



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

GEOQUÍMICA DE DOS NÚCLEOS DE MAR PROFUNDO EN EL SUROESTE
DEL GOLFO DE MÉXICO

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN QUÍMICA ACUÁTICA

PRESENTA:
Q. RAMOS VÁZQUEZ MAYLA ALHELÍ

DIRECTOR DE TESIS: Dra. Ma. T. LETICIA ROSALES HOZ
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR

DR. MIGUEL ÁNGEL ALATORRE MENDIETA
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA
DRA. MARIA AURORA ARMIENTA HERNÁNDEZ
INSTITUTO DE GEOFISICA
DR. RAYMUNDO G. MARTINEZ SERRANO
INSTITUTO DE GEOFISICA
DR. ARMSTRONG ALTRIN SAM JOHN SELVAMONY
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

MÉXICO D.F., Mayo 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



“GEOQUÍMICA DE DOS NÚCLEOS DE MAR PROFUNDO EN EL SUROESTE DEL GOLFO DE MÉXICO”

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÈMICO DE

MAESTRIA EN CIENCIAS

QUÍMICA ACUÁTICA

PRESENTA

Q.RAMOS VÁZQUEZ MAYLA ALHELÍ

DIRECTOR DE TESIS: DRA. MA. T. LETICIA ROSALES HOZ

COMITÉ TUTORAL

DR. MIGUEL ÁNGEL ALATORRE MENDIETA
DRA. MARÍA AURORA ARMIENTA HERNÁNDEZ
DR. RAYMUNDO G. MARTÍNEZ SERRANO
DR. ARMSTRONG ALTRIN SAM JOHN SELVAMONY

MÉXICO D.F., Mayo 2016

DEDICATORIA

A MIS PADRES

PAULA Y EFIGENIO POR SER EL PILAR FUNDAMENTAL DE TODO LO QUE SOY, POR SU APOYO INCONDICIONAL EN MI EDUCACION ACADEMICA Y EN LA VIDA, LOS AMO.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

Al posgrado de Ciencias del Mar y Limnología ya que a través del mismo concluyo una etapa en mi formación académica.

Al Consejo de Ciencia y Tecnología CONACyT por el apoyo otorgado durante la realización de mi maestría.

Al Dr. Arturo Carranza Edwards por su asesoría y conocimiento brindado en geología.

Al M. en C. Eduardo Morales de la Garza y Ricardo Martínez Domínguez por el apoyo en la medición granulométrica de las muestras.

De manera especial a la Q.F.B. Susana Santiago Pérez por su asesoría técnica y la amistad brindada.

A los integrantes de la coordinación del posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Dra. Gloria Vilaclara Fatjó, M. en C. Diana Juárez Bustos, Maestra Chantal G. Ruiz Guerrero y Licenciadas Guadalupe Godoy Medina y Gabriela Almaraz Mejía, por su apoyo en la realización de trámites escolares.

A los miembros de mi jurado: Dra. Ma. T. Leticia Rosales Hoz, Dr. Miguel Ángel Alatorre Mendieta, Dra. Ma. Aurora Armienta Hernández, Dr. Raymundo G. Martínez Serrano y Dr. Armstrong Altrin Sam John Selvamony contribuyendo con sus conocimientos y sugerencias.

Al M. en C. Arturo Ronquillo Arvizu por su ayuda con la topografía del área de estudio.

A Paola y Gabriel por el apoyo brindado.

A todas las personas que quiero, gracias por el cariño brindado a lo largo de mi vida.

| CONTENIDO | PÁGINA |
|--|---------------|
| 1.- INTRODUCCIÓN | 10 |
| 2.- ANTECEDENTES | 12 |
| 3.- HIPÓTESIS | 15 |
| 4.- OBJETIVO GENERAL | 16 |
| 4.1 Objetivos particulares | |
| 5.- ÁREA DE ESTUDIO | 17 |
| 5.1 Cuenca del Río Coatzacoalcos | |
| 5.2 Corrientes superficiales en Coatzacoalcos | |
| 5.3 Geología adyacente al área de estudio | |
| 6.- MATERIAL Y MÉTODOS | 22 |
| 6.1 Granulometría | |
| 6.2 Contenido de materia orgánica | |
| 6.2.1 Precisión y exactitud de materia orgánica | |
| 6.3 Contenido de carbonatos | |
| 6.3.1 Precisión y exactitud de carbonatos | |
| 6.4 Contenido de elementos mayores | |
| 6.4.1 Precisión y exactitud de elementos mayores | |
| 6.5 Contenido de metales traza | |
| 6.5.1 Precisión y exactitud de metales traza | |
| 7.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 37 |
| 7.1 Parámetros texturales | |
| 7.2 Materia Orgánica y Carbonatos | |
| 7.3 Elementos Mayores | |
| 7.4 Metales Traza | |

| CONTENIDO | PÁGINA |
|-------------------------------------|---------------|
| 7.5 Intemperización | |
| 7.6 Clasificación de los sedimentos | |
| 8.- CONCLUSIONES | 74 |
| 9. REFERENCIAS | 76 |
| 10.- ANEXO | 83 |

| Índice de figuras | Página |
|---|--------|
| Figura 1. Topografía del área de estudio. | 13 |
| Figura 2. Ubicación de las muestras analizadas: Modificado de Vera-Mendoza (2003). | 17 |
| Figura 3. Dirección del viento en Coatzacoalcos. | 19 |
| Figura 4. Mapa geológico adyacente al área de estudio. | 20 |
| Figura 5. Corrientes costeras predominantes en el Golfo de México. | 21 |
| Figura 6. Textura de núcleos a) N42 y b) N44. | 39 |
| Figura 7. Clasificación textural de núcleos a) N42 y b)N44 (Trefethen, 1950). | 40 |
| Figura 8. Tamaño de grano a) N42 y b)N44. | 41 |
| Figura 9. Clasificación de los sedimentos a) N42 y b) N44. | 42 |
| Figura 10. Asimetría de los sedimentos a) N42 y b) N44. | 43 |
| Figura 11. Curtosis de los sedimentos a) N42 y b) N44. | 44 |
| Figura 12. Concentración de materia orgánica en sedimentos a) N42 y b) N44. | 46 |
| Figura 13. Concentración de carbonatos en sedimentos a) N42 y b) N44 | 47 |
| Figura 14. Concentración de Si ₂ O en sedimentos a) N42 y b) N44 | 48 |
| Figura 15. Concentración de Al ₂ O ₃ en los sedimentos a) N42 y b) N44. | 49 |
| Figura 16. Regresión lineal SiO ₂ / Al ₂ O ₃ a) N42 y b) N44 | 49 |
| Figura 17. Concentración de Na ₂ O en los sedimentos a) N42 y b) N44. | 50 |
| Figura 18. Regresión lineal Al ₂ O ₃ /Na ₂ O en los sedimentos del N44 | 50 |
| Figura 19. Concentración de K ₂ O en los sedimentos a) N42 y b) N44. | 51 |
| Figura 20. Regresión lineal Al ₂ O ₃ /K ₂ O en los sedimentos del N42 | 51 |
| Figura 21. Concentración de P ₂ O ₅ en los sedimentos a) N42 y b) N44. | 52 |
| Figura 22. Concentración de CaO en los sedimentos a) N42 y b) N44 | 53 |
| Figura 23. Concentración de MgO en los sedimentos a) N42 y b) N44. | 54 |
| Figura 24. Concentración de TiO ₂ en los sedimentos a) N42 y b) N44. | 55 |
| Figura 25. Concentración de MnO en los sedimentos a) N42 y b) N44. | 55 |
| Figura 26. Regresión lineal TiO ₂ /MnO para N44 | 56 |
| Figura 27. Concentración de Fe ₂ O ₃ en los sedimentos a) N42 y b) N44. | 56 |
| Figura 28. Concentración de cobre en los sedimentos a) N42 y b) N44 | 58 |
| Figura 29. Concentración de níquel en los sedimentos a) N42 y b) N44 | 58 |
| Figura 30. Concentración de plomo en los sedimentos a) N42 y b) N44 | 59 |
| Figura 31. Concentración de cromo en los sedimentos a) N42 y b) N44 | 59 |

| Tabla de figuras | Página |
|---|--------|
| Figura 32. Concentración de vanadio en los sedimentos a) N42 y b) N44 | 60 |
| Figura 33. Concentración de zinc en los sedimentos a) N42 y b) N44 | 60 |
| Figura 34. Factores de enriquecimiento de metales traza del núcleo 42. | 63 |
| Figura 35. Factores de enriquecimiento de metales traza del núcleo 44. | 64 |
| Figura 36. Clasificación geoquímica de los núcleos del suroeste del Golfo de México | 70 |
| Figura 37. Diagrama de procedencia. | 71 |
| Figura 38. Diagrama de metales traza. | 72 |

| Índice de tablas | Página |
|--|--------|
| Tabla 1. Datos petrográficos en los núcleos estudiados | 14 |
| Tabla 2. Localización de los núcleos 42 y 44. | 18 |
| Tabla 3. Muestras analizadas para los núcleos 42 y 44. | 22 |
| Tabla 4. Estandarización del carbono orgánico, n=10 | 25 |
| Tabla 5. Estandarización de carbonatos, n=10. | 27 |
| Tabla 6. Rango de concentraciones para la curva de calibración. | 28 |
| Tabla 7. Resultados de la precisión utilizando el método de FRX. | 30 |
| Tabla 8. Valores estadísticos de la precisión. | 31 |
| Tabla 9. Exactitud para cada elemento por el método de FRX. | 31 |
| Tabla 10. Condiciones del EAA por horno de grafito para elementos traza. | 33 |
| Tabla 11. Condiciones del EAA de flama para Zinc. | 34 |
| Tabla 12. Programas para determinación de metales en horno de grafito. | 34 |
| Tabla 13. Recobro y límite de detección para metales traza. | 35 |
| Tabla 14. Exactitud del método por Absorción Atómica para cada metal. | 35 |
| Tabla 15. Precisión del método por Absorción Atómica para cada metal. | 36 |
| Tabla 16. Parámetros Texturales (%) de los núcleos 42 y 44. | 38 |
| Tabla 17. Resultados (%) de materia orgánica y carbonatos | 45 |
| Tabla 18. Elementos mayores de los núcleos. | 47 |
| Tabla 19. Metales traza de los núcleos. | 57 |
| Tabla 20. Factor de enriquecimiento. | 62 |
| Tabla 21. Coeficientes de correlación de Pearson en el núcleo 42. | 66 |
| Tabla 22. Coeficientes de correlación de Pearson en el núcleo 44. | 68 |
| Tabla 23. Concentración de zinc (mg/Kg). | 72 |

1.- INTRODUCCIÓN

Los sedimentos están constituidos por materia sólida y cubren los fondos de cuerpos de agua (ríos, arroyos, lagos, bahías, estuarios y océanos), en estos se pueden encontrar mezclas de minerales granulados de tamaño fino, medio y grueso con materia orgánica (Figueruelo y Marino, 2004). Los factores que ayudan en la acumulación de sedimentos son: vientos, variación de la temperatura, precipitaciones, circulación de las aguas superficiales, el desplazamiento de masas de agua, partículas transportadas por sistemas fluviales y eólicos derivadas de erosiones y la interacción de agentes químicos y organismos vivos (Martínez, 2012). Existen diferentes formas para clasificar a los sedimentos, una de ellas es de acuerdo a su origen: litogénico (origen en la corteza terrestre), biogénico (origen a partir de organismos), cosmogénico (origen fuera del planeta Tierra), hidrogénico (origen en procesos llevados a cabo en la columna de agua), vulcanogénico (origen en procesos volcánicos). Otra clasificación es debido a la zona de depósito, por ejemplo: los sedimentos costeros de composición no pelágica que se caracterizan por su rápida acumulación mientras que los sedimentos de mar profundo, son depositados a profundidades mayores a 500 m. Para estos sedimentos, la lejanía de las masas continentales, la reactividad entre partículas suspendidas y disueltas, así como la presencia de una biomasa distinta producen un ambiente único. Entre sus principales características están: i) el tamaño de partícula y ii) la velocidad de sedimentación de los materiales derivados del continente (Chester, 2000; Riley y Chester, 1989).

Este trabajo de tesis se enfoca en el estudio de núcleos de sedimentos de mar profundo con longitudes de 5 metros, localizados al suroeste del Golfo de México. Si bien los sistemas costeros constituyen ambientes fuertemente influenciados por asentamientos humanos e industriales, registrando los impactos de estas actividades (Valdés y Sifeddine, 2009). Los sedimentos marinos son el depósito final de las sustancias producidas en las aguas superficiales e introducidas al mar por procesos naturales y antrópicos (Vázquez Botello et al., 2004). Un ejemplo es el trabajo de Mikac et al. (2011) en el cual se muestran estudios en los lagos de Plitvice y a partir de los sedimentos se tratar de reconstruir las variaciones a corto y largo plazo.

A continuación se presentarán las propiedades y composición de nuestros sedimentos a través del análisis textural y geoquímico, esto permitió evaluar las diferencias entre tamaños de partículas relacionando las rocas del área fuente, la distancia entre ésta y las características del área de depósito así como el tipo de energía que presentan (Carranza Edwards, 1997). También se trató de observar si existe una relación entre el tamaño de partículas y la época a la que corresponden nuestros sedimentos como ocurrió con Marsaglia et al. (2009). Referente a las concentraciones de elementos mayores y metales traza, su procedencia puede deberse a fuentes naturales como las rocas y minerales que se encuentran en la corteza continental o por fuentes artificiales como son las actividades humanas (Figueroa y Marino M., 2004), nosotros tratamos de conocer la fuente de las concentraciones encontradas en nuestro estudio. Como se mencionó anteriormente los núcleos presentan longitudes de 5 m que abarcan el límite Holoceno-Pleistoceno, mismo que se espera observar a través de los perfiles de cada parámetro medido. Existen trabajos sobre núcleos donde se ha visualizado el límite Holoceno-Pleistoceno a través de sus características geoquímicas (Sundararajan & Srinivasalu, 2010). De manera particular los estudios enfocados en determinar metales en sedimentos han permitido establecer el origen de las fuentes de contaminación incluso sobre periodos de decenas o cientos de años con Páez-Osuna y Osuna-López (1987). Ruiz-Fernández et al. (2004) estudiaron la acumulación de ciertos metales traza (Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, V y Zn) así como el flujo de los mismos a través del tiempo para evaluar posibles niveles de contaminación y su efecto en organismos y comunidades. Rosales Hoz y Carranza Edwards (2005) y Yang et al. (2014) obtuvieron valores elevados de elementos mayores y trazas en sedimentos cercanos a plantas industriales. Debido a nuestra área de estudio, el contenido de metales en los sedimentos marinos del Golfo de México puede estar compuesto de aportes naturales y antrópicos (Arcega-Cabrera et al., 2010; Liaghati et al., 2003). En la zona costera del estado de Veracruz, debido a las diversas actividades industriales, como la presencia de refinerías petroleras, uso excesivo de fertilizantes, minería, metalurgia y las actividades de los habitantes, el aporte antrópico puede presentar una gran influencia, por lo que se evaluaron las concentraciones de metales para conocer si nuestra área de estudio presenta aportes antrópicos.

2.- ANTECEDENTES

En la zona costera del Golfo de México, en el estado de Veracruz, se localiza la desembocadura del Río Coatzacoalcos. Por su cercanía a nuestra área de estudio, creemos que existe influencia de este río en las características de los sedimentos acumulados.

Antoine (1972) encontró que el depósito de sedimentos se determina por la distribución y el transporte de los mismos que se encuentran vinculados con las corrientes y descargas fluviales.

Uno de los principales intereses en la zona costera del Golfo de México es la importancia económica y el desarrollo de industrias (petroquímicas). Como consecuencia de lo anterior se han realizado estudios sobre los efectos en la vida acuática marina de dicha área y caracterización geoquímica de sedimentos a lo largo de la misma. Existe un amplio número de trabajos sobre todo en la parte norte del Golfo de México. Sin embargo entre los estudios realizados al sur del golfo, los cuales pertenecen al área adyacente del presente estudio, se pueden mencionar:

- 1) Estudio de los efectos ambientales en la abundancia del zooplancton (Vera-Mendoza & Salas de León, 2012).
- 2) Estudio de metales pesados en sedimentos del estuario Coatzacoalcos con el propósito de conocer el impacto de la industrialización a través de las descargas del río (Rosales Hoz & Carranza Edwards, 2005).
- 3) Estudio del efecto del aumento de descargas de contaminantes relacionadas al desarrollo urbano e industrial y sus consecuencias a la vida acuática marina (Ruiz Fernández et al., 2012).
- 4) Estudio de procedencia de sedimentos cercanos al Río Papaloapan en la plataforma continental al suroeste del Golfo de México a partir de un estudio mineralógico y geoquímico (Armstrong-Altrin 2015; Armstrong-Altrin et al., 2015).

Dentro del proyecto denominando “Servicios Interdisciplinarios de Facies Sedimentarias del Fondo Marino del Golfo de México para calibración de Modelos Sísmicos” cuyo acrónimo fue FACIES llevado a cabo por un grupo de investigadores del ICML, se colectaron una serie de 61 núcleos de sedimentos en el Golfo de México. Con base en las características morfológicas y batimétricas del fondo marino se clasificaron en 8 diferentes áreas. En el área 7 denominada Meseta de Depósito Deltaico Submarino se encuentran los núcleos 42 y 44 objeto del presente estudio.

Por medio de la información obtenida del Equipo de penetración acústica denominado Topaz localizado en el B/O Justo Sierra, fue posible conocer las características del piso oceánico en el área donde se localizaron los núcleos. En la Figura 1 podemos ver que el N42 se localiza en una planicie con pendiente baja mientras que el N44 se encuentra cercano a una elevación. La profundidad a la cual se recolectó el N42 fue 845 m y el N44 a 864 m (Comunicación Personal Ing. Arturo Ronquillo).

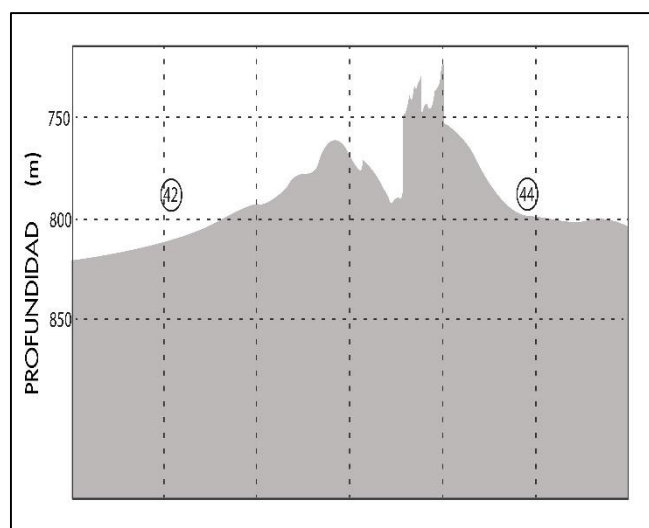


Figura 1. Topografía del área de estudio.

Por medio de un análisis de organismos foraminíferos (*Globorotalia menardii*) se encontró el límite Pleistoceno-Holoceno, en el caso del núcleo 42 se encuentra aproximadamente en el centímetro 250 que corresponde a una edad de 10,000 años mientras que para el núcleo 44 está más cercano al centímetro 200. Las edades de los núcleos indican 38 000 años AP (Machain-Castillo et al., 2012).

Adicionalmente se cuenta con difracción de rayos X, en donde se encontró presencia de piroxenos, illita, caolinita, detritos volcánicos, plagioclasas, cuarzo y calcita. En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos a partir de petrografía (Comunicación personal Dr. Arturo Carranza Edwards). A través de la medición de los elementos mayores y su correlación entre sí, se analizará la presencia de los mismos en nuestras muestras.

| Profundidad | N42 | N44 |
|--|--|---|
| 1 cm | Se encuentra 57% de biogénicos y 43% corresponde a terrígenos. Se contaron 56 granos de líticos sedimentarios y 6 granos de minerales pesados. | Se compone de 28% biogénicos y 72% terrígenos. Se contaron 21 granos de minerales pesados. Líticos volcánicos |
| 30 cm | Concentraciones altas en líticos volcánicos hematizados. Presencia de chapopote | Los minerales pesados que se observaron fueron piroxenos y anfíboles. |
| 118-122 cm | | 89 biogénicos |
| 270-273 cm (Pleistoceno) | 75% Biogénico y 25% terrígeno. | |
| En el N40 se observaron detritos volcánicos y plagioclasas | | |

Tabla 1. Datos petrográficos en los núcleos estudiados (Comunicación personal Dr. Arturo Carranza Edwards).

3.- HIPÓTESIS

- Debido a la proximidad de los núcleos estudiados a la desembocadura del Río Coatzacoalcos, las descargas del mismo han influido en la composición geoquímica de las muestras estudiadas reflejando concentraciones más altas de metales en los sedimentos recientes.
- Las características texturales y geoquímicas de los núcleos estudiados están en función de las particularidades del área de depósito de cada núcleo.

4.- OBJETIVO GENERAL

Evaluar por medio del uso de parámetros texturales (tamaño de grano, desviación estándar gráfica, asimetría y curtosis) y parámetros químicos (materia orgánica, carbonatos, elementos mayores: SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 y metales traza: Cu, Ni, Cr, Pb, V y Zn), las diferencias de composición, la intensidad de intemperismo y la influencia antrópica en dos núcleos de sedimento localizados en el talud a aproximadamente 95 km al noreste de la desembocadura del Río Coatzacoalcos en el Golfo de México.

4.1- OBJETIVOS PARTICULARES

- Analizar los parámetros texturales: tamaño de grano, desviación estándar gráfica, asimetría y curtosis los cuales permitirán inferir las características del área de depósito de cada núcleo.
- Cuantificar el contenido de materia orgánica para observar si existe una posible asociación con los metales traza.
- Determinación del contenido de carbonatos, para conocer la componente biogénica del sedimento y el efecto dilutor en los sedimentos terrígenos.
- Determinar la composición de elementos mayores (%) (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5) lo que permitirá inferir el tipo de sedimentos presente.
- Determinar la concentración de elementos traza (Cu, Ni, Cr, Pb, V y Zn) con el propósito de conocer las variaciones de depósito a través del tiempo.

5.- ÁREA DE ESTUDIO

Los núcleos 42 y 44 se localizan en la planicie abisal enfrente de la desembocadura del Río Coatzacoalcos (Fig. 2) a una distancia de aproximadamente 95 km. Los núcleos tienen una longitud de 502 (42) y 477 (44) cm respectivamente. En la Tabla 2 se proporciona la ubicación geográfica de cada uno de los núcleos así como la profundidad de la columna de agua a la que fueron colectados. De acuerdo al mapa de localización (Figura 1), el núcleo 42 se localiza en una zona de planicie lo que permite la libre circulación de las corrientes y sedimentos de fondo. El núcleo 44 se localiza junto a un levantamiento lo que obstruye la circulación de esta área. Adicionalmente, cabe mencionar que el núcleo 44 se encuentra más cercano a la costa que el núcleo 42.

Las diferencias en la ubicación geográfica de los dos núcleos estudiados sugieren una diferencia en sus características texturales (Figura 1). Se hizo un muestreo más detallado en los primeros 30 cm del núcleo con el objeto de evaluar el impacto de los procesos recientes ocurridos en el área.

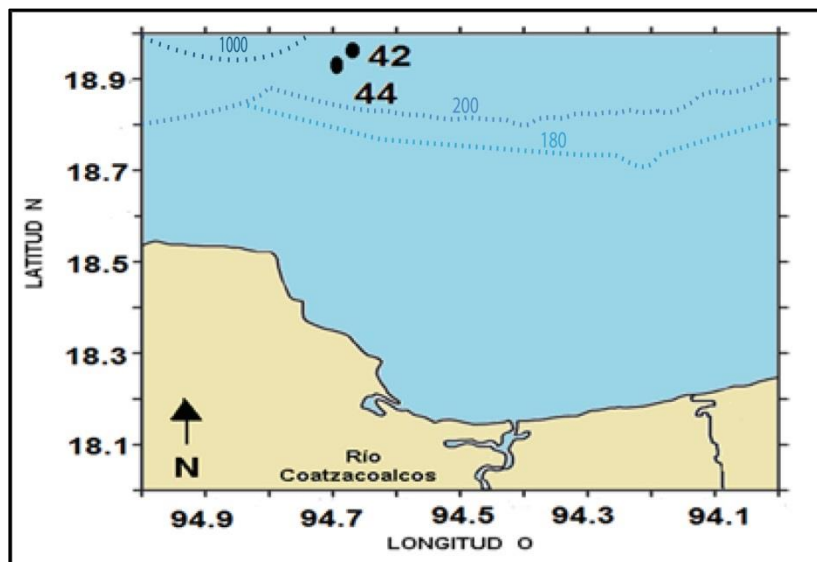


Figura 2. Ubicación de las muestras analizadas: Modificado de Vera-Mendoza (2003).

| | 42 | 44 |
|----------------------------------|-------|-------|
| Latitud (N) | 18.98 | 18.97 |
| Longitud (O) | 94.67 | 94.73 |
| Prof. (m) | 845 | 864 |
| Distancia de la costa (km) | 95.42 | 95.19 |
| Distancia entre los núcleos (mn) | | 5.61 |

Tabla 2. Localización de los núcleos 42 y 44.

Parte del objetivo general del presente estudio es evaluar la influencia antrópica en sedimentos localizados a aproximadamente 95 km al noreste del Río Coatzacoalcos, por lo tanto es importante conocer las características de la cuenca del río, el cuál tiene a su alrededor la zona mas industrializada de Veracruz y dicho río desemboca hacia el Golfo de México.

