



# ESTUDIO QUÍMICO DE AGUA Y SEDIMENTO EN BAHÍA VERGARA, VERACRUZ MÉXICO

# T E S I S

Que para obtener el grado académico de

Maestro en ciencias  
(Química acuática)

Presenta

I.Q.M. Omar Celis Hernández

Director de tesis:

Dra. Leticia Rosales Hoz

Comité Tutorial:

Dr. Arturo Carranza Edwards

Dra. Liliana Saldivar Osorio

Dr. Jesús Gracia Mora

Dr. Carlos Rene Green Ruiz

México D.F., 2009



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **Agradecimientos**

A la Universidad Nacional Autónoma de México por abrirme sus puertas para poder aprender nuevas cosas.

A la Dra. Leticia Rosales Hoz, por brindarme la oportunidad de formar parte de su equipo de trabajo, ayudándome a concluir con éxito los estudios de maestría, de la cual se desprende este documento impreso, pero sobre todo le agradezco su amistad.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT, por el apoyo económico recibido para poder estudiar un posgrado.

Al programa de Apoyo a Proyectos de investigación e Innovación Tecnológica PAPIIT por el apoyo otorgado a la realización del proyecto llamado: Determinación de metales en arrecifes y sedimentos del sistema arrecifal veracruzano. No. IN-108808, del cual se desprende esta tesis, reciban mi reconocimiento y agradecimiento.

Al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, por todas las facilidades otorgadas en el uso de sus instalaciones para llevar a cabo todos los análisis químicos y escritura de la tesis.

A La Marina Armada de México, por todas las facilidades otorgadas para la realización de los muestreos hechos en Bahía Vergara.

Al Acuario de Veracruz, por las facilidades de sus instalaciones para el procesamiento y almacenamiento de muestras.

A la Q.F.B. Susana Santiago, por su apoyo técnico para la realización de los análisis químicos, además de brindarme su amistad.

Al Dr. Arturo Carranza Edwards, al M.C. Eduardo Morales y a la Q.A. Adriana Vega, por el apoyo para la realización de los análisis texturales y por todas las asesorías brindadas en lo referente a toda la parte geológica.

A todo el equipo que integra el Laboratorio de Química Acuática del ICMYL: Adriana, Francisco, Alicia, Sra. Berta y Juana, por hacer que mi estancia en el laboratorio fuera agradable, gracias por distinguirme con su amistad.

## *Dedicatorias*

*A mis padres Héctor Manuel Celis Guzmán y Nora Hortensia Hernández Zúñiga, por todo el cariño, comprensión, paciencia y apoyo incondicional, recibido durante toda mi vida, ya que gracias a ellos he podido llegar hasta donde estoy llegando hoy.*

*A mis hermanos Nora y Arón. Sepan que mi vida sería aburrida si no los tuviera como hermanos, recuerden que el cielo es límite, así que vayan por sus sueños.*

*A mis tías María Eugenia y Poly.*

*A Juana por su amor y cariño.*

*A mis amigos de la preparatoria Tom, Jorge, Forti, de la facultad, Jorge, Alejandro, Delia, Daniel, Miguel, Arturo, Jesús, Octavio, Iván, Juárez, de la Maestría, Raúl, Leonardo, Víctor, Juan José, Reyna, María José, Enrique, Francisco, etc.*

*No tengo más palabras, pero sepan que este triunfo no es solo mío, sino es de todos ustedes que han tenido que ver en su realización ya sea directa o indirectamente.*

*Por mi raza hablara el espíritu  
UNAM*

*Amor Orden y Progreso  
ENP*

*Un científico debe tomarse la libertad de plantear cualquier cuestión, de dudar de cualquier afirmación, de corregir errores.*

*Julius Robert Oppenheimer (1904-1967) Físico estadounidense*

<b>Capítulo</b>		<b>Página</b>
1	Introducción_____	1
2	Antecedentes_____	3
3	Área de estudio_____	12
4	Metodología_____	16
5	Análisis de resultados_____	33
6	Conclusiones_____	75
	Bibliografía_____	78

<b>No.</b>		<b>Página</b>
1.	Flujo de material disuelto y particulado hacia los océanos_____	5
2.	Fuentes antropogénicas industriales_____	5
3.	Descripción de los metales traza estudiados_____	7
4.	Cantidad de carga manejada en el periodo 2001 – 2005 del puerto de Veracruz_____	13
5.	Industrias ubicadas en el puerto de Veracruz y alrededores_____	14
6.	Parques industriales del puerto de Veracruz_____	14
7.	Estandarización de carbono orgánico_____	21
8.	Estandarización de carbonatos_____	23
9.	Exactitud para el estándar certificado AGV -1_____	23
10.	Programa para digestión de sedimentos_____	25
11.	Condiciones del espectrofotómetro de absorción atómica de flama_____	29
12.	Condiciones del equipo de absorción atómica por horno de grafito_____	29
13.	Porcentaje de recuperación en sedimento para los estándares MESS-3 y HISS-1_____	30
14.	Porcentaje de recuperación para agua de mar_____	30
15.	Fórmulas estadísticas_____	32
16.	Anovas de salinidad en agua de superficie y fondo en los meses de junio y noviembre_____	35
17.	Comparación entre salinidad en agua de superficie y fondo en los meses de junio y noviembre_____	35
18.	Anovas de temperatura en agua de superficie y fondo en los meses de junio y noviembre_____	36
19.	Comparación de la temperatura en agua de superficie y fondo en los meses de junio y noviembre_____	37
20.	Anovas de temperatura durante las temporadas de secas y nortes en agua de superficie y fondo_____	37
21.	Anovas de concentración de oxígeno disuelto en agua de superficie y fondo_____	39

22.	Comparación de la concentración de oxígeno disuelto en agua de superficie y fondo en junio y noviembre_____	40
23.	Terminología para regimenes con bajas concentraciones de oxigeno en agua_____	40
24.	Concentraciones de Cu, Ni y Cr en agua de superficie y fondo en los meses de junio y noviembre_____	41
25.	Concentraciones de V, Zn y Pb en agua de superficie y fondo en los meses de junio y noviembre_____	41
26.	Anovas de concentración de cobre en agua de superficie y fondo durante las temporadas de secas y nortes_____	41
27.	Anovas de concentración de cobre durante las temporadas de secas y nortes en agua de superficie y fondo_____	42
28.	Anovas de concentración de níquel en agua de superficie y fondo durante las temporadas de secas y nortes_____	42
29.	Anovas de concentración de níquel durante las temporadas de secas y nortes en agua de superficie y fondo_____	42
30.	Anovas de concentración de cromo en agua de superficie y fondo durante las temporadas de secas y nortes_____	43
31.	Anovas de concentración de cromo durante las temporadas de secas y nortes en agua de superficie y fondo_____	43
32.	Anovas de concentración de plomo en agua de superficie y fondo durante las temporadas de secas y nortes_____	43
33.	Anovas de concentración de plomo durante las temporadas de secas y nortes en agua de superficie y fondo_____	44
34.	Anovas de concentración de vanadio en agua de superficie y fondo durante las temporadas de secas y nortes_____	44
35.	Anovas de concentración de vanadio durante las temporadas de secas y nortes en agua de superficie y fondo_____	44
36.	Anovas de concentración de zinc en agua de superficie y fondo durante las temporadas de secas y nortes_____	45
37.	Anovas de concentración de zinc durante las temporadas de secas y nortes en agua de superficie y fondo_____	45

---

38.	Comparación de concentración de metales traza en agua del océano y los límites permisibles establecidos por las autoridades mexicanas_____	47
39.	Comparación del análisis granulométrico de sedimento en los meses de junio y noviembre_____	49
40.	Anovas del tamaño de partícula de sedimento durante las temporadas de secas y nortes_____	50
41.	Anovas del carbono orgánico en sedimento durante las temporadas de secas y nortes_____	51
42.	Comparación de la concentración de carbono orgánico en sedimento obtenido en Bahía Vergara en los meses de junio y noviembre_____	52
43.	Concentración promedio de carbono orgánico en sedimento obtenido en las inmediaciones de Islas Sacrificios Veracruz, en los meses de junio y noviembre_____	52
44.	Comparación de la concentración de carbonatos en sedimento obtenido en Bahía Vergara en los meses de junio y noviembre_____	53
45.	Concentración promedio de carbonato en sedimento obtenido en las inmediaciones de Islas Sacrificios Veracruz, en los meses de junio y noviembre_____	54
46.	Anova de los carbonatos en sedimento durante las temporadas de secas y nortes_____	54
47.	Concentraciones de metales traza en sedimento, en la fracción biodisponible, residual y total en los meses de junio y noviembre_____	56
48.	Anovas de concentración de cobre residual y total en sedimento en los meses de junio y noviembre_____	56
49.	Anovas de concentración de níquel residual y total en sedimento en los meses de junio y noviembre_____	56
50.	Anovas de concentración de zinc residual y total en sedimento en los meses de junio y noviembre_____	57
51.	Anovas de concentración de cromo residual y total en sedimento en los meses de junio y noviembre_____	57
52.	Anovas de concentración de vanadio residual y total en sedimento en los meses de junio y noviembre_____	57
53.	Anovas de concentración de plomo residual y total en sedimento en los meses de junio y noviembre_____	58

---

---

54.	Interpretaciones del factor de enriquecimiento e índice de geoacumulación_____	59
55.	Comparación del factor de enriquecimiento de sedimento en los meses de junio y noviembre_____	60
56.	Comparación del índice de geoacumulación en sedimento en los meses de junio y noviembre_____	60
57.	Concentraciones promedio de los metales totales en sedimento estudiados en los meses de junio y noviembre_____	65
58.	Anovas de concentraciones de Cu y Ni en sedimento durante las temporadas de secas y nortes_____	65
59.	Anovas de concentraciones de Zn y Cr en sedimento durante las temporadas de secas y nortes_____	65
60.	Anovas de concentraciones de V y Pb en sedimento durante las temporadas de secas y nortes_____	66
61.	Comparación de concentración de metales traza en sedimentos en otras regiones del Golfo de México_____	67
62.	Concentraciones promedio de elementos mayores en sedimento estudiados en los meses de junio y noviembre_____	68
63.	Anovas de concentración de SiO <sub>2</sub> y TiO <sub>2</sub> en sedimento durante las temporadas de secas y nortes_____	69
64.	Anovas de concentración Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> y Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> en sedimento durante las temporadas de secas y nortes_____	69
65.	Anovas de concentración de MnO y MgO en sedimento durante las temporadas de secas y nortes_____	70
66.	Anovas de concentración de CaO y Na <sub>2</sub> O en sedimento durante las temporadas de secas y nortes_____	70
67.	Anovas de concentración de K <sub>2</sub> O y P <sub>2</sub> O <sub>4</sub> en sedimento durante las temporadas de secas y nortes_____	70



---

No.		Página
1	Compartimentos del ciclo biogeoquímico_____	4
2	Mapa de Bahía Vergara, Veracruz_____	12
3	Red de estaciones Bahía Vergara, Veracruz_____	16
4	Diagrama general de los métodos empleados_____	18
5	Batimetría del área de estudio (m)_____	33
6	Salinidad en agua de superficie y fondo en los meses de junio y noviembre__	34
7	Temperatura en agua de superficie y fondo en los meses de junio y noviembre_____	36
8	Concentración de oxígeno disuelto en agua en los meses de junio y Noviembre_____	39
9	Abundancia de metales traza en agua de Bahía Vergara_____	45
10	Tamaño de partícula predominante en sedimento de Bahía Vergara_____	48
11	Comparación de la distribución de arenas en los meses de junio y noviembre_____	49
12	Comparación de la distribución de carbono orgánico en sedimentos para los meses de junio y noviembre_____	51
13	Comparaciones de la distribución del factor de enriquecimiento de Cu en los sedimentos para los meses de junio y noviembre_____	61
14	Correlación del % Lodos vs. % Carbono orgánico y correlación entre % Lodos vs. Concentración de cobre_____	61
15	Comparaciones de la distribución del factor de enriquecimiento del Ni en los sedimentos para los meses de junio y noviembre_____	62
16	Comparaciones de la distribución del factor de enriquecimiento del Zn en los sedimentos para los meses de junio y noviembre_____	62
17	Comparaciones de la distribución del factor de enriquecimiento del Cr en los sedimentos para los meses de junio y noviembre_____	63
18	Comparaciones de la distribución del factor de enriquecimiento del V en los sedimentos para los meses de junio y noviembre_____	63
19	Comparaciones de la distribución del factor de enriquecimiento del Pb en los sedimentos para los meses de junio y noviembre_____	64
20	Abundancia anual de metales traza en los sedimentos de Bahía Vergara____	66

---

21	Correlaciones entre a) % SiO <sub>2</sub> y % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , b) % Na <sub>2</sub> O y % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , c) % K <sub>2</sub> O y % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> _____	71
22	Correlaciones entre a) %P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> y %Carbono orgánico, b) %P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> y %Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , c) %P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> y %Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> _____	72
23	Correlaciones entre a) %TiO <sub>2</sub> y %Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , b) %MgO y %Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , c) %MnO y %Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> _____	73
24	Correlaciones entre a) %Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> y %CaO, b) %CaO y %CO <sub>3</sub> _____	74

# Capítulo I.

I  
n  
t  
r  
o  
d  
u  
c  
c  
i  
ó  
n

---

## **Introducción**

La importancia de llevar a cabo estudios en la zona costera es evidente si se toma en cuenta que más del 40 % de la población mundial vive en esta zona, la cual es un área altamente productiva, donde se lleva a cabo el 25 % de la producción primaria global y se encuentra del orden del 70 % de la pesca mundial. En nuestros días, las zonas costeras del mundo se ven amenazadas por la contaminación (generadas por descargas urbanas, industriales y agrícolas), cambios en la cantidad de sedimento que recibe, acelerado desarrollo urbano y turístico, pesca en exceso, minería y extracción petrolera. Todo esto hace evidente la importancia de los estudios que se llevan a cabo en esta región natural (Rosales, 1994). Por muchos años se consideró que el verter desechos urbanos e industriales al océano no tendría consecuencias graves debido a su alta dinámica y a su gran volumen; sin embargo, estudios realizados en los últimos años muestran los efectos de las descargas antrópicas en los sistemas costeros .

Los sedimentos reflejan los procesos físicos y químicos que se llevan a cabo en la columna de agua, y a través de su estudio es posible evaluar el origen de los mismos, así como las condiciones dinámicas y de energía de un área dada.

La zona de Bahía Vergara localizada al norte del puerto de Veracruz tiene gran importancia socioeconómica; porque es en este lugar donde se planea realizar la ampliación del Puerto de Veracruz. Esta área actualmente es impactada por las descargas de la planta de tratamiento de aguas de la ciudad de Veracruz, además de recibir el afluente del Río la Antigua, el cual recibe diferentes tipos de desechos antropogénicos, como son los de tipo urbano e industrial; llegando estos residuos directamente al mar. Todo lo anterior contribuye a la alteración ambiental de la zona conocida como Bahía Vergara.

---

## **Objetivo general**

Determinar por medio de análisis químicos y sedimentológicos en la columna de agua y en los sedimentos, el grado de influencia temporal (junio y noviembre) de las descargas continentales en las inmediaciones de Bahía Vergara, Veracruz.

## **Objetivos particulares**

- Hacer mediciones *in situ* de parámetros fisicoquímicos tales como salinidad, temperatura y oxígeno disuelto, en la columna de agua.
- Determinar la concentración de metales traza en agua de mar: Cu, Cr, Ni, Pb, V y Zn.
- Caracterizar el tipo de sedimento de la zona de estudio, tomando en cuenta sus características texturales.
- Evaluar la concentración de carbono orgánico en el sedimento superficial.
- Determinar la concentración de carbonatos en el sedimento superficial.
- Analizar las concentraciones de elementos traza en el sedimento superficial: Cu, Cr, Ni, Pb, V y Zn.
- Determinar si los elementos traza se encuentran biodisponibles en los sedimentos.
- Determinar la concentración de elementos mayores en el sedimento superficial: Mn, Fe, Al, Si, Ca, Na, K, Ti, P y Mg.

# Capítulo II.

Antecedentes

Los estudios de agua y sedimento ayudan al entendimiento de los procesos que se llevan a cabo en los sistemas acuáticos, permitiendo conocer las condiciones en que se encuentran los mares y océanos, además de los diversos cuerpos de agua continentales, la mayoría de los cuales se encuentran afectados en mayor o menor medida por las distintas actividades realizadas por el hombre. El agua es el primer lugar donde llegan los distintos desechos generados por el hombre, los cuales pueden ser nocivos para la vida de todos los seres vivos, es por eso la importancia de tener un control sobre el tipo y la cantidad de desechos arrojados a los ríos, que finalmente llegarán al océano (Figaruelo, 2001).

Los estudios de sedimentos, ya sea recolectando muestras superficiales o de núcleos, son importantes debido a que permite inferir si una zona se encuentra impactada o no por las distintas actividades humanas, adicionalmente se pueden hacer reconstrucciones sobre la evolución del sistema a través del tiempo (Hernández, 2005).

A los sedimentos se les considera como los últimos reservorios de los contaminantes, debido al importante papel que desempeñan en el ambiente como recolectores de metales traza (figura 1). Al ser éstos incorporados en el sedimento permite que los elementos traza considerados como tóxicos, salgan primero de la columna de agua y posteriormente continúen en otro compartimiento del ciclo biogeoquímico (Manahan, 2005).

La concentración de los metales traza en sedimento se relaciona a las partículas finas del tamaño de limos y arcillas, ya que son estas donde se adsorberán más fácilmente que a las de tamaño de gravas y arenas (Carraza, 1997). Los sedimentos se pueden clasificar de varias maneras, ya sea desde el punto de vista que considere el modo de formación o el de su origen.

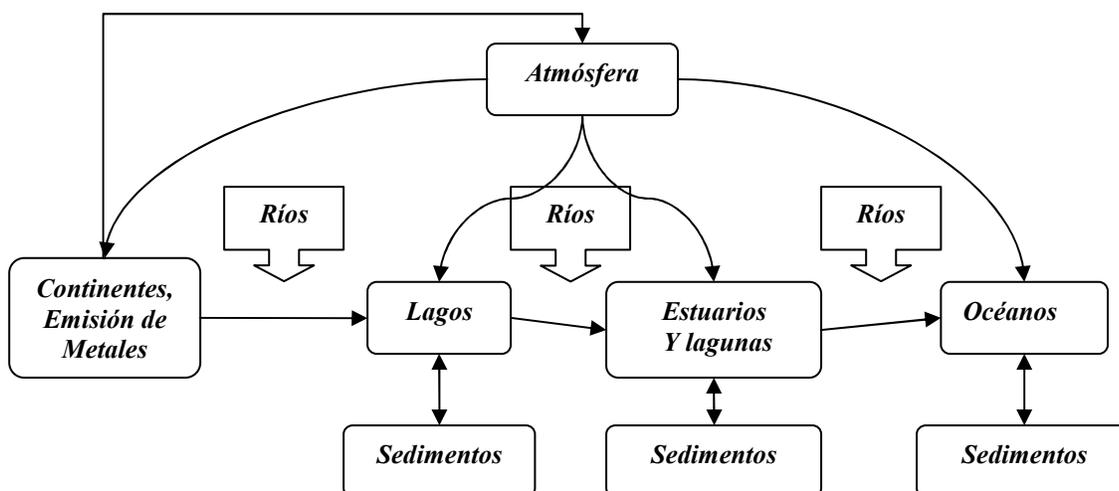


Figura 1. Compartimentos del ciclo biogeoquímico

Si se clasifican por el tipo de formación, éstos se dividen en dos grandes grupos, sedimentos del tipo clástico: son todos aquellos formados de manera mecánica, interviniendo factores de intemperismo y erosión y los no clásticos siendo aquellos sedimentos generados de manera química u orgánica (Emmons, 1965).

Considerando la clasificación de acuerdo con su origen, se distinguen como terrígenos (provenientes del continente), biogénicos (provenientes de restos de organismos), hidrogénicos (provenientes de procesos realizados *in situ*), cosmogénicos (provenientes del polvo cósmico) y antropogénicos (provenientes de actividades humanas) (Chester, 2000).

La mayor parte de los sedimentos que se encuentran en el océano se originan en los continentes, siendo éstos transportados por el aire, ríos, glaciares y aguas subterráneas. En la tabla 1 se observa que normalmente los aportes fluviales constituyen la fuente más importante de materia particulada (sedimento) y componentes disueltos; pero además de ser los ríos la principal fuente de sedimento hacia el océano, aportan también todos los desechos urbanos e industriales -ya sean tratados o sin tratar- los cuales llegan finalmente al mar (Raiswell, 1983).

Tabla 1. Flujo de material disuelto y particulado hacia los océanos

Fuente	Componentes disueltos (g año <sup>-1</sup> )	Materia particulada (g año <sup>-1</sup> )
Ríos	39 x 10 <sup>14</sup>	173 x 10 <sup>14</sup>
Aguas superficiales	4.7 x 10 <sup>14</sup>	4.8 x 10 <sup>14</sup>
Hielo	< 7 x 10 <sup>14</sup>	20 x 10 <sup>14</sup>
Erosión marina		2.5 x 10 <sup>14</sup>
Aporte atmosférico	2.5 x 10 <sup>14</sup>	6 x 10 <sup>14</sup>
Vulcanismo		1.5 x 10 <sup>14</sup>

Fuente: Raiswell, 1983

Los metales traza en el agua de mar son aquellos que están presentes en cantidades inferiores a 1 mg l<sup>-1</sup> y en los sedimentos en concentraciones del orden de mg Kg<sup>-1</sup>. Los metales se introducen en los ciclos biogeoquímicos por procesos naturales como erupciones volcánicas, degradación de rocas y minerales, pero su omnipresencia y el aumento de sus concentraciones en tiempos recientes es consecuencia de las muy diversas actividades antropogénicas (Tabla 2). Los metales traza de origen antrópico llegan a los sistemas acuáticos a través de aguas residuales industriales, agrícolas y domésticas o por deposición desde la atmósfera (Figaruelo, 2001).

Tabla 2. Fuentes antropogénicas industriales (modificado de Figaruelo, 2001)

Metales	Minería	Metalurgia	I. Química	Aleaciones	Pinturas	Vidrio	I. Papelera	Cuero	Textiles	Abonos	I. Cloro	Refinerías	C. Carbón	T. Nuclear
As	X	X	X			X		X	X	X	X	X	X	X
Ba			X		X	X		X	X					
Be	X	X		X									X	X
Bi		X												
Cd	X	X	X		X				X	X	X	X	X	X
<b>Cr</b>		<b>X</b>	<b>X</b>		<b>X</b>		<b>X</b>	<b>X</b>		<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	
<b>Cu</b>		<b>X</b>	<b>X</b>				<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>		<b>X</b>	<b>X</b>	
Hg	X	X	X				X	X	X	X	X		X	
Mn	X									X			X	
<b>Ni</b>		X				X	X		X	X		X	X	
<b>Pb</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>		<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	
Se	X												X	
Sn			X								X			
U	X		X										X	X
<b>V</b>		<b>X</b>	<b>X</b>									<b>X</b>		
<b>Zn</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>		<b>X</b>			<b>X</b>		<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>		

Nota: En negritas aparecen los metales analizados en esta tesis

Muchos de los metales actúan como nutrientes de los organismos acuáticos; pero un exceso de bioelementos metálicos también amenaza la salud de los organismos, pues al interferir en sus procesos vitales ejercen efectos tóxicos.

La toxicidad de los metales en el medio acuático, depende de la forma química en que se encuentren: iones simples o complejos, óxidos o hidróxidos, etc, en otras palabras, dependen de la especiación del elemento, ya que las interacciones de los componentes celulares se establecen con una especie química particular de cada elemento, en la tabla 3 se presenta la dosis letal para ciertos organismos. En este contexto, la determinación de la cantidad total de metal en un medio acuático es inadecuada desde el punto de vista ambiental, en el que lo importante es evaluar la cantidad de especies metálicas tóxicas. La solubilidad, y generalmente la biodisponibilidad de las especies metálicas varía con la temperatura, pH, tamaño y la naturaleza de las partículas adsorbentes del sistema acuático (Figaruelo, 2001).

Tabla 3. Descripción de los metales traza estudiados

Elemento	Características	Toxicidad
Cu	Constituye el 0.0068% de la corteza terrestre en masa, se encuentra en la naturaleza en estado nativo y también formando menas como la calcopirita $\text{CuFeS}_2$ . Es un buen conductor eléctrico y térmico. Se usa principalmente en aleaciones (latón (Cu - Zn), y bronce (Cu - Sn), en la fabricación de cables eléctricos, tuberías y monedas. Algunos compuestos como el $\text{CuSO}_4$ , se utiliza en una mezcla fungicida, se emplea también en el chapado, y encuentra otras aplicaciones de menor importancia como germicida y agente en el grabado, entre otros compuestos que se utilizan como tintas.	Esencial en cantidades traza, toxico para plantas y algas en altas concentraciones. Orl-hmn TD <sub>lo</sub> 120 $\mu\text{g}$ /Kg. (Klaassen Curtis, 2001)
Cr	Constituye el 0.0122% de la corteza terrestre en masa, su mena mas común es la cromita $\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$ ; también se encuentra en la crocoita $\text{PbCrO}_4$ . Es un metal lustroso, duro y quebradizo. Se encuentra en distintos estados de oxidación +2, + 3, +6, sus compuestos por lo general se usan como pigmentos para pinturas $\text{Cr}_2\text{O}_3$ (verde oscuro), $\text{NaCrO}_4$ (amarillo), $\text{Na}_2\text{CrO}_7$ (naranja); se usa también en la fabricación de ferroaleaciones que a su vez se emplea para la elaboración de acero inoxidable.	Esencial como Cr (III), toxico como Cr (VI). Per-rat Dl <sub>50</sub> 90 mg/Kg (Figaruelo,2001)
Ni	Constituye el 0.01% de la corteza terrestre en masa, su mena mas común es la millerita $\text{NiS}$ , se asocia con pirita $\text{FeS}_2$ y calcopirita $\text{CuFeS}_2$ , es un metal plateado que tiene altas conductividades eléctricas y térmicas, su uso principal está en la elaboración de aleaciones, también se usa como catalizador en reacciones de hidrogenación, y en los electrodos de las baterías y celdas de combustión, Algunos compuestos importantes del níquel son $\text{NiO}$ (verde), $\text{NiCl}_2$ (amarillo) y $\text{NiS}$ (negro).	Per-rat Dl <sub>50</sub> 165 mg/Kg (Figaruelo,2001)
Pb	Es un metal que abunda en todo el mundo, sus principales minerales son galena $\text{PbS}$ , cerusita $\text{PbCO}_3$ , y la anglesita $\text{PbSO}_4$ , es un metal suave y maleable, con un lustre blanco azulado cuando esta recién cortado, si esta en contacto con el agua en presencia de aire disuelve cantidades apreciables de plomo en forma de $\text{Pb}(\text{OH})_2$ , Se usa para fabricar soldaduras (Sn - Pb), también para fabricar electrodos de acumuladores eléctricos, otros usos son en la fabricación de municiones militares y deportivas, algunos otros compuestos son utilizados como pigmentos $\text{Pb}_3\text{O}_4$ para pintar acero estructural	Altamente toxico. Per-rat Dl <sub>50</sub> 70 mg/Kg (Figaruelo,2001)
V	Constituye el 0.014% de la corteza terrestre en masa. Existe como vanaditina $\text{Pb}_5(\text{VO}_4)_3\text{Cl}$ y patronita $\text{VS}_4$ . Es un metal brillante bastante suave y dúctil, se usa en las aleaciones de acero, sus compuestos más importantes son $\text{VCl}_4$ , $\text{VO}_2$ .	Ims-rat TD <sub>lo</sub> 340mg/Kg (Lewis Richard , 1992)
Zn	No es un metal abundante (aproximadamente 0.007% en masa en la corteza terrestre) se presenta sobre todo como el mineral esfalerita $\text{ZnS}$ , en estado puro el zinc es duro y quebradizo, se usa principalmente para formar aleaciones (latón), también se usa para dar protección catódica a metales menos electropositivos, el $\text{ZnS}$ se usa en el pigmento Litopón, también se usa en pantallas de televisión osciloscopios y fluoroscopios de rayos X, el $\text{ZnO}$ se usa en el tratamiento del hule, también como base de ungüento y en el cemento.	Elemento esencial, toxico para plantas a altas concentraciones. Inl -hmn TD <sub>lo</sub> 124 mg/m <sup>3</sup> (Lewis Richard, 1992)

Nota: TD<sub>lo</sub>: dosis mínima tóxica, DL<sub>50</sub>: Dosis letal que mataría a la mitad de una población, hmn: administrada a humanos, rat: administrada en ratones, Inl: Vía de administración inhalación, Ims: Vía de administración intramuscular, Per: Vía de administración peritoneo, Orl: Vía de administración oral.

