 (0-5)	149,14	8,26	24,8	394	10,85	1,6
Núcleo 3 (5-10)	50,63	8,42	25,4	112	12,82	1,6
Núcleo 3 (10-15)	95,34	8,62	25,5	104	11,93	1,6
Núcleo 3.2 (0-5)	104,19	8,10	25,5	-181	10,28	1,6
Núcleo 3.2 (5-10)	117,96	8,54	22,9	118	10,72	1,6
Núcleo 3.2 (10-15)	122,19	8,43	20,6	128	12,32	1,6
Núcleo 4 (0-5)	182,16	8,20	25,7	80	7,65	0,7
Núcleo 4 (5-10)	174,77	8,34	23,8	147	5,76	0,7
Núcleo 4 (10-15)	181,39	7,72	24,7	111	7,20	0,7
Núcleo 9 (0-5)	179,95	8,58	25,7	121	5,83	1
Núcleo 9 (5-10)	119,88	8,19	25,4	125	8,05	1
Núcleo 9 (10-15)	120,07	8,33	25,5	124	6,91	1
Núcleo 10 (0-5)	96,67	7,97	21,3	-264	12,68	2,03
Núcleo 10 (5-10)	96,38	8,41	24,2	126	10,61	2,03
Núcleo 10 (10-15)	126,37	8,28	28,2	128	12,57	2,03
Núcleo 11 (0-5)	134,76	8,09	23,2	-215	12,70	2,3
Núcleo 11 (5-10)	57,70	8,34	25,5	138	10,73	2,3
Núcleo 11 (10-15)	85,91	8,18	25,1	112	12,35	2,3
Núcleo 12 (0-5)	217,82	8,07	22,6	-60	9,50	2
Núcleo 12 (5-10)	175,56	8,58	23,7	111	9,67	2
Núcleo 12 (10-15)	175,25	8,52	23,6	128	11,40	2
Núcleo 18 (0-5)	192,54	8,26	25,1	161	10,40	2
Núcleo 18 (5-10)	122,15	8,05	22,6	109	14,40	2
Núcleo 18 (10-15)	142,16	8,04	22,9	123	14,82	2
Núcleo 19 (0-5)	217,57	8,07	22,6	-52	8,75	2,01
Núcleo 19 (5-10)	126,94	8,28	25,0	88	10,25	2,01
Núcleo 19 (10-15)	122,22	8,24	25,5	86	11,72	2,01
Núcleo 20 (0-5)	172,02	8,11	25,0	-152	10,14	2,1
Núcleo 20 (5-10)	134,84	8,35	28,8	156	9,61	2,1
Núcleo 20 (10-15)	129,87	8,29	23,6	133	11,58	2,1
Núcleo 21 (0-5)	204,78	8,05	22,5	-50	9,84	1,9
Núcleo 21 (5-10)	124,43	8,30	25,4	95	10,68	1,9
Núcleo 21 (10-15)	122,96	8,33	23,7	158	10,42	1,9
Núcleo 28 (0-5)	200,58	8,12	22,3	-58	9,89	2
Núcleo 28 (5-10)	98,96	8,44	23,3	147	10,16	2
Núcleo 28 (10-15)	118,58	8,39	24,8	132	11,50	2
Núcleo 33 (0-5)	228,57	8,48	22,2	-74	8,45	1,03
Núcleo 33 (5-10)	118,82	8,29	24,9	115	13,68	1,03
Núcleo 33 (10-15)	122,82	8,49	25,3	89	9,24	1,03

**Tabla B1:** Medidas de parámetros fisicoquímicos en el laboratorio antes de tamizar las muestras.





### APÉNDICE C:

MUESTRA	COLOR	GRANULOMETRIA	ESCOGIMIENTO	REDONDEZ Y ESFERICIDAD	PRESENCIA DE FOSILES	OBSERVACIONES
Núcleo 3 5-10 cm	Gris	Arena fina a muy fina. Matriz lodosa	Bajo	Baja Angular	Conchas, caracol grande. Pedazos de conchas en todo el núcleo.	Ninguna
Núcleo 3 10-15 cm	Gris	Arena fina a muy fina. Matriz lodosa	Bajo	No se distingue	Conchas y pedazos de conchas en todo el núcleo	Ninguna
Núcleo 3.2 5-10 cm	Gris verdoso	Arena fina a muy fina. Matriz lodosa	Bajo	Alta Angular	Pedazos pequeños de conchas en todo el núcleo. Conchas mas grandes hacia la base.	Ninguna
Núcleo 3.2 10-15 cm	Gris verdoso	Arena fina a muy fina. Matriz lodosa	Bajo	Alta Angular	Mayor cantidad de pedazos pequeños de conchas en el núcleo. En el tope hay conchas de gran tamaño	Pedazos de conchas mas grandes en el tope. Caracoles grandes y medianos.
Núcleo 4 5-10 cm	Gris	Arena media a fina. Matriz lodosa	Bajo	Alta Angular	Muchas conchas de gran tamaño y completas.	Bastante arenosa.
Núcleo 4 10-15 cm	Gris. Más oscuro y verdoso hacia la base	Arena media a fina. Matriz lodosa	Bajo	Alta Angular	Pedazos de conchas. Caracoles y conchas completas en menor cantidad al anterior.	A 2 cm del tope hay ramitas y restos vegetales que no siguen hasta la base.
Núcleo 9 5-10 cm	Gris verdoso	Arena gruesa a media. Matriz lodosa	Bajo	No se distingue	Tiene un alto % de conchas Alrededor de un 80-90%	Ninguna
Núcleo 9 10-15 cm	Gris verdoso y hacia la base marrón claro	Arena gruesa a media. Matriz lodosa	Bajo	No se distingue	Gran cantidad de conchas Presencia de caracoles	Ninguna
Núcleo 10 5-10 cm	Gris oscuro. Tonos negros y marrones	Arena fina a muy fina. Matriz lodosa	Bien escogido	Alta Sub-angular	No se distingue a simple vista. Con la lupa se ven Muy pocos pedazos de conchas.	En el tope hay una capa pequeña color marrón. Mucha materia orgánica.
Núcleo 10 10-15 cm	Gris oscuro	Arena fina a muy fina. Matriz lodosa	Bien escogido	Alta Sub-angular	Muy escasos pedazos de conchas observados con lupa.	Gran cantidad de materia orgánica.

**Tabla C1:** Descripción física de las muestras



MUESTRA	COLOR	GRANULOMETRIA	ESCOGIMIENTO	REDONDEZ Y ESFERICIDAD	PRESENCIA DE FOSILES	OBSERVACIONES
Núcleo 11 5- 10 cm	Gris oscuro verdoso	Arena fina a muy fina. Matriz lodosa	Moderadamente bajo	Esfericidad alta Redondez sub- angular	Conchas blancas en su mayoría, de gran tamaño	Abundantes fósiles en el tope.
Núcleo 11 10-15 cm	Gris oscuro con tonos verdes	Arena fina a muy fina. Matriz lodosa	Bajo	Esfericidad alta Angular	Conchas distribuidas en todo el núcleo	Fósiles de menor tamaño
Núcleo 12 5-10 cm	Color gris oscuro, hacia el tope hay un tono marrón	Arena gruesa a media. Matriz lodosa	Bajo	No se distingue	Conchas de gran tamaño en todo el núcleo. Conchas completas aprox. De 1 cm	Ninguna
Núcleo 12 10-15 cm	Gris oscuro	Arena media a fina. Matriz lodosa	Bajo	No se distingue	Conchas muy grandes en todo el núcleo, hasta mas de 1 cm.	Ninguna
Núcleo 18 5-10 cm	Gris oscuro	Arena gruesa a muy fina. Matriz lodosa	Bajo	Baja Angular	Presencia de caracoles y conchas en todo el núcleo	No hay turba.
Núcleo 18 10-15 cm	Gris oscuro	Arena fina a muy fina. Matriz lodosa	Bajo	Baja Angular	Pedazos pequeños de conchas.	No hay turba.
Núcleo 19 5-10 cm	Gris oscuro verdoso	Arena gruesa a media. Matriz lodosa	Moderadamente bajo. Más alto en el tope.	No se distingue	Conchas pequeñas y escasas en el tope. Pedazos grandes hacia la base	Ninguna
Núcleo 19 10-15 cm	Gris oscuro verdoso	Arena gruesa a media. Matriz lodosa	Bien escogido	No se distingue	Escasos pedazos de conchas en el núcleo.	Presencia de caracoles.
Núcleo 20 5-10 cm	Gris verdoso	Arena gruesa a fina. Matriz lodosa	Bajo	Baja Angular	Pedazos pequeños y medianos de conchas. Pocas conchas grandes.	Ninguna
Núcleo 20 10-15 cm	Gris verdoso	Arena gruesa a media. Matriz lodosa	Bajo	Baja Angular	Pedazos pequeños y medianos de conchas.	Ninguna
Núcleo 21 5-10 cm	Gris verdoso	Arena gruesa a media. Matriz lodosa	Bajo	No se distingue	Pedazos pequeños y medianos de conchas	Presencia de caracoles
Núcleo 21 10-15 cm	Gris verdoso	Arena media a fina. Matriz lodosa	Bajo	No se distingue	Pedazos de conchas de mayor tamaño	Caracoles y más conchas completas

**Tabla C1:** Descripción física de las muestras. (Continuación)



MUESTRA	COLOR	GRANULOMETRIA	ESCOGIMIENTO	REDONDEZ Y ESFERICIDAD	PRESENCIA DE FOSILES	OBSERVACIONES
Núcleo 28 5-10 cm	Gris verdoso	Arena gruesa a media. Matriz lodosa	Moderadamente bajo	No se distingue	Pedazos de conchas y caracoles en todo el núcleo	Ninguna
Núcleo 28 10-15 cm	Gris verdoso	Arena gruesa a media. Matriz lodosa	Moderadamente bajo	No se distingue	Conchas de gran tamaño y completas en la base. Pedazos de conchas y presencia de caracoles.	Ninguna
Núcleo 33 5-10 cm	Gris oscuro verdoso	Arena gruesa a media. Matriz lodosa	Bajo	No se distingue	Pedazos pequeños de conchas en todo el núcleo	Ninguna
Núcleo 33 10-15 cm	Gris oscuro verdoso	Arena media a muy fina. Matriz lodosa	Bajo	No se distingue	Pedazos de conchas en todo el núcleo	Ninguna

