



Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México

**INVESTIGACIÓN REGIONAL DE SEDIMENTOS DEL PACÍFICO
DENTRO DE LA ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA DE MÉXICO**

T E S I S

que para obtener el título de
Maestra en Ciencias
(Geología Marina)

P R E S E N T A

Ing. Marlene Olivares Cruz

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Arturo Carranza Edwards

COMITÉ TUTORAL:

Dr. Liberto de Pablo Galán

Dr. Joaquín Eduardo Aguayo Camargo

Dr. Jaime Urrutia Fucugauchi

Dr. John S. Armstrong-Altrin

MÉXICO, D.F.

Noviembre de 2012.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Dedicado a quienes todo lo debo:

A mis padres Juan Manuel y Reyna; a mis hermanos Magali, Juan, Gabriel y Jesús.
Gracias por su amor y cariño.

A mi esposo Ulises, por apoyarme e impulsarme siempre, pero sobre todo por su gran amor.

A mis amigos de toda la vida y a mis nuevos amigos, por compartir su tiempo y cariño conmigo.

A todos los maestros que me han compartido su conocimiento y tiempo a lo largo de toda mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, en especial al Posgrado en Ciencias de Mar y Limnología y al Instituto de de Ciencias del Mar y Limnología por la oportunidad que me otorgó para superarme académicamente.

La presente tesis forma parte del Proyecto PAPIIT No. IN105710, titulado "Investigación sobre el origen de nódulos polimetálicos y la composición de sedimentos asociados en el Pacífico Mexicano", bajo la responsabilidad del Dr. Arturo Carranza Edwards, del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.

Le agradezco al Dr. Arturo Carranza Edwards por la oportunidad para realizar esta tesis. Gracias por su guía, sus enseñanzas y sobre todo por apoyo, confianza y amistad, le agradezco sinceramente con mucho cariño.

Al Dr. Liberto de Pablo Galán agradezco por su tiempo y apoyo para la realización de este trabajo, por su asesoramiento en los resultados obtenidos mediante la difracción de rayos X, que ayudaron a mejorar el presente.

Al Dr. Joaquín Eduardo Aguayo Camargo agradezco sus enseñanzas y sus valiosas discusiones sobre el presente trabajo, gracias por su apoyo y tiempo dedicado a la revisión de este trabajo.

Gracias al Dr. Jaime Urrutia Fucugauchi, por su apoyo, su tiempo e interés dedicado a la revisión de este trabajo.

Al Dr. John S. Armstrong-Altrin agradezco por toda la ayuda brindada y asesoramiento durante la realización de este trabajo. Gracias por su tiempo y comentarios que permitieron mejorar el presente.

Gracias al M. C. Eduardo Morales de la Garza, por su apoyo y asesoramiento en el laboratorio de sedimentología; a la Química Adriana Vega por la realización de los análisis para la determinación de los parámetros texturales y a la Bióloga Yolanda Hornelas por las microfotografías en el microscopio electrónico de barrido.

ÍNDICE

	Página
Resumen	1
Abstrac	2
1. Introducción	3
2. Antecedentes	7
2.1. Hipótesis	9
2.2. Objetivos	9
3. Área de estudio	11
3.1. Geología	11
3.2. Corrientes superficiales	12
3.3. Masas de agua	13
4. Materiales y Métodos	15
4.1. Trabajo de campo	15
4.2. Trabajo de laboratorio	15
5. Análisis textural	21
6. Análisis Composicional de la Fracción Arenosa	35
6.1. Microscopía Electrónica	35
6.2. Análisis Petrográfico de la Fracción Arenosa	38
7. Geoquímica	42
8. Conclusiones	57
Bibliografía	59
Anexos	63
Anexo 1. Mapa de localización de estaciones muestreadas para el DSDP- Leg 16.	63
Anexo 2. Tabla de valores de los núcleos DSDP y el presente estudio.	63
Anexo 3. Tabla de valores comparados para este estudio vs. rocas de Isla Clarion y promedio de lutita NASC.	64