El estudio de metales asociado a sedimentos y agua ha permitido conocer los diferentes procesos que se llevan a cabo en los sistemas acuáticos, así se puede mencionar, los trabajos de:

Cobelo *et al.* (2004), quienes determinaron la influencia antropogénica en el estuario Ferrol de Galicia España, el cual se caracteriza por ser una cuenca semicerrada y albergar distintos centros industriales y urbanos. El presentarse una cuenca semicerrada por parte del estuario, provoca que no haya una adecuada dispersión de los desechos o contaminantes generados por la zona urbana e industrial, los cuales son arrojados al cuerpo de agua sin tratamiento alguno, generando así, sitios de acumulación cercanos a estas zonas; permitiendo al autor presagiar la posibilidad de que metales como el Zn, Cu y Pb se encuentren (en un futuro no muy lejano) biodisponibles para los organismos. Para poder deducir todo lo anterior, tomaron 35 muestras de sedimento superficial del estuario Ferrol, dichos puntos se encontraron distribuidos a lo largo y ancho del estuario; a cada muestra se le determinó la concentración de Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb y Zn, además de otros parámetros como el carbono y nitrógeno orgánico particulado (POC) y (PON), carbono inorgánico particulado (PIC) y ópalo.

Con los datos de metales se usó el factor de enriquecimiento (EF) para comparar las concentraciones encontradas en su área de estudio con respecto a las registradas en la corteza terrestre; Cobelo empleo los rangos del factor de enriquecimiento establecidos por Hakanson (1980), para determinar el grado de contaminación del sedimento, los cuales son los siguientes: ( $EF \leq 2$ ) se considera como bajo o despreciable el grado de contaminación, ( $EF = 2-3$ ) hay un grado moderado de contaminación y ( $EF = 3-6$ ) hay un grado severo de contaminación. Fue así como Cobelo infirió el grado de contaminación del estuario, ya que se encontraron valores del factor de enriquecimiento de 4.7 y 5.5 en Zn y Cu respectivamente. Con mapas de distribución de estos metales, ubicó los lugares donde se ven las posibles fuentes de estos metales, observando que los puntos donde se encontraron los valores altos del factor de enriquecimiento, fueron los cercanos a las zonas industriales y urbanas. También realizó análisis estadísticos utilizando un método llamado de componentes principales para poder inferir los factores que involucran las variables del sistema. En este caso, Cobelo encontró que hay tres factores que influyen en el área, el primer factor lo denominó como materia orgánica, los parámetros medidos de PON Y POC tuvieron una alta correlación estadística; el segundo factor lo nombró componente litogénico, debido a las fuertes correlaciones que hubo entre carbonatos y la fracción lodosa, también encontró que el Cr, Ni y Co tuvieron una fuerte relación con el factor 1 (materia orgánica), sugiriendo que la materia orgánica juega un papel importante en la distribución y acumulación de los metales en el sedimento; mientras que el factor litogénico juega un

papel secundario en la distribución de los metales; por último menciona un tercer factor donde se correlacionan Pb, Cu y Zn que fueron los elementos contaminantes del estuario, los cuales están relacionados con las fuentes de contaminación.

Ohta *et al.* (2005) iniciaron una base de datos geoquímicos, con la finalidad de elaborar mapas de la litología característica de Japón, estos mapas por lo general son utilizados para prospección minera, pero ahora tratan de usarlos como una herramienta en la evaluación ambiental, lo cual no es nuevo porque ya es utilizado por agencias ambientales europeas y estadounidenses. Este tipo de información es valiosa, debido a que permite inferir si la presencia de algún metal pesado se debe a las actividades humanas o se encuentran ahí de manera natural, ayudando así a explicar cualquier alta concentración de algún metal en diferentes sitios de Japón. Para obtener los datos geoquímicos se tomaron 692 muestras de sedimento superficial de ríos y arroyos, se tomó una muestra cada 100 Km<sup>2</sup>, a cada una se le analizaron elementos mayores (MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CaO, MnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), traza (Cr, Ni, Co, Cu, Cd, As, Sr, Sb, Sc Hg, Pb, Ba, Bi, Be, Ga, V y Zn) y algunas tierras raras (Y, La, Nb, Ta, Tl, U, Th), una vez obtenidos los datos, se utilizó la técnica estadística de componentes principales para suponer el tipo de rocas que están aportando los metales, Ohta encontró cuatro factores que le explicaban el 77 % de la variación de todas las muestras, pudiendo deducir lo siguiente: el factor 1 lo llamó granito y rocas volcánicas félsicas, debido a la buena correlación de los elementos alcalinos con Be, Ga, Nb, La, Ta, Tl, Th, U; el factor 2 lo nombró como rocas máficas, por la buena correlación entre MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, TiO<sub>2</sub>, MnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, con Sc, V, Co, Zn, Ga, Sr e Yb; el factor 3 lo denominó depósitos minerales, por las asociaciones de Zn, As, Cd, Sb, Pb y Bi; y por último el factor 4, lo identificó como rocas ultramáficas, debido a la fuerte asociación del MgO, con Cr, Co, Ni y Cu. También, realizó mapas de distribución de K<sub>2</sub>O, Cr, Sc, Th, Cu, Zn, As, Hg y al analizar estos patrones de distribución, encontró anomalías en algunas partes del área de estudio, y sobreponiéndolo con los mapas de la litología, encontró que correspondían esas anomalías con el tipo de roca presente en ese punto, a manera de conclusión el autor resalta la importancia de contar con una base de datos geoquímicos, para que dichos datos sean usados como valores de referencia y así poder tener una herramienta más en las evaluaciones de impacto ambiental.

Farkas *et al.* (2007) evaluaron el grado de contaminación por metales pesados en sedimento superficial del río Po, Italia. En las márgenes del río se encuentran industrias procesadoras

de alimentos, textiles, de papel y otro tipo de industria química, los cuales vierten sus desechos al río Lambro, el cual es tributario del río Po. Farkas muestreó en tres puntos diferentes del río; la primer muestra fue tomada río arriba, lejos de la influencia de las descargas urbanas e industriales y los otros dos puntos fueron ubicados río abajo, una cercana y otra lejana a las descargas urbanas; dicha distribución tuvo la finalidad de tener una muestra que sirviera de referencia (en otras palabras), que no fuera afectada por las actividades humanas de la zona, a cada muestra de sedimento se le determinó el contenido de algunos metales traza (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) y materia orgánica. Una vez obtenidos los resultados, se utilizaron tres criterios diferentes para determinar el grado de influencia antropogénica, el primero se basó en comparar datos obtenidos de un estudio anterior hecho en esa área con los resultados de este trabajo, dicha comparación muestra que sí ha habido un aumento en la concentración de metales, por ejemplo, en el año 96-97 cuando se realizó el trabajo anterior al de Farkas, se encontraron valores de Zn de 139-244 ppm y de Pb valores de 18.5-27.2 ppm; mientras que para este estudio, se registraron valores de 178-645 ppm y 32-98.5 ppm de Zn y Pb respectivamente. El segundo criterio usado fue el de extracción secuencial (el cual permite determinar el estado de oxidación en que se encuentran los metales en el sedimento); debido a la fuerte correlación de Cd, Ni y Pb con la fracción no residual; el autor pudo inferir que dichos metales se encuentran biodisponibles, mientras que el Cu y Zn, se encuentran asociados a otras fracciones como la relacionada con los óxidos o sulfuros. Por último, Farkas usó el índice de geoacumulación (similar al factor de enriquecimiento) el cual permite inferir el grado de influencia antropogénica de los sedimentos, al igual que el factor de enriquecimiento; el índice de geoacumulación clasifica al sedimento como no contaminado ( $I_{geo} \leq 0$ ), no contaminado a moderadamente contaminado ( $0 \leq I_{geo} \leq 1$ ), moderadamente contaminado ( $1 \leq I_{geo} \leq 2$ ), moderadamente a fuertemente contaminado ( $2 \leq I_{geo} \leq 3$ ), fuertemente contaminado ( $3 \leq I_{geo} \leq 4$ ), fuertemente contaminado a extremadamente contaminado ( $4 \leq I_{geo} \leq 5$ ) y extremadamente contaminado ( $I_{geo} \geq 5$ ). Para este trabajo, se clasificó al sedimento como fuertemente contaminado para Cd y moderadamente contaminado para Cu, Pb y Zn. A manera de conclusión, el autor destaca que el uso de cualquiera de los tres métodos es bueno para la evaluación ambiental de sedimentos.

Hyun *et al.* (2007) determinaron los aportes y distribución de metales pesados en sedimento superficial, de Bahía Masan, Korea; la bahía se caracteriza por presentar una circulación

lenta de la masa de agua, lo que genera la deficiencia de oxígeno en la temporada de secas, además de recibir los desechos de la zona urbana e industrial de Masan, lo cual de seguir así –considera el autor- contribuirá a un rápido deterioro de la bahía. Para la realización de este trabajo, se tomaron 56 muestras de sedimento superficial, analizándoles a cada una el tamaño de partícula, carbono total, carbono inorgánico, sulfuro de hidrogeno, metales traza (Cu, Cd, Pb, Mo, Ni, Co, Cr, Zn, V) y elementos mayores (Fe, Mg, K, Ti y Al), una vez obtenidos los resultados, usó el factor de enriquecimiento (EF) para determinar el grado de contaminación de los sedimentos de la bahía; aunque cabe aclarar que Hyun interpretó de manera un poco diferente el valor del factor de enriquecimiento. Él consideró que los metales pueden provenir de fuentes naturales (la litología de la zona) al estar el factor de enriquecimiento entre  $0.5 \leq EF \leq 1.5$  y de fuentes no naturales (contaminación antropogénica) al ser  $EF > 1.5$ ; realizó mapas de distribución para ubicar las fuentes o los lugares donde se encontraron las mayores concentraciones de metales traza. Para poder inferir los factores que involucran las variables del sistema, el autor empleó la técnica estadística de componentes principales, encontrando cuatro grupos; el primer grupo lo llamó elementos relacionados con los carbonatos al estar asociados el Mn, Sr, Ca y Ba; el segundo grupo lo denominó elementos terrígenos conservativos por correlacionarse los elementos como Fe, Mg, K, Ti y Al, los cuales están relacionados con los aluminosilicatos además de ser elementos conservativos; el tercer grupo lo nombró como grupo intermedio de metales pesados, por la correlación entre V, Co, Cr, Li y Ni, algunos de estos elementos se les relaciona con material terrígeno, su presencia puede ser considerada como terrígena o antropogénica; y el cuarto grupo lo identificó como metales derivados de actividades antropogénicas y elementos sensibles a las reacciones de óxido reducción por la asociación de TOC, Pb, Zn, Cu, Cd, Mo. Al encontrar Hyun la asociación de TOC con los metales traza, sugirió que esos metales están siendo controlados por las condiciones anóxicas de la bahía, además de las actividades humanas que se llevan a cabo. A manera de conclusión el sedimento de bahía Masan está impactado por Cu, Cd, Pb y Zn, las mayores concentraciones de metales se encontraron cerca de las desembocaduras de las descargas urbanas e industriales y en la parte más alejada de la bahía al mar.

# Capítulo III.

Á  
r  
e  
a  
d  
e  
s  
e  
u  
t  
s  
e  
u  
t  
s  
e

El área de estudio (Fig.2) se encuentra localizada en las inmediaciones del puerto de Veracruz, siendo éste delimitado de la siguiente manera; al Oeste se encuentran los municipios Manlio Fabio Altamirano, Paso de Ovejas, al Norte la Antigua, al Sur los municipios de Medellín y Boca del Río y al Este el Golfo de México.

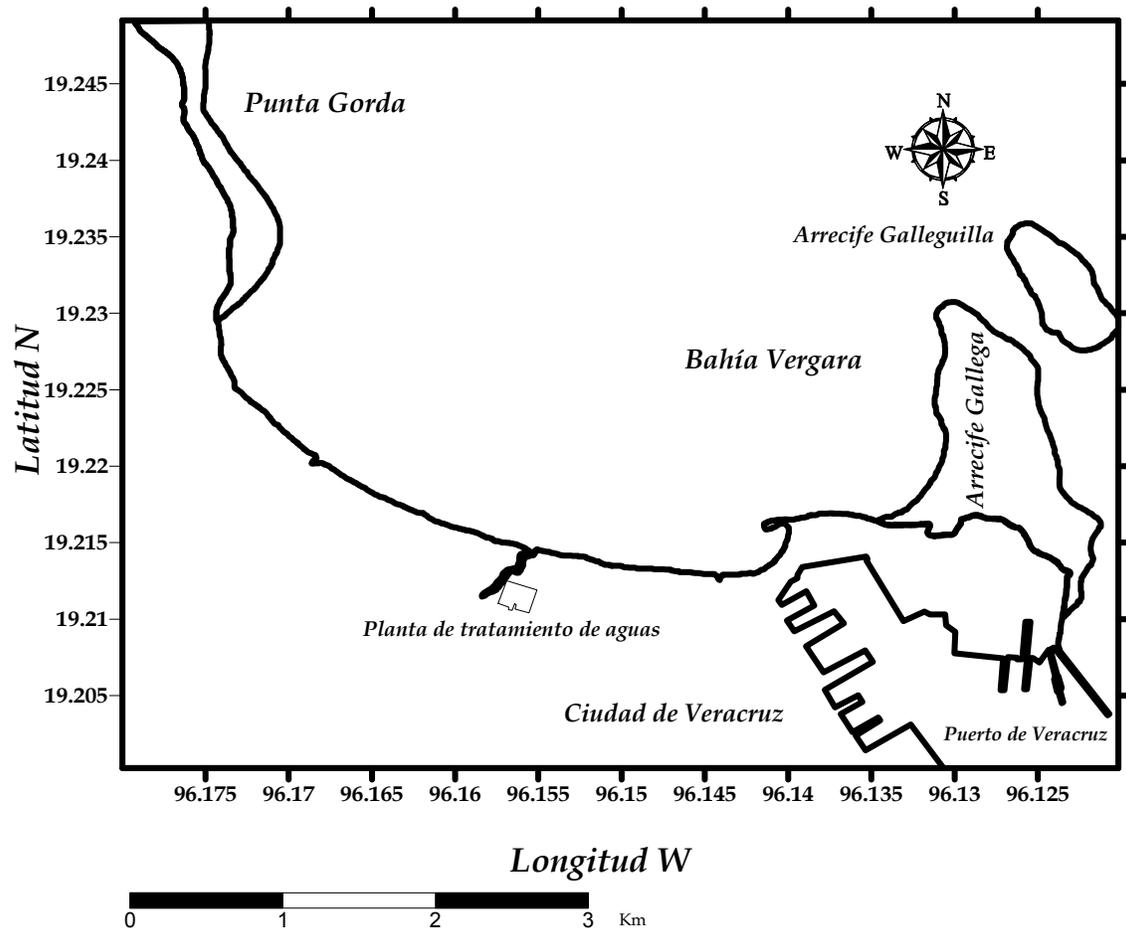


Figura 2. Mapa de Bahía Vergara Veracruz

Bahía Vergara se caracteriza por ser una bahía abierta al mar, lo que permite una adecuada circulación de las masas de agua, la batimetría va aproximadamente desde los 3 m hasta los 20 m (Secretaría de Marina, 1997); en sus alrededores se encuentra la amplia zona urbana, industrial y portuaria de la ciudad de Veracruz, la cual arroja grandes cantidades de desechos por el canal de aguas negras que desemboca en la bahía. Aunque cabe señalar que existe una planta de tratamiento de agua, la realidad es que debido a los grandes volúmenes de agua residual generadas por la zona urbana, una gran parte de esa agua es

arrojada al sistema costero sin recibir tratamiento alguno (Consejo del Sistema Veracruzano del Agua, 2005).

La ciudad de Veracruz es uno de los puertos más importantes del país, es líder nacional en el manejo de mercancías contenerizadas, atiende el 72% de los vehículos automotores de exportación e importación, moviliza el 53% de los graneles agrícolas de México; en otras palabras, el tipo de carga manejado en el puerto se clasifica en carga general suelta, conformada por automóviles, acero, aluminio, cobre, tubos, postes de madera, madera, maquinaria, estructuras, pulpa de papel, alambrón, granel agrícola, comprendido por maíz, sorgo, trigo, soya y salvado de trigo; granel mineral, conformado por fertilizantes, pet coke, arrabio, chatarra; fluidos formados por aceite vegetal, melaza, sebo, metil metacrilato, grasa amarilla, alquilbenceno, aceite de pescado, monómero de estireno, xileno y acetona etc. El puerto de Veracruz no sólo atiende barcos mercantes sino también tiene la capacidad de recibir barcos de pasajeros-cruceros-; en general a nivel nacional maneja el 40 % del total de las operaciones portuarias. En la tabla 4 se muestra el número de operaciones portuarias durante varios años; además de albergar algunas grandes industrias (API, 2005).

Tabla 4. Cantidad de carga manejada en el periodo 2001 – 2005 del puerto de Veracruz

Concepto	2001	2002	2003	2004	2005
Buques operados	1693	1623	1576	1505	1567
Tonelaje manejado	15,163,353	15,755,832	16,255,876	16,127,185	16,747,839
Granel suelto	1,957,450	2,122,595	2,005,911	1,895,435	2,207,303
Granel contenerizado	4,956,866	5,037,663	5,227,330	5,562,593	5,308,888
Granel mineral	1,673,327	1,822,655	2,129,890	2,457,761	2,293,328
Granel agrícola	5,868,369	5,919,648	6,081,880	5,260,555	6,122,799
Fluidos	707,342	853,271	810,864	1,006,440	815,520
Contenedores (TEUS)	543,327	548,422	571,867	591,736	583,394
Vehículos (unidades)	354,319	417,534	490,974	483,244	526,549

Nota: Datos de administración portuaria integral de Veracruz, (programa operativo anual 2005)

En la zona urbana y alrededores de la ciudad de Veracruz se encuentran industrias metalúrgicas, farmacéuticas, azucareras, eléctricas, manufactureras, hotelera, etc. En la tabla 5 se dan los nombres de algunas de ellas; algunas se encuentran concentradas en diferentes parques industriales, y en la tabla 6 se nombran los parques industriales ubicados en el puerto.

Tabla 5. Industrias ubicadas en el puerto de Veracruz y alrededores

Nombre	Municipio	Sistema de operación	Sustancias que produce
Tubos de Acero de México	Veracruz	Fundición	Acero y tubos de acero sin costura
Siderurgica Tamsa	Veracruz	Fundición	Fierro esponja y acero
Aluminio	Veracruz	Fundición	Aluminio en lingotes
Marmolería Carranza S.A.	Veracruz	Labrado	Mármol labrado
Dolomitas y triturados de Tabasco, S.A.	Veracruz	Calcinación	Cemento, cal hidratada y cal dolomítica
Comisión federal de electricidad	Medellín	Ciclo combinado	Generación de electricidad
Ingenio azucarero "El modelo"	La antigua	-	Azúcar
Hoteles	Veracruz	-	Servicios turísticos

Fuentes: Monografía Geológico-minera del estado de Veracruz, Cámara Nacional de la industria Azucarera y alcoholera, Secretaría de energía, 1986

Tabla 6. Parques industriales del puerto de Veracruz

Parque industrial	Ubicación	Industrias	Total de empresas
En operación			
Bruno Pagliai	Veracruz	metal – mecánica, transformación, farmacéutica, comercio, servicios y almacenes	172
Parque 2000	Veracruz	No disponible	No disponible
Business Park	Veracruz	Ligeras y medianas	1
Santa Fé	Veracruz	Metal-mecánica	2

Fuente: Herrera, 2005

Los ríos que podrían influir en el área de estudio son el río Jamapa, (16 km al sur) y el río la Antigua (15 km al norte). El río Jamapa nace en las faldas del Pico de Orizaba en el estado de Puebla y después de recibir el aporte de los ríos Chavaxtla y Boca del Monte, penetra al estado de Veracruz y se une en la parte casi final de su trayecto con el río Cotaxtla o Atoyac, desembocando en la zona conocida como Boca del Río. El área de su cuenca es de 3350 km<sup>2</sup> y su escurrimiento es de 1,895 millones de metros cúbicos. Tanto por su amplitud como por tener alimentación de deshielos, conserva un caudal de estiaje bastante importante (Tamayo 2001).

El río La Antigua nace en el estado de Puebla, entre el Cofre de Perote y el Pico de Orizaba, atraviesa la zona veracruzana de Coatepec y Teocelo, desembocando al norte del Puerto de Veracruz en la barra de la Antigua. El área de la cuenca es de 2880 km<sup>2</sup> (Tamayo, 2001).

Dentro de los límites de Bahía Vergara se encuentran los arrecifes Gallega, Galleguilla y Punta Gorda, los cuales forman parte del sistema arrecifal veracruzano -SAV-.

La litología por donde atraviesa el río la antigua se caracteriza por estar compuesta e rocas ígneas básicas, rocas calizas, y rocas sedimentarias (suelos y conglomerados) (Carta geológica México, 1981).

# Capítulo IV.

M  
e  
t  
o  
d  
o  
l  
o  
g  
í  
a

Para la elaboración del proyecto se distribuyeron en el área de Bahía Vergara 9 puntos de muestreo, -se decidió ese número de estaciones debido a que la bahía se encuentra abierta al mar, por lo que cualquier tipo de embarcación es sujeta a las inclemencias del tiempo y al fuerte oleaje de la bahía, lo que hace difícil su estudio-; se formó una cuadrícula lo más equidistante posible una de otra para cubrir una mayor extensión de la bahía; dicha distribución se muestra en la figura 3. Con la finalidad de observar cualquier cambio estacional en la zona, se realizaron 2 muestreos correspondientes a la temporada de secas (junio) y nortes (noviembre) del 2006.

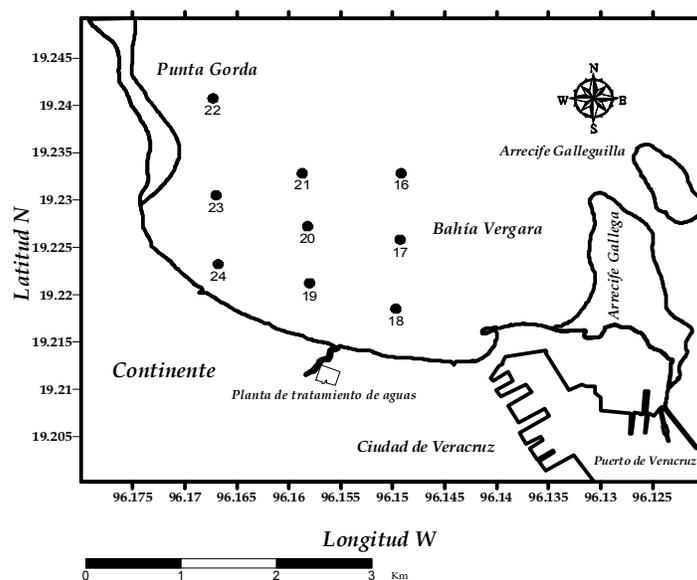


Figura 3. Red de estaciones Bahía Vergara, Veracruz

La metodología utilizada se dividió en dos partes, correspondientes al trabajo de campo y al trabajo de laboratorio.

### Trabajo de campo

Los muestreos se realizaron con la ayuda de la Armada de México, facilitando una embarcación conocida como “Inmensa” y tres personas de tripulación.

La rutina de muestreo en cada estación consistió en:

1. Localización de las estaciones. Para ubicar las estaciones se utilizaba el GPS (Global position System) que indica latitud y longitud.
2. Posicionar la embarcación en el lugar.
3. Registrar en la hoja de control, hora, latitud y longitud del sitio seleccionado.

4. Medición de profundidad con una pistola láser, registrándose el dato en la hoja de control.
5. Medición de los parámetros fisicoquímicos (salinidad, temperatura, oxígeno) mediante una sonda marca Hidrolab, tomando lecturas en superficie y fondo de la columna de agua, registrándose los datos en la hoja de control.
6. Recolección del agua de superficie y fondo, utilizando una botella Niskin.
7. Recolección del sedimento superficial por medio de una draga Van Veen, (se submuestreó el primer centímetro de sedimento).
8. El último paso fue guardar las muestras tanto de agua y sedimento en una hielera, manteniendo las muestras en refrigeración, hasta la realización de los análisis.

### **Trabajo de laboratorio**

En la figura 4 se muestra de manera resumida los distintos métodos empleados.

Las muestras de agua fueron filtradas en filtros de nitrocelulosa marca MILLIPORE de 0.45  $\mu\text{m}$  y con ácido nítrico suprapur se ajustaron a pH de 2. Para posteriormente medir las concentraciones de Cr, V, Ni, Zn, Pb y Cu, con un espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito.

Todas las muestras de sedimento fueron secadas en una estufa a 50 °C por dos días, una vez secas se separó una parte de la muestra para los análisis granulométricos, mientras que la otra parte fueron molidas en un molino SPEX 8000MIXER/MILL, para finalmente ser depositadas en bolsas de plástico de 10 x 15 cm y etiquetadas con nombre del proyecto y número de muestra; una vez hecho los pasos anteriores, se tomaba el sedimento molido y seco para realizar los análisis de carbono orgánico, carbonatos, elementos traza, elementos mayores y elementos biodisponibles.

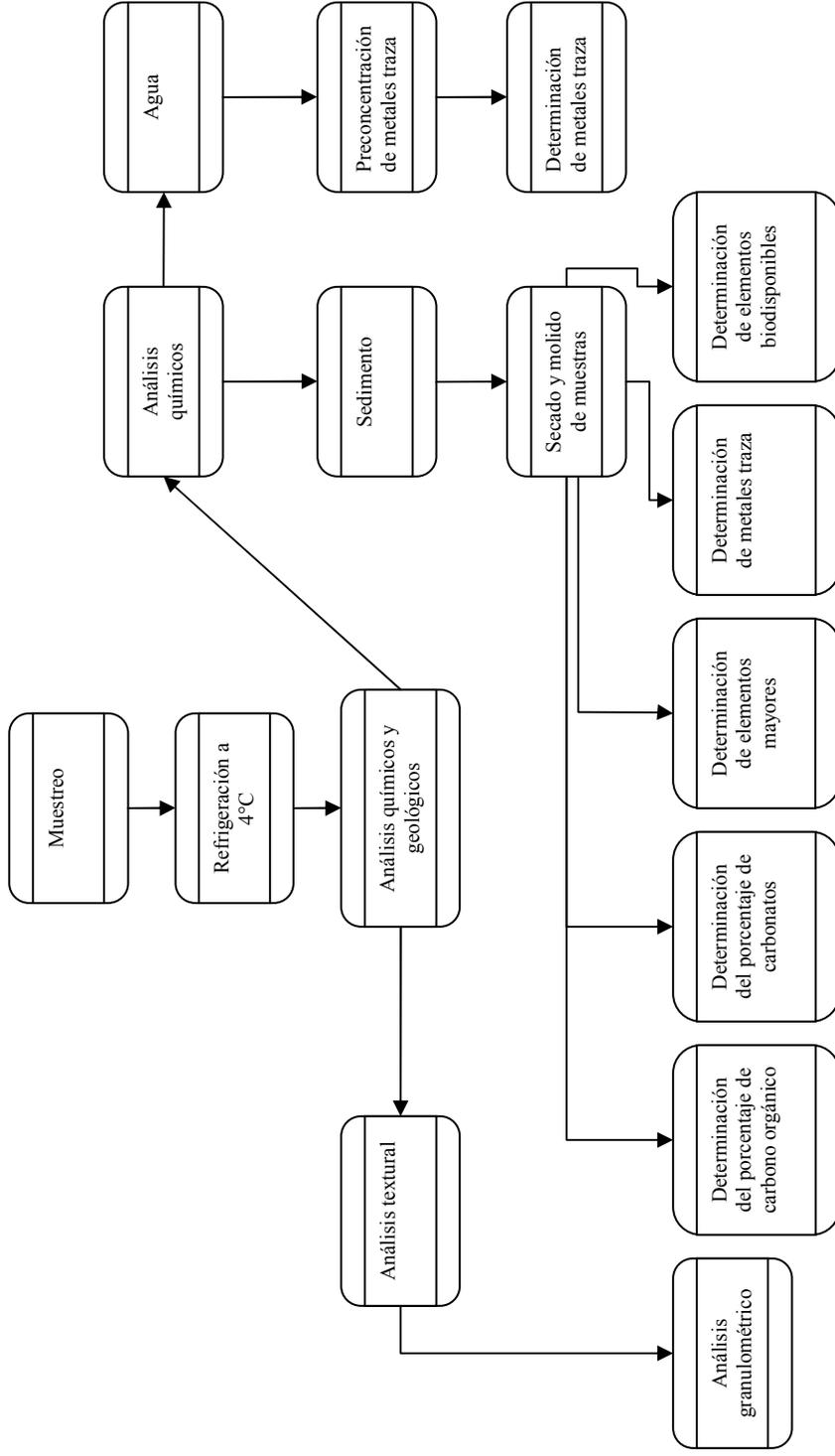


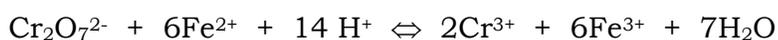
Figura 4. Diagrama general de los métodos empleados.