**Tabla C1:** Descripción física de las muestras. (Continuación)



### APÉNDICE D:

Núcleo	Peso de las diferentes fracciones de arena (+/- 0,01 g)				
	Arena Gruesa (500 µm)	Arena media (250 µm)	Arena fina (125 µm)	Arena muy fina (63 µm)	Total
Núcleo 3 (0-5)	32,18	4,05	16,76	10,17	63,16
Núcleo 3 (5-10)	2,37	2,36	5,66	2,85	13,24
Núcleo 3 (10-15)	2,67	3,54	6,51	4,12	16,84
Núcleo 3.2 (0-5)	16,11	4,65	14,33	7,35	42,44
Núcleo 3.2 (5-10)	3,92	6,67	14,25	9,44	34,28
Núcleo 3.2 (10-15)	3,06	3,98	8,37	6,22	21,63
Núcleo 4 (0-5)	82,47	22,46	16,30	4,40	125,63
Núcleo 4 (5-10)	7,25	20,60	18,81	5,56	52,22
Núcleo 4 (10-15)	8,26	23,61	28,80	7,51	68,18
Núcleo 9 (0-5)	43,39	4,26	4,79	3,58	56,02
Núcleo 9 (5-10)	6,01	4,07	2,91	4,10	17,09
Núcleo 9 (10-15)	6,56	5,94	4,59	5,45	22,54
Núcleo 10 (0-5)	0,22	0,53	0,58	4,08	5,41
Núcleo 10 (5-10)	1,43	1,66	3,52	11,37	17,98
Núcleo 10 (10-15)	4,04	5,57	7,30	15,98	32,89
Núcleo 11 (0-5)	19,14	2,02	6,53	7,46	35,15
Núcleo 11 (5-10)	0,68	0,68	1,35	1,05	3,76
Núcleo 11 (10-15)	1,92	1,96	4,91	4,83	13,62
Núcleo 12 (0-5)	100,35	8,91	8,71	4,24	122,21
Núcleo 12 (5-10)	6,87	7,55	5,73	3,33	23,48
Núcleo 12 (10-15)	5,59	5,93	6,83	4,46	22,81
Núcleo 18 (0-5)	68,55	3,66	10,14	15,79	98,14
Núcleo 18 (5-10)	3,12	2,68	2,82	5,80	14,42
Núcleo 18 (10-15)	3,29	3,27	3,88	7,19	17,63
Núcleo 19 (0-5)	23,88	5,80	6,06	9,58	45,32
Núcleo 19 (5-10)	3,89	4,91	4,21	3,00	16,01
Núcleo 19 (10-15)	3,63	4,19	3,81	2,56	14,19
Núcleo 20 (0-5)	61,99	10,93	6,87	5,79	85,58
Núcleo 20 (5-10)	6,73	6,68	6,75	2,53	22,69
Núcleo 20 (10-15)	4,81	4,85	3,87	3,43	16,96
Núcleo 21 (0-5)	72,41	7,39	8,27	6,76	94,83
Núcleo 21 (5-10)	4,66	4,80	3,84	3,01	16,31
Núcleo 21(10-15)	3,52	3,53	3,99	2,94	13,98
Núcleo 28 (0-5)	76,20	6,56	5,19	3,94	91,89
Núcleo 28 (5-10)	3,03	2,98	2,28	1,77	10,06
Núcleo 28 (10-15)	5,33	3,88	3,30	2,36	14,87
Núcleo 33 (0-5)	90,52	5,96	4,47	3,25	104,20
Núcleo 33 (5-10)	3,87	3,78	3,68	2,86	14,19
Núcleo 33 (10-15)	2,87	4,05	3,30	4,27	14,49

**Tabla D1:** Peso de las fracciones arena en seco.



Núcleo	Porcentaje de arena en cada fracción (%)			
	% Arena gruesa	% Arena media	% Arena fina	% Arena muy fina
Núcleo 3 (0-5)	50,95	6,41	26,54	16,10
Núcleo 3 (5-10)	17,90	17,82	42,75	21,53
Núcleo 3 (10-15)	15,86	21,02	38,66	24,47
Núcleo 3.2 (0-5)	37,96	10,96	33,77	17,32
Núcleo 3.2 (5-10)	11,44	19,46	41,57	27,54
Núcleo 3.2 (10-15)	14,15	18,40	38,70	28,76
Núcleo 4 (0-5)	65,65	17,88	12,97	3,50
Núcleo 4 (5-10)	13,88	39,45	36,02	10,65
Núcleo 4 (10-15)	12,11	34,63	42,24	11,01
Núcleo 9 (0-5)	77,45	7,60	8,55	6,39
Núcleo 9 (5-10)	35,17	23,82	17,03	23,99
Núcleo 9 (10-15)	29,10	26,35	20,36	24,18
Núcleo 10 (0-5)	4,07	9,80	10,72	75,42
Núcleo 10 (5-10)	7,95	9,23	19,58	63,24
Núcleo 10 (10-15)	12,28	16,94	22,20	48,59
Núcleo 11 (0-5)	54,45	5,75	18,58	21,22
Núcleo 11 (5-10)	18,09	18,09	35,90	27,93
Núcleo 11 (10-15)	14,10	14,39	36,05	35,46
Núcleo 12 (0-5)	82,11	7,29	7,13	3,47
Núcleo 12 (5-10)	29,26	32,16	24,40	14,18
Núcleo 12 (10-15)	24,51	26,00	29,94	19,55
Núcleo 18 (0-5)	69,85	3,73	10,33	16,09
Núcleo 18 (5-10)	21,64	18,59	19,56	40,22
Núcleo 18 (10-15)	18,66	18,55	22,01	40,78
Núcleo 19 (0-5)	52,69	12,80	13,37	21,14
Núcleo 19 (5-10)	24,30	30,67	26,30	18,74
Núcleo 19 (10-15)	25,58	29,53	26,85	18,04
Núcleo 20 (0-5)	72,44	12,77	8,03	6,77
Núcleo 20 (5-10)	29,66	29,44	29,75	11,15
Núcleo 20 (10-15)	28,36	28,60	22,82	20,22
Núcleo 21 (0-5)	76,36	7,79	8,72	7,13
Núcleo 21 (5-10)	28,57	29,43	23,54	18,45
Núcleo 21(10-15)	25,18	25,25	28,54	21,03
Núcleo 28 (0-5)	82,93	7,14	5,65	4,29
Núcleo 28 (5-10)	30,12	29,62	22,66	17,59
Núcleo 28 (10-15)	35,84	26,09	22,19	15,87
Núcleo 33 (0-5)	86,87	5,72	4,29	3,12
Núcleo 33 (5-10)	27,27	26,64	25,93	20,16
Núcleo 33 (10-15)	19,81	27,95	22,77	29,47
<b>Promedio</b>	<b>35,5</b>	<b>19,33</b>	<b>23,26</b>	<b>21,92</b>

**Tabla D2:** Porcentaje de cada fracción arena por muestra.



### APÉNDICE E:

Núcleo	Peso de las diferentes fracciones (+/- 0,01g)			
	Arenas	Limo	Lodo (limo-arcilla)	Total
Núcleo 3 (0-5)	63,16	1,11	19,38	83,65
Núcleo 3 (5-10)	13,24	0,32	8,31	21,87
Núcleo 3 (10-15)	16,84	0,56	15,56	32,96
Núcleo 3.2 (0-5)	42,44	0,58	12,5	55,52
Núcleo 3.2 (5-10)	34,28	1,35	16,89	52,52
Núcleo 3.2 (10-15)	21,63	0,85	22,41	44,89
Núcleo 4 (0-5)	125,63	0,37	6,93	132,93
Núcleo 4 (5-10)	52,22	0,45	11,39	64,06
Núcleo 4 (10-15)	68,18	0,5	10,28	78,96
Núcleo 9 (0-5)	56,02	4,57	60,03	120,62
Núcleo 9 (5-10)	17,09	1,4	29,94	48,43
Núcleo 9 (10-15)	22,54	1,06	13,85	37,45
Núcleo 10 (0-5)	5,41	1,2	18,88	25,49
Núcleo 10 (5-10)	17,98	4,94	14,18	37,10
Núcleo 10 (10-15)	32,89	5,28	19,17	57,34
Núcleo 11 (0-5)	35,15	2,14	60,69	97,98
Núcleo 11 (5-10)	3,76	1,16	15,48	20,40
Núcleo 11 (10-15)	13,62	4,3	21,78	39,70
Núcleo 12 (0-5)	122,21	0,96	13,72	136,89
Núcleo 12 (5-10)	23,48	0,96	25,56	50,00
Núcleo 12 (10-15)	22,81	0,85	29,66	53,32
Núcleo 18 (0-5)	98,14	2,17	12,01	112,32
Núcleo 18 (5-10)	14,42	4,37	22,1	40,89
Núcleo 18 (10-15)	17,63	8,52	27,35	53,50
Núcleo 19 (0-5)	45,32	3,64	30,18	79,14
Núcleo 19 (5-10)	16,01	2,14	17,98	36,13
Núcleo 19 (10-15)	14,19	1,98	30,34	46,51
Núcleo 20 (0-5)	85,58	1,68	28,23	115,49
Núcleo 20 (5-10)	22,69	0,88	20,56	44,13
Núcleo 20 (10-15)	16,96	1,3	27,81	46,07
Núcleo 21 (0-5)	94,83	0,9	21,32	117,05
Núcleo 21 (5-10)	16,31	0,79	20,4	37,50
Núcleo 21(10-15)	13,98	0,82	21,54	36,34
Núcleo 28 (0-5)	91,89	1,58	13,9	107,37
Núcleo 28 (5-10)	10,06	0,74	19,15	29,95
Núcleo 28 (10-15)	14,87	0,81	20,69	36,37
Núcleo 33 (0-5)	104,20	1,93	29,69	135,82
Núcleo 33 (5-10)	14,19	1,05	28,21	43,45
Núcleo 33 (10-15)	14,49	0,7	22,93	38,12

Tabla E1: Peso de cada fracción seca.



Núcleo	% Arenas	% Limo	% Lodo (limo-arcilla)
Núcleo 3 (0-5)	75,51	1,33	23,17
Núcleo 3 (5-10)	60,54	1,46	38,00
Núcleo 3 (10-15)	51,09	1,70	47,21
Núcleo 3.2 (0-5)	76,44	1,04	22,51
Núcleo 3.2 (5-10)	65,27	2,57	32,16
Núcleo 3.2 (10-15)	48,18	1,89	49,92
Núcleo 4 (0-5)	94,51	0,28	5,21
Núcleo 4 (5-10)	81,52	0,70	17,78
Núcleo 4 (10-15)	86,35	0,63	13,02
Núcleo 9 (0-5)	46,44	3,79	49,77
Núcleo 9 (5-10)	35,29	2,89	61,82
Núcleo 9 (10-15)	60,19	2,83	36,98
Núcleo 10 (0-5)	21,22	4,71	74,07
Núcleo 10 (5-10)	48,46	13,32	38,22
Núcleo 10 (10-15)	57,36	9,21	33,43
Núcleo 11 (0-5)	35,87	2,18	61,94
Núcleo 11 (5-10)	18,43	5,69	75,88
Núcleo 11 (10-15)	34,31	10,83	54,86
Núcleo 12 (0-5)	89,28	0,70	10,02
Núcleo 12 (5-10)	46,96	1,92	51,12
Núcleo 12 (10-15)	42,78	1,59	55,63
Núcleo 18 (0-5)	87,38	1,93	10,69
Núcleo 18 (5-10)	35,27	10,69	54,05
Núcleo 18 (10-15)	32,95	15,93	51,12
Núcleo 19 (0-5)	57,27	4,60	38,13
Núcleo 19 (5-10)	44,31	5,92	49,76
Núcleo 19 (10-15)	30,51	4,26	65,23
Núcleo 20 (0-5)	74,10	1,45	24,44
Núcleo 20 (5-10)	51,42	1,99	46,59
Núcleo 20 (10-15)	36,81	2,82	60,36
Núcleo 21 (0-5)	81,02	0,77	18,21
Núcleo 21 (5-10)	43,49	2,11	54,40
Núcleo 21(10-15)	38,47	2,26	59,27
Núcleo 28 (0-5)	85,58	1,47	12,95
Núcleo 28 (5-10)	33,59	2,47	63,94
Núcleo 28 (10-15)	40,89	2,23	56,89
Núcleo 33 (0-5)	76,72	1,42	21,86
Núcleo 33 (5-10)	32,66	2,42	64,93
Núcleo 33 (10-15)	38,01	1,84	60,15
<b>Promedio</b>	<b>53,76</b>	<b>3,53</b>	<b>42,71</b>

**Tabla E2:** Porcentaje de las fracciones de arena, limo y lodo, del sedimento de fondo en función de su tamaño de grano.