5.1 CUENCA DEL RÍO COATZACOALCOS

La cuenca del Río Coatzacoalcos tiene un área de 23,956 km², (Pronacose, 2014) que representa el 1.2% de la superficie total de la República Mexicana. Se localiza en la denominada llanura costera del Golfo de México, limitada al sur por La Sierra Madre del Sur y al norte por la Cuenca del Río Papaloapan. El río Coatzacoalcos inicia 4 kilómetros aguas abajo del poblado Suchilapa, Estado de Veracruz y finaliza en la desembocadura al Golfo de México en la barra de Coatzacoalcos, tiene una longitud de 325 km (NWCN, 2010). Los vientos dominantes en la ciudad de Coatzacoalcos son con dirección hacia el noreste de octubre a marzo provienen del norte, de abril a septiembre del este y sureste (SEMAR, 2012) con una velocidad promedio que va de 3.2 a 4.2 m/seg (Figura 3). Estas velocidades aumentan de mayo a septiembre en un intervalo de 4.5 a 5.5 m/seg, mientras que de octubre a febrero alcanza una velocidad de 6.3 m/seg.

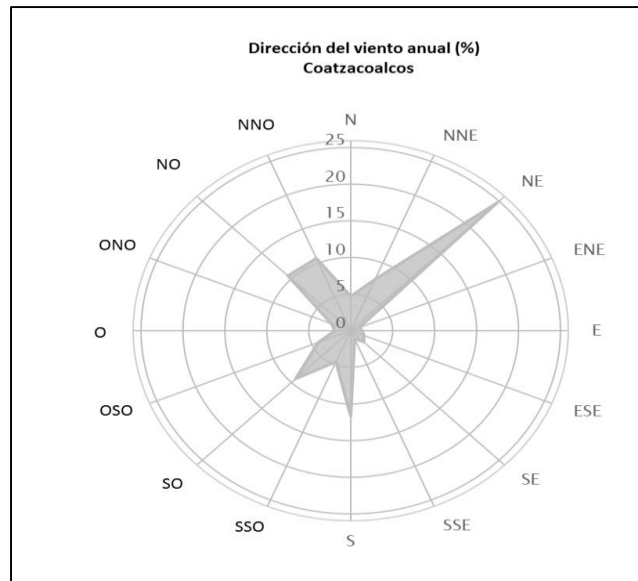


Figura 3. Dirección del viento en la ciudad de Coatzacoalcos.

En la cuenca se desarrollan actividades agro comerciales (Acayucan, Tuxtepec, San Andrés Tuxtla, Villa Isla), cultivo y desarrollo de pastos inducidos. Actividad industrial portuaria, extracción del petróleo y desarrollo de la industria petrolera (Coatzacoalcos-Minatitlán, Salina Cruz). Las principales industrias que se localizan en esta área son Cydsa: la cual inicio su producción de cloro en 1968, Cloro de Tehuantepec a través de Mexichem, la refinería General Lázaro Cárdenas, instalada en Minatitlán, Veracruz, que empezó a operar en 1906. En 2011 se completó su reconfiguración, con lo que su capacidad de producción de petróleo crudo aumentó. El complejo petroquímico de Pajaritos tuvo un funcionamiento en el período de 1995-2002. Además se localizan industrias químicas privadas establecidas en los tres complejos petroquímicos (Pajaritos, Cangrejera y Morelos).

5.2 GEOLOGÍA ADYACENTE AL ÁREA DE ESTUDIO

Toda el área que forma parte del río (Cuenca del Río Coatzacoalcos) y los alrededores presentan rocas sedimentarias marinas del Mioceno y Cuaternario las cuales están constituidas por calizas, rocas clásticas (areniscas y limonitas) y rocas ígneas volcánicas del cuaternario, por ejemplo basaltos, como se observa en la Figura 4. (SEMARNAT, 2010). Las características del área son variadas, en la región del norte se encuentra un área montañosa que pertenece a la región de los Tuxtlas, Veracruz, el volcán de San Martín y la Sierra de Santa Martha de diversos tipos de material basáltico.

En la planicie costera y plataforma marina adyacente de Veracruz los sedimentos alcanzan espesores hasta 12 km, donde se encuentran depósitos de cuarzo. Parte de estos sedimentos pueden ser transportados por las corrientes superficiales (Aguayo & Trápaga, 2001).

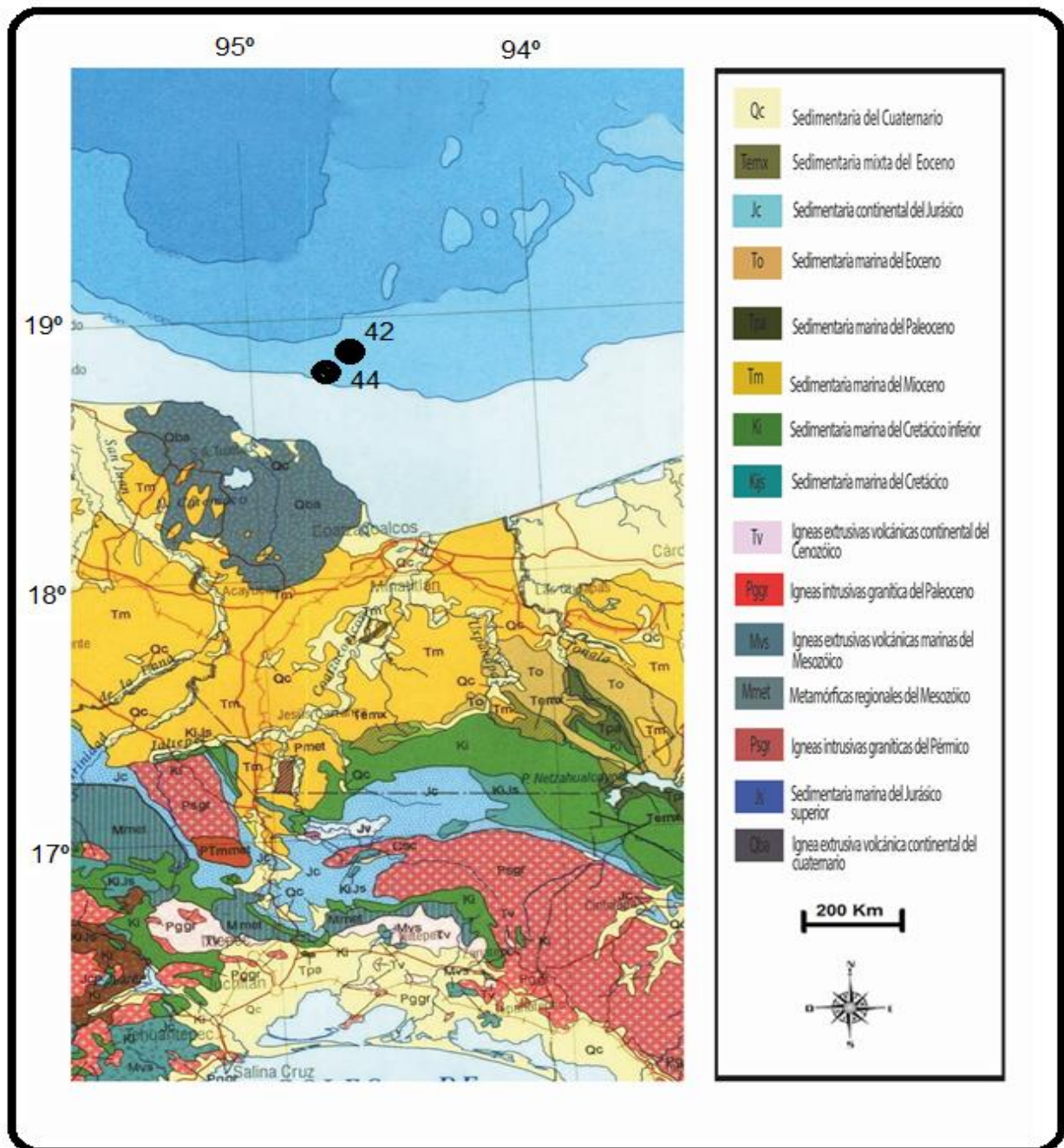


Figura 4. Mapa geológico adyacente al área de estudio (Fuente: Carta Geológica, Dirección General de Geografía del Territorio Nacional; escala 1:1,000,000)

5.3 CORRIENTES SUPERFICIALES EN LA ZONA COSTERA

Los sedimentos del mar profundo están determinados por las descargas fluviales y las corrientes presentes (Antoine, 1972). Las corrientes costeras predominantes se muestran en la Figura 5 y la ubicación de los núcleos estudiados se representa por un círculo negro donde se puede observar la influencia de dichas corrientes (Zavala-Hidalgo et al., 2003). El comportamiento que presenta en invierno tiene una velocidad media de 1.48 km/h con dirección hacia el sur y sureste, mientras que en verano la velocidad es de 1.11 km/h hacia el noroeste.

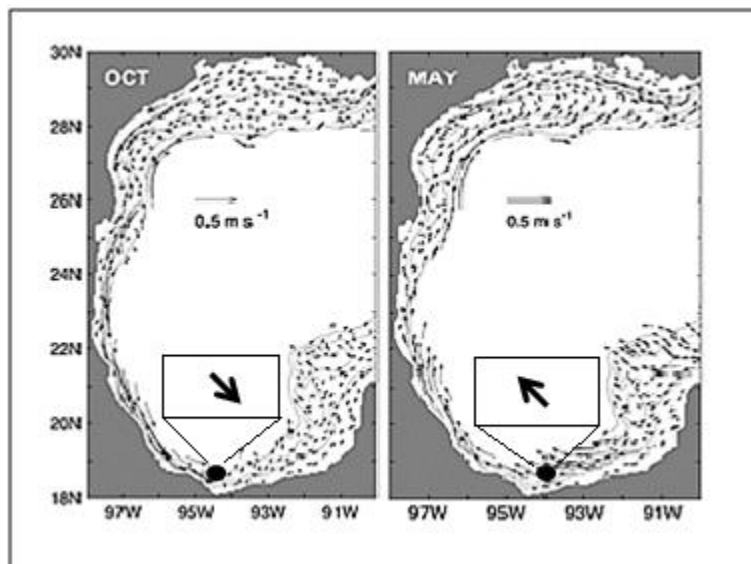


Figura 5. Corrientes costeras predominantes durante invierno y verano en el Golfo de México (Fuente: Zavala-Hidalgo et al., 2003).

6.- MATERIAL Y MÉTODOS

Las muestras se colectaron en Junio del 2011 por medio del buque oceanográfico Justo Sierra, usando un nucleador de gravedad, permitiendo la colecta de núcleos con longitudes de hasta 6m. Las muestras se mantuvieron en refrigeración a 4°C hasta su análisis.

En el laboratorio ambos núcleos fueron cortados cada 2 cm los primeros 30 cm, posterior a ello los cortes se realizaron cada 30cm. En cada núcleo se estudiaron un total de 29 muestras, correspondientes a los intervalos de profundidad dados en la Tabla 3. Las muestras se colocaron en bolsas de plástico y fueron guardadas en refrigeración hasta su análisis.

Las muestras de sedimento se dividieron en dos partes una para análisis químicos y otra para análisis texturales. Las muestras para los análisis químicos se secaron a 55 °C por 48 hrs y se molieron en un molino SPEX 8000 mil usando un vial de tungsteno-carbide.

| Intervalos de profundidad analizados (cm) | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| 2 | 4 | 5 | 8 | 10 | 12 | |
| 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | |
| 25 | 29 | 59 | 89 | 119 | 149 | |
| 179 | 209 | 239 | 269 | 299 | 329 | |
| 359 | 389 | 419 | 449 | 479 | | |

Tabla 3. Muestras analizadas para los núcleos 42 y 44.

6.1 ANÁLISIS TEXTURALES

La muestra de sedimento original fue analizada en un equipo de difracción laser BECKMAN COULTER modelo LS230, con un rango de 0.04-2000 µm en el Laboratorio de sedimentología del ICMYL).

El procedimiento empleado fue el siguiente:

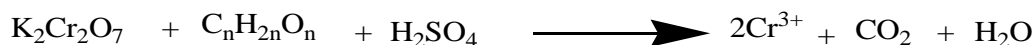
- A. Colocar aproximadamente 4 g de muestra en un vaso de precipitados con 25 ml de H₂O₂ al 5% (para oxidar la materia orgánica presente) dejar reposar 2 días.
- B. Añadir 50 ml de solución dispersante de hexametáfosfato de sodio (100 g/l) y dejar reposar por 24 hrs. Después de este tiempo se agita y se toma una porción de la solución para el análisis.
- C. Se coloca la muestra en el analizador.

Con ello se obtuvieron los parámetros propuestos por Folk, (1974); los cuáles son tamaño gráfico promedio (Mzφ), desviación estándar gráfica (σφ) la cual nos dará información acerca de la clasificación del sedimento, Sk₁ se refiere a la asimetría (tendencia a tamaños finos o gruesos) y K_G es la curtosis donde se observará la varianza de las muestras.

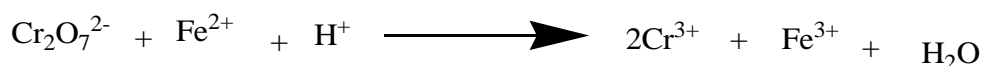
6.2 DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

Este procedimiento diferencia el carbono orgánico de otras fuentes de carbono inorgánico, a través de la reacción de oxidación de la materia orgánica presente en el sedimento. Los reactivos utilizados son dicromato de potasio y ácido sulfúrico.

La reacción inicial es la siguiente:



Posteriormente el exceso de dicromato se tituló con sulfato ferroso amoniacal 0.5 N (FeSO₄NH₄)



Este método considera la presencia de sustancias inorgánicas, debido a que éstas pueden reaccionar con el dicromato. Los efectos de estas interferencias fueron evaluados por Walkley (1947) y Okuda (1964) (citados por Rosales, 1980). Por ello se utilizó ácido fosfórico y fluoruro de sodio para la eliminación de iones de cloro, hierro y óxidos de manganeso. En trabajos recientes Loring y Rantala (1992) añadieron a este procedimiento la utilización de ácido sulfúrico concentrado para eliminar la interferencia de iones cloruro.

El procedimiento es el siguiente

- Pesar entre 0.2 y 0.5 g de sedimento seco y molido. Colocar la muestra en un matraz Erlenmeyer de 500 mL.
- Adicionar 10 mL de una solución de dicromato de potasio 1N y mezclar.
- Agregar 20 ml de H_2SO_4 (2.5 g por cada litro de H_2SO_4 concentrado)
- Dejar la muestra durante 30 minutos y diluir a 200 mL con agua destilada.
- Añadir 10 ml de H_3PO_4 al 85%, 0.5 g de NaF y 15 gotas de difenilamina como indicador.
- Titular la disolución con sulfato ferroso amoniacal 0.5 N, en el punto de equivalencia (cantidad de mililitros necesarios) vira a verde brillante.
- Correr un blanco de referencia, siguiendo los pasos anteriores pero sin sedimento.

Posteriormente para realizar los cálculos de materia orgánica se utiliza la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Materia Orgánica} = \frac{[(10)(1N)(0.003)(100)]}{W} \left[1 - \frac{T}{S} \right]$$

Dónde:

T- ml de FeSO_4NH_4 utilizados en la titulación de la muestra

S- ml de FeSO_4NH_4 utilizados en la titulación del blanco

W- peso de la muestra (g)

0.003- peso en meq del carbono

1N- concentración de la solución de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

10- alícuota de la solución de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

6.2.1 Estandarización de materia orgánica

Se evaluó la exactitud y precisión del método pesando 10 veces 10 mg de dextrosa anhidra $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ se consideró el valor teórico reportado para 10 mg es 39.99% de carbono orgánico. Para la precisión se utilizó una muestra del sistema arrecifal veracruzano (SAV M5), siguiendo la misma metodología para las muestras (Tabla 4).

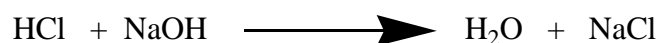
| | |
|-------------------------------------|--------|
| Valor promedio | 39.27% |
| Valor esperado | 39.99% |
| % de recuperación | 98.2% |
| Intervalo de confianza (95%) | ±0.3 |
| Desviación estándar | 0.02 |
| Coficiente de variación | 0.03% |

Tabla 4. Estandarización del carbono orgánico, n=10

6.3 DETERMINACIÓN DE CARBONATO DE CALCIO

El método empleado es a partir de una titulación por retroceso. A la muestra de sedimento se le agrega un determinado volumen en exceso de ácido clorhídrico (HCl) de concentración conocida y el ácido que no reaccionó con los carbonatos se titula con una solución de hidróxido de sodio (Hesse, 1971).

Reacciones que se llevan a cabo:



Procedimiento

- Pesar 0.2 g de sedimento (seco y molido).
- Añadir 50 ml de HCl 0.1 N (previamente titulado con carbonato de sodio como patrón primario) y calentar a ebullición.
- Posteriormente titular con una solución de NaOH 0.3 N (titulado con biftalato de sodio) usando como indicador azul de bromotimol, el cual presenta un vire de 6.0-8.6 donde la solución cambia de amarillo a azul.
- Correr un blanco en las mismas condiciones de las muestras.

Para reportar la cantidad de carbonatos en la muestra se sigue el siguiente tratamiento de datos

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

6.3.1 ESTANDARIZACIÓN DEL MÉTODO

Se evaluó la exactitud del método pesando 10 veces 0.1 g de carbonato de calcio previamente secado a 100°C durante una hora, siguiendo la misma metodología para las muestras. Se consideró el calculo del valor teórico igual a 100% (Tabla 5).

| | |
|----------------------------------|--------|
| Valor promedio | 97.6% |
| Valor esperado | 39.99% |
| % de recuperación | 97.6% |
| Intervalo de confianza | ±0.3 |
| Desviación estándar | 1.07 |
| Coefficiente de variación | 1.11% |

Tabla 5. Estandarización de carbonatos, n=10.

6.4 DETERMINACIÓN DE ELEMENTOS MAYORES

La espectrometría de fluorescencia de rayos X se basa en las transiciones de electrones de los átomos que se produce cuando una radiación electromagnética de cierta energía incide con el material en estudio.

Los métodos de fluorescencia de rayos X son muy utilizados para la determinación cualitativa y cuantitativa de todos los elementos de la tabla periódica posteriores al Sodio (Skoog, 2005).

Esta técnica nos brinda algunas ventajas: la muestra no sufre daño durante el análisis, determinación rápida y multi-elemento, la cantidad que se necesita es de 0.4 g y el límite de detección que presenta es de 0.01%, en la Tabla 6 se muestran los estándares a partir de los cuales se construyó la curva de cuantificación y sus intervalos de concentración.

Los elementos que se determinaron son los siguientes: SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Química Acuática en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM. Con el espectrómetro de fluorescencia de rayos X (S2 RANGER, de la marca BRUKER).

| Oxido | Concentración Mínima (%) | Concentración Máxima (%) |
|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| SiO ₂ | 0.40 | 100.0 |
| TiO ₂ | 0.01 | 8.0 |
| Al ₂ O ₃ | 0.04 | 90.0 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.01 | 40.0 |
| Mn ₂ O ₃ | 0.01 | 0.8 |
| MgO | 0.02 | 100.00 |
| CaO | 0.02 | 100.0 |
| Na ₂ O | 0.02 | 11.00 |
| K ₂ O | 0.05 | 15.0 |
| P ₂ O ₅ | 0.01 | 20.0 |

Tabla 6. Rango de concentraciones para la curva de calibración.

El procedimiento que se llevó a cabo fue el siguiente

Calcinación del sedimento

- 1.- Los crisoles se secaron a 250 °C durante 2 horas, hasta llevarlos a peso constante. Se anotó el peso del crisol.
- 2.- Se colocó 1 g de sedimento en un crisol previamente pesado. Enseguida se llevó a una mufla durante 2 horas a una temperatura de 950°C.
- 3.- Posteriormente las muestras se colocaron en el desecador durante 1 hr para evitar que la muestra se hidratara. Después cada muestra se pesó con ayuda de una balanza analítica.
- 4.- Finalmente se obtuvo la pérdida de calcinación para cada muestra con la siguiente fórmula.

$$\text{Pérdida por calcinación} = p_1 - p_2$$

Donde p_1 es el peso del crisol y la muestra antes de calcinar y p_2 es el peso de la muestra con el crisol después de calcinar.

5.- Del sedimento calcinado se tomaron 0.4 g y se mezcló con 5 g de $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ en un crisol de platino con ayuda de un agitador.

6.- El crisol se colocó en la perladora, en este equipo se indicaron las siguientes condiciones:

| | Estación 1 | Estación 2 |
|---------------------|--------------------|--------------------|
| Pre calentamiento | 180 s | 180 s |
| Gas | 800 | 800 |
| Oxígeno | 285 | 285 |
| Aire | 1000 | 1000 |
| Prefusión | 240 s | 240 s |
| Gas | 800 | 800 |
| Oxígeno | 285 | 285 |
| Aire | 1000 | 1000 |
| Fusión principal 1 | 120 s | 120 s |
| Agitación dentro | 10 s | 10 s |
| Agitación por fuera | 10 s | 10 s |
| Gas | 800 | 800 |
| Oxígeno | 285 | 285 |
| Aire | 1000 | 1000 |
| Fusión principal 2 | 240 s | 240 s |
| Agitación dentro | 10 s | 10 s |
| Agitación por fuera | 10 s | 10 s |
| Gas | 800 | 800 |
| Oxígeno | 285 | 285 |
| Aire | 1000 | 1000 |
| Vertido | 7 s | 7 s |
| Gas | 0 | 0 |
| Oxígeno | 0 | 0 |
| Aire | 0 | 0 |
| Enfriamiento 1 | 60 s / air 60 | 60 s / air 60 |
| Enfriamiento 2 | 180 s/ air 500 | 180 s/ air 500 |
| Enfriamiento 3 | 60 s / air 1000 | 60 s / air 1000 |
| Tiempo total | 18 min. | 18 min. |

Las muestras fueron fundidas y enfriadas, obteniéndose perlas de vidrio (Lozano Santa Cruz et al., 1995). Las estaciones 1 y 2 se refieren al lugar en donde se ingresó la muestra y su duplicado respectivamente.

7.- Una vez obtenidas todas las perlas de vidrio, se etiquetaron y se colocaron en un desecador para posteriormente ser medidas en el equipo de Fluorescencia de Rayos X.

6.4.1 ESTANDARIZACIÓN DEL MÉTODO

Para la precisión del método se utilizó la muestra M5 de los cruceros SAV que se realizaron en el sistema arrecifal veracruzano (SAV) debido a que es semejante a las muestras del presente estudio (sedimento de mar profundo). Se procesó diez veces la misma muestra usando el método antes mencionado para poseer la capacidad del equipo en dar el mismo resultado en mediciones diferentes en las mismas condiciones. Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 7.

| (%) | M-5 1 | M-5 2 | M-5 3 | M-5 4 | M-5 5 | M-5 6 | M-5 7 | M-5 8 | M-5 9 | M-5 10 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| SiO ₂ | 55.03 | 54.72 | 53.88 | 55.06 | 54.91 | 54.57 | 55.10 | 54.60 | 54.59 | 54.45 |
| TiO ₂ | 0.68 | 0.67 | 0.67 | 0.69 | 0.67 | 0.63 | 0.67 | 0.65 | 0.66 | 0.68 |
| Al ₂ O ₃ | 11.11 | 10.95 | 10.85 | 11.07 | 11.10 | 11.01 | 11.11 | 10.98 | 11.09 | 11.04 |
| Fe ₂ O ₃ | 4.40 | 4.40 | 4.30 | 4.40 | 4.40 | 4.38 | 4.36 | 4.39 | 4.40 | 4.41 |
| MnO | 0.05 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.06 |
| MgO | 1.59 | 1.60 | 1.58 | 1.54 | 1.61 | 1.58 | 1.63 | 1.66 | 1.60 | 1.61 |
| CaO | 10.36 | 10.47 | 9.91 | 10.35 | 10.49 | 10.59 | 10.37 | 10.50 | 10.52 | 10.44 |
| Na ₂ O | 2.38 | 2.24 | 2.12 | 2.29 | 2.33 | 2.20 | 2.30 | 2.10 | 2.22 | 2.15 |
| K ₂ O | 1.81 | 1.68 | 1.63 | 1.72 | 1.58 | 1.72 | 1.71 | 1.68 | 1.79 | 1.86 |
| P ₂ O ₅ | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.19 | 0.15 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 |
| Total | 87.93 | 87.30 | 85.50 | 87.71 | 87.72 | 87.26 | 87.89 | 87.16 | 87.48 | 87.26 |

Tabla 7. Resultados de la precisión utilizando el método de FRX.

Para cada elemento se calculó la media, el valor mínimo, el valor máximo, la desviación estándar y varianza (Tabla 8).

| | Valor inferior (%) | Media (%) | Valor superior (%) | Desviación Estándar | Varianza |
|--------------------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------|
| SiO ₂ | 53.58 | 54.69 | 55.10 | 0.37 | 0.13 |
| TiO ₂ | 0.63 | 0.66 | 0.69 | 0.02 | 0.00 |
| Al ₂ O ₃ | 10.85 | 11.03 | 11.11 | 0.08 | 0.01 |
| Fe ₂ O ₃ | 4.30 | 4.38 | 4.40 | 0.03 | 0.00 |
| MnO | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.00 | 0.00 |
| MgO | 1.54 | 1.60 | 1.66 | 0.03 | 0.00 |
| CaO | 9.91 | 10.40 | 10.59 | 0.19 | 0.03 |
| Na ₂ O | 2.10 | 2.23 | 2.38 | 0.09 | 0.01 |
| K ₂ O | 1.58 | 1.72 | 1.86 | 0.08 | 0.01 |
| P ₂ O ₅ | 0.15 | 0.16 | 0.16 | 0.01 | 0.00 |
| Total | 85.50 | 87.32 | 87.93 | 0.70 | 0.49 |

Tabla 8. Valores estadísticos de la precisión.