## Determinación de carbono orgánico en sedimento

Fundamento:

Este procedimiento diferencia materia húmica de otras fuentes de carbono inorgánico, se basa en la reacción de oxidación de la materia orgánica del sedimento, con dicromato de potasio  $K_2Cr_2O_7$  y ácido sulfúrico  $H_2SO_4$  concentrado que genera una reacción exotérmica, posteriormente el exceso de dicromato de potasio es titulado con  $FeSO_4NH_4$  0.5 N

La reacción que se lleva a cabo es la siguiente:



El método presenta algunas desventajas, por la presencia de compuestos inorgánicos que consumen dicromato tales como  $CaCO_3$ ,  $Cl^-$  solubles,  $Fe^{3+}$ , carbono elemental y óxidos de manganeso.

Los efectos de estas interferencias fueron evaluados por Walkley (1947) y Okuda (1964) (citados por Rosales, 1980) quienes demostraron que el ión cloruro interfiere en la oxidación de la materia orgánica con el dicromato de potasio, reduciendo al ión cromato y originando un error positivo; propusieron el uso de  $H_3PO_4$ , el cual volatiliza la mayoría de los iones cloruro como  $HCl$  y reduce los halógenos restantes a un nivel aceptable ( $<0.1mg$  de  $Cl^-$ ), en trabajos recientes Loring y Rantala (1992), usaron también  $H_2SO_4$  concentrado con sulfato de plata para eliminar las interferencias de los iones cloruro, la interferencia por iones férricos que al igual que los cloruros consume ión dicromato, se elimina con la adición de fluoruro de sodio ( $NaF$ ) en la mezcla de digestión por último los óxidos de manganeso se eliminan con ácido fosfórico, el cual forma fosfatos de manganeso los cuales son insolubles.

## Procedimiento

1. Pesar entre 0.2 y 0.5 g de sedimento seco y molido (la cantidad de muestra está en función del contenido de carbono orgánico, se coloca 1.0 gr de sedimento en muestras que tienen menos de 1% de carbono orgánico).

2. Colocar la muestra de sedimento en un matraz erlenmeyer de 500 mL y adicionar 5 mL de una solución de dicromato de potasio 1 N (medidos con pipeta volumétrica) y mezclar.
3. Agregar 10 mL de una mezcla de ácido sulfúrico concentrado  $H_2SO_4$  y sulfato de plata  $Ag_2SO_4$  (2.5 g de  $Ag_2SO_4$  por cada litro de  $H_2SO_4$ , es importante mezclar los reactivos con el sedimento de tal forma que no quede sedimento adherido a las paredes del recipiente y que no reaccione con los reactivos).
4. Dejar la muestra por 30 minutos y aforar a 100 mL con agua bidestilada.
5. Agregar 5 mL de ácido fosfórico  $H_3PO_4$  al 85 %, 0.1 g de fluoruro de sodio NaF y 8 gotas del indicador (difenilamina).
6. Titular con una solución de sulfato ferroso amoniacal 0.5 N. El color vira de café verdoso – verde azul oscuro y en el punto de equivalencia pasa a un verde brillante.
7. Correr un blanco de referencia exactamente igual, pero sin sedimento.

Cálculos:

$$\% \text{ Carbono orgánico} = \left[ \frac{(5)(1.0 \text{ N})(0.003)(100)}{W} \right] \left[ 1 - \frac{T}{S} \right]$$

T = mL de sulfato ferroso amoniacal  $FeSO_4NH_4$  gastado en la titulación de la muestra.

S = mL de sulfato ferroso amoniacal  $FeSO_4NH_4$  gastado en la titulación del blanco.

W = peso de la muestra (g)

0.003 = 12/4000 = peso meq del carbono.

1.0 N = Concentración de la solución de dicromato de potasio  $K_2Cr_2O_7$

5 mL = Alícuota de la solución de dicromato de potasio  $K_2Cr_2O_7$

### Estandarización

Para estandarizar el método -tabla 7-, se evaluó la exactitud y precisión con dextrosa  $C_6H_{12}O_6$ .

Para la exactitud, se pesaron 10 mg de dextrosa 10 veces. En el cálculo, se considera el valor teórico reportado para 10 mg es de 39.99% de carbono orgánico. Para determinar la precisión se analizó la cantidad de carbono orgánico total en una misma muestra 10 veces.

Tabla 7. Estandarización de carbono orgánico

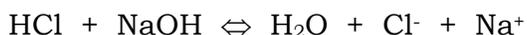
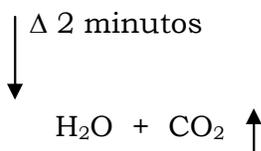
Valor promedio	39.27 %
Valor esperado	39.99 %
% recuperación	98.90 %
IC	+/- 0.3
Desviación estándar	0.283
Coefficiente de variación	0.72%
n = 10	

### Determinación del contenido de carbonato de calcio en sedimento por titulación

Fundamento:

La técnica para la determinación del carbonato de calcio en sedimento marino, se basa en el principio de una titulación por retroceso, donde a la muestra de sedimento se le agrega un cierto volumen en exceso de ácido clorhídrico de concentración conocida y el ácido que no reacciona con los carbonatos se titula con una solución de hidróxido de sodio (Hesse, 1971).

Reacciones que se llevan a cabo



Al restar la cantidad de ácido que no reaccionó de la cantidad que adicionamos, obtendremos la cantidad de ácido que fue consumido por el total de los carbonatos existentes en la muestra de sedimento (Hesse, 1971)

### Procedimiento

1. Pesar por duplicado 0.2 g de sedimento seco y molido.
2. Agregar 50 mL de ácido clorhídrico 0.1N (previamente titulado contra carbonato de sodio como patrón primario) y calentar a ebullición. Dejar enfriar, de esta forma se elimina el dióxido de carbono.
3. Titular con una solución de hidróxido de sodio 0.3N (previamente titulado contra biftalato de potasio como patrón primario) usando como indicador azul de bromotimol cuyo pH de vire es de 6.0 – 8.6 y la solución cambia de amarillo a azul, lo cual indica que se ha llegado al punto final.
4. Correr tres blancos bajo las mismas condiciones de las muestras.

### Cálculos:

En la determinación se están cuantificando todos los carbonatos, pero como los de calcio son los que se encuentran en mayor concentración, se reportan y calculan como si fuese carbonato de calcio.

$V_{\text{Blanco}}$  = volumen de NaOH gastado al punto de equivalencia de la determinación en el blanco (mL)

$V_{\text{muestra}}$  = volumen de NaOH gastado al punto de equivalencia de la muestra (mL)

N = normalidad de la solución de hidróxido de sodio

meq = miliequivalentes de carbonato de calcio = 0.050

W = peso de la muestra de sedimento (g)

$$\% \text{CO}_3 = \frac{(V_{\text{Blanco}} - V_{\text{muestra}}) \times N_{\text{NaOH}} \times \text{meq CO}_3^{2+}}{W_{\text{muestra}}} \times 100$$

## Estandarización

Para evaluar el método de determinación de carbonato de calcio en sedimento marino, se evaluó la precisión analizando la cantidad de carbonatos en una misma muestra -tabla 8-. La exactitud, se determina pesando 0.2 g de carbonato de calcio previamente secados a 110°C por 1 hora, realizando el mismo procedimiento para las muestras.

Tabla 8. Estandarización de carbonatos

Valor promedio	97.38 %
Valor esperado	100 %
% recuperación	98.90 %
IC	+/- 0.3
Desviación estándar	0.81
Coefficiente de variación	0.84 %
n = 10	

## Análisis de elementos mayores por fluorescencia de rayos X

Fundamento:

La espectroscopía de rayos X, al igual que la óptica, se basa en la medida de la emisión, absorción, dispersión, fluorescencia y difracción de la radiación electromagnética. Los métodos de fluorescencia de rayos X y absorción de rayos X son muy utilizados para la determinación cualitativa y cuantitativa de todos los elementos de la tabla periódica con números atómicos superiores al del sodio (Skoog, 2001).

Los elementos que se determinaron fueron los siguientes: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO, SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, MnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, Na<sub>2</sub>O, y P X C (pérdida por calcinación). Los análisis se mandaron a realizar al Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (LUGIS) en el Instituto de Geología de la UNAM.

La exactitud de los resultados -tabla 9- fue evaluada con el estándar certificado AGV-1, emitido por el USGS (United Status Geological Service).

Tabla 9. Exactitud para el estándar certificado AGV -1

Elementos	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>t</sup>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	PXC	Suma
porcentaje	58.82	1.04	16.67	6.77	0.09	1.54	4.94	4.18	2.95	0.51	0	97.51

Nota: PXC = pérdida por calcinación y t = total.

**Análisis de elementos traza por EAA (Espectroscopía de absorción atómica)**

Fundamento:

En la espectroscopía óptica, los elementos presentes en una muestra se convierten en átomos o iones elementales en estado gaseoso, por medio de un proceso denominado atomización. De esta manera, se mide la absorción ultravioleta / visible, la emisión o la fluorescencia de las especies atómicas en el vapor (Skoog, 2001).

Para evitar cualquier tipo de contaminación proveniente del material utilizado, se realizan los siguientes procedimientos de lavado de material, según sea el equipo de flama o de horno; la diferencia en el proceso de lavado es debido a la sensibilidad de cada equipo.

**Proceso de lavado del material –vidrio y plástico- para:**

Absorción atómica por flama:

1. Lavar con EXTRAN al 20 %.
2. Enjuagar con agua.
3. Dejar sumergido el material durante 20 minutos en ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) al 30%.
4. Enjuagar con agua destilada.
5. Enjuagar con agua tipo I (resistividad 18.2  $\text{M}\Omega$  cm).

Absorción atómica por horno de grafito:

1. Lavar con EXTRAN al 20 %.
2. Enjuagar con agua.
3. Lavar en equipo de ultrasonido con HCl al 30 % durante 20 minutos.
4. Enjuagar en equipo de ultrasonido con agua destilada durante 20 minutos.
5. Lavar en equipo de ultrasonido con  $\text{HNO}_3$  al 30 % durante 20 minutos.
6. Enjuagar en equipo de ultrasonido con agua bidestilada durante 20 minutos.
7. Enjuagar con agua suprapur en un equipo de ultrasonido durante 20 minutos.

Una vez lavado todo el material a utilizar, las muestras de agua o sedimento se trataron con los siguientes procedimientos:

### **Extracción de metales en sedimento para absorción atómica por flama**

Fundamento:

Se basa en la descomposición total del sedimento, a través del uso de ácido fluorhídrico en combinación con ácidos oxidantes concentrados tal como el agua regia -mezcla de ácido nítrico y clorhídrico-, ya que el ácido fluorhídrico es el único ácido que disuelve completamente las estructuras minerales de los silicatos y libera los metales asociados tales como aluminio, hierro y litio (Loring y Rantala 1992).

Procedimiento:

1. Pesar 0.5 g de sedimento (seco y molido) y vaciarlo en una bomba de teflón.
2. Adicionar los siguientes reactivos: 10 mL de H<sub>2</sub>O, 4 mL de HF concentrado, 1 mL de HCl concentrado.
3. Tapar herméticamente.
4. Digerir las muestras en el horno de microondas bajo las siguientes condiciones:

Tabla 10. Programa para digestión de sedimentos

	<b>Paso A</b>
Potencia (%)	100
Temperatura (°C)	200
Tiempo (min.)	40
TAP (min.)	20

Nota: El tiempo presentado en la tabla de las condiciones del horno de microondas MARSXPRESS, es el tiempo suficiente en llegar a la presión indicada, mientras que el TAP es el tiempo que permanece en la presión indicada.

5. Después de pasar el tiempo de digestión y enfriar los vasos, vaciar el contenido de la bomba a matraces aforados de 25 mL de NALGENE que contengan 2 g de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ).
6. Aforar con agua bidestilada y agitar.
7. Vaciar la muestra a un tubo de NALGENE para centrifugadora y centrifugar a 60 rpm durante 5 minutos.
8. Decantar la muestra y transferirla a un frasco de polietileno limpio, etiquetar y refrigerar hasta su análisis.
9. Se digiere un blanco de reactivos, es decir se sigue el mismo procedimiento pero sin muestra.

### **Extracción de la fracción biodisponible**

Fundamento:

Se basa en una digestión suave usando un ácido débil (ácido acético al 25%), para tratar de simular las condiciones en la que reaccionarían los metales traza adsorbidos por las partículas en el sedimento, los cuales estarían fácilmente disponibles para ser asimilados por los organismos.

Al realizarse este tipo de ataque se asegura sólo la liberación de los elementos traza que se encuentran biodisponibles, dejando intactos a los otros metales atrapados en la red cristalina de los minerales, los cuales para ser liberados requerirían condiciones más severas (Loring y Rantala, 1992).

Procedimiento:

1. Pesar 2 g de sedimento
2. Verter el sedimento en un tubo de propileno para centrifuga de 50 mL.
3. Pesar tubo con muestra y registrar el peso.
4. Adicionar 25 mL de ácido acético al 25 %.
5. Tapar el tubo y agitar durante 6 hr.
6. Centrifugar durante 10 min. a 2500 rpm.
7. Verter la fase líquida de HOAC dentro de un matraz volumétrico de 50 mL.
8. Lavar el sedimento residual con 10 mL de agua suprapur y agitar por 30 min.

9. Centrifugar por 10 minutos a 2500 rpm.
10. Verter la fase líquida de agua de lavado al matraz y finalmente aforar a 50 mL.
11. Secar el tubo con sedimento residual a 105 °C.
12. Esperar a que se atempere el tubo con muestra y pesar.
13. Calcular el porcentaje por pérdida de peso de la fracción residual.

Nota: No hay material de referencia certificado para validar este método.

**Extracción de metales traza en agua de mar para analizar mediante absorción atómica por horno de grafito.**

FUNDAMENTO:

Se basa en la formación de complejos del metal con pirrolidin ditiocarbamato de amonio/ditiocarbamato de sodio y su extracción con un solvente orgánico. El sistema pirrolidin ditiocarbamato de amonio/ditiocarbamato de sodio y la di-isobutil cetona (APDC/NaDDC y DIBK) permite la extracción de varios elementos en una extracción única. El uso de una solución de mercurio (II) permite con el agente complejante APDC/NaDDC (pirrolidinditiocarbamato de amonio/ dietil ditiocarbamato de sodio) extraer la mayoría de los metales traza comunes de importancia ambiental. Además, la extracción con la solución de mercurio (II) (100 ppm) no provoca interferencias con la técnica de espectrofotometría debido a su volatilidad. Este método permite disminuir las interferencias causadas por la matriz salina más compleja y la detección de concentraciones bajas del metal (Batterham, 1996).

## Procedimiento:

1. Tomar 80 mL de agua de mar.
2. Ajustar pH del agua de mar a 4.5 con Buffer de acetato de amonio.
3. Adicionar 100  $\mu$ L de APDC/NaDDC.
4. Adicionar 5 mL de DIBK (fase orgánica).
5. Agitar por 10 minutos a 300 rpm.
6. Dejar reposar por 5 minutos la solución.
7. Separar fase orgánica y eliminar la fase acuosa.
8. Tomar 4.5 ml de la fase orgánica.
10. Pasar la fase orgánica a un tubo de centrifuga de NALGENE, el cual contendrá 1 mL de solución de nitrato de mercurio (cuya concentración es de 100 ppm)
11. Agitar por 2 minutos en un vortex.
12. Dejar reposar la solución por 2 minutos.
13. Desechar capa superior (fase orgánica).
14. Tomar 0.9 mL de la capa inferior (fase acuosa) para su almacenamiento para su posterior análisis.
15. Analizar muestra por horno de grafito.

Una vez preconcentradas las muestras de agua y digeridas las de sedimento, se prepararon las condiciones de trabajo para leer cada elemento en los espectrofotómetros de absorción atómica de flama, marca THERMO ELECTRON CORPORATION modelo S SERIES AA SPECTROMETER y de horno de grafito, marca VARIAN modelo SPECTRA AA-100. Como se muestra en las tablas 11 y 12.

Tabla 11. Condiciones del espectrofotómetro de absorción atómica de flama

	V	Cr	Ni	Zn	Cu	Pb
Corriente de lámpara (mA)	20	7	4	5	4	5
Gas	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> – N <sub>2</sub> O	Aire – C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>				
Longitud de onda (nm)	318.5	357.9	232.0	213.9	324.7	217.0
Abertura (nm)	0.5	0.5	0.2	0.2	0.5	1.0
Rango de trabajo (ppm)	17.6 - 176	1.1- 11.0	1.76– 17.6	0.17–1.76	0.66 – 6.6	2.2
Sensibilidad para 0.4 abs. (ppm)	40	5	5	1	3.5	22

Tabla 12. Condiciones del equipo de absorción atómica por horno de grafito

	V	Cr	Ni	Zn	Cu	Pb
Longitud de onda, $\lambda$ (nm)	318.5	217.0	232.0	213.9	324.8	217.0
Ancho de apertura (nm)	0.2	1.0	0.2	0.2	0.5	1.0
Corriente de lámpara (mA)	20	7	4	10	4	4
Tipo de medición	Área de pico	Área de pico	Área de pico	Área de pico	Área de pico	Área de pico
Corrector de fondo	No	Si	Si	Si	Si	Si
Modificadores empleados	Pd 1000ppm	Pd 1000ppm	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> al 10%	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 100 $\mu$ g	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> al 10%	Pd 1000ppm
Volumen de modificadores	10 $\mu$ L c/u	10 $\mu$ L c/u	10 $\mu$ L c/u	10 $\mu$ L c/u	10 $\mu$ L c/u	10 $\mu$ L c/u
Volumen de muestra ( $\mu$ l)	10	10	10	10	10	10
Temperatura máxima de calcinado (°C)	1000	1400	1000	700	1000	1000
Temperatura de atomizado (°C)	2800	2600	2450	1100	2350	2150
Gas	Mezcla Ar-H <sub>2</sub>	Mezcla Ar-H <sub>2</sub>	Ar	Ar	Ar	Mezcla Ar-H <sub>2</sub>

**Cálculos:**

Para obtener la concentración del elemento a partir de la concentración del equipo, se aplica la siguiente fórmula a cada muestra.

$$M_{(\text{ppm})} = \frac{M^*_{\left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)} \times \text{aforo}_{(\text{mL})} \times \text{dilución}}{\text{masa de muestra}_{(\text{g})}}$$

M\* = concentración del metal en mg/L obtenida en el equipo. A esta concentración se le resta el blanco.

M = concentración del metal en el sedimento en ppm (mg/Kg).

### Estandarización de los métodos analíticos

Para estandarizar los métodos utilizados en el procesamiento de sedimento y agua de mar se utilizaron los siguientes estándares certificados: sedimento marino NRC-CNRC MESS-3, Hiss-1. Por otra parte se hizo una adición de estándar a una muestra de agua de mar con concentraciones de 0.5 ppb de los siguientes metales: Cu, Ni, Zn, V, Cr y Pb, a partir de diluciones de una solución estándar CERTIPUR MERCK de 1000 ppm, cada estándar certificado se procesó bajo las mismas condiciones que las muestras. Los resultados de los porcentajes de recuperación se muestran en las tablas 13 y 14.

Tabla 13. Porcentaje de recuperación en sedimento para los estándares MESS-3 y HISS-1

Elemento	Estándar certificado	% de recuperación
V	MESS-3	102.0
Cr	MESS-3	101.7
Ni	MESS-3	102.3
Zn	MESS-3	97.9
Cu	MESS-3	102.5
Pb	HISS-1	102.9

Tabla 14 .Porcentaje de recuperación para agua de mar

Elemento	Estándar	% de recuperación
V	Adición de estándar	93.9
Cr		N.V.
Ni	Adición de estándar	95.2
Zn		NV
Cu	Adición de estándar	94.9
Pb	Adición de estándar	112.0

Nota: N.V. no validado

### **Análisis granulométrico**

El análisis granulométrico se realizó en el laboratorio de Geología Marina del ICMYL, y se utilizó un equipo de difracción láser Coulter modelo LS230 (small volume modulo plus).

El equipo puede detectar tamaños de partícula de 0.4  $\mu\text{m}$  (arcillas) hasta 2000  $\mu\text{m}$  (arena gruesa). En el caso de que una muestra presente gravas, se tamiza y separarán las gravas de las arenas, limos y arcillas, para ser cuantificadas al final; mientras la otra parte es analizada en un Coulter LS 230, reajustándose los valores obtenidos con el porcentaje de gravas de la muestra.

Para ser analizada una muestra en dicho equipo, se toma una pequeña porción (5 g), lo más homogénea, con la finalidad de tomar una parte representativa de toda la muestra, esa porción se coloca en un vaso de precipitados de 50 mL, con una solución de dispersante de hexametáfosfato de sodio (100 g en un litro de agua destilada), dejando interaccionar el dispersante con el sedimento un tiempo de 1 día para que se disgreguen así todas las partículas, transcurrido ese tiempo se agita y homogeniza la muestra, para después con una pipeta pasteur, se tome una pequeña cantidad para ser adicionada al instrumento. Posteriormente el equipo indicará la cantidad de muestra aceptable, para que pueda iniciar el análisis de tamaño de partículas.

Una vez analizada la muestra, el equipo manda la información a la computadora y transforma la información detectada en una gráfica (% de volumen de muestra vs. diámetro de partículas), señalando también un listado de porcentajes de tamaño de partículas detectados, además de otros parámetros utilizados en sedimentología, como tamaño gráfico promedio, desviación estándar, grado de asimetría y curtosis.

### Tratamiento estadístico de la información

Una vez obtenidos los resultados de granulometría, porcentaje de carbono orgánico, porcentaje de carbonatos, elementos mayores y metales traza, se les calculó a cada uno de ellos, el promedio, máximo, mínimo, desviación estándar, y coeficiente de variación -presentados en la tabla 15- de cada uno de los muestreos realizados.

Tabla 15. Fórmulas estadísticas

Nombre	Fórmulas
Promedio	$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N}$
Desviación estándar	$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$
Máximo	Valor máximo de la muestra
Mínimo	Valor mínimo de la muestra
Coeficiente de variación	$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100$ $\sigma = S \text{ Desviación estándar}$

### Correlación de Pearson.

El tipo más ampliamente utilizado de coeficiente de correlación es Pearson r, también llamado correlación lineal o del producto-momento. El coeficiente de correlación determina el grado en el cual los valores de dos variables son “proporcionales” el uno al otro. Para este estudio se utilizó el programa Excel de office, para realizar las gráficas y la estadística básica presentadas en este trabajo.

### Análisis de varianza

El análisis de varianza se basa en una descomposición o partición aritmética de la “suma de cuadrados” (suma de los cuadrados de las desviaciones de los valores de la muestra y la media de la misma); esta técnica permite inferir el efecto de un factor -temporalidad- sobre un objeto de estudio -sedimento, agua-.

# Capítulo V.

NO QUEREMOS VER A

## Batimetría

Se puede considerar a la zona estudiada de Bahía Vergara como relativamente somera, debido a que en todas las estaciones se ubicaron a una profundidad menor a los 20 m, siendo el valor máximo de 17.5 m en la parte noreste y el mínimo de 3.5 m ubicado en la parte sur de la bahía figura 5. Estas características batimétricas, como se verá más adelante, influyen tanto en los parámetros fisicoquímicos como en la distribución del sedimento y algunos otros parámetros aquí estudiados.

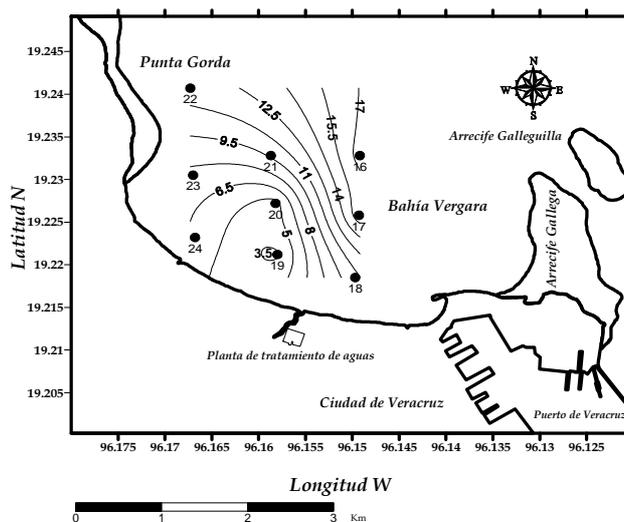


Figura 5. Batimetría del área de estudio (m)

## Salinidad y Temperatura

En mar abierto algunos parámetros fisicoquímicos, tales como la salinidad y la temperatura son considerados parámetros conservativos, debido a que solamente son afectados por procesos físicos (evaporación, precipitación, la circulación de los vientos) por lo cual éstos son utilizados generalmente en oceanografía como trazadores de masas de agua, siendo de esta manera una forma de dar seguimiento a los movimientos del agua a lo largo del océano (Libes, 2000).

La zona costera es un sitio muy dinámico, debido a que es la frontera entre el continente y los mares; los parámetros como la salinidad y la temperatura, no presentan ese comportamiento conservativo (Libes, 2000), por lo que en este proyecto no se podría hablar de una masa de agua característica que se encuentre en la zona de estudio; pero un parámetro como la salinidad permite reconocer la influencia del agua dulce aportada por los ríos u otra fuente a la zona costera; por otra parte, la temperatura permite inferir qué tan mezclada se encuentra la columna de agua.

En las figuras 6 a, b, c y d, se observan dos capas distintas en la columna de agua, debido a la diferencia de salinidad en la superficie con respecto al fondo (tabla 16) los valores mayores de salinidad se encontraron en el fondo, mientras que los menores se ubicaron en la superficie; lo cual permite inferir la presencia de dos capas distintas de agua; al haber dos capas de agua sugiere la presencia de agua dulce, la cual es aportada por los desagües de drenaje ubicados a lo largo del área de estudio y la posible influencia del río La Antigua localizado a 15 km al norte de Bahía Vergara. Estos afluentes producen una dilución de la salinidad en las zonas cercanas a la costa, disminuyendo su influencia ligeramente conforme se adentra a mar abierto, esto es visto claramente en la figura 6c.