### APÉNDICE F:

Profundidad (0-5)cm	Concentración de los elementos en estudio extracto HCl									
Elementos [Conc] mg/kg	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Ca	Mg
N3	0,53	9	25	3469	49	5	21	106	54436	6068
N3.2	0,50	24	29	9092	73	7	17	80	53907	6963
N4	0,50	2	17	352	5	1	4	25	686	394
N9	0,50	7	15	1650	22	3	9	38	11297	2316
N10	0,50	21	42	6613	92	9	19	107	53893	10212
N11	0,50	4	21	2918	58	3	8	45	34785	4147
N12	0,50	26	23	8647	75	10	13	75	48082	7555
N18	0,50	13	24	3914	48	4	27	52	53706	6381
N19	0,50	10	27	3798	48	4	23	56	52560	6306
N20	0,50	12	29	4226	51	5	20	67	59564	6792
N21	0,50	5	21	1886	60	2	9	44	6467	6332
N28	0,50	2	16	218	8	2	5	22	2527	2163
N33	0,50	4	13	544	5	1	4	36	1123	782
PROMEDIO	0,50	11	23	3641	46	4	14	58	33310	5108
DESV STAD	0,01	8	8	2941	28	3	8	28	24569	2917
C V %	2	75	33	81	62	65	58	48	74	57

**Tabla # F1:** Valores de concentración de los elementos analizados en el extracto de HCl (0-5) cm del sedimento.

Profundidad (5-10)cm	Concentración de los elementos en estudio extracto HCl									
Elementos [Conc] mg/kg	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Ca	Mg
N3	0,58	21	22	12088	78	16	13	87	69571	6277
N3.2	0,83	22	18	13059	88	15	14	87	87041	7184
N4	0,97	25	18	9108	61	24	15	183	155670	6392
N9	0,48	15	14	5678	49	13	7	48	76461	3853
N10	0,49	25	13	18733	145	17	14	101	86855	8656
N11	0,50	25	15	20396	168	20	22	115	57540	8372
N12	0,11	27	17	16715	103	17	13	118	76582	9305
N18	0,58	22	16	9143	78	17	11	79	46736	6959
N19	0,80	24	17	13640	134	18	15	104	56506	7846
N20	0,65	22	16	15558	112	19	17	102	68690	9016
N21	0,71	29	17	15935	95	22	21	104	57355	9017
N28	0,87	23	16	14223	92	22	20	103	100374	7908
N33	1,32	28	16	15345	96	23	17	110	37973	8740
PROMEDIO	0,68	24	17	13817	100	19	15	103	75181	7656
DESV STAD	0,29	3	2	4080	33	3	4	30	29775	1524
C V %	43	15	13	30	33	18	28	29	40	20

**Tabla # F2:** de concentración de los elementos analizados en el extracto de HCl (5-10) cm del sedimento.





Profundidad (10-15)cm	Concentración de los elementos en estudio extracto HCl									
Elementos [Conc] mg/kg	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Ca	Mg
N3	0,58	22	22	12720	81	16	17	91	60202	7198
N3.2	0,71	20	13	10781	76	14	10	72	60830	6274
N4	1,21	25	19	9741	58	26	10	151	134419	5602
N9	0,49	30	18	15689	86	26	30	121	176725	6556
N10	0,49	20	15	12007	195	15	16	81	117567	8241
N11	0,50	23	12	17292	155	15	31	90	81083	7372
N12	0,17	33	18	15938	102	29	14	120	68066	10426
N18	1,20	21	16	10200	82	20	12	82	54652	7113
N19	0,82	21	17	12498	118	17	14	95	69571	8488
N20	0,73	22	16	13584	114	20	14	108	61114	9303
N21	0,66	29	17	16284	87	25	17	111	47194	9555
N28	0,70	29	16	15138	107	23	18	95	88244	8502
N33	1,29	22	14	12460	63	18	14	94	23155	8022
PROMEDIO	0,73	25	16	13410	102	20	16	101	80217	7896
DESV STAD	0,33	4	3	2463	38	5	7	21	40941	1386
CV %	45	18	16	18	37	25	40	21	51	18

**Tabla # F3:** de concentración de los elementos analizados en el extracto de HCl (10-15) cm del sedimento.

Profundidad (0-5)cm	Concentración de los elementos en estudio extracto de HNO <sub>3</sub>									
Elementos [Conc] mg/kg	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Ca	Mg
N3	0,51	60	25	16777	102	24	14	93	36426	8944
N3.2	0,50	42	20	16858	83	23	9	98	7249	6416
N4	0,50	10	14	2074	8	3	3	20	275	551
N9	0,50	9	10	2976	15	5	3	35	782	672
N10	0,50	37	23	11913	78	29	9	74	11712	5494
N11	0,50	27	20	8657	91	13	9	50	13209	5983
N12	0,50	33	16	16402	76	21	7	86	5230	5207
N18	0,50	52	23	14537	86	25	20	80	24715	7304
N19	0,50	61	28	17503	105	26	12	92	35533	9154
N20	0,50	57	25	16102	92	25	10	82	22720	7930
N21	0,50	36	20	7947	58	16	4	43	1788	4464
N28	0,50	11	20	4359	29	8	9	22	2841	4122
N33	0,50	16	14	3124	11	5	5	28	877	1713
PROMEDIO	0,50	35	20	10710	64	17	9	62	12566	5227
DESV STAD	0,00	19	5	6072	36	9	5	29	13128	2882
CV %	1	56	27	57	56	53	54	48	104	55

**Tabla # F4:** de concentración de los elementos analizados en el extracto de HNO<sub>3</sub> (0-5) cm del sedimento.



Profundidad (5-10)cm	Concentración de los elementos en estudio extracto de HNO <sub>3</sub>									
Elementos [Conc] mg/kg	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Ca	Mg
N3	0,92	18	11	16954	45	9	4	48	2616	2183
N3.2	0,84	26	8	17624	50	9	3	47	3166	2249
N4	0,49	15	12	13341	29	9	2	66	4105	762
N9	0,48	12	11	17137	45	8	2	26	2628	1041
N10	0,49	13	11	14520	45	8	3	36	2086	1598
N11	0,50	17	13	17538	62	9	4	39	1811	1914
N12	1,75	18	7	15543	44	8	4	43	3239	4822
N18	0,48	15	15	21254	70	10	3	35	1856	1534
N19	0,41	18	15	22292	87	10	4	45	2206	2191
N20	0,33	19	16	29665	93	9	3	36	2118	2258
N21	0,28	18	14	22391	59	9	7	30	2005	2230
N28	0,36	15	16	20178	51	7	3	29	2929	1610
N33	1,65	17	9	23516	61	8	5	38	2016	3832
PROMEDIO	0,69	17	12	19381	57	9	4	40	2522	2171
DESV STAD	0,48	3	3	4442	18	1	1	10	680	1087
C V %	70	20	25	23	31	9	34	26	27	50

**Tabla # F5:** de concentración de los elementos analizados en el extracto de HNO<sub>3</sub> (5-10) cm del sedimento.

Profundidad (10-15)cm	Concentración de los elementos en estudio extracto de HNO <sub>3</sub>									
Elementos [Conc] mg/kg	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Ca	Mg
N3	0,80	15	10	15703	45	9	3	41	1901	2043
N3.2	0,77	26	9	21962	67	11	4	51	3705	3072
N4	0,50	17	11	15140	35	10	2	54	4537	857
N9	0,50	18	14	13954	35	8	4	87	5491	1000
N10	0,49	12	11	14260	51	6	2	52	3472	1359
N11	0,50	13	14	15547	46	8	5	40	2648	1325
N12	1,79	15	6	9097	28	7	3	29	2932	3767
N18	0,50	13	16	21316	67	9	3	27	1360	1173
N19	0,31	12	14	21316	68	8	3	33	1841	1503
N20	0,40	16	16	25317	72	8	3	36	1688	1936
N21	0,26	17	14	23082	49	8	3	30	1446	1981
N28	0,24	15	15	22422	61	7	3	34	2609	1676
N33	1,77	19	9	21745	49	10	5	46	1675	4581
PROMEDIO	0,68	16	12	18528	52	8	3	43	2716	2021
DESV STAD	0,52	4	3	4797	14	1	1	16	1280	1123
C V %	76	23	25	26	28	17	25	37	47	56

**Tabla # F6:** de concentración de los elementos analizados en el extracto de HNO<sub>3</sub> (10-15) cm del sedimento.



Profundidad (cm)	Concentración de Hg extracto de agua regia	
	(5-10)	(10-15)
Muestra [Conc]	mg/kg	mg/kg
N3	0,01	0,02
N3.2	0,06	0,07
N4	0,06	0,07
N9	0,05	0,08
N10	0,07	0,06
11N1	0,08	0,08
12N2	0,07	0,05
N18	0,06	0,05
N19	0,06	0,05
20N1	0,05	0,05
N21	0,05	0,06
28N1B	0,05	0,06
N33	0,07	0,08
PROMEDIO	0,06	0,06
DESV STAD	0,02	0,01
C V %	28	18

**Tabla # F7:** Concentración de Hg en el extracto de agua regia (5-15) cm del sedimento.

Muestras	Fe %	Ca %	Mg %
N3	2,6	7,5	1,1
N3.2	3,0	7,2	1,1
N4	1,7	10,0	0,5
N9	1,9	9,1	0,5
N10	2,6	9,2	1,2
N11	2,7	6,4	1,0
N12	2,7	6,8	1,4
N18	2,7	6,1	1,0
N19	3,0	7,3	1,2
N20	3,5	7,2	1,2
N21	2,9	3,9	1,1
N28	2,6	6,7	0,9
N33	2,6	2,2	0,9
Total Promedio	2,7	6,9	1
DESV STAD	0,5	2	0,3
C V %	18	24	27

**Tabla # F8.** Concentración total en (%) de los elementos Fe, Ca y Mg en el sedimento.



Determinaciones Núcleo 3.2	Promedio (mg/Kg)	Desviación estándar	CV (%)
Cd (10-15)	0,87	0,27	31%
Cr (10-15)	20	5	25%
Cu (10-15)	13	2	18%
Fe (10-15) [%]	11	4	25%
Mn (10-15)	76	19	25%
Ni (10-15)	14	4	30%
Pb (10-15)	10	2	21%
Zn (10-15)	72	17	23%
Ca (10-15)	60830	7583	12%
Mg (10-15)	6274	1424	23%
		Agua-regia	
Hg (10-15)	0,066	0,001	2%

**Tabla # F9.** Valores de coeficientes de variación de los métodos calculados para 3 replicas de las muestras de sedimentos del núcleo 3.2 en el extracto de HCl.

Determinaciones Núcleo 3.2	Promedio (mg/Kg)	Desviación estándar	CV (%)
Cd (10-15)	0,77	0,26	34%
Cr (10-15)	26	11	28%
Cu (10-15)	9,4	0,3	8%
Fe (10-15) [%]	22	2	9%
Mn (10-15)	67	3	5%
Ni (10-15)	11	1	6%
Pb (10-15)	3,95	0,25	7%
Zn (10-15)	51	8	29%
Ca (10-15)	3705	735	20%
Mg (10-15)	3072	89	6%

**Tabla F10.** Valores de coeficientes de variación de los métodos calculados para 3 replicas de las muestras de sedimentos del núcleo 3.2 en el extracto de HNO<sub>3</sub>.



### APÉNDICE G:

Profundidad (0-15)cm	Concentración Total de los elementos en estudio extracto de HCl									
Elementos [Conc] mg/kg	Cd	Cr	Cu	Fe (%)	Mn	Ni	Pb	Zn	Ca	Mg
N3	0,56	18	23	0,9	69	12	17	95	61403	6514
N3.2	0,68	22	20	1,1	79	12	14	79	67260	6807
N4	0,89	17	18	0,6	41	17	9	120	96925	4129
N9	0,49	17	16	0,8	52	14	15	69	88161	4241
N10	0,49	22	23	1,2	144	14	16	96	86105	9036
N11	0,50	18	16	1,4	127	13	20	83	57803	6630
N12	0,26	29	19	1,4	93	19	13	105	64243	9095
N18	0,76	19	19	0,8	69	14	17	71	51698	6818
N19	0,71	18	20	1,0	100	13	17	85	59546	7547
N20	0,63	19	20	1,1	92	15	17	92	63122	8370
N21	0,62	21	18	1,1	81	16	15	86	37005	8301
N28	0,69	18	16	1,0	69	15	14	73	63715	6191
N33	1,04	18	14	0,9	55	14	12	80	20751	5848
PROMEDIO	0,64	20	19	1,0	82	14	15	87	62903	6887
DESV STAD	0,20	5	4	0,3	33	4	6	26	31762	1943
C V %	31	36	21	43	44	36	42	33	55	32

Tabla G1. Concentración Total de los elementos en estudio extracto de HCl.

