



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

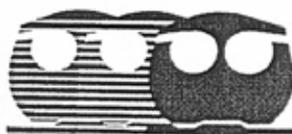
ESTUDIO QUÍMICO DE SEDIMENTOS EN EL ÁREA
INMEDIATA AL ARRECIFE DE LA ISLA SACRIFICIOS,
VERACRUZ

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO METALURGICO

P R E S E N T A :

OMAR CELIS HERNÁNDEZ



MÉXICO, D. F.

2006



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Jurado asignado

Presidente: Profa. Rosa Magda Unda Rodríguez

Vocal: Prof. Ciro Eliseo Márquez Herrera

Secretario: Profa. Maria Tomasa Leticia Rosales Hoz

1er. Suplente: Profa. Rosa Elva Rivera Santillán

2do. Suplente: Prof. Ventura Becerril Reyes

Sitio donde se desarrollo el tema:

Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Laboratorio de Química Marina y Contaminación.

Asesor del tema:

Maria Tomasa Leticia Rosales Hoz

Supervisor técnico:

Susana Santiago Pérez

Sustentante:

Omar Celis Hernández

Dedicatorias

A mis padres Héctor Manuel Celis Guzmán y Nora Hortensia Hernández Zúñiga, por todo el cariño, comprensión y apoyo incondicional durante toda mi vida.

A mis hermanos Nora y Aarón, que logren todos sus sueños en la vida, el camino es difícil pero se puede, si fuera fácil no tendría ningún valor.

A mis tías María Eugenia y Poly por su apoyo.

A Juana por su amor y cariño.

A mis amigos por ser parte de mi vida.

No tengo 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 e indirectamente.

*Por mi raza hablara el espíritu
UNAM*

*Amor Orden y Progreso
ENP*

*La ciencia se compone de errores, que a su vez son los pasos hacia la verdad
Julio Verne*

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México le agradezco por haberme dado una enseñanza integral en la Escuela Nacional Preparatoria No. 4 “Vidal Castañeda y Najera” donde pase momentos inolvidables, y por darme una formación profesional, en la Facultad de Química a la cual me siento orgulloso de pertenecer.

A la Dra. Leticia Rosales Hoz, por brindarme la oportunidad de formar parte de su equipo de trabajo, ayudarme a concluir con éxito la recta final de los estudios de la carrera de Ingeniería Química Metalúrgica, la cual es este documento impreso, y por otras más le doy las gracias.

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. IN104705-2, del cual se desprende esta tesis, reciban mi reconocimiento y agradecimiento.

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

Al Dr. Arturo Carranza Edwards y al M.C. Eduardo Morales, por todas las asesorías brindadas en lo referente a toda la parte geológica.

A la Q.F.B. Susana Santiago, por su calidad humana, con todos los alumnos que llegan a realizar sus tesis al laboratorio de Química Acuática, brindándonos su amistad y apoyo, gracias, nunca cambies.

A todo el Equipo que integra El Laboratorio de Química Acuática, del ICMy L: Adriana, Sra. Berta Francisco, Karina, Juana, Gracias por distinguirme con su amistad.

A la Dra. Maria del Pilar Constanza Ortega Bernal, por brindarme su amistad y apoyo durante toda la carrera, no olvidare todos los consejos y asesorías dadas durante este tiempo, gracias maestra, por todo. Si todos los profesores de primaria, secundaria, preparatoria y profesional fueran tan comprometidos con sus alumnos, como usted. México seria mucho mejor.

Al Patronato de Profesores S.A de C.V por su apoyo durante todo el tiempo de duración de mis estudios de licenciatura, gracias, a nombre de todos los estudiantes que reciben y recibieron su apoyo.

A mis amigos de preparatoria, Tomas, Jorge, Luis Roberto, Héctor, de licenciatura Alejandro, Delia Jorge, Israel, Daniel, Bárbara, Elizabeth, Ivan, Gerardo, Patricio, Luciano, Rafael, etc., gracias por su amistad incondicional. Cuenten conmigo para lo que sea.

Al grupo de amigos Arturo, Jesús, Edgar, Octavio, Israel, Jesús, con los que compartí, estudios profesionales, exámenes, recursamientos, fiestas, etc., mi familia en la universidad: les digo, no olviden su estancia en metalurgia gracias por todo. Y sigan adelante, que el cielo es el límite.

A todas las personas que han tenido que ver con mi desarrollo profesional y humano, les doy las gracias, por todas sus enseñanzas y por falta de espacio no los menciono, porque necesitaría más de una hoja.

Índice

Capítulo	Pág.
I. Introducción	
1.1 introducción	2
1.2 Objetivos	3
II. Antecedentes	
2.1 Descripción del área protegida denominada sistema arrecifal veracruzano (SAV)	5
2.2 Amenazas al sistema arrecifal veracruzano	7
2.3 Sedimentos	8
2.3.1 Características texturales (físicas) y mineralógicas (químicas)	8
2.3.2 Clasificación de los sedimentos	9
2.3.3 Comportamiento de los sedimentos y de los componentes sedimentarios	10
2.4 Fuentes principales de sedimento	11
2.5 Procesos de adsorción de metales traza en los sedimentos	11
2.6 Metales traza	12
III. Área de estudio	
3.1 Ubicación del área de estudio	16
3.1.1 Batimetría del área	16
3.2 Clima	18
3.2.1 Climas cálidos húmedos y subhúmedos	18
3.2.2 Características climatológicas locales de la ciudad de Veracruz	19
3.3 Vegetación	19
3.4 Hidrología	19
3.5 Litología del estado de Veracruz	20
3.6 Actividad económica	20
3.6.1 Puerto de Veracruz	21
3.6.2 Plantas de beneficio	21
3.6.3 Fundiciones	22
3.7 Contaminación en los principales ríos del estado de Veracruz	22
IV. Metodología	
4.1 Trabajo de campo	27
4.2 Trabajo de laboratorio	29
4.2.1 Determinación de materia orgánica en sedimento	29
4.2.2 Determinación del contenido de carbonato de calcio en sedimento por titulación	32
4.2.3 Análisis de elementos mayores por fluorescencia de rayos X	34
4.2.4 Análisis de elementos traza por EEA (Espectroscopia de absorción atómica)	34
4.2.4.1 Determinación de Cr, V, Zn y Cu por absorción atómica por flama	35
4.2.4.2 Determinación de plomo (Pb) por absorción atómica con horno de grafito.	39
4.2.5 Análisis granulométrico	42
4.2.6 Tratamiento estadístico de la información	43

V. Análisis de resultados	
5.1 Análisis granulométrico de los sedimentos	45
5.2 Análisis químicos en los sedimentos	52
5.3 Materia orgánica	53
5.4 Carbonatos	55
5.5 Elementos mayores	57
5.6 Elementos traza	71
5.7 Matrices de correlación	81
VI. Conclusiones	88
VII. Bibliografía	88
VIII. Apéndice A	93
XI Apéndice B	94

Índice de tablas

Tabla	Pág.
Tabla 1. Flujo de material disuelto y particulado hacia los océanos	11
Tabla 2. Fuentes antropogénicas industriales	12
Tabla 3. Descripción de los metales traza estudiados	14
Tabla 4 Cantidad de carga manejada en el periodo 2001 – 2005 del puerto de Veracruz	21
Tabla 5. Plantas metalúrgicas ubicadas en el puerto de Veracruz	22
Tabla 6. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de descargas contaminantes en cuencas seleccionadas, 1994.	23
Tabla 7. Carga de demanda biológica de oxígeno de aguas residuales industriales en cuencas seleccionadas, 1994	24
Tabla 8. Estandarización de materia orgánica	30
Tabla 9. Estandarización de carbonatos	34
Tabla 10. Programa 1 para digestión de sedimentos	35
Tabla 11. Condiciones de trabajo del espectrofotómetro de absorción atómica de flama	36
Tabla 12. Condiciones del equipo de EAAF para lectura de metales traza	36
Tabla 13. Curvas de calibración de los metales traza estudiados por EAAF	37
Tabla 14. Porcentaje de recuperación para el estándar MESS-3	38
Tabla 15. Exactitud y precisión para el estándar certificado MESS-3	38
Tabla 16. Programa 2 para digestión de sedimentos para horno de grafito	39
Tabla 17. Condiciones de trabajo para determinación de Pb por absorción atómica con horno de grafito	40
Tabla 18. Curva de calibración de plomo estudiado por EAAHG	40
Tabla 19. Porcentaje de recuperación para el estándar HISS-1	41
Tabla 20. Exactitud y precisión para el estándar certificado HISS-1	41
Tabla 21. Tabla Formulas estadísticas	43

Tabla 22. Porcentaje de gravas y arenas durante las tres épocas del año	46
Tabla 23. Porcentaje de limos y arcillas durante las tres épocas del año	47
Tabla 24. Porcentaje de materia orgánica durante las tres épocas del año	53
Tabla 25. Porcentaje de carbonatos durante las tres épocas del año	55
Tabla 26. Porcentaje de SiO ₂ , Al ₂ O ₃ y Fe ₂ O ₃ durante las tres épocas del año	57
Tablas 27. Porcentaje de TiO ₂ , MnO y Na ₂ O durante las tres épocas del año	58
Tabla 28. Porcentaje de K ₂ O, MgO y P ₂ O ₅ durante las tres épocas del año	59
Tabla 29. Porcentaje de CaO durante las tres épocas del año	60
Tabla 30. Concentración en ppm de V, Cr y Zn durante las tres épocas del año	71
Tabla 31. Concentración en ppm de Ni, Pb y Cu durante las tres épocas del año	72
Tabla 32. Comparación de concentración de metales traza en sedimentos en otras regiones del Golfo de México.	80
Tabla 33. Matriz de correlación (temporada de secas)	82
Tabla 34. Matriz de correlación (temporada de lluvias)	83
Tabla 35. Matriz de correlación (temporada de nortes)	84

Índice de figuras y gráficas

Figura o gráfica	Pág.
Figura 1. Ruta de metales en el ambiente	13
Figura 2. Mapa del área de estudio y estaciones muestreadas en las tres épocas del año.	17
Figura 3. Mapa del río Jamapa y estaciones muestreadas durante las tres épocas del año.	18
Figura 4. Diagrama general	28
Figura 5. Diagrama del método para determinación de materia orgánica	31
Figura 6. Diagrama del método para determinación de carbonatos	33
Gráfica 7. Variación del porcentaje de gravas durante las tres épocas del año	47
Gráfica 8. Variación del porcentaje de arenas durante las tres épocas del año	48
Gráfica 9. Variación del porcentaje de limos durante las tres épocas del año	49
Gráfica 10. Variación del porcentaje de arcillas durante las tres épocas del año	50
Gráfica 11. Variación del porcentaje de materia orgánica durante las tres épocas del año	53
Gráfica 12. Variación del porcentaje de carbonatos durante las tres épocas del año	55
Gráfica.13. Variación del porcentaje de SiO_2 durante las tres épocas del año	60
Gráfica.14. Variación del porcentaje de Al_2O_3 durante las tres épocas del año	61
Gráfica.15. Variación del porcentaje del Fe_2O_3 durante las tres épocas del año	62
Gráfica.16. Variación del porcentaje de TiO_2 durante las tres épocas del año	63
Gráfica. 17. Variación del porcentaje de MnO durante las tres épocas del año	64
Gráfica. 18. Variación del porcentaje de Na_2O durante las tres épocas del año	65
Gráfica.19. Variación del porcentaje de K_2O durante las tres épocas del año	66
Gráfica.20. Variación del porcentaje de MgO durante las tres épocas del año	67
Gráfica. 21. Variación del porcentaje de P_2O_5 durante las tres épocas del año	68
Gráfica. 22. Variación del porcentaje de CaO durante las tres épocas del año	69
Gráfica. 23. Variación de la concentración de vanadio durante las tres épocas del año	72

Gráfica. 24. Variación de la concentración de cromo durante las tres épocas del año	73
Gráfica. 25. Variación de la concentración de zinc durante las tres épocas del año	74
Gráfica.26. Variación de la concentración de níquel durante las tres épocas del año	75
Gráfica.27. Variación de la concentración de plomo durante las tres épocas del año	76
Gráfica. 28. Variación de la concentración de cobre durante las tres épocas del año	77

Capítulo I.

I
n
t
r
o
d
u
c
c
i
ó
n

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 la zona costera, la cual es un área altamente productiva, donde se llevan a cabo, el 25 % de la producción primaria global y donde se encuentran del orden del 70 % de la pesca mundial (Rosales, 2004).

En nuestros días las zonas costeras del mundo se ven amenazadas por la contaminación, eutricación, cambios en la cantidad de sedimento que recibe, urbanización, reclamos de tierra, pesca en exceso, minería, turismo, y extracción petrolera. Todo esto hace evidente la importancia de los estudios que se llevan a cabo en esta región natural.

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 (Malahoff D., 1998) 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.

El sistema arrecifal veracruzano tiene gran importancia socioeconómica, además juega un importante papel en la protección de la ciudad y localidades adyacentes contra huracanes y nortes.

Sin embargo, entre los principales impactos, es su cercanía al puerto de Veracruz, que es uno de los más importantes del país, por las actividades comerciales y de tránsito que ahí se realizan, es al mismo tiempo una ciudad industrial; donde concentra industrias textiles, metalúrgicas, tabacaleras y azucareras, cuyos desechos en conjunto con los de la zona urbana, son vertidos directamente al mar, aunque hay una planta de tratamiento de aguas ubicada en playa norte, no es suficiente debido a los grandes volúmenes de aguas residuales manejadas, lo que contribuye también a alterar aún más la estabilidad ambiental del sistema arrecifal veracruzano, siendo lo último requisito indispensable para el óptimo desarrollo de estos sistemas.

Objetivo general

- **Determinar mediante análisis químico y sedimentológico, el origen y distribución del sedimento superficial de las inmediaciones de Isla Sacrificios, Veracruz, durante tres épocas distintas del año, para evaluar el impacto de las descargas continentales en la zona.**

Objetivos particulares

- **Analizar la composición química de los sedimentos, materia orgánica, carbonatos, elementos mayores por FRX (Al, Mn, Ca, Si, Fe, Mg, Ti, P, Na y K) y metales traza por absorción atómica (Cr, Ni, Cu, Zn, V, Pb).**
- **Realizar un análisis granulométrico para determinar el tipo de sedimento predominante en la zona.**

Capítulo II.

Antecedentes

2.1 Descripción del área protegida denominada sistema arrecifal veracruzano (SAV)

El SAV es uno de los más importantes sistemas arrecifales de México por su tamaño y el número de especies. El Sistema Arrecifal Veracruzano está formado por bajos, islas y arrecifes situados en la porción interna de la plataforma continental en el Golfo de México, los cuales se elevan desde profundidades cercanas a los 40 m. El sistema incluye dos áreas geográficamente separadas, la primera se localiza enfrente del Puerto de Veracruz e incluye a los arrecifes Gallega, Galleguilla, Anegada de Adentro, La Blanquilla, Isla Verde, Isla de Sacrificios, Pájaros, Hornos, Ingeniero y Punta Gorda, todos dentro de la isóbata de los 37 m. La segunda área se ubica frente a Punta Antón Lizardo, a unos 20 km al suroeste del Puerto de Veracruz, e incluye los siguientes arrecifes: Giote, Polo, Blanca, Punta Coyol, Chopas, En medio, Cabezo, el Rizo, Santiaguillo, Anegada de Afuera, Anegadilla y Topetillo, todos ellos en la isóbata de los 48 m. (INE, 2005)

El arrecife está construido en un banco de restos bioclásticos calcáreos de materiales coralinos pertenecientes al Pleistoceno reciente, y es producto del descenso en el nivel del mar, asociado a la última glaciación (Vargas Hernández, 1993.), (INE, 2005)

La principal característica física común entre los arrecifes de Veracruz es su posición, forma y su alargamiento en el sentido noroeste a sureste siguiendo la dirección del oleaje. Las lagunas arrecifales, delimitadas por las barreras coralinas de las aguas profundas, rara vez exceden los 2 m y en general conservan un promedio de 1 m. (INE, 2005)

Los arrecifes de Veracruz se han descrito como de tipo plataforma, y presentan dos formas de desarrollo: una es alargada en sentido noroeste-sureste y otra en semicírculo con la misma orientación. Se caracterizan por tener pendientes en barlovento y en sotavento. La pendiente de sotavento presenta un desarrollo arrecifal notable. Cada arrecife difiere en complejidad topográfica, cantidad de CaCO_3 depositado, riqueza de especies y cobertura viva. (INE, 2005)

La plataforma continental del Golfo de México es un área de alta sedimentación terrígena debido a la gran cantidad de ríos que descargan en la zona. A pesar de ello se pueden encontrar algunas estructuras arrecifales en áreas dispersas. Los arrecifes que componen el sistema se encuentran delimitados por los ríos La Antigua al norte y Papaloapan al sur. La desembocadura del río Jamapa divide al sistema en dos áreas, una frente al Puerto de Veracruz y otra frente al poblado de Antón Lizardo, lo que provoca que las aguas circundantes sean turbias y poco transparentes. (INE, 2005)

A pesar de su cercanía a la costa y desembocaduras de ríos importantes como el Jamapa y el Papaloapan, no se han observado variaciones significativas en la salinidad de las áreas arrecifales. (INE, 2005)

El sistema se puede dividir en cuatro grupos por la presencia y el grado de desarrollo arrecifal en las pendientes arrecifales:

a) Arrecifes exteriores: tienen un desarrollo continuo en las pendientes de barlovento y sotavento y parches de gononáceos en la parte somera de sotavento.

b) Arrecifes intermedios: presentan una pendiente de sotavento extensa y de inclinación muy suave; en ella hay bancos de arena y crecimientos coralinos discontinuos. En la pendiente expuesta es común encontrar una matriz calcárea formada por restos de *Acropora cervicornis*.

c) Arrecifes interiores: se caracterizan por la gran cantidad de sedimento acumulado en la pendiente de sotavento; los crecimientos coralinos importantes se desarrollan sólo hacia los extremos de las formaciones arrecifales donde hay gran cantidad de esponjas.

d) Arrecifes bordeantes: se desarrollan anexos a la costa, presentan una cobertura de escleractinios y un desarrollo somero que no excede los 12 m de profundidad en barlovento.

Se pueden reconocer también cuatro zonas estructurales: sotavento, laguna arrecifal, cresta arrecifal y arrecife frontal. Este patrón es el resultado combinado de los efectos del viento, las corrientes y la sedimentación. A continuación se describen brevemente. (INE, 2005)

Sotavento: se caracteriza por tener poco movimiento del agua, baja energía del oleaje y constante aporte de sedimentos terrígenos, que provocan turbiedad y alta depositación. El rango de profundidad es de 3-24 m y se reconocen tres subzonas: a) subzona de "platos"; b) cementerio de *Acropora cervicornis*, y c) jardín de gorgonáceos.

Laguna arrecifal: se caracteriza por una alta tasa de sedimentación, reducido movimiento del agua y profundidades de 0.5 a 2.0 m. La intensidad luminosa es elevada. Diversos tipos de algas y pastos marinos cubren grandes áreas y se alternan con cabezos formados por restos de corales y parches de arenas gruesas y finas.

Cresta arrecifal: soporta la máxima energía del oleaje, que en general es muy alta, sobre todo en la época de nortes. La profundidad varía entre 0 y 3 m. La sedimentación es baja y abunda el sustrato duro, ya que la litificación del sedimento forma un piso liso y poroso: con pedacería gruesa y abundantes crecimientos algales. Su extensión es muy variable, dependiendo del tamaño del arrecife, y conforma casi todo el plano arrecifal en las estructuras de menor tamaño. Una característica distintiva es la gran densidad del erizo *Echinometra lucunter*.

Arrecife frontal: la pendiente de barlovento se distingue por presentar macizos y canales. Esta zona se desarrolla hasta los 12 m de profundidad en arrecifes bordeantes o bien hasta 40 m en arrecifes exteriores. La erosión causada por el oleaje en la parte somera de esta pendiente produce sedimentos. Una parte de éstos son acarreados hacia el sotavento y otros son depositados sobre los canales y transportados hacia la base de arrecifes. La tasa de sedimentación es baja comparada con otras zonas de la estructura arrecifal, lo que da como resultado una mayor transparencia del agua.

2.2 Amenazas al sistema arrecifal veracruzano (SAV)

Aunque el sistema arrecifal es un ambiente en constante cambio por causas naturales, hay claras evidencias del impacto humano, que combinadas con los fenómenos naturales, retardan la recuperación de los arrecifes. Muchas de las amenazas provienen de las densas poblaciones costeras. Es necesario considerar aquellos arrecifes utilizados intensivamente por su importancia económica local, como lo es Isla Sacrificios para el caso de Veracruz y Boca del Río (Vargas Hernández, 1993). (INE, 2005)

Existen causas de deterioro por actividades humanas como: dinamitado ilegal para la pesca, pesca mecanizada intensiva, contaminación de diversos tipos en gran escala y demanda de conchas y corales para artesanía. (INE, 2005)

En el estado de Veracruz se han hecho grandes desmontes para la ganadería, provocando una pérdida de suelos por escurrimientos que finalmente se aportan al mar. Sin embargo, debido al escaso conocimiento de este sistema hasta fechas recientes, no es posible hacer una comparación de los cambios del arrecife por el desarrollo de actividades humanas. (INE, 2005)

El Puerto de Veracruz fue uno de los sitios favoritos para el turismo mexicano en los últimos 30 años, al igual que para las prácticas de buceo autónomo por su cercanía a la Ciudad de México. Sin embargo, por su accesibilidad sólo aquellas formaciones cercanas a la costa se vieron afectadas por el turismo como Isla Sacrificios, Isla Verde y La Blanquilla. La segunda fue objeto de fuertes recolecciones, durante años, por biólogos en prácticas de campo. (INE, 2005)

Hornos es un arrecife bordeante que corre a lo largo de la línea costera a partir del rompeolas sur que protege y limita la entrada al puerto, y es una ancha franja de 500 m, entre la zona del rompeolas sur y Punta Hornos. El continuo dragado ejercido para mantener un canal central por donde transitan los botes de los pescadores a los muelles ocasiona que la laguna alcance hasta 5 m de profundidad. (INE, 2005)

Desde la época colonial hasta la fecha se ha extraído el sustrato madreporico como material de construcción, lo que ha provocado la casi total desaparición de algunos de los arrecifes bordeantes. Los ríos que ahí desembocan probablemente tienen efectos negativos, pero no hay información detallada al respecto. El crecimiento demográfico ha obligado a la intensa explotación de recursos pesqueros alimenticios con fines comerciales, ocasionando que algunas especies de crustáceos como la langosta, moluscos como el pulpo y el caracol y varias especies de peces, se encuentren en aparente grado de sobreexplotación. Las actividades artesanales que utilizan recursos marinos se realizan sin normatividad.

Las joyas de coral negro que se venden en el puerto, y los corales blandos que se están extrayendo para elaborarlas, provienen de especies de *Plexaura* sp. y *Pleuxaurella* spp., cuyos jardines son de poca extensión. Lo mismo ocurre con los corales duros, cuya extracción pone en inminente peligro a las comunidades arrecifales de *Acropora palmata*, *A. cervicornis* y *Plexaura homomalla*. (INE, 2005)

2.3 Sedimentos

La palabra sedimento se refiere al material sólido asentado de una suspensión de un fluido. El sedimento de origen mineral u orgánico es transportado de su sitio de origen por agua, aire o hielo y se deposita en el piso oceánico. (Dictionary of geological terms, 1962)

2.3.1 Características texturales (físicas) y mineralógicas (químicas)

Las propiedades del sedimento, dependerán de las características de las partículas aisladas.

La textura se refiere a la apariencia de una roca o sedimento, tomando en consideración su tamaño, forma y arreglo de las partículas que lo constituyen; este concepto tiene un fuerte significado dinámico, puesto que sus elementos se modifican a lo largo de la evolución del sedimento. Introduciendo así el concepto de madurez textural: como el grado de diferenciación del sedimento respecto al material que procede. Por ejemplo los sedimentos formados por granos del mismo tamaño y bien redondeado serían texturalmente maduros. Algunas de las características consideradas en las partículas son: tamaño, forma, clasificación, empaquetamiento y composición (también llamadas elementos texturales) entre otras. (Agueda, 1983)

La composición de un sedimento, tanto en sentido mineralógico como químico, depende fuertemente de la variación sistemática (tanto por eliminación como por enriquecimiento) de algunos componentes minerales a lo largo del recorrido desde el área madre hasta el medio sedimentario, y de la aparición de nuevas fases minerales por procesos químicos en equilibrio con el ambiente sedimentario. El primer mecanismo es característico de los sedimentos detríticos, mientras que el segundo es característico de los sedimentos autigénicos o sedimentos que han sufrido procesos diagenéticos. Al igual que en la textura entra el concepto de madurez mineralógica: como el grado de retención en los sedimentos de sus minerales más estables. (Agueda, 1983)

La interpretación de la composición de los sedimentos (o de las rocas sedimentarias) permite comprender aspectos tales como mecanismos de intemperización, composición litológica del área madre, condiciones de transporte o características químicas del ambiente sedimentario. (Agueda, 1983)

Las partículas de sedimento responden de distinta forma a los procesos sedimentarios, a los que se ven sometidos desde el área madre hasta el medio sedimentario donde se depositan. Las partículas más finas, como los minerales de la arcilla, pueden continuar más tiempo en suspensión que las arenas de cuarzo y por tanto ser depositadas a mayores distancias del área madre. Los minerales que pasan a solución tienen una mayor facilidad de dispersión por lo que a lo largo del transporte puede haber diferenciación en la composición mineralógica. La eliminación de minerales inestables que ha comenzado con la intemperización se continúa así durante el transporte e incluso en el propio ambiente sedimentario. (Agueda, 1983)

Además de los fragmentos polimetálicos o policristalinos, los componentes más importantes en la composición de sedimentos son: Cuarzo: forma del 20 al 25 % del total de sedimentos, con un máximo de frecuencia en las areniscas y un tamaño medio próximo a 0.1 mm. Según sus características se puede establecer su procedencia (de rocas plutónicas). Feldespatos su abundancia media en sedimentos es menor al 10 %, el estudio de su distribución y abundancia es de gran valor en las interpretaciones paleográficas, los más abundantes son la ortoclasa, la microclina y las plagioclasas de bajo contenido en calcio; la abundancia de feldespatos respecto al tamaño de grano y la redondez es un buen indicador de las características climáticas, tectónicas y morfológicas del área madre. Micas, su abundancia varía entre el 5 y 10 %, y tamaño menor de 2 mm, la más abundante es la moscovita. Las arcillas constituyen un grupo de minerales característico de sedimento de grano fino. Los carbonatos son componentes fundamentales de los sedimentos y rocas carbonatadas; los minerales más importantes son la calcita, dolomita, aragonita y siderita, que pueden aparecer como componentes detríticos de precipitación química u orgánica. Los componentes accesorios, de porcentaje de abundancia muy bajo, son de gran valor para la interpretación de procedencia; entre los más importantes destacan los minerales pesados (es decir aquellos que tienen una densidad mayor a 2.9), como zircón, turmalina, rutilo, andalucita, apatito, granates y diversos minerales metálicos. (Agueda, 1983)

2.3.2 Clasificación de los sedimentos

Los sedimentos se pueden clasificar de varias maneras, desde el modo de formación hasta su origen.

Si se clasifican por su tipo de formación se dividen en dos grandes grupos, sedimentos del tipo clásticos: son todos aquellos formados de manera mecánica, ya sea por erosión o intemperismo del agua, viento, o diferentes procesos geológicos. No clásticos: aquellos sedimentos generados de manera química u orgánicamente. (Emmons, 1965)

Considerando su origen se distinguen: como detríticos, terrígenos o alóctonos, formados por fragmentos rotos y desgastados que han sufrido un transporte mecánico más o menos largo, y los sedimentos químicos y bioquímicos o autóctonos, que se han formado por procesos químicos y orgánicos a partir de sustancias presentes en el ambiente sedimentario. Dentro de estos últimos pueden diferenciarse los aloquímicos, que han sido transportados al lugar de sedimentación; los ortoquímicos, que han sido formados en el lugar de sedimentación y los diagenéticos, formados con posterioridad a la sedimentación y durante la diagénesis. (Agueda, 1983)

Los sedimentos marinos se clasifican según su origen (Chester, 2000).

Los materiales litogénicos (o terrestres) vienen de los continentes como resultado de los procesos de intemperización. La contribución relativa de los materiales litogénicos a los sedimentos dependerá de su proximidad a los continentes y del peso relativo de los materiales originados en otros lugares. Los constituyentes más importantes de los materiales litogénicos son el cuarzo y los materiales de arcilla (caolinita, illita, montmorillonita y clorita). La distribución de estos minerales de arcilla varía considerablemente. La illita y la montmorillonita tienden a ser ubicuos en los materiales terrestres, pero la segunda tiene también un origen secundario en la actividad volcánica submarina. La caolinita es típica de las zonas en las que ha habido una intensa alteración de los materiales, como trópicos y los desiertos. Por otra parte, la clorita es un indicador de los regímenes de altas latitudes, en los que existe poca meteorización.

Los componentes litogénicos tienden a ser inertes en la columna de agua y representan la deposición detrítica. Sin embargo, la superficie de sus partículas puede actuar como puntos importantes de adsorción de elementos traza y de materiales orgánicos. (Harrison, 2003)

Los componentes hidrogénicos, también conocidos como materiales quimiogénicos o halmicos, son aquellos producidos de forma abiótica dentro de la columna de agua. Estos comprenden los materiales primarios formados directamente del agua de mar por haberse superado su producto de solubilidad, lo que se denomina precipitación autógena. Un ejemplo de este tipo de precipitación son los nódulos de ferromanganeso que se encuentra por todo el océano. Los materiales secundarios pueden formarse a medida que los componentes de origen continental o volcánico son alterados por las reacciones que se producen a baja temperatura, un mecanismo que se conoce como halmirolisis. (Harrison, 2003)

Los materiales biogénicos, también llamados bióticos, se producen por la fijación de las fases minerales que realizan los organismos marinos. Las fases más importantes son la calcita y la sílice opalina, aunque también se producen depósitos de aragonita y dolomitas. Ejemplos: se encuentran fangos silicios en las latitudes polares (diatomeas) y a lo largo del ecuador (radiolitas). La contribución relativa del material biogénico a los sedimentos depende de su dilución con respecto a materiales de otras fuentes y de la posibilidad de su dilución con respecto a materiales de otras fuentes y de la posibilidad de su dilución en agua. (Harrison, 2003)

Los materiales cósmicos son los derivados de una fuente extraterrestre.