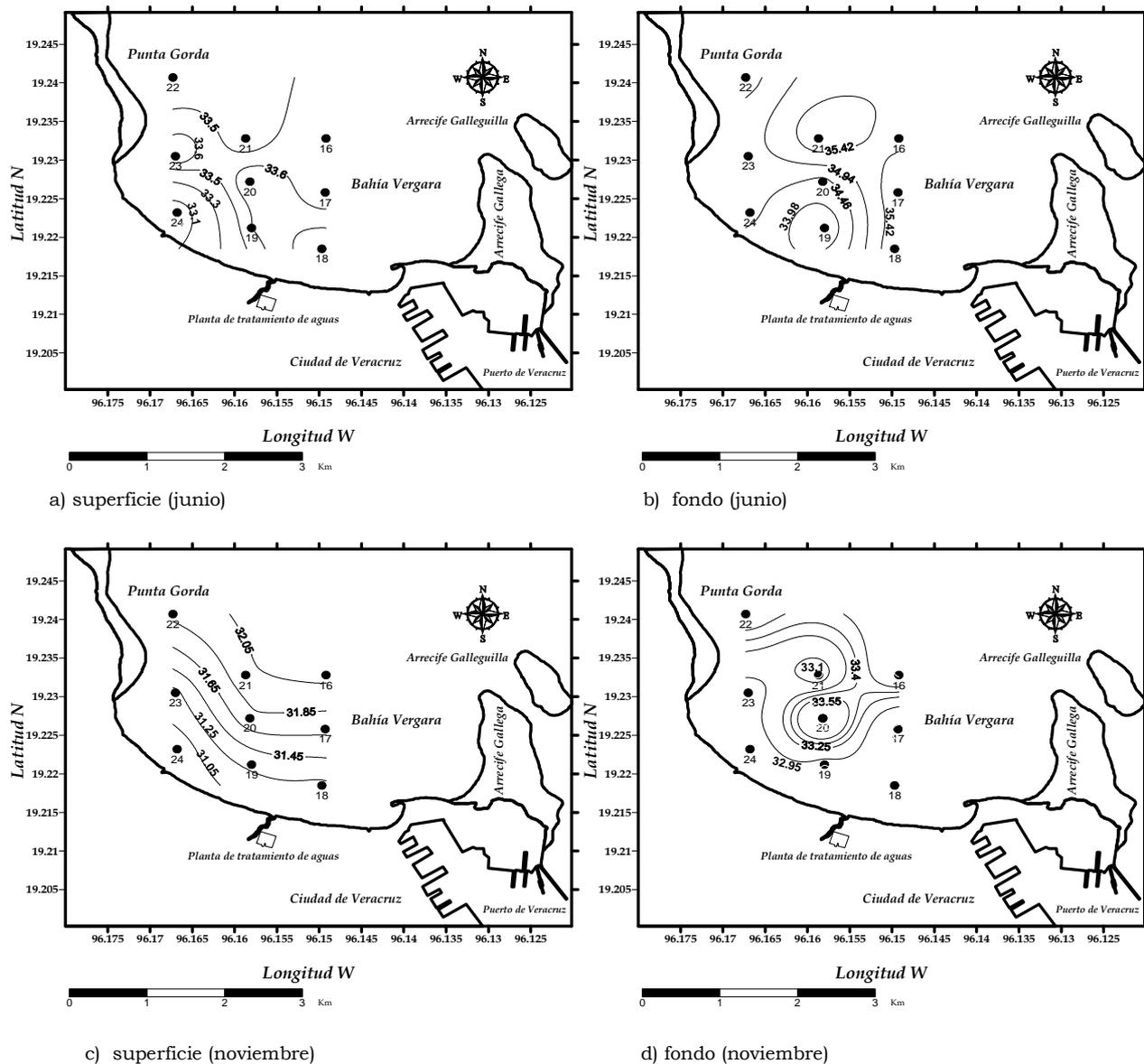


Figura 6 a, b, c, d. Salinidad en agua de superficie y fondo en los meses de junio y noviembre

Tabla 16. Anovas de salinidad en agua de superficie y fondo en los meses de junio y noviembre

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F <sub>o</sub>
Superficie y Fondo	1	8.96	8.96	22.9
Error	16	6.39	0.39	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	15.35		<b>F<sub>o</sub>&gt;F<sub>t</sub></b>
H <sub>o</sub> = S.S. = S.F. H <sub>n</sub> = S.S. ≠ S.F.	Al ser F <sub>o</sub> >F <sub>t</sub> , se rechaza H <sub>o</sub> y se acepta H <sub>n</sub> .			

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F <sub>o</sub>
Superficie y Fondo	1	10.71	10.71	31.5
Error	16	5.41	0.34	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	16.15		<b>F<sub>o</sub>&gt;F<sub>t</sub></b>
H <sub>o</sub> = S.S. = S.F. H <sub>n</sub> = S.S. ≠ S.F.	Al ser F <sub>o</sub> >F <sub>t</sub> , se rechaza H <sub>o</sub> y se acepta H <sub>n</sub> .			

junio

Nota. S. S. = salinidad en superficie y S. F. = salinidad en fondo, H<sub>o</sub>= hipótesis nula y H<sub>n</sub> = hipótesis alterna, F.V. = Fuente de variación, G.L.= Grados de libertad, S.C. = Suma de cuadrados, C.M. = Cuadrado medio.

noviembre

En la tabla 17 se observa que la salinidad promedio en los meses de junio y noviembre, para la superficie fue de 33.5 ups y 31.6 ups, mientras que en el fondo fue de 34.9 ups y 33.1 ups, la alta salinidad en el mes de junio (considerado como parte de la temporada de secas en la zona de estudio), sugiere que la elevada salinidad se deba a un aumento en los procesos de evaporación por ser la temporada de secas, mientras que la disminución de la salinidad en el mes de noviembre (considerado como parte de la temporada de nortes de la región; la cual, además de presentar fuertes vientos, puede venir acompañado de lluvias) sugiere un incremento en procesos de precipitación, los cuales sumados a la influencia de las descargas de agua dulce, provoca una disminución en la salinidad.

Tabla 17. Comparación entre salinidad en agua de superficie y fondo en los meses de junio y noviembre

Salinidad (ups)	junio (sup.)	noviembre (sup.)	junio (fon.)	noviembre (fon.)
Promedio	33.5	31.6	34.9	33.1
Máximo	33.8	32.1	35.9	34.3
Mínimo	32.8	30.9	33.5	32.2
Desv. Std.	0.30	0.42	0.84	0.70
C.V.	0.88	1.34	2.42	2.13

En las figuras 7 a, b, c y d. Se observa que la influencia de calentamiento de la columna de agua por irradiación solar, llega hasta el fondo del sistema, ocasionando que se encuentre muy poca variación en la temperatura de la superficie y del fondo del área de estudio -confirmado por la tabla 18-; esto probablemente sea debido a la poca profundidad de las estaciones de la red de muestreo, las cuales se encuentran en un rango menor a los 20 m; siendo estas condiciones batimétricas, las que permitan un calentamiento homogéneo de la columna de agua, ya que al ir aumentando la profundidad, la influencia de la irradiación solar irá disminuyendo, provocando ésto un descenso en la temperatura.

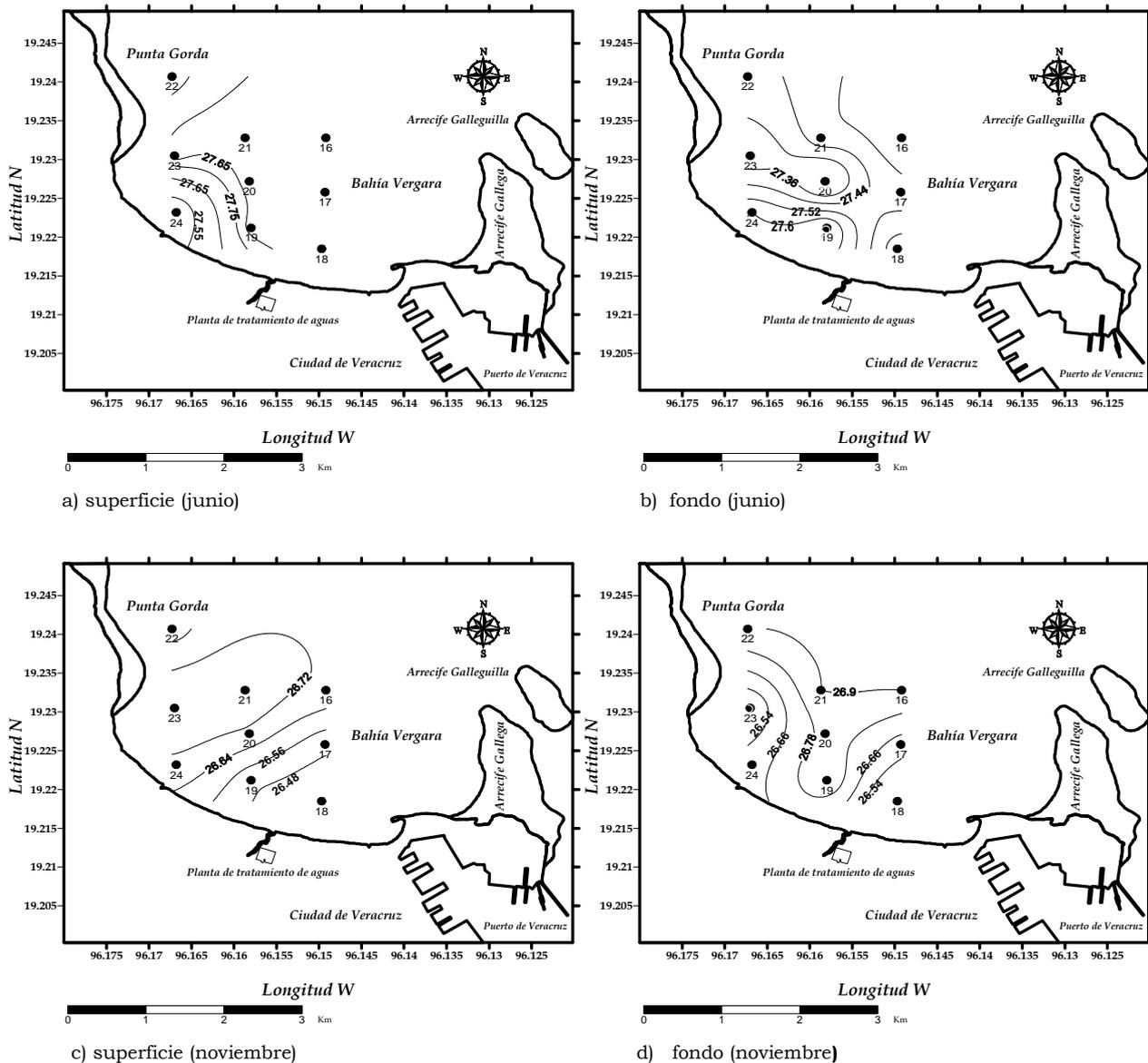


Figura 7. a,b,c,d. Temperatura en agua de superficie y fondo en los meses de junio y noviembre

Tabla 18. Anovas de temperatura en agua de superficie y fondo en los meses de junio y noviembre

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Superficie	y	1	0.32	0.32
Fondo				
Error	16	0.96	0.06	$F_{16}^1 = 6.12$
Total	17	1.26		$F_o < F_t$
$H_o = T.S. = T.F.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			
$H_n = T.S. \neq T.F.$				

junio

Nota. T. S. = Temperatura en superficie y T. F. = Temperatura en fondo, Ho= hipótesis nula y Hn = hipótesis alterna, F.V. = Fuente de variación, G.L.= Grados de libertad, S.C. = Suma de cuadrados, C.M. = Cuadrado medio.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Superficie	y	1	0.02	0.02
Fondo				
Error	16	0.6	0.04	$F_{16}^1 = 4.49$
Total	17	0.62		$F_o < F_t$
$H_o = T.S. = T.F.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			
$H_n = T.S. \neq T.F.$				

noviembre

En la tabla 19 se observa que la temperatura promedio en los meses de junio y noviembre, para la superficie fue de 27.7 °C y 26.6 °C, mientras que en fondo fue de 27.2 °C y 26.7 °C. La mayor temperatura encontrada en el trabajo se registró para el mes de junio, que además es la temporada de secas en la región, la cual se caracteriza por presentar temperaturas altas, mientras que la disminución de aproximadamente 1°C en el mes de noviembre (tabla 20), se debe a los cambios normales de estacionalidad, ya que cuando se realizó el muestreo, nos encontrábamos a finales de otoño y principios de invierno, además del comienzo de la temporada de nortes (los cuales se caracterizan por presentar fuertes vientos provenientes del norte del planeta, generando así un enfriamiento convectivo de las aguas oceánicas).

Tabla 19. Comparación de la temperatura en agua de superficie y fondo en los meses de junio y noviembre

Temperatura (°C)	junio (sup.)	noviembre (sup.)	junio (fon.)	noviembre (fon.)
Promedio	27.7	26.6	27.2	26.7
Máximo	28.5	26.8	28.8	27.0
Mínimo	27.4	26.4	25.50	26.30
Desv. Std.	0.34	0.12	0.80	0.22
C.V.	1.2	0.4	2.9	0.8

Tabla 20. Anovas de temperatura durante las temporadas de secas y nortes en agua de superficie y fondo

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y Nortes	1	5.34	5.34	97.09
Error	16	0.88	0.055	$F_{16}^1 = 4.49$
				$\alpha = 0.05$
Total	17	6.22		$F_o > F_t$
$H_o = T.S.S. = T.N.S.$	Al ser $F_o > F_t$ , se rechaza $H_o$ y se acepta $H_n$ .			
$H_n = T.S.S. \neq T.N.S.$				

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y Nortes	1	2.58	2.58	64.5
Error	16	0.66	0.04	$F_{16}^1 = 4.49$
				$\alpha = 0.05$
Total	17	3.24		$F_o > F_t$
$H_o = T.S.F. = T.N.F.$	Al ser $F_o > F_t$ , se rechaza $H_o$ y se acepta $H_n$ .			
$H_n = T.S.F. \neq T.N.F.$				

superficie

fondo

Nota. T.S.S.= Temperatura de superficie en secas y T.N.S. = Temperatura de superficie en nortes, T.S.F.= Temperatura de fondo en secas y T.N.F. = Temperatura de fondo en nortes,  $H_o$ = hipótesis nula y  $H_n$ = hipótesis alterna, F.V. = Fuente de variación, G.L.= Grados de libertad, S.C. = Suma de cuadrados, C.M. = Cuadrado medio.

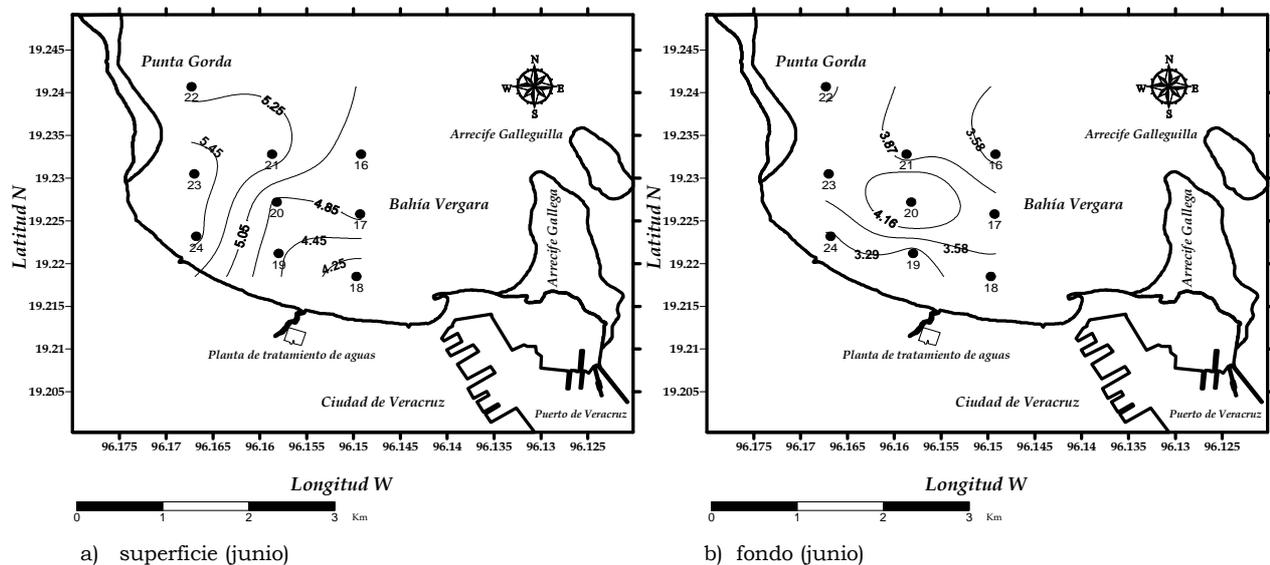
## Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es otro parámetro fisicoquímico importante para el estudio de las aguas marinas y continentales; al contrario de la salinidad y la temperatura, este es considerado un parámetro no conservativo, debido a que la concentración de oxígeno en el ambiente acuático es afectado por procesos químicos y biológicos (oxidación de materia orgánica, procesos de respiración y fotosíntesis, entre otros) (Libes, 2000).

La cantidad de oxígeno disuelto permite determinar si se encuentran o no las condiciones necesarias para la supervivencia de organismos aerobios, además de indicar la existencia de afloramientos de productividad primaria en la columna de agua; en lo que respecta a lo ambiental, este parámetro es considerado como un indicador de la calidad del agua; ya que cuando son vertidas aguas negras –las cuales contienen principalmente grandes cantidades de materia orgánica– la concentración de oxígeno disminuye (Zarraga, 2003).

En las figuras 8 a, b, c y d se observan diferencias en las concentraciones de oxígeno disuelto, tanto en la superficie como en fondo (tabla 21); por otro lado, su distribución en el área muestra que la concentración de oxígeno disminuye cerca de la línea de costa, más concretamente cerca de la planta de tratamiento de agua, tanto en superficie como en fondo; la disminución de oxígeno en el fondo está sugiriendo que es en este sitio donde se están llevando a cabo reacciones químicas, como la oxidación de la materia orgánica, la cual vendría de los aportes del drenaje de la ciudad de Veracruz, el afluente del río la Antigua, y la producida por los organismos que viven en el área de estudio.

Otra observación que resalta en las figuras 8 a, b, c y d, es que a pesar de ser estaciones poco profundas (menores a 20 m), la influencia de los vientos y el oleaje no fueron lo suficientemente intensos para ser considerados factores que propiciarán una homogenización en la concentración de oxígeno de la columna de agua.



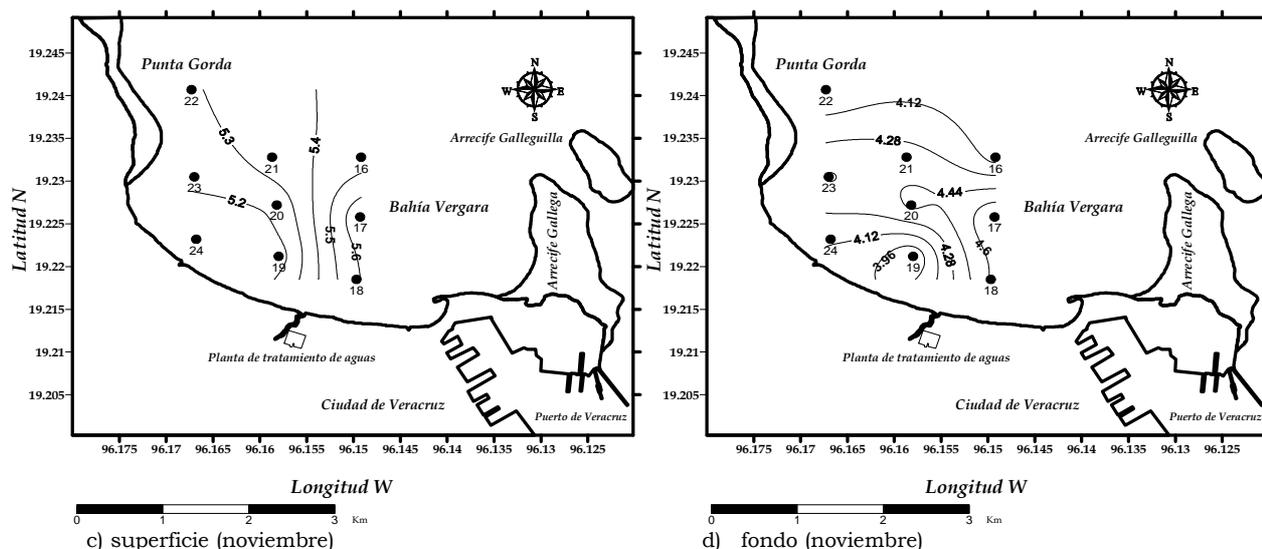


Figura 8. a, b, c, d. Concentración de oxígeno disuelto en agua en los meses de junio y noviembre

Tabla 21. Anovas de concentración de oxígeno disuelto en agua de superficie y fondo

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Superficie y Fondo	1	5.64	5.64	27.97
Error	16	3.23	0.20	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	8.87		$F_o > F_t$
$H_o = O.S. = O.F.$	Al ser $F_o > F_t$ , se rechaza $H_o$ y se acepta $H_n$ .			
$H_n = O.S. \neq O.F.$				

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Superficie y Fondo	1	4.97	4.97	70.98
Error	16	1.12	0.07	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	6.09		$F_o > F_t$
$H_o = O.S. = O.F.$	Al ser $F_o > F_t$ , se rechaza $H_o$ y se acepta $H_n$ .			
$H_n = O.S. \neq O.F.$				

junio

Nota. O.S. = oxígeno en superficie y O.F. = oxígeno en fondo,  $H_o$  = hipótesis nula y  $H_n$  = hipótesis alterna, F.V. = Fuente de variación, G.L. = Grados de libertad, S.C. = Suma de cuadrados, C.M. = Cuadrado medio.

noviembre

Por otro lado en la tabla 22 se observa que las concentraciones promedio de oxígeno en los meses de junio y noviembre, fue para la superficie de 5.09 mg /L y 5.34 mg /L; mientras que para el fondo fue de 3.92 mg /L y 4.29 mg / L. Estas concentraciones pueden indicar que hay condiciones para la vida de organismos aerobios y que según la tabla 23 tenemos un régimen fisiológico de normóxico, ya que concentraciones menores de 2 mg/L, se consideraría como una zona hipóxica (Schulz, 2006), el aumento de concentración en el fondo durante el mes de noviembre se puede deber a que hay una ligera influencia de los vientos denominados localmente nortes, que se presentan durante esa época del año, los cuales homogenizan la columna de agua.

Tabla 22. Comparación de la concentración de oxígeno disuelto en agua de superficie y fondo en junio y noviembre

Oxígeno (mg/L)	Junio (sup.)	noviembre (sup.)	junio (fon.)	noviembre (fon.)
Promedio	5.09	5.34	3.92	4.29
Máximo	5.63	5.69	4.95	4.77
Mínimo	4.28	5.12	3.43	3.81
Desv. Std.	0.44	0.20	0.45	0.32
C.V.	8.64	3.74	11.47	7.45

Tabla 23. Terminología para regimenes con bajas concentraciones de oxígeno en agua

Oxígeno (mg/L)	Oxígeno (ml /L)	Ambiente	Biofacies	Régimen fisiológico	Oxígeno en junio	Oxígeno en noviembre
11.42-2.8	8.00-2.00	Óxico	Aerobio	Normóxico	X	X
2.85-0.28	2.00-0.20	Dysóxico	Dysaerobio	Hipóxico		
2.85-1.42	2.00-1.00	Moderado				
1.42-0.71	1.00-0.50	Severo				
0.71-0.28	0.50-0.20	Extremo				
0.28-0.00	0.20-0.00	Subóxico	Cuasi-anaerobio			
0.00	0.00	Anóxico	Anaerobio	Anóxico		

Fuente: (Schulz, 2006)

### Elementos traza en agua

En las tablas 24 y 25 se presentan las concentraciones promedio de los metales traza en agua, estudiados durante los meses de junio (secas) y noviembre (nortes). Al analizar los resultados se observa que tanto en superficie como en fondo no hay una diferencia significativa en la concentración a lo largo de la columna de agua (tablas 26, 28, 30, 32, 34 y 36, lo cual sugiere que al menos en lo que respecta a los metales traza, la columna de agua se encuentra homogénea, también se puede ver que no hay una diferencia significativa en las dos épocas estudiadas (tablas 27, 29, 31, 33, 35, y 37); este mismo comportamiento fue observado en los sedimentos, ya que en el agua tampoco hay un cambio estacional con respecto a la concentración de Cu, Ni, Zn, V, Pb y Cr; lo cual sugiere que los aportes antropogénicos en el área de estudio son constantes, además de que la forma de la bahía influye en la dispersión de cualquier posible contaminante.

Tabla 24. Concentraciones de Cu, Ni y Cr en agua de superficie y fondo en los meses de junio y noviembre

	Cu Sup.	Cu Fon.	Cu Sup.	Cu Fon.	Ni Sup.	Ni Fon.	Ni Sup.	Ni Fon.	Cr Sup.	Cr Fon.	Cr Sup.	Cr Fon.
	Junio	junio	noviembre	noviembre	junio	junio	noviembre	noviembre	junio	junio	noviembre	noviembre
L.D.	1.94				0.60				0.26			
Promedio	3.24	2.57	1.26	1.56	0.48	1.45	1.29	0.90	0.028	0.037	0.011	0.014
Máximo	9.67	5.98	6.84	9.96	0.90	5.95	5.56	1.33	0.07	0.13	0.02	0.06
Mínimo	0.19	0.19	0.01	0.16	0.07	0.02	0.61	0.21	0.004	0.004	0.004	0.002
Desv.std.	2.89	2.07	2.21	3.42	0.28	2.15	1.61	0.34	0.021	0.038	0.006	0.021
C.V.	89.1	80.5	175.3	219.2	58.3	148.2	124.8	37.7	75.0	102.7	54.5	150.0

Tabla 25. Concentraciones de V, Zn y Pb en agua de superficie y fondo en los meses de junio y noviembre

	V Sup.	V Fon.	V Sup.	V Fon.	Zn Sup.	Zn Fon.	Zn Sup.	Zn Fon.	Pb Sup.	Pb Fon.	Pb Sup.	Pb Fon.
	Junio	junio	noviembre	noviembre	junio	junio	noviembre	noviembre	junio	junio	noviembre	noviembre
L.D.	6.52								5.7			
Promedio	0.61	0.57	1.87	1.49	0.09	0.07	0.64	0.15	0.73	0.53	0.53	0.42
Máximo	1.87	1.04	3.98	4.41	0.16	0.14	5.28	0.70	2.91	2.45	1.45	1.37
Mínimo	0.02	0.01	0.27	0.38	0.04	0.03	0.05	0.05	0.16	0.08	0.06	0.04
Desv.std.	0.58	0.35	1.44	1.67	0.05	0.03	1.74	0.22	0.84	0.73	0.54	0.44
C.V.	95.0	61.4	77.0	112.0	55.5	42.8	271.8	146.6	115.0	137.7	101.8	104.7

Tabla 26. Anovas de concentración de cobre en agua de superficie y fondo durante las temporadas de secas y nortes

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Superficie y Fondo	1	0.14	0.14	0.04
Error	14	49.83	3.11	$F_{16}^1 = 4.60$ $\alpha = 0.05$
Total	15	49.97		$F_o < F_t$
H <sub>0</sub> = Cu.S. = Cu.F.		Al ser $F_o < F_t$ , se rechaza H <sub>n</sub> y se acepta H <sub>0</sub> .		
H <sub>a</sub> = Cu.S. ≠ Cu.F.				

Nota. Cu.S. = Cobre superficie y Cu.F. = Cobre fondo, H<sub>0</sub> = hipótesis nula y H<sub>n</sub> = hipótesis alterna, F.V. = Fuente de variación, G.L. = Grados de libertad, S.C. = Suma de cuadrados, C.M. = Cuadrado medio.

secas

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Superficie y Fondo	1	0.11	0.11	0.017
Error	10	107.01	6.68	$F_{16}^1 = 4.96$ $\alpha = 0.05$
Total	11	107.12		$F_o < F_t$
H <sub>0</sub> = Cu.S. = Cu.F.		Al ser $F_o < F_t$ , se acepta H <sub>0</sub> y se rechaza H <sub>n</sub> .		
H <sub>a</sub> = Cu.S. ≠ Cu.F.				

nortes

Tabla 27. Anovas de concentración de cobre durante las temporadas de secas y nortes en agua de superficie y fondo

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y nortes	1	3.10	3.10	0.92
Error	12	53.66	3.35	$F_{16}^1 = 4.74$ $\alpha = 0.05$
Total	13	56.76		$F_o < F_t$
$H_o = \text{Cu.S.S.} = \text{Cu.S.N.}$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza			
$H_n = \text{Cu.S.S.} \neq \text{Cu.S.N.}$	$H_n$ .			