Profundidad (0-15)cm	Concentración Total de los elementos en estudio extracto de HNO <sub>3</sub>									
Elementos [Conc] mg/kg	Cd	Cr	Cu	Fe (%)	Mn	Ni	Pb	Zn	Ca	Mg
N3	0,74	31	15	1,6	64	14	7	61	13648	4390
N3.2	0,70	31	13	1,9	67	14	5	65	4706	3912
N4	0,50	14	12	1,0	24	8	3	47	2972	723
N9	0,49	13	12	1,1	32	7	3	49	2967	904
N10	0,49	21	15	1,4	58	15	5	54	5757	2817
N11	0,50	19	16	1,4	66	10	6	43	5889	3074
N12	1,35	22	10	1,4	49	12	5	53	3800	4599
N18	0,49	27	18	1,9	74	15	8	47	9310	3337
N19	0,41	30	19	2,0	86	15	6	56	13193	4283
N20	0,41	31	19	2,4	86	14	6	51	8842	4041
N21	0,35	23	16	1,8	55	11	5	34	1746	2892
N28	0,37	14	17	1,6	47	8	5	29	2793	2469
N33	1,31	18	10	1,6	40	8	5	37	1523	3375
PROMEDIO	0,62	23	15	1,6	58	11	5	48	5934	3140
DESV STAD	0,33	9	4	0,5	23	4	2	19	5029	1698
COEF V %	49	33	26	35	38	26	38	37	60	54

Tabla G2. Concentración Total de los elementos en estudio extracto de HNO<sub>3</sub>.



Profundidad (0-15)cm	Concentración Total de los elementos en estudio										
Elementos [Conc] mg/kg	Cd	Cr	Cu	Fe (%)	Mn	Ni	Pb	Zn	Ca	Mg	Hg
N3	1,31	49	39	2,6	133	26	24	155	75050	10904	0,01
N3.2	1,38	53	32	3,0	146	26	19	145	71966	10719	0,06
N4	1,39	31	30	1,7	65	25	12	167	99897	4853	0,07
N9	0,98	30	28	1,9	84	21	18	118	91128	5145	0,06
N10	0,99	42	38	2,6	202	28	21	150	91861	11853	0,06
N11	1,00	36	32	2,7	193	22	27	126	63692	9704	0,08
N12	1,61	50	29	2,7	142	31	18	157	68044	13694	0,06
N18	1,25	46	37	2,7	143	28	25	119	61008	10155	0,05
N19	1,12	49	40	3,0	186	28	24	141	72739	11830	0,06
N20	1,04	49	39	3,5	178	29	22	144	71965	12412	0,05
N21	0,97	44	34	2,9	136	27	20	120	38752	11193	0,06
N28	1,06	32	33	2,6	116	23	19	102	66508	8660	0,05
N33	2,34	36	25	2,6	95	22	16	117	22273	9223	0,07
PROMEDIO	1,26	43	34	2,7	140	25	20	136	68837	10027	0,06
DESV STAD	0,21	8	4	0,5	42	3	4	20	16190	2711	0,02
CV %	17	20	13	18	30	11	20	15	24	27	26

**Tabla G3.** Concentración Total de los elementos en estudio



### APÉNDICE H:

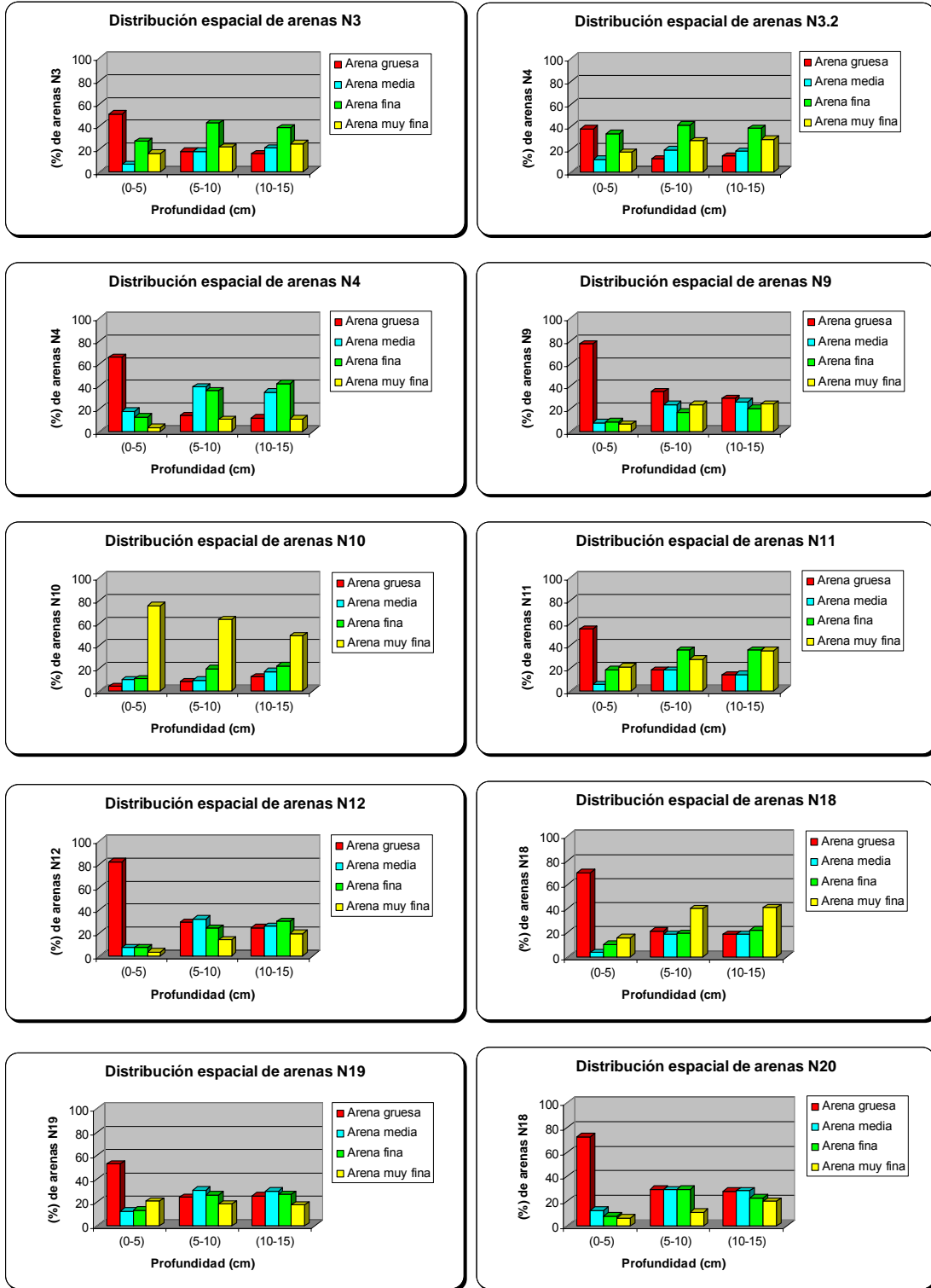


Figura # H1: Diagramas de distribución espacial y profundidad del porcentaje de las distintas fracciones de arena del sedimento de fondo en el Golfete de Cuare.

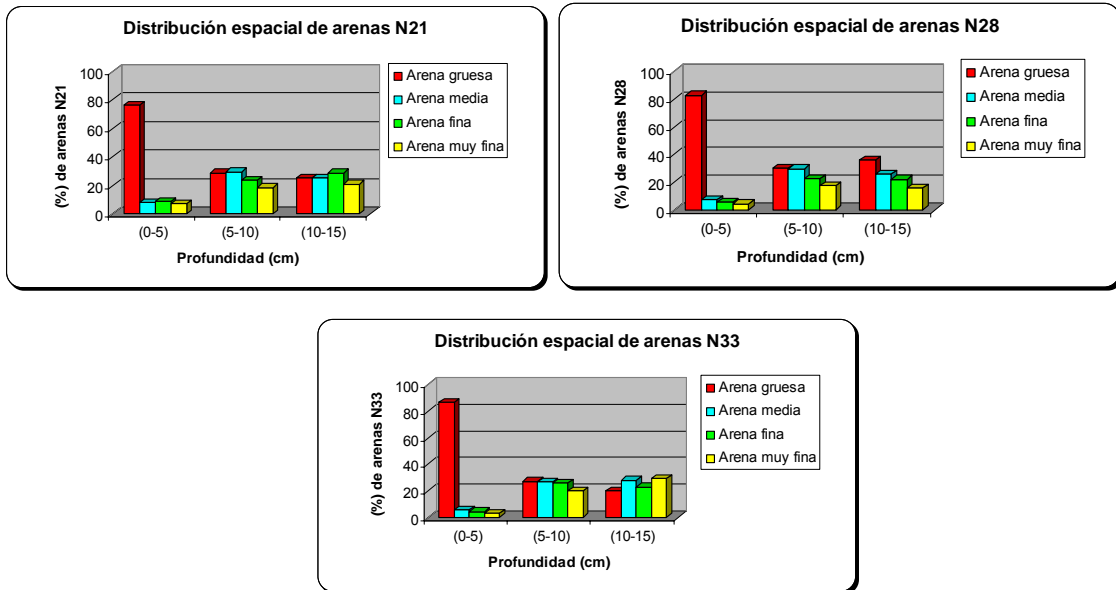


Figura # H1: Continuación.



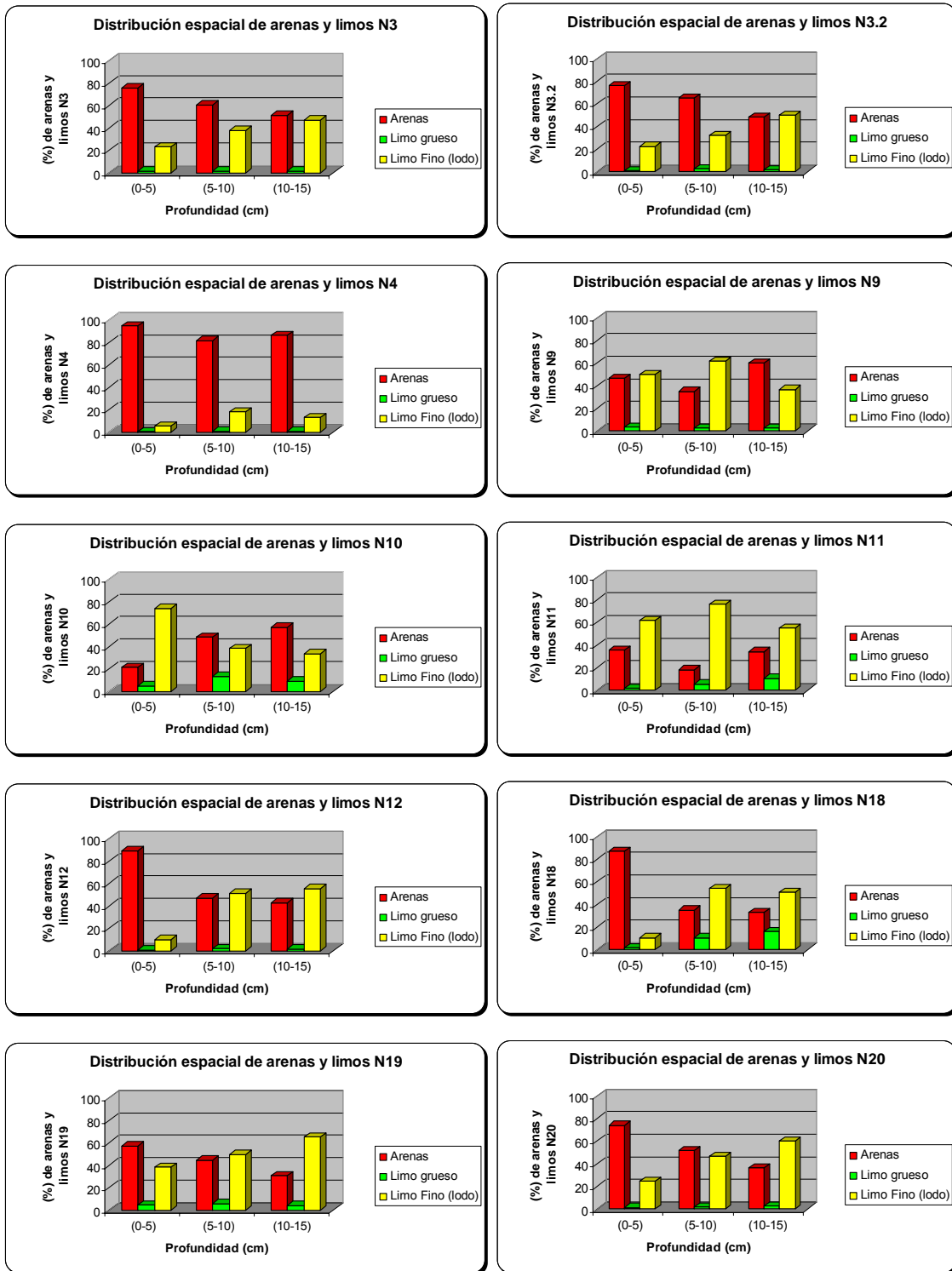


Figura # H2: Diagramas de distribución espacial y profundidad del porcentaje de las distintas fracciones (arena, limo y lodo) del sedimento de fondo en el Golfete de Cuare.