Finalmente, existen compuestos antropogénicos, principalmente metales pesados, que pueden tener una influencia significativa en los sedimentos de zonas próximas a la costa. (Harrison, 2003)

2.3.3 Comportamiento de los sedimentos y de los componentes sedimentarios

Los sedimentos son el mayor sumidero de materiales en el océano. La trayectoria más común para llegar a los sedimentos es la deposición de las partículas suspendidas. Estas partículas pueden haberse formado in situ por procesos químicos o biológicos, o ser de origen continental y luego haberse transportado hasta el océano. Al hundirse las partículas pueden retirar otros materiales de la solución. (Harrison, 2003)

La formación de sedimentos marinos depende de las condiciones químicas, biológicas, geológicas y físicas. Hay cuatro procesos diferentes que son fácilmente identificables. En primer lugar es el origen. En segundo lugar, el material y su distribución en el fondo oceánico está influido por su historial de transporte, tanto en su trayecto hacia el océano como dentro del mismo. En tercer lugar está el proceso de deposición, que debe incluir la formación de partículas y su alteración en la columna del agua. Finalmente, los sedimentos pueden ser alterados después de su deposición, proceso conocido como diagénesis. Son de particular importancia las reacciones que llevan a cambios en el estado redox de los sedimentos. (Harrison, 2003)

2.4 Fuentes principales de sedimento

Los materiales sedimentarios que se encuentran en el océano se originan en los continentes, siendo transportados por el aire, ríos, glaciares y aguas termales. La importancia relativa de esas vías de entrada, depende del compuesto que se considere y de la localización geográfica. Normalmente los aportes fluviales constituyen la fuente más importante. El material así aportado puede estar disuelto o en partículas, pero estas entradas se producirán solo en las aguas superficiales y en las zonas costeras (con algunas excepciones). (Raiswell, 1983)

La atmósfera aporta a la superficie del océano materiales en forma de partículas. En los últimos años esta ha sido la vía más importante de Pb al océano en el nivel mundial. El transporte aéreo es muy grande en las latitudes bajas y el desierto del Sahara está reconocido como una fuente importante de polvo. (Raiswell, 1983)

La actividad de los glaciares tiene un impacto pequeño en los océanos. Los materiales precedentes en los océanos suelen contener residuos de rocas alteradas físicamente, que son relativamente insolubles. Además los aportes están restringidos a las regiones polares, siendo la Antártica responsable del 90% de los materiales aportados por esta vía. (Raiswell, 1983)

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

Fuente	Componentes disueltos (g año ⁻¹)	Materia particulada (g año ⁻¹)
Ríos	39×10^{14}	173×10^{14}
Aguas superficiales	4.7×10^{14}	4.8×10^{14}
Hielo	$< 7 \times 10^{14}$	20×10^{14}
Erosión marina		2.5×10^{14}
Aporte atmosférico	2.5×10^{14}	6×10^{14}
Vulcanismo		1.5×10^{14}

Fuente: (Química ambiental, 1983)

2.5 Procesos de adsorción de metales traza en los sedimentos

La adsorción física o no específica esta basada en fuerzas de atracción relativamente débiles, como la atracción electrostática y las fuerzas de Van der Waals. Las especies adsorbidas mantienen su esfera de agua coordinada y, por lo tanto, no puede acercarse a la superficie más de lo que permite el radio del ión hidratado. La adsorción se ve favorecida por iones que tienen una densidad alta de carga, es decir los iones trivalentes tienen preferencia sobre los univalentes. Un efecto de entropía promueve la adsorción física de las especies poliméricas, como los óxidos de Fe y Al, porque son desplazadas gran número de moléculas de agua y especies monoméricas. (Harrison, 2003)

La adsorción química o específica está basada en fuerzas de atracción más fuertes que las físicas. Como en ella participan enlaces de hidrógeno o interacciones de electrones de orbitales π , las especies adsorbidas pierden sus esferas hidratadas y pueden acercarse hasta la superficie a una distancia tan pequeña como el radio iónico. Mientras que en la física es posible la adsorción de varias capas, la adsorción química esta limitada a una sola capa. (Harrison, 2003)

2.6 Metales traza

Los metales traza en el agua de mar son aquellos que están presentes en cantidades inferiores a 1 mg l^{-1} .

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 muy diversas actividades antropogénicas. 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. (Figueruelo, 2001)

Tabla 2. Fuentes antropogénicas industriales

Metales	M ineria	M etalurgia	I. Quím i ca	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
Cr		X	X		X		X	X		X	X	X	X	
Cu		X	X				X	X	X	X		X	X	
Hg	X	X	X				X	X	X	X	X		X	
Mn	X									X			X	
Ni		X				X	X		X	X		X	X	
Pb	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	
Se	X												X	
Sn			X								X			
U	X		X										X	X
V		X	X									X		
Zn	X	X	X		X			X		X	X	X		

Fuente: Química física del medio ambiente, 2001

Muchos de los metales actúan como nutrientes de los organismos acuáticos. En el otro extremo, 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, complejos organometálicos hidro o liposolubles, adsorbatos sobre diferentes tipos de partículas adsorbentes..., en una palabra de la especiación del elemento, ya que las interacciones de los componentes celulares se establecen con una especie química particular del elemento. En este contexto, la determinación de la cantidad total de metal en un medio acuático es inadecuada desde el punto de vista medioambiental, 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, tiempo, pH y también con el tamaño y la naturaleza de las partículas adsorbentes del sistema acuático. (Fugueruelo, 2001)

Figura 1.

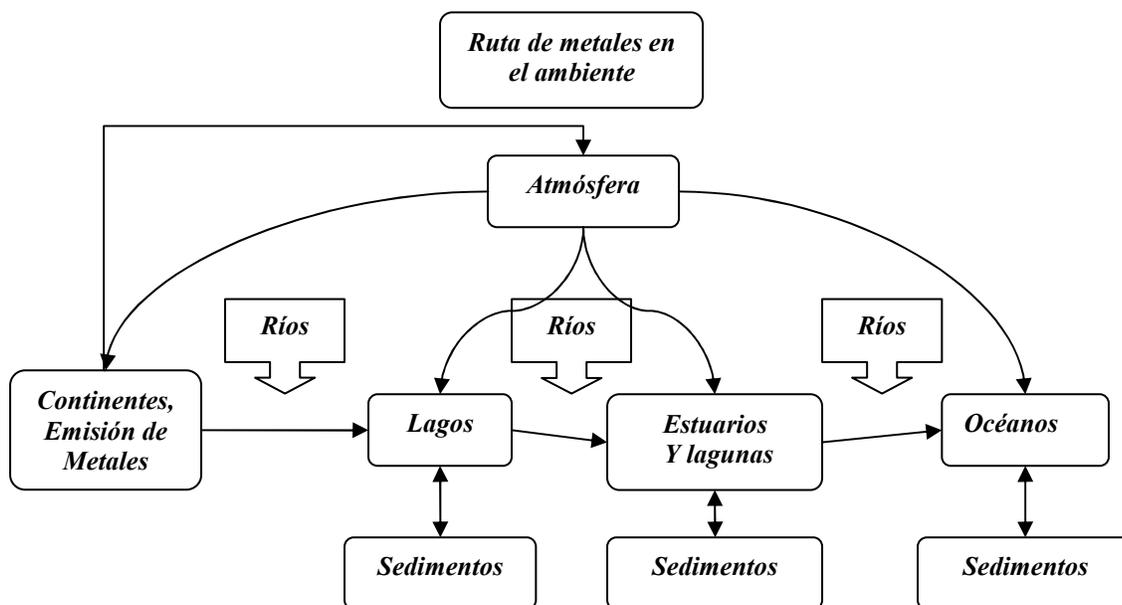


Tabla 3. Descripción de los metales traza estudiados

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 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 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 TDI ₀ 120µg/Kg. (Manual de toxicología, 2001)
Cr	Constituye el 0.0122% de la corteza terrestre en masa, su mena mas común es la cromita FeOCr_2O_3 ; también se encuentra en la crocoita 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 Cr_2O_3 (verde oscuro), NaCrO_4 (amarillo), Na_2CrO_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 DI ₅₀ 90 mg/Kg (Figaruelo,2001)
Ni	Constituye el 0.01% de la corteza terrestre en masa, su mena mas común es la millerita NiS, se asocia con pirita FeS_2 y calcopirita 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 NiO (verde), NiCl_2 (amarillo) y NiS (negro).	Per-rat DI ₅₀ 165 mg/Kg (Figaruelo,2001)
Pb	Es un metal que abunda en todo el mundo, sus principales minerales son galena PbS , cerusita PbCO_3 , y la anglesita 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 Pb(OH)_2 , Se usa para fabricar soldaduras (Sn - Pb), también para fabricar electrodos para acumuladores eléctricos, otros usos son en la fabricación de municiones militares y deportivas, algunos otros compuestos son utilizados como pigmentos Pb_3O_4 para pintar acero estructural	Altamente toxico. Per-rat DI ₅₀ 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 VS_4 . Es un metal brillante bastante suave y dúctil, se usa en las aleaciones de acero, sus compuestos más importantes son VCl_4 , VO_2 .	Ims-rat TDI ₀ 340mg/Kg (SAX'SDANGERUS, 1992)
Zn	No es un metal abundante (aproximadamente 0.007% en masa en la corteza terrestre) se presenta sobre todo como el mineral esfalerita 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 ZnS se usa en el pigmento Litopón, también se usa en pantallas de televisión osciloscopios y fluoroscopios de rayos X, el 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 TDI ₀ 124 mg/m ³ (SAX'SDANGERUS, 1992)

Nota: TDlo: dosis mínima tóxica, DI₅₀: 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.

Capítulo III.

Á
r
e
a
d
e
s
t
u
d
i
o

3.1 Ubicación del área de estudio

El área de estudio 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, y al Sur los municipios de Medellín y Boca del Río.

Isla Sacrificios se caracteriza por ser un cayo que emerge en la parte sur de un arrecife de 750 m de longitud y 450 m de ancho en su parte central. Se localiza al Este de la playa de Costa Verde y al Sur del arrecife Pájaros. Su emersión sobre las aguas data de hace 3000 años y se debe a una formación arrecifal de origen madreporico, todavía en pleno desarrollo (Vargas Hernández, 1993). La parte emergida presenta una forma elipsoidal, orientada N-S, con una longitud máxima de 368 m y 192 m en su parte más ancha. La isla presenta un faro montado sobre una torre con una altura de 42 m. El sustrato de la isla está formado por restos de organismos calcáreos y la vegetación presente corresponde a la vegetación de dunas costeras (Miranda y Hernández 1963). En la parte Norte y Suroeste de la isla se observan gramíneas de tamaño regular, además de pequeñas áreas de platanares y zonas de plantas herbáceas introducidas.

La Isla de Sacrificios se localiza a 2.4 km de la costa, 4.2 km al Noroeste se localiza la entrada del puerto de Veracruz. Al Norte a 1.2 km se localiza el arrecife Pájaros. Hacia el Suroeste a 11.4 km se encuentra la desembocadura del río Jamapa. En la figura 2 se muestra la red de estaciones en los alrededores de Isla Sacrificios, y en la figura 3 se señalan las estaciones realizadas en el río Jamapa.

3.1.1 Batimetría del área

Las inmediaciones de Isla Sacrificios se caracteriza por presentar profundidades que van desde los 4 metros entre el continente y la isla, hasta los 20 metros de profundidad en las estaciones ubicadas fuera de la protección de los arrecifes.

Figura 2. Mapa del área de estudio y estaciones muestreadas en las tres épocas del año.

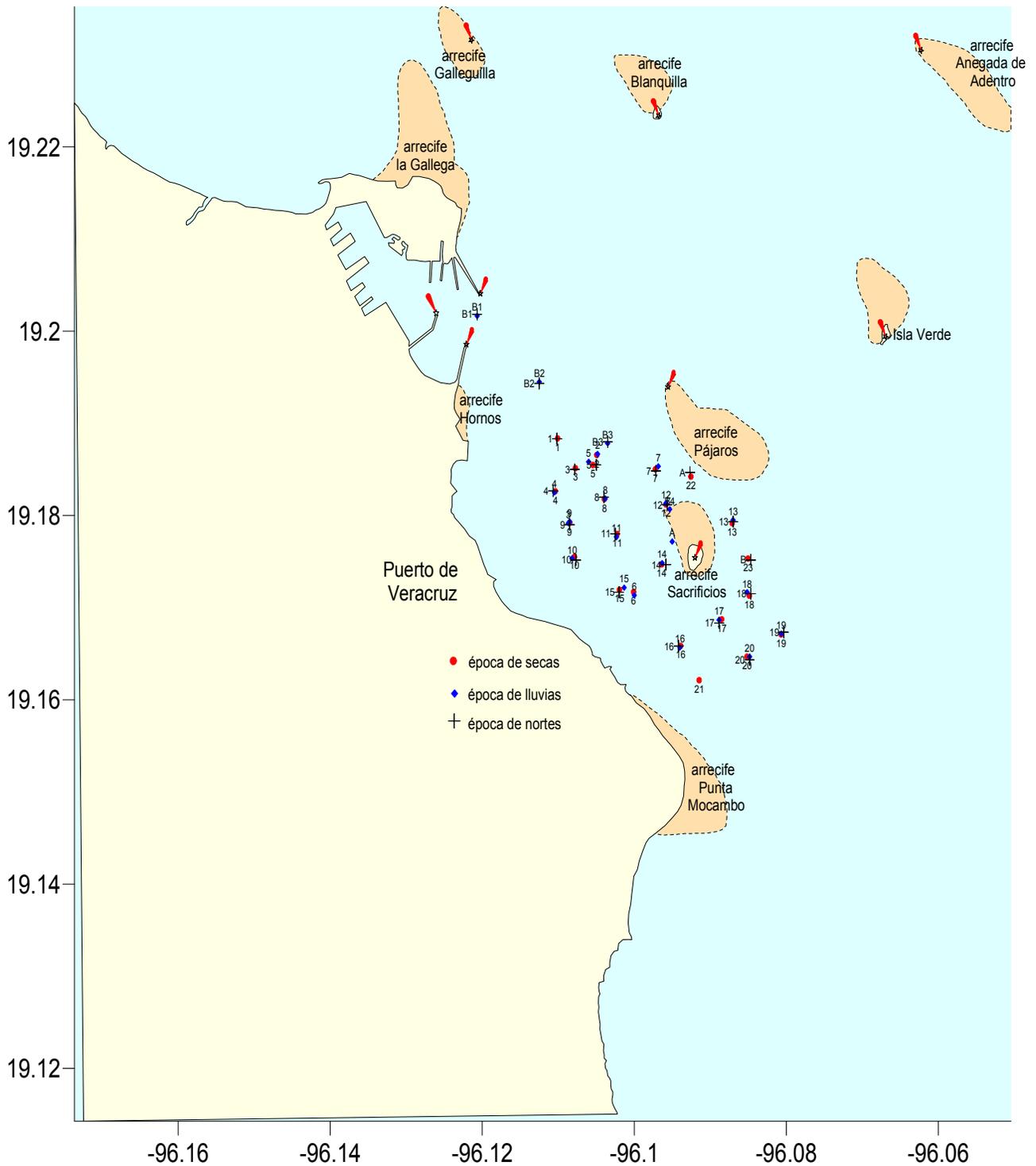
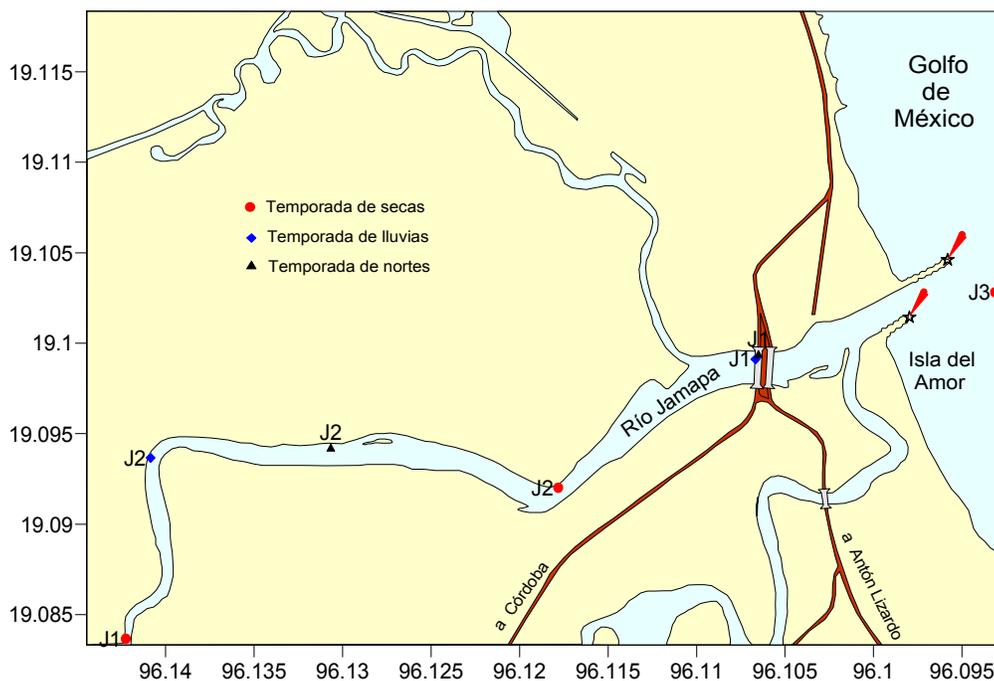


Figura 3. Mapa del río Jamapa y estaciones muestreadas durante las tres épocas del año



3.2 Clima

El estado de Veracruz tiene una diversa variedad de climas los cuales van desde cálidos húmedos y subhúmedos (al que pertenece el área de estudio), semicálidos húmedos, templados, semifríos y fríos, por último semisecos (COREMI, 1986).

3.2.1 Climas cálidos húmedos y subhúmedos

Son los que comprenden una mayor área, aproximadamente el 80 % del territorio veracruzano, se distribuyen en las llanuras costeras del Golfo Norte y del Golfo sur, a una altura máxima de 1000 metros sobre el nivel del mar. Aquí la temperatura media anual es de 22 a 26 °C y la precipitación anual varía de 2000 a poco más de 3500 mm.

3.2.2 Características climatológicas locales de la ciudad de Veracruz

El clima de la ciudad de Veracruz se le considera como cálido-húmedo con lluvias en dos épocas bien marcadas: la de nortes, de menor precipitación, que se presenta de septiembre a abril, con temperatura baja y frecuentes invasiones de masas de aire frío del norte: éstas, por su fuerza, pueden ser desde vientos frescos hasta violentos y huracanados. La época de lluvias se presenta de mayo a agosto, con temperaturas elevadas, alta precipitación y vientos débiles del este. La temperatura promedio anual en la zona arrecifal es de 26°C, las temperaturas más bajas se registran en enero y febrero y oscilan alrededor de los 18°C. La época de secas no esta bien definida.

En la región de Veracruz los frentes fríos en invierno, llamados "nortes", son más importantes, debido a la afectación en las actividades marítimas, debido a que su presencia origina el cierre del puerto a embarcaciones pequeñas dedicadas a la pesca o actividades turísticas, entre otros tipo de daños son los del ambiente marino concretamente a los arrecifes pues afectan la temperatura del agua a la que pueden sobrevivir que es de alrededor de 18 a 36 °C; además de remover el sedimento y resuspenderlo en la columna de agua, afectando también a los arrecifes del lugar.

3.3 Vegetación

Dentro de los tipos de vegetación que se desarrollan en el estado, en orden decreciente de abundancia se encuentran: selva alta perennifolia, baja caducifolia y mediana subperennifolia; bosques mesófilo, manglar, sabana, bosques de pino, encino, tular, palmar, vegetación de dunas costeras y matorrales.

En cuanto a su cultivo se tiene de tres tipos, el de temporal (dominante), comprendido en la llanura costera del Golfo Norte y la Sierra Madre Oriental en el Norte del estado; el de riego, ubicado en la llanura costera del Golfo Norte y Golfo Sur; y por ultimo, el de pastizal, cultivo que se desarrolla en la llanura costera del Golfo Norte. La producción agrícola del estado es alta y variada, genera productos básicos, frutales e industrializables. (COREMI, 1986)

3.4 Hidrología

El estado esta dividido en 5 regiones hidrológicas de aguas superficiales: la primera denominada región bajo Panuco, donde la principal corriente la constituye el propio río Panuco, la segunda es conocida como región norte de Veracruz, la cual esta integrada por las cuencas de los ríos Nautla, Tecolutla, Cazones y Tuxpan, la tercera es mencionada como región centro (a la que pertenece el área de estudio), las principales corrientes son los ríos Actopan, Jamapa y la Antigua, la cuarta es la correspondiente a la región Papaloapan, su corriente principal es el río Papaloapan, el río Tesechoacan es un afluente importante del río Papaloapan, y por ultimo la región Coatzacoalcos correspondiente a lo que geográficamente podría llamarse vertiente del Golfo de la zona ístmica parte del cual corresponde al sur de Veracruz, su principal corriente es el río Coatzacoalcos (Consejo del sistema veracruzano del agua, 2005).

Por lo que respecta a los almacenamientos superficiales de agua dulce, el estado cuenta con las lagunas costeras de Catemaco, Chairel, Chila, Pueblo nuevo, Camarones, Alvarado, Pajaritos, y Ostión.

Los ríos que influyen directamente al sistema arrecifal son el Papaloapan y el río Jamapa.

El río Papaloapan es uno de los tres ríos más importantes del país. Su cuenca, de 39,189 km² se extiende en los estados de Oaxaca, Puebla y Veracruz, correspondiendo al primero la mayor parte del área de alimentación. Se estima un volumen medio anual de 39,175 millones de metros cúbicos (Tamayo, 2001). Su caudal principal, tiene su origen en las serranías oaxaqueñas, donde los ríos Tonto y Santo Domingo son los formadores principales

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 3,350 km² y su escurrimiento es de 1,895 millones de metros cúbicos. Tanto por su amplitud como por tener importante alimentación de deshielos, conserva un caudal de estiaje bastante importante. Esta región hidrológica reporta un gasto medio de 68.01 m³ / seg, es decir, el 11.37 % del gasto total (Tamayo, 2001).

En la zona norte de la región se encuentra establecido el distrito de riego La Antigua y Actopan, que se abastecen de los ríos Jamapa, San Juan Pancaya, Santa María y Actopan.

3.5 Litología del estado de Veracruz

La geología del estado de Veracruz está representada por un basamento de rocas plutónicas y metamórficas del paleozoico superior y una secuencia sedimentaria, que aflora al norte del poblado de Huayacocotla, localizada en la porción Noroccidental de la entidad, ésta se encuentra sobre yacida por unidades mesozoicas, sedimentos clásticos del triásico superior y rocas sedimentarias marinas jurásicas y cretácicas, que afloran en los límites con los estados de Tamaulipas, Hidalgo, Puebla, Oaxaca y Chiapas. (COREMI, 1986)

El Cenozoico se encuentra aflorando en gran parte del estado y esta representado por sedimentos clásticos de origen marino y rocas volcánicas, que en el terciario superior y cuaternario, están constituidas por derrames de basaltos, andesitas y tobas riolíticas, así como por depósito de arenas, gravas, arcillas y limos. (COREMI, 1986)

La actividad ígnea que se inicia a fines del cretácico, se manifiesta por intrusiones de composición ácida intermedia (granitos y granodioritas), que afectan a rocas Jurásicas y cretácicas, principalmente en las regiones de Tatatila, las minas y Huayacocotla. (COREMI, 1986)

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

3.6 Actividad económica

La ciudad de Veracruz es uno de los puertos más importantes del país es líder nacional en el manejo de mercancías contenerizadas, opera el 40 % del total nacional, además de albergar algunas grandes industrias.

3.6.1 Puerto de Veracruz

Este puerto, activo desde la época colonial es el más antiguo y uno de los de mayor importancia en el país, atiende el 72 % de los vehículos automotores de exportación e importación. Y moviliza el 53 % de los graneles agrícolas del país, también puede recibir barcos de pasajeros (cruceros). (API, 2005)

En general el tipo de carga manejado en el puerto se clasifican en carga general suelta conformada por automóviles, acero, aluminio, cobre, tubos, postes de madera, madera, maquinaria, estructuras, pulpa de papel, alambros, etc; granel agrícola comprendido por maíz, sorgo, trigo, arroz, soya y salvado de trigo; granel mineral conformado por fertilizantes, pet coke, arrabio y chatarra; fluidos comprendidos por aceite vegetal, melaza, sebo, metil metacrilato, grasa amarilla, alquilbenceno, aceite de pescado, monómero de estireno, xileno y acetona, etc. (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)

Los mercados que cubre son el centro del país, costa Este de los Estados Unidos de América y Europa.

3.6.2 Plantas de beneficio

En el estado de Veracruz existen 25 plantas de beneficio, de las cuales 18 son de aprovechamiento de minerales no metálicos y las 7 restantes corresponden a plantas industriales. De este total, 2 plantas se encuentran inactivas. (COREMI, 1986)

La capacidad instalada global de este conjunto de plantas de beneficio es de aproximadamente 22,432 ton / día, de las cuales el 90.1 % corresponde a plantas que tratan minerales no metálicos, principalmente azufre, arena sílica, caolín, sal, mármol y caliza. En tanto que las plantas industriales absorben el 9.9 % restante de la capacidad instalada global para producir fierro esponja, aluminio y ferroaleaciones de manganeso y productos terminados tales como varilla corrugada, alambros y malla electrosada. (COREMI, 1986)

3.6.3 Fundiciones

En el estado de Veracruz existen 5 plantas fundidoras o industriales que producen ferroaleaciones de hierro y manganeso, así como hierro esponja y acero de diferentes especificaciones. Estas fundiciones trabajan con materia prima consistente en chatarra de diferentes orígenes, las cuales se localizan en los municipios de Pánuco y Veracruz. (COREMI, 1986)

Por otra parte, en el área de Córdoba existen dos plantas fundidoras que elaboran productos terminados tales como varilla corrugada, alambión, malla electrosada y hierro nodular. Tales plantas son Metalúrgica Veracruzana, S.A. de C.V, y Electro refuerzos del Sureste, S.A. de C.V. (COREMI, 1986)

Finalmente la planta de la compañía Minera Autlán (unidad Tamos) utiliza como uno de sus insumos, aproximadamente el 20 % de la producción de la arena sílica proveniente del distrito minero de Jáltipan. (COREMI, 1986)

Tabla 5. Plantas metalúrgicas ubicadas en el puerto de Veracruz

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

Fuente: Monografía Geológico-minera del estado de Veracruz (COREMI, 1986)

3.7 Contaminación en los principales ríos del estado de Veracruz

El crecimiento demográfico del estado, tanto de zonas rurales como urbanas, ha generado un rezago en la cobertura y calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

No existe la suficiente infraestructura de potabilización, para proporcionar los volúmenes requeridos con la calidad que establecen las normas vigentes. Esta condición esta estrechamente relacionada con los procesos de degradación del agua por efectos de la contaminación provocada tanto por los efluentes no tratados de los usuarios industriales, como por las descargas de aguas residuales municipales (Consejo del sistema veracruzano del agua, 2005).

Estudios existentes en materia de calidad del agua de los principales ríos del estado, revelan que en los 14 ríos más importantes se registran niveles altos de contaminación por lo que:

- Compromete la disponibilidad de sus aguas para usos tales como el público urbano, el recreativo o el acuícola, que por sus características de contacto directo con la población requieren de una calidad superior a la de otros usos.
- Constituye un riesgo para la salud de la población asentada cerca de estas corrientes.
- Representa un peligro a aquellos usuarios que directamente la ocupan para riego
- Afecta a los consumidores de los productos que son regados con estas aguas
- Reduce las opciones para diversificar cultivos y de esta forma limita el desarrollo agrícola, ya que la producción se ve restringida a cultivos básicos como maíz, frijol y forrajes de baja rentabilidad.

La alta contaminación de los ríos se debe principalmente a las descargas industriales de aguas residuales sin tratamiento o con tratamiento deficiente. Este tipo de descargas constituye el 68% del volumen descargado a ríos y cauces de forma puntual, además de que aporta el 76% de la carga contaminante medida en términos de la demanda de oxígeno biodisponible (DBO) (Consejo del sistema veracruzano del agua, 2005). En la tabla 6 se muestra la DBO de descargas contaminantes para algunas cuencas del país.

Dentro de las descargas industriales, las correspondientes a los ingenios azucareros y a las instalaciones de PEMEX representan el 50% del volumen generado por este sector, el 65% de la carga orgánica de DBO y el 89% de la demanda química de oxígeno (DQO) (Consejo del sistema veracruzano del agua, 2005). En la tabla 7 se muestra la DBO de aguas industriales en algunas cuencas del país.

Tabla 6. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de descargas contaminantes en cuencas seleccionadas, 1994.

Cuenca	Descarga total (toneladas DBO / día)	Descargas municipales %	Descargas industriales %
Total	6,879.1	41	59
Río Moctezuma	1,233.4	97	3
Río Papaloapan	1,224.3	10	90
Río Jamapa y otros	515.9	16	84
Río Soto la marina	391.6	5	95
Río Bravo-San Juan	379.8	52	48
Río Atoyac-Puebla	275.0	72	28
Río Lerma Salamanca	265.9	58	42
Río Santiago-Guadalajara	256.9	93	7
Río Tamuín	197.0	15	85
Río Pánuco	180.2	18	82
Río Grande de Amacuzac	179.7	42	58
Río Yaqui	175.5	17	83
Río Coahuayana	157.3	12	88
Río Santiago- Aguamilpa	154.3	15	85
Río Culiacán	151.7	30	70
Río Grijalva-Tuxtla Gutiérrez	145.5	40	60
Río La Laja	143.0	68	32
Río Lerma-Toluca	139.1	76	24
Río Tamesí	137.7	8	92
Río Balsas-Infiernillo	123.4	4	96
Río La Vega-Cocula	121.3	7	93
Río Coatzacoalcos	120.1	37	63
Río Tonalá-Laguna del Carmen	109.6	28	72
Río Tepalcatepec	100.9	19	81

Fuente: Comisión nacional del agua, Diagnostico de las acciones de saneamiento a nivel nacional, México, 1996.

Tabla 7. Carga de demanda biológica de oxígeno de aguas residuales industriales en cuencas seleccionadas ,1994

Cuenca hidrológica	Carga (Toneladas /día)	Porcentaje
Total	4,920	100
Río Papaloapan	1,120	22.8
Río Jamapa y otros	432	8.8
Río Soto la Marina	372	7.6
Río Bravo- Río San Juan	185	3.8
Río Tamuín	168	3.4
Río Pánuco	148	3.0
Río Yaqui	145	2.9
Río Coahuayana	139	2.8
Río Balsas-Infiernillo	132	2.7
Otras	2,079	42.3

Fuente: Comisión nacional del agua, Diagnostico de las acciones de saneamiento a nivel nacional, México 1994.

Por su parte, las descargas de origen municipal junto con las del sector servicios, participan con el 32% del volumen descargado y el 24% de la carga contaminante; también el depósito de basura en barrancas, contribuye al deterioro de la calidad del agua (Consejo del sistema veracruzano del agua, 2005).

La infraestructura para el saneamiento tanto municipal como industrial es reducida y la que existe trabaja con eficiencias muy bajas, por lo que se puede afirmar que existe en el estado una cantidad importante de infraestructura para tratamiento de aguas residuales tanto de origen municipal como industrial que no se aprovecha de manera adecuada (Consejo del sistema veracruzano del agua, 2005).

En cuanto al uso industrial, alrededor de 300 industrias generan un volumen de agua residual de 672.2 millones de metros cúbicos, de los cuales tan solo se tratan 329.6 millones de metros cúbicos (Consejo del sistema veracruzano del agua, 2005).

Otra fuente importante de contaminación es la relativa a los retornos agrícolas; en efecto, el agua que no es aprovechada por los cultivos y que de alguna forma continúa escurriendo hacia las corrientes, contiene elementos químicos provenientes de los fertilizantes, fungicidas e insecticidas que se aplican para el desarrollo y protección de las plantas, y que en su mayoría son tóxicos. La problemática en este sentido, resulta aún mayor, dado que las descargas no son concentradas en puntos específicos, y más bien se distribuyen en todo el espacio regado, lo que además puede propiciar la contaminación de acuíferos al infiltrarse el agua hacia el subsuelo (Consejo del sistema veracruzano del agua, 2005).

La demanda para uso agrícola en el estado es de 1,950 millones de metros cúbicos anuales, y considerando una eficiencia del 50%, los retornos esperados del sector agrícola se estiman de 975 millones de metros cúbicos, volumen que se incorpora al subsuelo y a los cuerpos de agua sin tratamiento. En este caso, de fuentes difusas, el control de la contaminación está estrechamente ligado a la reducción del grado de persistencia en el ambiente de los agroquímicos y al correcto manejo y confinamiento de sus embalajes (Consejo del sistema veracruzano del agua, 2005).