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1. Principales desiertos y regiones semi-áridas del mundo.	4
Figura 1.2. Influencia de los vientos alisios en el área de estudio.	4
Figura 3.1. Localización del área de estudio.	11
Figura 3.2. Rasgos tectónicos del área de estudio.	12
Figura 3.3. Circulación oceánica del Océano Pacífico.	13
Figura 4.1. Ejemplo de los colores encontrados en los núcleos muestreados.	18
Figura 5.1. Diagrama de dispersión entre $Mz\phi$ y $\sigma_1\phi$, del núcleo 1.	30
Figura 5.2. Diagrama de dispersión entre $Mz\phi$ y $\sigma_1\phi$, del núcleo 2.	30
Figura 5.3. Diagrama de dispersión entre $Mz\phi$ y $\sigma_1\phi$, del núcleo 3.	30
Figura 5.4. Diagrama de dispersión entre $Mz\phi$ y $\sigma_1\phi$, del núcleo 4.	31
Figura 5.5. Diagrama de dispersión entre $Mz\phi$ y $\sigma_1\phi$, del núcleo 5.	31
Figura 5.6. Diagrama de dispersión entre $Mz\phi$ y $\sigma_1\phi$, del núcleo 6.	31
Figura 5.7. Diagrama de dispersión entre $Mz\phi$ y $\sigma_1\phi$, del núcleo 9.	32
Figura 5.8. Diagrama de dispersión entre $Mz\phi$ y $\sigma_1\phi$, del núcleo 10.	32
Figura 5.9. Diagrama de dispersión entre $Mz\phi$ y $\sigma_1\phi$, del núcleo 11.	32
Figura 5.10. Diagrama de dispersión entre $Mz\phi$ y $\sigma_1\phi$, del núcleo 13.	33
Figura 5.11. Diagrama de dispersión entre $Mz\phi$ y $\sigma_1\phi$, del núcleo 14.	33
Figura 5.12. Diagrama de dispersión entre $Mz\phi$ y $\sigma_1\phi$, del núcleo 15.	33
Figura 6.1. Gráfica de principales elementos químicos en un micronódulo colectado en la estación 7.	37
Figura 7.1. Diagrama de variaciones de elementos mayores y traza del núcleo 1.	46
Figura 7.2. Diagrama de variaciones de elementos mayores y traza del núcleo 2.	46
Figura 7.3. Diagrama de variaciones de elementos mayores y traza del núcleo 3.	46
Figura 7.4. Diagrama de variaciones de elementos mayores y traza del núcleo 4.	47
Figura 7.5. Diagrama de variaciones de elementos mayores y traza del núcleo 5.	47
Figura 7.6. Diagrama de variaciones de elementos mayores y traza del núcleo 6.	47

	Página
Figura 7.7. Diagrama de variaciones de elementos mayores y traza del núcleo 9.	47
Figura 7.8. Diagrama de variaciones de elementos mayores y traza del núcleo 10.	48
Figura 7.9. Diagrama de variaciones de elementos mayores y traza del núcleo 11.	48
Figura 7.10. Diagrama de variaciones de elementos mayores y traza del núcleo 13.	48
Figura 7.11. Diagrama de variaciones de elementos mayores y traza del núcleo 14.	48
Figura 7.12. Diagrama de variaciones de elementos mayores y traza del el núcleo 15.	49
Figura 7.13. Comparación entre elementos mayores del área de estudio y los elementos mayores de basaltos obtenidos en la zona de fracturas Clarión Clipperton por el DSDP (Leg 16).	49
Figura 7.14. Comparación entre elementos mayores del área de estudio contra el promedio de ocho rocas de la isla Clarión colectadas en la campaña MIMAR II y promedio de la Lutita NASC	50
Figura 7.15. Distribución de SiO ₂ en el área de estudio.	51
Figura 7.16. Distribución de Al ₂ O ₃ en el área de estudio.	51
Figura 7.17. Distribución de Co en el área de estudio.	52
Figura 7.18. Distribución de Ni en el área de estudio.	52
Figura 7.19. Abundancia de Cu en el área de estudio.	53
Figura 7.20. Distribución de Zn en el área de estudio.	53
Figura 7.21. Gráfica entre P ₂ O ₅ vs. Cu.	54
Figura 7.22. Abundancia de MnO en el área de estudio.	54
Figura 7.23. Abundancia de Fe ₂ O ₃ en el área de estudio.	55
Figura 7.24. Abundancia de Ba en el área de estudio.	55
Figura 7.25. Abundancia de Sr en el área de estudio.	56