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y nortes	1	1.10	1.10	0.17
Error	12	103.17	6.44	$F_{16}^1 = 4.74$ $\alpha = 0.05$
Total	13	104.28		$F_o < F_t$
$H_o = \text{Cu.F.S.} = \text{Cu.F.N.}$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza			
$H_n = \text{Cu.F.S.} \neq \text{Cu.F.N.}$	$H_n$ .			

Nota. Cu.S.S. = Cobre superficie secas y Cu.S.N. = Cobre superficie nortes, Cu.F.S. = Cobre fondo secas y Cu.F.N. = Cobre fondo nortes,  $H_o$  = hipótesis nula y  $H_n$  = hipótesis alterna, F.V. = Fuente de variación, G.L. = Grados de libertad, S.C. = Suma de cuadrados, C.M. = Cuadrado medio, superficie fondo

Tabla 28. Anovas de concentración de níquel en agua de superficie y fondo durante las temporadas de secas y nortes

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Superficie y Fondo	1	5.25	5.25	2.11
Error	16	39.85	2.49	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	45.11		$F_o < F_t$
$H_o = \text{Ni.S.} = \text{Ni.F.}$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza			
$H_n = \text{Ni.S.} \neq \text{Ni.F.}$	$H_n$ .			

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Superficie y Fondo	1	0.62	0.62	0.46
Error	15	21.45	1.34	$F_{16}^1 = 4.54$ $\alpha = 0.05$
Total	16	22.08		$F_o < F_t$
$H_o = \text{Ni.S.} = \text{Ni.F.}$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza			
$H_n = \text{Ni.S.} \neq \text{Ni.F.}$	$H_n$ .			

Nota. Ni.S. = Níquel superficie y Ni.F. = Níquel fondo,  $H_o$  = hipótesis nula y  $H_n$  = hipótesis alterna, F.V. = Fuente de variación, G.L. = Grados de libertad, S.C. = Suma de cuadrados, C.M. = Cuadrado medio, secas nortes

Tabla 29. Anovas de concentración de níquel en agua durante las temporadas de secas y nortes en agua de superficie y fondo

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y nortes	1	2.60	2.60	1.97
Error	16	21.18	1.32	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	23.79		$F_o < F_t$
$H_o = \text{Ni.S.S.} = \text{Ni.S.N.}$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza			
$H_n = \text{Ni.S.S.} \neq \text{Ni.S.N.}$	$H_n$ .			

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y nortes	1	2.09	2.09	0.83
Error	15	40.12	2.50	$F_{16}^1 = 4.54$ $\alpha = 0.05$
Total	16	42.22		$F_o < F_t$
$H_o = \text{Ni.F.S.} = \text{Ni.F.N.}$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza			
$H_n = \text{Ni.F.S.} \neq \text{Ni.F.N.}$	$H_n$ .			

Nota. Ni.S.S. = Níquel superficie secas y Ni.S.N. = Níquel superficie nortes, Ni.F.S. = Níquel fondo secas y Ni.F.N. = Níquel fondo nortes,  $H_o$  = hipótesis nula y  $H_n$  = hipótesis alterna, F.V. = Fuente de variación, G.L. = Grados de libertad, S.C. = Suma de cuadrados, C.M. = Cuadrado medio, superficie fondo

Tabla 30. Anovas de concentración de cromo en agua de superficie y fondo durante las temporadas de secas y nortes

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Superficie y Fondo	1	0.002	0.002	1.93
Error	14	0.013	0.001	$F_{16}^1 = 4.60$ $\alpha = 0.05$
Total	15	0.014		$F_o < F_t$
$H_o = Cr.S. = Cr.F.$ $H_n = Cr.S. \neq Cr.F.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			

Nota. Cr.S.= Cromo superficie y Cr.F.=Cromo fondo, Ho= hipótesis nula y Hn = hipótesis alterna, F.V. = Fuente de variación, G.L.= Grados de libertad, S.C. = Suma de cuadrados, C.M. = Cuadrado medio.

secas

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Superficie y Fondo	1	0.0001	0.0001	0.52
Error	8	0.002	0.0001	$F_{16}^1 = 5.31$ $\alpha = 0.05$
Total	19	0.002		$F_o < F_t$
$H_o = Cr.S. = Cr.F.$ $H_n = Cr.S. \neq Cr.F.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			

nortes

Tabla 31. Anovas de concentración de cromo durante las temporadas de secas y nortes en agua de superficie y fondo

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y nortes	1	0.0004	0.0004	3.57
Error	11	0.002	0.0004	$F_{16}^1 = 4.84$ $\alpha = 0.05$
Total	12	0.002		$F_o < F_t$
$H_o = Cr.S.S = Cr.S.N.$ $H_n = Cr.S.S \neq Cr.S.N.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			

Nota. Cr.S.S.= Cromo superficie secas y Cr.S.N. = Cromo superficie nortes, Cr.F.S.= Cromo fondo secas y Cr.F.N. = Cromo fondo nortes, Ho= hipótesis nula y Hn = hipótesis alterna, F.V. = Fuente de variación, G.L.= Grados de libertad, S.C. = Suma de cuadrados, C.M. = Cuadrado medio.

superficie

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y nortes	1	0.002	0.002	2.65
Error	11	0.013	0.001	$F_{16}^1 = 4.84$ $\alpha = 0.05$
Total	12	0.015		$F_o < F_t$
$H_o = Cr.F.S = Cr.F.N.$ $H_n = Cr.F.S \neq Cr.F.N.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			

fondo

Tabla 32. Anovas de concentración de plomo en agua de superficie y fondo durante las temporadas de secas y nortes

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Superficie y Fondo	1	0.071	0.071	0.10
Error	16	11.01	0.68	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	11.08		$F_o < F_t$
$H_o = Pb.S = Pb.F.$ $H_n = Pb.S \neq Pb.F.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			

Nota. Pb.S.= Plomo superficie y Pb.F.=Plomo fondo, Ho= hipótesis nula y Hn = hipótesis alterna, F.V. = Fuente de variación, G.L.= Grados de libertad, S.C. = Suma de cuadrados, C.M. = Cuadrado medio.

secas

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Superficie y Fondo	1	0.047	0.047	0.20
Error	15	3.67	0.23	$F_{16}^1 = 4.54$ $\alpha = 0.05$
Total	16	3.72		$F_o < F_t$
$H_o = Pb.F. = Pb.F.$ $H_n = Pb.F. \neq Pb.F.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			

nortes

Tabla 33. Anovas de concentración de plomo durante las temporadas de secas y nortes en agua de superficie y fondo

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y nortes	1	0.13	0.13	0.24
Error	16	8.65	0.54	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	8.78		$F_o < F_t$
$H_o = Pb.S.S = Pb.S.N.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza			
$H_n = Pb.S.S \neq Pb.S.N.$	$H_n$ .			

Nota. Pb.S.S.= Plomo superficie secas y Pb.S.N. = Plomo superficie nortes, Pb.F.S.= Plomo fondo secas y Pb.F.N. = Plomo fondo nortes,

$H_o$ = hipótesis nula y  $H_n$  = hipótesis alterna, F.V. = Fuente de variación, G.L.= Grados de libertad, S.C. = Suma de cuadrados, C.M. = Cuadrado medio, superficie

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y nortes	1	0.095	0.095	0.25
Error	15	6.03	0.37	$F_{16}^1 = 4.54$ $\alpha = 0.05$
Total	16	6.13		$F_o < F_t$
$H_o = Pb.F.S = Pb.F.N.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza			
$H_n = Pb.F.S \neq Pb.F.N.$	$H_n$ .			

fondo

Tabla 34. Anovas de concentración de vanadio en agua de superficie y fondo durante las temporadas de secas y nortes

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Superficie y Fondo	1	0.02	0.02	0.20
Error	14	1.71	0.10	$F_{16}^1 = 4.60$ $\alpha = 0.05$
Total	15	1.71		$F_o < F_t$
$H_o = V.S = V.F.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza			
$H_n = V.S \neq V.F.$	$H_n$ .			

Nota. V.S.= Vanadio superficie y V.F. = Vanadio fondo,  $H_o$ = hipótesis nula y  $H_n$  = hipótesis alterna, F.V. = Fuente de variación, G.L.= Grados de libertad, S.C. = Suma de cuadrados, C.M. = Cuadrado medio.

secas

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Superficie y Fondo	1	0.62	0.62	0.27
Error	15	36.28	2.26	$F_{16}^1 = 4.54$ $\alpha = 0.05$
Total	16	36.90		$F_o < F_t$
$H_o = V.F. = V.F.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza			
$H_n = V.F. \neq V.F.$	$H_n$ .			

nortes

Tabla 35. Anovas de concentración de vanadio durante las temporadas de secas y nortes en agua de superficie y fondo

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y nortes	1	8.54	8.54	7.80
Error	15	17.51	1.09	$F_{16}^1 = 8.68$ $\alpha = 0.01$
Total	16	26.06		$F_o < F_t$
$H_o = V.S.S. = V.S.N.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza			
$H_n = V.S.S. \neq V.S.N.$	$H_n$ .			

Nota. V.S.S.= Vanadio superficie secas y V.S.N. = Vanadio superficie nortes, V.F.S.= Vanadio fondo secas y V.F.N. = Vanadio fondo nortes,

$H_o$ = hipótesis nula y  $H_n$  = hipótesis alterna, F.V. = Fuente de variación, G.L.= Grados de libertad, S.C. = Suma de cuadrados, C.M. = Cuadrado medio, superficie

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y nortes	1	3.71	3.71	2.90
Error	14	20.48	1.28	$F_{16}^1 = 4.60$ $\alpha = 0.05$
Total	15	24.19		$F_o < F_t$
$H_o = V.F.S. = V.F.N.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza			
$H_n = V.F.S. \neq V.F.N.$	$H_n$ .			

fondo

Tabla 36. Anovas de concentración de zinc en agua de superficie y fondo durante las temporadas de secas y nortes

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Superficie y Fondo	1	0.002	0.002	1.14
Error	16	0.026	0.602	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	0.027		$F_o < F_t$
$H_o = Zn.S. = Zn.F.$ $H_n = Zn.S. \neq Zn.F.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			

Nota. Zn.S.= Zinc superficie y Zn.F. = Zinc fondo, Ho= hipótesis nula y Hn = hipótesis alterna, F.V. = Fuente de variación, G.L.= Grados de libertad, S.C. = Suma de cuadrados, C.M. = Cuadrado medio.

secas

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Superficie y Fondo	1	1.01	1.01	0.65
Error	15	24.58	1.53	$F_{16}^1 = 4.54$ $\alpha = 0.05$
Total	16	25.60		$F_o < F_t$
$H_o = Zn.F. = Zn.F.$ $H_n = Zn.F. \neq Zn.F.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			

nortes

Tabla 37. Anovas de concentración de zinc durante las temporadas de secas y nortes en agua de superficie y fondo

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y nortes	1	1.36	1.36	0.89
Error	16	24.25	1.51	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	25.61		$F_o < F_t$
$H_o = Zn.S.S. = Zn.S.N.$ $H_n = Zn.S.S. \neq Zn.S.N.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			

Nota. Zn.S.S.= Zinc superficie secas y Zn.S.N. = Zinc superficie nortes, Zn.F.S.= Zinc fondo secas y Zn.F.N. = Zinc fondo nortes, Ho= hipótesis nula y Hn = hipótesis alterna, F.V. = Fuente de variación, G.L.= Grados de libertad, S.C. = Suma de cuadrados, C.M. = Cuadrado medio.

superficie

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y nortes	1	0.028	0.028	1.23
Error	15	0.35	0.028	$F_{16}^1 = 4.54$ $\alpha = 0.05$
Total	16	0.38		$F_o < F_t$
$H_o = Zn.F.S. = Zn.F.N.$ $H_n = Zn.F.S. \neq Zn.F.N.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			

fondo

Al observar la figura 9 se observa que de manera anual la abundancia de metales traza en agua de Bahía Vergara es el siguiente: Cu (2.42 ppb) > V (1.14 ppb) > Ni (1.03 ppb) > Pb (0.55 ppb) > Zn (0.24 ppb) > Cr (0.022 ppb).

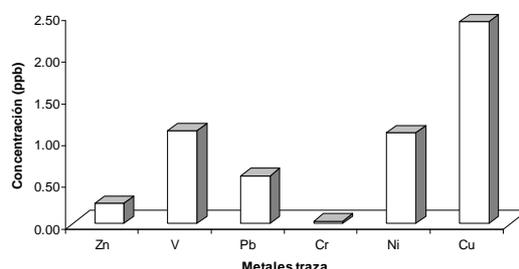


Figura 9. Abundancia de metales traza en agua de Bahía Vergara

A diferencia del estudio de metales en sedimento donde existen índices como el factor de enriquecimiento y el de geoacumulación; en estudios de agua marina, no se encuentran tan desarrollados este tipo de trabajos debido a la constante movilidad del agua, a las bajas concentraciones de los metales y a los diversos problemas analíticos presentados por la matriz de agua salada lo que dificulta su estudio, por lo que los pocos trabajos realizados en este rubro, utilizan las concentraciones promedio de los metales en el océano, para inferir si los niveles encontrados en sus áreas de estudio se hallan por arriba o por abajo de la media del mar (Chan, 1974); además de utilizar este criterio para poder decir como se encuentran las concentraciones de V, Cr, Ni, Zn, Cu y Pb en Bahía Vergara, se utilizó la NOM-001-ECOL-1996 y el criterio ecológico del agua marina (CNA, 2003), establecidos por las leyes mexicanas, para evaluar si los valores registrados en el área de estudio se encuentran dentro o fuera de los límites permisibles.

En la tabla 38 se observan las concentraciones promedio de metales traza en Bahía Vergara. El Pb con una concentración de 0.55 ppb, es el único metal que se encuentra 19 veces por arriba de la media reportada para el océano 0.03 ppb; mientras que metales como el V 1.14 ppb, Ni 1.03 ppb, Cu 2.15 ppb, Zn 0.24 ppb y Cr 0.022 ppb se encuentran 1.3, 1.8, 1.2, 20.8 y 24 veces por debajo del promedio registrados en la literatura (1.5, 2, 3, 5, 0.6 ppb, respectivamente); ahora, al revisar los límites máximos permisibles establecidos por el criterio ecológico del agua marina (CNA, 2003) Cr 10 ppb, Zn 20 ppb, Ni 2 ppb, Pb 10 ppb y Cu 10 ppb y la NOM-001-ECOL-1996, Cr 0.5 ppm, Zn 1 ppm, Ni 2 ppm, Pb 0.2 ppm y Cu 4 ppm, permite decir que los valores de metales en las aguas costeras de la bahía no se encuentran afectadas por metales debido a que se encuentran dentro de los rangos normales de la naturaleza; cabe destacar que el V fue el único metal que no es contemplado por ninguna de las dos normativas mencionadas líneas arriba; pero al encontrarse por debajo del promedio del océano se puede considerar como no afectado.

Tabla 38. Comparación de concentración de metales traza en agua del océano y los límites permisibles establecidos por las autoridades mexicanas

		V	Cr	Zn	Ni	Pb	Cu	
Presente estudio	Promedio	1.11	0.025	0.24	1.08	0.57	2.42	
Océano	Promedio	1.5	0.6	5	2	0.03	3	
NOM-001-ECOL-1996								
Aguas Costeras	Explotación pesquera, navegación y otros usos	Niveles máximos	N.R.	500	10000	2000	200	4000
	Recreación	Niveles máximos	N.R.	1500	10000	2000	500	4000
	Estuarios	Niveles máximos	N.R.	500	10000	2000	200	4000
Criterio ecológico del agua marina (CNA)	Agua marina (áreas costeras)	Niveles máximos	N.R.	10	20	2	10	10

Nota: La concentraciones reportadas en la tabla son ppb ( $\mu\text{g/L}$ ), N.R.: No reportado

### Granulometría

Los análisis granulométricos son de vital importancia para las distintas disciplinas que estudian el mar, tales como la biología, la química y la geología, ya que al conocer el tamaño de partícula presente en una región, se puede obtener parte de la información necesaria para la interpretación o determinar el tipo de asociación e interacción de las variables de estudio con el sedimento; por ejemplo: conociendo el tipo de sedimento presente en una región se puede inferir el tipo de organismos que se encuentran en un área, en estudios ambientales son importantes para localizar lugares donde probablemente se concentren contaminantes como los metales pesados y otras sustancias tóxicas, facilitando así la planeación y la selección de los puntos de muestreo, ya que preferentemente se buscarían lugares donde predominaran sedimentos finos, porque es en éstos donde se atrapan mejor todos aquellos contaminantes que se encuentran suspendidos en el océano. También los análisis granulométricos son utilizados para determinar si la zona donde se encuentran los sedimentos es de baja o alta energía, además de poder inferir si se encuentra en una zona de erosión o depositación (Carranza, 1997). Por ejemplo, si en una playa predominan sedimentos del tamaño de cantos (fragmentos de roca de un tamaño aproximado de 1024 mm a 512 mm) sugerirá que esa región puede ser de alta energía de oleaje, debido a

que se requiere de una gran cantidad de energía mecánica para transportar a otro sitio ese tipo de material; caso contrario a lo que sucede con los limos y arcillas (partículas de un tamaño aproximado de 0.063 mm a 0.00049 mm) que como se ve, por su diminuto tamaño permanecerían en suspensión en la columna de agua de esta misma playa de alta energía, hasta que las corrientes costeras y marinas encuentren condiciones de calma (baja energía de oleaje) para permitir su sedimentación.

En la figura 10 se observa que el tamaño predominante en el área durante los meses estudiados, es el de arenas, pudiendo sugerir que es una zona de relativa alta energía de oleaje, porque no hay ningún tipo de barrera natural (arrecifes e islas- que ofrezcan alguna protección contra el oleaje; además, se debe considerar que la mayoría de las estaciones muestreadas se encontraron relativamente cercanas a la línea de costa y eran poco profundas -menores a 20 m), influyendo esto también al predominio de las arenas. La distribución espacial de las arenas visto (figuras 11 a y b), muestra que el porcentaje de las arenas disminuye conforme se va alejando de la línea de costa, siendo la zona noreste de Bahía Vergara el lugar donde se deposite el material fino (limos y arcillas), todo esto sea probablemente propiciado por el aumento en la profundidad y por la presencia de los arrecifes la gallega y galleguilla, los cuales pueden influir en las corrientes costeras de la zona, permitiendo así, la depositación de sedimento fino.

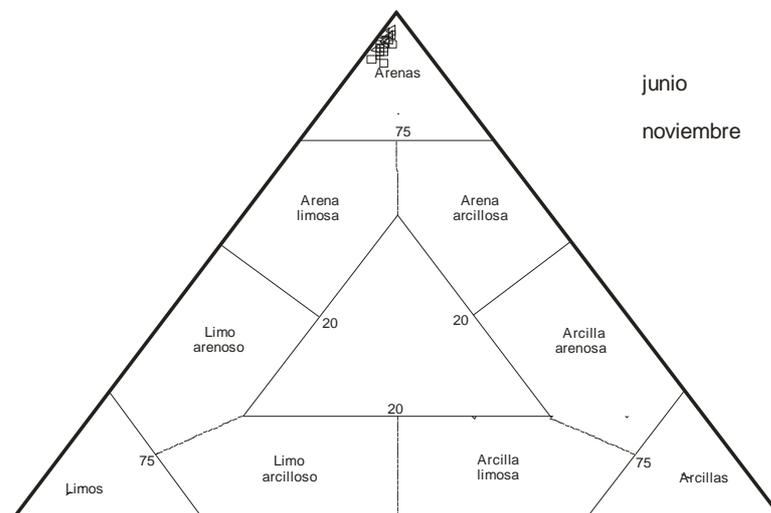
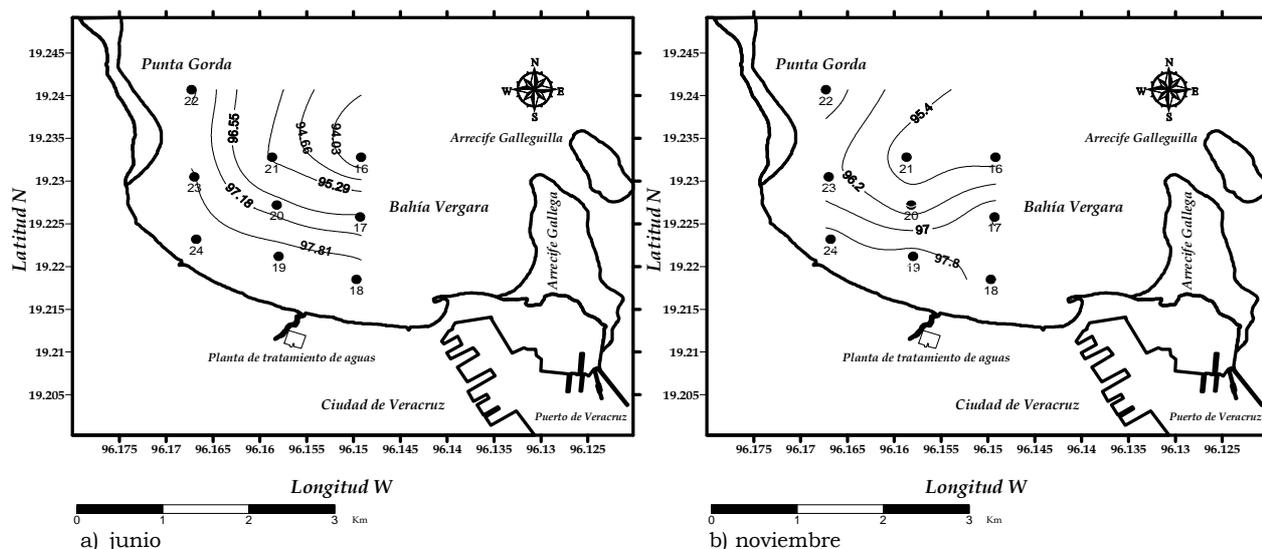


Figura 10. Tamaño de partícula predominante en sedimento de Bahía Vergara



a) junio

b) noviembre

Figura 11 a y b. Comparación de la distribución de arenas en los meses de junio y noviembre

En la tabla 39 se observa que el porcentaje promedio de arenas encontrado en Bahía Vergara durante los meses de junio y noviembre, fue de 96.96 % y 96.82 %, mientras el porcentaje de lodos, fue de 2.99 % y 3.18 %; estos valores se pueden considerar muy parecidos para las dos épocas (tabla 40) y la semejanza también de la distribución espacial de las arenas (figura 11 a y b), sugiere que no hay un incremento o decremento en la dinámica de la columna de agua que inflencie o afecte el sitio de la depositación del sedimento fino; este fenómeno tal vez sea debido a la forma de la bahía, la cual se puede considerar como una bahía abierta al mar, lo que permite un movimiento constante de la masa de agua.

Tabla 39. Comparación del análisis granulométrico de sedimento en los meses de junio y noviembre

Arenas (%)	junio	noviembre	Lodos (%)	junio	noviembre
Promedio	96.96	96.82	Promedio	2.99	3.18
Máximo	98.33	98.15	Máximo	6.53	4.98
Mínimo	93.47	95.02	Mínimo	1.37	1.85
Desv. Std.	1.66	1.30	Desv. Std.	1.71	1.30
C.V.	1.71	1.34	C.V.	57.19	40.88

Tabla 40. Anovas del tamaño de partícula de sedimento durante las temporadas de secas y nortes

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y nortes	1	0.09	0.09	0.04
Error	16	35.42	2.21	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	35.51		$F_o < F_t$
$H_o = A.S. = A.N.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			
$H_n = A.S. \neq A.N.$				

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y nortes	1	0.17	0.17	0.07
Error	16	36.76	2.30	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	36.93		$F_o < F_t$
$H_o = L.S. = L.N.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			
$H_n = L.S. \neq L.N.$				

arenas

Nota. A.S.= Arenas secas y A.N. = Arenas nortes, L.S. = Lodos secas y L.N.= Lodos nortes,  $H_o$ = hipótesis nula y  $H_n$  = hipótesis alterna, F.V. = Fuente de variación, G.L.= Grados de libertad, S.C. = Suma de cuadrados, C.M. = Cuadrado medio.

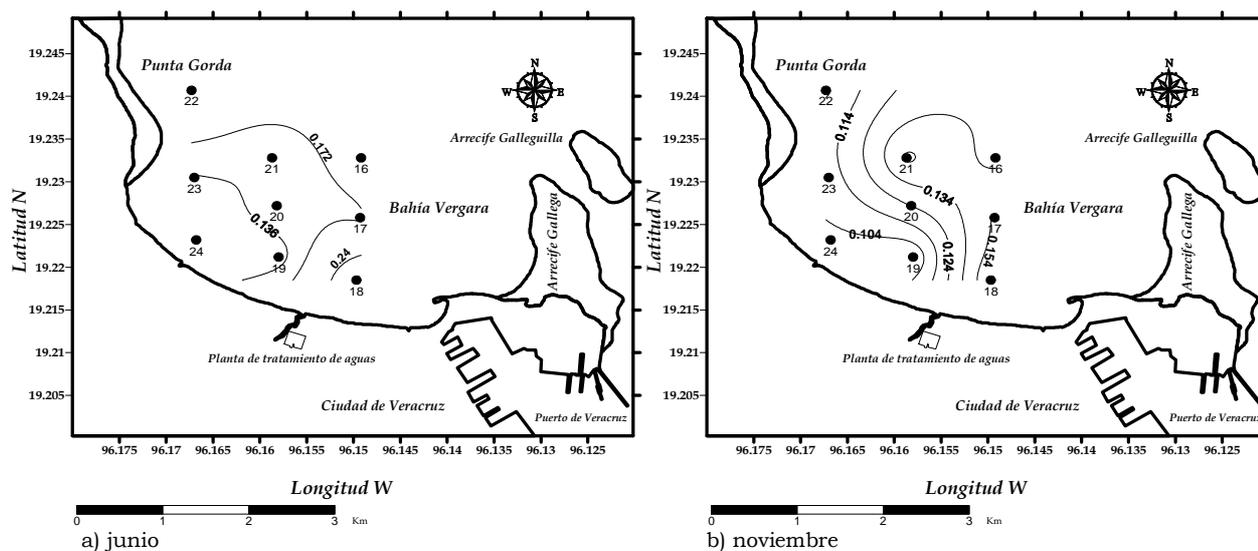
lodos

### Carbono orgánico

El carbono orgánico es considerado, al igual que los sedimentos finos, como un receptor de metales traza, debido a la formación de compuestos como los quelatos, los cuales atrapan los metales suspendidos en la columna de agua (Libes, 2000). El carbono orgánico también juega un papel importante en los ecosistemas acuáticos ya sean lagos u océanos; porque son la principal fuente de nutrientes para los organismos que viven ahí; pero un exceso de ello puede generar zonas eutróficas y anóxicas, debido a que cuando se oxida el carbono orgánico presente en el sistema, se liberan los nutrientes al ambiente acuático y se agota el oxígeno de la columna de agua, (siendo esta condición un peligro para la vida acuática que necesita el oxígeno para sobrevivir); además del agotamiento del oxígeno, el exceso de nutrientes puede ser dañino tanto para el hombre como para otros seres vivos, por el afloramiento de dinoflagelados (un tipo de plancton) que genera una o varias sustancias tóxicas capaces de matar a una gran cantidad de organismos marinos y debido al color rojo presente en las aguas, es conocido este fenómeno como marea roja (para el caso del océano y zonas costeras).

Dependiendo del lugar del océano donde nos encontremos, será el origen del carbono orgánico; ya que en mar abierto se puede considerar a los microorganismos como el fitoplancton, zooplancton y a los desechos y restos de otros organismos marinos como fuentes de este tipo de materia (Sevilla, 2005); mientras que en las zonas costeras, son los ríos y aportes antropogénicos (desechos urbanos e industriales) las principales fuentes de carbono orgánico debido a los grandes aportes de éstos hacia el ambiente costero, por lo que tener un monitoreo de la concentración de carbono orgánico presente en los sedimentos, puede servir como un indicador de la cantidad aportada por el continente.