Otra importante fuente de contaminación, aunque de tipo fortuita, es el correspondiente a los derrames de hidrocarburos en los cruces de los ductos de PEMEX por las corrientes, por rupturas de los ductos, que en el caso del estado de Veracruz se presentan con alta frecuencia, afectando de inmediato la actividad económica de la región en torno al sitio del derrame y al medio ambiente (Consejo del sistema veracruzano del agua, 2005).

La ciudad de Veracruz- Boca del Río, se considera por ser una zona económica caracterizada por rubros portuarios-industrial y de servicios, esto la hace una ciudad con problemas de altos impactos ambientales, teniendo problemas de una gran ciudad como los son los sistemas de desagües y alcantarillados ya que según reportes periodísticos (La jornada, 2005) señalan que no existe un plano donde se delinee el recorrido exacto de tuberías, y tampoco se sabe con certeza el estado de las mismas, lo que se sabe es que en la ciudad formada por Veracruz y Boca del Río hay 52 desagües de aguas negras aunado a las descargas de aguas residuales en el río Jamapa que desemboca ahí, que según la comisión nacional del agua es considerado como la tercer cuenca mas contaminada a nivel nacional, por recibir en su caudal descargas de aguas residuales de origen municipal e industrial.

Este hecho hace que el sistema arrecifal veracruzano, principalmente los arrecifes ubicados en la parte norte del puerto, corran el peligro de ser afectados por la cantidad de desechos vertidos al mar de origen antropogénico, pudiendo afectar así al ecosistema formado por los arrecifes.

Capítulo IV.

M
e
t
o
d
o
l
o
g
í
a

En el presente trabajo se llevaron acabo 3 muestreos correspondientes a diferentes épocas del año con características climatológicas diferentes, secas, lluvias y nortes, correspondiendo a los siguientes meses del año, Junio 2004, Septiembre 2004 y Febrero 2005. Previo a las salidas se diseño la red de muestreo, distribuyendo las estaciones de colecta en los alrededores del arrecife de Isla Sacrificios. La metodología utilizada se dividió en dos partes, correspondientes al trabajo de campo y al trabajo de laboratorio.

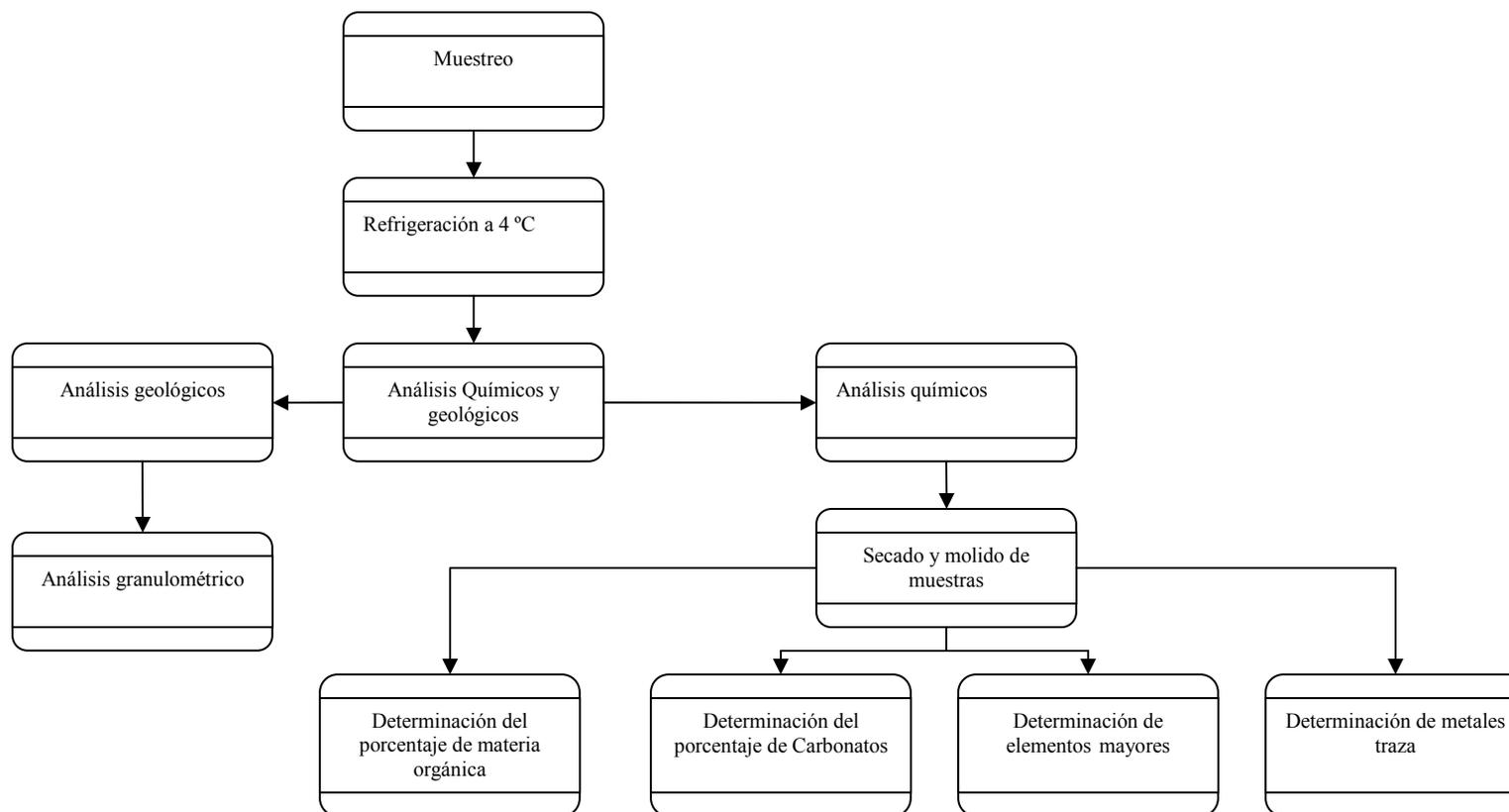
4.1 Trabajo de campo

El muestreo se realizo con la ayuda de la Armada de México facilitando una embarcación tipo “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 usaba 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 disuelto, pH) con una sonda marca hidrolab, tomando lecturas en superficie y fondo de la columna de agua, registrándose los datos en la hoja de control.
6. Etiquetado de la bolsa donde se depositaría el sedimento, con datos como el nombre del proyecto, número de muestreo y estación.
7. Recolección del sedimento superficial por medio de una draga Van Veen. Se vaciaba el contenido en una charola, para ser recolectado con una pala. La cantidad de sedimento a tomar no estaba establecido, sólo se trataba de calcular que alcanzara para todos los análisis a realizar. Cabe mencionar que no en todas las estaciones se obtuvo la misma cantidad de sedimento. En caso de no obtener muestra se lanzaba la draga dos veces más, si aún así fracasaban los dos intentos, se registraba en la hoja de control, no se encontró muestra. Ya teniendo el sedimento en la bolsa de plástico, se cerraba la boca de la bolsa, asiendo un dobles en forma de cuello de ganso y amarrado con una liga hasta quedar cerrada perfectamente.
8. El último paso era guardar la muestra en una hielera con una mezcla de hielo y sal, manteniéndolas de esta forma en refrigeración, tratando de mantenerlas lo menos alterada posibles, hasta realizarse los análisis. Esta metodología se realizaba en cada estación.

Diagrama general (figura 4.)



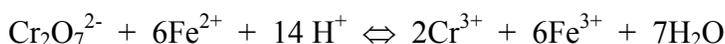
4.2 Trabajo de laboratorio

Para los análisis químicos (% de materia orgánica, % de carbonatos, elementos mayores, y metales traza) se tomo una cierta cantidad de muestra para ser secada en una estufa a 50°C por dos días, una vez secas eran molidas en un molino SPEX 8000 MIXER/MILL. Para finalmente ser depositadas en bolsas de plástico de 10 X 15 cm y etiquetadas con nombre del proyecto, numero de muestreo, y numero de muestra.

4.2.1 Determinación de materia orgánica en sedimento

Este procedimiento utiliza un calentamiento exotérmico y oxida a la materia orgánica del sedimento con dicromato de potasio $K_2Cr_2O_7$ y ácido sulfúrico H_2SO_4 concentrado, 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 el carbonato de calcio ($CaCO_3$) y cloruros 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 ion cromato y originando un error positivo; y propusieron el uso de ácido fosfórico, 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 (Rantala, 1992) usa también ácido sulfúrico H_2SO_4 concentrado con sulfato de plata.

La interferencia por iones férricos se elimina con la adición de fluoruro de sodio NaF en la mezcla de digestión. Los óxidos de manganeso se eliminan con ácido fosfórico.

Procedimiento

1. Pesar entre 0.2 y 0.5 gr de sedimento seco y molido (la cantidad de muestra esta en función del contenido de materia orgánica, se coloca 1.0 gr de sedimento en muestras que tienen menos de 1% de materia orgánica).
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 de una mezcla de ácido sulfúrico concentrado H_2SO_4 y sulfato de plata Ag_2SO_4 (2.5 gr 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 pegado 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 gr 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:

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

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.

0.003 = 14/4000 = peso meq del carbono.

1.0 N = Concentración de la solución de dicromato de potasio $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

5 ml = Alícuota de la solución de dicromato de potasio $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

Estandarización

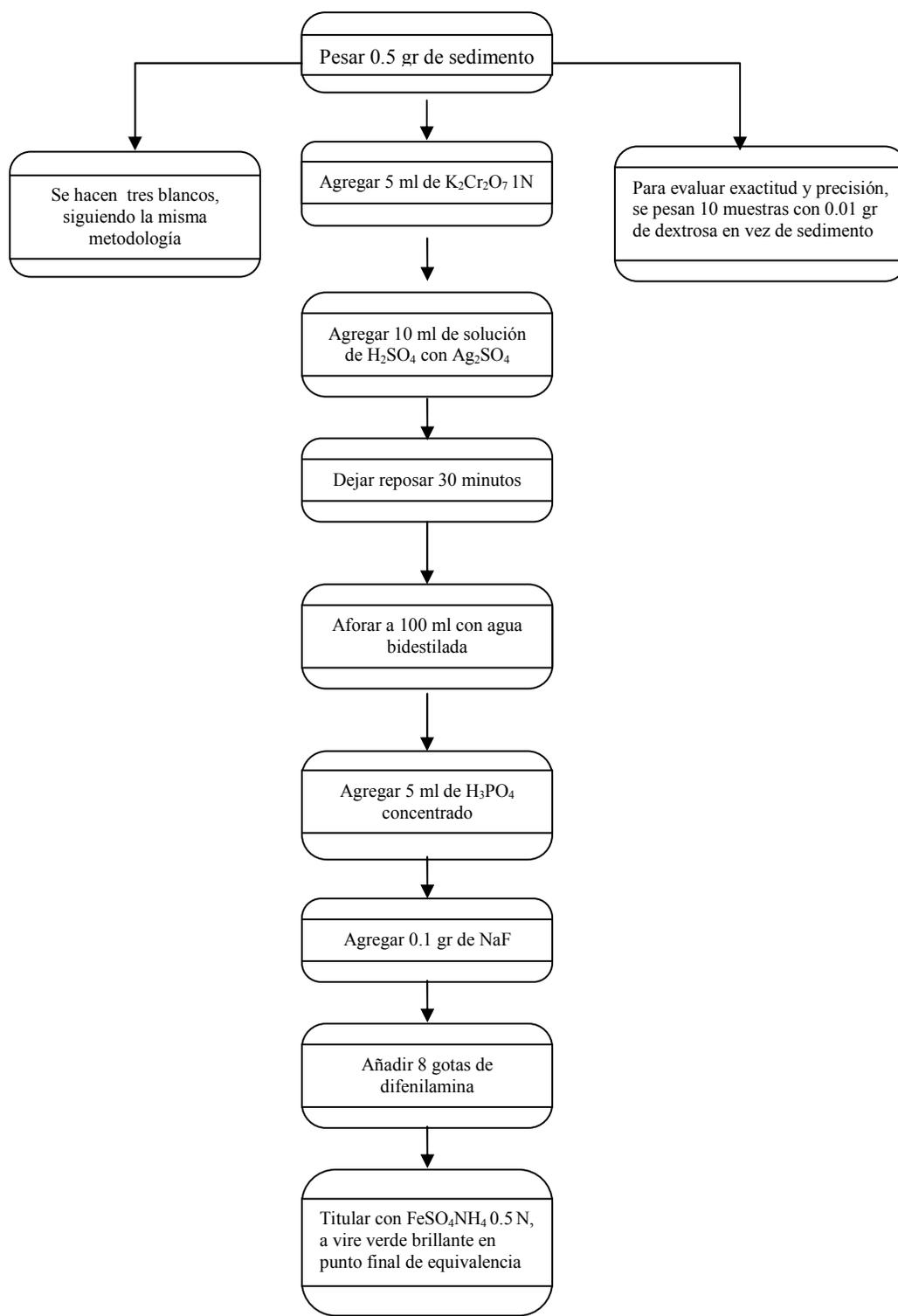
Para estandarizar el método, se evaluó la exactitud y precisión con dextrosa $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$.

Para la exactitud, se pesaron 10 mg de dextrosa 10 veces y se siguió la misma metodología para las muestras. En el calculo, considerar el valor teórico reportado para 10 mg es de 40.0% de carbono orgánico. Para determinar la precisión se analizo la cantidad de carbono orgánico total en una misma muestra 10 veces.

Tabla 8. Estandarización de materia orgánica

	<i>Precisión</i>		<i>Exactitud</i>
Valor promedio	39.02 %	Valor obtenido	39.02 %
Desviación estándar	0.58	Valor esperado	40 %
Coefficiente de variación	1.58 %	Intervalo de confianza 95%	39.02±0.41
n = 10			

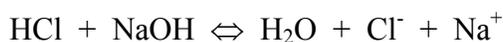
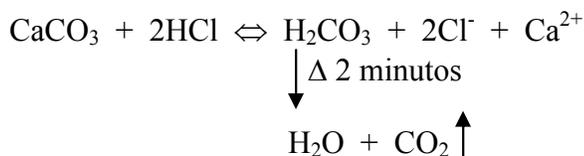
Figura 5.

Diagrama del método para determinación de materia orgánica

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

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 (Flashka, 1975 y Sheik, 1984).

Reacciones que se llevan a cabo



Al restar la cantidad de ácido que no reacciona 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; Bruce, 1974; Shapiro, 1975; Rosales, 1980)

Procedimiento

1. Pesar por duplicado 0.2 gr 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_{Blanco} = volumen de NaOH gastado al punto de equivalencia de la determinación en el blanco (ml)

V_{muestra} = volumen de NaOH gastado al punto de equivalencia de la muestra (ml)

N = normalidad de la solución de hidróxido de sodio

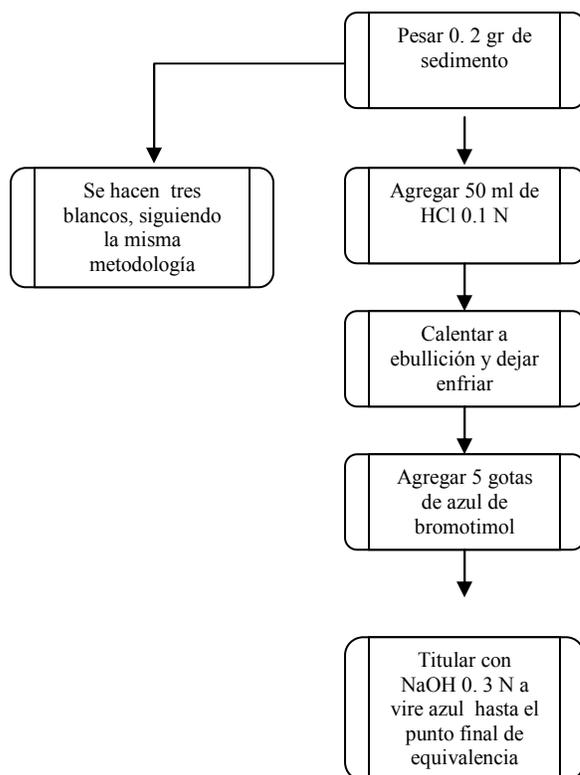
meq = miliequivalentes de carbonato de calcio = 0.050

W = peso de la muestra de sedimento (gr)

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

Figura 6.

Diagrama del método para determinación de carbonatos.



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. La exactitud, se determina pesando 0.2 gr de carbonato de calcio previamente secados a 110°C por 1 hora y haciendo el mismo procedimiento que para las muestras

Tabla 9. Estandarización de carbonatos

	<i>Precisión</i>		<i>Exactitud</i>
Valor promedio	97.58 %	Valor obtenido	97.58 %
Desviación estándar	0.92	Valor esperado	100 %
Coefficiente de variación	0.95 %	Intervalo de confianza	97.58+- 0.65
n = 10			

4.2.3 Análisis de elementos mayores por fluorescencia de rayos X

La espectroscopia de rayos X, al igual que la espectroscopia 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 Al₂O₃, P₂O₅, K₂O, CaO, SiO₂, TiO₂, MnO, Fe₂O₃, MgO, Na₂O, y P X C (perdida por calcinación). Los análisis se mandaron realizar al Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (LUGIS) en el instituto de geología de la UNAM.

La exactitud de los resultados fue evaluada con el estándar AGV- 1 emitido por el USGS. (United States Geological Service)

4.2.4 Análisis de elementos traza por EEA (Espectroscopia de absorción atómica)

Determinación de elementos traza por absorción atómica (espectroscopia óptica).

Los metales traza a determinar son cromo (Cr), vanadio (V), níquel (Ni), zinc (Zn) plomo (Pb) y cobre (Cu).

En la espectroscopia 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).

4.2.4.1 Determinación de Cr, V, Zn y Cu por absorción atómica por flama

Para poder realizar las determinaciones se realizaron los siguientes procedimientos.

Todo el material de vidrio y de plástico usado para poder realizar las determinaciones fue sometido al siguiente proceso de lavado.

1. Lavar con EXTRAN al 20 %
2. enjuagar con agua
3. Dejar sumergido el material durante 20 minutos en ácido nítrico (HNO_3) al 30%
4. Enjuagar con agua destilada
5. Enjuagar con agua tipo I (resistividad 18.2 M Ω . cm)

Preparado el material se realizaron las extracciones para absorción atómica por flama

Procedimientos de extracción para absorción atómica por flama (Manual de CEM, 1994).

1. Pesar 0.25 gr de sedimento (seco y molido) y vaciado en una bomba de teflón.
2. Adicionar los siguientes reactivos: 10 ml de H_2O , 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 1 para digestión de sedimentos

	Paso A	Paso B
Potencia	100	100
Presión (psi)	80	100
Tiempo (min)	25	25
TAP (min)	10	10

Fuente: Rantala, 1992

El tiempo presentado en la tabla de las condiciones del horno de microondas, 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 NALGENE que contengan 2 gr de ácido bórico (H_3BO_3).
6. Aforar con agua bidestilada y agitar.
7. Vaciar la muestra a un tubo para centrifugadora NALGENE 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.

Detección de elementos traza por absorción atómica

Una vez digeridas las muestras, se preparan las condiciones de trabajo para leer cada elemento en el espectrofotómetro de absorción atómica de flama, marca VARIAN modelo SPECTRA AA. Como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11. Condiciones del espectrofotómetro de absorción atómica de flama.

Elemento	Corriente de lámpara (mA)	Gas	Longitud de onda (nm)	Abertura (nm)
V	20	C ₂ H ₂ – N ₂ O	318.5	0.2
Cr	7	Aire – C ₂ H ₂	357.9	0.2
Ni	4	Aire – C ₂ H ₂	232.0	0.2
Zn	5	Aire – C ₂ H ₂	213.9	1.0
Cu	4	Aire – C ₂ H ₂	324.7	0.5

Tabla 12. Condiciones del equipo de AA para lectura de metales traza

Elemento	Concentración característica (ppm)	Rango de trabajo (ppm)	Sensibilidad para 0.2 abs. (ppm)	Limite de detección (ppm)
V	0.88	17.6 - 176	40	3.04
Cr	0.055	1.1- 11.0	2.5	0.34
Ni	0.088	1.76– 17.6	4.0	0.14
Zn	0.0088	0.17–1.76	0.4	0.014
Cu	0.033	0.66 – 6.6	1.5	0.02

En la tabla 13 se muestran las curvas de calibración con 5 puntos para los siguientes elementos: V, Cr, Ni, Zn, Cu.

Las diluciones para cada estándar se prepararon a partir de una solución. Stock de 1000 ppm MERCK certipur para absorción atómica, para cada elemento; utilizando pipetas Genex de volumen variable y agua tipo 1 (18.2 MΩ.cm).

Tabla 13. Curvas de calibración de los metales traza estudiados por EAA por flama.

Metal	Estándar 1	Estándar 2	Estándar 3	Estándar 4	Estándar 5	r	b	m	Modelo
V	2.5	5	10	15	-	0.998	0	0.006	Lineal
Cr	0.25	0.5	1	2	4	0.999	0	0.039	Lineal
Ni	0.25	0.5	1	1.5	2	0.999	0	0.071	Lineal
Zn	0.2	0.4	0.8	1.2	-	0.998	0	0.170	Lineal
Cu	0.25	0.50	0.75	1	1.25	0.998	0	0.083	Lineal

Cálculos:

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

$$[M](\text{ppm}) = \frac{[M^*] \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) \times \text{aforo (ml)} \times \text{dilución}}{\text{peso de muestra (gr)}}$$

[M*] = concentración del metal en ppm (mg/l) obtenida al interpolar la absorbancia de la muestra en la curva de calibración. A esta concentración se le resta el blanco.

Validación del método analítico

Para validar el método se usó el estándar certificado de sedimento marino NRC-CNRC MESS – 3, el cual se digirió bajo las mismas condiciones que las muestras.

Los resultados de la validación se muestran en la tabla 14.

Tabla 14. **Porcentaje de recuperación para el estándar MESS-3**

Elemento	Estándar certificado	% de recuperación	Rango aceptado de %recuperación
V	MESS - 3	102.03	97 – 103
Cr	MESS – 3	101.98	97 – 103
Ni	MESS – 3	102.40	97 – 103
Zn	MESS – 3	98.18	97 – 103
Cu	MESS – 3	102.54	97 – 103

Para tener un porcentaje de recobro aceptable el porcentaje de recuperación debe estar entre 97 y 103 % de acuerdo a (García, 2002) para métodos químicos o espectrofotométricos. Al estar las muestras dentro del rango aceptable de recuperación, indica que el método utilizado es el adecuado para el análisis, como se observa en la tabla 14.

Se determinó la Exactitud y precisión del método con el mismo estándar certificado siendo analizado 10 veces obteniéndose los resultados reportados en la tabla 15.

Tabla 15. **Exactitud y precisión para el estándar certificado MESS-3**

Elemento	Concentración reportada (ppm)	Concentración obtenida (ppm)	Desviación estándar	Coficiente de variación (%)
V	243+- 10	247.94	4.14	1.67
Cr	105+- 4	107.08	5.24	4.90
Ni	46.9+- 2.2	48.02	1.62	3.37
Zn	159+- 8	156.10	5.36	3.43
Cu	33.9+- 1.6	34.76	0.71	2.05

La precisión se vio afectada en los metales como el Cr, Ni y Zn al encontrarse coeficientes de variación ligeramente mayores al 3 % siendo menores a este valor los usualmente recomendados, y para V y Cu se encontraron valores aceptables de variación.

4.2.4.2 Determinación de plomo (Pb) por absorción atómica con horno de grafito.

Debido a que no se detectó por flama fue necesario hacerlo por absorción atómica con horno de grafito

Para poder realizar la determinación se realizaron los siguientes procedimientos:

Todo el material de vidrio y de plástico usado para poder realizar las determinaciones por horno de grafito, fue sometido a un proceso riguroso de lavado, para evitar posibles fuentes de contaminación:

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 HNO₃ AL 30 % durante 20 minutos.
6. Enjuagar en equipo de ultrasonido con agua bidestilada durante 20 minutos.
7. Enjuagar con agua suprapura durante 20 minutos.

Preparado el material se realizaron las extracciones para absorción atómica por horno de grafito, según el método de Rantala, 1992.

Para absorción atómica por Horno de grafito:

1. Pesar 0.02 gr de sedimento (seco y molido) y vaciado en una bomba de teflón.
2. Adicionar los siguientes reactivos: 2 ml de agua regia (3 HCl : 1 HNO₃) y 2 ml de HF concentrado.
3. Tapar herméticamente con su camisa de fibra de vidrio.
4. Digerir las muestras en el horno de microondas en un paso bajo las siguientes condiciones mostradas en la tabla 16.

Tabla 16. Programa 2 para digestión de sedimentos para horno de grafito

	Paso
Potencia	90
Presión (psi)	Sin presión
Tiempo (min)	6
TAP (min)	10

Fuente: Rantala, 1992

5. Después de pasar el tiempo de digestión y enfriar los vasos, vaciar el contenido de la bomba a matraces aforados de 10 ml de vidrio.
6. Adicionar 0.5 gr de ácido bórico H₃BO₃, y aforar con agua bidestilada y agitar.
7. Vaciar la muestra a un tubo para centrifugadora NALGENE 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. Esto es para eliminar la contaminación de metales traza que hubiere en los reactivos y se corrige restando la concentración del metal en el blanco de la concentración del metal de la muestra.

Una vez digeridas las muestras, se preparan las condiciones de trabajo para leer cada elemento en el espectrofotómetro de absorción atómica por horno de grafito, marca VARIAN modelo SPECTRA AA – 100.

En la siguiente tabla se muestran las condiciones del equipo para la determinación de plomo (Pb).

Tabla 17. Condiciones de trabajo para determinación de Pb por absorción atómica con horno de grafito.

Longitud de onda, λ (nm)	217	Modificadores empleados	Pd 1000 ppm
Ancho de abertura (nm)	1	Volumen de modificadores	10 μ l c/u
Corriente de lámpara (mA)	4	Volumen de muestra (μ l)	10
Tipo de medición	Área de pico	Temperatura máxima de calcinado ($^{\circ}$ C)	1000
Corrector de fondo	Lámpara de deuterio	Temperatura de atomizado ($^{\circ}$ C)	2150
		Gas	Mezcla de Ar – H ₂

El modificador utilizado fue (Pd) marca MERCK. El modo de inyección de los modificadores y muestras en todos los casos fue coinyección.

Se elaboro una curva de calibración con 4 puntos, presentada en la tabla 18, el modo en que el equipo tomo las muestras fue automix, es decir, que el equipo preparaba la curva de calibración a partir de un estándar de 100 ppb, esta las dilución se preparó a partir de un estándar certificado de 1000 ppm “MERCK” certipur para absorción atómica. El límite de detección del plomo fue de 0.00256 ppm.

Tabla 18. Curva de calibración de plomo estudiado por EAAHG.

Metal	Estándar 1	Estándar 2	Estándar 3	r	b	m	Modelo
Pb	30	60	90	0.993	0	0.0027	Lineal

Validación del método analítico para la determinación de Pb.

Para validar el método se uso el estándar certificado de sedimento marino NRC-CNRC HISS – 1, digiriéndose bajo las mismas condiciones anteriormente descritas.

Tabla 19. **Porcentaje de recuperación para el estándar HISS-1**

Elemento	Estándar certificado	% de recuperación	Rango aceptado de %recuperación
Pb	HISS – 1	102.82	97 – 103

Al igual que para flama se obtuvo un porcentaje de recobro aceptable al estar entre el rango de 97 y 103 % de acuerdo a (García, 2002) para métodos químicos o espectrofotométricos.

Se determino la exactitud y precisión del método se uso el mismo estándar certificado siendo analizado 10 veces obteniéndose los resultados reportados en la tabla 20.

Tabla 20. **Exactitud y precisión para el estándar certificado HISS-1**

Elemento	Concentración reportada (ppm)	Concentración obtenida (ppm)	Desviación estándar	Coficiente de variación (%)
Pb	3.13+- 0.40	3.22	0.06	1.76

La precisión se considera aceptable por ser menor al 3%.

4.2.5 Análisis granulométrico

El análisis granulométrico fue realizado en el laboratorio de geología marina del ICM y L, se utilizó un equipo láser, Coulter modelo LS230 (small volume modulo plus).

El equipo puede detectar tamaños de partícula de 0.4 μm (arcillas) hasta 2000 μm (arena). En el caso de que una muestra presente gravas, se tamiza y separa las gravas de las arenas, limos y arcillas, para ser cuantificadas al final; mientras la otra parte es analizada en el 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 gr.), 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 gr en un litro de agua destilada), dejando interaccionar el dispersante con el sedimento un tiempo de 1 día y disgregue 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), dando también un listado de porcentajes de tamaño de partículas detectados, además de otros parámetros utilizados en geología como tamaño gráfico promedio, desviación estándar, grado de asimetría y curtosis.

4.2.6 Tratamiento estadístico de la información

Una vez obtenidos los resultados de granulometría, porcentaje de materia orgánica, porcentaje de carbonatos, elementos mayores, y metales traza, se les calculo a cada uno de ellos, el promedio, máximo, mínimo, desviación estándar, y coeficiente de variación de cada uno de los muestreos realizados.

Tabla 21. **Tabla Formulas estadísticas**

Nombre	Formulas
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	$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100$ $\sigma = S \text{ Desviación estándar}$

4.2.6.1 Correlación de Pearson.

El tipo más ampliamente utilizado de coeficiente de correlación es Pearson r (Pearson, 1896), 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 utilizo el programa STATISTICA 6.0, se realizaron tres matrices generales una por cada muestreo, donde se coloco el número de casos, en este estudio fueron la cantidad de estaciones muestreadas, con los valores obtenidos de cada cosa determinada (elementos mayores, elementos traza, porcentaje de materia orgánica, porcentaje de carbonatos, porcentajes de arenas, limos y arcillas).

Capítulo V.

NOVA FORTUNA DE
SANTA CATARINA

El estudio de sedimentos superficiales en el área adyacente a la Isla Sacrificios en tres épocas distintas del año: temporada de secas (junio 2004), temporada de lluvias (septiembre 2004) y temporada de nortes (febrero 2005), permite evaluar los cambios de las descargas naturales y antrópicas y el efecto en su composición a lo largo del año. Dado que las características de los sedimentos están ligadas a la composición química de los mismos y a su granulometría, se llevo a cabo el estudio de ambos componentes.

5.1 Análisis granulométrico de los sedimentos

Las características granulométricas de los sedimentos determinan su tamaño de grano así como el grado de tracción, saltación y suspensión de los mismos. El análisis granulométrico de los sedimentos superficiales realizados en el presente estudio se presenta en las tablas 22 y 23.