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 3.1. Muestra las diferentes masas de agua en el Océano Pacífico.	14
Tabla 4.1. Longitud de los núcleos y profundidad de las estaciones.	16
Tabla 4.2. Color del sedimento muestreado cada centímetro, para cada uno de los núcleos.	17
Tabla 4.3. Parámetros, fórmulas y límites de Folk.	18
Tabla 5.1. Parámetros texturales y porcentajes de arena, limo y arcilla del núcleo 1.	21
Tabla 5.2. Parámetros texturales y porcentajes de arena, limo y arcilla del núcleo 2.	21
Tabla 5.3. Parámetros texturales y porcentajes de arena, limo y arcilla del núcleo 3.	22
Tabla 5.4. Parámetros texturales y porcentajes de arena, limo y arcilla del núcleo 4.	23
Tabla 5.5. Parámetros texturales y porcentajes de arena, limo y arcilla del núcleo 5.	23
Tabla 5.6. Parámetros texturales y porcentajes de arena, limo y arcilla del núcleo 6.	24
Tabla 5.7. Parámetros texturales y porcentajes de arena, limo y arcilla del núcleo 9.	25
Tabla 5.8. Parámetros texturales y porcentajes de arena, limo y arcilla del núcleo 10.	25
Tabla 5.9. Parámetros texturales y porcentajes de arena, limo y arcilla del núcleo 11.	26
Tabla 5.10. Parámetros texturales y porcentajes de arena, limo y arcilla del núcleo 13.	27
Tabla 5.11. Parámetros texturales y porcentajes de arena, limo y arcilla del núcleo 14.	27
Tabla 5.12. Parámetros texturales y porcentajes de arena, limo y arcilla del núcleo 15.	28
Tabla 5.13. Matriz de correlación entre $Mz\phi$ y $\sigma\phi$.	29
Tabla 6.1. Composición mineralógica de la fracción de arena de los Sedimentos superficiales, normalizados al 100%.	39
Tabla 7.1. Difracción de rayos X para muestra total.	43
Tabla 7.2. Porcentajes de óxidos de elementos mayores obtenidos para los sedimentos en la parte superficial (0 a 1 cm), media y base de los núcleos.	44
Tabla 7.3. Concentración de elementos traza (ppm) obtenidos para los sedimentos en la parte superficial (0 a 1 cm), media y base de los núcleos.	45