También la exactitud del método se evaluó con el estándar MESS-3 para conocer la capacidad del equipo de aproximarse al valor de la magnitud real. Se obtuvo $100 \pm 2\%$ para todos los óxidos excepto Al₂O₃ con $97.17 \pm 4\%$, MgO con $96.98 \pm 12\%$ y P₂O₅ con $96.3 \pm 2.0\%$ (Tabla 9).

| Elemento | Concentración real (%) | Concentración obtenida (%) | Desviación estándar | Coficiente de variación | % Recobro |
|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|
| SiO ₂ | 57.82 | 56.28 | 1.07 | 0.02 | 97.33 |
| TiO ₂ | 0.73 | 0.72 | 0.03 | 0.02 | 98.63 |
| Al ₂ O ₃ | 16.24 | 15.78 | 0.64 | 0.04 | 97.17 |
| Fe ₂ O ₃ | 6.00 | 6.04 | 0.08 | 0.01 | 100.7 |
| MnO | 0.04 | 0.04 | 0.00 | 0.02 | 100.0 |
| MgO | 2.65 | 2.57 | 0.30 | 0.12 | 96.9 |
| CaO | 2.05 | 2.05 | 0.03 | 0.02 | 100.0 |
| Na ₂ O | 2.16 | 2.11 | 0.04 | 0.02 | 97.7 |
| K ₂ O | 3.13 | 3.06 | 0.06 | 0.02 | 97.8 |
| P ₂ O ₅ | 0.27 | 0.26 | 0.00 | 0.02 | 96.3 |

Tabla 9. Exactitud para cada elemento por el método de FRX.

6.5 DETERMINACIÓN DE METALES TRAZA

El principio de la técnica analítica de espectroscopia por absorción atómica consta de medir un elemento en un medio gaseoso a elevada temperatura. Por lo que sus átomos son capaces de absorber radiación de las longitudes de onda características. De este modo el espectro de absorción atómica característico será el resultado de la transición del estado fundamental a niveles superiores. La absorción atómica puede realizarse por atomización de llama o por horno de grafito. El horno de grafito dispone de mayor tiempo y una forma más eficiente de transferir energía térmica a la muestra. Además los rangos de detección son de ppb (partes por billón) presentando una mayor sensibilidad comparado con la técnica por llama (Skoog, 2005).

Algunas de las ventajas que presenta esta técnica es que puede analizar hasta 82 elementos de forma directa, sus límites de detección son ppm o ppb (en horno de grafito), la manipulación de la muestra es sencilla y su costo es razonable. Sin embargo algunas desventajas son que las muestras deben encontrarse en disolución, solo puede analizarse un elemento a la vez y sus curvas de calibración sólo son lineales en un corto rango de concentración (Harris, 2007).

Para la medición por absorción atómica para cada elemento, la muestra debe tener un tratamiento preliminar. Este se describe a continuación.

Digestión ácida

1.- Se colocó 0.1g de sedimento en un tubo para digestión ácida con 3ml de H₂O, 2.5ml de HNO₃, 2ml de HF y 0.5ml de HCl en el horno de microondas MARSXPRESS bajo las siguientes condiciones:

| | |
|------------------|-----|
| Potencia (%) | 80 |
| Temperatura (°C) | 180 |
| Tiempo (min) | 40 |
| TAP (min) | 30 |

Programa para la digestión de sedimentos. La potencia del microondas es de 1600 watts, en la tabla se indica el porcentaje de la potencia total y TAP es el tiempo que permanece a la temperatura indicada

2.- Una vez concluida la digestión ácida verter el líquido obtenido en un matraz con 0.5 g H₃BO₃ y aforar a 10ml con H₂O bidestilada.

3.-Posteriormente vaciar la muestra a un tubo de NALGENE para centrifugar a 600 rpm durante 5 minutos.

4.- Decantar la muestra y transferirla a un frasco de polietileno limpio, etiquetar y refrigerar hasta su análisis.

5.- Las concentraciones de Cu, Ni, Pb, Cr, V y Zn se obtuvieron a través de las curvas de calibración elaboradas con estándares certificados de cada metal.

En la Tabla 10 se muestran los metales medidos por horno de grafito, las condiciones en el espectrofotómetro y las cantidades de la muestra utilizada.

| | Cu | Ni | Pb | Cr | V |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------|
| Longitud de onda (nm) | 324.8 | 232 | 217 | 357.9 | 318.5 |
| Corriente de lámpara (mA) | 10 | | | | |
| Abertura | 0.5 | 0.2 | 0.5 | 0.5 | 0.2 |
| Tipo de medición | | | Área de pico | | |
| Corrector de fondo | | | Lámpara de deuterio | | |
| Modificador | Pd | s/m | Mg(NO ₃) ₂ | Mg(NO ₃) ₂ | s/m |
| Vol. | 20 | | 10 | 10 | |
| Modificador (μl) | | | | | |
| Volumen de la muestra (μl) | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |

Tabla 10. Condiciones del espectrofotómetro de absorción atómica por horno de grafito para elementos traza.

Las muestras presentaron concentraciones de zinc superiores a ppb. Su medición se realizó por el método de flama y en la Tabla 11 se muestran las condiciones del espectrofotómetro.

| Zn | |
|------------------------------|--------------|
| Longitud de onda (nm) | 213.9 |
| Corriente de lámpara (mA) | 6 |
| Abertura | 0.2 |
| Tipo de medición | Área de pico |
| Flujo de combustible (L/min) | 1 |
| Altura del mechero (mm) | 8.4 |

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

Una vez que el equipo toma la muestra es necesario que se encuentre en forma gaseosa. En la Tabla 12 se muestra las temperaturas y tiempos para obtener la concentración óptima.

| | Paso | Temperatura (°C) | Tiempo (s) | Rampa (°C/s) | Flujo (L/min) | Tipo de gas |
|---------|-------------|-------------------------|-------------------|---------------------|----------------------|--------------------|
| Cobre | 1 | 100 | 30 | 10 | 0.2 | Inerte |
| | 2 | 850 | 20 | 150 | 0.2 | Alternativo |
| | 3 | 2200 | 3.0 | 0 | Apagado | Inerte |
| | 4 | 2600 | 3.5 | 0 | 0.2 | Inerte |
| Níquel | 1 | 100 | 30 | 10 | 0.2 | Inerte |
| | 2 | 1000 | 20 | 150 | 0.2 | Inerte |
| | 3 | 2500 | 3.0 | 0 | Apagado | Inerte |
| | 4 | 2600 | 3.0 | 0 | 0.2 | Inerte |
| Plomo | 1 | 100 | 30 | 10 | 0.2 | Inerte |
| | 2 | 800 | 20 | 150 | 0.2 | Inerte |
| | 3 | 1200 | 3.0 | 0 | Apagado | Inerte |
| | 4 | 2500 | 3.0 | 0 | 0.2 | Inerte |
| Cromo | 1 | 100 | 30 | 10 | 0.2 | Inerte |
| | 2 | 1200 | 20 | 150 | 0.2 | Inerte |
| | 3 | 2500 | 3.0 | 0 | Apagado | Inerte |
| | 4 | 2600 | 3.0 | 0 | 0.2 | Inerte |
| Vanadio | 1 | 100 | 30 | 10 | 0.2 | Inerte |
| | 2 | 1200 | 20 | 150 | 0.2 | Inerte |
| | 3 | 2750 | 3.0 | 0 | Apagado | Inerte |
| | 4 | 2850 | 3.0 | 0 | 0.2 | Inerte |

Tabla 12. Programas para determinación de metales en horno de grafito.

6.5.1 ESTANDARIZACIÓN DEL MÉTODO

Las concentraciones de los elementos traza fueron medidas por absorción atómica, utilizando el estándar certificado MESS-3 para determinar exactitud. El porcentaje de recuperación se muestra en la Tabla 13.

| Elemento | Estándar certificado | % de recuperación | Tipo de digestión | L.D. (ppm) |
|----------|----------------------|-------------------|-------------------|------------|
| Cu | MESS-3 | 102 | CEM | 3.03 |
| Ni | MESS-3 | 100 | CEM | 2.17 |
| Pb | MESS-3 | 103.2 | CEM | 0.95 |
| Cr | MESS-3 | 100 | CEM | 2.39 |
| V | MESS-3 | 103.5 | CEM | 14.44 |
| Zn | MESS-3 | 97.0 | CEM | 0.03 |

Tabla 13. Recobro y límite de detección para metales traza.

Como ya se explicó anteriormente queremos conocer la capacidad del equipo (Thermo Electrón Corporation) de acercarse al valor de la magnitud real (Tabla 14) y dar el mismo resultado en mediciones diferentes sin cambiar las condiciones empleadas (Tabla 15) con el fin de validar los datos medidos en el presente trabajo.

| Elemento | Concentración real (ppm) | Concentración obtenida (ppm) | Desviación estándar | Coficiente de variación |
|----------|--------------------------|------------------------------|---------------------|-------------------------|
| Cu | 33.9±1.6 | 34.57 | 0.84 | 0.02 |
| Ni | 46.9±2.2 | 46.97 | 0.83 | 0.02 |
| Pb | 21.1±0.7 | 22.55 | 1.05 | 0.05 |
| Cr | 105±4 | 104.57 | 3.32 | 0.03 |
| V | 243±10 | 251.58 | 10.6 | 0.04 |
| Zn | 159±8 | 154.22 | 2.02 | 0.01 |

Tabla 14. Exactitud del método por Absorción Atómica para cada metal.

| Elemento | Concentración obtenida (ppm) | Desviación estándar | Coefficiente de variación | % Recobro |
|-----------------|-------------------------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| Cu | 11.63 | 1.27 | 0.12 | 102.0 |
| Ni | 18.32 | 0.46 | 0.02 | 100.0 |
| Pb | 14.57 | 0.44 | 0.03 | 101.9 |
| Cr | 43.93 | 0.72 | 0.02 | 99.6 |
| V | 53.64 | 0.61 | 0.01 | 103.0 |
| Zn | 81.96 | 1.68 | 0.02 | 97.5 |

Tabla 15. Precisión del método por Absorción Atómica para cada metal.

La guía de validación de métodos analíticos indica que el intervalo de porcentaje de recobro aceptable está entre 97 y 103 % (Verma S.P., 2005).

7.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Parámetros Texturales

Como se mencionó en el apartado de la introducción. Existen diferencias en la ubicación geográfica de los dos núcleos estudiados por lo cual se obtuvieron diferencias en los parámetros medidos. El muestreo más detallado se encuentra en los primeros 30 cm del núcleo con el objeto de evaluar el impacto de los procesos recientes ocurridos en el área. Debido a lo anterior cada gráfico presentado tiene un corte en el eje “y”, posterior al corte las muestras analizadas son cada 30 cm. A los núcleos se les etiquetará como N42 y N44.

Primero se analizarán los parámetros texturales, el contenido de arenas se asocia a condiciones de depósito de mayor energía. El N42 localizado en una zona de planicie muestra un contenido alto de arena a 18 cm de profundidad (14.30 %) que sugiere un evento reciente de alta energía. El promedio en el contenido de arena del N42 en los primeros 30 cm fue de 1.65 % con una desviación estándar de 4.20 %. Referente al N44 se obtuvo un promedio 0.14 % con una desviación estándar de 0.22 % en los primeros 30 cm que sugieren condiciones de depósito diferentes. En la parte profunda de N42 los valores de arena son bajos. El promedio de la parte profunda es de 0.13 %, no se observan grandes diferencias entre cada muestra (D.St. 0.29%). En el núcleo 44 por su localización en una zona protegida presentó un promedio de 0.31 % de arenas con D.St de 0.82 %. En ambos núcleos predominan los sedimentos finos (Tabla 16). En el N44 localizado más cerca de la costa hay un ligero predominio de material más grueso, con un promedio de 55.26 % de limos y 44.46 % de arcillas. Respecto al N42 localizado más alejado de la costa que presenta un promedio de 53.87% de limos y 45.58 % de arcillas.

Tabla 16. Parámetros Texturales (%) de los núcleos 42 y 44.

| Intervalo (cm) | Arena N42 | Limo N42 | Arcilla N42 | Arena N44 | Limo N44 | Arcilla N44 |
|-------------------|--------------|-------------|----------------|--------------|-------------|----------------|
| 2 | 0.05 | 48.50 | 51.45 | 0.00 | 48.66 | 51.34 |
| 4 | 0.00 | 51.95 | 48.05 | 0.00 | 49.64 | 60.36 |
| 5 | 0.06 | 51.09 | 48.85 | 0.00 | 50.95 | 49.03 |
| 8 | 0.00 | 49.91 | 50.09 | 0.00 | 48.95 | 51.05 |
| 10 | 0.05 | 49.98 | 59.97 | 0.00 | 49.04 | 50.96 |
| 12 | 0.04 | 48.77 | 51.19 | 0.48 | 55.63 | 43.89 |
| 14 | 0.26 | 53.40 | 46.34 | 0.00 | 50.41 | 49.59 |
| 16 | 4.71 | 61.50 | 33.79 | 0.00 | 50.47 | 49.53 |
| 18 | 14.30 | 60.96 | 24.74 | 0.00 | 49.89 | 50.11 |
| 20 | 0.22 | 53.25 | 46.53 | 1.23 | 54.53 | 44.25 |
| 22 | 0.17 | 51.07 | 48.76 | 0.51 | 56.52 | 42.97 |
| 24 | 0.15 | 51.93 | 47.92 | 0.47 | 55.91 | 43.62 |
| 25 | 0.04 | 50.14 | 49.82 | 0.00 | 47.44 | 52.56 |
| 29 | 0.05 | 52.68 | 47.27 | 0.00 | 46.26 | 53.74 |
| 59 | 0.00 | 50.10 | 49.90 | 0.00 | 48.16 | 51.84 |
| 89 | 0.07 | 49.03 | 50.90 | 0.05 | 46.68 | 53.27 |
| 119 | 0.00 | 48.48 | 51.52 | 0.00 | 46.94 | 53.06 |
| 149 | 0.10 | 46.99 | 52.91 | 0.00 | 46.65 | 53.35 |
| 179 | 0.07 | 46.52 | 53.41 | 0.00 | 45.37 | 54.63 |
| 209 | 0.00 | 48.58 | 51.42 | 14.66 | 59.21 | 26.13 |
| 239 | 0.31 | 52.99 | 46.70 | 0.40 | 56.74 | 42.86 |
| 269 | 0.85 | 52.51 | 46.64 | 4.42 | 59.60 | 35.99 |
| 299 | 0.12 | 48.91 | 50.97 | 0.06 | 50.44 | 49.50 |
| 329 | 0.08 | 49.49 | 50.43 | 2.23 | 57.73 | 40.04 |
| 359 | 0.06 | 51.32 | 48.62 | 0.29 | 57.46 | 42.25 |
| 389 | 0.22 | 55.29 | 44.49 | 2.22 | 61.57 | 36.21 |
| 419 | 0.75 | 57.54 | 41.71 | 0.43 | 57.64 | 41.93 |
| 449 | 0.12 | 54.25 | 45.63 | 0.26 | 54.71 | 45.03 |
| 479 | 0.00 | 51.47 | 48.53 | 0.37 | 57.38 | 42.25 |
| Prom | 0.79 | 51.68 | 47.88 | 0.97 | 52.43 | 46.94 |
| D.St. | 2.74 | 3.60 | 6.23 | 2.80 | 4.81 | 7.06 |
| Min | 0.00 | 46.52 | 24.74 | 0.00 | 45.37 | 26.13 |
| Max. | 14.30 | 61.50 | 59.97 | 14.66 | 61.57 | 60.36 |

De manera esquemática se muestra el perfil textural en la figura 6a) para el N42 y 6b) para el N44, la escala en el eje x inferior indica el porcentaje de arenas mientras que el superior describe el porcentaje de limos y arcillas.

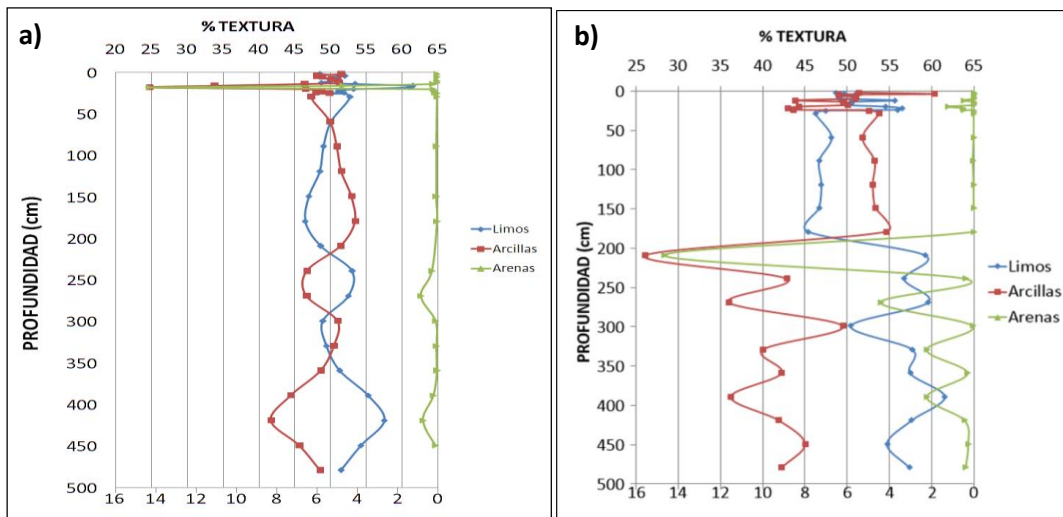


Figura 6. Textura de núcleos a) N42 y b) N44
(El contenido de arena se observa con la escala del eje x inferior).

Las concentraciones de arenas son muy bajas en el N42 (Figura 6a) debido posiblemente al relieve suave donde se perforó dicho núcleo, generalmente en pendientes suaves los sedimentos tienden a ser más finos (Shepard, 1973), en contraste el N44 se ubica al pie de un cantil y en él existen importantes horizontes arenosos (Figura 6b) sobre todo a partir de 150 cm hacia abajo, donde se observan mayores fluctuaciones. Posiblemente estos horizontes arenosos reflejan condiciones de mayor energía, la cual era mayor en el Pleistoceno que en el Holoceno (Machain Castillo et al., 2012), además se observan líticos volcánicos (Comunicación personal Dr. Carranza Edwards) en ambos núcleos. Estos presentan en su columna sedimentos holocénicos y pleistocénicos (Machain Castillo et al., 2012), cuya edad marca 10 000 años en la base del Holoceno con una mayor tasa de sedimentación para el núcleo 42, en el cual la acumulación de sedimentos es ligeramente superior que para el núcleo 44.

En la Figura 7 se presenta el diagrama ternario de Trefethen (1950) donde se muestran las tendencias en la textura a lo largo de cada núcleo. Se observa que en el N42 existe prácticamente la misma cantidad de arcilla limosa que de limo arcilloso, en tanto en el N44 predominan los limos arcillosos. Existe un mayor contenido de arena representado por una muestra hacia limo arcilla arenosa.

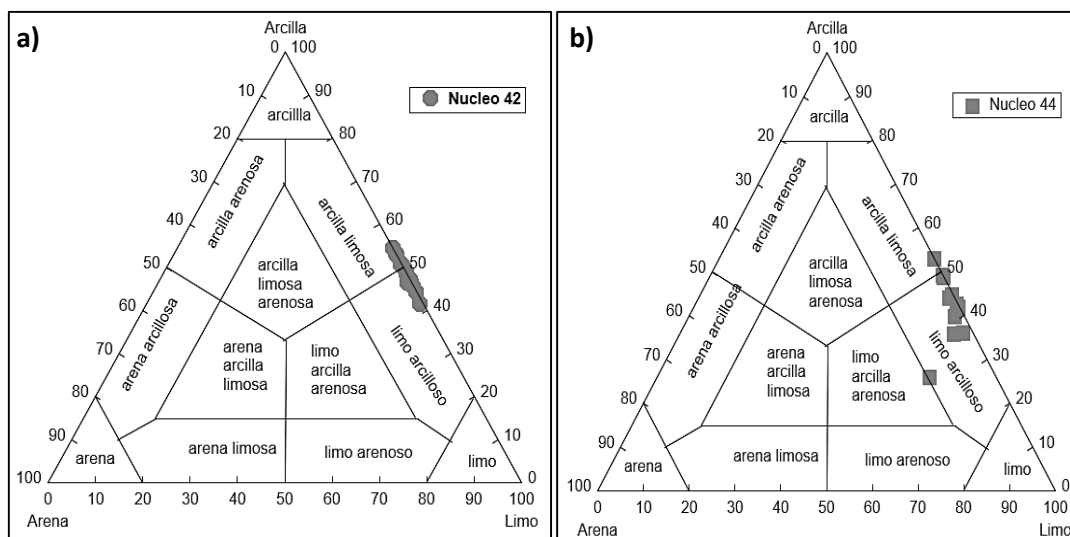


Figura 7. Clasificación textural de núcleos a) N42 y b) N44 (Trefethen, 1950).

El porcentaje de sedimentos más gruesos está en función de la distancia entre el área de depósito y la costa. Conforme el transporte litoral de las partículas se aleja de la zona costera, la energía disminuye (Saccà, 2011). Por esta razón el N42 más alejado de la costa presenta sedimentos más finos.

Existen una serie de parámetros sedimentológicos que permiten conocer las características de transporte, energía y dinámica del ambiente en el que se depositan los sedimentos, tales como: 1) tamaño de grano (M_z), la escala comprende de 6 a 7 Φ que corresponde a limo fino, de 7 a 8 Φ correspondiente a limo muy fino, y 8 a 9 Φ correspondiente a arcillas. 2) Clasificación (Φ), se refiere a la distribución del tamaño de los granos alrededor de la media, se asocia con el ambiente o medio de transporte (Folk y Ward, 1957). 3) La simetría o sesgo, se define como el grado de simetría que guarda la distribución granulométrica respecto a la moda (Folk y Ward, 1957). 4) La curtosis se define como la agudeza relativa del centro de distribución respecto a las colas, las clasificaciones son: muy platicúrtica 0.4-0.67, platicúrtica 0.67-0.9, mesocúrtica 0.9-1.1 y leptocúrtica 1.1-1.5.

1) Tamaño de grano

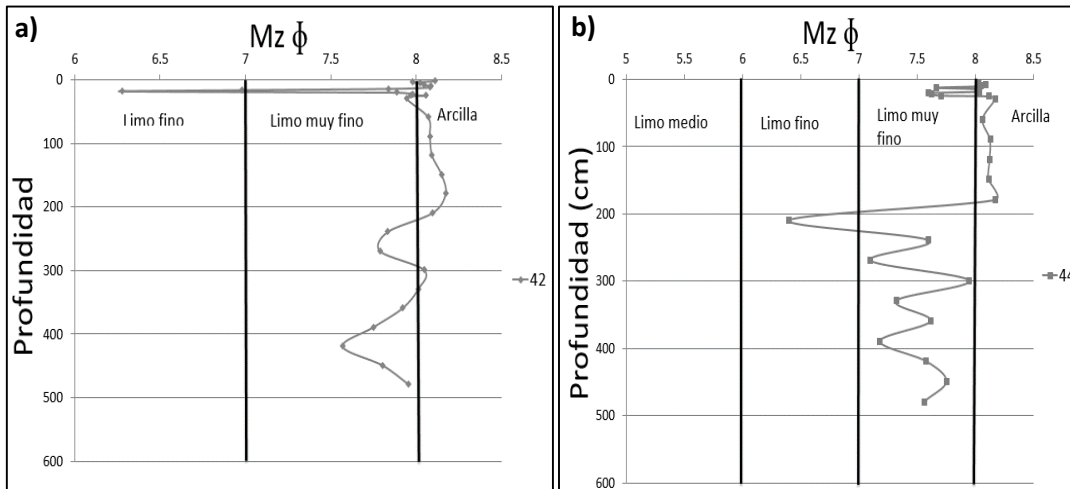


Figura 8. Tamaño de grano a) N42 y b) N44.

En el presente trabajo (Figura 8), los valores de Mz oscilan entre 6.28 (Φ) y 8.17 (Φ) con un promedio de 7.88 (Φ) en el N42, en general se observan los valores más altos (diámetro menor) en la parte media del núcleo y en los primeros 12 cm de profundidad. En el N44 los valores de Mz van de 6.4 (Φ) a 8.17 (Φ) con un promedio de 7.79 (Φ). Los valores más altos están en los primeros 30 cm y en la parte media del núcleo que indica tamaño de partícula menor. Si comparamos los valores promedio de Mz de los primeros 30 cm de los núcleos se observan valores más altos en el N44 (7.95 Φ), respecto al N42 (7.80 Φ), lo que confirma condiciones dinámicas más bajas que permiten el depósito de sedimentos más finos en el N44 en los primeros 30cm. Podríamos decir que en los primeros 30 cm las partículas más finas se encuentran en el núcleo 44, sin embargo en la parte profunda el núcleo 44 tiene las partículas más gruesas.

2) Clasificación de los sedimentos

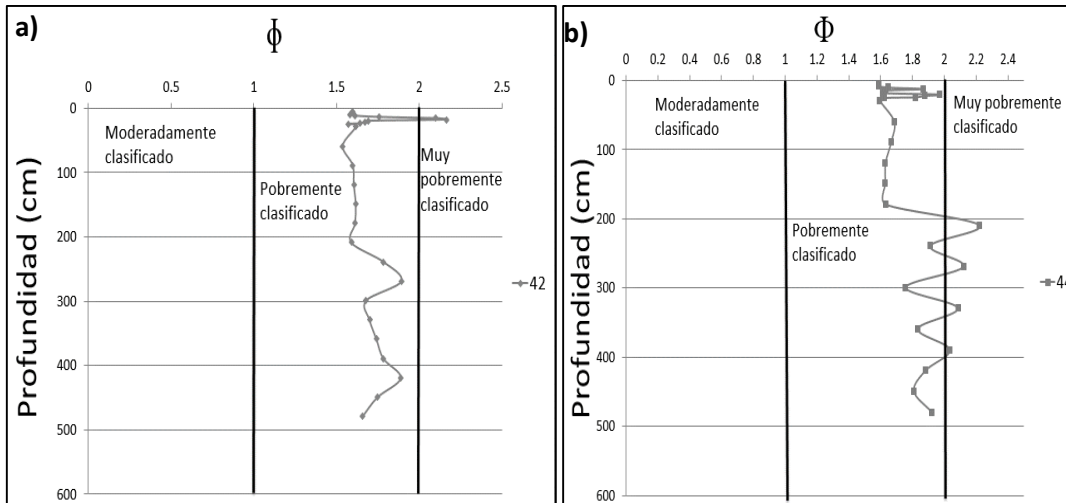


Figura 9. Clasificación de los sedimentos a) N42 y b) N44.