Tabla 22. Porcentaje de gravas y arenas durante las tres épocas del año

% Gravas				% Arenas			
Estación	Secas	Lluvias	Nortes	Estación	Secas	Lluvias	Nortes
1	0	SM	0	1	95.49	SM	97.27
2	0	0	SM	2	95.97	94.67	SM
3	0	0	0	3	94.90	94.24	96.97
4	0	0	0	4	96.27	96.37	96.97
5	0	0	0	5	97.53	95.87	97.36
6	0	0	SM	6	97.93	91.76	SM
7	0	0	0	7	78.85	80.66	72.96
8	0	0	0	8	96.64	95.96	97.34
9	0	0	2.37	9	97.06	96.96	95.76
10	0	0	0	10	96.34	96.76	97.85
11	0.64	0	0.19	11	95.10	96.24	96.55
12	SM	11.85	SM	12	SM	59.70	SM
13	0	0	8.46	13	65.06	76.43	63.53
14	0	0	0	14	81.19	76.79	75.75
15	0	0	11.04	15	98.03	89.97	86.69
16	0	0	0	16	97.83	97.85	97.83
17	0	0	0	17	90.70	78.14	88.50
18	0	0.29	0	18	96.77	95.85	86.28
19	3.09	0.17	5.21	19	90.61	50.34	74.73
20	0	0	0	20	96.19	94.17	97.54
21	0	SM		21	97.93	SM	SM
A	0	SM	0	A	71.97	SM	69.84
B	7.47	SM	4.44	B	80.98	SM	72.97
B1	SM	0	0	B1	SM	85.30	88.15
B2	SM	0	0	B2	SM	94.22	94.77
J1	0	0.33	0	J1	98.82	96.69	69.86
J2	0	0	0	J2	97.82	33.99	45.84
J3	0.63	SM	SM	J3	98.17	SM	SM
Promedio	0.51	0.59	1.51	Promedio	91.34	87.54	87.89
Desviación std	1.69	2.58	3.15	Desviación std	9.45	13.02	11.39
Máximo	7.47	11.85	11.04	Máximo	98.03	97.85	97.85
Mínimo	0.00	0.00	0.00	Mínimo	65.06	50.34	63.53
C.V	332.18	440.45	208.42	C.V	10.34	14.87	12.96

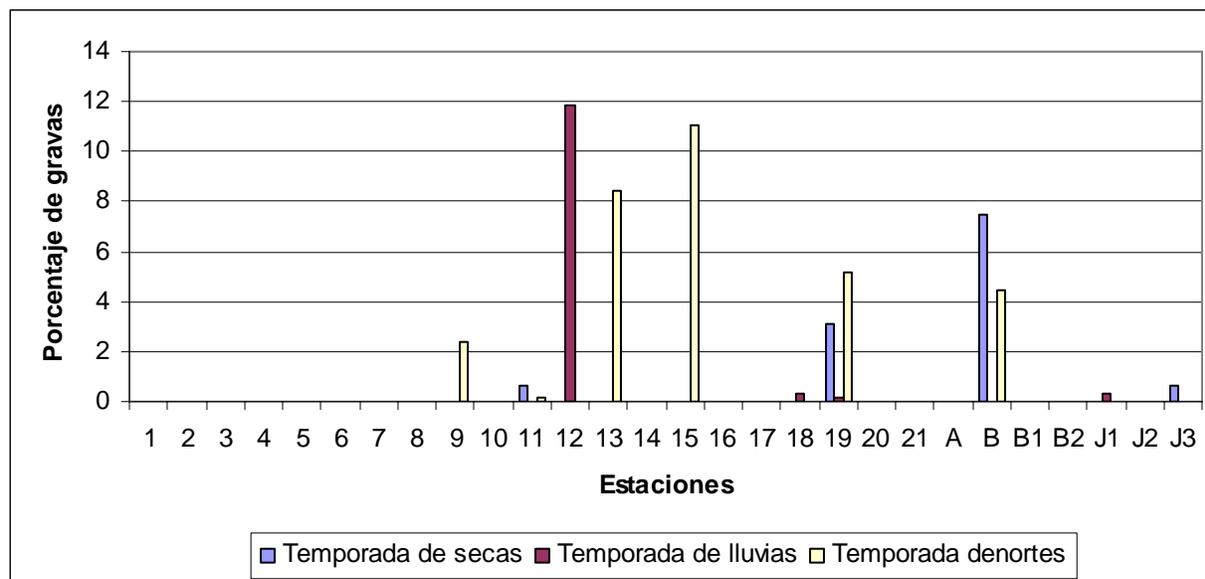
Nota: SM: sin muestra. No se consideraron los valores de las estaciones correspondientes al río J1, J2 y J3

Tabla 23. Porcentaje de limos y arcillas durante las tres épocas del año

<i>% Limos</i>				<i>% Arcillas</i>			
<i>Estación</i>	<i>Secas</i>	<i>Lluvias</i>	<i>Nortes</i>	<i>Estación</i>	<i>Secas</i>	<i>Lluvias</i>	<i>Nortes</i>
1	3.61	SM	2.32	1	0.90	SM	0.40
2	3.31	4.12	SM	2	0.71	1.20	SM
3	4.18	2.24	2.61	3	0.91	0.51	0.41
4	3.11	2.92	2.51	4	0.61	0.70	0.51
5	1.87	3.22	2.26	5	0.60	0.90	0.41
6	1.66	6.61	SM	6	0.41	1.62	SM
7	18.22	15.71	22.59	7	2.92	3.62	4.44
8	2.74	3.33	2.24	8	0.61	0.71	0.41
9	2.34	2.44	1.56	9	0.60	0.60	0.31
10	2.95	2.63	1.75	10	0.70	0.61	0.40
11	3.34	2.94	2.65	11	0.91	0.81	0.60
12	SM	23.401	SM	12	SM	5.04	SM
13	29.08	19.73	21.17	13	5.86	3.83	5.83
14	15.98	19.37	20.51	14	2.82	3.83	3.73
15	1.57	7.89	1.86	15	0.40	2.12	0.41
16	1.75	1.74	1.75	16	0.41	0.41	0.41
17	7.88	19.84	9.78	17	1.41	2.01	1.71
18	2.72	3.04	11.48	18	0.50	0.81	2.22
19	5.27	41.10	16.51	19	1.01	8.38	3.53
20	3.20	5.01	2.05	20	0.60	0.81	0.40
21	1.66	SM	SM	21	0.40	SM	SM
A	23.57	SM	24.61	A	4.44	SM	5.54
B	9.27	SM	18.24	B	2.26	SM	4.33
B1	SM	13.28	10.63	B1	SM	1.41	1.21
B2	SM	4.76	4.52	B2	SM	1.01	0.70
J1	0.98	2.47	24.36	J1	0.20	0.51	5.77
J2	1.78	51.57	46.15	J2	0.40	14.43	7.99
J3	0.98	SM	SM	J3	0.21	SM	SM
Promedio	6.79	9.78	8.74	Promedio	1.37	1.95	1.81
Desviación std	7.77	10.12	8.36	Desviación std	1.45	1.99	1.91
Máximo	29.08	41.11	24.61	Máximo	5.86	8.38	5.84
Mínimo	1.57	1.74	1.56	Mínimo	0.40	0.41	0.31
C.V	114.46	103.54	95.62	C.V	106.07	101.74	105.75

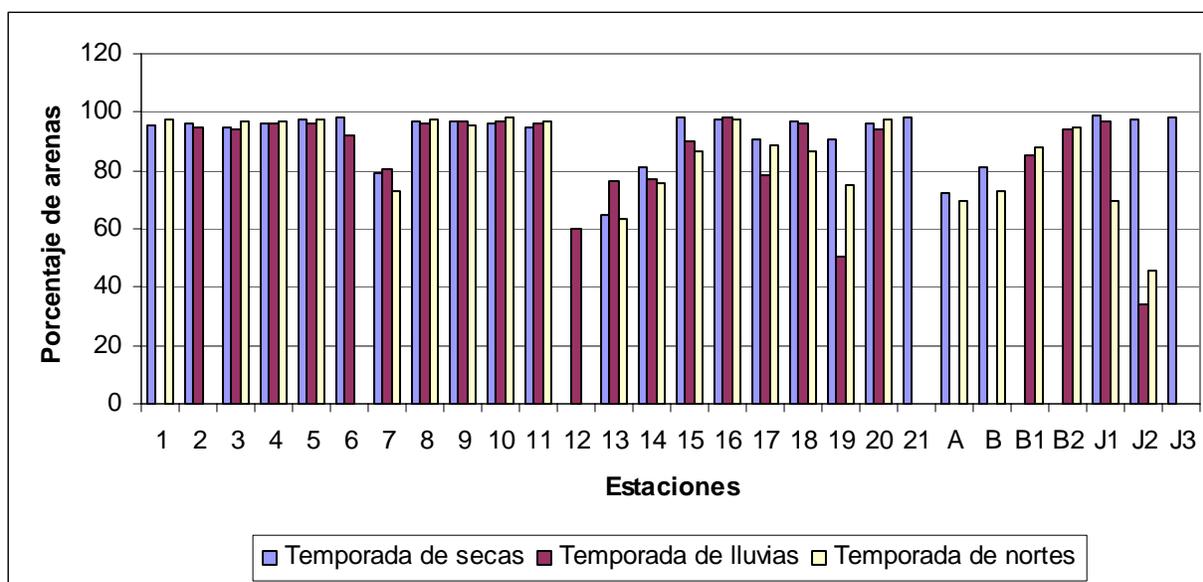
Nota: SM: sin muestra. No se consideraron los valores de las estaciones correspondientes al río J1, J2 y J3

Gráfica 7. Variación del porcentaje de gravas durante las tres épocas del año



El contenido de gravas en las muestras estudiadas fue prácticamente de cero en la mayoría de las estaciones a lo largo del estudio. Sin embargo, durante la época de secas, tres estaciones (**11**, **19** y **B**) mostraron presencia de gravas. En la temporada de lluvias tres estaciones (**12**, **18** y **19**) tuvieron gravas; y en el muestreo correspondiente a la época de nortes, seis estaciones (**9**, **11**, **13**, **15**, **19** y **B**) tuvieron gravas. La presencia de estas refleja una mayor dinámica en el área, lo cual se refleja en la época de nortes donde hay mayor número de estaciones con gravas y el promedio de la concentración es prácticamente tres veces el observado en las otras épocas. En el río solo se encontró un valor de 0.63 en la estación **J3** durante la época de secas, y en lluvias se encontró en la estación **J1** registrándose un valor de 0.33.

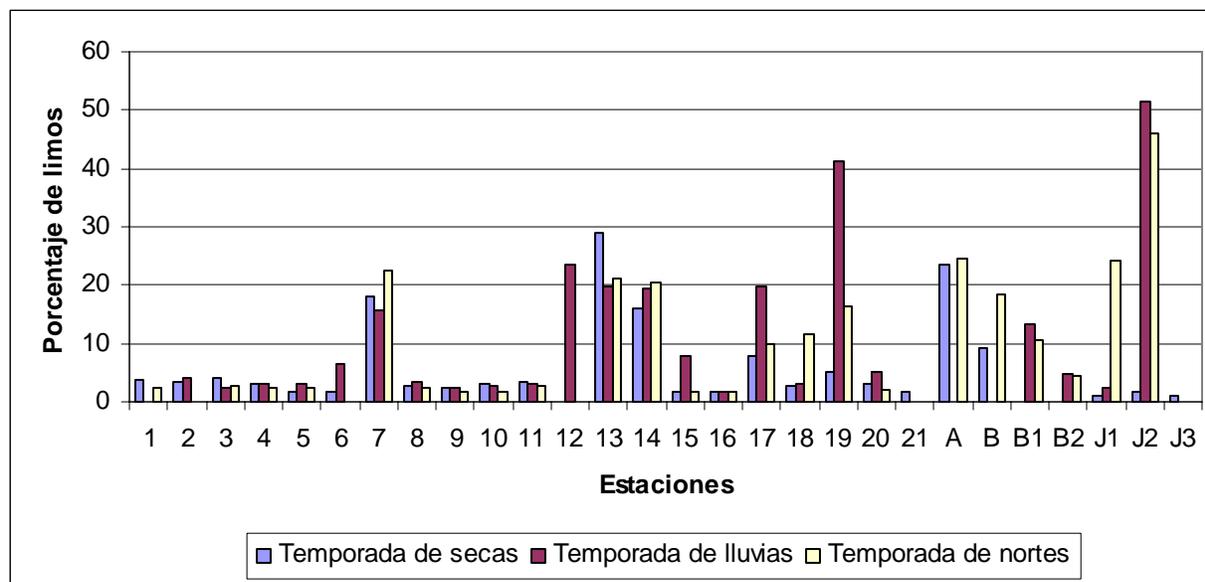
Gráfica 8. Variación del porcentaje de arenas durante las tres épocas del año



El porcentaje de arena promedio hallado en la época de secas fue de 91.34, registrándose el máximo de 98.03 en la estación **15** y el mínimo de 65.06 en la estación **13**. Para la época de lluvias se presentó un porcentaje promedio de 87.54 encontrándose el máximo de 97.85 en la estación **16** y el mínimo de 50.34 en la estación **19**. Acabando el ciclo en la época de nortes con un porcentaje promedio de 87.89, teniendo el máximo de 97.85 en la estación **16** y la mínima de 63.53 en la estación **13**. Los valores obtenidos en el río fueron de 98.34, 96.69 y 69.86 en la estación **J1**, para la estación **J2** se registraron los siguientes valores, 97.82, 33.99 y 45.84, mientras en la estación **J3** solo se recolectó una vez, arrojando un valor de 98.17.

En la gráfica 8, se observa una variación mínima en el porcentaje de arenas y en su patrón de distribución durante los tres muestreos. Las estaciones cercanas a la isla, se encontraron valores por abajo de la media, señalando que es en esta parte del área donde se concentra un mayor porcentaje de partículas del tamaño de limos y arcillas, descartando a las gravas por su casi nula presencia.

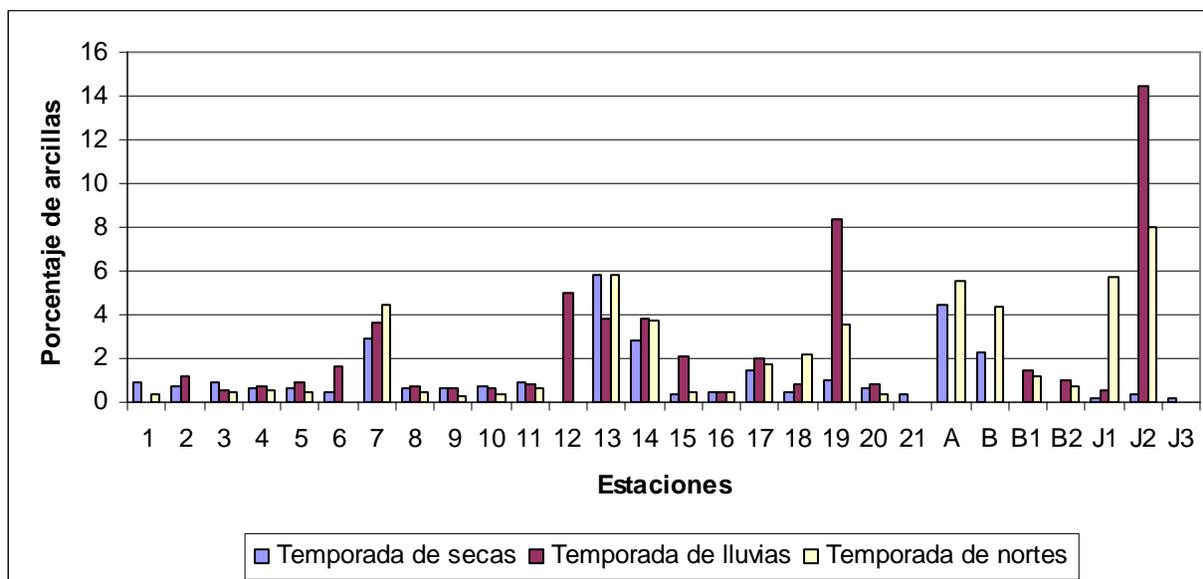
Gráfica 9. Variación del porcentaje de limos durante las tres épocas del año



El porcentaje de limos promedio descubierto en la época de secas fue de 6.79, registrándose el máximo de 29.08 en la estación **13** y la mínima de 1.57 en la estación **15**. Durante la época de lluvias se halló un porcentaje promedio de 9.78, teniendo el máximo de 41.11 en la estación **19** y la mínima de 1.74 en la estación **16**. Finalizando el ciclo en la época de nortes con un porcentaje promedio de 8.74, observándose el máximo de 24.61 en la estación **A** y el mínimo de 1.56 en la estación **9**. Para el río se obtuvieron los siguientes valores: 0.98, 2.47 y 24.36 correspondiente a la estación **J1**, para la estación **J2** se obtuvo valores de 1.78, 51.57 y 46.15; la estación **J3** de 0.98.

En la gráfica 9 se observa una variación mínima en la distribución de los limos durante los tres muestreos, al seguir un patrón inverso de distribución que las arenas, encontrándose mayores porcentajes de limos donde se encontraron bajos porcentajes de arena, sugiere que los arrecifes ofrecen cierta protección contra las olas y corrientes marinas a las que se ve sometida el área, permitiendo así la sedimentación de este tipo de partículas. Al ser las estaciones del río en lluvias y nortes mayores a los encontrados en la zona, sugiere que los aportes de los limos son de origen continental.

Gráfica 10. Variación del porcentaje de arcillas durante las tres épocas del año



El porcentaje de arcillas promedio encontrado en la época de secas fue de 1.37, teniendo el máximo de 5.86 en la estación **13** y el mínimo de 0.40 en la estación **21**. Para la época de lluvias se presentó un porcentaje promedio de 1.95, registrándose el máximo de 8.38 en la estación **19** y el mínimo de 0.41 en la estación **16**. Terminando el ciclo en la época de nortes con un porcentaje promedio de 1.81, hallando el máximo de 5.84 en la estación **13** y el mínimo de 0.31 en la estación **9**. Los valores del río fueron de 0.20, 0.51 y 5.77 para la estación **J1**, de 0.40, 14.43 y 7.99 para **J2** y de 0.21 para **J3**, correspondiendo cada uno a cada una de las épocas del año. La distribución de las arcillas durante los tres muestreos son parecidos a los de limos. En la gráfica 10 se observa un mayor aporte por el río en las épocas de lluvias y nortes, sugiriendo al igual que en el caso de los limos, las arcillas son aportadas por el continente.

De la tabla 22 observamos que los sedimentos en su fracción arenosa muestran en general una concentración promedio mayor en la época de secas, mientras que en las épocas de lluvias y nortes hay el mismo porcentaje promedio de arenas, esto refleja que el área está afectada por condiciones de alta energía, dadas sobretodo por el oleaje y las corrientes litorales.

De las graficas 6, 7, 8 y 9, observamos durante todo el año predominancia de la fracción arenosa de los sedimentos sobre las fracciones de limos, arcillas y gravas, siendo esta última insignificante. Este predominio indica una zona de alta energía, ocasionado por la alta dinámica de la columna de agua, donde se involucran factores como el oleaje, las corrientes litorales y los vientos; este constante movimiento del agua no permite la sedimentación de las partículas finas como son los limos y arcillas. Los mayores valores de limos y arcillas obtenidos durante la época de lluvias registradas en la tabla 23, reflejan el mayor aporte de partículas finas acarreadas por las descargas continentales.

Las máximas concentraciones de lodo (limo + arcillas) se presentaron en las estaciones ubicadas en las proximidades de Isla Sacrificios, implicando de esta manera condiciones de baja energía para permitir así su sedimentación, en tanto que los valores más bajos son los que se encontraron en aguas más someras, próximas a la línea de costa, lo que está asociado a la mayor influencia del oleaje en las partículas finas, las cuales son removidas y acarreadas a zonas más profundas.

5.2 Análisis químicos en los sedimentos

Los sedimentos están constituidos por diversos tipos de componentes los cuales reflejan el origen de los mismos. El origen terrígeno de los sedimentos, se caracterizan principalmente por la presencia de fragmentos de rocas volcánicas y plagioclasas, las cuales están constituidas por diferentes proporciones de Si, Al, Fe, Na, K, Ca y metales traza. El origen biogénico de los sedimentos se refleja principalmente en su contenido de Ca, CO₃, SiO₂ y materia orgánica. El origen autigénico de los sedimentos se refleja en su contenido de Fe, Mn, Ti, P, etc. El origen antrópico de los sedimentos se puede evaluar a través de su contenido de metales traza y la asociación de estos con otros parámetros.

En el presente estudio se evaluó la concentración de materia orgánica, carbonatos, elementos mayores (%) y traza (ppm) en los sedimentos del área, y a través de su patrón de distribución y de su concentración, se infieren los procesos que se están llevando a cabo en el área.

5.3 Materia orgánica

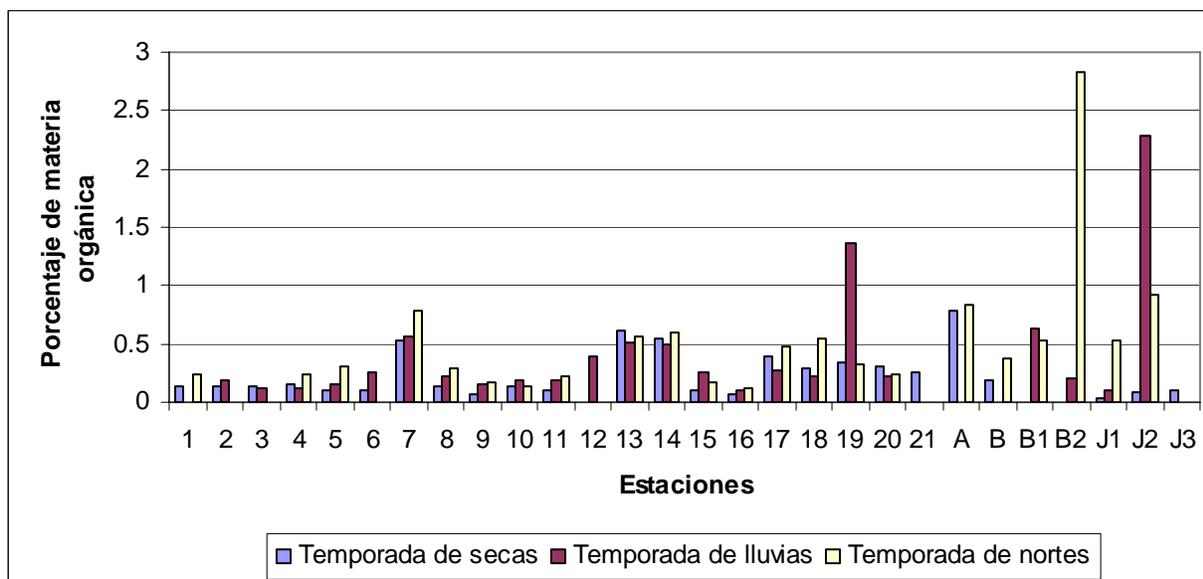
La materia orgánica puede presentarse de diferentes formas, desde troncos de árboles, animales muertos, microorganismos (plancton, zooplancton), desechos de organismos marinos, hasta los producidos por el propio hombre, que al irse degradando pueden llegar a los tamaños de limos y arcillas, o adheridos en sedimentos mas gruesos como gravas y arenas.

Tabla 24. Porcentaje de materia orgánica durante las tres épocas del año

% Materia Orgánica			
Estación	Secas	Lluvias	Nortes
1	0.13	SM	0.23
2	0.14	0.19	SM
3	0.14	0.12	SM
4	0.15	0.12	0.24
5	0.11	0.16	0.30
6	0.11	0.25	SM
7	0.52	0.57	0.78
8	0.13	0.22	0.29
9	0.07	0.16	0.18
10	0.13	0.19	0.14
11	0.11	0.19	0.22
12	SM	0.4	SM
13	0.62	0.51	0.57
14	0.54	0.5	0.59
15	0.11	0.26	0.18
16	0.07	0.1	0.12
17	0.4	0.28	0.47
18	0.29	0.22	0.55
19	0.34	1.36	0.33
20	0.3	0.23	0.23
21	0.26	SM	SM
A	0.79	SM	0.84
B	0.19	SM	0.37
B1	SM	0.63	0.53
B2	SM	0.21	2.83
J1	0.04	0.11	0.53
J2	0.08	2.28	0.93
J3	0.1	SM	SM
Promedio	0.26	0.33	0.50
Desviación std	0.20	0.28	0.59
Máximo	0.79	1.36	2.83
Mínimo	0.07	0.10	0.12
C.V	78.04	86.31	117.56

Nota: SM: sin muestra. No se consideraron los valores de las estaciones correspondientes al río J1, J2 y J3

Gráfica 11. Variación del porcentaje de materia orgánica durante las tres épocas del año



El porcentaje de materia orgánica promedio registrado en la temporada de secas fue de 0.26, encontrándose el máximo de 0.79 en la estación **A** y el mínimo de 0.07 en la estación **9**. En la temporada de lluvias se halló un porcentaje promedio de 0.33, siendo el máximo de 1.36 en la estación **19** y el mínimo de 0.10 en la estación **16**. Terminando el ciclo en la temporada de nortes con un porcentaje promedio de 0.50, teniendo el máximo de 2.83 en la estación **B₂** y el mínimo de 0.12 en la estación **16**. Los resultados obtenidos en el río son los siguientes: 0.04, 0.11 y 0.53 para **J1**, en **J2** se obtuvieron valores de 0.08, 2.28 y 0.93, para **J3** se registro un valor de 0.1.

El porcentaje de materia orgánica registrado en la tabla 24, se observa una variación promedio a lo largo del año, habiendo un aumento de manera gradual, hasta llegar a la temporada de nortes, donde se registro el valor máximo promedio. En el río se encontraron valores por arriba de los encontrados en el área, con excepción de la época de lluvias siendo cerca de la entrada del puerto donde se registro el valor máximo de esa temporada, este aumento en el porcentaje de materia orgánica en la temporada de nortes, deja ver la influencia de las descargas fluviales de la ciudad además de las del río Jamapa, porque al haber una alta dinámica ocasionada por los vientos, el oleaje, y corrientes costeras predominantes en la zona produce una resuspensión de las partículas del tamaño de limos y arcillas en los cuales se encuentra la materia orgánica.

La presencia de materia orgánica en el sedimento es importante por su alta afinidad con los metales traza; pero un exceso de ella generaría zonas anóxicas debido a las reacciones diagenéticas que se llevan a cabo, las cuales utilizan el oxígeno disuelto del agua de mar.

En los análisis granulométricos y la respectiva inspección visual del sedimento, no se encontraron restos de hojas, troncos o rastros de materia orgánica visible por su tamaño, salvo algunas estaciones cercanas al río. La ubicación de las estaciones con mayor contenido de materia orgánica se puede deber a ser una zona con menor dinámica donde se depositan los sedimentos finos. La materia orgánica encontrada en el área se puede atribuir al drenaje de aguas negras de la ciudad, y a los aportes del río.

5.4 Carbonatos

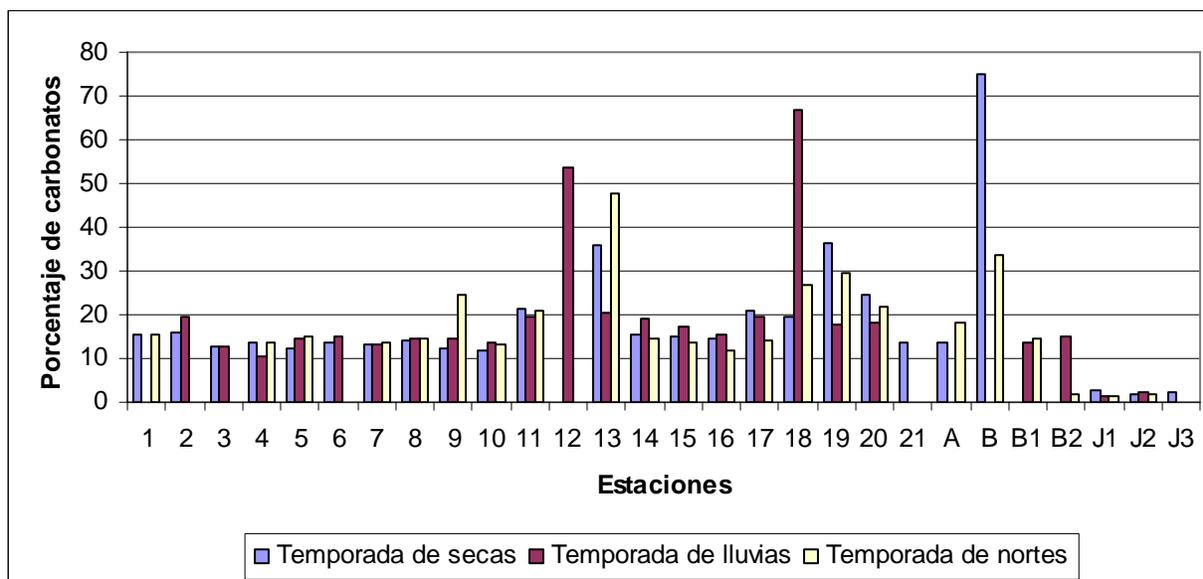
El origen biogénico de CaCO_3 en el área asociado a la existencia de los corales, permite delimitar las áreas donde existe mayor actividad biológica.

Tabla 25. Porcentaje de carbonatos durante las tres épocas del año

% Carbonatos			
Estación	Secas	Lluvias	Nortes
1	15.34	SM	15.4
2	15.72	19.32	SM
3	12.87	12.64	SM
4	13.49	10.6	13.58
5	12.3	14.52	14.88
6	13.78	15.09	SM
7	13.19	13.04	13.83
8	13.9	14.52	14.35
9	12.13	14.6	24.46
10	11.9	13.68	13.12
11	21.27	19.62	20.8
12	SM	53.55	SM
13	35.93	20.27	47.5
14	15.68	19.29	14.33
15	14.91	17.22	13.66
16	14.37	15.64	11.6
17	21.11	19.52	14.16
18	19.66	66.68	26.7
19	36.48	17.89	29.33
20	24.34	18.4	21.84
21	13.48	SM	SM
A	13.43	SM	18.18
B	75.15	SM	33.6
B1	SM	13.75	14.6
B2	SM	14.89	1.7
J1	2.79	1.34	1.27
J2	1.66	2.21	1.70
J3	2.50	SM	SM
Promedio	20.02	20.23	18.88
Desviación std	14.13	13.69	9.79
Máximo	75.15	66.68	47.50
Mínimo	11.90	10.60	1.70
C.V	70.58	67.69	51.87

Nota: SM: sin muestra. No se consideraron los valores de las estaciones correspondientes al río J1, J2 y J3

Gráfica12. Variación del porcentaje de carbonatos durante las tres épocas del año



El porcentaje de carbonatos promedio descubierto en la temporada de secas fue de 20.02, hallándose el máximo de 75.15 en la estación **B** y el mínimo de 11.90 en la estación **10**. Para la temporada de lluvias se presentó un porcentaje promedio de 20.23, determinándose el máximo de 66.68 en la estación **18** y el mínimo de 10.60 en la estación **4**. Finalizando el ciclo en la temporada de nortes con un porcentaje promedio de 18.88, observándose el máximo de 47.50 en la estación **13** y el mínimo de 1.7 en la estación **B₂**. Los resultados del río son 2.79, 1.34 y 1.27 para **J1**, de 1.66, 2.21 y 1.70 para **J2** y para **J3** fue de 2.50.

El porcentaje de carbonatos se puede considerar constante en la temporada de secas y lluvias, disminuyendo ligeramente en la temporada de nortes; pero esta disminución tal vez sea por dilución con el sedimento terrígeno aportado por el río.

En la grafica 12 observamos que hay una variación mínima en el patrón de distribución de los carbonatos a lo largo de las temporadas de muestreo, cabe señalar que durante las tres épocas muestreadas resaltan las concentraciones en las estaciones cercanas a la isla, siendo estas las más altas, mientras que en el río se observan valores muy por debajo de los registrados en el área, sugiriendo que todo el carbonato encontrado no es aportado por la litología por donde atraviesa el río, sino que es característico del lugar, sugiriendo otra posible fuente además de la continental, eso es lógico porque la estructura de los arrecifes y las conchas de algunos animales marinos son hechas de carbonato de calcio, lo que dejaría pensar que las fuentes de carbonato son los arrecifes y los organismos marinos. Al ser los arrecifes y los organismos marinos responsables de la presencia del carbonato del lugar se puede distinguir a una parte del sedimento como de tipo biogénico.

5.5 Elementos mayores

El estudio de los elementos mayores, permite a través del análisis de distribución de éstos, evaluar el grado de influencia de las descargas terrígenas en el área.

Los resultados del análisis de elementos mayores se muestran en las tablas 26, 27, 28, 29.