**Figura # H3:** Imagen de una muestra de sedimento del Golfete de Cuare, desde su preservación, hasta su descripción física y textural.



### APÉNDICE I:

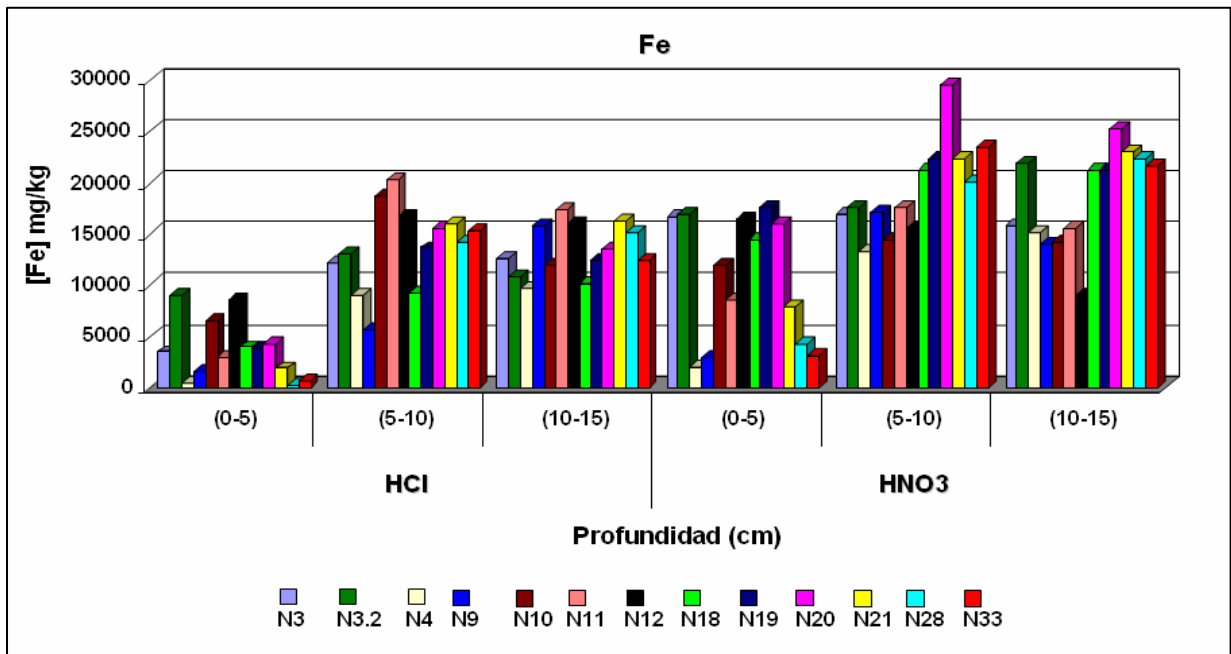


Figura # 1. Diagrama de concentración para **Fe** en el sedimento de fondo del Golfete de Cuare, en los extractos de HCl y HNO<sub>3</sub>.

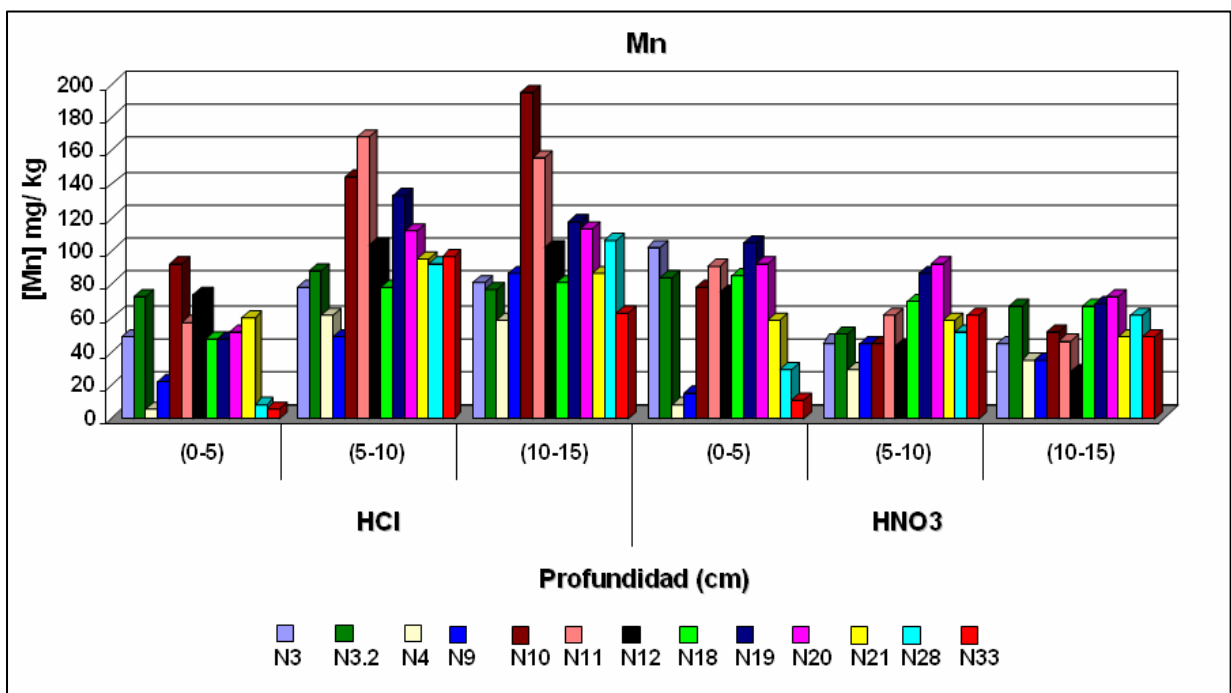


Figura # 2. Diagrama de concentración para **Mn** en el sedimento de fondo del Golfete de Cuare, en los extractos de HCl y HNO<sub>3</sub>.

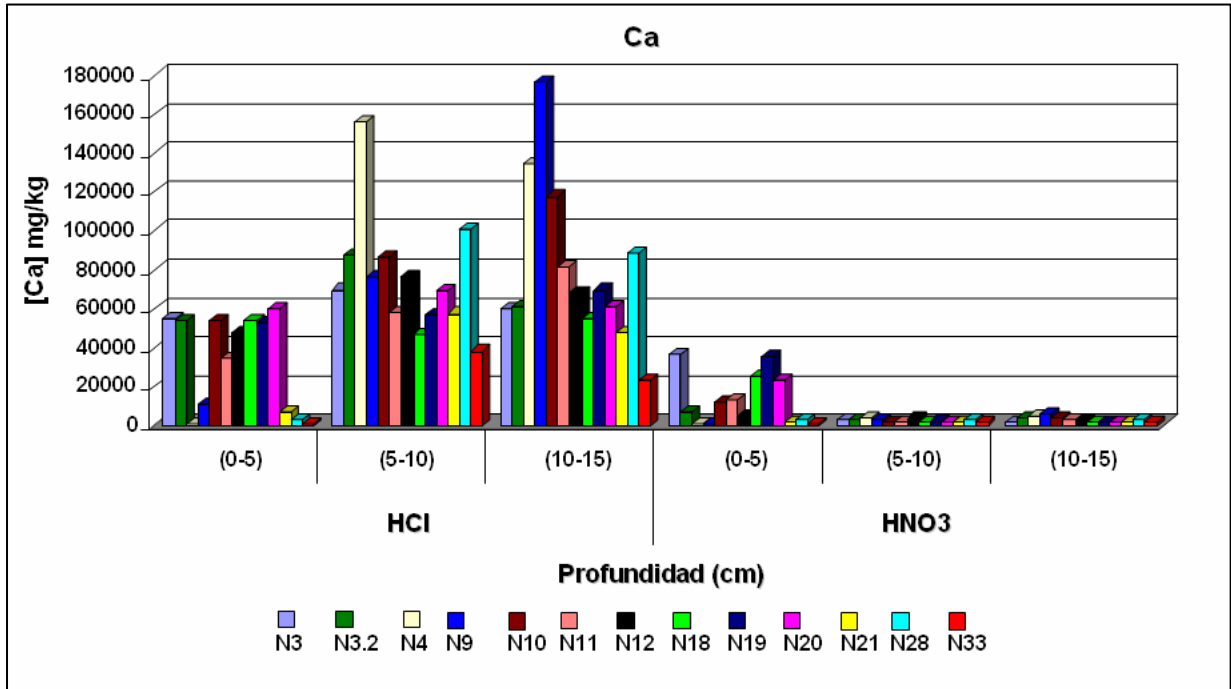


Figura # 3. Diagrama de concentración para **Ca** en el sedimento de fondo del Golfete de Cuare, en los extractos de HCl y HNO<sub>3</sub>.

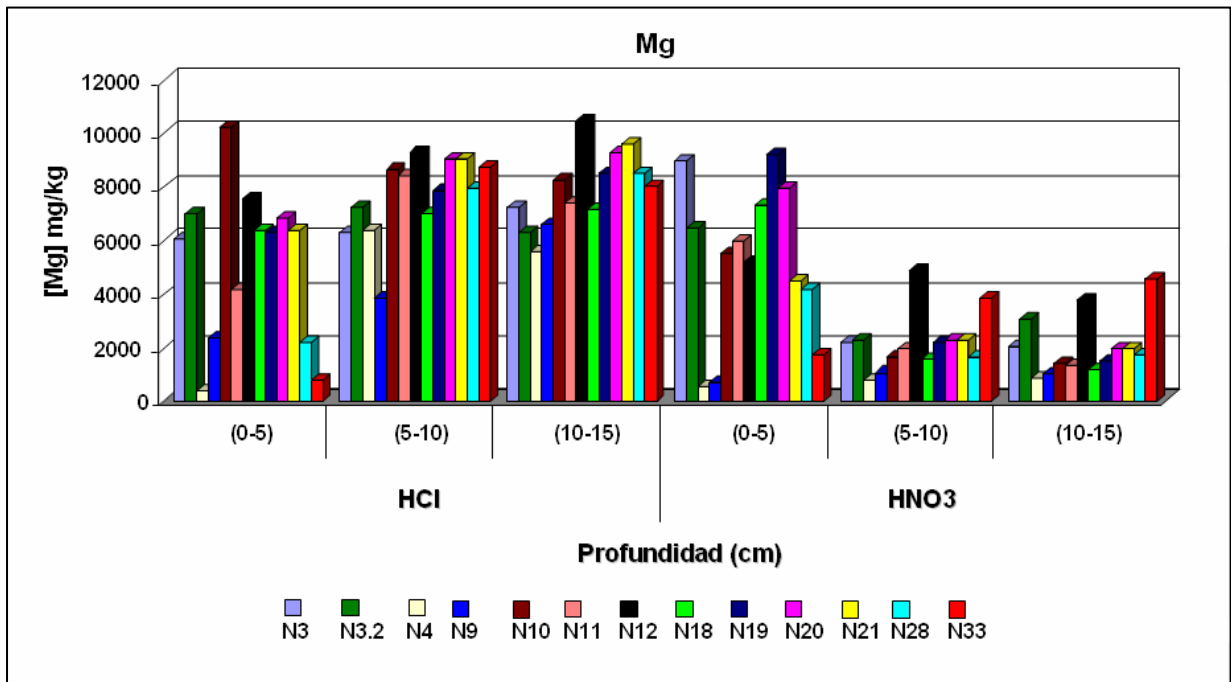


Figura # 4. Diagrama de concentración para **Mg** en el sedimento de fondo del Golfete de Cuare, en los extractos de HCl y HNO<sub>3</sub>.