ÍNDICE DE LÁMINAS

	Página
Lámina 4.1. Draga de caja utilizada a bordo de B/O El Puma.	15
Lámina 4.2. Se observa la toma de los núcleos de sedimento superficial.	15
Lámina 4.3. En la cual se observa el núcleo 6.	16
Lámina 4.4. En la cual se observa el núcleo 11.	16
Lámina 4.5. Laboratorio de Difracción de Rayos X.	20
Lámina 4.6. Muestras dentro del difractor.	20
Lámina 4.7. Muestras preparadas para DRX.	20
Lámina 4.8. Difractor Shimadzu XRD-6000.	20
Lámina 6.1. Espumelario en el núcleo 5.	35
Lámina 6.2. Naselario en el núcleo 5.	35
Lámina 6.3. . Espumelario en el núcleo 10.	35
Lámina 6.4. Espumelario en el núcleo 10.	35
Lámina 6.5. Espumelario en el núcleo 15.	35
Lámina 6.6. Naselario en el núcleo 13.	35
Lámina 6.7. Naselario en el núcleo 15.	35
Lámina 6.8. Espícula de SiO ₂ en el núcleo 15.	35
Lámina 6.9. Naselario en el núcleo 13.	35
Lámina 6.10. Fotomicrografía de micronódulo en el núcleo 5.	36
Lámina 6.11. Fotomicrografía de micronódulo en el núcleo 5.	36
Lámina 6.12. Fotomicrografía de micronódulo en el núcleo 10.	36
Lámina 6.13. Fotomicrografía de micronódulo en el núcleo 7.	36
Lámina 6.14. Fotomicrografía de posible vidrio volcánico en el núcleo 10.	36
Lámina 6.15. Fotomicrografía de posible vidrio volcánico en el núcleo 10.	36
Lámina 6.16. Diente de tiburón mineralizado.	37
Lámina 6.17. Radiolario mineralizado.	37
Lámina 6.18. Micronódulos y fragmentos de pómez y biógenos silíceos LP.	39
Lámina 6.19. Micronódulos y fragmentos de pómez LT.	39
Lámina 6.20. Fragmentos de rocas volcánicas LP.	40
Lámina 6.21. Fragmentos de rocas volcánicas NX.	40
Lámina 6.22. Fragmento de feldespato NX.	40
Lámina 6.23. Fragmento de feldespato NX.	40
Lámina 6.24. Biógenos silíceos (radiolarios) LP.	40
Lámina 6.25. Biógenos silíceos (radiolarios) LP.	40
Lámina 6.26. Testa de foraminífero aglutinado LP.	41
Lámina 6.27. Testa de foraminífero aglutinado NX.	41

RESUMEN

Se presentan los resultados del estudio de sedimentos marinos asociados con nódulos polimetálicos del proyecto MIMAR en el Océano Pacífico. Durante la campaña oceanográfica MIMAR VI, a bordo del B/O El Puma se recolectaron 12 núcleos de sedimentos con un nucleador de caja, en profundidades variables entre los 3500 y 4000 m. Las estaciones de muestreo se ubican en el Pacífico Central Mexicano dentro de la Zona Económica Exclusiva (ZEE). Con la finalidad de estudiar dichos sedimentos se analizaron la textura, la petrografía y la composición geoquímica de elementos mayores y traza. El objetivo de la tesis es conocer la composición de los sedimentos pelágicos asociados con nódulos polimetálicos que crecen a partir de un núcleo. La textura de los sedimentos es principalmente limosa en parte arcillosa con escasas concentraciones de arenas. Éstas últimas están compuestas principalmente por micronódulos, fragmentos de roca volcánica y plagioclasas y biógenos silíceos. En la mineralogía de las arcillas se observó esmectita > caolinita > illita. Con difracción de rayos X en muestra total, se identificaron además cuarzo y plagioclasa. Entre los elementos mayores se destaca que los porcentajes de SiO_2 y Al_2O_3 son mayores en la zona Norte del área de estudio; mientras que los elementos traza (Co, Ni, Cu, Zn), junto con Fe_2O_3 y MnO, presentan una mayor concentración en la zona Sur del área de estudio. Los sedimentos pelágicos analizados se derivan básicamente de tres fuentes: 1) terrígenas, dominadas por fragmentos de roca volcánica y sedimentos de origen eólico, 2) autigénicas, constituidos por micronódulos y 3) biogénicas, principalmente por radiolarios y diatomeas. Los fragmentos de roca volcánica pueden derivarse de las islas volcánicas, montes submarinos cercanos e incluso erupciones volcánicas lejanas cuyas emisiones a la atmósfera pueden viajar grandes distancias al igual que el cuarzo y las arcillas, mediante transporte eólico. Por otro lado, en el ambiente pelágico profundo las bajas tasas de sedimentación y los aportes de radiolarios y diatomeas junto con la formación autigénica de micronódulos generan mezclas texturales en las cuales dominan los sedimentos mal clasificados y simétricos, en los cuales el limo impartiría las principales características texturales, mineralógicas y composicionales a las muestras de sedimentos debido a su gran abundancia. Finalmente, el color pardo de los sedimentos sugiere condiciones oxidantes en la carpeta superficial de sedimentos del fondo marino.