Tabla 26. Porcentaje de SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 durante las tres épocas del año

Estación	%SiO ₂			%Al ₂ O ₃			%Fe ₂ O ₃		
	Secas	Lluvias	Nortes	Secas	Lluvias	Nortes	Secas	Lluvias	Nortes
1	61.13	SM	63.06	10.11	SM	10.14	3.86	SM	3.71
2	60.86	60.22	SM	10.09	10.07	SM	3.16	3.72	SM
3	59.89	62.00	SM	10.05	9.61	SM	4.85	5.09	SM
4	59.84	60.21	62.27	9.09	9.38	9.43	5.18	5.80	4.31
5	67.87	61.74	63.94	8.31	9.98	9.96	2.28	4.03	3.27
6	62.24	61.98	SM	9.85	10.27	SM	2.82	3.27	SM
7	52.66	51.83	52.65	13.79	14.02	14.22	4.96	4.90	5.19
8	61.63	61.98	59.86	10.50	10.62	10.68	3.03	3.17	3.86
9	62.52	63.02	56.41	9.05	10.47	8.34	4.91	3.89	3.18
10	66.36	61.74	64.45	9.58	9.78	9.31	3.75	5.12	3.50
11	56.57	62.14	54.81	9.79	10.15	9.51	2.76	3.10	2.68
12	SM	29.31	SM	SM	7.71	SM	SM	3.06	SM
13	37.52	50.91	30.16	9.79	13.21	8.82	4.14	4.85	3.36
14	53.62	54.14	53.23	12.13	12.38	12.93	4.42	4.52	4.64
15	62.83	61.87	65.33	9.98	10.03	9.39	2.84	3.51	2.78
16	65.14	64.71	64.11	9.01	9.26	9.46	3.11	3.30	2.91
17	52.01	50.89	54.79	11.64	12.36	11.92	4.05	4.95	4.37
18	58.78	25.23	49.25	9.30	4.82	9.56	3.35	2.05	3.49
19	44.09	48.94	47.34	8.42	13.40	9.56	3.03	5.21	3.62
20	52.62	54.29	54.75	9.95	12.33	10.14	3.13	4.52	3.17
21	65.43	SM	SM	9.02	SM	SM	3.04	SM	SM
A	51.91	61.36	49.99	13.22	9.66	13.42	4.91	5.01	4.87
B	14.79	58.51	41.51	3.71	10.91	8.59	1.85	5.28	3.38
B1	SM	SM	54.17	SM	SM	11.17	SM	SM	3.47
B2	SM	SM	58.81	SM	SM	10.62	SM	SM	4.65
J1	60.39	61.03	59.53	16.49	16.36	16.85	6.21	5.81	5.75
J2	61.80	SM	47.22	16.24	SM	18.03	6.20	SM	6.18
J3	59.43	SM	SM	14.95	SM	SM	5.03	SM	SM
Promedio	55.93	55.58	55.05	9.84	10.50	10.36	3.61	4.21	3.72
Desviación std	11.77	10.54	8.71	1.96	2.06	1.62	0.95	0.99	0.72
Máximo	67.87	64.72	65.34	13.79	14.03	14.23	5.18	5.81	5.20
Mínimo	14.79	25.24	30.17	3.72	4.82	8.34	1.85	2.05	2.68
C.V	21.05	18.97	15.83	19.94	19.57	15.60	26.31	23.42	19.34

Nota: SM: sin muestra. No se consideraron los valores de las estaciones correspondientes al río J1, J2 y J3

Tablas 27. Porcentaje de TiO_2 , MnO y Na_2O durante las tres épocas del año

Estación	%TiO ₂			%MnO			%Na ₂ O		
	Secas	Lluvias	Nortes	Secas	Lluvias	Nortes	Secas	Lluvias	Nortes
1	0.59	SM	0.55	0.08	SM	0.076	2.65	SM	2.53
2	0.46	0.58	SM	0.058	0.073	SM	2.79	2.58	SM
3	0.79	0.90	SM	0.089	0.098	SM	2.64	2.21	SM
4	0.93	1.07	0.74	0.093	0.104	0.083	2.43	2.33	2.30
5	0.34	0.64	0.51	0.042	0.066	0.071	2.37	2.49	2.41
6	0.39	0.47	SM	0.062	0.069	SM	2.75	2.51	SM
7	0.71	0.70	0.79	0.083	0.09	0.089	3.34	3.10	3.1
8	0.41	0.45	0.59	0.058	0.068	0.087	2.84	2.69	2.66
9	0.85	0.66	0.5	0.086	0.08	0.068	2.35	2.45	2.18
10	0.61	0.90	0.53	0.072	0.091	0.071	2.46	2.19	2.52
11	0.36	0.45	0.35	0.056	0.07	0.066	2.71	2.51	2.49
12	SM	0.43	SM	SM	0.054	SM	SM	2.07	SM
13	0.65	0.75	0.47	0.076	0.083	0.09	2.74	2.95	1.97
14	0.70	0.70	0.73	0.071	0.073	0.082	2.83	2.93	2.74
15	0.39	0.54	0.42	0.059	0.067	0.064	2.73	2.55	2.5
16	0.51	0.52	0.43	0.059	0.065	0.064	2.32	2.38	2.39
17	0.55	0.79	0.66	0.077	0.094	0.085	2.90	3.05	2.88
18	0.46	0.23	0.48	0.055	0.059	0.066	2.69	1.90	2.54
19	0.34	0.81	0.47	0.071	0.072	0.064	2.48	3.27	2.49
20	0.38	0.65	0.38	0.072	0.081	0.066	3.02	3.05	2.81
21	0.48	SM	SM	0.065	SM	SM	2.49	SM	SM
A	0.75	0.85	0.74	0.077	0.095	0.084	2.92	2.27	3.09
B	0.18	0.87	0.51	0.058	0.095	0.071	1.54	2.71	2.23
B1	SM	SM	0.46	SM	SM	0.063	SM	SM	3.29
B2	SM	SM	0.72	SM	SM	0.086	SM	SM	2.64
J1	0.76	0.70	0.71	0.09	0.08	0.08	3.75	4.26	4.12
J2	0.73	SM	0.85	0.08	SM	0.08	3.87	SM	4.55
J3	0.61	SM	SM	0.08	SM	SM	4.10	SM	SM
Promedio	0.54	0.67	0.56	0.07	0.08	0.07	2.64	2.59	2.59
Desviación std	0.19	0.20	0.13	0.01	0.01	0.01	0.35	0.37	0.33
Máximo	0.93	1.07	0.79	0.09	0.10	0.09	3.35	3.27	3.29
Mínimo	0.18	0.24	0.36	0.04	0.05	0.06	1.54	1.90	1.98
C.V	35.67	30.15	23.82	18.72	17.94	13.11	13.12	14.29	12.58

Nota: SM: sin muestra. No se consideraron los valores de las estaciones correspondientes al río J1, J2 y J3

Tabla 28. Porcentaje de K₂O, MgO y P₂O₅ durante las tres épocas del año

Estación	%K ₂ O			%MgO			%P ₂ O ₅		
	Secas	Lluvias	Nortes	Secas	Lluvias	Nortes	Secas	Lluvias	Nortes
1	1.61	SM	1.63	2.38	SM	2.39	0.13	SM	0.13
2	1.93	1.75	SM	1.75	2.07	SM	0.12	0.14	SM
3	1.57	1.46	SM	2.69	2.87	SM	0.15	0.15	SM
4	1.48	1.42	1.53	2.81	2.93	2.55	0.15	0.16	0.13
5	1.67	1.73	1.75	1.42	2.17	1.92	0.09	0.14	0.12
6	1.94	1.86	SM	1.67	1.76	SM	0.11	0.12	SM
7	1.81	1.79	1.76	2.26	2.28	2.32	0.18	0.19	0.19
8	2.00	1.92	1.69	1.66	1.77	2.29	0.11	0.12	0.13
9	1.43	1.62	1.52	2.84	2.17	2.00	0.14	0.14	0.11
10	1.54	1.46	1.57	2.41	2.7	2.22	0.12	0.14	0.12
11	2.02	1.93	1.85	1.64	1.76	1.62	0.11	0.12	0.11
12	SM	0.91	SM	SM	1.83	SM	SM	0.12	SM
13	1.25	1.64	0.95	2.25	2.34	2.06	0.15	0.17	0.13
14	1.79	1.83	1.78	2.08	2.09	2.09	0.17	0.17	0.17
15	2.03	1.79	1.84	1.63	1.91	1.64	0.11	0.13	0.10
16	1.78	1.76	1.88	1.77	1.81	1.67	0.12	0.11	0.10
17	1.87	1.53	1.80	2.09	2.46	2.19	0.15	0.18	0.16
18	1.55	0.73	1.44	2.07	2.08	2.06	0.10	0.08	0.13
19	1.42	1.62	1.48	2.06	2.28	2.15	0.11	0.19	0.12
20	1.94	1.72	1.88	1.85	2.41	1.82	0.12	0.16	0.12
21	1.71	SM	SM	1.80	SM	SM	0.11	SM	SM
A	1.72	1.49	1.69	2.19	2.73	2.24	0.19	0.15	0.18
B	0.55	1.53	1.27	2.15	2.97	2.15	0.09	0.16	0.12
B1	SM	SM	2.14	SM	SM	1.80	SM	SM	0.14
B2	SM	SM	1.55	SM	SM	2.70	SM	SM	0.15
J1	1.80	1.92	1.86	3.31	2.93	2.48	0.19	0.19	0.21
J2	1.88	SM	1.17	3.21	SM	1.94	0.20	SM	0.30
J3	2.12	SM	SM	2.63	SM	SM	0.16	SM	SM
Promedio	1.67	1.60	1.65	2.07	2.26	2.10	0.13	0.15	0.14
Desviación std	0.33	0.30	0.26	0.39	0.40	0.29	0.03	0.03	0.02
Máximo	2.04	1.94	2.15	2.84	2.98	2.70	0.19	0.20	0.19
Mínimo	0.56	0.74	0.96	1.43	1.77	1.63	0.09	0.09	0.11
C.V	19.83	18.79	15.45	19.00	17.59	13.89	21.13	18.70	18.03

Nota: SM: sin muestra. No se consideraron los valores de las estaciones correspondientes al río J1, J2 y J3

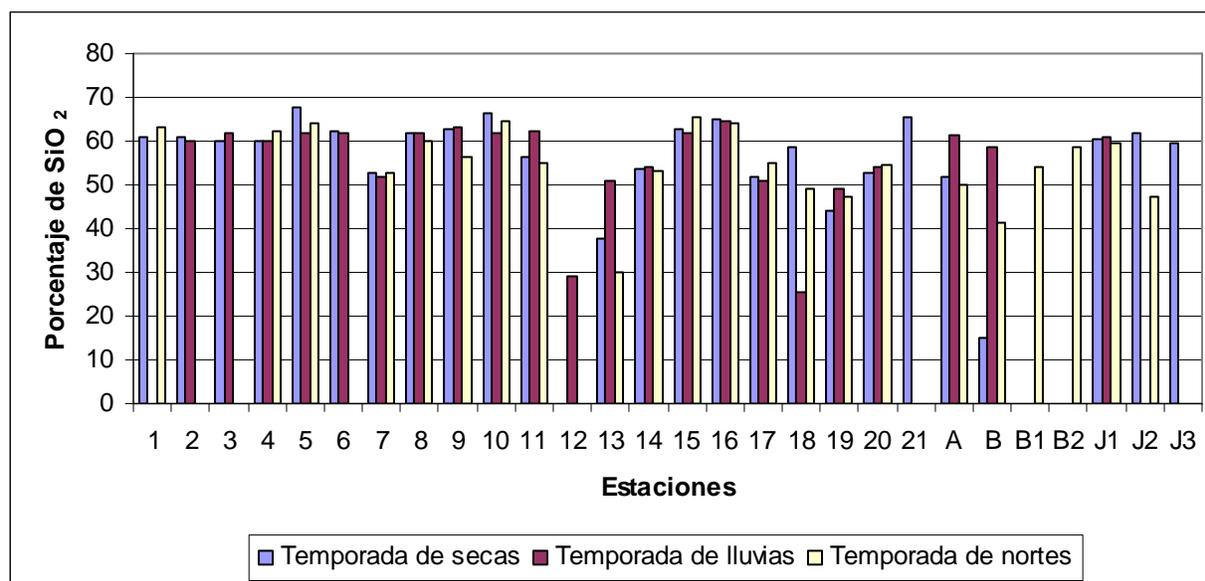
Tabla 29. Porcentaje de CaO durante las tres épocas del año

%CaO			
Estación	Secas	Lluvias	Nortes
1	10.01	SM	10.03
2	9.98	10.41	SM
3	9.70	9.40	SM
4	9.97	9.54	9.58
5	8.33	9.90	9.34
6	9.42	9.17	SM
7	9.02	9.22	8.90
8	9.15	9.22	9.66
9	9.38	9.74	14.38
10	9.43	9.21	9.37
11	12.42	9.69	13.59
12	SM	29.13	SM
13	20.48	11.1	26.57
14	9.87	9.98	9.92
15	9.60	9.14	9.28
16	9.31	9.07	8.91
17	12.78	11.86	10.33
18	12.33	33.91	16.16
19	20.77	9.84	17.18
20	14.01	10.91	13.07
21	8.93	SM	SM
A	9.89	9.29	10.52
B	40.18	10.29	21.53
B1	SM	SM	10.90
B2	SM	SM	10.34
J1	5.24	5.01	4.43
J2	5.24	SM	3.56
J3	6.10	SM	SM
Promedio	12.50	11.91	12.48
Desviación std	7.04	6.60	4.71
Máximo	40.19	33.91	26.58
Mínimo	8.33	9.07	8.91
C.V	56.34	55.43	37.71

Nota: SM: sin muestra. No se consideraron los valores de las estaciones correspondientes al río J1, J2 y J3

El Silicio presente en los sedimentos marinos, puede presentarse en tres formas químicas diferentes: asociado a los silicoaluminatos de origen terrígeno, en forma de cuarzo y tener un origen biogénico debido a algunos microorganismos, los cuales hacen sus conchas de silicio (ejemplo: diatomeas y radiolarios).

Gráfica 13. Variación del porcentaje de SiO_2 durante las tres épocas del año

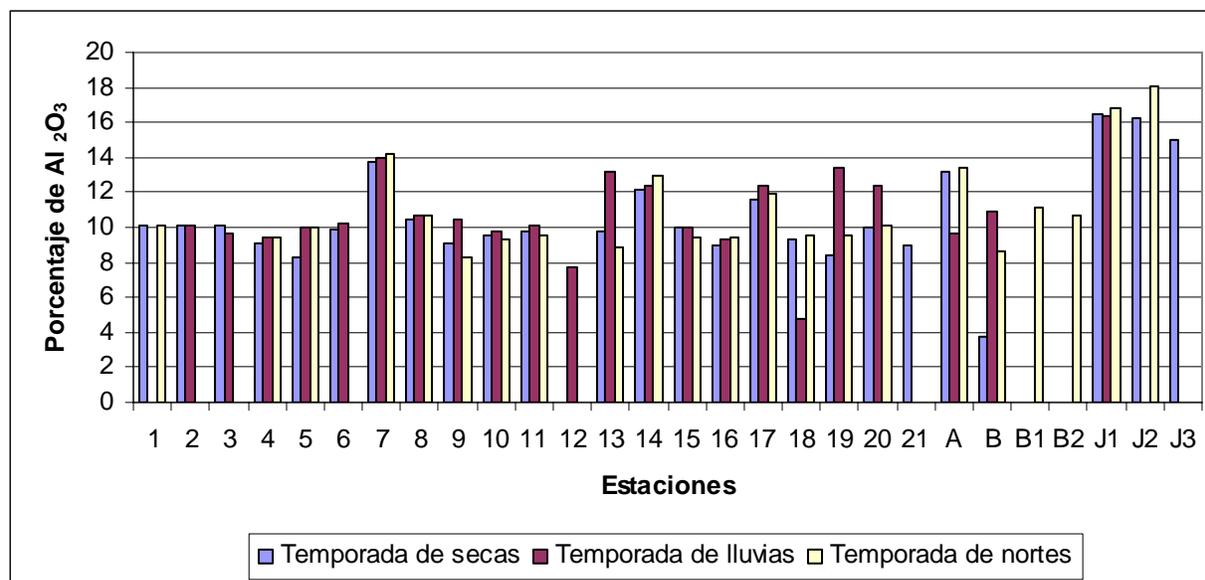


En el presente trabajo el SiO_2 se encontró en la época de secas un porcentaje promedio de 55.93, encontrándose el máximo de 67.87 en la estación **5** y el mínimo de 14.79 en la estación **B**. Para la época de lluvias se registro un porcentaje promedio de 55.58, hallándose el máximo de 64.72 en la estación **16** y el mínimo de 25.24 en la estación **18**. Finalizando el ciclo en la época de nortes con un porcentaje promedio de 55.05, observándose el máximo de 65.34 en la estación **15** y el mínimo de 30.17 en la estación **13**. Los valores más altos de SiO_2 se presentaron en los tres muestreos en las estaciones localizadas más cerca de la línea de costa (**4**, **9**, **10**, **15**, **16**, **21**) esto sugiere que los sedimentos están enriquecidos en cuarzo, el cual es un mineral muy resistente, y que normalmente se concentra en las zonas cercanas a la costa. Los resultados del río fueron de 60.39, 61.03 y 59.53 en la estación **J1**, para **J2** los valores fueron de 61.80 y 47.22, mientras que para **J3** se encontró un valor de 59.43.

En la gráfica 13 se observa un patrón de distribución muy parecido a lo largo de las tres temporadas de muestreo, además si se compara con la distribución de las arenas presentado en la gráfica 8, sugiere que las arenas pueden estar formadas en su mayoría por silicio en forma de cuarzo, mientras que las estaciones donde se registran variaciones en silicio indicaría la presencia de otro mineral más complejo donde este involucrado en su composición química como los aluminosilicatos, pero si esta variación es más drástica como el observado en las estaciones cercanas a la isla sugiere entonces que el sedimento presente no está constituido principalmente ni por cuarzos ni aluminosilicatos sino más bien por otro tipo de minerales en donde no se encuentran asociados con el silicio.

El aluminio presente en las arcillas de origen terrígeno se usa para identificar los sedimentos asociados a este origen.

Gráfica 14. Variación del porcentaje de Al_2O_3 durante las tres épocas del año

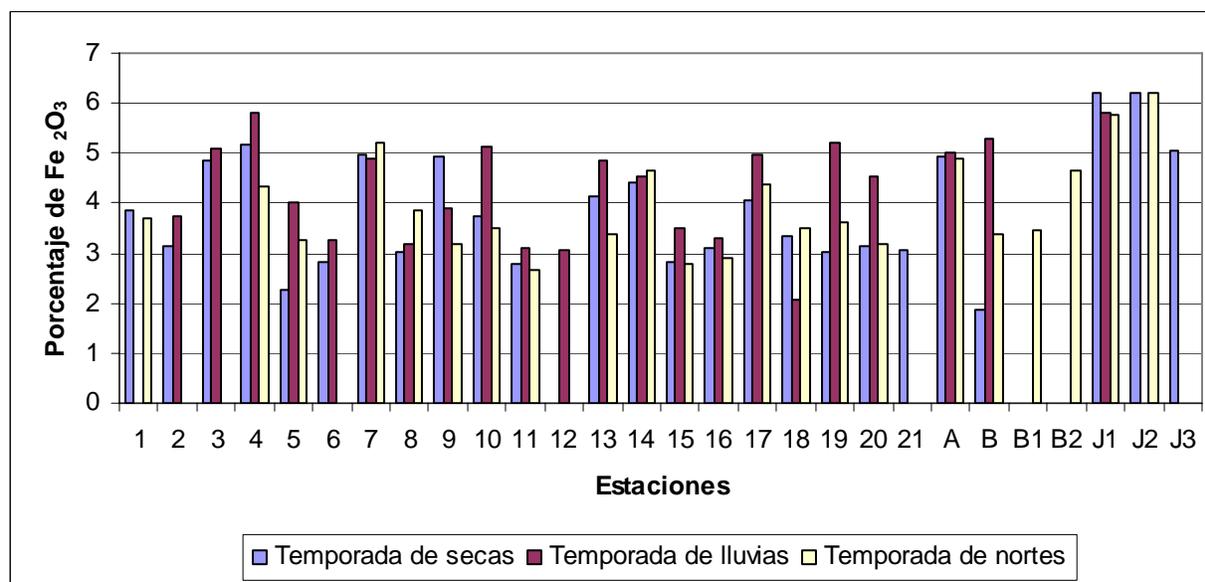


En el estudio el Al_2O_3 se halló en la época de secas un porcentaje promedio de 9.84, registrándose el máximo de 13.79 en la estación 7 y el mínimo de 3.72 en la estación B. En la época de lluvias se presentó un porcentaje promedio de 10.50, encontrándose el máximo de 14.03 en la estación 7 y el mínimo de 4.82 en la estación 18. Concluyendo el ciclo en la época de nortes con un porcentaje promedio de 10.36, descubriendo un máximo de 14.23 en la estación 7 y el mínimo de 8.34 en la estación 9. Los resultados del río fueron de 16.49, 16.36 y 16.85 para la estación J1, para J2 se obtuvieron valores de 16.24 y 18.03, mientras que para J3 se registraron valores de 14.95.

En la gráfica 14. Se observa un patrón de distribución muy parecido durante las tres épocas muestreadas, cabe señalar que los valores mas altos encontrados durante todo el estudio, fueron en las estaciones del río. Indicando que los minerales aportados pueden ser ricos en minerales como los aluminosilicatos.

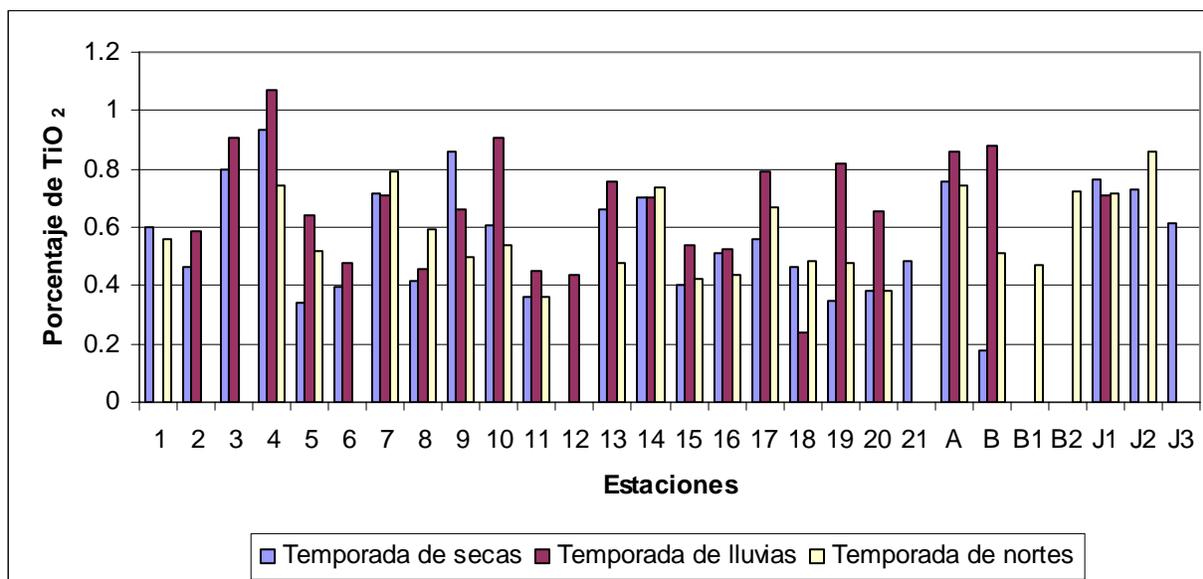
El hierro, manganeso y el titanio, se relacionan con la presencia de minerales ferromagnesianos, denominados también como minerales pesados, este tipo de elementos se pueden utilizar como marcadores para identificar a los sedimentos de origen terrígeno, y pueden presentarse como granos no alterados, provenientes de rocas ígneas y metamórficas.

Gráfica.15 Variación del porcentaje de Fe_2O_3 durante las tres épocas del año



La cantidad de Fe_2O_3 registrado durante las tres épocas del año, fue el siguiente: se observó en la época de secas un porcentaje promedio de 3.61, descubriéndose el máximo de 5.18 en la estación **4** y el mínimo de 1.85 en la estación **B**. Para la época de lluvias se presentó un porcentaje promedio de 4.21, encontrándose el máximo de 5.81 en la estación **4** y el mínimo de 2.05 en la estación **18**. Acabando el ciclo en la época de nortes con un porcentaje promedio de 3.72, hallando el máximo de 5.20 en la estación **7** y el mínimo de 2.68 en la estación **11**. Los valores del río fueron de 6.21, 5.81 y 5.75 en **J1**, para la estación **J2** fue de 6.20 y 6.18, y para **J3** se encontró un valor de 5.03.

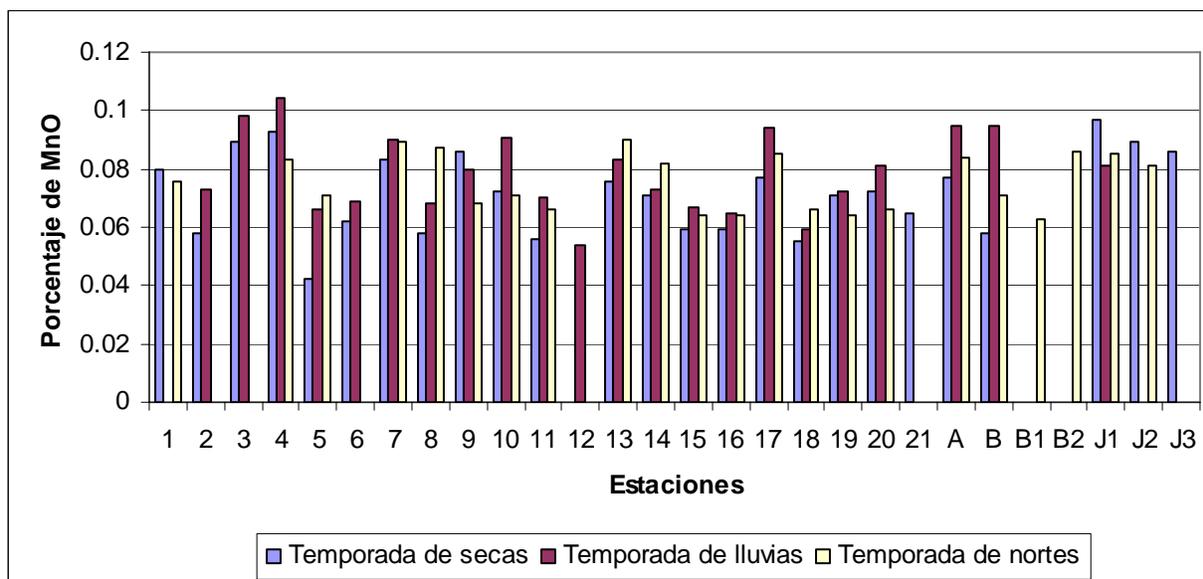
En la gráfica15 se observa que no hubo mucha variación en el patrón de distribución durante los tres muestreos, siendo las estaciones del río al igual que en el caso del aluminio donde se encontraron las mayores concentraciones, sugiriendo que las corrientes costeras están influyendo para que el sedimento vertido por el río sea depositado en el área de la Isla Sacrificios.

Gráfica 16. Variación del porcentaje de TiO_2 durante las tres épocas del año

TiO_2 se descubrió en la época de secas un porcentaje promedio de 0.54, encontrándose el máximo de 0.93 en la estación **4** y el mínimo de 0.18 en la estación **B**. Durante la época de lluvias se encontró un porcentaje promedio de 0.67, registrándose el máximo de 1.07 en la estación **4** y el mínimo de 0.24 en la estación **18**. Terminando el ciclo en la época de nortes hallando un porcentaje promedio de 0.56, observándose el máximo de 0.79 en la estación **7** y el mínimo en la estación **11**. Los resultados obtenidos por el río fueron de 0.76, 0.70 y 0.71 en la estación **J1**, en **J2** se encontró un valor de 0.73 y 0.85, por último en **J3** el valor registrado fue de 0.61.

En el caso del titanio se observa en la gráfica 16 un mismo comportamiento en su patrón de distribución como el caso del hierro, debido a que estos elementos se encuentran asociados en la formación de algunos minerales denominados minerales pesados o ferromagnesianos.

Gráfica 17. Variación del porcentaje de MnO durante las tres épocas del año

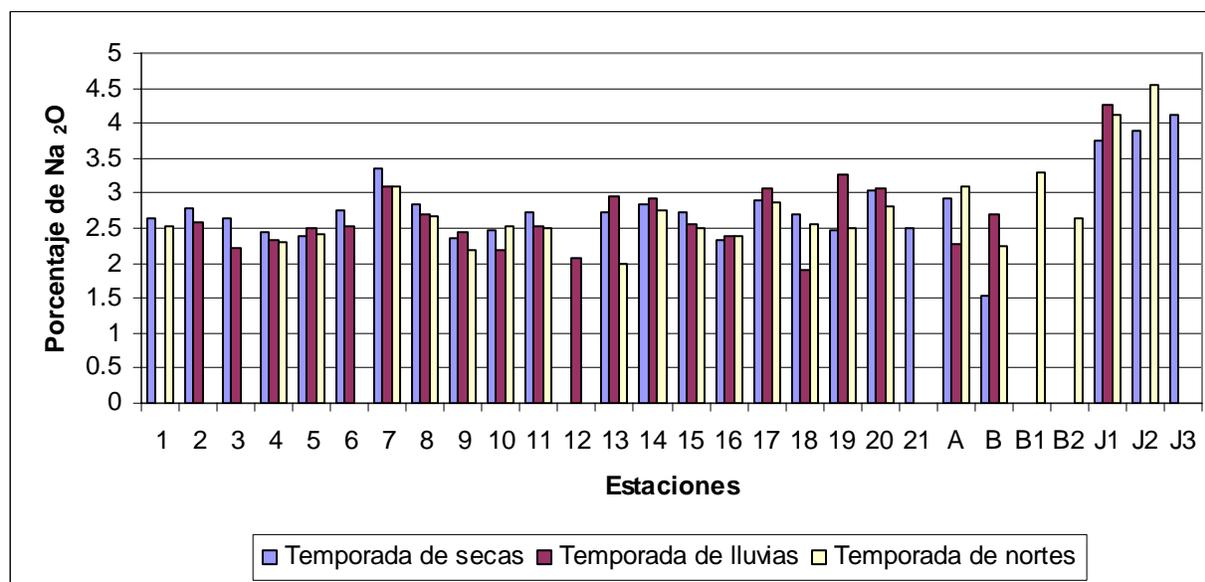


MnO se registro en la época de secas un porcentaje promedio de 0.07, registrándose el máximo de 0.09 en la estación **4** y el mínimo de 0.04 en la estación **5**. Durante la época de lluvias se halló un porcentaje promedio de 0.08, encontrándose el máximo de 0.10 en la estación **4** y el mínimo de 0.05 en la estación **12**. Finalizando el ciclo en la época de nortes con un porcentaje promedio de 0.07, observándose el máximo de 0.09 en la estación **13** y el mínimo de 0.06 en la estación **B₁**. Los valores del río fueron de 0.09, 0.08 y 0.08 en **J1**, para **J2** fueron de 0.08 y 0.08 y para **J3** se encontró un valor de 0.08

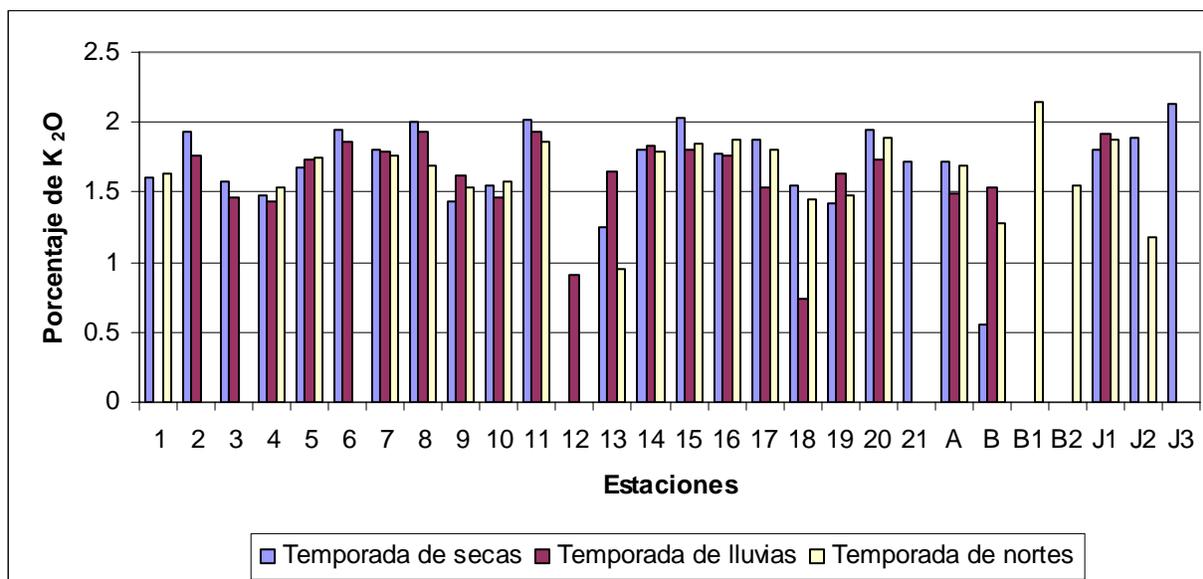
En la gráfica 17 no se observan cambios en el patrón de distribución del Mn durante los tres muestreos.