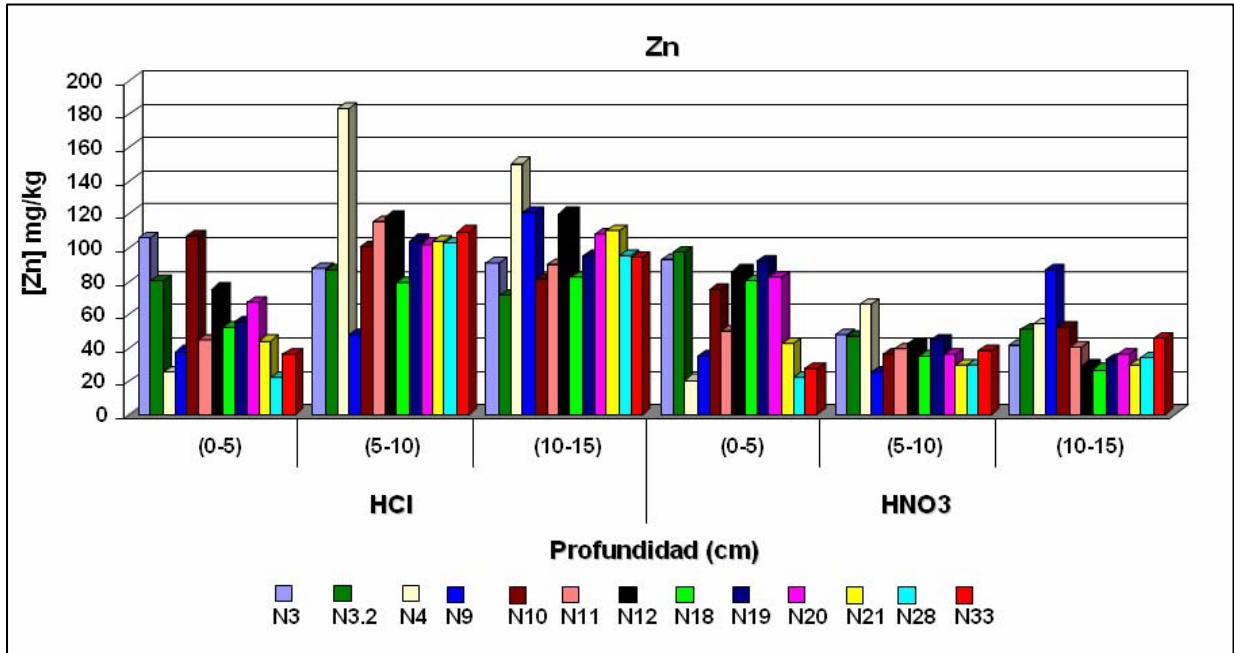


Figura # 5. Diagrama de concentración para Zn en el sedimento de fondo del Golfete de Cuare, en los extractos de HCl y HNO<sub>3</sub>.

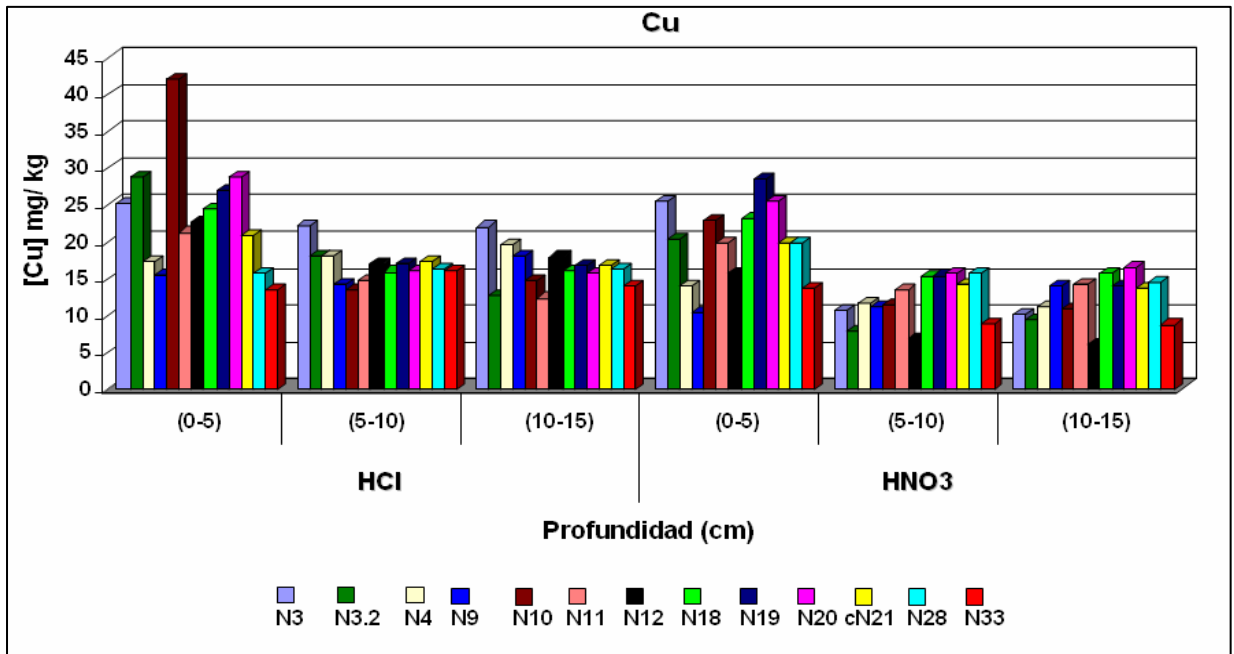


Figura # 6. Diagrama de concentración para Cu en el sedimento de fondo del Golfete de Cuare, en los extractos de HCl y HNO<sub>3</sub>.

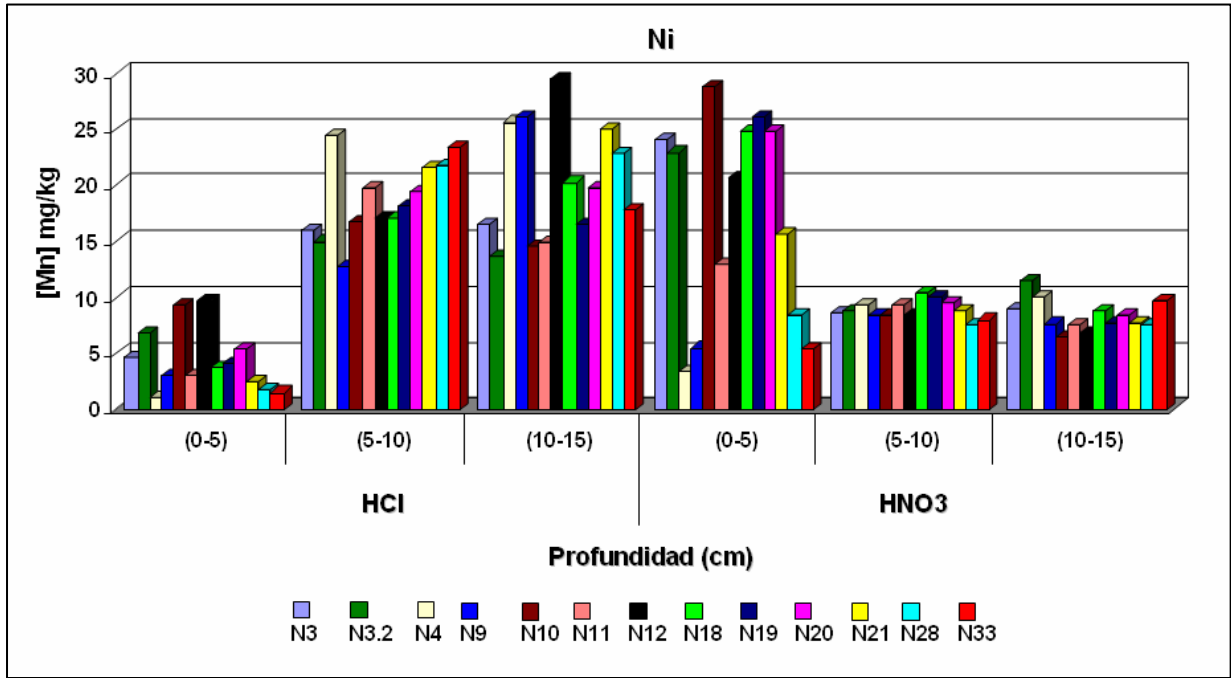


Figura # 7. Diagrama de concentración para Ni en el sedimento de fondo del Golfete de Cuare, en los extractos de HCl y HNO<sub>3</sub>.

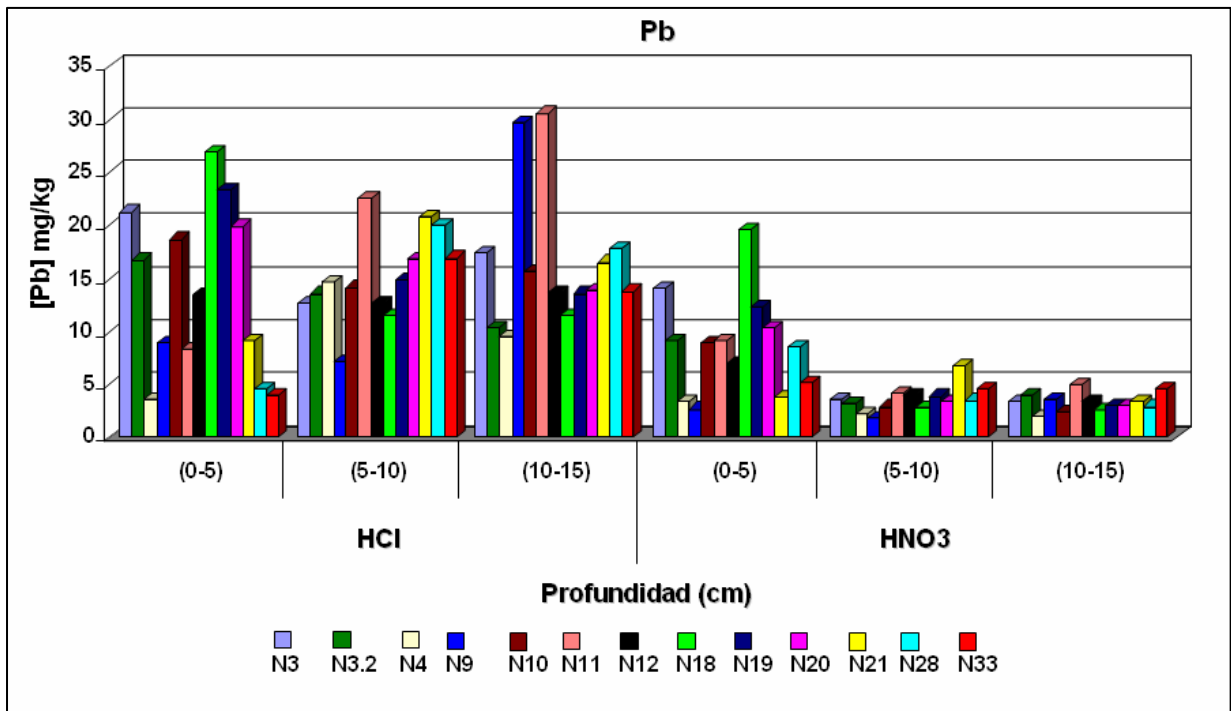


Figura # 8. Diagrama de concentración para Pb en el sedimento de fondo del Golfete de Cuare, en los extractos de HCl y HNO<sub>3</sub>.