La clasificación que presentan los sedimentos (Figura 9) para el N42 es catalogada como pobremente clasificados ya que las muestras caen en el campo que va de 1-2, el promedio que presentan es de 1.77 ± 0.1 . Para el N44 las muestras de superficie hasta el centímetro 209 se encuentran pobremente clasificadas y posterior a 209 cm son muy pobremente clasificadas, el promedio que se presenta es 1.69 ± 0.18 . Analizando esta información con la textura, existe una relación en el aumento del tamaño de partícula con que los sedimentos presenten una mala clasificación; esto se debe a que la clasificación es consecuencia del transporte de sedimentos y su ambiente de depósito (Folk y Ward, 1957). En mis núcleos los sedimentos pobremente clasificados corresponden a una mezcla de sedimentos que representa un transporte alto y depósito de baja energía, debido a los tamaños de grano encontrados (limo y arcilla). Los sedimentos muy pobremente clasificados nos indican la presencia de arenas, aquí el ambiente de depósito presenta una mayor energía y su transporte es corto.

3) Asimetría

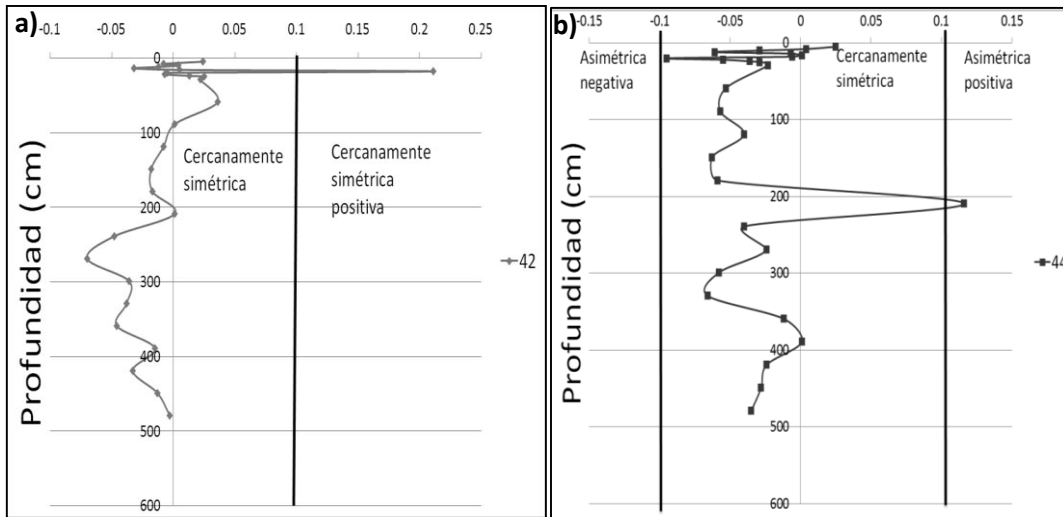


Figura 10. Asimetría de los sedimentos a) N42 y b) N44.

Referente al parámetro de asimetría (Figura 10), en el N42 se observan diferencias en los primeros 30 cm teniendo un promedio de 0.02, esto se debe a que en la parte superficial del núcleo existe una muestra (18 cm) con una cantidad elevada de partículas gruesas (arena), ya que de manera general el N42 tiene clasificación cercanamente simétrica con un promedio de -0.001. Por otro lado se encuentra el N44, el cual no presenta diferencias entre la parte superficial con el resto del núcleo y los sedimentos se clasifican como cercanamente simétricos, con un promedio de -0.02 (tamaños más gruesos respecto a N42). Con este parámetro podemos observar que si bien el núcleo 42 presenta mayor contenido de arena, sólo se atribuye a una muestra en la cual ocurrió un evento de alta energía, sin embargo en todo el N44 con los parámetros antes medidos se puede observar que fue constante la energía que presenta el sistema.

4) Curtosis

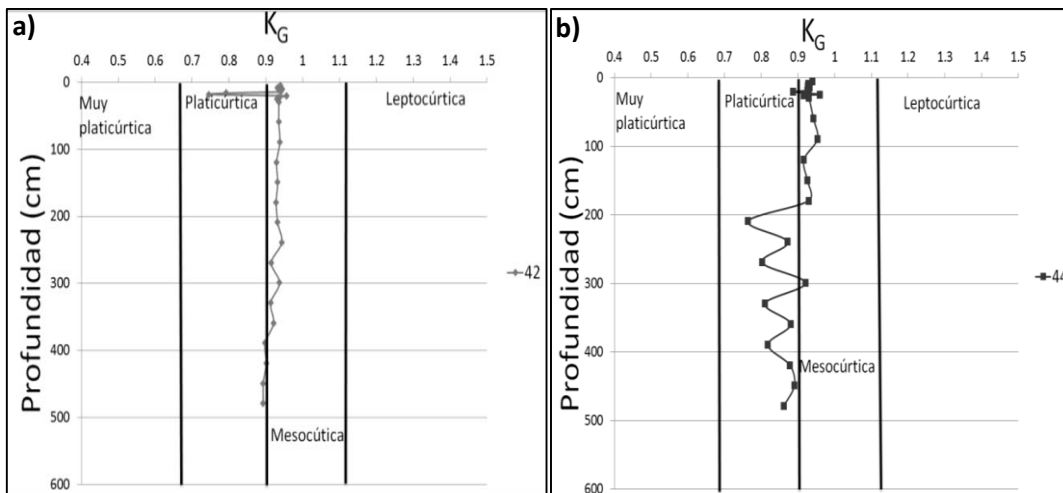


Figura 11. Curtosis de los sedimentos a) N42 y b) N44.

La curtosis (Figura 11) para N42 presentó únicamente en los centímetros 16 y 18 una clasificación platicúrtica debido al contenido de arena en dichas muestras pero las demás se clasificaron como mesocúrticas sugiriendo una distribución normal con un promedio de 0.9, si comparamos la textura en este núcleo existe una distribución entre limos y arcillas aproximadamente 50:50. El N44 presenta un promedio de 0.9, podemos observar que en el intervalo donde se encuentra un mayor contenido de arena (a partir de 209 cm) la clasificación es platicúrtica lo que indica una baja concentración de valores con respecto al centro de la distribución.

7.2 MATERIA ORGÁNICA Y CARBONATOS

La materia orgánica es considerada un receptor de metales traza. Puede formar compuestos llamados quelatos, estos atrapan a los metales en forma de iones que se encuentran en la columna de agua. También es una fuente de nutrientes para los organismos presentes. Su principal fuente de aporte son los ríos asociados a procesos antrópicos de desechos urbanos e industriales (Libes, 2009; Rosalez Hoz y Carranza Edwards, 2005).

Tabla 17. Resultados (%) de materia orgánica y carbonatos.

| Profundidad (cm) | N42 | | N44 | |
|---------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|
| | Materia Orgánica (%) | Carbonatos (%) | Materia Orgánica (%) | Carbonatos (%) |
| 2 | 0.83 | 16.40 | 0.80 | 14.78 |
| 4 | 0.76 | 14.72 | 0.80 | 15.00 |
| 5 | 1.51 | 15.99 | 1.83 | 15.54 |
| 8 | 0.73 | 14.87 | 0.78 | 14.24 |
| 10 | 1.06 | 16.54 | 1.23 | 15.81 |
| 12 | 0.74 | 15.49 | 0.75 | 16.02 |
| 14 | 0.70 | 14.97 | 0.76 | 15.34 |
| 16 | 0.60 | 12.12 | 0.79 | 15.02 |
| 18 | 0.52 | 9.52 | 0.76 | 14.18 |
| 20 | 1.51 | 16.70 | 0.51 | 14.81 |
| 22 | 0.81 | 16.61 | 0.67 | 14.08 |
| 24 | 0.77 | 16.35 | 0.76 | 15.22 |
| 25 | 0.46 | 15.75 | 0.53 | 15.04 |
| 29 | 0.42 | 14.22 | 0.46 | 16.32 |
| 59 | 0.58 | 16.17 | 0.58 | 15.73 |
| 89 | 0.57 | 16.96 | 0.62 | 16.41 |
| 119 | 0.58 | 17.55 | 0.45 | 18.21 |
| 149 | 0.38 | 18.98 | 0.51 | 19.62 |
| 179 | 0.49 | 20.08 | 0.47 | 18.07 |
| 209 | 0.49 | 19.28 | 0.43 | 20.92 |
| 239 | 0.66 | 18.96 | 0.80 | 20.79 |
| 269 | 0.66 | 22.03 | 0.67 | 18.21 |
| 299 | 0.70 | 17.53 | 0.65 | 21.54 |
| 329 | 0.62 | 21.81 | 0.60 | 18.43 |
| 359 | 0.54 | 19.67 | 0.61 | 16.16 |
| 389 | 0.61 | 16.70 | 0.65 | 15.61 |
| 419 | 0.71 | 15.54 | 0.62 | 16.54 |
| 449 | 0.65 | 17.08 | 0.53 | 17.37 |
| 479 | 0.58 | 18.30 | 0.52 | 18.23 |
| Promedio | 0.70 | 16.79 | 0.70 | 16.66 |
| Desv. Sta | 0.26 | 2.06 | 0.27 | 2.1 |
| Min | 0.42 | 9.52 | 0.43 | 14.08 |
| Máx | 1.51 | 22.03 | 1.83 | 18.43 |

En la tabla 17 se dan de manera detallada los valores obtenidos para cada núcleo respecto a materia orgánica y carbonatos.

La concentración de materia orgánica para N42 se encuentra entre 0.42-1.51% con un promedio de $0.70 \pm 0.26\%$, mientras que para el N44 el intervalo de la concentración es el siguiente 0.43-1.83% con un promedio de $0.70 \pm 0.27\%$ en ambos casos los valores más altos se presentan en los primeros 30 cm (Figura 12), lo que sugiere que hasta este intervalo el proceso de degradación de materia orgánica es lento. De manera particular en el N42 se observan dos máximos en 5 y 20 cm de profundidad que pudiesen atribuirse a una mayor descarga de sedimentos, éstos máximos se relacionan con el parámetro de asimetría el cuál involucra las condiciones de transporte (mayor energía) del sedimento.

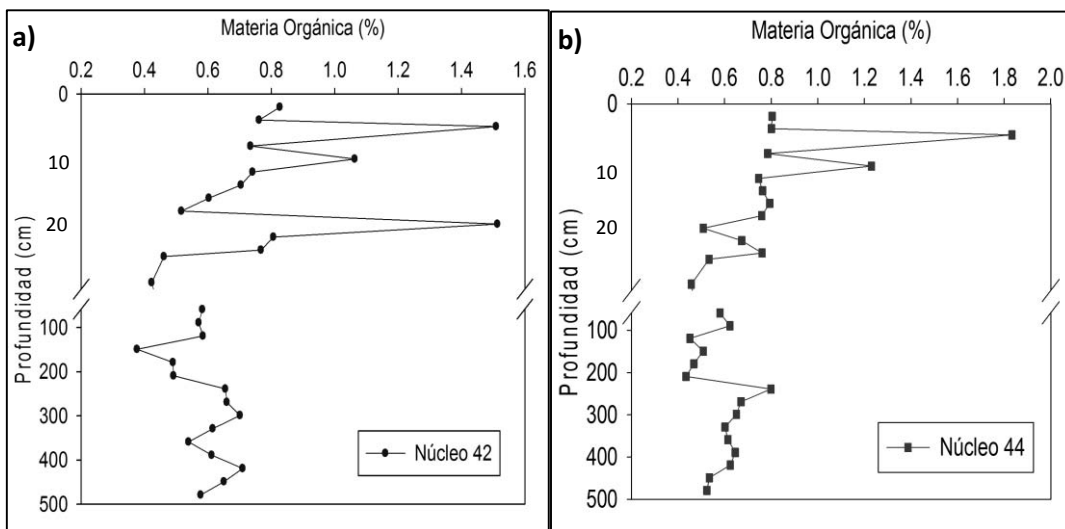


Figura 12. Concentración de materia orgánica en sedimentos a) N42 y b) N44.

El contenido de carbonatos para el N42 presenta diferencias (superficie: 15.05, fondo: 18.44%) el rango que presenta es de 9.52-22.03% con un promedio de $16.79 \pm 2.6\%$ después de los 30 cm las concentraciones son mayores al promedio. De manera semejante ocurre con el N44 (superficie: 15.10, fondo: 18.12%) su rango es 14.08-18.43% con un promedio de $16.66 \pm 2.1\%$ (Figura 13) la concentración de los mismos podría relacionarse con aportes terrígenos derivados de calizas o aportes biogénicos. Los parámetros que se mencionarán en el siguiente apartado podrían relacionarse con los carbonatos y así conocer en qué forma está presente.

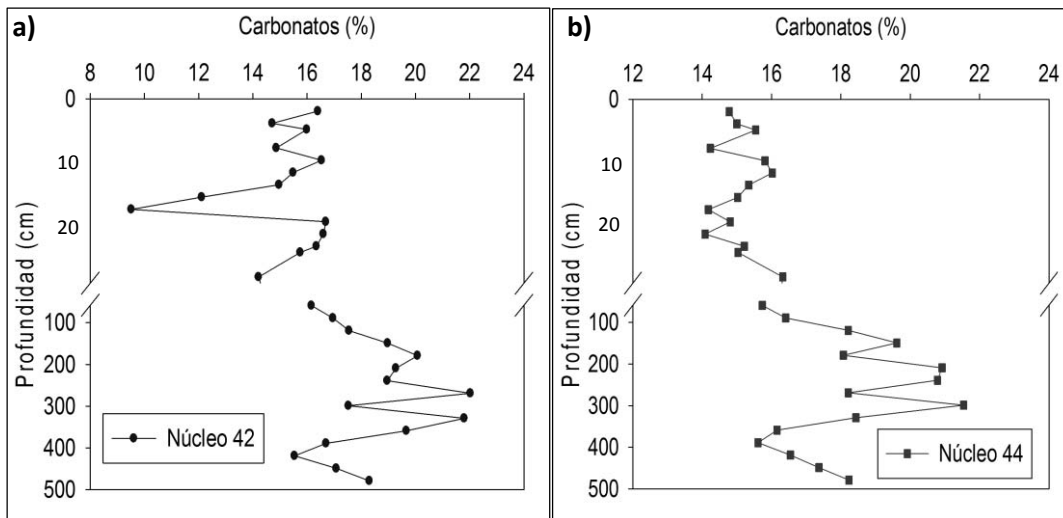


Figura 13. Concentración de carbonatos en los sedimentos a) N42 y b) N44

7.3 ELEMENTOS MAYORES

Algunos elementos mayores presentan relación con los parámetros antes mencionados. En la Tabla 18 se dan los rangos y el promedio obtenido para cada intervalo. Los valores de cada muestra pueden consultarse en el Anexo.

Tabla 18. Promedio de elementos mayores en los núcleos.

| Unidades (%) | N42 (n = 29) | | N44 (n = 29) | |
|--------------------------------|--------------|----------|--------------|----------|
| | Rango | Promedio | Rango | Promedio |
| SiO ₂ | 44.24-53.46 | 46.54 | 46.06-50.62 | 47.93 |
| TiO ₂ | 0.57-0.68 | 0.61 | 0.57-0.67 | 0.61 |
| Al ₂ O ₃ | 12.57-14.55 | 13.87 | 13.86-15.24 | 14.52 |
| Fe ₂ O ₃ | 4.73-5.47 | 5.17 | 4.94-5.70 | 5.20 |
| MnO | 0.05-0.08 | 0.06 | 0.03-0.06 | 0.04 |
| MgO | 2.0-2.75 | 2.52 | 2.51-3.14 | 2.71 |
| CaO | 6.76-12.1 | 9.78 | 8.29-12.48 | 9.81 |
| Na ₂ O | 1.82-3.63 | 2.41 | 2.27-3.38 | 2.79 |
| K ₂ O | 1.20-2.55 | 1.94 | 1.44-2.28 | 1.95 |
| P ₂ O ₅ | 0.13-0.17 | 0.15 | 0.13-0.18 | 0.15 |

En la Figura 14 tenemos al silicio, el N42 presenta un intervalo de 44.24-53.46% con un promedio de 46.54 ± 1.87 , observamos que el perfil en el centímetro 18 presenta un máximo, lo cual podríamos asociarlo con el alto contenido de arenas que también presenta esta muestra, podríamos inferir que indica la presencia de cuarzo. También es importante mencionar que a partir del corte en el eje "y" hasta el centímetro 350 existe una disminución de silicio. Por otro lado el N44 presenta el siguiente intervalo 46.06-50.62% con un promedio de 47.93 ± 1.43 y la máxima concentración se encuentra en 20 y 24 cm.

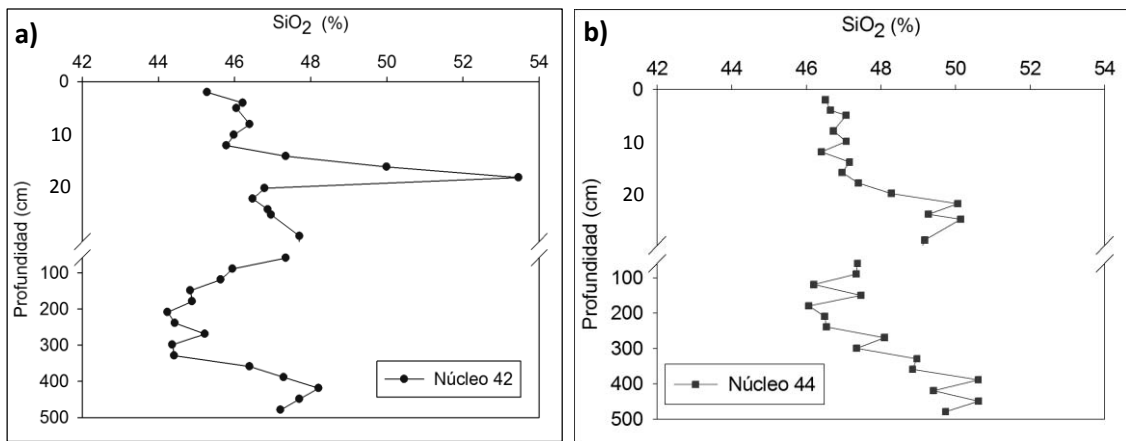


Figura 14. Concentración de SiO₂ en los sedimentos a) N42 y b) N44.

El aluminio (Figura 15) para N42 se encuentra en un intervalo de 12.57-14.55% con un promedio de 13.87 ± 0.49 , mientras que para el N44 el intervalo es de 13.86-15.24% con un promedio de 14.52 ± 0.43 . Si comparamos los perfiles de aluminio y silicio para ambos núcleos podemos observar que presentan un comportamiento similar, esta asociación nos indica la posible presencia de silicoaluminatos (Figura 16). También es importante mencionar que el N44 presenta concentraciones mayores de SiO_2 y Al_2O_3 con respecto al N42.

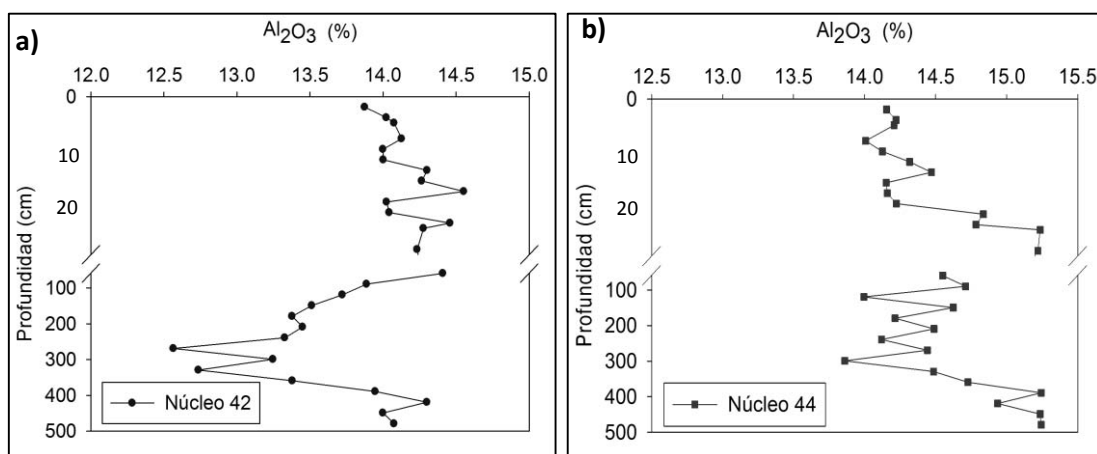


Figura 15. Concentración de Al_2O_3 en los sedimentos a) N42 y b) N44.

De manera general los perfiles de SiO_2 en ambos núcleos tienden a incrementarse hacia mayores profundidades, en la parte superficial podríamos inferir que el SiO_2 se asocia con el aluminio en forma de minerales arcillosos, son uno de los principales minerales en sedimentos marinos seguidos por los carbonatos biogénicos y el ópalo (Chester, 2000). En la parte profunda el SiO_2 podría encontrarse en forma de cuarzo, relacionado con tamaños de grano gruesos.

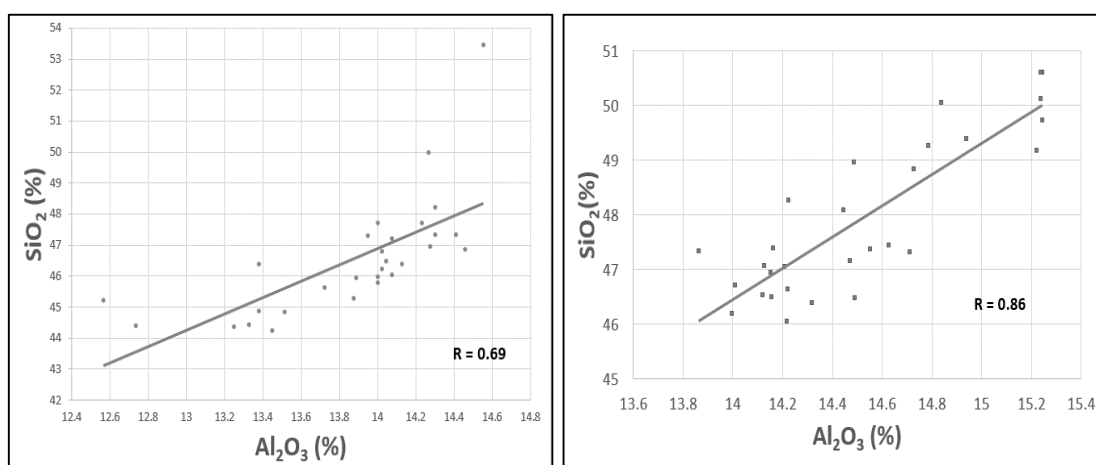


Figura 16. Regresión lineal $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ a) N42 y b) N44.

El sodio (Figura 17) para el N42 presenta valores entre 1.82-3.63% con un promedio de 2.41 \pm 0.39, nuevamente se presenta un mayor contenido en el centímetro 18, pero no se encuentra asociado con silicio y aluminio, su presencia podría indicar origen biogénico. Ocurre lo contrario para el N44 los valores varían de 2.27-3.38% con un promedio de 2.79 \pm 0.26% y existe una correlación significativa con Al_2O_3 que se observa en el Figura 18, lo anterior podría indicarnos presencia de plagioclasa sódica, como se presentó en antecedentes él Dr. Arturo Carranza Edwards realizó Difracción de Rayos X encontrando estos minerales.

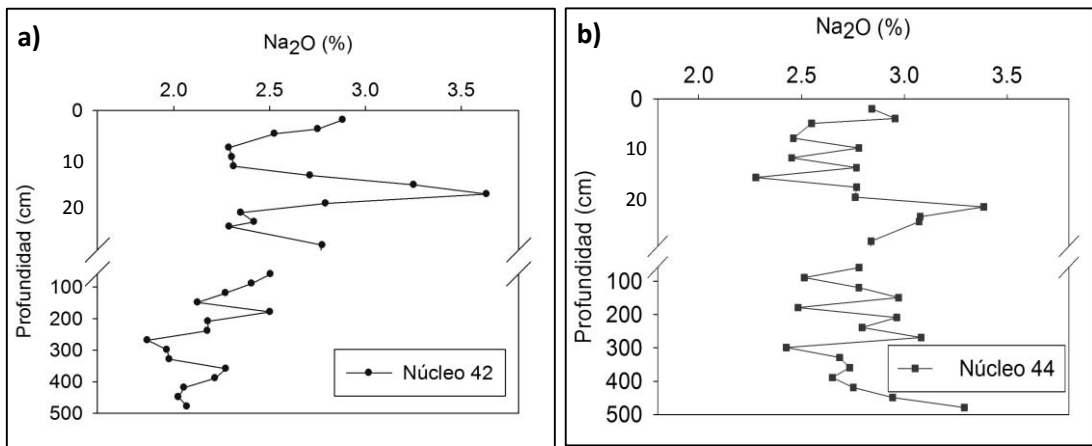


Figura 17. Concentración de Na_2O en los sedimentos a) N42 y b) N44.