El sodio y el potasio son componentes de minerales primarios, como feldespatos y plagioclasas, siendo éstos los primeros minerales que se descomponen al ser intemperizados por el ambiente, los cuales producen los minerales secundarios como la biotita, olivinos, entre otros, por lo que sugieren el grado de intemperización de un mineral.

Gráfica 18. Variación del porcentaje de Na_2O durante las tres épocas del año



Na_2O , registró en la época de secas, un porcentaje promedio de 2.64, encontrándose el máximo de 3.35 en la estación **7** y el mínimo de 1.54 en la estación **B**. Durante la época de lluvias se observó un porcentaje promedio de 2.59, teniéndose el máximo de 3.27 en la estación **19** y el mínimo de 1.90 en la estación **18**. Concluyendo el ciclo en la época de nortes, con un porcentaje promedio de 2.59, presentándose el máximo de 3.29 en la estación **B₁** y el mínimo de 1.98 en la estación **13**. Los resultados del río fueron de 3.75, 4.26 y 4.12 en **J₁**, para **J₂** fueron de 3.87 y 4.55, y en **J₃** se registró un valor de 4.10

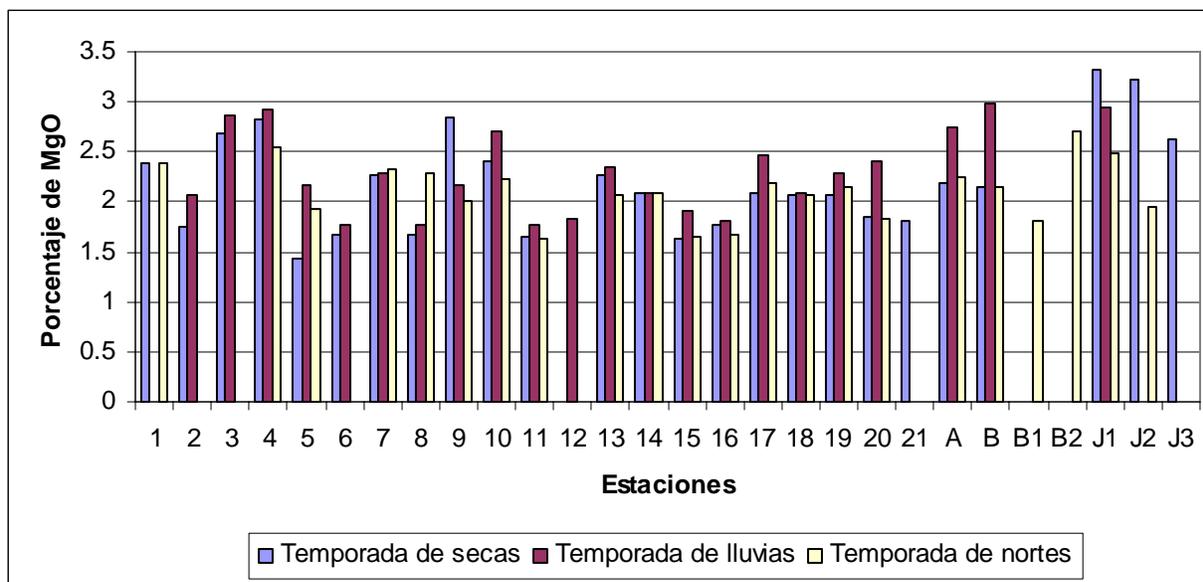
Gráfica 19. Variación del porcentaje de K_2O durante las tres épocas del año

K_2O , se encontró en la época de secas un porcentaje promedio de 1.67, descubriéndose el máximo de 2.04 en la estación **15** y el mínimo de 0.56 en la estación **B**. La época de lluvias presentó un porcentaje promedio de 1.60, hallándose el máximo de 1.94 en la estación **11** y el mínimo de 0.74 en la estación **18**. Finalizando el ciclo en la época de nortes con un porcentaje promedio de 1.65, registrándose el máximo de 2.15 en la estación **B1** y el mínimo de 0.96 en la estación **13**. En el río se encontraron valores de 1.80, 1.92 y 1.86 en **J1**, en **J2** se registraron valores de 1.88 y 1.17, y en **J3** se halló un valor de 2.12.

Los valores más altos de Na_2O y K_2O se presentaron en las estaciones **7**, **11**, **15**, **19** y **B1**. Para el sodio los valores máximos se registraron al norte de la isla en la época de secas y nortes, y en lluvias se presentó al Sur de Isla Sacrificios indicando una posible mayor contribución del río Jamapa; mientras que para el potasio los máximos se registraron del lado Oeste de la isla durante las épocas de secas y lluvias así mismo para la época de nortes fue al Norte de la Isla Sacrificios. El hecho de presentarse la distribución entre la línea de costa y los arrecifes, sugiere que los aportes son del río Jamapa. Así como las condiciones presentadas durante esas temporadas permitió la sedimentación en esos sitios.

El magnesio se relaciona con la presencia de minerales primarios como plagioclasas.

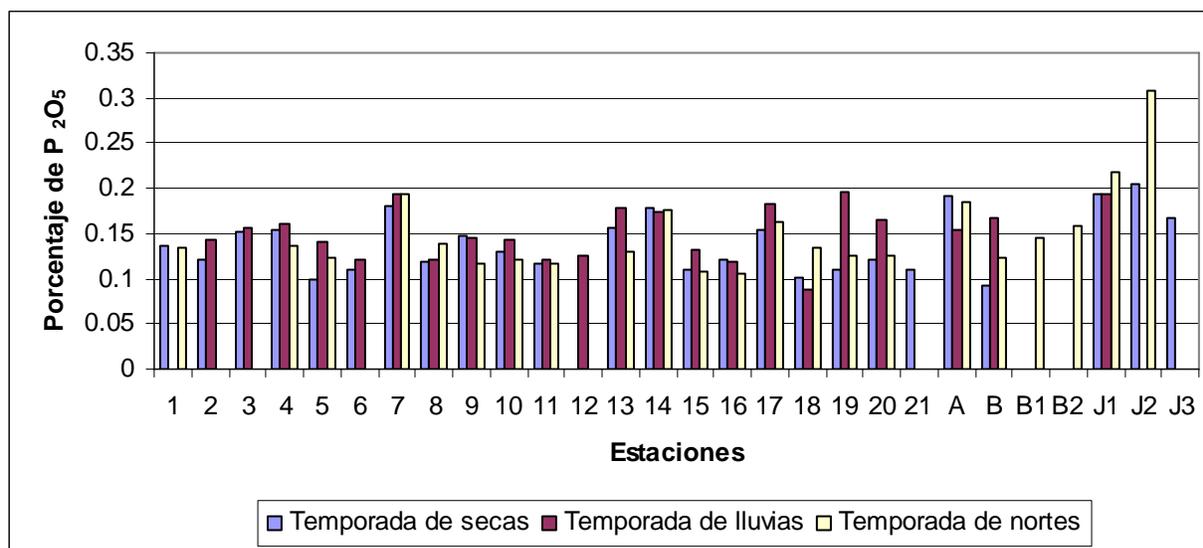
Gráfica 20. Variación del porcentaje de MgO durante las tres épocas del año



MgO, presentó en la época de secas un porcentaje promedio de 2.07, presentándose el máximo de 2.84 en la estación **10** y el mínimo de 1.43 en la estación **5**. En la época de lluvias se registro un porcentaje promedio de 2.26, hallándose el máximo de 2.98 en la estación **B** y el mínimo de 1.77 en la estación **8**. Terminando el ciclo en la época de nortes con un porcentaje promedio de 2.10, observándose el máximo de 2.70 en la estación **B₂** y el mínimo de 1.63 en la estación **11**. Los valores máximos de magnesio durante las tres temporadas fueron diferentes, en secas se encontró en la estación **10** localizada en el lado Oeste de Isla Sacrificios, y durante la temporada de lluvias fue en la estación **B** localizada del lado Este, mientras que en nortes fue en la estación **B₂** localizada al norte de Sacrificios. En el río se registraron valores de 3.31, 2.93 y 2.48 en **J1**, de 3.21 y 1.94 en **J2** y de 2.63 en **J3**.

El fósforo se relaciona principalmente con rocas fosfóricas producidas por los desechos acumulados de aves u otros animales durante muchos millones de años, (como el guano) o a la materia orgánica ya que es un componente de ésta.

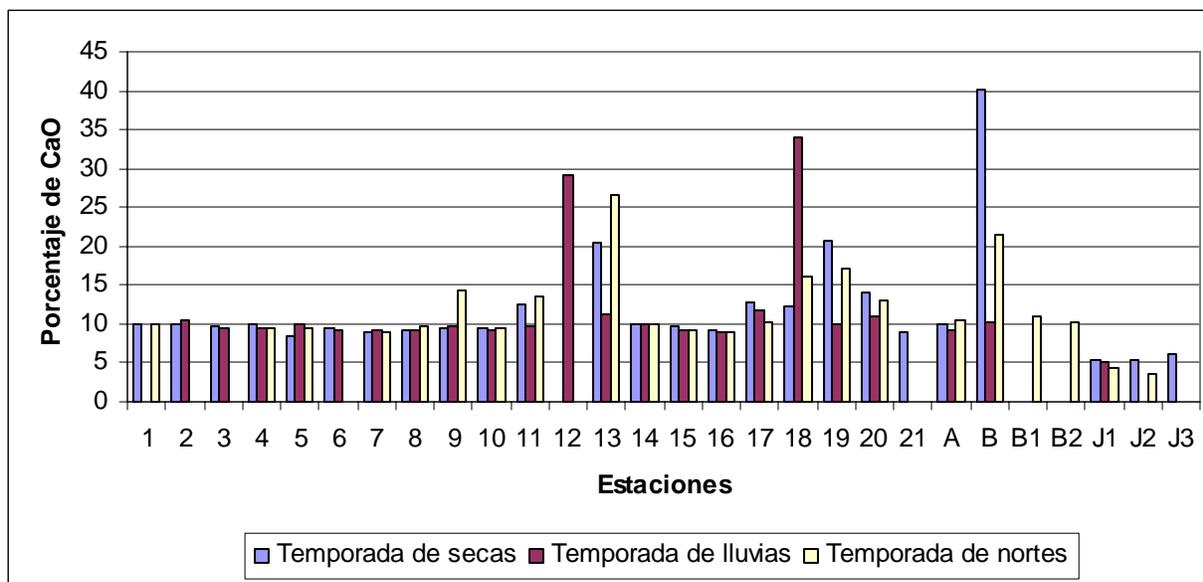
Gráfica 21. Variación del porcentaje de P_2O_5 durante las tres épocas del año



P_2O_5 , Presento en la época de secas un porcentaje promedio de 0.13, hallándose el máximo de 0.19 en la estación **A** y el mínimo de 0.09 en la estación **B**. Para la época de lluvias se registro un porcentaje promedio de 0.15, presentándose el máximo de 0.20 en la estación **19** y el mínimo de 0.09 en la estación **18**. Terminando el ciclo en la época de nortes con un porcentaje promedio de 0.14, encontrándose el máximo de 0.19 en la estación **7** y el mínimo de 0.11 en la estación **11**. En el río se encontraron valores de 0.19, 0.19 y 0.21 en **J1**, de 0.20 y 0.30 en **J2** y de 0.16 en **J3**. Los valores máximos se encontraron en las estaciones **A**, **19** y **7** localizadas la primera y la ultima al Norte de isla sacrificios y la de en medio al Sur, coincidiendo con las estaciones donde se registraron los máximos de % de materia orgánica, sugiriendo una asociación importante con la materia orgánica.

El calcio puede ser de origen biogénico asociado a los carbonatos o bien puede estar asociado a la plagioclasa de origen terrígeno.

Gráfica 22. Variación del porcentaje de CaO durante las tres épocas del año



CaO, se halló en la época de secas un porcentaje promedio de 12.50, hallándose el máximo de 40.19 en la estación **B** y el mínimo de 8.33 en la estación **5**. Para la época de lluvias se presentó un porcentaje promedio de 11.91, encontrándose el máximo de 33.91 en la estación **18** y el mínimo de 8.91 en la estación **7**. Acabando el ciclo en la época de nortes, hallando un porcentaje promedio de 12.48, descubriéndose el máximo de 26.58 en la estación **13** y el mínimo de 8.91 en la estación **7**. En el río se obtuvieron valores de 5.24, 5.01 y 4.43 en **J1**, de 5.24 y 3.56 en **J2** y de 6.10 en **J3**.

En el presente trabajo se encontraron valores altos de CaO (40%) en la estación **B** durante el muestreo correspondiente a la temporada de secas, cercana a la estación anterior se obtuvo el máximo de CaO (34 %) en la estación **18** durante la época de lluvias, así mismo en las estación **13** localizada también cerca de las estaciones **18** y **B** se obtuvo el máximo de CaO (26%), durante la temporada de nortes. El valor más bajo observado a lo largo del año fue el registrado durante la temporada de nortes, sugiriendo la presencia de un fuerte proceso de mezcla ocasionado por los fuertes vientos que caracterizan a esa época.

El porcentaje de elementos mayores fue distinto para cada una de las temporadas estudiadas, registrándose el máximo en la época de nortes para TiO₂, Fe₂O₃, MgO y P₂O₅, y el mínimo durante la época de secas. Seguidos del Na₂O, K₂O y MnO donde el máximo se presentó en la época de secas y el mínimo se halló en la temporada de lluvias; mientras que para SiO₂, Al₂O₃ y CaO se puede decir que no varió a lo largo del año.

El sedimento encontrado en las inmediaciones de Isla Sacrificios proviene de las rocas ígneas y sedimentarias de la región, llegando estos debido al arrastre de las corrientes del río Jamapa, adicionalmente el área se ve afectada por las corrientes costeras y por los procesos que se llevan a cabo en la zona arrecifal.

5.6 Elementos traza

Los metales traza en la zona pueden tener diferentes orígenes: i) aportados por el río Jamapa y en función de la litología de la cuenca, ii) Asociados a las descargas urbanas e industriales del puerto de Veracruz, iii) Actividades portuarias (transito constante de pequeñas y grandes embarcaciones para carga de mercancías o turismo) iv) Aportes atmosféricos asociados a las industrias.

Tabla 30. Concentración en ppm de V, Cr y Zn durante las tres épocas del año

Estación	V			Cr			Zn		
	Secas	Lluvias	Nortes	Secas	Lluvias	Nortes	Secas	Lluvias	Nortes
1	79.38	SM	93.9	71.44	SM	83.5	54.59	SM	54.35
2	54.57	99.90	SM	40.67	79.92	SM	49.60	49.95	SM
3	108.65	154.85	SM	97.78	132.37	SM	54.35	54.95	SM
4	128.66	184.66	153.7	115.80	159.71	133.9	74.26	59.89	69.45
5	39.76	129.69	59.5	28.82	90.78	51.1	34.81	49.88	49.57
6	49.54	134.16	SM	32.20	71.02	SM	44.56	54.64	SM
7	98.41	159.11	99.0	63.48	82.04	76.7	59.04	59.67	79.17
8	59.51	129.66	39.5	31.74	64.33	33.1	34.75	49.87	54.37
9	127.67	199.32	54.6	114.36	127.06	49.7	58.93	54.81	54.63
10	89.61	209.33	59.4	51.79	130.58	68.9	44.81	59.81	54.47
11	59.67	149.20	14.8	38.79	55.19	24.6	39.78	39.79	49.28
12	SM	145.09	SM	SM	54.03	SM	SM	40.02	SM
13	104.29	175.35	49.3	66.05	81.66	43.3	49.66	65.13	59.11
14	114.18	180.72	68.5	75.47	83.34	62.2	64.57	60.24	78.31
15	78.30	175.96	9.8	41.11	72.39	32.0	39.15	40.22	54.15
16	94.45	175.35	29.6	59.64	70.64	40.5	39.76	40.08	49.41
17	103.68	218.82	64.3	60.76	96.96	83.8	54.37	59.68	69.23
18	98.98	149.08	29.8	63.84	42.24	38.2	44.54	19.88	59.54
19	89.43	219.43	34.8	43.72	90.27	45.3	39.75	64.83	59.70
20	89.16	233.30	19.7	38.64	91.24	26.6	44.61	65.90	59.21
21	108.96	SM	SM	61.41	SM	SM	39.62	SM	SM
A	133.67	SM	89.2	81.20	SM	65.4	69.32	SM	79.27
B	84.01	SM	44.8	28.17	SM	44.7	29.65	SM	69.61
B1	SM	209.33	24.6	SM	73.76	34.4	SM	79.74	78.74
B2	SM	257.23	103.7	SM	122.20	96.3	SM	59.12	69.13
J1	163.92	252.46	92.9	70.03	67.81	46.0	64.53	59.4	88.01
J2	158.42	238.38	73.7	69.31	68.55	61.0	59.41	49.6	119.02
J3	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM
Promedio	90.66	175.69	57.13	59.40	89.13	56.71	48.39	53.72	62.54
Desviación std	26.02	39.64	36.16	25.73	29.82	27.50	11.69	12.73	10.62
Máximo	133.67	257.23	153.75	115.80	159.71	133.92	74.26	79.74	79.27
Mínimo	39.76	99.90	9.85	28.17	42.24	24.64	29.65	19.88	49.28
C.V	28.70	22.56	63.29	43.31	33.45	48.49	24.16	23.69	16.98
L.D		3.04			0.34			0.014	

Nota: SM: sin muestra. No se consideraron los valores de las estaciones correspondientes al río J1, J2 y J3

Tabla 31. Concentración en ppm de Ni, Pb y Cu durante las tres épocas del año

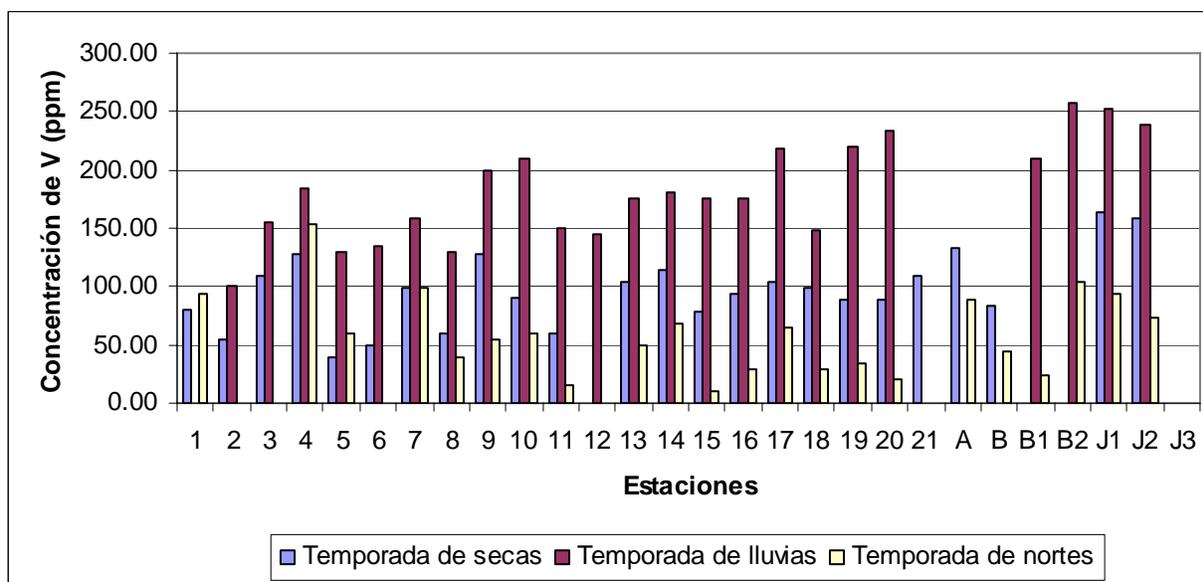
Estación	Ni			Pb			Cu		
	Secas	Lluvias	Nortes	Secas	Lluvias	Nortes	Secas	Lluvias	Nortes
1	36.21	SM	41.0	SM	SM	8.97	9.42	SM	6.4
2	29.76	45.95	SM	11.15	17.11	SM	9.42	15.98	SM
3	39.01	50.95	SM	7.41	15.12	SM	10.37	11.49	SM
4	40.08	54.90	46.1	22.00	17.02	6.55	14.35	11.98	7.4
5	27.34	46.39	34.7	9.74	17.31	8.60	6.46	11.97	5.9
6	27.74	43.71	SM	11.81	22.18	SM	7.43	13.42	SM
7	38.37	49.72	43.5	15.59	17.94	13.29	14.27	18.40	13.4
8	28.77	37.40	31.6	16.95	17.84	8.26	8.43	11.97	6.4
9	40.27	48.83	35.8	14.49	11.41	42.35	8.35	12.46	6.5
10	28.38	48.35	40.1	12.36	12.03	10.78	6.97	12.46	7.9
11	27.35	40.28	31.1	SM	19.99	17.92	7.96	11.94	8.9
12	SM	44.53	SM	SM	14.61	SM	SM	14.01	SM
13	36.25	46.59	38.9	12.93	17.91	17.88	12.91	SM	9.4
14	37.24	41.67	41.1	15.52	23.34	9.32	13.90	16.57	16.2
15	27.90	37.20	32.0	13.26	21.55	7.86	6.85	11.56	8.4
16	30.32	34.57	33.6	8.41	12.53	5.31	6.96	10.02	8.9
17	48.77	41.76	40.1	11.89	13.81	10.53	9.88	16.41	12.4
18	34.15	26.34	35.7	9.22	8.00	15.14	6.93	7.95	9.4
19	29.31	43.89	34.3	9.67	23.52	10.47	6.46	18.45	9.5
20	27.73	45.65	31.1	12.82	17.78	8.13	7.93	19.22	8.4
21	29.71	SM	SM	9.69	SM	SM	6.93	SM	SM
A	38.13	SM	35.2	14.14	SM	SM	14.85	SM	16.8
B	21.25	SM	35.3	7.82	SM	SM	5.93	SM	10.9
B1	SM	48.84	33.0	SM	38.35	7.97	SM	20.93	13.3
B2	SM	54.42	44.9	SM	SM	12.54	SM	14.84	11.4
J1	38.74	45.55	36.7	10.28	SM	10.20	11.92	15.84	16.6
J2	37.63	46.19	44.1	10.95	SM	11.32	12.87	13.90	46.6
J3	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM
Promedio	32.91	44.38	36.96	12.34	17.97	12.33	9.23	14.10	9.88
Desviación std	6.35	6.73	4.69	3.53	6.31	8.30	2.94	3.38	3.15
Máximo	48.77	54.90	46.13	22.00	38.35	42.35	14.85	20.93	16.84
Mínimo	21.25	26.34	31.05	7.41	8.00	5.31	5.93	7.95	5.95
C.V	19.31	15.16	12.70	28.63	35.11	67.34	31.83	24.00	31.91
L.D		0.14			0.00256			0.02	

Nota: SM: sin muestra. No se consideraron los valores de las estaciones correspondientes al río J1, J2 y J3

Realizando un desglose de cada metal en las distintas épocas del año encontramos lo siguiente:

El vanadio se usa principalmente para fabricación de aceros, también es usado en la industria del ácido sulfúrico como catalizador, y viene como impureza en los combustibles, entre algunas otras aplicaciones.

Gráfica 23. Variación de la concentración de vanadio durante las tres épocas del año

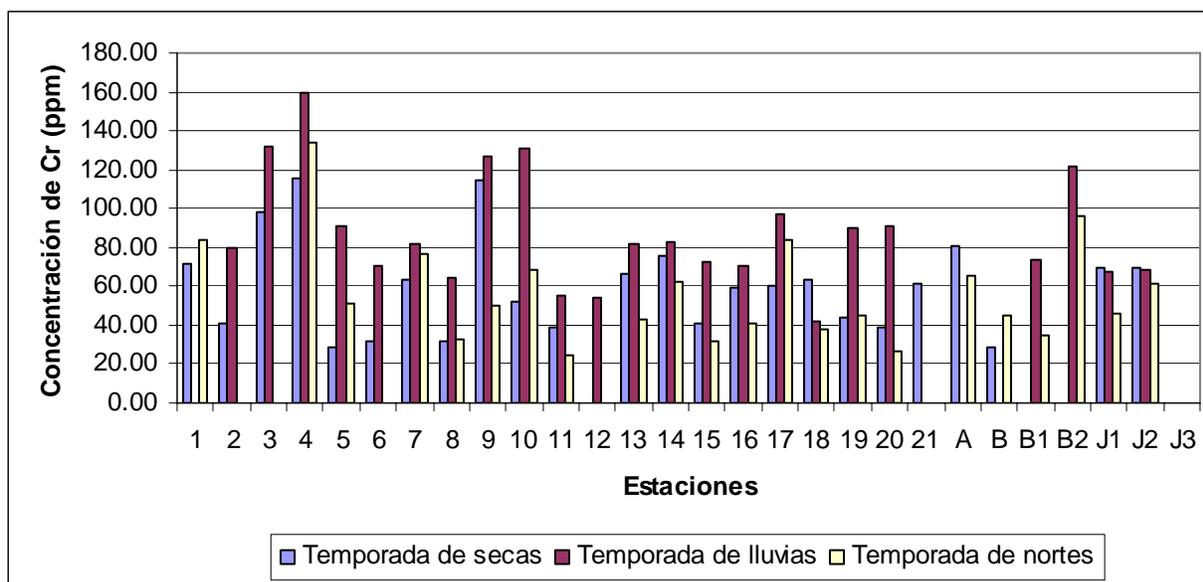


V, se encontró en la temporada de secas una concentración promedio de 90.66 ppm, encontrándose la máxima concentración de 133.67 en la estación **A** y la mínima de 39.76 en la estación **5**. Para la temporada de lluvias se registro una concentración promedio de 175.69 ppm, hallando la máxima concentración de 257.23 en la estación **B₂** y la mínima de 99.90 en la estación **2**. Finalizando el ciclo con la temporada de nortes observando una concentración promedio de 57.13 ppm, teniendo la máxima concentración de 157.75 en la estación **4** y la mínima de 9.85 en la estación **15**. Los resultados encontrados en el río fueron de 163.92, 252.46 y 92.9 en **J1**, de 158.42, 238.38 y 73.7 en **J2**. Las concentraciones más altas de vanadio dentro de la costa fueron encontradas principalmente en las estaciones **A**, **4** y **B₂**, ubicadas al Norte y Noroeste de Isla Sacrificios.

En la gráfica 23 se observa que las mayores concentraciones de vanadio registradas, fueron en las estaciones al río, durante las tres épocas estudiadas, lo que sugeriría aportes por parte del río a la región, el hecho de encontrar un descenso en la concentración de vanadio durante la temporada de nortes se puede deber a la disminución del tráfico de embarcaciones pequeñas, debido a que al presentarse un norte en el puerto se les restringe la salida al mar, solo quedando el tráfico de embarcaciones mayores.

El Cromo es otro metal usado frecuentemente en la industria acerera, para la fabricación de aceros inoxidables, pero lo que caracteriza al cromo es su amplio uso en la industria de las pinturas, ya que de él se obtienen diferentes pigmentos para la elaboración de colores, entre otros usos.

Gráfica 24. Variación de la concentración de cromo durante las tres épocas del año

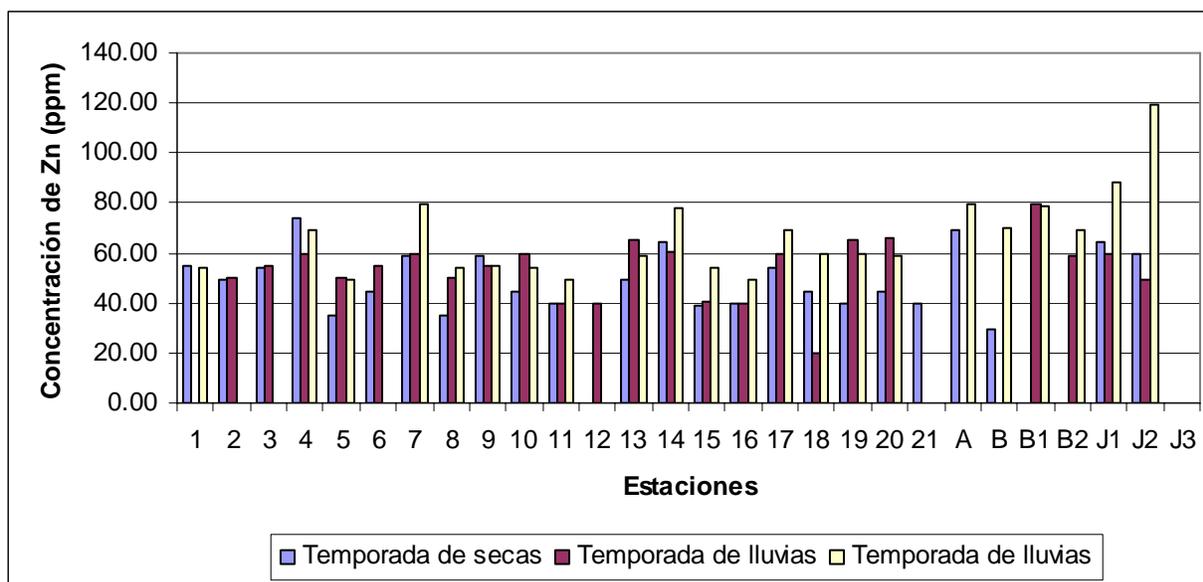


Cr, se descubrió en la temporada de secas una concentración promedio de 59.40 ppm, presentándose la máxima concentración de 115.80 en la estación **4** y la mínima de 28.17 en la estación **B**. En la temporada de lluvias se encontró una concentración promedio de 89.13 ppm, registrándose la máxima concentración de 159.70 en la estación **4** y la mínima de 42.24 en la estación **18**. Terminando el ciclo con la temporada de nortes hallando una concentración promedio de 56.71 ppm, observando la máxima concentración de 133.92 en la estación **4** y la mínima de 24.64 en la estación **11**. Los resultados registrados en el río fueron de 70.03, 67.81 y 46.0 en **J1**, de 69.31, 68.55 y 61.0 en **J2**. Las mayores concentraciones de cromo se encontraron en la estación **4** durante las tres temporadas estudiadas, siendo localizada al Noroeste de Isla Sacrificios.

En la gráfica 24 se observa que la mayor concentración encontrada durante el muestreo fue en la temporada de lluvias.