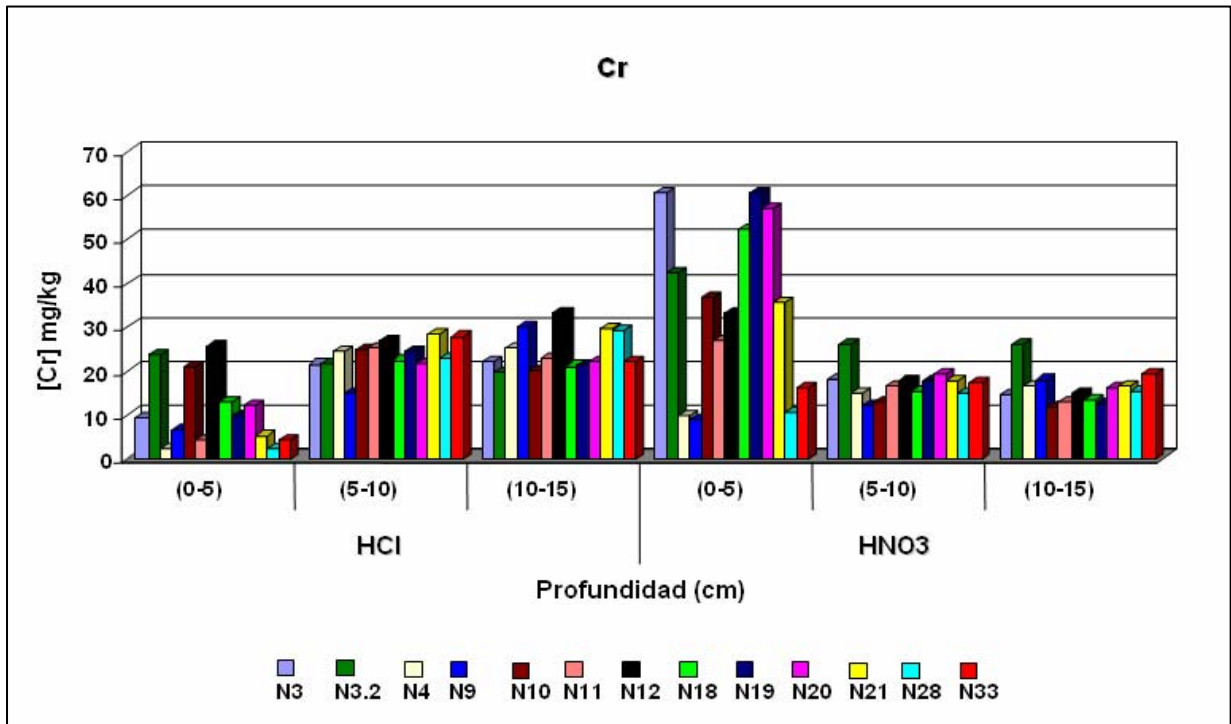


Figura # 9. Diagrama de concentración para **Cr** en el sedimento de fondo del Golfete de Cuare, en los extractos de HCl y HNO<sub>3</sub>.

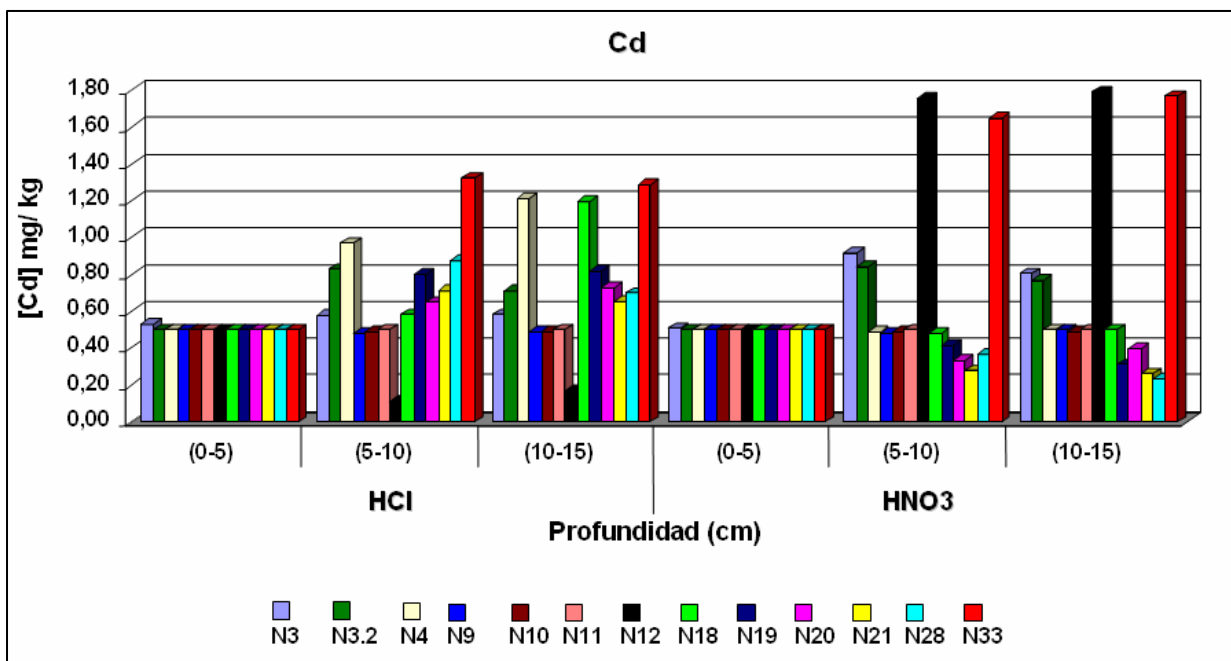


Figura # 10. Diagrama de concentración para **Cd** en el sedimento de fondo del Golfete de Cuare, en los extractos de HCl y HNO<sub>3</sub>.

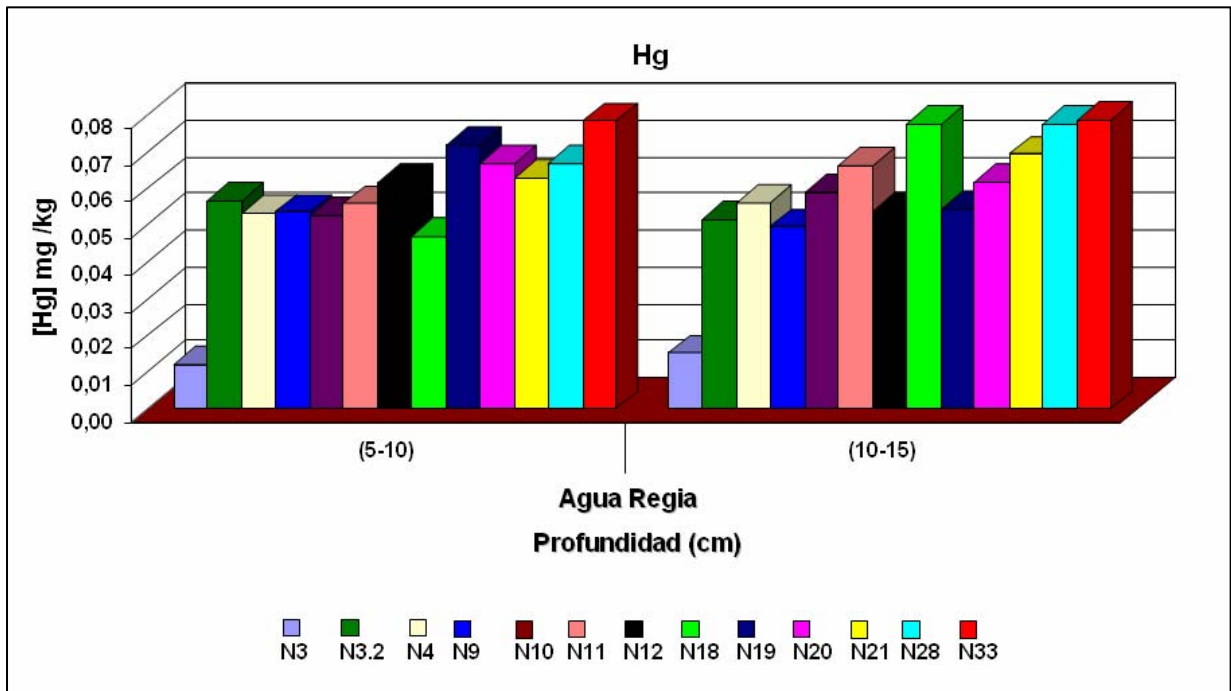


Figura # 11. Diagrama de concentración para Hg en el sedimento de fondo del Golfete de Cuare.





APÉNDICE I:

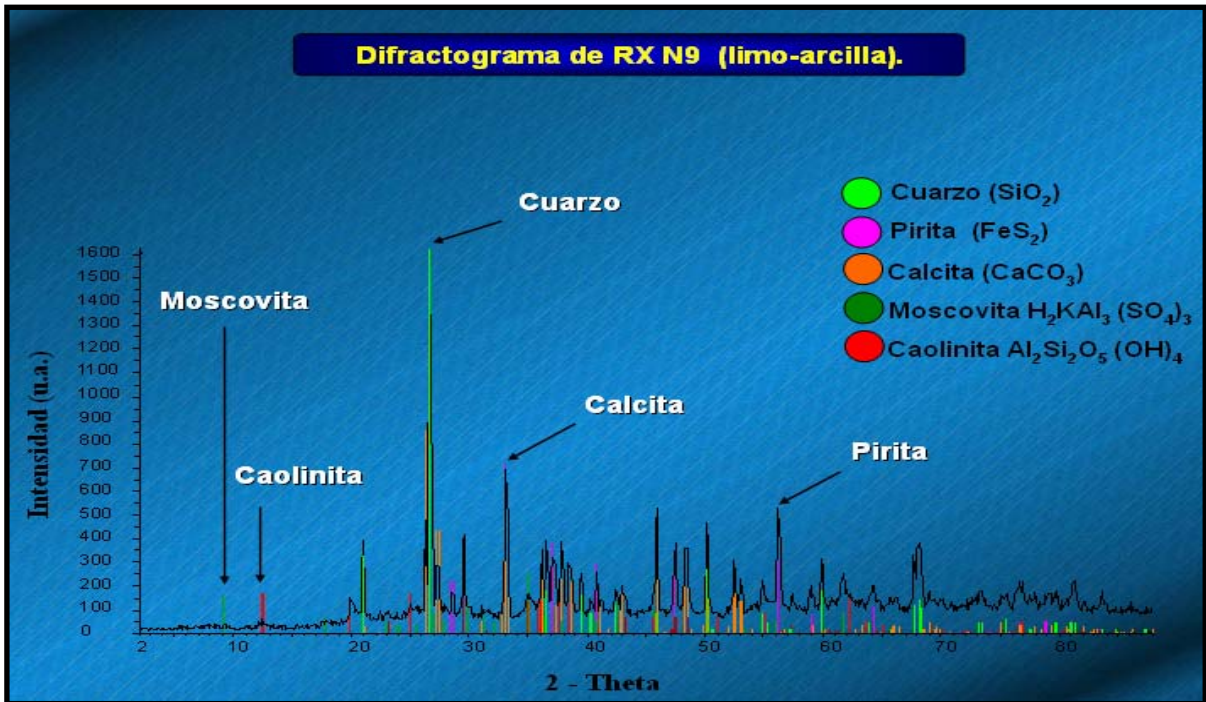


Figura # 12. Diffractograma de RX N9 lodo (limo-arcilla), de los sedimento de fondo del Golfete de Cuare.