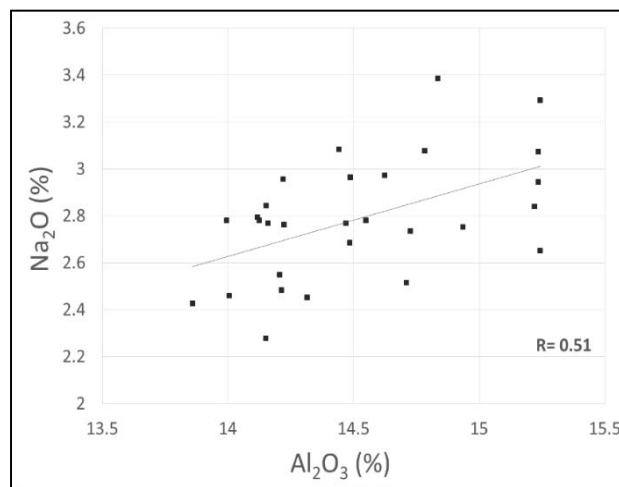


Figura 18. Regresión lineal Al_2O_3/Na_2O en los sedimentos del N44 con $n=29$; $95\%>0.37$

Para el N42 el potasio se encuentra en un intervalo de 1.28-2.55% con un promedio de $1.94 \pm 0.33\%$. En el N44 el intervalo es de 1.44-2.28% con un promedio de $1.95 \pm 0.23\%$. Ambos presentan diferencias de concentración (Figura 19), N42 (superficie: 2.21, fondo: 1.68%), N44 (superficie: 2.11, fondo: 1.80%). Sin embargo sólo el N42 tiene una relación significativa con aluminio (Figura 20), esto podría indicar la presencia de feldespatos potásicos que se encuentran dentro de la clasificación de aluminosilicatos, donde su composición general es la siguiente $(K,Na,Ca,Ba,NH_4)(Si,Al)_4O_8$. Los perfiles anteriores de SiO_2 y Al_2O_3 muestran su correlación en la formación de compuestos.

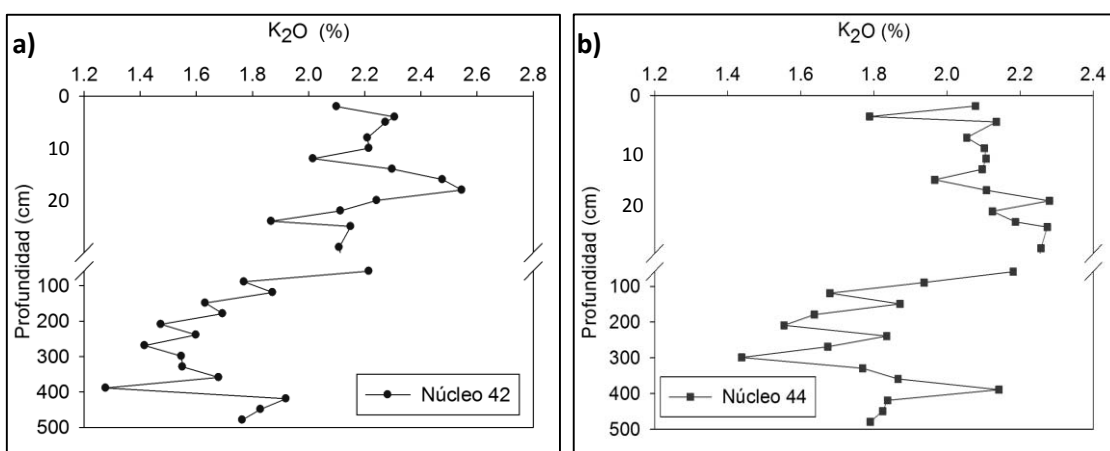


Figura 19. Concentración de K_2O en los sedimentos a) N42 y b) N44.

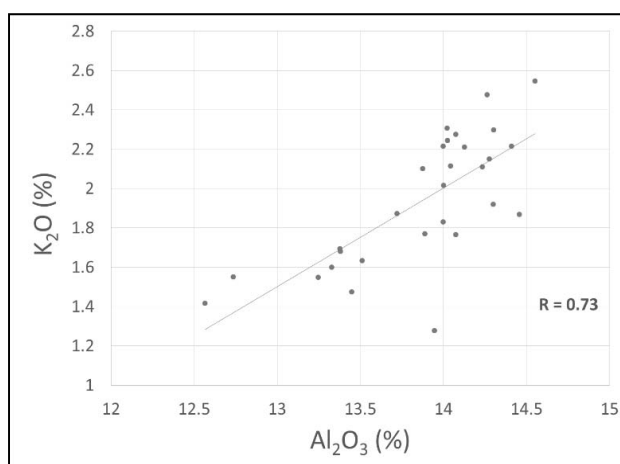


Figura 20. Regresión lineal Al_2O_3/K_2O en los sedimentos del N42 con $n=29$; $95\%>0.37$

Respecto al fósforo (Figura 21) en el N42 presenta valores de 0.13-0.17% con un promedio de $0.15\% \pm 0.01$, para N44 el intervalo de concentración es de 0.13-0.18% con un promedio de $0.15\% \pm 0.02$. Para ambos casos se observa un incremento en la parte profunda y además este comportamiento es similar al perfil del calcio (Figura 22). Esta relación indica la presencia del mineral apatita y presencia de restos de organismos (esqueletos). Estos últimos se observaron a través de difracción de rayos X (Tabla 1), donde se encontraron concentraciones altas de componentes biogénicos en superficie (1 cm) y parte profunda (118 y 286 cm). Comparando nuestros valores con la concentración promedio de fósforo en sedimentos de mar profundo que es de 0.16%, observamos que son muy similares ya que el fósforo se puede encontrar en sedimentos de tipo calcáreo, litogénico o silíceo (Chester, 2000).

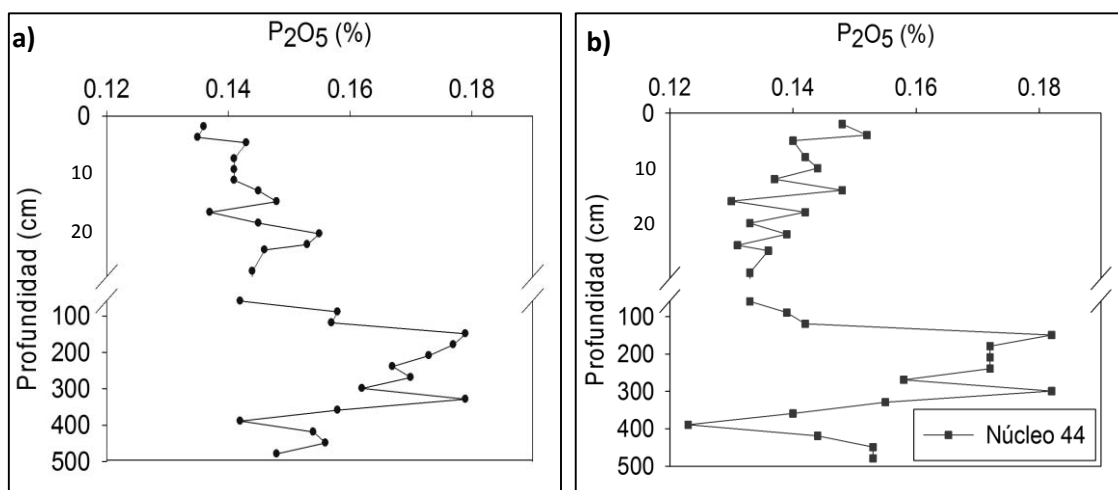


Figura 21. Concentración de P_2O_5 en los sedimentos a) N42 y b) N44.

El comportamiento de calcio es similar para ambos núcleos (Figura 22) en primer lugar tenemos a N42 donde su concentración varía de 6.76-12.1% y su promedio es de 9.78 ± 1.3 , mientras que N44 presenta un rango de 8.29-12.48% con un promedio de 9.81 ± 1.17 , la presencia de calcio podría estar asociado a carbonato de calcio, la tendencia que presenta es mayor concentración en la parte profunda (después del corte en el eje y).

De manera particular en N42 se observa la concentración más baja en la muestra de 18 cm. Se podría suponer que la concentración de CaCO_3 es independiente a las condiciones de transporte y energía ya que estos parámetros presentan comportamiento contrario. Es importante indicar que en este intervalo existe un aumento en la concentración de SiO_2 (Cuarzo) y puede presentar un efecto dilutor para CaCO_3 .

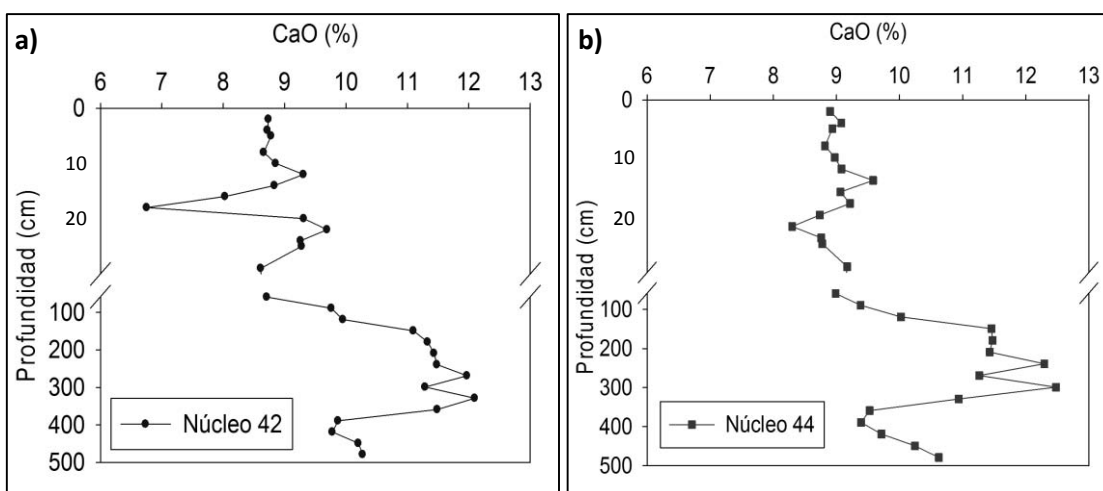


Figura 22. Concentración de CaO en los sedimentos a) N42 y b) N44.

Mientras que el magnesio (Figura 23) en el N42 es de 2.0-2.75% con un promedio de $2.52 \pm 0.15\%$ las concentraciones se mantienen a lo largo del núcleo a excepción del centímetro 18 en donde se localiza en valor más bajo de la misma manera que el calcio y carbonatos, esto podría sugerir presencia de limonita o carbonato de magnesio. Para N44 la concentración presente es 2.51-3.14% con un promedio de $2.71 \pm 0.14\%$.

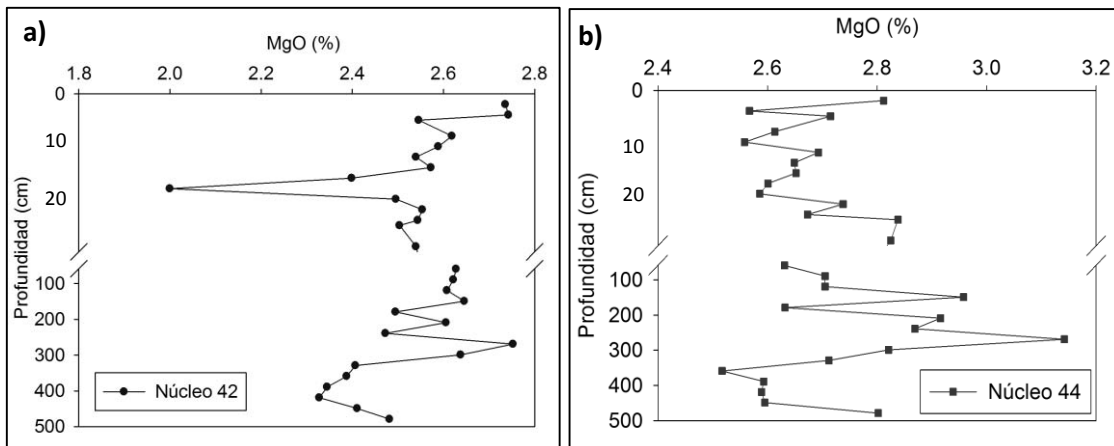


Figura 23. Concentración de MgO en los sedimentos a) N42 y b) N44.

El titanio (Figura 24) en N42 presenta un rango de 0.57-0.68% y su promedio es de $0.61 \pm 0.03\%$, se presenta la mayor concentración en la muestra de 18 cm. Para N44 tenemos concentraciones que van de 0.57-0.67% con un promedio de $0.61 \pm 0.03\%$ presentando una tendencia de aumento hacia la parte más profunda.

Analizando de manera particular el centímetro 18 del N42. Además de una concentración mayor en TiO_2 se observa una mayor cantidad de sedimentos gruesos (arenas) y SiO_2 , la razón de estos resultados se podría asociar con un evento de alta energía, que podría deberse a una escorrentía fuerte del Río Coatzacoalcos generando condiciones de mayor energía, que aún son perceptible a distancias de 95 km a partir de la línea de costa. Cuando se presentan grandes escorrentías los cauces de los ríos pueden generar corrientes de turbidez, cuyas velocidades pueden alcanzar varias decenas de km/h y abarcar distancias desde la costa hasta 800 km (Pirmez and Imran, 2003; Xu et al., 2014). Se midió la relación V/Cr, donde esta muestra indica el valor más alto en condiciones óxicas y su relación con la baja concentración de materia orgánica. Las concentraciones bajas de sedimentos terrígenos se explican por el intemperismo químico que presenta la muestra, uno de los factores es la presencia de organismos vivos pues contribuyen directamente o indirectamente al intemperismo químico, puesto que sus procesos vitales producen oxígeno, dióxido de carbono y ciertos ácidos que entran en reacciones químicas con los minerales presentes (Libes, 2009).

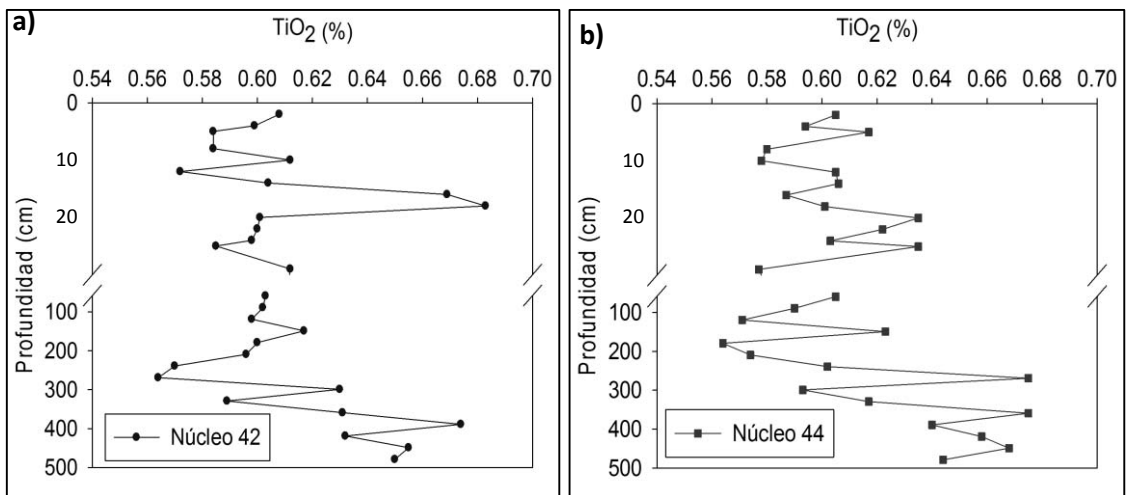


Figura 24. Concentración de TiO_2 en los sedimentos a) N42 y b) N44.

El manganeso (Figura 25) para N42 tiene una variación de 0.05-0.08% y su promedio es $0.06 \pm 0.01\%$, el valor más alto en este núcleo se encuentra en la superficie (2 cm). Para N44 los valores van de 0.03-0.06% y su promedio es $0.04 \pm 0.01\%$ existe una mayor concentración en la parte profunda, se realizó una regresión lineal entre el titanio y manganeso (Figura 26) obteniendo un nivel de significancia $>95\%$, esto sugiere la presencia de los líticas volcánicos los cuales podrían provenir de la región de Los Tuxtlas, Veracruz. (Zamora Camacho et al., 2010).

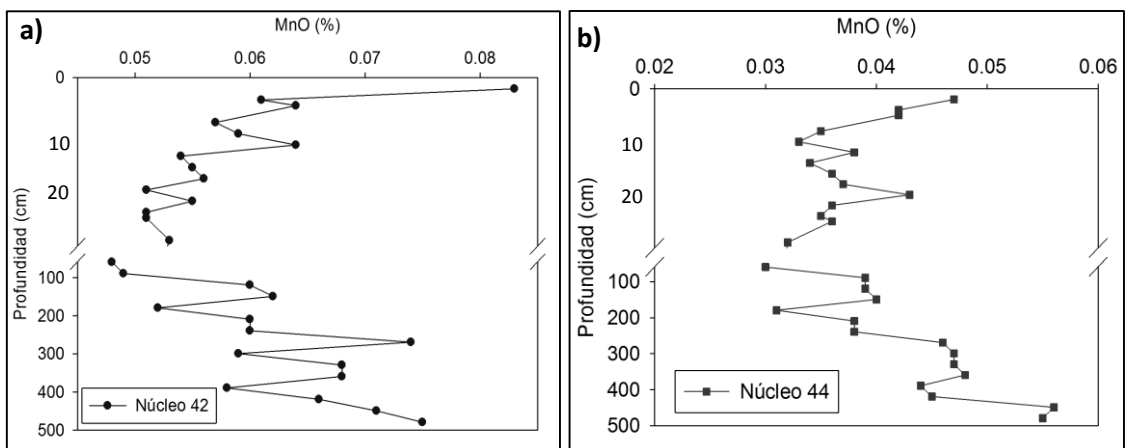


Figura 25. Concentración de MnO en los sedimentos a) N42 y b) N44.

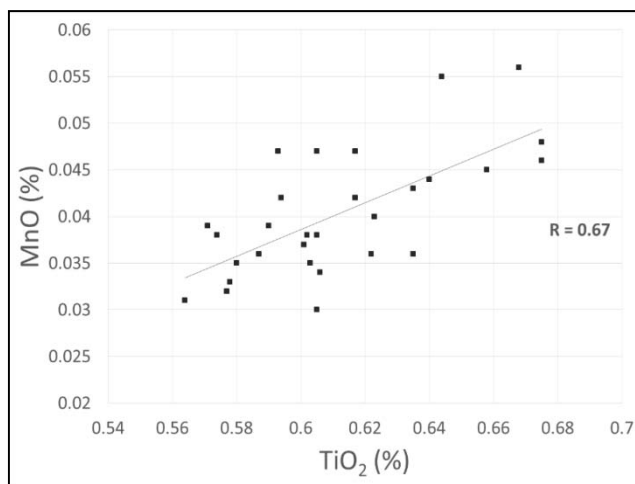


Figura 26. Regresión lineal TiO_2/MnO para N44 con $n=29$; $95\%>0.37$

Finalmente se encuentra el hierro para el N42 su intervalo va de 4.73-5.47% con un promedio de $5.17 \pm 0.19\%$, mientras que el N44 tiene 4.94-5.70% con un promedio de $5.20 \pm 0.19\%$, en este perfil se observa una tendencia a disminuir hacia la zona profunda a excepción de la muestra 299 cm.

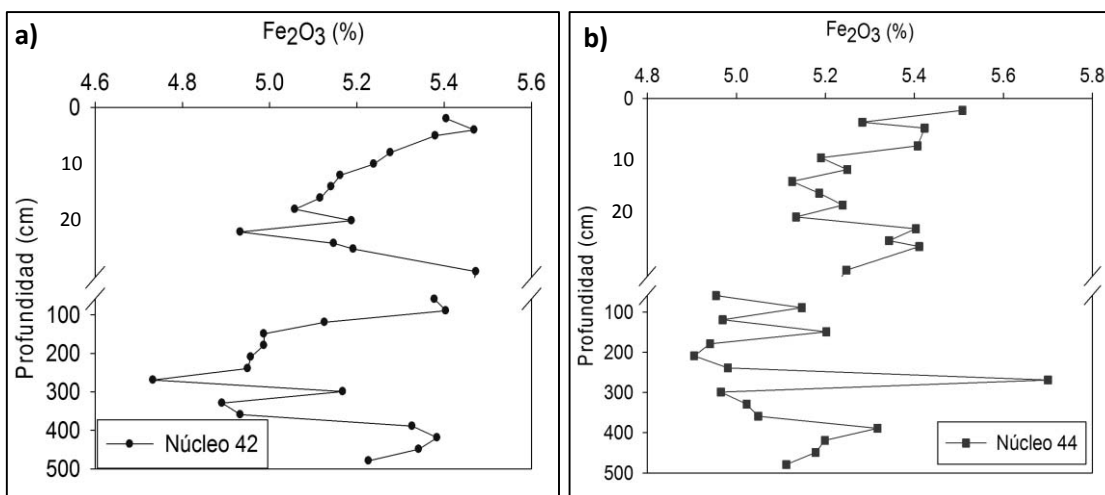


Figura 27. Concentración de Fe_2O_3 en los sedimentos a) N42 y b) N44.

7.4 METALES TRAZA

La composición del sedimento está controlado por diferentes factores como son: intemperización, la erosión del suelo, geología, litología, uso de suelo, vegetación, precipitaciones y actividades antrópicas (Zhou et al., 2013). Investigaciones publicadas sobre núcleos de sedimento han encontrado en la parte superior valores altos de metales como resultado del incremento urbano y actividades industriales en décadas pasadas (Li et al., 2001). El comportamiento de los metales traza presentan una tendencia a aumentar en la parte superior. En la tabla 19 se muestran los rangos obtenidos para cada metal y su promedio.

Tabla 19. Metales traza de los núcleos.

| Unidades (mg/Kg) | N42 (n = 29) | | | N44 (n = 29) | | |
|---------------------|--------------|--------------------------|---------------------|--------------|--------------------------|---------------------|
| | Rango | Promedio (superficie) | Promedio (fondo) | Rango | Promedio (superficie) | Promedio (fondo) |
| Cu | 7.07-43.42 | 33.26 | 22.4 | 10.78-24.23 | 13.40 | 20.78 |
| Ni | 29.55-51.58 | 38.53 | 39.17 | 21.84-33.54 | 27.76 | 27.70 |
| Pb | 10.10-15.31 | 12.16 | 12.50 | 9.68-17.14 | 13.61 | 12.26 |
| Cr | 34.45-97.73 | 53.93 | 57.24 | 28.81-92.30 | 59.12 | 55.24 |
| V | 23.56-75.39 | 44.57 | 57.29 | 31.30-69.16 | 50.39 | 55.00 |
| Zn | 42.85-111.7 | 86.23 | 89.07 | 45.14-107.41 | 87.89 | 83.28 |

Para el N42 observamos que las concentraciones de cobre se incrementan hacia la superficie observando diferencias en el promedio (superficie: 33.26 mg/Kg, fondo: 22.4 mg/Kg). Mientras que para N44 el comportamiento es inverso en superficie tenemos 13.40 mg/Kg y fondo: 20.78 mg/Kg (Figura 28).

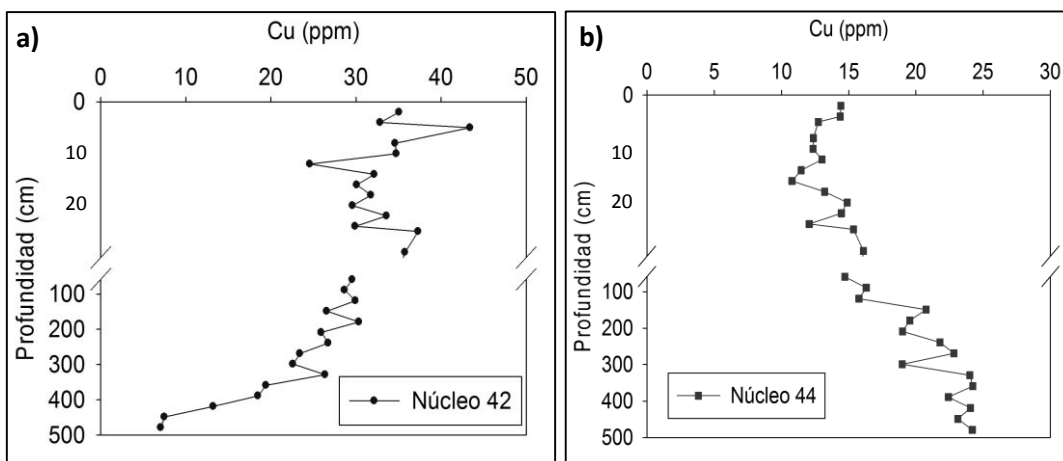


Figura 28. Concentración de cobre en los sedimentos a) N42 y b) N44.

Las concentraciones promedio de níquel en el N42 son para superficie: 38.53 mg/Kg y en fondo: 39.17 mg/kg. Para N44 en superficie tenemos 27.76 mg/Kg y fondo 27.60, en ambos núcleos la variación entre superficie y fondo presenta intervalos bajos (Figura 29).

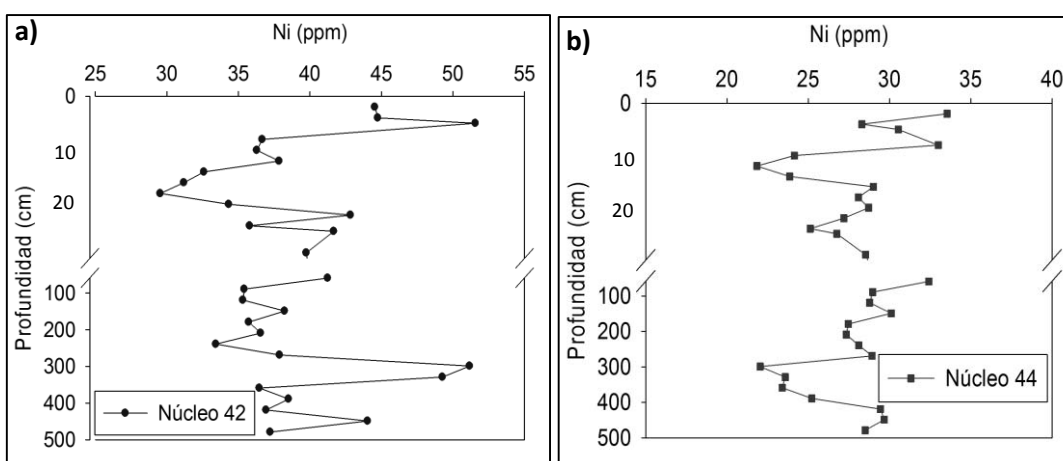


Figura 29. Concentración de níquel en los sedimentos a) N42 y b) N44.