El zinc se usa ampliamente para la elaboración de aleaciones como el latón, también se usa para proteger a estructuras ferrosas contra la corrosión, ejemplo de ello el acero galvanizado, entre otras aplicaciones en la industria.

Gráfica 25. Variación de la concentración de zinc durante las tres épocas del año

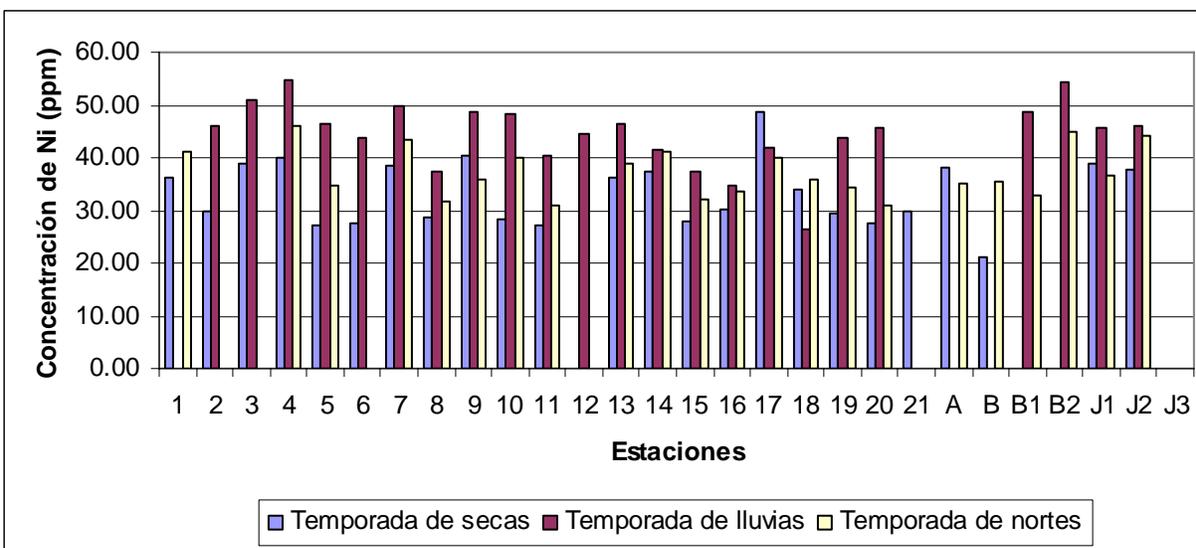


Zn, se halló en la temporada de secas una concentración promedio de 48.39 ppm, registrándose la máxima concentración de 74.26 en la estación **4** y la mínima de 29.65 en la estación **B**. Para la temporada de lluvias se presentó una concentración promedio de 53.72 ppm, encontrando la máxima concentración de 79.74 en la estación **B₁** y la mínima de 19.88 en la estación **18**. Acabando el ciclo con la temporada de nortes, descubriendo una concentración promedio de 62.54 ppm, teniendo la máxima concentración de 79.27 en la estación **A** y la mínima de 49.28 en la estación **11**. Los resultados del río fueron de 64.53, 59.4 y 88.01 en **J1**, de 59.41, 49.6 y 119.02 en **J2**. Las concentraciones máximas de zinc encontradas durante las tres épocas del año fueron en las estaciones **4**, **B₁** y **A**, ubicadas al Noroeste y al Norte de Isla Sacrificios.

En la gráfica 25 se observa que la mayor concentración de Zn encontrada durante los tres muestreos fue en la temporada de nortes, siendo las estaciones al río las de mayor concentración, sugiriendo un aporte por parte de este último.

El Níquel se usa en la fabricación de una aleación denominada monel (aleación Cu- Ni), también es usado como catalizador en reacciones de hidrogenación, y como electrodo en baterías.

Gráfica 26. Variación de la concentración de níquel durante las tres épocas del año

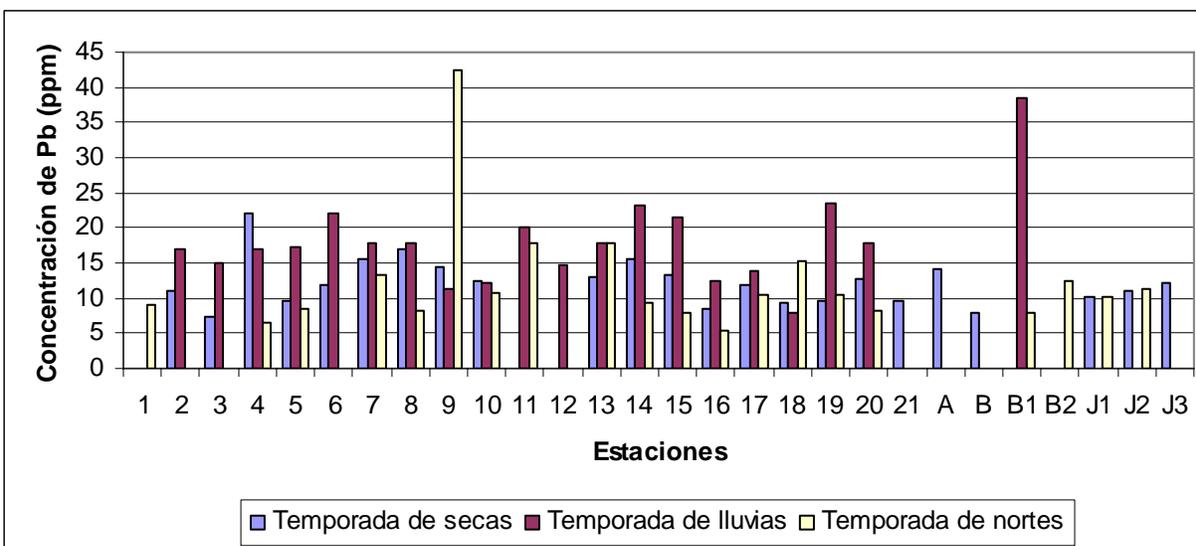


Ni, se encontró en la temporada de secas una concentración promedio de 32.91 ppm, encontrándose la máxima concentración de 48.77 en la estación **17** y la mínima de 21.25 en la estación **B**. Para la temporada de lluvias se presentó una concentración promedio de 44.38 ppm, hallando la máxima concentración de 54.90 en la estación **4** y la mínima de 26.34 en la estación **18**. Finalizando el ciclo con la temporada de nortes, observando una concentración promedio de 36.96 ppm, teniendo la máxima concentración de 46.13 en la estación **4** y la mínima de 31.05 en la estación **11**. Los resultados en el río fueron de 38.74, 45.55 y 36.7 en **J1**, de 37.63, 49.19 y 44.1 en **J2**. Las estaciones donde se encontraron los máximos fueron en las estaciones 17 y 4 esta última durante las dos últimas temporadas de lluvias y nortes, la primera ubicada al Sur de Isla Sacrificios y la segunda localizada al Noroeste de la Isla.

En la gráfica 26 se observa que la máxima concentración promedio encontrada durante los tres muestreos fue en la temporada de lluvias.

El plomo se usa principalmente para la elaboración de aleaciones (Pb- Sn) y como electrodos para acumuladores eléctricos, entre otras aplicaciones, aunque éstas han ido disminuyendo por su alta toxicidad y daños al ambiente, pero se sigue extrayendo porque el plomo siempre viene asociado con metales preciosos como el oro, plata pero principalmente con este ultimo, por lo que se justifica su todavía explotación; también se uso durante mucho tiempo como detonante para los combustibles por lo que se puede asociar a las emisiones de los coches a la atmósfera, debido a que aún pueden seguir a la venta dichos combustibles con plomo.

Gráfica 27. Variación de la concentración de plomo durante las tres épocas del año

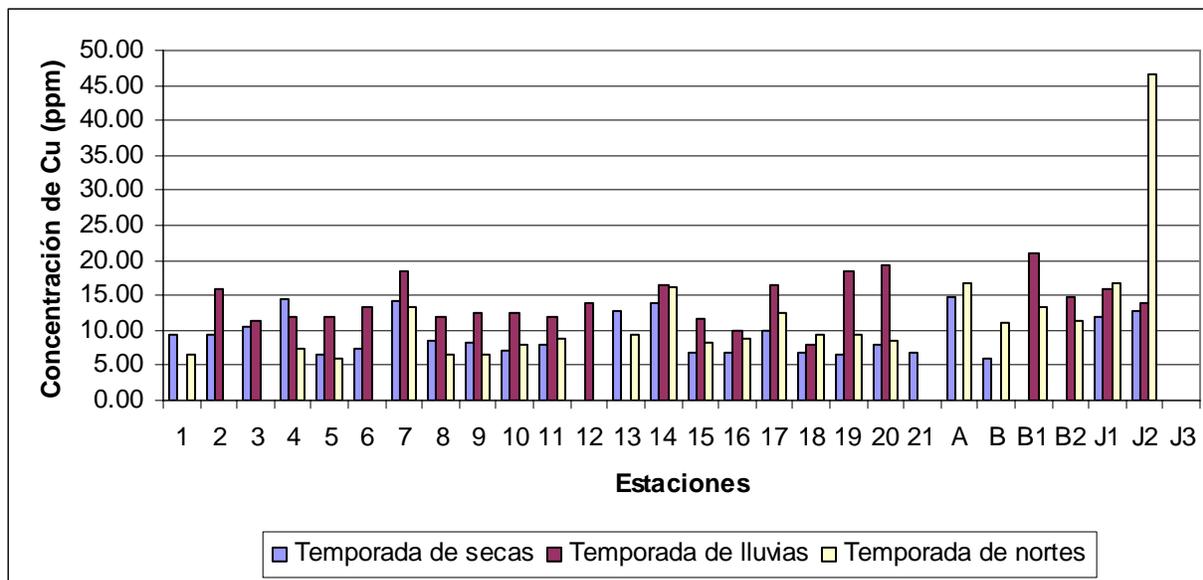


Pb, Presentó en la temporada de secas una concentración promedio de 12.34 ppm, presentándose la máxima concentración de 22.00 en la estación **4** y la mínima de 7.41 en la estación **3**. En la temporada de lluvias se encontró una concentración promedio de 17.97 ppm, registrando la máxima concentración de 38.35 en la estación **B₁** y la mínima de 8.00 en la estación **18**. Terminándose el ciclo con la temporada de nortes, hallando una concentración promedio de 12.33 ppm, observando la máxima concentración de 42.35 en la estación **9** y la mínima de 5.31 en la estación **16**. Los resultados del río fueron de 10.28 y 10.20 en **J1**, de 10.95 y 11.32 en **J2**. Las concentraciones máximas se encontraron en las estaciones **4**, **B₁** y **9**, localizadas al Noroeste de Isla Sacrificios.

En la gráfica 27 se observa que las mayores concentraciones registradas durante los tres muestreos fueron en la temporada de lluvias.

El cobre es usado principalmente para la elaboración de cables eléctricos debido a su alta conductividad de la electricidad, otros compuestos de cobre se usan como germicidas, entre otros más.

Gráfica 28. Variación de la concentración de cobre durante las tres épocas del año



Cu, se halló en la temporada de secas una concentración promedio de 9.23 ppm, registrándose la máxima concentración de 14.85 en la estación **A** y la mínima concentración de 5.93 en la estación **B**. Para la temporada de lluvias se presentó una concentración promedio de 14.10 ppm, encontrando la máxima concentración de 20.93 en la estación **B₁** y la mínima de 7.95 en la estación **18**. Acabando el ciclo con la temporada de nortes descubriendo una concentración promedio de 9.88 ppm, teniendo la máxima concentración de 16.84 en la estación **A** y la mínima de 5.95 en la estación **5**. Los resultados del río fueron de 11.92, 15.84 y 16.6 en **J1**, de 12.87, 13.90 y 46.6 en **J2**. Las concentraciones mayores de cobre en el área fueron en las estaciones **A** durante las épocas de secas y nortes y **B1** durante la temporada de lluvias, localizadas al Norte y Noreste de Isla Sacrificios.

De lo anterior se puede decir que hay dos principales fuentes de aporte de metales traza a Isla Sacrificios, el primero es el río Jamapa, el segundo son las descargas del drenaje localizadas a lo largo de las playas de las ciudades de Veracruz y Boca del Río, otra fuente de aporte puede ser por vía atmosférica, principalmente el plomo que tiene ese tipo de mecanismo de aporte.

La concentración de metales traza en los sedimentos durante las tres épocas del año fue distinta, siendo en la temporada de lluvias donde se registró un aumento considerable de cada uno de los elementos traza. El Zn fue el único de los metales traza que registró su máximo en la temporada de nortes, mientras los demás presentaron un descenso, llegando a concentraciones similares de la época de secas.

Manejando las concentraciones de los metales traza de manera anual, se observó que el orden de abundancia registrado a lo largo del año, fue en primer lugar el vanadio, siendo el metal que se encontró en mayor concentración promedio con 107.80 ppm, seguido del cromo con una concentración promedio de 68.40 ppm, el zinc con una concentración promedio de 54.80 ppm, el níquel con una concentración promedio de 38.10 ppm, el plomo con una concentración promedio de 14.20 ppm y finalmente el Cu con una concentración promedio de 11.07 ppm, siendo el de menor concentración durante las tres épocas del año.

Este orden se registró durante las dos primeras épocas del año (secas y lluvias) cambiando la disposición en la temporada de nortes de la siguiente forma, $Zn > V > Cr > Ni > Pb > Cu$, debido a que fue el zinc el que registro un aumento en esta época.

El aumento de concentración de metales traza encontrada en la época de lluvias, coincide con el aumento en porcentaje en limos arcillas y materia orgánica, presentes en los sedimentos; lo que sugiere que es a través de las partículas finas donde se adsorben mejor los elementos traza.

Tabla 32. Comparación de concentración de metales traza en sedimentos en otras regiones del Golfo de México.

Área	N		V	Cr	Zn	Ni	Pb	Cu
Presente estudio		Promedio	107.8	68.4	54.8	38.1	14.2	11.0
		Intervalo	49.8-181.5	31.6 -136.4	32.9-77.7	26.21-49.9	6.9-34.2	6.6-17.5
Costa de Veracruz	31	Promedio	95.5	-	-	-	-	-
		Intervalo	82 - 113	-	-	-	-	-
Sureste Golfo de México	37	Promedio	-	-	166	18	-	-
		Intervalo	-	-	83-316	-	-	-
Plataforma de Tamaulipas	23	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 –24.98
Plataforma de Veracruz	29	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	32	Promedio	91	7.03	101.7	6.44	84.4	16.88
		Intervalo	45.7 - 147.4	2.8-13.9	57.8 - 157.4	nd – 27.2	47.3 – 127.9	Nd-33.5
Plataforma de Campeche	26	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: Río	18	Promedio	-	-	-	-	79.7	-
		Intervalo	-	-	-	-	45.4 – 116.7	-
Sureste Gofo de México: Lag.	14	Promedio	-	-	-	-	10.4	-
		Rango	-	-	-	-	0 – 85.2	-
Sureste Golfo de México	28	Promedio	71.3	3.45	74.5	107	64.6	9.4
		Rango	1.54 - 211	0.05 - 6.82	54.7 - 97.3	67.3 – 263	0.54–131	0.05-18.3

Vázquez Botello, Villanueva Fragoso y Rosales Hoz, 2004. Distribución y contaminación de metales en el Golfo de México Pág. 683-712, SEMARNAT.

Realizando una comparación de los valores obtenidos con otras áreas del Golfo de México registradas en la tabla 31, observamos que los valores de V y Cr están muy por arriba de los reportados en todas las demás áreas, mientras que para los demás elementos traza Zn, Ni, Pb y Cu se encontraron dentro de los rangos reportados, algunas áreas estaban por arriba y otras por debajo de los valores registrados en la zona de estudio, esta variabilidad se debe principalmente a la diversidad de actividades realizadas en esos distintos lugares, algunos son característicos por sus actividades pesqueras, turísticas o industriales como la petrolera, principalmente.

5.7 Matrices de correlación

A través de un análisis de correlación es posible evaluar cuales son las variables que se relacionan estadísticamente una con otra, esta relación de variables se ve en los cuadros de la tabla de color rojo, el hecho de observar valores negativos sólo indica que la variable es inversamente proporcional con la que se está comparando.

Matriz de correlación (temporada de secas)
Significancia de correlación $p < .05000$
22 casos

Tabla 33.

	Gravas	Arenas	Limos	Arcillas	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Cu	Cr	Ni	V	Zn	Pb	CO ₃	MO	
Gravas	1.00																						
Arenas	0.23	1.00																					
Limos	0.04	-0.98	1.00																				
Arcillas	0.10	-0.99	0.99	1.00																			
SiO ₂	-0.82	0.66	-0.52	-0.57	1.00																		
TiO ₂	-0.50	-0.23	0.33	0.28	0.27	1.00																	
Al ₂ O ₃	-0.72	-0.25	0.41	0.31	0.40	0.52	1.00																
Fe ₂ O ₃	-0.46	-0.33	0.43	0.37	0.16	0.97	0.63	1.00															
MnO	-0.18	-0.26	0.31	0.27	-0.06	0.83	0.36	0.87	1.00														
MgO	0.03	-0.21	0.22	0.21	-0.15	0.78	0.04	0.78	0.87	1.00													
CaO	0.93	-0.42	0.24	0.32	-0.94	-0.45	-0.68	-0.40	-0.12	0.07	1.00												
Na ₂ O	-0.70	-0.15	0.30	0.20	0.36	0.29	0.91	0.43	0.23	-0.12	-0.61	1.00											
K ₂ O	-0.75	0.39	-0.25	-0.32	0.71	0.01	0.67	0.04	-0.16	-0.49	-0.80	0.75	1.00										
P ₂ O ₅	-0.38	-0.59	0.69	0.62	-0.01	0.82	0.75	0.89	0.72	0.54	-0.30	0.52	0.11	1.00									
Cu	-0.33	-0.63	0.72	0.66	-0.09	0.75	0.67	0.81	0.64	0.46	-0.22	0.51	0.07	0.92	1.00								
Cr	-0.32	-0.12	0.18	0.15	0.17	0.93	0.27	0.88	0.81	0.85	-0.29	0.05	-0.16	0.65	0.58	1.00							
Ni	-0.45	-0.25	0.35	0.29	0.13	0.79	0.59	0.84	0.72	0.60	-0.35	0.42	0.10	0.76	0.66	0.75	1.00						
V	-0.08	-0.39	0.42	0.38	-0.15	0.74	0.25	0.76	0.74	0.74	-0.01	0.03	-0.29	0.66	0.56	0.83	0.65	1.00					
Zn	-0.41	-0.32	0.42	0.35	0.13	0.89	0.60	0.92	0.78	0.66	-0.37	0.40	0.08	0.86	0.86	0.81	0.79	0.69	1.00				
Pb	-0.35	-0.13	0.20	0.15	0.16	0.54	0.44	0.53	0.44	0.29	-0.33	0.38	0.25	0.51	0.63	0.39	0.36	0.28	0.61	1.00			
CO ₃	0.92	-0.41	0.24	0.31	-0.94	-0.49	-0.67	-0.43	-0.16	0.01	1.00	-0.59	-0.76	-0.32	-0.24	-0.34	-0.37	-0.04	-0.40	-0.34	1.00		
MO	-0.05	-0.86	0.89	0.85	-0.40	0.29	0.54	0.44	0.29	0.13	0.12	0.45	-0.07	0.68	0.68	0.17	0.41	0.50	0.46	0.18	0.11	1.00	

Grados de libertad 20, coeficiente de correlación al 5% = 0.423

Matriz de correlación (temporada de lluvias)
Significancia de correlación $p < .05000$
21 casos

Tabla 34.

	Gravas	Arenas	Limos	Arcillas	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Cu	Cr	Ni	V	Zn	Pb	CO ₃	MO	
Gravas	1.00																						
Arenas	-0.50	1.00																					
Limos	0.32	-0.98	1.00																				
Arcillas	0.36	-0.96	0.96	1.00																			
SiO ₂	-0.59	0.51	-0.44	-0.43	1.00																		
TiO ₂	-0.27	-0.11	0.17	0.10	0.38	1.00																	
Al ₂ O ₃	-0.33	-0.38	0.50	0.44	0.35	0.48	1.00																
Fe ₂ O ₃	-0.27	-0.23	0.31	0.23	0.30	0.97	0.63	1.00															
MnO	-0.42	0.16	-0.09	-0.19	0.36	0.87	0.41	0.85	1.00														
MgO	-0.25	0.05	-0.01	-0.09	0.09	0.86	0.17	0.83	0.87	1.00													
CaO	0.61	-0.22	0.11	0.13	-0.92	-0.54	-0.68	-0.54	-0.49	-0.19	1.00												
Na ₂ O	-0.34	-0.45	0.58	0.50	0.17	0.29	0.93	0.47	0.23	0.04	-0.51	1.00											
K ₂ O	-0.55	0.20	-0.10	-0.09	0.82	0.13	0.66	0.19	0.12	-0.23	-0.89	0.59	1.00										
P ₂ O ₅	-0.19	-0.51	0.60	0.53	0.12	0.74	0.86	0.86	0.62	0.54	-0.47	0.78	0.28	1.00									
Cu	-0.01	-0.49	0.56	0.45	-0.02	0.30	0.70	0.46	0.24	0.16	-0.27	0.72	0.28	0.70	1.00								
Cr	-0.28	0.22	-0.19	-0.22	0.43	0.86	0.19	0.77	0.81	0.82	-0.45	-0.01	0.04	0.44	0.02	1.00							
Ni	-0.01	-0.03	0.02	0.01	0.35	0.74	0.41	0.72	0.67	0.61	-0.45	0.17	0.17	0.58	0.43	0.75	1.00						
V	-0.18	-0.17	0.25	0.12	0.00	0.44	0.34	0.48	0.40	0.42	-0.16	0.34	-0.03	0.46	0.41	0.45	0.32	1.00					
Zn	-0.26	-0.24	0.33	0.21	0.34	0.69	0.73	0.76	0.60	0.49	-0.58	0.60	0.39	0.76	0.78	0.48	0.71	0.52	1.00				
Pb	-0.13	-0.27	0.33	0.26	0.20	0.10	0.38	0.17	0.00	-0.11	-0.33	0.39	0.41	0.27	0.65	-0.15	0.24	0.14	0.60	1.00			
CO ₃	0.58	-0.24	0.14	0.17	-0.91	-0.61	-0.65	-0.60	-0.57	-0.29	0.98	-0.46	-0.82	-0.49	-0.31	-0.55	-0.57	-0.23	-0.66	-0.37	1.00		
MO	0.07	-0.84	0.90	0.89	-0.30	0.16	0.51	0.30	-0.08	-0.00	-0.01	0.59	0.02	0.56	0.60	-0.18	0.04	0.27	0.41	0.50	0.01	1.00	

Grados de libertad 19, coeficiente de correlación al 5% =0.433

Matriz de correlación (temporada de nortes)
Significancia de correlación $p < .05000$
22 casos

Tabla 35.

	Gravas	Arenas	Limos	Arcillas	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Cu	Cr	Ni	V	Zn	Pb	CO ₃	MO	
Gravas	1.00																						
Arenas	-0.46	1.00																					
Limos	0.16	-0.95	1.00																				
Arcillas	0.28	-0.97	0.97	1.00																			
SiO ₂	-0.37	0.81	-0.76	-0.82	1.00																		
TiO ₂	-0.36	-0.26	0.42	0.34	0.04	1.00																	
Al ₂ O ₃	-0.41	-0.34	0.54	0.39	0.01	0.70	1.00																
Fe ₂ O ₃	-0.39	-0.36	0.54	0.44	-0.09	0.96	0.80	1.00															
MnO	-0.14	-0.34	0.40	0.43	-0.24	0.79	0.51	0.77	1.00														
MgO	-0.28	-0.08	0.18	0.17	-0.02	0.78	0.26	0.75	0.70	1.00													
CaO	0.53	-0.56	0.42	0.55	-0.88	-0.36	-0.47	-0.29	-0.01	-0.09	1.00												
Na ₂ O	-0.47	-0.07	0.26	0.08	0.16	0.35	0.82	0.51	0.10	0.04	-0.54	1.00											
K ₂ O	-0.43	0.45	-0.32	-0.48	0.63	-0.06	0.43	-0.02	-0.34	-0.40	-0.77	0.70	1.00										
P ₂ O ₅	-0.39	-0.46	0.65	0.53	-0.20	0.84	0.92	0.93	0.69	0.53	-0.25	0.67	0.12	1.00									
Cu	-0.14	-0.64	0.77	0.66	-0.37	0.52	0.76	0.63	0.32	0.11	-0.05	0.63	0.19	0.78	1.00								
Cr	-0.23	0.07	0.00	-0.00	0.23	0.63	0.11	0.52	0.41	0.73	-0.25	-0.10	-0.23	0.29	-0.00	1.00							
Ni	-0.22	-0.11	0.19	0.16	0.03	0.77	0.28	0.70	0.64	0.79	-0.15	-0.03	-0.31	0.51	0.20	0.78	1.00						
V	-0.35	-0.02	0.14	0.12	0.14	0.84	0.34	0.74	0.67	0.83	-0.28	0.04	-0.22	0.53	0.15	0.89	0.87	1.00					
Zn	-0.19	-0.56	0.70	0.57	-0.33	0.70	0.71	0.78	0.45	0.41	-0.07	0.62	0.10	0.84	0.86	0.29	0.44	0.45	1.00				
Pb	0.13	-0.05	0.01	0.05	-0.26	-0.11	-0.27	-0.14	-0.05	-0.05	0.35	-0.34	-0.33	-0.11	-0.15	-0.09	-0.03	-0.06	-0.14	1.00			
CO ₃	0.53	-0.58	0.44	0.57	-0.84	-0.40	-0.41	-0.34	-0.06	-0.22	0.94	-0.50	-0.69	-0.26	-0.09	-0.32	-0.26	-0.32	-0.12	0.35	1.00		
MO	-0.15	-0.13	0.19	0.15	-0.10	0.48	0.30	0.53	0.44	0.55	-0.05	0.22	-0.12	0.49	0.39	0.35	0.46	0.37	0.41	-0.00	-0.33	1.00	

Grados de libertad 20, coeficiente de correlación al 5% =0.423

En el caso de las gravas durante los tres muestreos se relacionaron con CaO y CO₃, sugiriendo que las gravas presentes están constituidas por CaCO₃, no se observa ninguna correlación significativa con otra variable que permitiera inferir el origen de las gravas.

Para la variable de arenas, se encontró una variación durante la época de nortes. En la temporada de secas y lluvias se relacionó con SiO₂, y en la última temporada que fue la de nortes se relacionó con SiO₂ y K₂O, al correlacionarse el SiO₂ durante la época de secas y lluvias, nos indica que el silicio presente en las partículas de tamaño de arenas predominó en forma de cuarzo, mientras que en la temporada de nortes, en las partículas de tamaño de arenas el silicio presente predominó en forma de feldespatos potásicos, esta variación se debe a que en nortes hay una mayor dinámica en la columna de agua que mezcla los sedimentos aportados por el río con los de la costa, donde predomina el cuarzo.

La variable denominada limos se relacionó con distintas variables durante las tres épocas del año, en secas se relacionó con arcillas, materia orgánica, Cu, P₂O₅ y Fe₂O₃, para la temporada de lluvias con arcillas, materia orgánica, P₂O₅, Cu, Na₂O y Al₂O₃, y en nortes con arcillas, Cu, Zn, P₂O₅, Al₂O₃ y Fe₂O₃. El hecho de encontrar relacionado a los limos con las arcillas, sugiere que siempre se encontraban mezcladas las texturas, no siendo predominante una sobre la otra, además al relacionarse los limos con la materia orgánica y elementos asociados a los minerales pesados como el Fe₂O₃, se sugiere que estas partículas se encontraban dentro del rango de tamaños de limos, el hecho de encontrar relaciones con el Fe₂O₃ y Al₂O₃, sugiere que la procedencia de por lo menos esa fracción de sedimento, es aportado por el continente ya sea por la desembocadura del río Jamapa, y las descargas del drenaje de las ciudades de Veracruz y Boca del Río.

La variable denominada arcillas se relacionó también de distinta forma durante las tres temporadas, en secas se relacionó con materia orgánica, Cu y P₂O₅, en lluvias con materia orgánica, P₂O₅, Na₂O y Cu, en nortes con Cu, CO₃, Zn, CaO, y P₂O₅, al relacionarse con la materia orgánica y el P₂O₅, sugiere al igual que en el caso de los limos que la materia orgánica se encuentra dentro del rango de tamaño de arcillas, al relacionarse en la temporada de nortes con CO₃ y CaO, esto sugiere que la alta energía de la zona provocada por los vientos característicos de esa época del año, ocasiono una mayor mezcla de los sedimentos terrígenos con los biogénicos.

La materia orgánica se correlacionó de distinta manera durante las tres épocas estudiadas del año, en secas se relacionó con limos, arcillas, P₂O₅, Cu, Al₂O₃, V, Zn, Na₂O, y Fe₂O₃, en lluvias con limos, arcillas, Cu, Na₂O, P₂O₅, Fe₂O₃, Pb, y en nortes con MgO, Fe₂O₃, P₂O₅, TiO₂, Cr, por lo expuesto anteriormente, se observa que la materia orgánica esta relacionada con limos y arcillas, además con P₂O₅, el cual probablemente forma parte de la composición química de la materia orgánica. La correlación con Fe₂O₃, MgO, TiO₂, Na₂O y Al₂O₃, sugiere la presencia de minerales mezclados con la materia orgánica, debido a que se encuentran dentro del mismo rango de tamaños de partículas, la correlación de metales como el Cu, Zn, V, Pb y Cr con la materia orgánica, sugiere que el origen puede de estos elementos puede ser de origen antrópico. En la literatura se menciona que la materia orgánica es muy afín a los elementos traza (Rosales, 2005).

El Fe_2O_3 se correlacionó de manera distinta durante las tres épocas del año, en secas con TiO_2 , Zn, P_2O_5 , Cr, MnO, MgO, V, Al_2O_3 , Pb, materia orgánica, limos y Na_2O , en lluvias con TiO_2 , P_2O_5 , MnO, MgO, Cr, Zn, Ni, Al_2O_3 , limos, V, Na_2O , y Cu, finalmente en la temporada de nortes con TiO_2 , P_2O_5 , Al_2O_3 , Zn, MnO, MgO, V, Ni, Cu, materia orgánica, Cr y Na_2O . La relación del Fe_2O_3 con TiO_2 , MnO, sugiere que se trata de una fracción de minerales pesados tales como Magnetita (FeTiO_2 : Al, Cr, Mn y Ti) e ilmenita (FeTiO_2 : Mg, Mn), la presencia de estos otros elementos: Al, Mn, Mg, Zn, Cr, V, Ni, Cu, se infiere que forman parte de la composición química de los minerales presentes en el sedimento y que son aportados por la litología característica del área.

El Al_2O_3 , se correlacionó en distinta forma con las variables durante las tres épocas del año. En secas se relacionó con Na_2O , P_2O_5 , K_2O , Cu, Zn, Fe_2O_3 , Ni, materia orgánica, y TiO_2 , en lluvias con Na_2O , P_2O_5 , Zn, Cu, K_2O , Fe_2O_3 , materia orgánica y TiO_2 y en nortes con P_2O_5 , Na_2O , Fe_2O_3 , Cu, Zn, TiO_2 y MnO. Al igual que en el caso del Fe_2O_3 , la relación con Na_2O , K_2O , Fe_2O_3 y el MnO, sugiere que el aluminio forma parte de algunos minerales como feldespatos, plagioclasas, biotita, olivino y con lo minerales pesados, al relacionarse con estos ultimo fortalece la inferencia de que todos los minerales encontrados en los sedimentos son de origen terrígeno, ya que el aluminio se reporta en la literatura como marcador de material terrígeno, al igual que los minerales pesados. Repitiendo lo anterior al relacionarse con elementos traza, tales como el Zn, Pb y Cu sugiere que pertenecen a la litología del lugar y se encuentran en trazas, como su nombre lo indica.