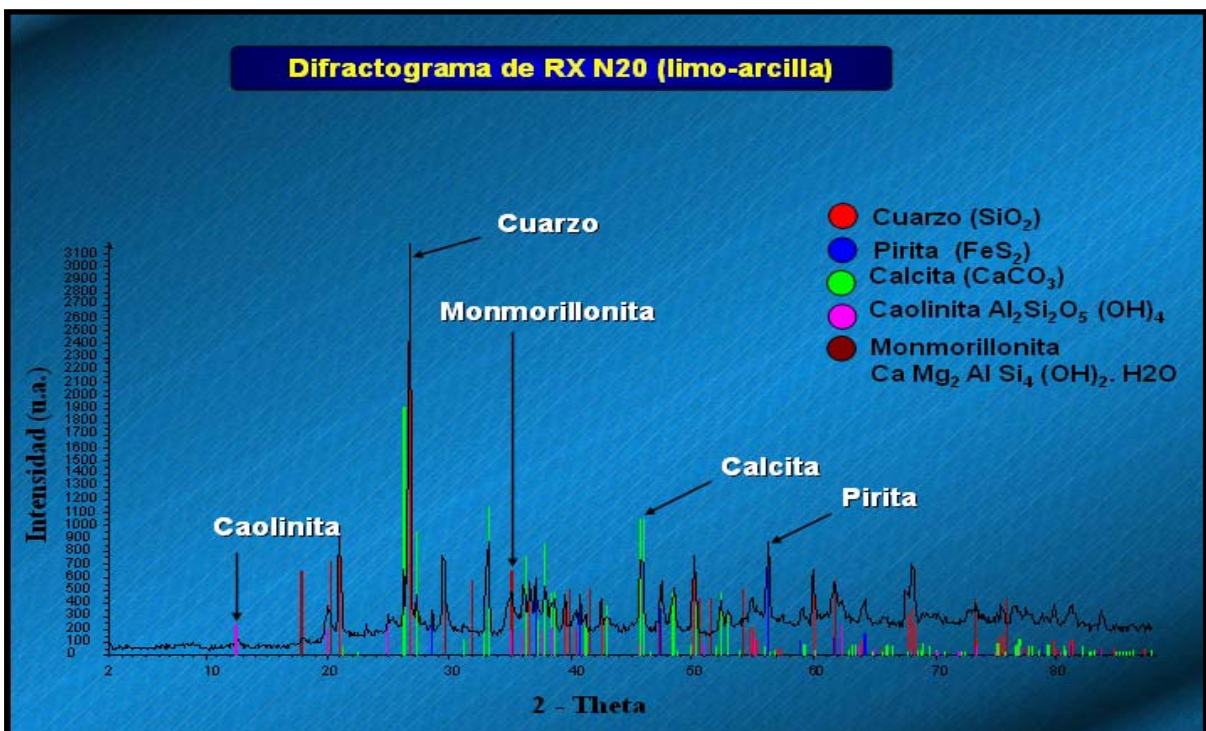


Figura # 13. Diffractograma de RX N20 lodo (limo-arcilla), de los sedimento de fondo del Golfete de Cuare.



### APÉNDICE J:

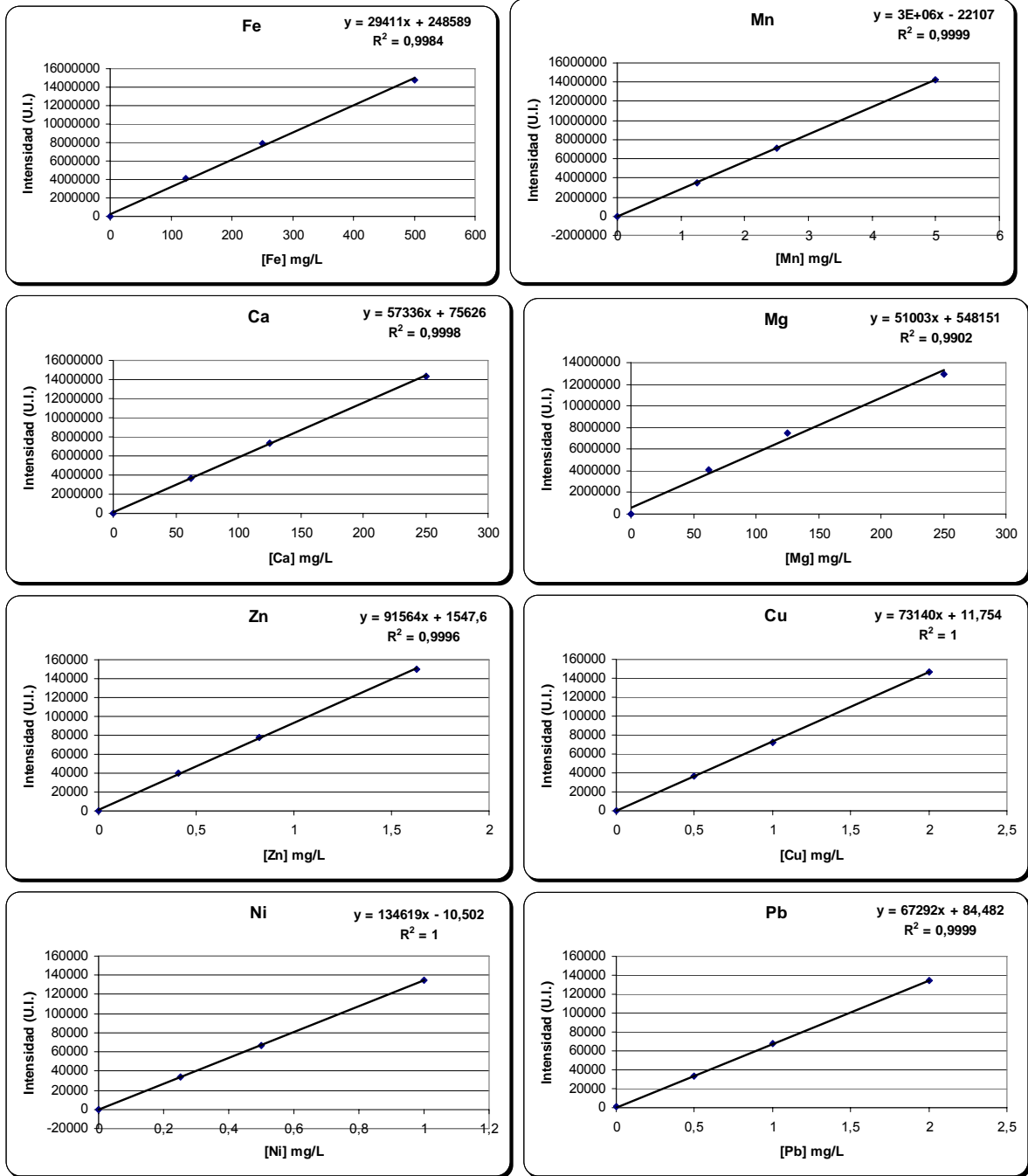


Figura # J1 .Curvas de calibración de los elementos bajo estudio Fe, Mn, Ca, Mg, Zn, Cu, Ni y Pb en las muestras de sedimento de fondo del Golfete de Cuare.

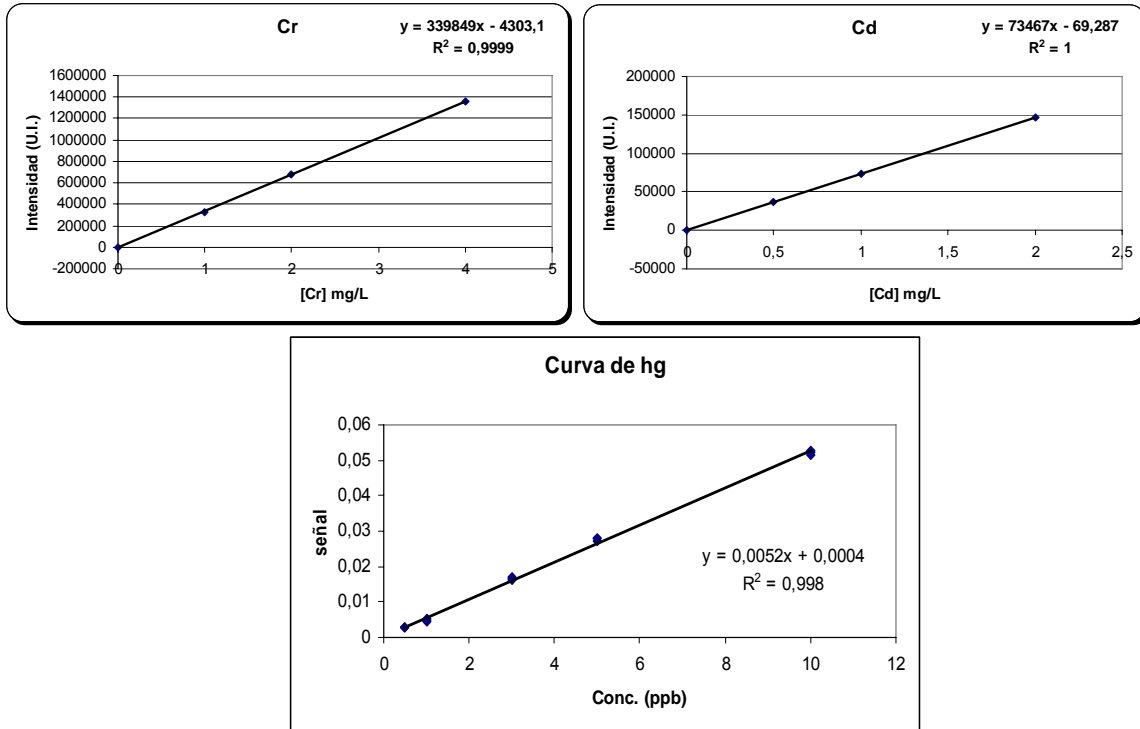


Figura # J2 .Curvas de calibración de los elementos bajo estudio Cr, Cd y Hg en las muestras de sedimento de fondo del Golfete de Cuare.



Estudio geoquímico de metales pesados Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, Cr, Cd y Hg en  
Sedimentos de fondo del Golfo de Cuare, Estado Falcón





Estudio geoquímico de metales pesados Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, Cr, Cd y Hg en  
Sedimentos de fondo del Golfete de Cuare, Estado Falcón





Estudio geoquímico de metales pesados Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, Cr, Cd y Hg en  
Sedimentos de fondo del Golfo de Cuare, Estado Falcón





Estudio geoquímico de metales pesados Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, Cr, Cd y Hg en  
Sedimentos de fondo del Golfete de Cuare, Estado Falcón





Estudio geoquímico de metales pesados Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, Cr, Cd y Hg en  
Sedimentos de fondo del Golfo de Cuare, Estado Falcón







Estudio geoquímico de metales pesados Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, Cr, Cd y Hg en  
Sedimentos de fondo del Golfete de Cuare, Estado Falcón





Estudio geoquímico de metales pesados Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, Cr, Cd y Hg en  
Sedimentos de fondo del Golfete de Cuare, Estado Falcón





Estudio geoquímico de metales pesados Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, Cr, Cd y Hg en  
Sedimentos de fondo del Golfete de Cuare, Estado Falcón





Estudio geoquímico de metales pesados Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, Cr, Cd y Hg en  
Sedimentos de fondo del Golfete de Cuare, Estado Falcón