En las figuras 12 a y b se observan que las máximas concentraciones de carbono orgánico durante las dos épocas estudiadas se ubicaron en la parte este de la bahía, manteniéndose esta tendencia de distribución durante junio y noviembre (tabla 41), al ver que los valores más altos se encontraron cerca de las estaciones donde se localiza la desembocadura de la planta de tratamiento de agua, sugiere que ese carbono orgánico fué aportado por dicha planta, la cual se encuentra relativamente cerca de ahí (1km), además; las corrientes costeras pueden influir en su distribución.



a) junio  
 b) noviembre  
 Figura 12 a y b. Comparación de la distribución de carbono orgánico en sedimentos para los meses de junio y noviembre

Tabla 41. Anovas del carbono orgánico en sedimento durante las temporadas de secas y nortes

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
secas y nortes	1	0.011	0.011	4.7
Error	15	0.034	0.002	$F_{16}^1 = 6.12$
Total	16	0.044		$\alpha = 0.025$
$H_0 = C.O.S. = C.O.N.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_0$ y se rechaza $H_n$ .			
$H_n = C.O.S. \neq C.O.N.$				

Nota. C.O.S.=Carbono orgánico secas y C.O.N. =Carbono orgánico nortes. Ho= hipótesis nula y Hn = hipótesis alterna, F.V. = Fuente de variación, G.L.= Grados de libertad, S.C. = Suma de cuadrados, C.M. = Cuadrado medio.

En la tabla 42. Se observa que el porcentaje promedio de carbono orgánico en los meses de junio (secas) y noviembre (nortes) fue de 0.18 % y 0.13 %; en la época de secas se encontró un rango más amplio en la concentración de carbono orgánico (0.30 %-0.11 %), comparado con la de nortes (0.15 %-0.09 %). Esta diferencia podría ser debido a los vientos que azotan la región lo cual hace que haya una resuspensión de los sedimentos del fondo y una mezcla de los mismos con los sedimentos carbonatados presentes en el área.

Los valores promedio de carbono orgánico obtenidos en Bahía Vergara (tabla 42) se encuentran 1.4 y 2.5 veces por debajo de los obtenidos en las inmediaciones del arrecife de isla Sacrificios Veracruz, mostrados en la tabla 43. El ligero decremento encontrado en la concentración de carbono orgánico de la zona comparada con la de isla Sacrificios sea probablemente debido a la forma de la bahía, la cual se puede considerar como abierta al mar, esta característica morfológica permite que haya una mayor circulación del agua, por lo que habrá una mayor dispersión de las partículas finas impidiendo una acumulación del carbono orgánico, mientras que en la otra área, la protección que ofrece el arrecife permite encontrar valores máximos de 0.79 % y 1.36 % (tabla 43).

Tabla 42. Comparación de la concentración de carbono orgánico en sedimento obtenido en Bahía Vergara en los meses de junio y noviembre

% Carbono orgánico	junio	noviembre
Promedio	0.18	0.13
Máximo	0.30	0.15
Mínimo	0.12	0.09
Desv. Std.	0.06	0.02
C.V.	33.33	15.38

Tabla 43. Concentración promedio de carbono orgánico en sedimento obtenido en las inmediaciones de Islas Sacrificios Veracruz, en los meses de junio y noviembre

% Carbono orgánico	junio	noviembre
Promedio	0.26	0.33
Máximo	0.79	1.36
Mínimo	0.07	0.10

(Celis, 2006)

## Carbonatos

A los carbonatos se les puede considerar como una pieza clave del ambiente, porque es a través de la formación o dilución de los mismos como se ha controlado de manera natural la presencia de gases de efecto invernadero (CO y CO<sub>2</sub>); también han sido los responsables de regular el pH de cuerpos de agua tan importantes como el océano (Libes, 2000). La formación de los carbonatos en el ambiente marino se debe muchas veces a la presencia de organismos como los foraminíferos, cocolitofóridos, corales, entre otros tantos que forman sus caparazones, conchas y esqueletos de minerales carbonatados, como la aragonita, dolomita, calcita, etc, los cuales se diferencian uno de otro por su estructura cristalina, ya que químicamente son clasificados como carbonatos; una vez muertos estos organismos, sus restos pueden formar parte de los sedimentos, siendo ésta la causa principal de que se clasifique como sedimento de origen biogénico al material sedimentado.

El carbonato encontrado en los sedimentos de Bahía Vergara durante los meses de junio y noviembre se presenta en la tabla 44, donde se observa que la concentración promedio de carbonatos en los sedimentos de la bahía es del 11.75 % y 10.92 %, al comparar estos valores con los promedios de 20.02 % y 20.23 % obtenidos en los mismos meses en las inmediaciones del arrecife de isla Sacrificios (tabla 45), podría sugerir que no hay una influencia marcada en los sedimentos por parte de los arrecifes la gallega, galleguilla y punta gorda, debido a que no se ve reflejado en el contenido de carbonatos, ya que al existir este tipo de organismos en la zona, se tendería a pensar encontrar sedimentos carbonatados, los cuales deben contener porcentajes mayores al 50 % (Scoffin, 1986), tal como sucedió en la zona de Sacrificios donde se hallaron valores máximos del 75.15 % y 66.68 % (tabla 45); ahora, al ver similitudes en los valores promedio, máximos y mínimos del porcentaje de carbonatos (tabla 44), se puede considerar que no hay un cambio significativo en la concentración de carbonatos en los sedimentos (tabla 46) durante los meses de junio (secas) y noviembre(nortes) en que se llevaron a cabo los muestreos.

Tabla 44. Comparación de la concentración de carbonatos en sedimento obtenido en Bahía Vergara en los meses de junio y noviembre

% Carbonatos	junio	noviembre
Promedio	11.75	10.92
Máximo	12.93	10.92
Mínimo	10.86	9.35
Desv. Std.	0.66	0.88
C.V.	5.59	8.07

Tabla 45. Concentración promedio de carbonato en sedimento obtenido en las inmediaciones de Islas Sacrificios Veracruz, en los meses de junio y noviembre

% Carbonato	junio	noviembre
Promedio	20.02	20.23
Máximo	75.15	66.68
Mínimo	11.90	10.60

(Celis, 2006)

Tabla 46. Anova de los carbonatos en sedimento durante las temporadas de secas y nortes

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F <sub>o</sub>
secas y nortes	1	3.08	3.08	5.09
Error	15	9.66	0.60	$F_{16}^1 = 6.12$ $\alpha = 0.025$
Total	16	12.74		$F_o < F_t$
H <sub>o</sub> =CO <sub>3</sub> .S.= CO <sub>3</sub> .N. H <sub>a</sub> = CO <sub>3</sub> .S.≠ CO <sub>3</sub> .N.	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta H <sub>o</sub> y se rechaza H <sub>a</sub> .			

Nota. CO<sub>3</sub>.S.=Carbonatos secas y CO<sub>3</sub>.N. =carbonatos nortes. Ho= hipótesis nula y Hn = hipótesis alterna. F.V. = Fuente de variación, G.L.= Grados de libertad, S.C. = Suma de cuadrados, C.M. = Cuadrado medio.

### Elementos traza en sedimento

Los elementos traza (V, Cr, Zn, Cu, Pb, Ni, etc) son todas aquellas sustancias que son poco abundantes en la naturaleza, se encuentran dentro de los rangos de concentración de partes por millón (ppm) o partes por billón (ppb). A pesar de ser poco abundantes, el hombre ha sido capaz de obtenerlos en su forma elemental con distintos procesos químicos. La importancia de estos elementos para el hombre es debido a la amplia gama de productos que puede obtener de ellos para beneficio de la humanidad. Dependiendo del uso que se le vaya a dar a dicho elemento, la forma química en que los encontraremos serán principalmente como compuestos para la fabricación de fármacos, sintetizadores de polímeros, catalizadores, o en forma de aleaciones entre otros tantos procesos industriales donde están involucrados.

En el ambiente los metales traza se pueden hallar por lo general formando diferentes compuestos minerales o encontrarse disueltos en el agua. Algunos metales como el cobre, plata y oro se encuentran nativos en la naturaleza; cuando no están formando minerales, los elementos traza se ubican como impurezas dentro de las estructuras cristalinas de otros minerales; al encontrarse en la litología de una región, se considera que son aportados al ambiente de una manera natural; pero, al alterar el ser humano su entorno, a través de las

---

distintas actividades industriales y urbanas (metalúrgica, azucarera, metalmecánica, turística, construcción, transporte, etc), esos mismos metales pueden ser aportados al ambiente a través de todos los desechos de dichas actividades, los cuales son arrojados muchas veces indiscriminadamente al aire o a los distintos cuerpos de agua -ríos, lagunas- para que finalmente lleguen al mar. Este suministro artificial de metales al ambiente, se clasifica como aportes antropogénicos (Sevilla, 2005).

El hecho de encontrar metales en alguno de los distintos ecosistemas (ya sea acuático o terrestre), no nos da la suficiente información para determinar si la vida de organismos animales y vegetales se encuentra en peligro de intoxicación por la presencia de metales en su hábitat, debido a que la toxicidad depende fundamentalmente de la forma química y cantidad en que se encuentre dicho metal; ya que también, concentraciones bajas de algunos elementos como el Zn, Fe, entre otros, son considerados como nutrientes, debido a que interactúan en las funciones biológicas de todos los organismos (Albert, 2004).

Para determinar si los metales estudiados se encontraban biodisponibles para los organismos del área de estudio, se decidió someter al sedimento a una digestión suave con ácido acético al 25 % (Loring y Rantala, 1992), -tratando de esta manera de igualar las condiciones en las que reaccionarían los metales traza adsorbidos por las partículas de sedimento-. En la tabla 47 se observa que ninguno de los metales se encuentra biodisponible para los organismos de Bahía Vergara, debido probablemente a que las arenas, son el tamaño de partícula (500  $\mu\text{m}$ ) predominante en la bahía, está es una característica del sedimento importante, porque son las partículas del tamaño de limos y arcillas (31 a 4  $\mu\text{m}$ ) donde se adsorben más fácilmente los metales que se encuentran en la columna de agua, debido a que se tiene una mayor área de contacto (Sadiq, 1992). Al encontrar pocas diferencias en las concentraciones promedio de la fracción residual y total del sedimento (tablas 48 a 53), refuerza los resultados obtenidos en el rubro de la no biodisponibilidad, ya que de acuerdo con la ley de conservación de la materia, la suma de la fracción biodisponible con la fracción residual da por resultado la concentración total, al ser despreciable la fracción biodisponible, significa que la fracción residual es el total de los metales, lo cual sugiere que dichos elementos se encuentran asociados a los minerales presentes en la región los cuales llegan a la zona a través del río la Antigua.

Tabla 47. Concentraciones de metales traza en sedimento, en la fracción biodisponible, residual y total en los meses de junio y noviembre

	Concentración en fracción biodisponible (ppm)	Concentración en fracción Residual (ppm)	Concentración Total (ppm)
Cu	N.D	3.99	4.35
Ni	N.D	11.25	11.10
Zn	N.D	38.50	41.08
Cr	N.D	41.58	40.28
V	N.D	93.27	80.74
Pb	N.D	1.17	1.50

junio

	Concentración en fracción biodisponible (ppm)	Concentración en fracción Residual (ppm)	Concentración Total (ppm)
Cu	N.D	1.15	2.05
Ni	N.D	11.62	13.50
Zn	N.D	44.38	43.66
Cr	N.D	47.81	50.32
V	N.D	107.71	99.72
Pb	N.D	1.51	1.51

noviembre

Tabla 48. Anovas de concentración de cobre residual y total en sedimento en los meses de junio y noviembre

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Residual y total	1	0.582	0.582	0.318
Error	16	29.34	1.834	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	29.92		$F_o < F_t$
$H_o = C.R. = C.T.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			
$H_n = C.R. \neq C.T.$				

Cu (junio)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Residual y total	1	3.68	3.68	3.65
Error	16	16.10	1.00	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	19.78		$F_o < F_t$
$H_o = C.R. = C.T.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			
$H_n = C.R. \neq C.T.$				

Cu (noviembre)

Tabla 49. Anovas de concentración de níquel residual y total en sedimento en los meses de junio y noviembre

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Residual y total	1	0.105	0.105	0.003
Error	16	441.74	27.60	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	441.84		$F_o < F_t$
$H_o = C.R. = C.T.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			
$H_n = C.R. \neq C.T.$				

Ni (junio)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Residual y total	1	15.94	15.94	0.41
Error	16	622.08	38.88	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	638.02		$F_o < F_t$
$H_o = C.R. = C.T.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			
$H_n = C.R. \neq C.T.$				

Ni (noviembre)

Tabla 50. Anovas de concentración de zinc residual y total en sedimento en los meses de junio y noviembre

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Residual y total	1	29.98	29.98	0.87
Error	16	546.04	34.12	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	576.02		$F_o < F_t$
$H_o = C.R. = C.T.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			
$H_n = C.R. \neq C.T.$				

Nota. C.R.= Concentración residual y C.T. = concentración total, Ho= hipótesis nula y Hn = hipótesis alterna, F.V. = Fuente de variación, G.L.= Grados de libertad, S.C. = Suma de cuadrados, C.M. = Cuadrado medio.

Zn (junio)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Residual y total	1	2.33	2.33	0.029
Error	16	1285.44	80.34	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	1287.78		$F_o < F_t$
$H_o = C.R. = C.T.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			
$H_n = C.R. \neq C.T.$				

Zn (noviembre)

Tabla 51. Anovas de concentración de cromo residual y total en sedimento en los meses de junio y noviembre

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Residual y total	1	7.68	7.68	0.025
Error	16	5002.68	312.66	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	5010.36		$F_o < F_t$
$H_o = C.R. = C.T.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			
$H_n = C.R. \neq C.T.$				

Nota. C.R.= Concentración residual y C.T. = concentración total, Ho= hipótesis nula y Hn = hipótesis alterna, F.V. = Fuente de variación, G.L.= Grados de libertad, S.C. = Suma de cuadrados, C.M. = Cuadrado medio.

Cr (junio)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Residual y total	1	28.34	28.34	0.053
Error	16	8572.73	535.79	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	8601.07		$F_o < F_t$
$H_o = C.R. = C.T.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			
$H_n = C.R. \neq C.T.$				

Cr (noviembre)

Tabla 52. Anovas de concentración de vanadio residual y total en sedimento en los meses de junio y noviembre

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Residual y total	1	706.65	706.65	0.69
Error	16	16381.1	1023.82	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	17087.8		$F_o < F_t$
$H_o = C.R. = C.T.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			
$H_n = C.R. \neq C.T.$				

Nota. C.R.= Concentración residual y C.T. = concentración total, Ho= hipótesis nula y Hn = hipótesis alterna, F.V. = Fuente de variación, G.L.= Grados de libertad, S.C. = Suma de cuadrados, C.M. = Cuadrado medio.

V (junio)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Residual y total	1	287.92	287.92	0.081
Error	16	56869.34	3554.33	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	57157.27		$F_o < F_t$
$H_o = C.R. = C.T.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			
$H_n = C.R. \neq C.T.$				

V (noviembre)

Tabla 53. Anovas de concentración de plomo residual y total en sedimento en los meses de junio y noviembre

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Residual y total	1	0.476	0.476	2.87
Error	16	2.653	0.166	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	3.129		$F_o < F_t$
$H_o = C.R. = C.T.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza			
$H_n = C.R. \neq C.T.$	$H_n$ .			

Nota. C.R. = Concentración residual y C.T. = concentración total, Ho= hipótesis nula y Hn = hipótesis alterna, F.V. = Fuente de variación, G.L.= Grados de libertad, S.C. = Suma de cuadrados, C.M. = Cuadrado medio.

Pb (junio)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Residual y total	1	0.598	0.598	2.40
Error	16	3.971	0.248	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	4.568		$F_o < F_t$
$H_o = C.R. = C.T.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza			
$H_n = C.R. \neq C.T.$	$H_n$ .			

Pb (noviembre)

En diversos estudios donde se trata de ver el impacto ambiental producido por el hombre, se utilizan indicadores como el factor de enriquecimiento (EF) y el índice de geoacumulación ( $I_{geo}$ ); los cuales son considerados como herramientas útiles para determinar el origen o el grado de contaminación de los sedimentos provocado por metales (Chiu- Wen, 2007). Para poder calcular esos parámetros se utilizan las siguientes formulas:

$$EF = \frac{\left(\frac{X}{Al}\right)_{Sedimento}}{\left(\frac{X}{Al}\right)_{Corteza}} \quad I_{geo} = \log_2 \left( \frac{C_n}{1.5B_n} \right)$$

Para el cálculo del factor de enriquecimiento se dividen los resultados de cada metal -X- con la concentración encontrada de aluminio en la muestra -a la división se le conoce como normalizar los datos-, después se divide la concentración del metal y aluminio promedio presente en la corteza terrestre; se normalizan los resultados con aluminio porque representa a los aluminosilicatos los cuales son los minerales que predominan en los sedimentos costeros (Chiu - Wen, 2007), al realizar la normalización se trata de eliminar el efecto del tamaño de partícula en la concentración de los metales en el sedimento. También se pueden utilizar a elementos como el Fe y Li para realizar esta normalización debido a que se encuentran en altas concentraciones en la corteza terrestre, se puede escoger uno u otro elemento para normalizar, dependiendo cual de ellos se obtiene una mejor correlación (Loring y Rantala ,1992).

Mientras que para el cálculo del índice de geoacumulación se utiliza la concentración encontrada del metal  $C_n$ , la concentración característica de la zona  $B_n$ , y un factor que considera las variaciones en la litología cuyo valor es 1.5 (Müller, 1969). Para este trabajo el valor de  $B_n$  fué el promedio encontrado de cada metal en 100 muestras, las cuales pertenecen a trabajos anteriores hechos cerca del área de estudio (Celis, 2006 y Cerón, 2008). Una vez obtenidos ambos parámetros se comparan con la escala (presentados en la tabla 54 a y b) propuesta por (Birth, 2003) y por (Müller, 1969) respectivamente.

Tabla 54 a y b. Interpretaciones del factor de enriquecimiento e índice de geoacumulación

E.F.	Interpretación
< 1	No enriquecido
1 < 3	Enriquecimiento menor
3 – 5	Enriquecimiento moderado
5-10	Enriquecimiento moderadamente severo
10-25	Enriquecimiento severo
25-50	Enriquecimiento muy severo
50 >	Enriquecimiento extremadamente severo

a) Factor de enriquecimiento (E.F.)

$I_{geo}$	Interpretación
$\leq 0$	No contaminado
$0 \leq 1$	No a moderadamente contaminado
$1 \leq 2$	Moderadamente contaminado
$2 \leq 3$	Moderado a fuertemente contaminado
$3 \leq 4$	Fuertemente contaminado
$4 \leq 5$	Fuerte a extremadamente contaminado
$5 \geq$	Extremadamente contaminado

b) Índice de geoacumulación ( $I_{geo}$ )

Siguiendo la escala propuesta por (Birth, 2003)-tabla 54a-, se puede observar que en general los sedimentos de Bahía Vergara se pueden considerar como no enriquecidos, ya que se obtuvieron valores promedio menores a 1 en el factor de enriquecimiento (tabla 55); excepto para el V, donde se obtuvo un valor promedio de 1.21 en el mes de noviembre, entrando este metal a la categoría de enriquecimiento moderado, cabe destacar que algunas estaciones entraron a esta última categoría por encontrarse valores del factor de enriquecimiento mayores a 1 (siendo los valores máximos) en Zn, Cr y V para ambos muestreos.

Al analizar los resultados obtenidos por el índice de geoacumulación (tabla 56), siguiendo la escala propuesta por (Müller, 1969) (presentada en la tabla 54b) y al encontrar valores promedio del índice de geoacumulación menores a cero, se puede inferir que los sedimentos de Bahía Vergara no se encuentran contaminados por metales pesados, aunque en las estaciones 21 y 23 se encontraron valores ligeramente por arriba de cero (0.21 y 0.12) se puede seguir considerando como no contaminado.

Tabla 55. Comparación del factor de enriquecimiento de sedimento en los meses de junio y noviembre

	E.F. (Cu)	E.F. (Ni)	E.F. (Zn)	E.F. (Cr)	E.F. (V)	E.F. (Pb)
Promedio	0.12	0.23	0.92	0.64	0.9	0.40
Máximo	0.16	0.38	1.27	1.12	1.66	0.77
Mínimo	0.06	0.08	0.48	0.30	0.33	0.25
Desv.std	0.04	0.12	0.22	0.32	0.45	0.17
C.V	32.33	50.79	24.15	49.35	47.49	42.57

junio

E.F. (Cu)	E.F. (Ni)	E.F. (Zn)	E.F. (Cr)	E.F. (V)	E.F. (Pb)
0.06	0.29	1.01	0.82	1.21	0.47
0.10	0.49	1.44	1.58	2.51	0.86
0.02	0.11	0.77	0.29	0.44	0.24
0.03	0.12	0.26	0.42	0.75	0.24
48.19	42.54	25.38	51.83	62.37	50.97

noviembre

Tabla 56. Comparación del índice de geoacumulación en sedimento en los meses de junio y noviembre

	I <sub>geo</sub> (Cu)	I <sub>geo</sub> (Ni)	I <sub>geo</sub> (Zn)	I <sub>geo</sub> (Cr)	I <sub>geo</sub> (V)	I <sub>geo</sub> (Pb)
Promedio	-1.76	-2.30	-0.93	-1.34	-1.08	-3.53
Máximo	-1.09	-1.37	-0.74	-0.55	-0.09	-2.95
Mínimo	-2.82	-3.83	-1.26	-2.30	-2.58	-3.96
Desv.std	0.56	0.81	0.20	0.66	0.69	0.30
C.V	31.58	35.10	21.01	48.97	63.42	8.61

junio

I <sub>geo</sub> (Cu)	I <sub>geo</sub> (Ni)	I <sub>geo</sub> (Zn)	I <sub>geo</sub> (Cr)	I <sub>geo</sub> (V)	I <sub>geo</sub> (Pb)
-2.99	-1.98	-0.86	-1.06	-0.86	-3.34
-1.96	-1.31	-0.52	-0.15	0.21	-2.82
-4.30	-3.11	-1.18	-2.27	-1.98	-3.64
0.92	0.69	0.28	0.76	0.86	0.30
30.82	34.93	32.11	71.96	99.25	8.97

noviembre

En las figuras 13, 15, 16, 17 y 18, se observa en general, que para la mayoría de los metales estudiados, (Cu, Ni, Zn, Cr y V) las estaciones más alejadas a la costa y concretamente en la dirección noroeste de la bahía, son los sitios que presentan altos factores de enriquecimiento, lo cual sugiere que los metales provienen del río la Antigua, localizado a 15 km en esa dirección de Bahía Vergara, cabe destacar que el Cu (figura 13 a y b) aunque sigue la tendencia mencionada líneas arriba, difiere en la dirección, ya que es en la parte noreste de la bahía donde se registran valores altos del factor de enriquecimiento (0.16 y 0.09), al comparar esta distribución con la de otros parámetros como el carbono orgánico y los lodos (mostrados en la figura 14 a y b) y observando la correlación de éstos entre ellos mismos y el cobre con los lodos (figura 14 b), indica que hay una interacción del cobre con

estas variables, lo cual explicaría su distribución en el área de estudio. Por otro lado, el Pb (mostrado en la figura 19 a y b) es el único metal que presenta una tendencia contraria, ya que los mayores factores de enriquecimiento se encontraron cercanos a la costa, lo cual sugeriría un aporte antropogénico de este metal, se infiere lo anterior debido a que según reportes periodísticos (La jornada, 2003) afirman que el viejo sistema de drenaje de la ciudad de Veracruz, no ha sido cambiado desde los tiempos del porfiriato, donde se pudo utilizar asbesto para las tuberías del drenaje y dicho material es una aleación de Fe- Pb, pudiendo explicar así el origen y el cambio en la distribución del Pb en Bahía Vergara.

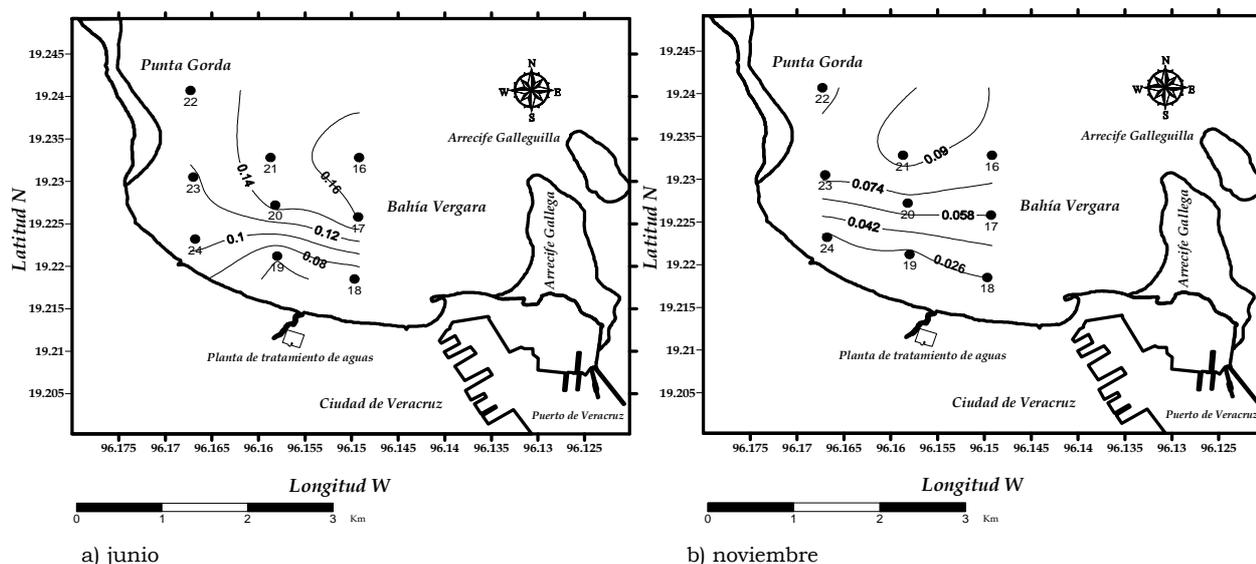


Figura 13 a y b. Comparaciones de la distribución del factor de enriquecimiento de Cu en los sedimentos para los meses de junio y noviembre