En el N42 el plomo tiene una concentración promedio en los primeros 30 cm es de 12.16 mg/Kg y en fondo es de 12.50 mg/kg, para el N44 en superficie: 13.61 mg/Kg y fondo: 12.26 mg/Kg (Figura 30).

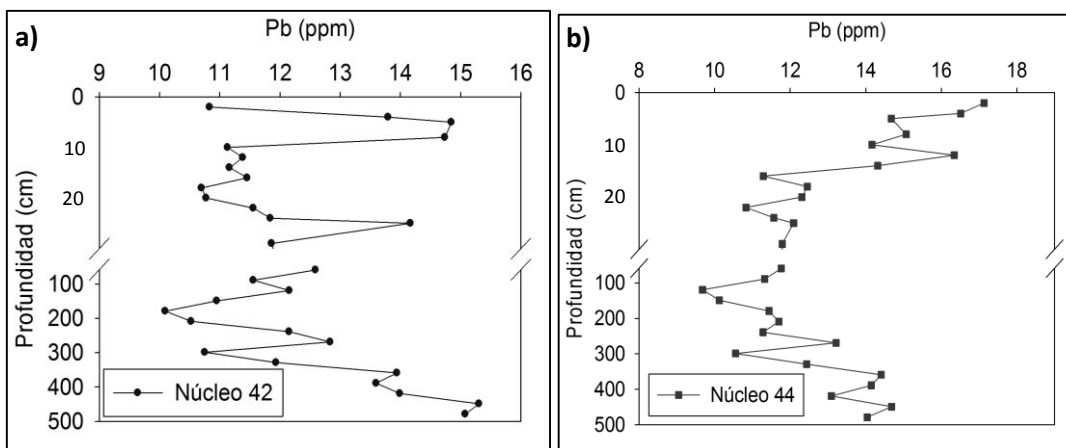


Figura 30. Concentración de plomo en los sedimentos a) N42 y b) N44.

El promedio de cromo para N42 en los primeros 30 cm es de 53.93 mg/Kg y en fondo es de 57.24 mg/kg. Para N44 en superficie tenemos 59.12 mg/Kg y en fondo 55.24 mg/Kg (Figura 31).

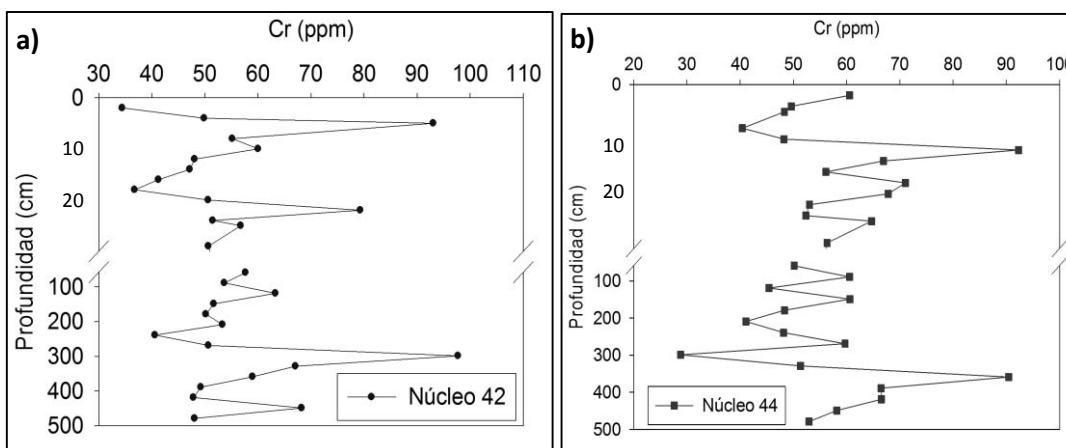


Figura 31. Concentración de cromo en los sedimentos a) N42 y b) N44.

Vanadio presenta un promedio en los primeros 30 cm de 44.57 mg/Kg y en fondo es de 57.29 mg/kg para N42 mientras que para el N44 tenemos en superficie 50.39 mg/Kg y fondo 55.0 mg/Kg (Figura 32).

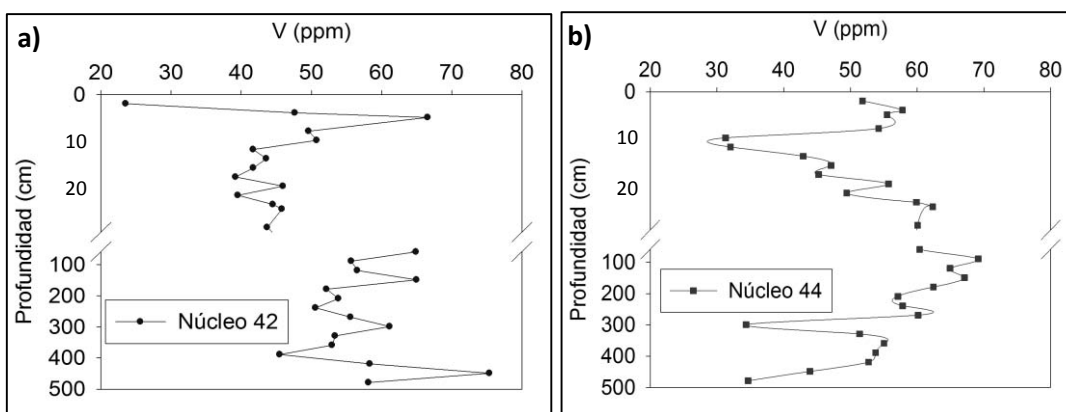


Figura 32. Concentración de vanadio en los sedimentos a) N42 y b) N44.

Finalmente el zinc en los primeros 30 cm tiene un promedio de 86.23 mg/Kg y en fondo es de 89.07 mg/kg en el N42. Para el N44 tenemos superficie 87.89 mg/Kg y fondo 83.28 mg/Kg (Figura 33).

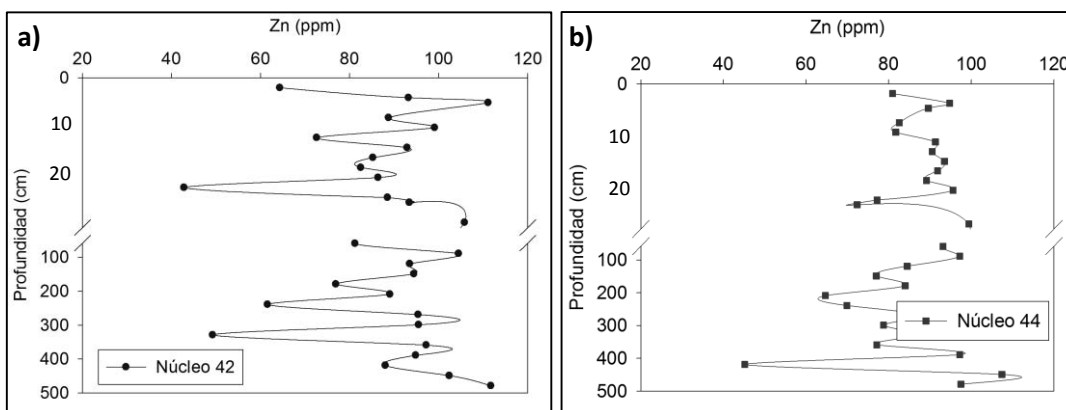


Figura 33. Concentración de zinc en los sedimentos a) N42 y b) N44.

De manera general el N44 presenta concentraciones elevadas de níquel, plomo, cromo y zinc del centímetro 0 hasta el corte del eje y (30 cm). El área de depósito del N44 está más cercana a la costa y su proximidad al cantil puede estar influyendo en niveles de metales altos en la superficie para este núcleo, mientras que el N42 únicamente el cobre presenta aumento en la superficie con respecto al fondo.

Si observamos la concentración de la muestra 3 (5 cm) en el N42. Esta muestra presentó el valor máximo para todos los metales y coincide con un incremento de materia orgánica que sugiere la formación de quelatos.

Para conocer si el incremento de concentración en superficie es debido a efectos antrópicos se consideraron las concentraciones de cada metal en muestras de origen natural. El factor de enriquecimiento (FE) es empleado como una herramienta para diferenciar entre fuentes antrópicas o naturales para la contaminación de metales (Morillo et al., 2004, Taylor and McLennan, 2010), el factor de enriquecimiento se puede clasificar en 7 categorías (Birch, 2003) que son: FE<1 (no se encuentra enriquecido), FE<3 (enriquecimiento menor), EF 3≤5 (enriquecimiento moderado), FE 5≤10 (enriquecimiento moderadamente severo), EF 10≤25 (enriquecimiento severo), FE 25≤50 (enriquecimiento muy severo) y FE>50 (extremadamente severo).

Para conocer el enriquecimiento en nuestras muestras se empleo la siguiente relación.

$$FE = \frac{\left(\frac{M}{Al}\right)_{Muestra}}{\left(\frac{M}{Al}\right)_{Referencia}}$$

Donde M es el metal en estudio, Al es la concentración de aluminio de cada muestra y la referencia utilizada fue NASC (North American Shale Composite; Gromet, 1984) debido a la similitud con las características de nuestras muestras. El contenido de aluminio es usado como referencia para la normalización de los elementos mayores, ya que es considerado un elemento inmóvil y es empleado para diferenciar efectos antrópicos del ambiente natural.

En la tabla 20 se muestran los intervalos de variación para el factor de enriquecimiento a lo largo de los dos núcleos.

Tabla 20. Factor de enriquecimiento.

| | N42 (n = 29) | N44 (n = 29) |
|----|---------------------|---------------------|
| | Rango | Rango |
| Cu | 0.17-1.04 | 0.26-0.56 |
| Ni | 0.64-1.13 | 0.46-0.69 |
| Pb | 0.62-0.91 | 0.58-1.02 |
| Cr | 0.38-1.13 | 0.32-0.99 |
| V | 0.22-0.70 | 0.29-0.61 |
| Zn | 0.61-1.58 | 0.60-1.32 |

n= número de muestras

Se observó que el zinc para ambos núcleos presenta un enriquecimiento de tipo menor de acuerdo con Birch (2003).

Y la secuencia que presentan los metales cada uno de los núcleos es la siguiente:

Para el N42: $Zn > Ni > Pb > Cu > Cr > V$.

Mientras que para el N44 el orden es el siguiente: $Zn > Pb > Cr > Ni > V > Cu$.

Es importante mencionar que algunos metales presentaron interacción con algunos parámetros medidos, esto se explicará en la siguiente sección.

En la Figura 34 se muestran los perfiles de cada metal con su factor de enriquecimiento para N42.

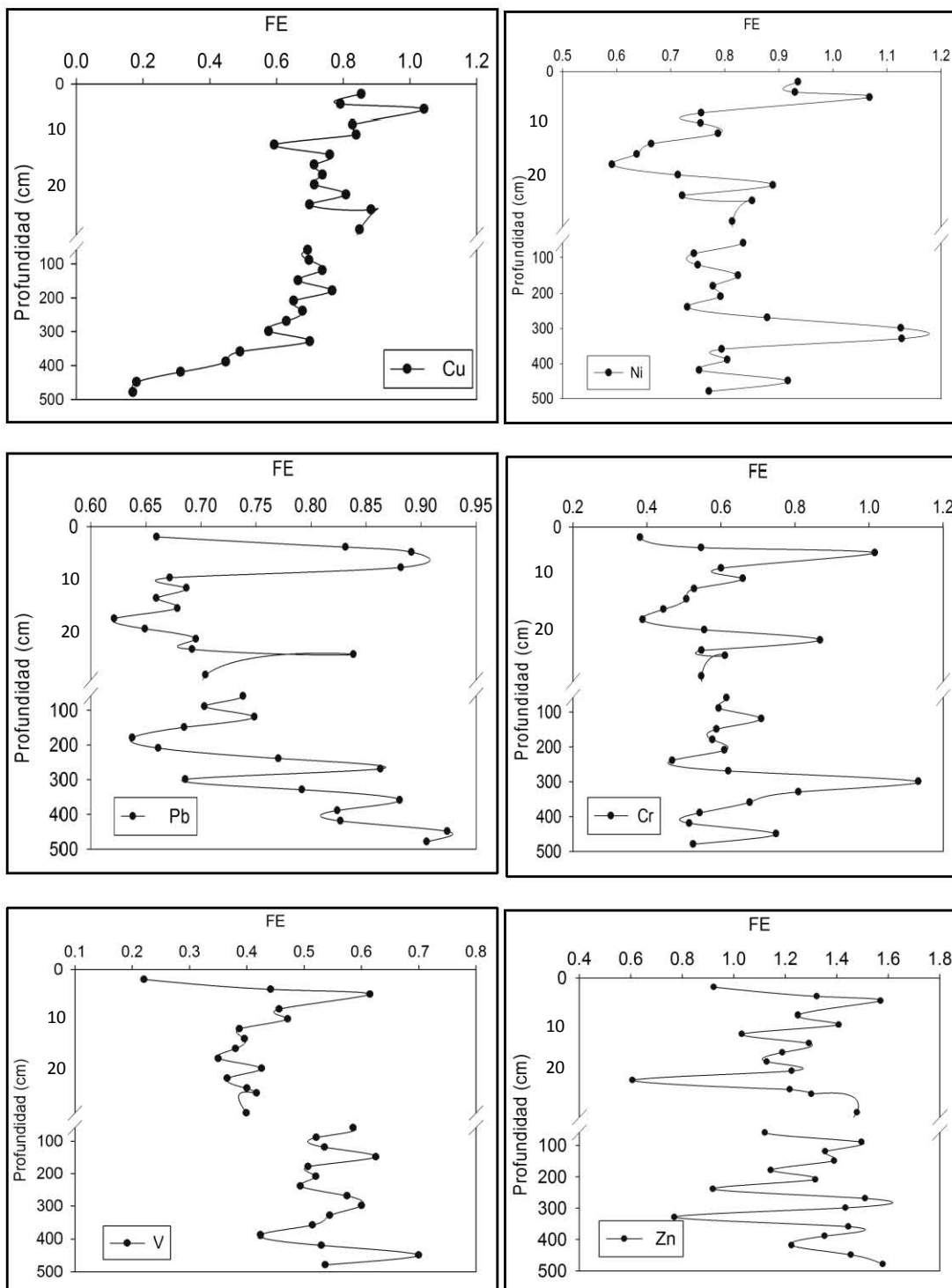


Figura 34. Factores de enriquecimiento de metales traza del núcleo 42.

Para N44 los perfiles del factor de enriquecimiento se muestran en la Figura 35.

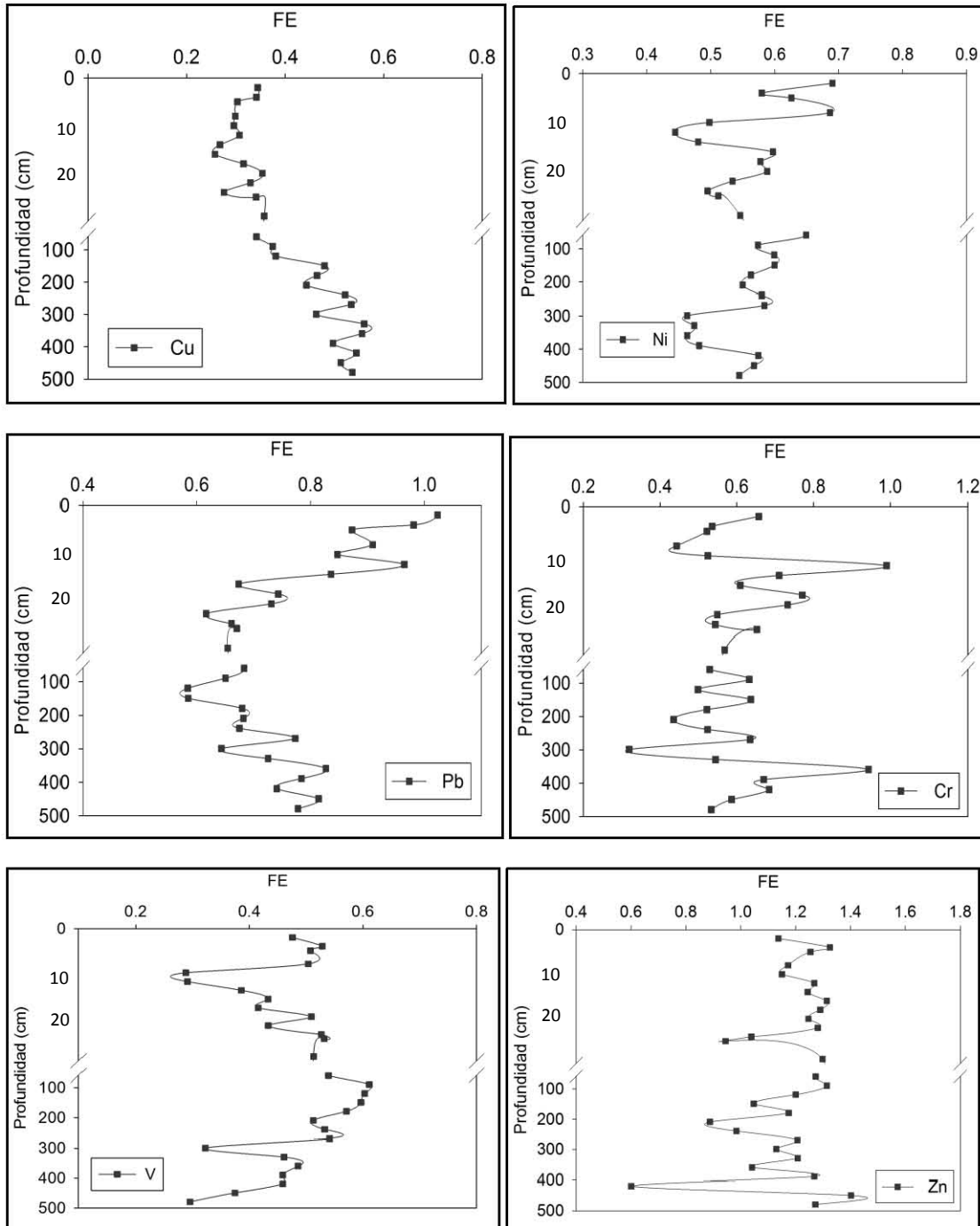


Figura 35. Factores de enriquecimiento de metales traza del núcleo 44.

Análisis de Correlación

Con el objeto de ayudar a la interpretación de los datos obtenidos se realizó un análisis de correlación tipo Pearson en los núcleos estudiados, para el núcleo 42 (Tabla 21).

Las correlaciones con un nivel de significancia $>95\%$ y $N = 23$ fueron las siguientes: los carbonatos presentaron correlación con CaO ($r = 0.94$), con tamaño de arcillas ($r = 0.64$) y MgO ($r = 0.49$) lo que sugiere la presencia de carbonatos de calcio y magnesio. La correlación de fosfato con calcio (0.86) como se mencionó anteriormente podría indicar la presencia de apatita y la acumulación de esqueletos (Phillips & Phillips, 1986).

Las siguientes correlaciones, SiO₂-Al₂O₃ ($r = 0.69$), Al₂O₃-K₂O ($r = 0.73$), Al₂O₃-Fe₂O₃ ($r = 0.62$), Al₂O₃-Na₂O ($r = 0.60$) sugieren la presencia de silicoaluminatos, como la albita. En estudios previos a este trabajo, se realizaron láminas para difracción de rayos X indicando la presencia de plagioclasas. Los minerales antes mencionados se asocian al tamaño de partículas, como limo vs SiO₂ ($r = 0.85$) y Al₂O₃ ($r = 0.45$). La alta correlación de arenas con SiO₂ ($r = 0.82$) podría indicar la presencia de SiO₂ en granos de cuarzo detríticos, su origen podría asociarse a los depósitos de cuarzo que se encuentran en la planicie costera de Veracruz.

Para los metales sólo el cobre presenta relación con el Na₂O ($r = 0.49$) y K₂O ($r = 0.55$) mientras que vanadio con CaO ($r = 0.48$). Una explicación a estos resultados sería que los metales traza pueden encontrarse en la calcita (CaCO₃), dolomita (CaMg(CO₃)₂) y aragonita (CaCO₃) en calidad de sustituciones de los cationes principales que forman el compuesto químico o también los cationes pueden ocupar posiciones intersticiales o en los límites entre cristales (Melgarejo, 2003).

Dentro de las correlaciones entre metales se encuentra níquel y cromo ($r = 0.55$) en trabajos publicados (De Carlo & Anthony, 2001) se sugiere la presencia de olivino. En nuestro caso no esperaríamos encontrar el mineral sin ninguna alteración. El olivino es muy susceptible al efecto de la meteorización y al metamorfismo de bajo grado. Se encuentra integrado por una mezcla de forsterita (Mg₂SiO₄) y fayalita (Fe₂SiO₄) apareciendo en una gran variedad de rocas volcánicas. También se encuentra rodeado por un gran número de minerales de diversas combinaciones de ortopiroxenos, clinopiroxenos, espinela y anfíbol (Melgajero, 2003). Por lo tanto algunos compuestos presentes en el núcleo son resultado de alteraciones que sufre el sedimento.

Tabla 21. Coeficientes de correlación de Pearson para las variables estudiadas en el núcleo 42.

| Variable | Arenas (%) | Limos (%) | Arcillas (%) | MO (%) | CO ₃ (%) | 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 (ppm) | Ni (ppm) | Pb (ppm) | Cr (ppm) | V (ppm) | Zn (ppm) |
|------------------------------------|------------|-------------|--------------|--------|---------------------|----------------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------------|--------------|--------------|----------|--------------|--------------|-------------|
| Arenas (%) | 1.00 | 0.67 | -0.84 | -0.17 | -0.65 | 0.82 | 0.56 | 0.32 | -0.13 | -0.12 | -0.71 | -0.54 | 0.70 | 0.47 | -0.28 | 0.09 | -0.43 | -0.22 | -0.33 | -0.25 | -0.05 |
| Limos (%) | | 1.00 | -0.90 | -0.02 | -0.64 | 0.85 | 0.64 | 0.45 | 0.09 | -0.11 | -0.69 | -0.51 | 0.51 | 0.41 | -0.40 | -0.20 | -0.47 | 0.20 | -0.33 | -0.14 | 0.10 |
| Arcillas (%) | | | 1.00 | 0.16 | 0.64 | -0.86 | -0.61 | -0.38 | 0.04 | 0.11 | 0.74 | 0.49 | -0.62 | -0.38 | 0.29 | 0.13 | 0.43 | -0.06 | 0.35 | 0.19 | 0.01 |
| MO (%) | | | | 1.00 | -0.05 | -0.11 | -0.24 | 0.15 | 0.23 | 0.04 | 0.17 | -0.23 | 0.08 | 0.34 | -0.37 | 0.31 | 0.23 | 0.07 | 0.34 | 0.04 | 0.07 |
| CO ₃ (%) | | | | | 1.00 | -0.84 | -0.54 | -0.87 | -0.49 | 0.35 | 0.49 | 0.94 | -0.78 | -0.79 | 0.77 | -0.27 | 0.35 | 0.11 | 0.25 | 0.39 | -0.17 |
| SiO ₂ (%) | | | | | | 1.00 | 0.70 | 0.69 | 0.21 | -0.25 | -0.75 | -0.76 | 0.72 | 0.63 | -0.55 | 0.00 | -0.49 | 0.07 | -0.35 | -0.25 | 0.18 |
| TiO ₂ (%) | | | | | | | 1.00 | 0.39 | 0.27 | -0.06 | -0.64 | -0.39 | 0.42 | 0.17 | -0.29 | -0.36 | -0.23 | 0.06 | -0.13 | 0.00 | 0.23 |
| Al ₂ O ₃ (%) | | | | | | | | 1.00 | 0.62 | -0.44 | -0.36 | -0.88 | 0.60 | 0.73 | -0.76 | 0.25 | -0.33 | 0.05 | -0.21 | -0.32 | 0.23 |
| Fe ₂ O ₃ (%) | | | | | | | | | 1.00 | -0.08 | 0.00 | -0.54 | 0.20 | 0.30 | -0.62 | 0.70 | 0.17 | 0.23 | 0.02 | -0.02 | 0.46 |
| MnO (%) | | | | | | | | | | 1.00 | 0.20 | 0.29 | -0.29 | -0.26 | 0.08 | -0.33 | 0.40 | 0.30 | -0.01 | 0.08 | -0.16 |
| MgO (%) | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.34 | -0.42 | -0.25 | 0.20 | 0.24 | 0.34 | -0.17 | 0.22 | 0.03 | 0.07 |
| CaO (%) | | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.81 | -0.86 | 0.86 | -0.45 | 0.31 | 0.12 | 0.27 | 0.48 | -0.18 |
| Na ₂ O (%) | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.78 | -0.58 | 0.49 | -0.47 | -0.40 | -0.40 | -0.59 | -0.20 |
| K ₂ O (%) | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.67 | 0.55 | -0.26 | -0.17 | -0.15 | -0.39 | 0.04 |
| P ₂ O ₅ (%) | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.31 | 0.15 | -0.08 | 0.18 | 0.51 | -0.22 |
| Cu (ppm) | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.05 | -0.35 | 0.04 | -0.45 | -0.06 |
| Ni (ppm) | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.32 | 0.78 | 0.34 | -0.04 |
| Pb (ppm) | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.29 | 0.49 | 0.37 |
| Cr (ppm) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.55 | 0.14 |
| V (ppm) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.48 |
| Zn (ppm) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 |

Significancia de correlación $p < 0.05$

N=23

Ahora se explicarán los datos obtenidos del análisis de correlación Pearson para el núcleo 44 (Tabla. 22). A continuación se presentan las correlaciones con un nivel de significancia >95% y N = 16.