Al encontrar que las variables se relacionaron de diferente forma durante las tres épocas del año, muestra una zona muy dinámica, y al menos en lo que respecta a la parte del estudio granulométrico de los sedimentos, sí se observan variaciones durante las diferentes épocas del año. Por otro lado, al respecto de una posible contaminación de la zona arrecifal ocasionada por las distintas actividades antropogénicas realizadas en el área, cabe señalar lo siguiente: sí puede haber una posible contribución de elementos traza de forma artificial debido a la asociación de los elementos traza con la materia orgánica, pero no la única, recordando la otra fuente de aporte originada por la litología del lugar, al encontrarse relaciones con los minerales formados con Fe_2O_3 y Al_2O_3 , también se debe señalar que no podemos cuantificar cuanto aporte es de forma artificial y cuanto es natural, al no poder distinguir esas cantidades, no podemos decir que tanto está contaminada o no el área de estudio.

ssen
O
1
S
U
1
C
n
O
C

Las características granulométricas de los sedimentos variaron de una época a otra lo que refleja la dinámica del área. En el mes de Febrero se observaron mayores concentraciones de grava y arena asociado a los fuertes vientos presentes en esta época. En Septiembre correspondiente a la época de lluvias en la cuenca se presentaron los valores más altos de limos y arcillas, asociados a mayores descargas continentales.

Los sedimentos en el área adyacente a la Isla Sacrificios están formados por sedimentos de origen continental tales como arcillas ricas en hierro y metales traza, cuarzo y minerales pesados y sedimentos de origen biogénico ricos en CaCO_3 .

En las inmediaciones de la Isla Sacrificios se depositan los sedimentos más ricos en limos y arcillas posiblemente debido a la dinámica del área.

Se evaluaron valores de V, Cr, y Zn por encima de los valores encontrados en el río Jamapa lo que asociado a las estaciones donde se presentaron las concentraciones más altas sugiere su origen por las actividades antropogénicas del lugar, tales como generación de energía eléctrica, actividades portuarias, entre otras actividades industriales, turísticas y descargas urbanas .

Los valores de Cu y Ni en la zona costera fueron más bajos que en el río Jamapa. La asociación alta de Cu y Al_2O_3 sugiere un origen continental asociado a arcillas. En tanto la correlación alta de Ni con Fe_2O_3 , TiO_2 y MnO sugiere esta asociado a los minerales pesados como son magnetita, ilmenita, presentes en el área.

A H h B b I i O o K k F f U u

1. Agueda Villar José A.1983. Geología. Ed. Rueda.
2. Administración portuaria integral.2005. Estadísticas del puerto de Veracruz. www.apiver.com
3. Bair Colin. 2001. Química ambiental. Ed Reverte.
4. Bruce F.M.1974. A rapid accurate method for the analysis of the analysis of calcium carbonate in small samples. Journal of sedimentary petrology, 44 (2): 589-590.
5. Chester R. 2000 Marine Geochemistry. Ed. Unwyn Hyman.
6. Consejo del Sistema Veracruzano del Agua. 2005. www.csva.gob.mx
7. Consejo de Recursos mineros 1986. Monografía geológica del estado de Veracruz (COREMI)
8. Dapples E.C 1963. Geología básica en ciencia e ingeniería. Ed. Omega.
9. Diagnostico de las acciones de saneamiento a nivel nacional México 1994. Comisión Nacional del Agua. www.cna.gob.mx
10. Dictionary of geological terms. 1962. Ed Mc Graw-Hill
11. Emmons William H. 1965. Geología. Ed. Mc Graw-Hill
12. Figaruelo Juan E. 2001. Química física del medio ambiente. Ed Reverte.
13. García Araceli Ma., Soberon Evelyn, Cortés Myriam, Rodríguez Ramón, Herrera Luis J. Alcántara Alejandro. 2002. Guía de validación de métodos analíticos. Colegio Nacional de Químicos Farmacéuticos Biólogos. Pag.26
14. Harrison Roy M. 2003. El medio ambiente. Ed. Acribia.
15. HesseP.R. 1971. Soil Chemical Analysis. EUA: John Murray.
16. Instituto Nacional de Ecología. 2002. Conservación y uso sustentable de los arrecifes en México. Ed. INE. www.ine.gob.mx
17. Klaassen Curtis D. 2001. Manual de toxicología. Ed. Mc Graw-Hill
18. Krumbein W.C, Sloss L.L. 1969. Estratigrafía y sedimentación Ed. Centro regional de ayuda técnica.

-
19. Lewis Richard J. 1992. SAX'S Dangerous properties of industrial materials. Ed. Van Nostrand Reinhold.
 20. Manahan Stanley E. 1993. Fundamentals of environmental chemistry. Ed Lewis publishers.
 21. Manual de CEM. 1994. Microwave Digestion Applications. Manual CEM Corporation.
 22. Raiswell R.W, Brimblecombe P. 1983. Química ambiental. Ed. Omega.
 23. Rantala R.T.T, Loring D.H. 1992. Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. Volumen 32. Ed. Earth Science Reviews.
 24. Rosales H.L.1980. Manual de Oceanografía Química. ICMYL UNAM.
 25. Shapiro S. 1975. Rapid Analysis of silicate, carbonates and phosphates U.S.G.S. Bull. 1401, USA.
 26. Simona Robinson Edwin. 1990. Geología física básica. Ed. Limusa.
 27. Skoog Douglas A. 2003. Principios de análisis instrumental Ed. Mc Graw-Hill
 28. Stoeppler M. 1992. Hazardous metals in the environment. Ed. El Sevier.
 29. Tamayo Jorge L. 2001. Geografía moderna de México. Ed. Trillas.
 30. Tyrrell G.W .1984. Principios de petrología. Ed. Continental
 31. Vargas Hernández, Hernández Gutiérrez, Carrera parra. 1993 "Sistema Arrecifal Veracruzano". Biodiversidad marina y costera de México, Ed. Conabio-Cigro.
 32. Varian 1989 Espectrofotometría de absorción atómica Varian Australia.
 33. Vázquez Botello, Villanega Fregoso y Rosales Hoz. 2004. Distribución y contaminación de metales en el Golfo de México. En: Diagnostico ambiental del Golfo de México. Tomo 2.

A
p
p
e
n
d
i
c
i
c
e
s

Apéndice A

Certificado de material de referencia NRC - CNRC

Nacional Research Council Canada

Material de referencia de sedimento marino para elementos traza y otros constituyentes

HISS - 1

MESS - 3

PACS - 2

La siguiente tabla muestra los constituyentes para cada estándar certificado y la información de los valores que fueron establecidos. Los valores certificados están basados, en los resultados obtenidos por medio de dos métodos de análisis totalmente independientes. Las incertidumbres representadas se encuentran con un límite de confianza de 95 %, para una submuestra individual de 250 mg o mayor.

Metales traza			
(miligramos por kilogramo)			
	HISS - 1	MESS - 3	PACS - 2
Antimonio	(0.13)*	1.02 ± 0.09	11.3 ± 2.6
Arsénico	0.801 ± 0.099	21.2 ± 1.1	26.2 ± 1.5
Berilio	0.129 ± 0.023	2.30 ± 0.12	1.0 ± 0.2
Cadmio	0.024 ± 0.009	0.24 ± 0.01	2.11 ± 0.15
Cromo	30.0 ± 6.8	105 ± 4	90.7 ± 4.6
Cobalto	(0.65)*	14.4 ± 2.0	11.5 ± 0.3
Cobre	2.29 ± 0.37	33.9 ± 1.6	310 ± 12
Plomo	3.13 ± 0.40	21.1 ± 0.7	183 ± 8
Litio	2.83 ± 0.54	73.6 ± 5.2	32.2 ± 2.0
Manganeso	66.1 ± 4.2	324 ± 12	440 ± 19
Mercurio	(0.01)*	0.091 ± 0.009	3.04 ± 0.20
Molibdeno	(0.13)*	2.70 ± 0.07	5.43 ± 0.28
Níquel	2.16 ± 0.29	46.9 ± 2.2	39.5 ± 2.3
Selenio	0.050 ± 0.007	0.72 ± 0.05	0.92 ± 0.22
Plata	0.016 ± 0.002	0.18 ± 0.02	1.22 ± 0.14
Estroncio	96.9 ± 11.2	129 ± 11	276 ± 30
Talio	(0.06)*	0.90 ± 0.06	(0.6)*
Estaño	(0.11)*	2.50 ± 0.52	19.8 ± 2.5
Uranio	(0.26)*	(4)*	(3)*
Vanadio	6.80 ± 0.78	2431 ± 10	133 ± 5
Zinc	4.94 ± 0.79	159 ± 8	364 ± 23

Nota * Solo ese valor

Sitio de Internet

<http://www.cm.inms.nrc.ca>

Apéndice B

Absorción atómica

Introducción teórica

La absorción atómica es una técnica importante e implica la absorción de luz por átomos libres. Un espectrofotómetro de absorción atómica es un instrumento que utiliza este principio para analizar la concentración de metales en solución, Actualmente 68 elementos pueden ser determinados directamente en un amplio rango de concentraciones. Usando la técnica de absorción atómica se pueden hacer determinaciones desde el rango de partes por billón (ppb) hasta niveles porcentuales. La precisión es frecuentemente mejor al 1% de la desviación estándar relativa.

Un análisis de absorción atómica (AA) está sujeto a pocas interferencias y las que ocurren están estudiadas y documentadas, son fácilmente compensadas y no presentan mayores problemas analíticos. La preparación de la muestra es generalmente simple y generalmente se necesita poco más que disolver en un ácido adecuado. El instrumento es además fácil de operar.

El espectro atómico fue observado por Newton hacia 1600, cuando paso luz del sol a través de un prisma y vio que ésta se desdoblaba en lo que se conoce como espectro visible. En 1802 Wollaston descubrió que el espectro solar contenía líneas oscuras, que recibieron el nombre de líneas de Fraunhofer, en honor al físico alemán que las estudio extensamente en 1814 y también fue el primero en usar rejillas de difracción.

De 1859 a 1861 Kirchoff con su colega Bunsen, demostraron que cada elemento da un color característico cuando se calienta hasta la incandescencia y descubrieron el Cesio y el Rubidio, también establecieron la relación entre espectro de emisión y absorción.

En 1952 el Dr. Allan Walsh, un físico australiano desarrollo el primer instrumento de AA y por esto se le considera el padre de la AA. Este trabajo inicial incluyó el método de hacer y usar la lámpara de cátodo hueco, así como el diseño del aparato.

Para poder comprender el proceso de AA, se tiene que entender la estructura atómica. El átomo consiste en un núcleo central compuesto de protones cargados positivamente y neutrones. Rodeando al núcleo de orbitales definidos precisamente están los electrones cargados negativamente. Todos los átomos neutros tienen el mismo número de protones y electrones. Los electrones más exteriores son conocidos como electrones de valencia. Cuando el átomo y sus electrones asociados están en su estado de energía más bajo, E_0 , se dice que el átomo esta en su estado basal.

Los átomos pueden absorber cantidades discretas de calor o luz. Cuando absorben esa energía el electrón de valencia se mueve a niveles más altos de energía como E_1 . Ahora este átomo esta excitado.

Los niveles de energía de cada átomo están cuantizados de acuerdo al número de protones y electrones presentes y como cada elemento tiene un cierto arreglo de niveles electrones y protones, entonces cada elemento tiene un cierto arreglo de niveles energéticos. Si la energía absorbida es mayor que la energía de ionización, entonces el electrón es removido de la órbita y el átomo se ioniza.

La longitud de onda de la luz absorbida es proporcional al espacio entre los niveles energéticos, mientras más ancho el espacio, más corta la longitud de onda de la energía luminosa absorbida. Como cada elemento tiene un cierto arreglo de niveles energéticos, entonces cada elemento tiene un cierto arreglo de longitudes de onda en donde absorben energía. Esto hace que las medidas de AA queden libres de una de las mayores interferencias que plagan las medidas de emisión atómica. La AA es un análisis específico, ya que usando fuentes de luz sobre un mismo tipo de átomos en la flama, sólo estos absorben energía. En los análisis de AA, las líneas analíticas son líneas de resonancia, por definición, resultan de las transiciones energéticas que parten del estado basal.

El proceso de AA envuelve la absorción de energía luminosa por átomos en estado basal. La energía la cual se lleva a cabo la absorción, corresponde exactamente a la energía requerida para llevar un electrón del estado basal al estado excitado y se expresa como delta E (ΔE).

La AA se perfecciona para sobrepasar las limitaciones de los métodos de emisión y aún los más recientes avances como el desarrollo de fuentes de plasma, no ha eliminado esas limitaciones. La AA usa una fuente específica, es decir, si se requiere analizar cobre, entonces la fuente tiene que ser de cobre. Se usa la flama no para excitar los átomos como en emisión, sino para contenerlos en el camino óptico. Así la población de átomos se expone a la luz a una longitud de onda característica y se mide la absorbancia.

La ley de Lambert y Beer es la relación que convierte la intensidad de la luz en concentración. Esta ley establece que:

$$A = abc = kc$$

A = absorbancia

a = Absorbitividad molar

b = camino óptico

c = concentración

k = una constante

Para unas determinadas condiciones, a y b se pueden considerar constantes. Esto indica una relación lineal entre la absorbancia y la concentración.

Es importante recordar que A es absorbancia y no absorción y la absorbancia puede ser definida por la siguiente ecuación:

$$A = \log \left(\frac{I_0}{I} \right)$$

Donde:

A: absorbancia

I_0 = intensidad inicial

I = Intensidad después de la absorción

También se define como:

$$A = \log \frac{I}{T} = -\log T$$

Donde:

T = Transmitancia

La concentración de la muestra se determina por comparación con una serie de estándares. AA es una técnica comparativa donde la determinación se lleva a cabo usando matrices preparadas y recientes con sus respectivos estándares.

Instrumentación

Los cinco principales componentes de un espectrofotómetro de absorción atómica son: la fuente de luz, el monocromador, el detector, el sistema de amplificación de lectura y el atomizador.

Fuentes luminosas

Dos tipos de fuentes luminosas son utilizadas en espectroscopia analítica, la fuente continua y la de línea. Ejemplo de fuentes continuas son las lámparas de Tungsteno, de deuterio o el arco de Xenón y de fuentes de línea son las lámparas de cátodo hueco, lámparas de vapor de Sodio, lámparas de descarga sin electrodo y láser. Una medición de AA requiere de fuentes que emiten energía a la determinada longitud de onda analítica y por lo tanto se utilizan fuentes de línea, siendo tradicionalmente las lámparas de cátodo hueco y la de descarga sin electrodo.

Las lámparas de cátodo hueco son las más utilizadas. Walsh fue el primero en hacer notar sus ventajas, ya que es específica para cada elemento y así emite radiación específica la cual sólo puede ser absorbida por átomos del mismo elemento en el atomizador; requiere poco mantenimiento, son estables, intensas, simples, durables y económicas, además de que requieren poco tiempo de calentamiento.

La lámpara consta de electrodos: un ánodo y un cátodo hueco encerrados en un cilindro de vidrio con una ventana apropiada para dejar pasar la radiación de interés (cuarzo para UV y vidrio para visible). El ánodo es generalmente un alambre de Wolframio y el cátodo es un cilindro hueco hecho del mismo elemento que se analiza o bien de una aleación que lo contenga. El cilindro contiene un gas inerte (generalmente Neon).

Cuando se aplica un voltaje de 300 a 500 V entre los electrodos, el gas se ioniza produciéndose una corriente de 5 a 30 mA. En este movimiento de iones, se producen colisiones de los iones positivos del gas contra las paredes del cátodo que provocan el desprendimiento de átomos y su excitación con posterior emisión de las líneas características del elemento.

La baja presión del gas hace que su concentración iónica sea también baja, por lo que los efectos de ensanchamiento colisional son pequeños y las líneas emitidas son muy estrechas.

El cátodo se vaporiza y al enfriarse la lámpara el vapor de metal se deposita de nuevo sobre el cátodo o bien en otras partes, dando resultado que la lámpara se vaya deteriorando con el tiempo hasta que quede inservible.

Efecto de la corriente

Al aumentar la corriente la intensidad aumenta y si este fuera el único factor a considerar operaríamos a altas corrientes, pero existen dos factores adversos. El primero de ellos es que la línea de resonancia se ensancha y distorsiona, conociéndose el fenómeno como auto-absorción y es causado por átomos en fase de vapor absorbiendo a la longitud de onda de resonancia emitida por átomos similares. El resultado es que la sensibilidad de absorción baja y la curvatura de la curva de calibración aumentan.

El segundo factor a considerar es que la vida de la lámpara decrece cuando la corriente se incrementa. Actualmente las lámparas de cátodo hueco tienen vidas de aproximadamente 5000 mA-hr o más.

Lámparas multielemento

Combinando dos o más elementos de interés en un cátodo, es posible producir una lámpara de cátodo hueco multielemental. Algunas combinaciones no son posibles porque sus líneas de resonancia están tan cercanas que se interfieren una con otra, o bien porque las propiedades físicas de los elementos involucrados no permiten incorporarlos juntos en un cátodo común. Sin embargo las lámparas multielementales son una fuerte conveniente para la determinación de rutina de varios elementos.

Detector

La función del detector es convertir la radiación en una señal medible, normalmente eléctrica. El detector usado universalmente en instrumentos de absorción atómica es el tubo multiplicador. Ningún otro dispositivo ofrece la misma sensibilidad a través de todo el rango de longitudes de onda requeridas para un análisis de AA.

El fotomultiplicador produce una señal eléctrica que es proporcional a la intensidad de la luz, a la longitud de onda que ha sido aislada por el monocromador. Esta señal eléctrica es entonces amplificada y usada para dar una medida cuantitativa de absorción.

La luz admitida a través de una ventana del fotomultiplicador cae directamente en el cátodo. El cátodo está cubierto con un material que libera electrones al ser iluminado. Un electrodo adyacente se mantiene a un potencial eléctrico positivo con respecto al cátodo y los electrones liberados del cátodo son atraídos al segundo electrodo, este segundo electrodo recibe el nombre de dinodo.

Cuando un electrón alcanza el dinodo, este libera un número de electrones secundarios que en su turno son atraídos a otro dinodo que se mantiene a un potencial más alto que el primer dinodo. El número de electrones liberados se multiplica en cada dinodo sucesivo. Este es el proceso multiplicativo que da al tubo su nombre. Los fotomultiplicadores tienen de nueve a trece dinodos y la corriente electrónica generada en el cátodo se ve multiplicada para rendir hasta una amplificación de 10⁸. El potencial aplicado a los dinodos se divide usando una cadena de resistores; en potenciales iguales. Así si el potencial fuera de 900 volts y tuviera nueve dinodos, el primero tendría un potencial de 100 volts, el segundo de 200 y esta técnica se utiliza para ajustar la magnitud de la señal, así como para ajustar la sensibilidad del amplificador.

Amplificación

Existen dos tipos de amplificación:

- a) Corriente directa (D.C) = amplificación de la luz de la lámpara y de la emisión de los átomos en el vapor a la vez. No es eficiente porque la muestra y la llama contribuyen junto con la señal de la lámpara. Este problema es fuerte en elementos que emiten fuertemente.
- b) Corriente alterna (A.C) = antes de llegar a la flama la radiación se modula, convirtiéndola en una señal alterna en vez de una continua. La señal al llegar al detector, tiene ahora dos componentes: uno continuo debido a la llama y emisión del vapor y otro alterno debido a la lámpara. Utilizando un amplificador que discrimine la D.C de la A.C (lock- in Amplifier) se amplifica solo la A.C con lo que se elimina una gran cantidad de señal irreversible y ruidosa.

Sistemas de lectura y registro

Después de amplificada la señal, puede mostrarse en una variedad de dispositivos:

- Registrador gráfico
- Medidor analógico
- Medidor digital
- Impresor
- Microprocesador registrador e impresor
- Sistemas de datos y computadoras centrales

Sistemas ópticos

El sistema óptico del instrumento de A.A tiene por objeto el recolectar la luz de la fuente haciéndola pasar a través de la muestra y después enfocarla a la entrada del monocromador para aislar y medir la línea analítica de interés.

Para efectuar esta operación se utilizan varios dispositivos tales, como lentes, espejos y divisiones de haz luminoso.

El material de que están contruidos debe ser transparente a la radiación que se desea analizar. Adicionalmente su diseño y construcción debe ser apropiada para eliminar aberraciones ópticas, pérdidas y luz extraviada.

Los diseños básicos son de dos tipos:

De haz sencillo: En ellos hay que hacer ajustes y correcciones con un blanco antes de cada medición. Variaciones en la intensidad de la lámpara pueden afectar los resultados.

De doble haz: El haz se divide en dos, una parte va alrededor de la flama y la otra a través de ella. Electrónicamente se calcula la diferencia, compensando automáticamente cualquier variación en la intensidad de la fuente.

Corrección de fondo:**Lámpara de Deuterio:**

La interferencia de fondo ocurre cuando la radiación de la lámpara de cátodo hueco es atenuada por especies moleculares o partículas sólidas en la zona de observación (flama u horno).

La corrección para esto es relativamente simple con la ayuda de una fuente continua que usualmente es una lámpara de deuterio que emite un espectro continuo intenso desde 190 nm hasta 425nm. Esto cubre la región donde la mayoría de las líneas de absorción atómica ocurren y donde los efectos de absorción de fondo son más pronunciadas.

Mientras que la señal obtenida cuando se usa la lámpara de cátodo hueco es la absorbancia total (la suma de absorción atómica y de fondo) la señal obtenida de la lámpara de deuterio es debido a la absorción de fondo únicamente.

La señal de fondo es entonces sustraída electrónicamente de la señal de absorbancia total y el resultado analítico ya está corregido.

i = Señal de lámpara de cátodo hueco = AA + Fondo

ii = Señal de lámpara de deuterio = Fondo

iii = Señal procesada electrónicamente = i - ii = AA

En el sistema de doble de haz la radiación de la fuente continua atraviesa el mismo camino a través de la muestra y referencia que la radiación de la lámpara de cátodo hueco.

Las intensidades de ambas fuentes pueden ser monitoreadas casi simultáneamente. Cualquier variación de ambas fuentes puede ser monitoreada casi simultáneamente. Cualquier variación en la intensidad de cualquier fuente puede ser corregida automáticamente para mantener la exactitud de la corrección de fondo.

Atomización por flama

Este proceso consiste en tomar una solución del analito y calentarla a una temperatura lo suficientemente alta para disociar el compuesto.

Este proceso se divide en varias etapas:

- Precipitación de gotas grandes
- Nebulización
- Mezclado de los gases
- Evaporización de solventes
- Vaporización de los compuestos
- Formación de átomos libres

Los atomizadores de flama son los encargados de llevar a cabo este proceso y deben de cumplir con estas propiedades.

- Tener un dispositivo para nebulizar la muestra: Nebulizador.

La flama debe de ser capaz de:

- Evaporar la muestra
- Vaporizar la muestra
- Descomponer los compuestos en átomos
- Excitar los átomos (si es utilizada en emisión, en absorción no es necesario)

Un análisis de estas etapas es el siguiente:

Nebulización:

Es el primer paso previo a la atomización, formación de una niebla o spray. La niebla se mezcla con los gases de la flama, combustible y oxidante y forma un flujo laminar entrando al quemador.

Evaporación y formación de las sales sólidas:

Después de entrar al quemador, el oxidante y el combustible reaccionan violentamente, dando lugar a un gran desprendimiento de calor, formándose la flama. El calor de la flama hace que el solvente de las gotas se vaya evaporando a medida que avanzan en ella, hasta que al evaporarse el solvente, quedan tan solo partículas sólidas del compuesto de la muestra.

Vaporización y atomización de la muestra:

Una vez formadas las partículas sólidas, éstas se vaporizan por efecto de la alta temperatura de la flama y a continuación se descomponen produciendo átomos; este es el estado a donde idealmente queremos que llegue nuestra muestra para hacer las medidas por absorción atómica.

Excitación y emisión:

Si la energía de la llama es suficiente, a los átomos se excitan pasando a niveles superiores y a continuación rápidamente se reflejan emitiendo energía en forma de radiación (Emisión atómica).

El nebulizador y la cámara de niebla

Es un dispositivo neumático que introduce la solución de la muestra dentro de una cámara, convirtiendo la solución en una fina niebla. Su funcionamiento es como sigue:

El gas oxidante fluye a través del nebulizador y para a través de un pequeño orificio, generando por efecto Venturi una presión reducida que hace que el líquido pase a la cámara en forma de finas gotas de 1 a 100 micras de diámetro a una velocidad de 1 a 4 ml / minuto.

El rocío es acarreado por el gas dentro de la cámara de niebla donde chocan contra obstáculo (normalmente una bola de vidrio, llamada esfera de impacto) rompiendo las gotas en otras más pequeñas. Adicionalmente en la cámara de niebla penetra el gas combustible y se mezcla con el oxidante y la niebla de muestra. La cámara tiene una forma tal que establece un régimen de flujo laminar antes de entrar al quemador, de esta forma la flama será muy estable y se mantendrá en una posición espacial fija.

La cámara de niebla tiene además la función de separar las gotas más grandes que al no poder ser llevadas por el flujo de gas hacia el quemador, caen por las paredes a un orificio de drenaje para ser desechadas. En estas condiciones solamente gotas de tamaños inferiores a 5 micras y la mayoría entre 1 y 2 micras son acarreadas a la llama y son fácilmente desolventizadas y atomizadas. En la práctica solamente un 10 % de la solución penetra a la llama, el resto se drena.

La posición de la esfera de impacto es crítica para lograr una buena nebulización y una llama estable, por ello tiene un sistema de ajuste manual.

El orificio de drenaje está conectado a una trampa que tiene líquido siempre en ella, para evitar que se fugue la mezcla de gases a través de ella y pueda producirse una explosión. Siempre debe haber líquido en la trampa. Algunos sistemas tienen un interruptor flotante que en caso de que no halla líquido impide que pueda encenderse la llama.

Cada llama tiene una velocidad de propagación característica y las dimensiones de la ranura del quemador son tales que permiten que la velocidad de movimiento de los gases hacia arriba, hacia la llama, será mayor que la velocidad de propagación de la llama hacia abajo, hacia adentro del mechero provocando una explosión que puede hacerle quebrar proyectando pedazos. Controlando adecuadamente los flujos de los gases y usando el quemador adecuado las posibilidades de explosión casi nulas.

Flamas:

Una flama o llama es la reacción exotérmica y continúa de un gas oxidante con un gas reductor (combustible). Las características más importantes de una llama para análisis por AA son: su temperatura, su carácter oxidante o reductor, la posición o altura y el ancho o camino óptico.

La temperatura de una llama depende de la naturaleza de los gases (fundamentalmente), de su estequiometría o proporción de gases y de la posición espacial en la llama.

La temperatura es un factor analítico importante. Como regla general, elementos que se atomizan e ionizan fácilmente deben analizarse en llamas no muy calientes como la de aire/propano o aire/acetileno. Elementos que forman compuestos refractarios difícilmente de descomponerse, deben analizarse con llamas de alta temperatura como la de óxido nitroso/acetileno.

El carácter oxidante o reductor depende de las proporciones, relativas de oxidante/combustible:

Una llama que tiene las proporciones exactas para la combustión total se le llama Estequiometría. Si tiene más combustible que la proporción estequiométrica se le llama rica en combustible o reductora y se tiene más oxidante, se le dice llama oxidante.

En el sistema aire/acetileno, una flama estequiométrica se presenta cuando la zona interconal es igual a la zona de combustión primaria. Cuando la flama se vuelve oxidante, la zona interconal se confunde con la zona de combustión primaria. La zona interconal se vuelve amarilla y luminosa cuando la flama pasa a ser reductora.

Los elementos que tienen tendencia a formar óxidos en la flama, se atomizan más eficientemente usando llamas ricas en combustible. La formación de átomos no está homogéneamente distribuida en el espacio de la flama, por ello hay que atomizar la altura de la llama a donde se va a hacer la medición, para ello el quemador se mueve verticalmente.

El camino óptico es otra variable y puede modificarse girando la cabeza del quemador de 0 a 90 grados. Cuanto mayor sea el ángulo, menor es el tramo que el haz atraviesa la nube atómica.

La flama posee las siguientes ventajas:

- Es muy estable y reproducible.
- Fácil de optimizar.
- Las interferencias que presenta son muy bien conocidas, pequeñas en general y fáciles de eliminar o compensar.

Limitaciones de nebulización y atomización en flama

- Requiere mucha muestra (varios mililitros).
- Solamente útil para muestras líquidas.
- Las soluciones no deben tener muchos sólidos disueltos, porque atacan el nebulizador.
- La niebla formada es muy diluida.
- Los átomos se mueven rápidamente hacia arriba con los gases, permaneciendo poco tiempo en el camino del haz.

Atomización por horno de grafito

Aunque hay diferentes acercamientos para el diseño detallado y construcción de atomizadores por horno, todos desempeñan el mismo papel, generar una población de átomos libres del analito para medir la absorción atómica.

En su forma más simple el proceso de lleva a cabo en tres etapas:

- La etapa de secado donde el solvente se remueve de la muestra.
- La etapa de cenizas que remueve las moléculas orgánicas o material inorgánico
- La etapa de atomización donde se generan los átomos libres en una zona confinada que coincide con el paso óptico del espectrofotómetro.

La señal producida en la atomización es un pico bien definido. La altura y el área pueden relacionarse con la cantidad de analito presente en la muestra.

Como la absorción atómica por flama, es necesario obtener medidas comparativas de los estándares y muestras para establecer valores de concentración para las muestras.

Fundamentalmente, un atomizador por flama o por horno de grafito provee el mismo producto final, una dotación de átomos libres para la exposición de la luz a una longitud de onda característica. En análisis por flama, la composición química de la flama es más importante que la temperatura para maximizar la fracción de átomos libres. En atomizadores de horno la disociación molecular se gobierna por la temperatura final empleada, la velocidad con la que se alcanza la temperatura final y el ambiente reductor del grafito caliente.

El sistema consiste en un cilindro hueco de grafito rodeado de un flujo de gas inerte para que no reaccione. Al pasar la corriente, el grafito ofrece alta resistencia y se calienta. El calentamiento (temperatura), depende de la corriente suministrada, esto nos permite controlar la temperatura fácilmente.

La operación analítica se efectúa en una forma programada. Se pone la muestra (microlitros) a través de un agujero en el cilindro y se hace un programa de temperatura de acuerdo al elemento y matriz de la muestra. Primero se calienta a baja temperatura ($\approx 200\text{ }^{\circ}\text{C}$) para secar la muestra, después se sube la temperatura poco a poco hasta un valor en el que se lleva la muestra a calcinar ($\approx 700\text{ }^{\circ}\text{C}$), eliminando la materia orgánica y finalmente se le da un aumento brusco de temperatura (2000 – 3000) para atomizar la muestra. El haz de luz pasa a través del vapor formado dentro del cilindro y se mide la absorción. La señal obtenida es un pico que se integra o se mide la absorción. La señal obtenida es un pico que se integra o se mide su altura para relacionar la señal con la concentración.

El horno completa las técnicas de flama. **Sus ventajas fundamentales son:**

- Requiere muy poca muestra
- No requiere especial preparación de muchas muestras. Se pueden leer directamente (sangre, material vegetal).
- Mejora los límites de detección en varios órdenes de magnitud, debido a la poca dilución de la muestra y a la forma de atomización.

Inconvenientes:

- Mucho más sujeto a interferencias de la matriz y a efectos de memoria.
- Menos precisión en los análisis.
- Hay que hacer un programa específico de temperatura para cada elemento y muestra, y usarlo siempre si se desea obtener reproducibilidad.
- La medición de la señal es más complicada y sujeta a errores.