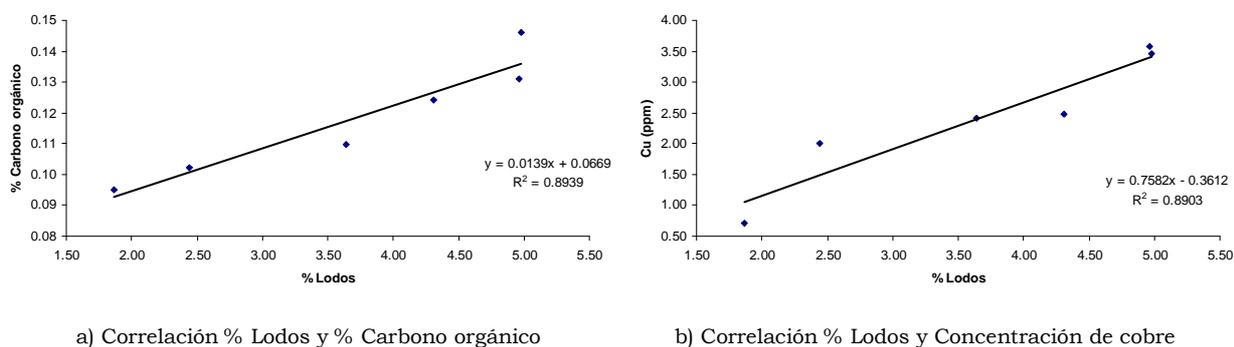
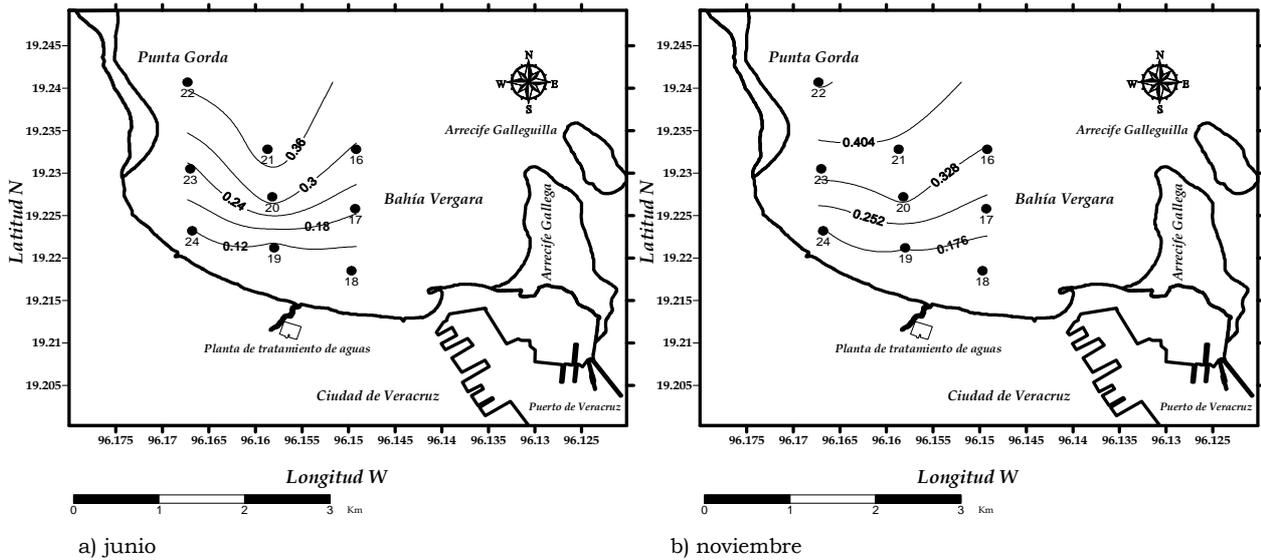
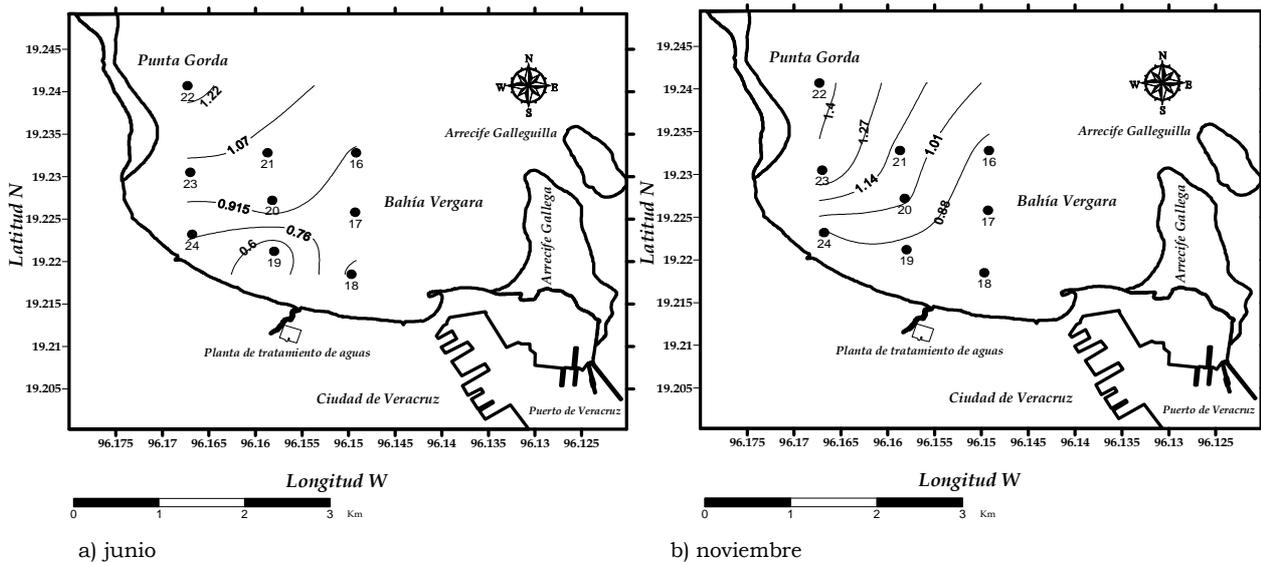


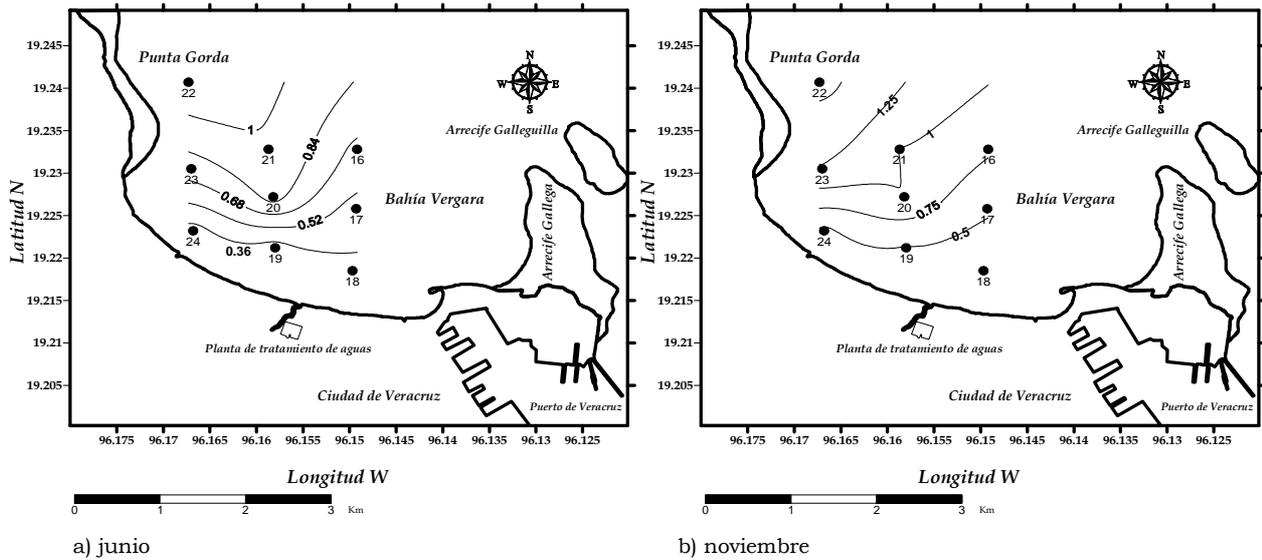
Figura 14 a y b. Correlación del % Lodos vs. % Carbono orgánico y correlación entre % Lodos vs. Concentración de cobre



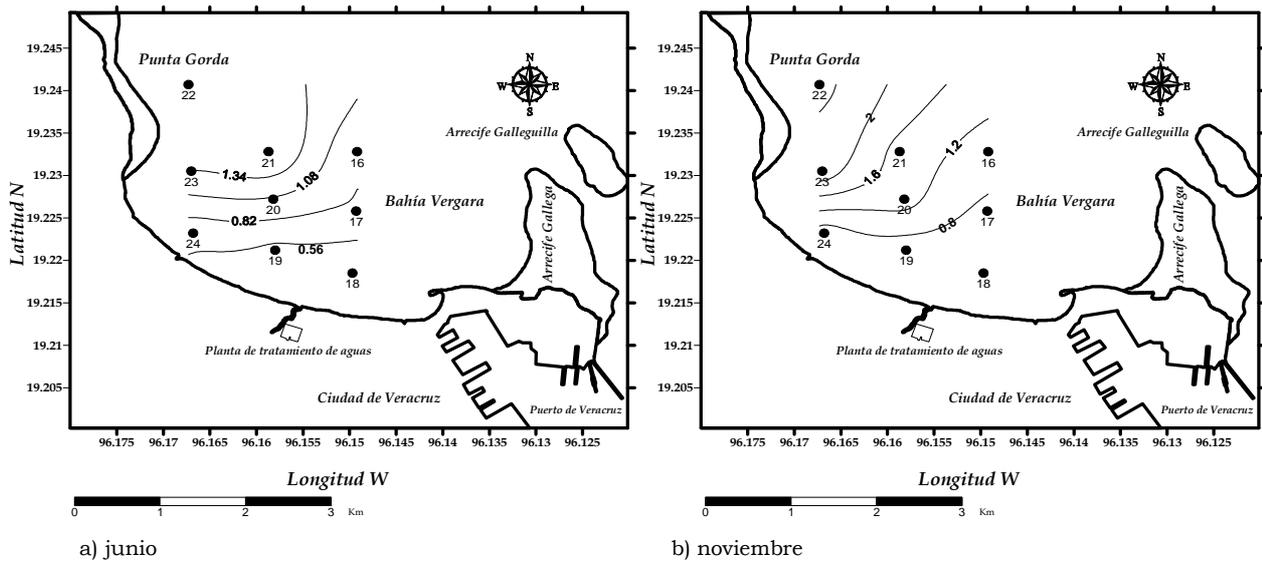
a) junio  
 b) noviembre  
 Figura 15 a y b. Comparaciones de la distribución del factor de enriquecimiento del Ni en los sedimentos para los meses de junio y noviembre



a) junio  
 b) noviembre  
 Figura 16 a y b. Comparaciones de la distribución del factor de enriquecimiento del Zn en los sedimentos para los meses de junio y noviembre



a) junio  
 b) noviembre  
 Figura 17 a y b. Comparaciones de la distribución del factor de enriquecimiento del Cr en los sedimentos para los meses de junio y noviembre



a) junio  
 b) noviembre  
 Figura 18 a y b. Comparaciones de la distribución del factor de enriquecimiento del V en los sedimentos para los meses de junio y noviembre

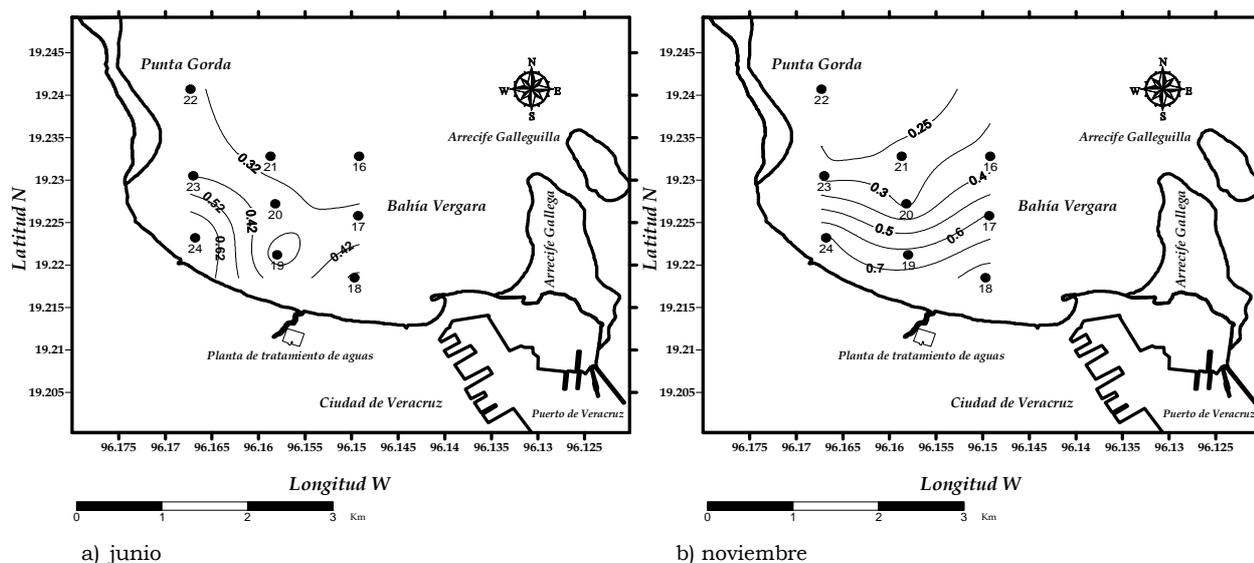


Figura 19 a y b. Comparaciones de la distribución del factor de enriquecimiento del Pb en los sedimentos para los meses de junio y noviembre

Al comparar las concentraciones promedio de los metales traza en los sedimentos de Bahía Vergara (tabla 57) se observan concentraciones parecidas entre junio (secas) y noviembre (nortes), lo cual sugiere que no hay un cambio significativo en las concentraciones de Ni, Zn, Cr, V y Pb, (tablas 58 a 60). El hecho de que no haya un cambio estacional, sugiere que la dinámica del sistema con respecto a los sedimentos no cambia a lo largo del año, esto también se ve en el comportamiento del tamaño de partícula, ya que tampoco hubo variaciones estacionales con respecto a este parámetro, (figura 11 a y b y tabla 34). Nuevamente la única excepción de no seguir esta tendencia es el cobre, ya que al hacer el análisis de varianza para este metal (tabla 58), se obtiene que la disminución en la concentración de cobre en los sedimentos (4.35 a 2.05) y la disminución en el factor de enriquecimiento (0.12 a 0.06) observado en la tabla 49 es significativo, sugiriendo que esto podría asociarse a la disminución del carbono orgánico en el sedimento, al cual está asociado el cobre, ya que ésta es más alta en el mes de junio (0.18%) y más baja en noviembre (0.13%) y a la mezcla de sedimento por ser época de nortes.

Tabla 57. Concentraciones promedio de los metales totales en sedimento estudiados en los meses de junio y noviembre

	Cu	Cu	Ni	Ni	Zn	Zn	Cr	Cr	V	V	Pb	Pb
	Junio	noviembre	junio	Noviembre	junio	Noviembre	junio	noviembre	Junio	noviembre	junio	noviembre
L.D	0.01		0.03		0.01		0.01		0.05		0.15	
Promedio	4.35	2.05	11.10	13.50	49.08	43.66	40.28	50.32	80.74	99.72	1.50	1.71
Máximo	6.52	3.58	18.75	19.52	46.49	54.29	64.07	84.71	146.57	181.39	2.18	2.39
Mínimo	1.97	0.70	3.40	5.60	32.63	34.33	19.06	19.40	26.25	39.58	1.09	1.36
Desv.std.	1.55	1.09	5.24	5.57	5.42	8.28	16.64	23.27	32.94	54.37	0.33	0.37
C.V.	35.63	53.17	47.20	41.25	11.04	18.96	41.31	46.24	40.79	54.52	22.00	21.63

Tabla 58. Anovas de concentraciones de Cu y Ni en sedimento durante las temporadas de secas y nortes

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y nortes	1	23.80	23.80	13.28
Error	16	28.67	1.79	$F_{16}^1 = 4.49$
				$\alpha = 0.05$
Total	17	52.48		$F_o < F_t$
<hr/>				
$H_o = Cu.S. = Cu.N.$	Al ser $F_o > F_t$ , se rechaza $H_o$ y se acepta $H_n$ .			
$H_n = Cu.S. \neq Cu.N.$				

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y nortes	1	26.01	26.01	0.89
Error	16	467.43	29.21	$F_{16}^1 = 4.49$
				$\alpha = 0.05$
Total	17	493.44		$F_o < F_t$
<hr/>				
$H_o = Ni.S. = Ni.N.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			
$H_n = Ni.S. \neq Ni.N.$				

Nota. Cu.S.= Concentración cobre secas y Cu.N. =Concentración cobre nortes, Ni.S.= Concentración níquel secas y Ni.N. =Concentración níquel nortes, Ho= hipótesis nula y Hn = hipótesis alterna, F.V. = Fuente de variación, G.L.= Grados de libertad, S.C. = Suma de cuadrados, C.M. = Cuadrado medio.

Cu

Ni

Tabla 59. Anovas de concentraciones de Zn y Cr en sedimento durante las temporadas de secas y nortes

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y nortes	1	29.84	29.84	0.61
Error	16	783.06	48.94	$F_{16}^1 = 4.49$
				$\alpha = 0.05$
Total	17	812.91		$F_o < F_t$
<hr/>				
$H_o = Zn.S. = Zn.N.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			
$H_n = Zn.S. \neq Zn.N.$				

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y nortes	1	454.24	454.24	1.11
Error	16	6544.6	409.04	$F_{16}^1 = 4.49$
				$\alpha = 0.05$
Total	17	6998.9		$F_o < F_t$
<hr/>				
$H_o = Cr.S. = Cr.N.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			
$H_n = Cr.S. \neq Cr.N.$				

Nota. Zn.S.= Concentración zinc secas y Zn.N. =Concentración zinc nortes, Cr.S.= Concentración cromo secas y Cr.N. =Concentración cromo nortes, Ho= hipótesis nula y Hn = hipótesis alterna, F.V. = Fuente de variación, G.L.= Grados de libertad, S.C. = Suma de cuadrados, C.M. = Cuadrado medio.

Zn

Cr

Tabla 60. Anovas de concentraciones de V y Pb en sedimento durante las temporadas de secas y nortes

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y nortes	1	1620.8	1620.8	0.80
Error	16	32324	2020.2	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	33945		$F_o < F_t$
$H_o = V.S. = V.N.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			
$H_n = V.S. \neq V.N.$				

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y nortes	1	0.191	0.191	1.55
Error	16	1.96	0.12	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	2.15		$F_o < F_t$
$H_o = Pb.S. = Pb.N.$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			
$H_n = Pb.S. \neq Pb.N.$				

Nota. V.S.= Concentración vanadio secas y V.N.=Concentración vanadio nortes, Pb.S.= Concentración plomo secas y Pb.N.=Concentración plomo nortes, Ho= hipótesis nula y Hn = hipótesis alterna, F.V. = Fuente de variación, G.L.= Grados de libertad, S.C. = Suma de cuadrados, C.M. = Cuadrado medio.

V

Pb

De manera anual se observa en la figura 20 que la abundancia de los metales traza en los sedimentos del área fue la siguiente: V (90.2 ppm) > Cr (45.3 ppm) > Zn (46.4 ppm) > Ni (12.3) > Cu (3.2 ppm) > Pb (1.6 ppm)

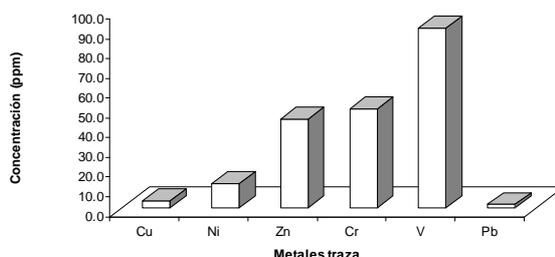


Figura 20. Abundancia anual de metales traza en los sedimentos de Bahía Vergara

Realizando una comparación de los valores obtenidos con otras áreas del Golfo de México (tabla 61), observamos que debido a la diversidad de la litología de la costa del golfo y a las distintas actividades humanas que se realizan en cada lugar, da como resultado una variación en las concentraciones de los metales; por ejemplo en el caso del V, la media obtenida en Bahía Vergara (91.0 ppm) se encuentra dentro de los valores promedio reportados en otros sitios, costa de Veracruz (95.5 ppm), plataforma de Tabasco (91.0 ppm); mientras que al compararlos con datos obtenidos en la plataforma de Tamaulipas (26.8 ppm) y sureste del Golfo de México (71.3 ppm), el V se encuentra por arriba, casi 3.5 y 1.2 veces más elevado; para el caso del Cr, la media encontrada fue de (49.8 ppm), la cual se encuentra por arriba de los resultados registrados en la plataforma de Tamaulipas (9.14 ppm), Veracruz (1.79 ppm), Tabasco (7.03 ppm), Campeche (0.09 ppm) y sureste del Golfo de México (3.45 ppm), por lo que este metal se encuentra, 5.2, 27.8, 7.1, 553.3 y 14.4 veces más alto que en el resto de los otros estudios. Continuando con el Zn, en la bahía se

encontró una concentración promedio de (45.1 ppm) los cuales están ligeramente arriba (1.1, 2.8 y 1.1 veces más arriba) de los registrados en la plataforma de Tamaulipas (39.9 ppm), Veracruz (15.6 ppm), Campeche (39.8 ppm) y por debajo de los encontrados en el sureste del Golfo de México (74.5 ppm); siguiendo con el Ni, la media en Bahía Vergara (12.3 ppm) se encuentra dentro de los valores promedio reportados en la plataforma de Veracruz (15.2 ppm), al comparar este valor con los registrados en el sureste del Golfo de México (107 ppm), se puede decir que el Ni se encuentra muy por debajo (8.6 veces menos) a los encontrados en esa zona del golfo; mientras que para la plataforma de Tamaulipas (4.22 ppm), Tabasco (6.44 ppm) y Campeche (4.3 ppm) el valor se encuentra 2.9, 1.9 y 2.8 veces por arriba de estos sitios. Para los casos del Pb (1.6 ppm) y Cu (3.6 ppm) los promedios del área de estudio se encuentran por debajo a los reportados en las demás áreas, plataforma de Tamaulipas (Pb 71.6 ppm y Cu 15.2 ppm), Veracruz (Pb 33.1 ppm y Cu 17.9 ppm), Tabasco (Pb 84.4 ppm y Cu 16.8 ppm), Campeche (Pb 18.5 ppm y Cu 7.53 ppm) y sureste del Golfo de México (Pb 64.6 ppm y Cu 9.4 ppm).

Tabla 61. Comparación de concentración de metales traza en sedimentos en otras regiones del Golfo de México

Área		V	Cr	Zn	Ni	Pb	Cu
Presente estudio	Promedio	91.0	49.8	45.1	12.3	1.6	3.2
	Intervalo	26.2-181.3	19.0-84.7	32.6-54.2	3.4-19.5	1.0-2.3	0.7-6.5
Costa de Veracruz (Vázquez, 1991)	Promedio	95.5	-	-	-	-	-
	Intervalo	82 - 113	-	-	-	-	-
Plataforma de Tamaulipas (Ponce, 1995)	Promedio	26.82	9.14	39.97	4.22	71.67	15.23
	Intervalo	1.9 - 76	2.8 - 18	nd - 74.96	nd- 6.9	17.3-115.5	3.2-24.9
Plataforma de Veracruz (Ponce, 1995)	Promedio	17.86	1.79	15.6	15.2	33.18	17.94
	Intervalo	3.4-84.8	1.16 - 5.96	nd - 50.3	nd - 37.7	nd - 185.9	1.6-91.25
Plataforma de Tabasco (Ponce, 1995)	Promedio	91.0	7.03	101.7	6.44	84.4	16.88
	Intervalo	45.7-147	2.8-13.9	57 -157.4	nd - 27.2	47.3 -127	nd-33.5
Plataforma de Campeche (Macias-Zamara, 1999)	Promedio	-	0.09	39.8	4.3	18.5	7.53
	Intervalo	-	0.01-0.7	3 - 100	0.22 -20.2	0.04 -79.6	3.8-18.7
Sureste Golfo de México (Rosales- Hoz, 1994)	Promedio	71.3	3.45	74.5	107	64.6	9.4
	Intervalo	1.54 - 211	0.05 - 6.82	54.7 - 97.3	67.3 - 263	0.54-131	0.05-18.3

### Elementos mayores

Se consideran al silicio, aluminio, fierro, titanio, magnesio, manganeso, calcio, fósforo, sodio y potasio como elementos mayores, debido a que son los principales componentes de la corteza terrestre; en la naturaleza, los rangos de concentración en los que se encuentran es de porcentaje (Figaruelo, 2001). Estos elementos forman diferentes tipos de minerales, dependiendo del tipo de litología de cada región. Al ser parte importante de la composición química de la corteza, pueden aportar información sobre los posibles minerales que se encuentren presentes en un área y en general en estudios oceanográficos, se usan elementos como el silicio y aluminio como indicadores de la influencia terrígena hacia los océanos, debido a que se encuentran asociados a los silicoaluminatos los cuales son minerales resistentes a los procesos de intemperización, pero no sólo es la resistencia a la intemperización lo que permite su uso, sino también la diferencia en composición química de la corteza oceánica y continental, siendo esta última rica en silicatos, aluminosilicatos entre otros, lo cual permite usarlos como trazadores de influencia terrígena.

Al comparar las concentraciones promedio de los elementos mayores en los sedimentos de la bahía (tablas 62a y b) se observa que las concentraciones son parecidas entre los meses de junio y noviembre, lo cual sugiere que no hay ninguna diferencia significativa en las concentraciones de cada uno de los elementos estudiados, (63, 64, 65, 66 y 67).

Tabla 62a. Concentraciones promedio de elementos mayores en sedimento estudiados en los meses de junio y noviembre

	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MnO	MgO	MgO
	Junio	noviembre	junio	Noviembre	junio	Noviembre	junio	noviembre	Junio	noviembre	junio	noviembre
Promedio	62.18	63.82	0.61	0.63	10.24	9.73	3.86	3.93	0.07	0.08	1.93	1.90
Máximo	67.91	67.43	0.90	0.94	15.17	11.00	5.80	5.42	0.08	0.10	2.40	2.38
Mínimo	47.44	58.99	0.31	0.35	7.81	8.27	2.25	2.55	0.05	0.06	1.35	1.29
Desv.std.	6.12	2.60	0.20	0.24	2.21	1.14	1.10	1.19	0.01	0.02	0.36	0.48
C.V.	9.84	4.07	33.20	38.06	21.55	11.74	28.46	30.19	19.00	20.46	18.53	25.14

Tabla 62b. Concentraciones promedio de elementos mayores en sedimento estudiados en los meses de junio y noviembre

	CaO	CaO	Na <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	Junio	noviembre	junio	Noviembre	junio	Noviembre	junio	noviembre
Promedio	8.49	8.81	2.88	2.35	1.77	1.75	0.13	0.11
Máximo	9.21	9.82	4.72	2.63	2.20	2.07	0.22	0.16
Mínimo	7.79	8.27	2.11	2.00	1.47	1.51	0.09	0.09
Desv.std.	0.50	0.55	0.76	0.21	0.23	0.18	0.04	0.02
C.V.	5.88	6.26	26.26	8.74	13.04	10.28	31.30	20.86

Tabla 63. Anovas de concentración de SiO<sub>2</sub> y TiO<sub>2</sub> en sedimento durante las temporadas de secas y nortes

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y nortes	1	12.12	12.12	0.55
Error	16	353.33	22.08	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	365.45		$F_o < F_t$
H <sub>0</sub> =SiO <sub>2</sub> .S.=SiO <sub>2</sub> .N. H <sub>n</sub> =SiO <sub>2</sub> .S.≠SiO <sub>2</sub> .N.	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta H <sub>0</sub> y se rechaza H <sub>n</sub> .			

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y nortes	1	0.002	0.002	0.04
Error	16	0.79	0.05	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	0.79		$F_o < F_t$
H <sub>0</sub> =TiO <sub>2</sub> .S.=TiO <sub>2</sub> .N. H <sub>n</sub> =TiO <sub>2</sub> .S.≠TiO <sub>2</sub> .N.	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta H <sub>0</sub> y se rechaza H <sub>n</sub> .			

Nota. SiO<sub>2</sub>.S.= Concentración SiO<sub>2</sub> secas y SiO<sub>2</sub>.N.=Concentración SiO<sub>2</sub> nortes, TiO<sub>2</sub>.S.= Concentración TiO<sub>2</sub> secas y TiO<sub>2</sub>.N.=Concentración TiO<sub>2</sub> nortes, Ho= hipótesis nula y Hn = hipótesis alterna,

F.V. = Fuente de variación, G.L.= Grados de libertad, S.C. = Suma de cuadrados, C.M. = Cuadrado medio.

SiO<sub>2</sub>TiO<sub>2</sub>Tabla 64. Anovas de concentración de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en sedimento durante las temporadas de secas y nortes

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y nortes	1	1.15	1.15	0.37
Error	16	49.42	3.08	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	50.58		$F_o < F_t$
H <sub>0</sub> =Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .S.=Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .N. H <sub>n</sub> =Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .S.≠Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .N.	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta H <sub>0</sub> y se rechaza H <sub>n</sub> .			

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y nortes	1	0.02	0.02	0.016
Error	16	20.92	1.30	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	20.94		$F_o < F_t$
H <sub>0</sub> =Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .S.=Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .N. H <sub>n</sub> =Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .S.≠Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .N.	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta H <sub>0</sub> y se rechaza H <sub>n</sub> .			

Nota. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.S.= Concentración Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> secas y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.N.=Concentración Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nortes, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.S.= Concentración Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> secas y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.N.=Concentración Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nortes, Ho= hipótesis nula y

Hn = hipótesis alterna, F.V. = Fuente de variación, G.L.= Grados de libertad, S.C. = Suma de cuadrados, C.M. = Cuadrado medio.