En primer lugar se obtuvieron las siguientes correlaciones $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ ($r = 0.82$), $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O}$ ($r = 0.73$), $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ($r = 0.62$) y $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O}$ ($r = 0.60$) que se asocia a la presencia de silicoaluminatos. Otras correlaciones son CaO-CO_3 ($r = 0.97$), MgO-CO_3 ($r = 0.58$) lo cual podría estar indicando la presencia de carbonato de calcio, carbonato de magnesio y la presencia de dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, respecto a $\text{CaO-P}_2\text{O}_5$ ($r = 0.92$) nuevamente podría deberse tanto a la posible presencia del mineral apatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F,Cl,OH})$) y la acumulación de esqueletos este último indicando aporte biogénico.

Para este núcleo existe una correlación de $\text{TiO}_2\text{-MnO}$ ($r = 0.65$), que se podrían asociar a la presencia de minerales pesados o rocas de origen volcánico. La actividad del volcán San Martín, perteneciente a la Sierra de los Tuxtlas, ha dado origen a ceniza y escoria, estos materiales se han encontrado en otras partes del Golfo de México (Tarbuck E. and Lutgens F., 2005; Zamora-Camacho et al., 2010).

Tabla 22. Coeficientes de correlación Pearson para las variables estudiadas en el núcleo 44

| Variable | Arenas (%) | Limos (%) | Arcillas (%) | MO (%) | CO ₃ (%) | 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 (ppm) | Ni (ppm) | Pb (ppm) | Cr (ppm) | V (ppm) | Zn (ppm) |
|------------------------------------|------------|-----------|--------------|--------|---------------------|----------------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------------|--------------|----------|----------|--------------|---------|----------|
| Arenas (%) | 1.00 | 0.41 | -0.83 | -0.28 | 0.42 | -0.30 | -0.30 | -0.07 | -0.20 | -0.20 | 0.46 | 0.32 | 0.19 | -0.41 | 0.36 | 0.09 | 0.05 | -0.17 | -0.26 | 0.22 | -0.29 |
| Limos (%) | | 1.00 | -0.85 | -0.34 | 0.03 | 0.37 | 0.40 | 0.37 | 0.13 | 0.10 | 0.13 | 0.10 | 0.46 | -0.40 | -0.06 | 0.48 | -0.12 | 0.23 | 0.21 | -0.05 | -0.22 |
| Arcillas (%) | | | 1.00 | 0.37 | -0.27 | -0.05 | -0.06 | -0.18 | 0.03 | 0.05 | -0.35 | -0.25 | -0.39 | 0.26 | -0.18 | -0.34 | 0.04 | -0.04 | 0.02 | -0.10 | 0.30 |
| MO (%) | | | | 1.00 | -0.23 | -0.29 | -0.11 | -0.32 | 0.38 | -0.21 | 0.00 | -0.24 | -0.28 | 0.32 | -0.16 | -0.44 | 0.24 | 0.25 | -0.12 | 0.11 | 0.05 |
| CO ₃ (%) | | | | | 1.00 | -0.44 | -0.32 | -0.39 | -0.55 | 0.20 | 0.58 | 0.97 | -0.13 | -0.88 | 0.94 | 0.44 | -0.14 | -0.32 | -0.57 | -0.19 | -0.33 |
| SiO ₂ (%) | | | | | | 1.00 | 0.62 | 0.82 | 0.25 | 0.47 | -0.44 | -0.35 | 0.49 | 0.23 | -0.43 | 0.37 | 0.11 | 0.12 | 0.11 | -0.09 | 0.30 |
| TiO ₂ (%) | | | | | | | 1.00 | 0.48 | 0.41 | 0.65 | -0.20 | -0.17 | 0.28 | 0.07 | -0.28 | 0.56 | 0.24 | 0.49 | 0.47 | -0.05 | 0.13 |
| Al ₂ O ₃ (%) | | | | | | | | 1.00 | 0.18 | 0.38 | -0.37 | -0.36 | 0.49 | 0.29 | -0.46 | 0.38 | 0.25 | 0.30 | 0.26 | 0.00 | 0.27 |
| Fe ₂ O ₃ (%) | | | | | | | | | 1.00 | -0.12 | 0.24 | -0.44 | 0.29 | 0.41 | -0.47 | -0.26 | 0.30 | 0.26 | 0.19 | 0.19 | 0.29 |
| MnO (%) | | | | | | | | | | 1.00 | -0.12 | 0.29 | 0.07 | -0.39 | 0.20 | 0.70 | 0.12 | 0.40 | 0.02 | -0.42 | 0.29 |
| MgO (%) | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.61 | 0.28 | -0.54 | 0.62 | 0.07 | 0.15 | -0.30 | -0.48 | 0.07 | -0.07 |
| CaO (%) | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.09 | -0.87 | 0.92 | 0.54 | -0.12 | -0.30 | -0.54 | -0.17 | -0.28 |
| Na ₂ O (%) | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.02 | 0.00 | 0.12 | 0.35 | -0.20 | -0.17 | 0.03 | 0.10 |
| K ₂ O (%) | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.88 | -0.58 | 0.13 | 0.26 | 0.47 | 0.20 | 0.31 |
| P ₂ O ₅ (%) | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.35 | -0.06 | -0.40 | -0.63 | -0.23 | -0.30 |
| Cu (ppm) | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.05 | 0.12 | 0.03 | -0.08 | -0.16 |
| Ni (ppm) | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.04 | -0.20 | 0.43 | 0.03 |
| Pb (ppm) | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.67 | -0.37 | 0.28 |
| Cr (ppm) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.03 | 0.09 |
| V (ppm) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.20 |
| Zn (ppm) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 |

Significancia de correlación $p < 0.05$

N=16

7.5 INTEMPERIZACIÓN

Asociado al transporte sufrido el nivel de intemperización que presenten los sedimentos puede variar, por ejemplo las rocas ígneas tiene como resultado la remoción y reducción de cationes alcalinos como: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y el enriquecimiento de Al_2O_3 residual; tanto la intensidad y duración de la intemperización en sedimentos puede evaluarse por la relación entre elementos alcalinos y alcalinotérreos (Nesbitt and Young, 1982).

El índice de alteración química (CIA) se calcula de la siguiente manera.

$$CIA = \left(\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}} \right) \times 100$$

Donde CaO^* representa solo la presencia de calcio en aluminosilicatos. En este estudio CaO fue corregido empleando el método propuesto por McLennan et al. (1993), el cual plantea utilizar los valores de CaO si $\text{CaO} < \text{Na}_2\text{O}$ pero si $\text{CaO} > \text{Na}_2\text{O}$ se asume que la concentración de CaO es igual a la Na_2O .

El índice de alteración química para el núcleo 42 presenta un promedio de 49.56 ± 2.16 , mientras que el núcleo 44 su promedio es 49.98 ± 1.84 , en los primeros 30 cm se encuentran los valores más altos (N42: 50.93 y N44: 51.03). Lo anterior indica un grado moderado de intemperización similar al encontrado por Armstrong-Altrin et al. (2015) en muestras localizadas al noroeste de las muestras comprendidas en el presente estudio.

7.6 CLASIFICACIÓN DE LOS SEDIMENTOS

La geoquímica que presentan los elementos mayores en los sedimentos se utiliza frecuentemente para inferir procedencia debido a que pueden reflejar la composición de la roca fuente (Jafarzadh et al., 2014). De acuerdo a el diagrama de clasificación geoquímica de Herron (1988) (Figura 36) los núcleos se catalogaron como lutitas. Que indica tamaño de grano fino perteneciente a una roca sedimentaria clástica conformada por lodo, él cual es una mezcla de minerales arcillosos.

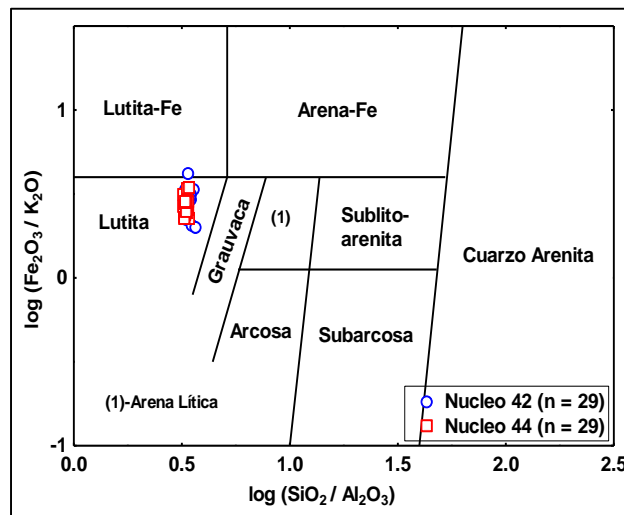


Figura 36. Clasificación geoquímica de los núcleos del suroeste del Golfo de México usando un diagrama de $\log(\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3)$ - $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{K}_2\text{O})$ (Herron, 1988).

Se han realizado estudios de procedencia en sedimentos utilizando el diagrama de función discriminante propuesto por Roser and Korsch (1988). Este diagrama ayuda a identificar cuatro tipos de procedencia (máfica, intermedia, félsica y cuarzo reciclado). En el presente análisis se incluyeron muestras colectadas frente a la desembocadura del Rio Papaloapan, SAV 2 (alrededor de 19.0° Latitud Norte y 95.1° longitud Oeste) y núcleos localizados en las cercanías de este estudio CSR (20.5° Latitud norte y 96° de longitud Oeste) (Armstrong-Altrin et al, 2015). Todas las muestras incluidas se encuentran en el campo pertenecientes a rocas intermedias (Figura 37). Es importante mencionar que las muestras del presente estudio se encuentran más cercanas al campo de rocas máficas asociados a los líticos volcánicos del macizo volcánico de los Tuxtlas.

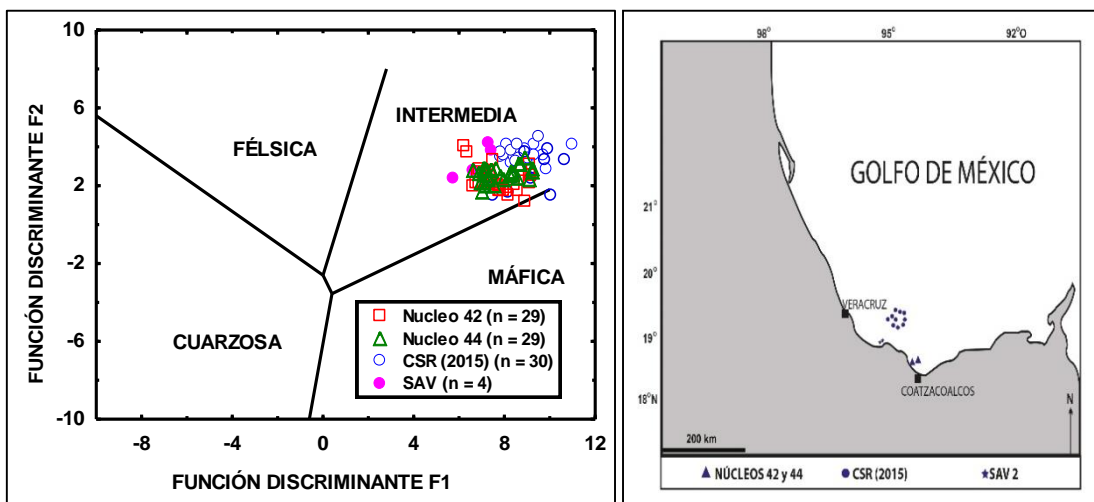


Figura 37. Diagrama de función discriminante para procedencia de elementos mayores (Roser & Korsch, 1988). Sedimentos del suroeste del Golfo de México (CSR, Armstrong-Altrin et al., 2015 y SAV2, Rosales Hoz et al., 2003). Las funciones discriminantes son:

$$\text{DiscriminantFunction1} = (-1.773\text{TiO}_2) + (0.607\text{Al}_2\text{O}_3) + (0.760\text{Fe}_2\text{O}_3) + (-1.5\text{MgO}) + (0.616\text{CaO}) + (0.509\text{Na}_2\text{O}) + (-1.224\text{K}_2\text{O}) + (-9.090)$$

$$\text{DiscriminantFunction2} = (0.445\text{TiO}_2) + (0.070\text{Al}_2\text{O}_3) + (0.250\text{Fe}_2\text{O}_3) + (1.142\text{MgO}) + (0.438\text{CaO}) + (1.475\text{Na}_2\text{O}) + (1.426\text{K}_2\text{O}) + (-6.861)$$

Adicionalmente se realizó un diagrama de metales traza normalizando con North American Shale Composite (NASC; Gromet, 1984) (Figura 38) con todas las muestras de cada núcleo. Se observa un enriquecimiento de zinc para ambos núcleos el cual nos sugiere una fuente antrópica ya que las correlaciones no muestran asociación con ningún parámetro medido en este trabajo.

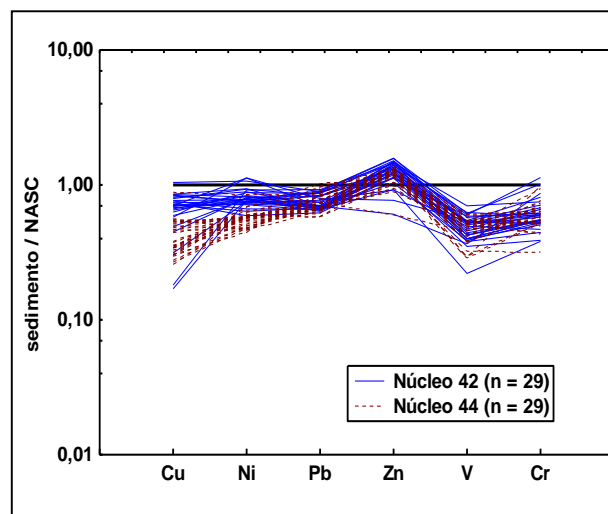


Figura 38. Diagrama de metales traza. Las concentraciones se normalizaron utilizando North American Shale Composite (Gromet et al., 1984). Se colocó una línea horizontal con valor de 1 para referenciar nuestros datos.

En la tabla 23 se hace una comparación de los intervalos para zinc en regiones cercanas a nuestra área de estudio. Los intervalos de concentración obtenidos son muy parecidos. Lo anterior nos haría suponer muestra que las concentraciones obtenidas presentan efectos de contaminación por aportes antrópicos.

Tabla 23. Concentración de zinc (mg/Kg).

| Área de estudio | Zn | |
|--------------------------------|--------------|--------------------------------|
| Rio Coatzacoalcos | 88-109 | Bahena-Manjarrez et al. (2002) |
| Rio Coatzacoalcos | 69-235 | Rosales- Hoz et al. (2003) |
| Estuario del Río Coatzacoalcos | 47-131 | Botello & Páez-Osuna. (1986) |
| Estuario del Río Coatzacoalcos | 64-109 | Ruiz Fernández et al. (2012) |
| N42 | 42.85-111.7 | El presente trabajo |
| N44 | 45.14-107.41 | El presente trabajo |

Sin embargo se observa que los valores más altos de zinc son aparentemente los más enriquecidos lo cual no necesariamente implica que se trate de contaminación ambiental, ya que los rangos observados son similares a los rangos que se presentan en rocas basálticas (Treuil et al., 1970; Oyarzún et al., 2016) e incluso sería de esperar valores aún más altos en limos-arcillosos y arcillas-limosas. Esto es muy importante porque en ocasiones se confunden valores altos de metales con actividad antrópica y no siempre es el caso.

Finalmente el índice que se calculó para conocer el ambiente de depósito de los sedimentos (conocer la presencia o ausencia de oxígeno) fue a través la relación entre vanadio y cromo. El cromo se encuentra incorporado en sedimentos clásticos ya que puede sustituir al aluminio en las arcillas o ser adsorbido en forma de cromita mientras que el vanadio puede incorporarse en la materia orgánica como V^{4+} además de concentrarse bajo condiciones reductoras (Ernst, 1970). Valores de V/Cr arriba de 2 indica depósito en condiciones anóxicas mientras que valores por debajo de 2 indica condiciones más oxidantes (Jones & Manning, 1993). Los resultados de nuestros datos para ambos núcleos presentan valores alrededor de 1 que indican condiciones oxidantes. Estas condiciones se relacionan con la intemperización de los sedimentos.

CONCLUSIONES

-Las concentraciones de arenas son muy bajas en el N42 asociado al relieve suave donde se perforó dicho núcleo. El N44 se ubica al pie de un cantil y en él existen importantes horizontes arenosos, sobre todo a partir de 150 cm hacia abajo donde se reflejan condiciones de mayor energía, asociados al Pleistoceno.

-Los promedios de concentración de elementos mayores, materia orgánica y carbonatos son muy similares en los dos núcleos. El análisis en la distribución vertical de elementos mayores muestra en el núcleo 42 mayor concentración de aluminio, sodio y potasio en la superficie que sugiere mayor concentración de plagioclasas. La concentración promedio más alta de sílice y arenas en la parte inferior del núcleo 44 sugiere la presencia de cuarzo.

-Las concentraciones obtenidas de metales a lo largo de los dos núcleos presentan valores semejantes. El cobre en el núcleo 42 mostró una tendencia de aumento hacia la superficie; que podría relacionarse con un mayor aporte de sedimentos terrígenos no obstante para el núcleo 44 las concentraciones disminuyen hacia la superficie debido a su ubicación la cual impide una libre sedimentación.

-La intensidad de intemperización en nuestros sedimentos se evaluó a través del índice de alteración química indicando un grado moderado para ambos, denotando cambios en los minerales que integraban a la roca fuente.

-El factor de enriquecimiento presentó enriquecimiento de zinc para ambos núcleos, sin embargo las concentraciones de zinc son similares a valores encontrados en rocas basálticas y esto implica que no se trata de contaminación ambiental.

REFERENCIAS

Aguayo J.E. y Trápaga R., 2001. "Geodinámica de México y minerales del mar" La ciencia para todos, 2 ed. México, 105 pp.

Antoine W. J., 1972. "Structure of the Gulf of México", p. 134, In: R. Rezak and J.H. Vernon. Contributions on the Geological and Geographical Oceanography on the Gulf of México, Volumen 3, Texas A & M. University, Oceanography Studies. 303 pp.

Arcega Cabrera F.; Castillo Blum S.E., and Armienta M.A., 2010. "Tetraethyl lead release from sediments in a mine-impacted tropical river", Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 2, 119-127.

Armstrong Altrin, J.S., 2015. "Evaluation of two multi-dimensional discrimination diagrams from beach and deep sea sediments from the Gulf of Mexico and their application to Precambrian clastic sedimentary rocks". International Geology Review 57, 1446-1461.

Armstrong Altrin J.S., Machain Castillo M.L., Rosales Hoz L., Carranza-Edwards A., Sanchez-Cabeza J.A., and Ruiz-Fernández A.C., 2015. "Provenance and depositional history of continental slope sediments in the Southwestern Gulf of Mexico unraveled by geochemical analysis". Continental Shelf Research 95, 15-26.

Atlas Oceanográfico del Golfo de México y mar Caribe, sección I: Mares y corrientes, Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo, 1974-1999.

Bahena Manjarrez J.L., Rosales Hoz L., and Carranza Edwards A., 2002. Spatial and temporal variation of heavy metals in a tropical estuary. Environmental Geology 42, 575–582.

Birch G., 2003. "A scheme for assessing human impacts on coastal aquatic environments using sediments". In: Woodcoffe, C.D., Furness, R.A. (Eds), Coastal GIS 2003. Wollongong University Papers in Center for Maritime Policy 14, Australia, 371-380.

Botello A.V., y Páez-Osuna F., 1986. El problema crucial , la contaminación. CECODES, México, 62–85.

- Carranza-Edwards A., 1997. "La granulometría y su uso en estudios geoquímicos y ambientales: Actas INAGEQ, 3, 235-243.
- Caso M., Pisanty I. y Ezcurra E. (compiladores), 2004. "Diagnóstico ambiental del Golfo de México", Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Vol. 2
- Chester R. 2000. "Marine Geochemistry", Oxford: Blackwell Science, 506 pp.
- De Carlo E. H., and Anthony S.S., 2002. "Spatial and temporal variability of trace element concentrations in an urban subtropical watershed, Honolulu, Hawaii", Applied Geochemistry 17, 475-492.
- Ernst T.W., 1970. "Geochemical Facies Analysis", Elsevier, Amsterdam, 152 pp.
- Figueruelo J., y Marino M., 2004. "Química Física del ambiente y de los procesos Medioambientales". Reverté, México, 570 pp.
- Folk R.L. 1974. "Petrology of sedimentary rocks", Hemphill Pub.Co.Austin, 182 pp.
- Folk., R.L., y Ward, W.C. 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. Journal of Sedimentary Petrology 27, 3-26.
- Gromet P. L., 1984. "The "North American Shale Composite": Its compilation, major and trace element characteristics", Geochimica en Cosmochimica Acta 28, 2469-2482.
- Harris D.C., 2007. "Análisis químico Cuantitativo", 6 ED, Reverté, España, 719 pp.
- Herron M.M., 1988. "Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data", Journal Sedimentological Petrology 58, 820-829.
- Jafarzadeh M., Harami R.M., Friis H., Amini A., Mahboubi A., and Lenaz D., 2014. "Provenance of the Oligocene-Miocene Zivah Formation, NW Iran, assessed using heavy mineral assemblage and detrital clinopyroxene and detrital apatite analyses", Journal of Africa Earth Sciences 89, 56-71.

Jones B., and Manning D.A.C., 1994. "Comparison of geochemical indices used for the interpretation of paleoredox conditions in ancient mudstones", *Chemical Geology* 111, 111-129.

Li G., Cao Z., Lan D., Xu J., Wang S., and Yin W., 2006. "Spatial variations in grain size distribution and selected metal contents in the Xiamen Bay, China", *Environmental Geology* 52, 1559-1567.

Liaghati T., Preda M., and Cox M., 2003. "Heavy metal distribution and controlling factors within coastal plain sediments, Bells Creek catchment, southeast Queensland, Australia", *Environment International* 29, 935-948.

Libes S. 2009. "Introduction to Marine Geochemistry", Ed. John Wiley and Sons, 909 pp.

Loring D., and Rantala R., 1992. "Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter", *Earth Sciences Review* 32, 235-283.

Lozano S., Verma P., y Giron P. 1995., "Calibración preliminar de fluorescencia de Rayos X para análisis cuantitativos de elementos mayores en rocas ígneas", *Actas INAGEQ.*, 1, 203-208.

Machain-Castillo M.L., Armstrong-Altrin J.S., Carranza-Edwards A., Gío-Argáez F.R., Rosales-Hoz L., Ruiz-Fernández A.C., and Sanchez-Cabeza J.A., 2012. "Informe inédito final de PEMEX: Servicios Interdisciplinarios de Facies sedimentarias del fondo marino del Golfo de México para la calibración de modelos sísmicos".

McLennan S.M., Hemming S., McDaniel D.K., and Hanson G.N., 1993. "Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics, In: Johnsson M.J., Basu A., (Eds.), *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments*, *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.*, 21-40 pp.

Marsaglia K.M., De Vaughn A.M., James D.E., and Marden M., 2010. "Provenance of fluvial terrace sediments within the Waipaoa sedimentary system and their importance to New Zealand source to sink studies", *Marine Geology* 270, 84-93.

Martínez Correa J.R., 2012. "Sedimentología de un núcleo de sedimentos de mar profundo recolectado al norte de la isla Clarión, Colima, México". Tesis de Maestría en ciencias, Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM, 110 pp.

Melgajero J.C. 2003. "Atlas de asociaciones minerales en lámina delgada", GRAMAGRAF, España, 451.

Mikac I., Fiket Z., Terzic S., Barestic J., Mikac N., and Ahel M., 2011. "Chemical indicators of anthropogenic impacts in sediment of the pristine karst lakes", *Chemosphere* 84, 1140-1149.

Morillo J., Usero J., and Gracia I., 2004. "Heavy metal distribution in marine sediments from the southwest coast of Spain", *Chemosphere* 55, 431-442.

Nesbitt H.W., and Young G.M., 1982. "Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites", *Nature* 299, 715-717.

Oyarzún J., Oyarzun R., Lillo J., Higuera P., Maturana H., and Oyarzún R., 2016. "Distribution of chemical elements in calc-alkaline igneous rocks, soils, sediments and tailings deposits in northern central Chile", *Journal of South American Earth Sciences* 69, 25-42.

Páez Osuna F., and Osuna López J.I., 1987. "Acumulación de metales pesados en Mitla: una laguna costera tropical". *Ciencias Marinas*. 13: 97-112.

Páez-Osuna F., 2005. "Fuentes de metales en la zona costera marina". p. 329-342. In: A. V. Botello, J. Rendon-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds). *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnostico y Tendencias*, 2da Edición. Univ. Autónoma De Campeche, Universidad Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología, 696 pp.

Páez Osuna F. and Farias M.G., 2001. "Bioacumulación distribución y efectos de los metales pesados en los peneidos", *Camaronicultura y Medio Ambiente*. UNAM, El colegio de Sinaloa, México, págs. 245-369.

Phillips W.J. y Phillips N., 1986. "Fundamentos de mineralogía para geólogos", Limusa, México, 364p.

Pirmez C. and Imran J., 2003. "Reconstruction of turbidity currents in Amazon Chanel", *Marine and Petroleum Geology* 20, 823-849.

Riley J.P. y Chester R., 1989. "Introducción a la Química Marina", A.G.T. Editor, S.A, México, 250 pp.