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Tabla 65. Anovas de concentración de MnO y MgO en sedimento durante las temporadas de secas y nortes

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y nortes	1	0.001	0.001	3.4
Error	16	0.003	0.00	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	0.004		$F_o < F_t$
$H_o = \text{MnO.S.} = \text{MnO.N.}$ $H_n = \text{MnO.S.} \neq \text{MnO.N.}$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y nortes	1	0.003	0.003	0.02
Error	16	2.83	0.17	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	2.84		$F_o < F_t$
$H_o = \text{MgO.S.} = \text{MgO.N.}$ $H_n = \text{MgO.S.} \neq \text{MgO.N.}$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			

Nota. MnO.S.= Concentración MnO secas y MnO. N. =Concentración MnO nortes, MgO.S.= Concentración MgO secas y MgO.N. =Concentración MgO nortes, Ho= hipótesis nula y Hn = hipótesis alterna.

F.V. = Fuente de variación, G.L.= Grados de libertad, S.C. = Suma de cuadrados, C.M. = Cuadrado medio.

MnO

MgO

Tabla 66. Anovas de concentración de CaO y Na<sub>2</sub>O en sedimento durante las temporadas de secas y nortes

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y nortes	1	0.44	0.44	1.6
Error	16	4.42	0.27	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	4.86		$F_o < F_t$
$H_o = \text{CaO.S.} = \text{CaO.N.}$ $H_n = \text{CaO.S.} \neq \text{CaO.N.}$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y nortes	1	1.24	1.24	4.04
Error	16	4.91	0.30	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	6.15		$F_o < F_t$
$H_o = \text{Na}_2\text{O.S.} = \text{Na}_2\text{O.N.}$ $H_n = \text{Na}_2\text{O.S.} \neq \text{Na}_2\text{O.N.}$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			

Nota CaO.S.= Concentración CaO secas y CaO. N. =Concentración CaO nortes, Na<sub>2</sub>O.S.= Concentración Na<sub>2</sub>O secas y Na<sub>2</sub>O.N.=Concentración Na<sub>2</sub>O nortes, Ho= hipótesis nula y Hn = hipótesis alterna.

F.V. = Fuente de variación, G.L.= Grados de libertad, S.C. = Suma de cuadrados, C.M. = Cuadrado medio.

CaO

Na<sub>2</sub>O

Tabla 67. Anovas de concentración de K<sub>2</sub>O y P<sub>2</sub>O<sub>4</sub> en sedimento durante las temporadas de secas y nortes

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y nortes	1	0.002	0.002	0.05
Error	16	0.68	0.04	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	0.68		$F_o < F_t$
$H_o = \text{K}_2\text{O.S.} = \text{K}_2\text{O.N.}$ $H_n = \text{K}_2\text{O.S.} \neq \text{K}_2\text{O.N.}$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo
Secas y nortes	1	0.001	0.001	0.99
Error	16	0.017	0.001	$F_{16}^1 = 4.49$ $\alpha = 0.05$
Total	17	0.019		$F_o < F_t$
$H_o = \text{P}_2\text{O}_4\text{.S.} = \text{P}_2\text{O}_4\text{.N.}$ $H_n = \text{P}_2\text{O}_4\text{.S.} \neq \text{P}_2\text{O}_4\text{.N.}$	Al ser $F_o < F_t$ , se acepta $H_o$ y se rechaza $H_n$ .			

Nota K<sub>2</sub>O.S.= Concentración K<sub>2</sub>O secas y K<sub>2</sub>O. N. =Concentración K<sub>2</sub>O nortes, P<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.S.= Concentración P<sub>2</sub>O<sub>4</sub> secas y P<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.N. =Concentración P<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nortes, Ho= hipótesis nula y Hn = hipótesis alterna.

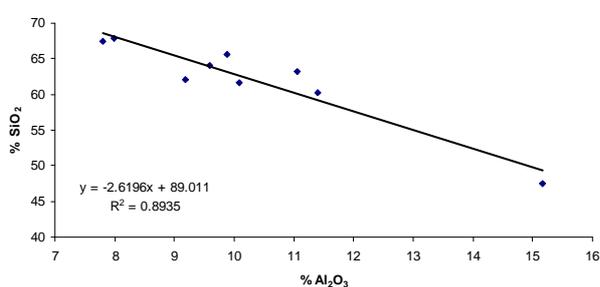
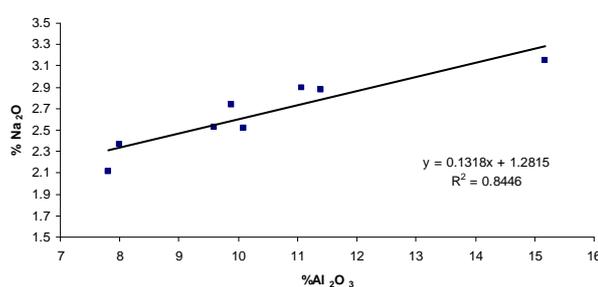
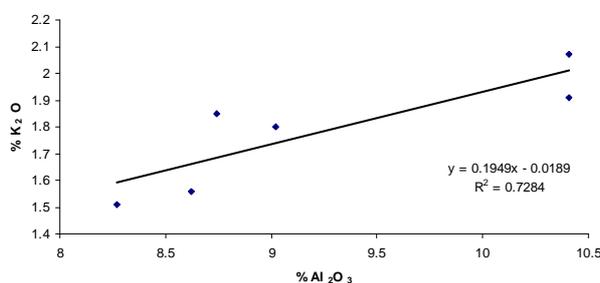
F.V. = Fuente de variación, G.L.= Grados de libertad, S.C. = Suma de cuadrados, C.M. = Cuadrado medio.

K<sub>2</sub>O

P<sub>2</sub>O<sub>4</sub>

El sedimento o detrito transportado por los ríos que se depositan en las zonas costeras está constituido en gran parte por silicoaluminatos, tales como la albita, la anortita o el grupo de los feldespatos; al analizar la relación del silicio con el aluminio, se observa que dichos elementos presentan un comportamiento inversamente proporcional en su interacción

química, lo cual sugiere que la mayoría del silicio hallado en el área de estudio se encuentra en forma de cuarzo y no en forma de silicoaluminatos, en otras palabras, cuando la concentración de silicio aumenta no se encuentra químicamente asociado al aluminio, mientras que al bajar la concentración de silicio es factible que se encuentren asociados a algún tipo de mineral (silicatoaluminatos), tal como se muestra en la figura 21a, donde se observa esta tendencia, mientras que al haber correlaciones positivas con sodio, potasio, sugiere la presencia de minerales como los feldespatos potásicos y sódicos o también la presencia de micas (figuras 21b y 21c).

a) Correlación % SiO<sub>2</sub> y % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>b) Correlación % Na<sub>2</sub>O y % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>c) Correlación % K<sub>2</sub>O y % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Figuras 21. Correlaciones entre a) % SiO<sub>2</sub> y % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; b) % Na<sub>2</sub>O y % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;  
c) % K<sub>2</sub>O y % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

La asociación del carbono orgánico con el fósforo sugiere que una parte de ese elemento es parte de su composición química (figura 22a); pero la asociación de este último con aluminio y hierro, sugiere que también se encuentre presente el fósforo con algunos de los minerales del área de estudio (figuras 22b y 22c).

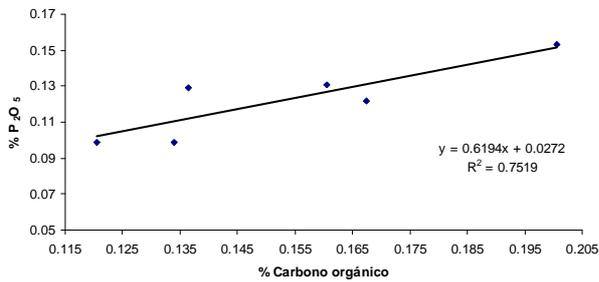
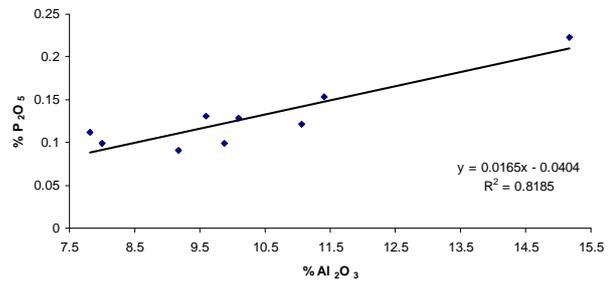
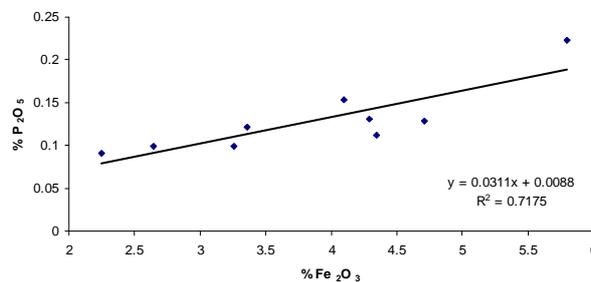
a) Correlación % $P_2O_5$  y %Carbono orgánicob) Correlación % $P_2O_5$  y % $Al_2O_3$ c) Correlación % $P_2O_5$  y % $Fe_2O_3$ 

Figura 22. Correlaciones entre a) % $P_2O_5$  y %Carbono orgánico; b) % $P_2O_5$  y % $Al_2O_3$ ; c) % $P_2O_5$  y % $Fe_2O_3$

Otros elementos donde se encontró una asociación entre ellos (figuras 23 a, b y c) son el hierro, titanio, manganeso y magnesio, lo cual sugiere la presencia de minerales ferromagnesianos, también conocidos como minerales pesados, por lo cual se podrían encontrar minerales como rutilo, magnetita, ilmenita, entre otros; la presencia de este tipo de minerales es debido al tipo de litología por donde atraviesa el río La Antigua, ya que su cauce atraviesa rocas de origen volcánico, todo esto debido a la existencia del eje neovolcánico que es donde nace dicho río.

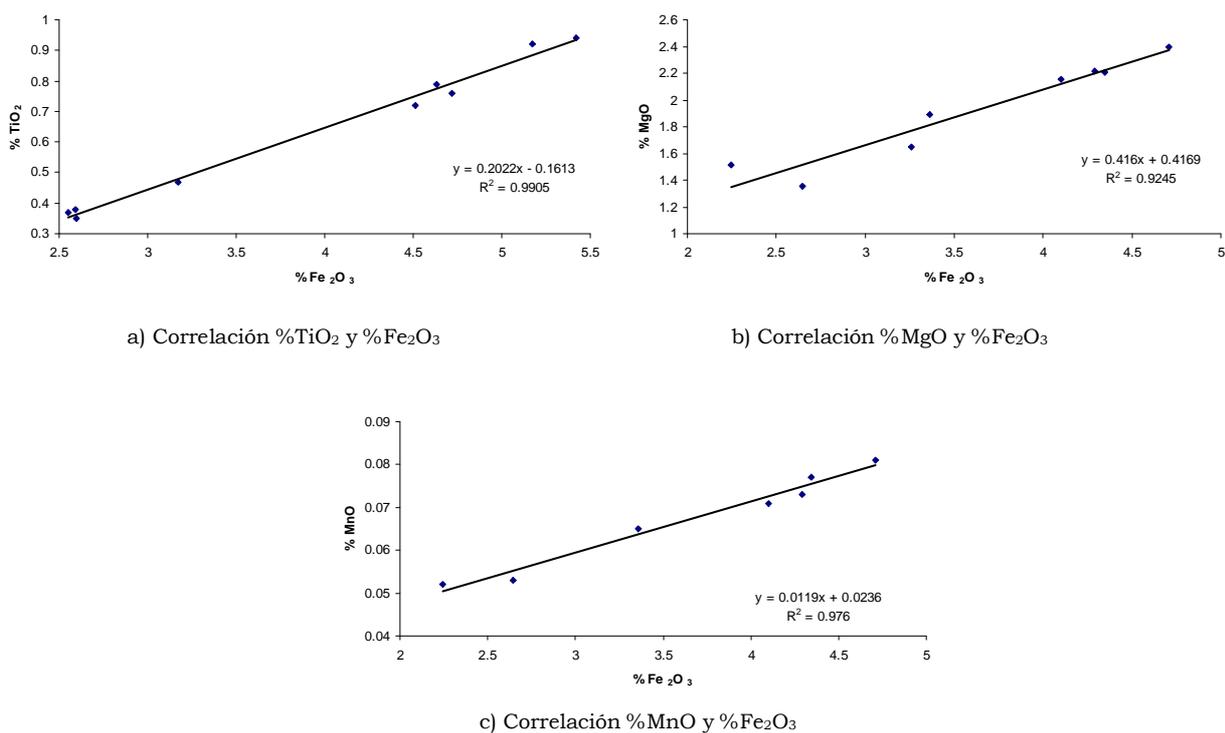
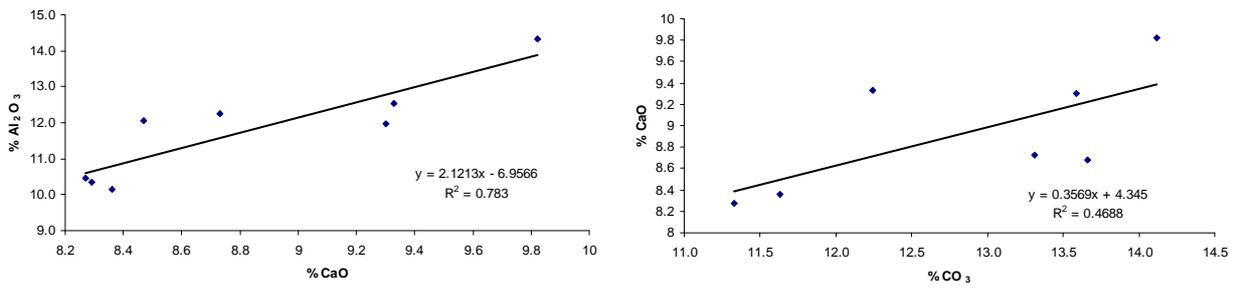


Figura 23. Correlaciones entre a) %TiO<sub>2</sub> y %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; b) %MgO y %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; c) %MnO y %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

La asociación del calcio con el aluminio observada en la figura 24a, permite inferir que se encuentra relacionado a minerales como las plagioclasas, las cuales contienen calcio dentro de su estructura cristalina. Por otro lado, la cercanía del sistema arrecifal veracruzano con el área de estudio (1 a 2 km aproximadamente), haría suponer una influencia biogénica en los sedimentos de Bahía Vergara, sugiriendo así una correlación del calcio con los carbonatos, todo ésto debido a que la composición química de los corales es carbonato de calcio; al no encontrar una correlación significativa de estos dos elementos (figura 24b), descartaría la presencia de este mineral; pero el simple hecho de que existan estos organismos en el área, hace que no se descarte cierta influencia biogénica en la bahía, lo cual sugiere una dilución del sedimento biogénico por la presencia del sedimento terrígeno, haciéndose de esta manera despreciable cualquier aporte biogénico al sedimento de Bahía Vergara.



a) Correlación %Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y %CaO

b) Correlación %CaO y %CO<sub>3</sub>

Figura 24. Correlaciones entre a) %Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y %CaO; b) %CaO y %CO<sub>3</sub>

# Capítulo VI.

SSCEñOñ11:SSU1CñOñC

De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo, las aguas de Bahía Vergara, presentan una variación en la salinidad tanto en superficie como en fondo de la columna de agua, por las descargas de agua dulce provenientes del continente; los procesos físicos de evaporación y precipitación que caracterizan a las temporadas de secas –junio- y nortes -noviembre- de la región, generan cambios estacionales en la salinidad.

La distribución de la temperatura en la columna de agua es homogénea, debido a la poca profundidad de la bahía –menor que 20 m-; el cambio de estación y el probable enfriamiento convectivo de la masa de agua generado por los vientos llamados localmente “nortes”, provoca una disminución de aproximadamente 1°C en la temperatura de la columna de agua.

La concentración de oxígeno disuelto en la columna de agua se encontró como aceptable en los meses de junio y noviembre (5.09 mg/L y 5.34 mg/L en superficie y 3.92 mg/L y 4.29 mg/L en fondo), por lo que el agua de Bahía Vergara se puede clasificar como un ambiente óxico; lo que significa en otras palabras, es que los niveles de oxígeno son los adecuados para la subsistencia de organismos marinos; las diferencias tanto en superficie como en fondo, sólo ponen de manifiesto la existencia de reacciones químicas (oxidación de carbono orgánico, respiración de organismos, etc) que consumen el oxígeno del fondo; la morfología de la bahía ayuda también a la adecuada circulación y oxigenación de las masas de agua.

Los niveles de V, Cr, Ni, Zn, Cu y Pb analizados en las aguas de la bahía, se encuentran por debajo tanto de los valores promedio reportados para el océano (excepto el Pb que se encontró 19 veces por arriba del promedio del mar), como también, sin excepción alguna, están por abajo de los límites máximos permitidos en la NOM-001-ECOL-1996 y al criterio ecológico del agua marina (CNA, 2003) establecidos por las autoridades mexicanas.

De acuerdo con los análisis sedimentológicos hechos en Bahía Vergara, las arenas son el tamaño predominante de partícula de la bahía; las condiciones de relativa alta energía a la cual está sujeta el área, impiden la sedimentación de porcentajes mayores al 25% de material fino, tales como los limos y arcillas. En la zona noreste se están depositando porcentajes cercanos al 5% del material lodoso de la zona, con profundidades entre los 12 m a 17.5 m. Al no haber un cambio significativo de textura, como tampoco un cambio

en la distribución espacial de los sedimentos, indica que la dinámica de la columna de agua con el sedimento es la misma de manera estacional.

De acuerdo con la distribución espacial del carbono orgánico presente en los sedimentos, se sugiere que este material es aportado por las descargas de la planta de tratamiento de agua.

Los carbonatos en los sedimentos de Bahía Vergara se encuentran diluidos por los aportes del sedimento terrígeno.

De los resultados obtenidos por el uso de índices como el factor de enriquecimiento y el de geoacumulación, se determinó que los sedimentos de Bahía Vergara se pueden considerar de manera general como no enriquecidos y no contaminados. La distribución espacial de los valores del factor de enriquecimiento de Cu, Ni, Zn, Cr y V sugiere que, estos metales son aportados por el río la Antigua, ya que es en la zona noroeste de la bahía donde están los sitios de relativo enriquecimiento, lo cual coincide con la dirección en que se encuentra dicho río; por otra parte el Cu está enriquecido en la parte noreste de la bahía, debido a la asociación que existe entre los sedimentos finos y el carbono orgánico, donde también se concentran estas partículas. Por otro lado, el Pb fue el único metal de los seis estudiados que presentó una distribución diferente, lo que sugiere algún tipo de aporte antropogénico del área, porque fue en los sitios cercanos a la costa donde se encontró el relativo enriquecimiento.

Al comparar los niveles encontrados de los metales estudiados, con otras regiones del Golfo de México (costa de Veracruz, plataforma de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco y Campeche), destaca que metales como el Cu y el Pb se encuentran por debajo de los valores promedio reportados para estas áreas, mientras que los demás se hallan tanto por arriba, como por abajo de los niveles registrados; siendo esta variabilidad explicada por el tipo de litología que caracteriza a cada zona donde se realizaron estudios y a las distintas actividades humanas que se llevan a cabo en esos sitios.

De los distintos análisis químicos hechos a los sedimentos de Bahía Vergara, se obtuvo que el V, Cr, Ni, Zn, Cu y Pb están asociados a los minerales aportados por el continente, lo cual hace que no se encuentren biodisponibles a los organismos; otro factor importante que influyó en la no biodisponibilidad de estos elementos, fue que en la zona no hay una elevada depositación de material fino, siendo esto importante debido a que es

en este tipo de partículas donde se adsorben más fácilmente los metales que se encuentran disueltos en el agua.

Las distintas asociaciones de los elementos mayores, sugiere la presencia de minerales resistentes como el cuarzo, de minerales primarios como micas, plagioclasas, feldespatos potásicos y sódicos, de minerales ferromagnesianos, tales como rutilo, ilmenita, magnetita, entre otros tantos que pueden ser identificados mejor, a través de un estudio mineralógico de los sedimentos de la Bahía.

En general se puede decir que las descargas continentales no tienen una influencia significativa por metales que se considere contaminación sobre las aguas y los sedimentos de Bahía Vergara, registrada durante los meses de junio y noviembre; ya que la dispersión o el depósito de cualquier tipo de contaminante es controlado relativamente por la morfología y la alta dinámica de la bahía; aunque esto no significa que se descarten otros tipos de contaminantes los cuales se pueden encontrar presentes en la región, como por ejemplo, contaminación por compuestos orgánicos, fertilizantes, coliformes fecales, nutrientes, entre otros, que afecten la calidad del agua y los sedimentos de la bahía y por ende, afecte también a los organismos marinos y a las personas que viven y se recrean en el lugar conocido como Bahía Vergara; por lo que se sugiere se realicen estudios especializados que respondan estas nuevas interrogantes.

A H h B b I i O o Q q R r U u V v

- Administración Portuaria Integral (API), 2005. Estadísticas del puerto de Veracruz. [www.apiver.com](http://www.apiver.com).
- Albert L. 2004. Toxicología Ambiental. Ed. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Pág.37-44
- Batterham G. 1996. Improved dithiocarbamate/oxine solvent extraction method for the preconcentration of trace metals from seawater using metal exchange back-extraction. *Marine chemistry* 55, 381-388.
- Birth G. 2003. A scheme for assessing human impacts on coastal environments using sediments. In: Woodcoffe, C.D. Furness. R.A. Ed. Coastal GIS 2003. Wollongong University Papers in Center for Maritime Policy. 14, Australia.
- Carranza A. 1997. La granulometría y su uso en estudios ambientales. *Actas INAGEQ*, (ISBN 968-36-6241-2) 3,235-243.
- Carta Nautica, SM 823, 1997. Secretaría de marina.
- Caso M, Pisanty I, Exequiel E. 2004. Diagnostico ambiental del Golfo de México. Ed. Instituto Nacional de Ecología. Pag.683-712.
- Celis O. 2006. Estudio químico de sedimentos en el área inmediata al arrecife de la isla sacrificios, Veracruz. Tesis de licenciatura. Facultad de Química. UNAM. Pag.52-54.
- Cerón A., J. 2008. Estudio de metales en agua, material suspendido y sedimento en los arrecifes La Gallega y Galleguilla, Veracruz, Veracruz. Tesis de maestría. Posgrado en ciencias del mar y limnología. Pág. 65-109.
- Chan J. 1974. Trace metals in Hong Kong. *Marine pollution*. 5, 171-174.
- Chester R. 2000. *Marine geochemistry*. Ed. Unwyn Hyman.
- Chiu-Wen C. 2007. Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan. *Chemosphere* 66, 1431-1440.
- Cobelo A. 2004. Influence of point sources on trace metal contamination and distribution in a semi-enclosed industrial embayment: the Ferrol Ria (NW Spain). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 60, 695-703.
- Comisión Nacional del Agua. 2003. Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua. Ley Federal de Derechos Normas Aplicables en Materia de Aguas Nacionales y sus Bienes Públicos Inherentes. Publicada en el diario de la federación el 2 de enero del 2003.
- Consejo del Sistema Veracruzano del Agua. 2005. [www.csva.gob.mx](http://www.csva.gob.mx).
- Emmons William H. 1965. *Geología*. Ed. Mc Graw-Hill. Pag.125.
- Farkas A. 2007. Assessment of the environmental significance of heavy metal pollution in surficial sediments of the River Po. *Chemosphere* 68, 761-768.
- Fersman A. 1966. *Geoquímica recreativa*. Ed. Mir. Pag. 128-140.
- Figaruelo J. 2001. *Química física del medio ambiente*. Ed. Reverte. Pág.286-306.

- García A. 2002. Guía de Validación de Métodos Analíticos. Ed. Colegio Nacional de Químicos Farmacéuticos Biólogos. Pag. 26.
- Grasshoff M. 1983. Methods of seawater análisis. Ed Verlag Chemie. Pág. 189-203.
- Gonzalez F. 1972. Introducción a la geoquímica. Ed. Washinngton. Pag. 298-320
- Hakanson L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. Water Research 14, 975-1001.
- Hernández H. 2005. Análisis geoquímico de núcleos de sedimentos adyacentes a la desembocadura del río Pánuco. Tesis de Maestría. Posgrado en ciencias de la tierra Instituto de Geología. UNAM. Pág.1-23.
- Hesse P. 1971. A Textbook Of Soil Chemical Analysis. Ed. Jonh Murray.
- Hyun S. 2007. Anthropogenic contributions to heavy metal distributions in the surface sediments of Masan Bay, Korea. Baseline / Marine Pollution Bulletin 54, 1031-1071.
- Klaassen Curtis D. 2001. Manual de toxicología. Ed. Mc Graw Hill.
- Kenneth A. 2001. Análisis Instrumental. Ed. Pearson Prentice Hall. Pág. 100-150.
- La jornada ecológica.2003. El sistema de agua y drenaje, un caos en la ciudad de Veracruz. 31 de octubre.
- Lewis Richard J. 1992. SAX'S Dangerous properties of industrial materials. Ed Van Nostrad Reinhold. Pag. 75,106,225
- Libes S. 2000. Marine Geochemistry. Ed. John Wiley and Sons.Pág. 215-350.
- Loring H. y Rantala T. 1992. Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. Volume 32 Ed. Earth Science Reviews.
- Macias J. 1999. Trace metals in sediment cores from the Campeche shelf, Gulf of México. Elsevier Science Ltd. Environmental Pollution. 104, 69-77.
- Manahan S. 2005. Fundamentals of environmental chemistry. Ed. Lewis publishers. Pág.169-173.
- Monografía geológica de estado de Veracruz. 1986. Ed Consejo de recursos mineros
- Müller G. 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. Geology Journal 2, 109-118.
- NOM-001-ECOL-1996. Publicada en el diario oficial de la federación el 24 de junio de 1996.
- Ohta A. 2005. Influence of surface geology and mineral deposits on the spatial distributions of elemental concentrations in the stram sediments of Hokkaido, Japan. Journal of Geochemical Exploration, 86, 86-103.
- Ponce V. 1995. Evaluación de los niveles de metales pesados e hidrocarburos aromáticos polinucleares en la zona costera del Golfo de México. Tesis de maestría. Facultad de ciencias, UNAM. Pág. 50-75.

- Raiswell R. 1983. Química ambiental. Ed. Omega. Pág. 106-166.
- Rosales L. 1994. Study of antropogenically induced trace metals on the continental shelf in the southeastern part of the Gulf of México. *Revista Internacional de contaminación ambiental*.10, 9-13.
- Rosales L. 1980. Manual de oceanografía química. ICMYL, UNAM.
- Sadiq M.1992. Toxic metal chemistry in marine environments. Ed. Marcel Dekker.
- Scoffin T. 1986. An introduction to carbonate sediments and rocks. Ed. Chapman Hall New York.
- Sevilla. 2005. Elementos de ecología marina. Ed. Instituto Politécnico Nacional. Pág. 451-480.
- Shulz Horst D. 2006. Marine geochemistry. Ed. Springer. Pag.127.
- Skoog A. 2001. Fundamentos de química analítica. Ed Mc Graw-Hill. Pág. 107-218.
- Skoog A. 2003. Principios de análisis instrumental. Ed Mc Graw-Hill.
- Tamayo J. 2001. Geografía Moderna de México. Ed. Trillas.
- Vargas H. 1993. Sistema Arrecifal Veracruzano. Biodiversidad marina y costera de México. Ed. Conabio-Cigro. Pág. 559-575.
- Vázquez F. 1991. Distribution of Ni and V and petroleum hydrocarbons in recent sediments from the Veracruz coast, México. *Bulletin environmental contamination and toxicology*. 46, 774-781.
- Vega A. 2005. Determinación de metales traza en agua de mar por concentración con APDC / NaDDC Y DIBK en la zona costera adyacente a la desembocadura del río Pánuco, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Química. UNAM. Pág. 85.
- Zarraga J. 2003. Química. Ed. Mc Graw-Hill. Pág.312-333.