Rosales Hoz, L., 1980. "Manual de Oceanografía Química", UNAM, 203 pp.

Rosales Hoz L. y Carranza Edwards A. 2005. "Estudio Geoquímico de Metales en el Estuario del Rio Coatzacoalcos". p. 389-406. In: A. V. Botello, J. Rendon-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnostico y Tendencias, 2da Edición. Univ. Autón. De Campeche, Univ. Autón. De México, Instituto Nacional de Ecología, 696 pp.

Rosales Hoz L., Cundy A.B., and Bahena Manjarrez J.L. 2003. "Heavy metals in sediment cores from a tropical estuary affected by anthropogenic discharges: Coatzacoalcos estuary, Mexico". *Estuarine coastal and shelf science* 58, 117-126.

Roser B.P. and Korsch R.J., 1988. "Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discrimination function analysis of major element data", *Chemical Geology* 67, 119-139.

Ruiz Fernández A.C., Paéz Osuna F., Urrutia Fucugauchi J., Preda M., and Rehault I., 2003. "Historical trends metal fluxes in the Mexico city metropolitan zone as evidenced by a sedimentary record from the Espejo de los Lirios lake". *Journal of Environmental Monitoring*. 6: 473-480.

Ruiz-Fernández A.C., Sánchez-Cabeza J.A., Alonso-Hernández C., Martínez Herrera V., Pérez-Bernal L.H., Preda M., Hillaire-Mercel C., Gastaud J., and Quejido-Cabezas A.J., 2012. "Effects of land use change and sediment mobilization on coastal contamination (Coatzacoalcos River, Mexico)". *Continental Shelf Research* 37, 57-65.

Saccà C., Saccà D., Nucera P., and De Fazio A., 2011. "Composition and geochemistry of clay sediments offshore the northeastern Sicilian coast (Southeastern Tyrrhenian Sea, Italy)", *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 92, 564-572.

Salomons W. and Förstner U., 1984. "Metals in the hidrologicycle", Springer Verlag, Berlín, 349 pp.

Shepard F.P., 1973. "Submarine geology", Harper and Row, New York, 517 pp.

- Skoog D. A., 2005. "Fundamentos de Química Analítica", 8 Ed., Reverté, Barcelona, 1088 pp.
- Sundararajan M., and Srinivasalu S., 2010. "Geochemistry of core sediments from Gulf of Mannar, India", *Int. Journal Environment Research* 4, 861-876.
- Tarbutck E. J. and Lutgens F.K., 2005. "Earth: An Introduction to Physical Geology", Pearson Prentice Hall, 657 pp.
- Taylor, S. R. and McLennan, S. M., 2012. "Geology, geochemistry and natural abundances of the rare earth elements", In: D. A. Atwood (Ed.) *The Rare Earth Elements: Fundamentals and Applications*. John Wiley&Sons (Chichester, UK), 1-19 pp.
- Treuil M., Varet J. and Billhot M., 1970. "Distribution of Nickel, Copper and Zinc in the Volcanic Series of Erta' Ale, Ethiopia", *Contr. Mineral. and Petrol.* 30, 84-94.
- Trefethen J.M., 1950. "Classification of sediments", *American Journal Science* 248, 55-62.
- Valdés J. y Sifeddine A., 2009. "Composición elemental y contenido de metales en sedimentos marinos de la bahía Mejillones del Sur, Chile: evaluación ambiental de la zona costera", *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 37, 131-141.
- Velde B. and Meunier A., 2008. "The origin of clay minerals in soils and weathered rocks", Springer Verlag, Berlín, 406pp.
- Vera Mendoza R. and Salas de León D.A., 2014. "Effect of environmental factors on zooplankton abundance and distribution in river discharge influence areas in the southern Gulf of Mexico", In: Amezcua, F., Bellgraph, B. (Eds.), *Fisheries Management of Mexican and Central American Estuarines. Estuarines of the World*, Springer, Dordrecht, Heidelberg, New York, London, pp. 93-112.
- Verma S.P. 2005. "Estadística Básica para el manejo de datos experimentales: Aplicación en la Geoquímica (Geoquimiometría)", Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 186 pp.
- Wittmann, G.T.W. and Forstner U., 1975. "Metal enrichment of sediments in inland waters: The Hartbeespoort Dam", *Water SA*, 1: 76-82.

Xu J.P., Sequeiros O.E. and Noble M.A., 2014. "Sediment concentrations, flow conditions, and downstream evolution of two turbidity currents, Monterey Canyon, USA", *Deep-Sea Research I* 89, 11-34.

Yang Y., Liu Z., Chen F., Wu S. Zhang L., Kang M. and Li J., 2014. "Assessment of trace element contamination in sediment cores from the Pearl River and estuary, South China: geochemical and multivariate analysis approaches", *Environmental Monitoring and Assessment* 186, 8089-8107.

Zamora-Camacho A., Espindola V.H., Pacheco J.F., Espindola J.M. and Godinez M.L., 2010. "Crustal thickness at the Tuxtla Volcanic Field", *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 182, 1-9.

Zavala-Hidalgo J., Morey S.L. and O'Brien J.J., 2003. "Seasonal circulation on the western shelf of the Gulf of Mexico using a high-resolution numerical model". *Journal of Geophysical Research* 108, 1-19.

Zhou G., Sun B., Zeng D., Wei H., Liu Z. and Zhang B., 2013. "Vertical distribution of trace elements in the sediment cores from major rivers in east China and its implication on geochemical background and anthropogenic effects", *Journal of Geochemical Exploration* 139, 53-67.

FUENTES ELECTRÓNICAS

Programa de Medidas Preventivas y Mitigación de la Sequía. Recuperado el 20 de Enero 2015 del sitio web de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales: <http://www.pronacose.gob.mx>

Secretaria de Marina SEMAR. Recuperado el 18 de Agosto 2015 del sitio <http://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioCoatza.pdf>.

SEMARNAT, 2010. *Statistics on Water in Mexico*, Edition National Water Commission of Mexico, 249 pp.

ANEXO

Tabla A1. Concentración de elementos mayores en cada intervalo N42

| (cm) | 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 (%) | LOI (%) | Total (%) |
|-------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------|------------|------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------------------|------------|--------------|
| 2 | 45.28 | 0.61 | 13.88 | 5.41 | 0.08 | 2.74 | 8.74 | 2.88 | 2.10 | 0.14 | 18.5 | 100.32 |
| 4 | 46.22 | 0.60 | 14.02 | 5.47 | 0.06 | 2.74 | 8.72 | 2.75 | 2.31 | 0.14 | 18.1 | 101.15 |
| 5 | 46.05 | 0.58 | 14.08 | 5.38 | 0.06 | 2.55 | 8.78 | 2.53 | 2.27 | 0.14 | 18.2 | 100.66 |
| 8 | 46.40 | 0.58 | 14.13 | 5.28 | 0.06 | 2.62 | 8.66 | 2.29 | 2.21 | 0.14 | 18.1 | 100.49 |
| 10 | 45.99 | 0.61 | 14.00 | 5.24 | 0.06 | 2.59 | 8.86 | 2.30 | 2.22 | 0.14 | 18.1 | 100.06 |
| 12 | 45.79 | 0.57 | 14.00 | 5.16 | 0.06 | 2.54 | 9.31 | 2.31 | 2.02 | 0.14 | 18.5 | 100.46 |
| 14 | 47.35 | 0.60 | 14.30 | 5.14 | 0.05 | 2.57 | 8.84 | 2.71 | 2.30 | 0.15 | 17.3 | 101.34 |
| 16 | 50.00 | 0.67 | 14.27 | 5.12 | 0.06 | 2.40 | 8.03 | 3.25 | 2.48 | 0.15 | 14.9 | 101.38 |
| 18 | 53.47 | 0.68 | 14.55 | 5.06 | 0.06 | 2.00 | 6.76 | 3.63 | 2.55 | 0.14 | 12.2 | 101.14 |
| 20 | 46.79 | 0.60 | 14.03 | 5.19 | 0.05 | 2.50 | 9.31 | 2.79 | 2.24 | 0.15 | 17.6 | 101.22 |
| 22 | 46.48 | 0.60 | 14.04 | 4.93 | 0.06 | 2.55 | 9.69 | 2.35 | 2.11 | 0.16 | 18.7 | 101.73 |
| 24 | 46.88 | 0.60 | 14.46 | 5.15 | 0.05 | 2.54 | 9.26 | 2.42 | 1.87 | 0.15 | 18.3 | 101.72 |
| 25 | 46.97 | 0.59 | 14.28 | 5.19 | 0.05 | 2.50 | 9.28 | 2.29 | 2.15 | 0.15 | 18.1 | 101.55 |
| 29 | 47.71 | 0.61 | 14.23 | 5.47 | 0.05 | 2.54 | 8.61 | 2.78 | 2.11 | 0.14 | 17.8 | 102.10 |
| 59 | 47.35 | 0.60 | 14.41 | 5.38 | 0.05 | 2.63 | 8.71 | 2.51 | 2.22 | 0.14 | 17.8 | 101.81 |
| 89 | 45.95 | 0.60 | 13.89 | 5.40 | 0.05 | 2.62 | 9.76 | 2.41 | 1.77 | 0.16 | 18.8 | 101.44 |
| 119 | 45.64 | 0.60 | 13.72 | 5.13 | 0.06 | 2.61 | 9.95 | 2.27 | 1.87 | 0.16 | 18.9 | 100.91 |
| 149 | 44.84 | 0.62 | 13.51 | 4.99 | 0.06 | 2.65 | 11.1 | 2.13 | 1.63 | 0.18 | 19.4 | 101.14 |
| 179 | 44.89 | 0.60 | 13.38 | 4.99 | 0.05 | 2.50 | 11.3 | 2.50 | 1.69 | 0.18 | 19.1 | 101.22 |
| 209 | 44.24 | 0.60 | 13.45 | 4.96 | 0.06 | 2.61 | 11.4 | 2.18 | 1.47 | 0.17 | 19.5 | 100.72 |
| 239 | 44.44 | 0.57 | 13.33 | 4.95 | 0.06 | 2.47 | 11.5 | 2.18 | 1.60 | 0.17 | 19.4 | 100.64 |
| 269 | 45.23 | 0.56 | 12.57 | 4.73 | 0.07 | 2.75 | 11.9 | 1.86 | 1.42 | 0.17 | 19.5 | 100.89 |
| 299 | 44.37 | 0.63 | 13.25 | 5.17 | 0.06 | 2.64 | 11.3 | 1.96 | 1.55 | 0.16 | 18.8 | 99.87 |
| 329 | 44.42 | 0.59 | 12.74 | 4.89 | 0.07 | 2.41 | 12.1 | 1.98 | 1.55 | 0.18 | 18.6 | 99.54 |
| 359 | 46.40 | 0.63 | 13.38 | 4.93 | 0.07 | 2.39 | 11.5 | 2.27 | 1.68 | 0.16 | 17.4 | 100.77 |
| 389 | 47.29 | 0.67 | 13.95 | 5.33 | 0.06 | 2.35 | 9.87 | 2.22 | 1.28 | 0.14 | 17.0 | 100.19 |
| 419 | 48.21 | 0.63 | 14.30 | 5.38 | 0.07 | 2.33 | 9.78 | 2.05 | 1.92 | 0.15 | 16.3 | 101.14 |
| 449 | 47.71 | 0.66 | 14.00 | 5.34 | 0.07 | 2.41 | 10.2 | 2.02 | 1.83 | 0.16 | 16.2 | 100.60 |
| 479 | 47.21 | 0.65 | 14.08 | 5.23 | 0.08 | 2.48 | 10.3 | 2.07 | 1.76 | 0.15 | 16.9 | 100.89 |
| Prom | 46.54 | 0.61 | 13.87 | 5.17 | 0.06 | 2.52 | 9.78 | 2.41 | 1.94 | 0.15 | 17.9 | 100.93 |
| min. | 44.24 | 0.57 | 12.57 | 4.73 | 0.05 | 2.0 | 6.76 | 1.82 | 1.2 | 0.13 | 12.2 | 99.54 |
| max. | 53.46 | 0.68 | 14.55 | 5.47 | 0.08 | 2.75 | 12.1 | 3.63 | 2.55 | 0.17 | 19.5 | 101.81 |
| Dest. | 1.87 | 0.03 | 0.49 | 0.19 | 0.01 | 0.15 | 1.30 | 0.39 | 0.33 | 0.01 | 1.53 | 0.60 |

Tabla A2. Concentración de metales traza en cada intervalo N42

| Profundidad (cm) | V (ppm) | Cr (ppm) | Pb (ppm) | Ni (ppm) | Cu (ppm) | Zn (ppm) |
|---------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2 | 23.56 | 34.45 | 10.83 | 44.55 | 35.07 | 64.36 |
| 4 | 47.66 | 49.89 | 13.80 | 44.76 | 32.85 | 93.26 |
| 5 | 66.59 | 93.08 | 14.85 | 51.58 | 43.42 | 111.16 |
| 8 | 49.63 | 55.20 | 14.74 | 36.68 | 34.61 | 88.78 |
| 10 | 50.78 | 60.07 | 11.13 | 36.30 | 34.76 | 99.13 |
| 12 | 41.71 | 48.09 | 11.38 | 37.86 | 24.59 | 72.64 |
| 14 | 43.59 | 47.18 | 11.16 | 32.60 | 32.16 | 92.95 |
| 16 | 41.74 | 41.28 | 11.46 | 31.20 | 30.10 | 85.27 |
| 18 | 39.21 | 36.79 | 10.70 | 29.55 | 31.77 | 82.55 |
| 20 | 45.97 | 50.65 | 10.78 | 34.34 | 29.61 | 86.42 |
| 22 | 39.54 | 79.33 | 11.56 | 42.85 | 33.60 | 42.85 |
| 24 | 44.54 | 51.51 | 11.84 | 35.80 | 29.92 | 88.55 |
| 25 | 45.81 | 56.79 | 14.17 | 41.68 | 37.33 | 93.45 |
| 29 | 43.72 | 50.69 | 11.86 | 39.76 | 35.77 | 105.85 |
| 59 | 64.92 | 57.68 | 12.59 | 41.25 | 29.57 | 81.25 |
| 89 | 55.70 | 53.70 | 11.56 | 35.42 | 28.67 | 104.51 |
| 119 | 56.55 | 63.33 | 12.16 | 35.33 | 29.95 | 93.53 |
| 149 | 65.01 | 51.71 | 10.95 | 38.24 | 26.58 | 94.46 |
| 179 | 52.17 | 50.23 | 10.10 | 35.73 | 30.36 | 76.96 |
| 209 | 53.86 | 53.35 | 10.53 | 36.57 | 25.93 | 89.09 |
| 239 | 50.61 | 40.62 | 12.15 | 33.43 | 26.75 | 61.60 |
| 269 | 55.60 | 50.70 | 12.84 | 37.89 | 23.42 | 95.44 |
| 299 | 61.18 | 97.73 | 10.75 | 51.17 | 22.60 | 95.53 |
| 329 | 53.39 | 67.10 | 11.94 | 49.28 | 26.38 | 49.28 |
| 359 | 52.97 | 59.02 | 13.95 | 36.48 | 19.44 | 97.25 |
| 389 | 45.50 | 49.28 | 13.60 | 38.52 | 18.50 | 94.88 |
| 419 | 58.34 | 47.86 | 13.99 | 36.95 | 13.24 | 88.05 |
| 449 | 75.39 | 68.26 | 15.31 | 44.05 | 7.49 | 102.43 |
| 479 | 58.16 | 48.10 | 15.08 | 37.24 | 7.07 | 111.77 |
| Prom. | 51.15 | 55.64 | 12.34 | 38.86 | 27.64 | 87.70 |
| min. | 23.56 | 34.45 | 10.10 | 29.55 | 7.07 | 42.85 |
| max. | 75.39 | 97.73 | 15.31 | 51.58 | 43.42 | 111.7 |
| Dest. | 10.30 | 14.42 | 1.55 | 5.53 | 8.33 | 16.54 |

ppm= mg/Kg

Tabla A3. Concentración de elementos mayores en cada intervalo N44

| (cm) | 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 (%) | LOI (%) | Total (%) |
|-------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------|------------|------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------------------|------------|--------------|
| 2 | 46.51 | 0.61 | 14.15 | 5.51 | 0.05 | 2.81 | 8.90 | 2.84 | 2.08 | 0.15 | 18.1 | 101.66 |
| 4 | 46.65 | 0.59 | 14.22 | 5.28 | 0.04 | 2.57 | 9.08 | 2.96 | 1.79 | 0.15 | 18.2 | 101.53 |
| 5 | 47.06 | 0.62 | 14.21 | 5.42 | 0.04 | 2.72 | 8.94 | 2.55 | 2.14 | 0.14 | 18.5 | 102.30 |
| 8 | 46.72 | 0.58 | 14.01 | 5.41 | 0.04 | 2.61 | 8.82 | 2.46 | 2.05 | 0.14 | 18.2 | 100.99 |
| 10 | 47.07 | 0.58 | 14.13 | 5.19 | 0.03 | 2.56 | 8.98 | 2.78 | 2.10 | 0.14 | 18.3 | 101.89 |
| 12 | 46.41 | 0.61 | 14.32 | 5.25 | 0.04 | 2.69 | 9.08 | 2.45 | 2.11 | 0.14 | 18.4 | 101.46 |
| 14 | 47.16 | 0.61 | 14.47 | 5.13 | 0.03 | 2.65 | 9.58 | 2.77 | 2.10 | 0.15 | 18.5 | 103.11 |
| 16 | 46.96 | 0.59 | 14.15 | 5.19 | 0.04 | 2.65 | 9.06 | 2.28 | 1.97 | 0.13 | 18.2 | 101.21 |
| 18 | 47.40 | 0.60 | 14.16 | 5.24 | 0.04 | 2.60 | 9.22 | 2.77 | 2.11 | 0.14 | 18.4 | 102.67 |
| 20 | 48.28 | 0.64 | 14.22 | 5.13 | 0.04 | 2.59 | 8.74 | 2.76 | 2.28 | 0.13 | 16.8 | 101.65 |
| 22 | 50.06 | 0.62 | 14.84 | 5.40 | 0.04 | 2.74 | 8.30 | 3.39 | 2.12 | 0.14 | 16.6 | 104.23 |
| 24 | 49.27 | 0.60 | 14.78 | 5.34 | 0.04 | 2.67 | 8.76 | 3.08 | 2.19 | 0.13 | 17.5 | 104.31 |
| 25 | 50.14 | 0.64 | 15.24 | 5.41 | 0.04 | 2.84 | 8.78 | 3.07 | 2.27 | 0.14 | 17.5 | 106.03 |
| 29 | 49.18 | 0.58 | 15.22 | 5.25 | 0.03 | 2.83 | 9.17 | 2.84 | 2.26 | 0.13 | 18.2 | 105.65 |
| 59 | 47.37 | 0.61 | 14.55 | 4.95 | 0.03 | 2.63 | 8.99 | 2.78 | 2.18 | 0.13 | 18.3 | 102.57 |
| 89 | 47.34 | 0.59 | 14.71 | 5.15 | 0.04 | 2.71 | 9.38 | 2.51 | 1.94 | 0.14 | 18.8 | 103.27 |
| 119 | 46.20 | 0.57 | 14.00 | 4.97 | 0.04 | 2.71 | 10.0 | 2.78 | 1.68 | 0.14 | 18.6 | 101.71 |
| 149 | 47.46 | 0.62 | 14.62 | 5.20 | 0.04 | 2.96 | 11.5 | 2.97 | 1.87 | 0.18 | 18.1 | 105.48 |
| 179 | 46.06 | 0.56 | 14.22 | 4.94 | 0.03 | 2.63 | 11.5 | 2.48 | 1.64 | 0.17 | 19.6 | 103.85 |
| 209 | 46.49 | 0.57 | 14.49 | 4.91 | 0.04 | 2.92 | 11.4 | 2.96 | 1.55 | 0.17 | 19.4 | 104.98 |
| 239 | 46.54 | 0.60 | 14.12 | 4.98 | 0.04 | 2.87 | 12.3 | 2.79 | 1.84 | 0.17 | 17.7 | 103.99 |
| 269 | 48.09 | 0.68 | 14.44 | 5.70 | 0.05 | 3.14 | 11.3 | 3.08 | 1.67 | 0.16 | 17.9 | 106.14 |
| 299 | 47.35 | 0.59 | 13.86 | 4.97 | 0.05 | 2.82 | 12.5 | 2.43 | 1.44 | 0.18 | 18.9 | 105.05 |
| 329 | 48.97 | 0.62 | 14.49 | 5.02 | 0.05 | 2.71 | 10.9 | 2.69 | 1.77 | 0.16 | 17.2 | 104.64 |
| 359 | 48.85 | 0.68 | 14.73 | 5.05 | 0.05 | 2.52 | 9.53 | 2.73 | 1.87 | 0.14 | 16.5 | 102.68 |
| 389 | 50.61 | 0.64 | 15.24 | 5.32 | 0.04 | 2.59 | 9.39 | 2.65 | 2.14 | 0.12 | 15.5 | 104.29 |
| 419 | 49.41 | 0.66 | 14.94 | 5.20 | 0.05 | 2.59 | 9.71 | 2.75 | 1.84 | 0.14 | 16.8 | 104.11 |
| 449 | 50.62 | 0.67 | 15.24 | 5.18 | 0.06 | 2.60 | 10.2 | 2.94 | 1.82 | 0.15 | 16.4 | 105.94 |
| 479 | 49.73 | 0.64 | 15.24 | 5.11 | 0.06 | 2.80 | 10.6 | 3.29 | 1.79 | 0.15 | 17.5 | 106.91 |
| Prom | 47.93 | 0.61 | 14.52 | 5.20 | 0.04 | 2.71 | 9.81 | 2.79 | 1.95 | 0.15 | 17.9 | 103.60 |
| min. | 46.06 | 0.57 | 13.86 | 4.94 | 0.03 | 2.51 | 8.29 | 2.27 | 1.44 | 0.13 | 15.5 | 100.99 |
| max. | 50.62 | 0.67 | 15.24 | 5.70 | 0.06 | 3.14 | 12.4 | 3.38 | 2.28 | 0.18 | 19.6 | 106.91 |
| Dest. | 1.43 | 0.03 | 0.43 | 0.19 | 0.01 | 0.14 | 1.17 | 0.26 | 0.23 | 0.02 | 0.93 | 1.62 |

Tabla A4. Concentración de metales traza en cada intervalo N44

| Profundidad (cm) | V (ppm) | Cr (ppm) | Pb (ppm) | Ni (ppm) | Cu (ppm) | Zn (ppm) |
|---------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2 | 51.82 | 60.55 | 17.14 | 33.54 | 14.41 | 80.95 |
| 4 | 57.81 | 49.61 | 16.51 | 28.30 | 14.37 | 94.76 |
| 5 | 55.49 | 48.31 | 14.68 | 30.53 | 12.75 | 89.61 |
| 8 | 54.26 | 40.41 | 15.07 | 32.99 | 12.38 | 82.59 |
| 10 | 31.30 | 48.23 | 14.17 | 24.14 | 12.36 | 81.72 |
| 12 | 32.04 | 92.30 | 16.35 | 21.84 | 13.01 | 91.30 |
| 14 | 42.93 | 66.91 | 14.32 | 23.86 | 11.47 | 90.55 |
| 16 | 47.12 | 56.10 | 11.29 | 29.01 | 10.78 | 93.51 |
| 18 | 45.25 | 71.05 | 12.46 | 28.08 | 13.22 | 91.83 |
| 20 | 55.72 | 67.83 | 12.31 | 28.72 | 14.89 | 89.18 |
| 22 | 49.44 | 53.02 | 10.83 | 27.19 | 14.46 | 95.57 |
| 24 | 59.91 | 52.33 | 11.57 | 25.12 | 12.07 | 77.21 |
| 25 | 62.34 | 64.68 | 12.09 | 26.76 | 15.36 | 72.37 |
| 29 | 60.07 | 56.32 | 11.79 | 28.53 | 16.10 | 99.38 |
| 59 | 60.37 | 50.14 | 11.77 | 32.41 | 14.71 | 93.16 |
| 89 | 69.16 | 60.55 | 11.32 | 28.97 | 16.31 | 97.20 |
| 119 | 64.93 | 45.42 | 9.68 | 28.78 | 15.76 | 84.48 |
| 149 | 67.10 | 60.60 | 10.12 | 30.10 | 20.76 | 77.03 |
| 179 | 62.43 | 48.31 | 11.44 | 27.46 | 19.55 | 83.98 |
| 209 | 57.12 | 41.07 | 11.70 | 27.33 | 19.00 | 64.69 |
| 239 | 57.83 | 48.14 | 11.28 | 28.10 | 21.79 | 69.90 |
| 269 | 60.14 | 59.68 | 13.21 | 28.93 | 22.83 | 87.62 |
| 299 | 34.37 | 28.81 | 10.56 | 22.04 | 18.99 | 78.75 |
| 329 | 51.38 | 51.35 | 12.44 | 23.58 | 24.01 | 87.99 |
| 359 | 55.04 | 90.43 | 14.41 | 23.40 | 24.23 | 77.11 |
| 389 | 53.78 | 66.49 | 14.15 | 25.22 | 22.42 | 97.19 |
| 419 | 52.73 | 66.52 | 13.09 | 29.44 | 24.06 | 45.14 |
| 449 | 43.93 | 58.16 | 14.68 | 29.68 | 23.12 | 107.41 |
| 479 | 34.67 | 52.94 | 14.04 | 28.49 | 24.19 | 97.49 |
| Prom. | 52.77 | 57.11 | 12.91 | 27.67 | 17.22 | 85.51 |
| min. | 31.30 | 28.81 | 9.68 | 21.84 | 10.78 | 45.14 |
| max. | 69.16 | 92.30 | 17.14 | 33.54 | 24.23 | 107.41 |
| Dest. | 10.27 | 13.38 | 1.96 | 3.03 | 4.53 | 12.42 |

ppm= mg/Kg