Palabras Clave: Sedimentos pelágicos, Zona Económica Exclusiva (ZEE), Pacífico Mexicano, micronódulos.

ABSTRACT

During the oceanographic cruise MIMAR VI, aboard the R V El Puma, twelve sediment cores collected with a box corer at depths varying between 3500 and 4000 m. The sampling stations are located in the Central Mexican Pacific within the Exclusive Economic Zone (EEZ). These sediments were analyzed by texture, petrography and geochemical. The aim of the thesis was to determine the composition of pelagic sediments associated with polymetallic nodules that grow up from small nucleus. The texture of the sediments is mainly clayish silt with scarce sand. The latter is mainly composed of micronodules, volcanic rock fragments, plagioclase and siliceous biogenic remains. The observed clay mineralogy was smectite > kaolinite > illite. With X-ray diffraction in the total sample, was identified quartz and plagioclase. Among the major elements, is observed that SiO₂ and Al₂O₃ are higher in the northern study area, while trace elements (Co, Ni, Cu, Zn), together with Fe₂O₃ and MnO, are more concentrated in the south. The analyzed pelagic sediments are derived primarily from three sources: 1) terrigenous dominated by volcanic rock fragments and eolian sediments, 2) authigenic micronodules and 3) radiolarians and diatoms. The source of volcanic rock fragments may be the result of volcanic islands activity, volcanic seamounts and even distant volcanic eruptions whose emissions like quartz and clays, may be transported by winds. On the other hand, in the deep pelagic environment of low sedimentation rates and contributions of radiolarians and diatoms, together with authigenic formation of micronodules generate textural admixtures in which the dominant sediments are misclassified and symmetrical, where the silt has the major influence in texture, mineralogy and composition of the sediment samples due to their high content. Finally, the brown color of the sediments suggests oxidizing conditions in the upper layers of deep sea floor sediments.

Keywords: pelagic sediments, Exclusive Economic Zone (EEZ), Mexican Pacific micronodules, texture, mineralogy, geochemistry.

1. INTRODUCCIÓN

La sedimentología es la rama de la geología que estudia los sedimentos así como su naturaleza, origen, configuración, distribución y extensión de los depósitos sedimentarios y características de sus ambientes de depósito, siendo el análisis de ambientes sedimentarios recientes una de sus aplicaciones más importantes. Así, de esta forma se le ha dado especial atención a los estudios de sedimentos recientes, desde la década de los 60s, dada la necesidad de interpretar con mayor eficacia sus análogos antiguos. Gracias a ello se han establecido o revaluado criterios sobre procesos erosionales, de transporte y de depósito, así como los de litificación, lo cual repercute, no sólo en la investigación básica, sino también en las implicaciones económicas que éstos tienen (Aguayo-Camargo *et al.*, 1980), así como para el eventual aprovechamiento de los minerales estratégicos, sobre todo cuando se trata de sedimentos ricos en metales de importancia económica (Carranza-Edwards y Rosales-Hoz, 1988).

Las arenas transportadas como parte de los sedimentos fluviales, así como parte del material mas fino, se depositan principalmente en las zonas cercanas a la línea de costa. Por otro lado, alrededor del 10% de los sedimentos más finos terminan finalmente en los fondos oceánicos profundos. Junto con estos sedimentos, hay componentes volcánicos, eólicos y de origen glaciario, además del carbonato de calcio y sílice biogénico, forman una gran variedad de depósitos en los fondos oceánicos, los cuales son de interés geológico (Turekian, 1974).

El aporte de los sedimentos terrígenos fluviales los cuales son transportados por medio de las diferentes masas de agua marina, llevando partículas de arcilla y minerales ligeros a grandes distancias (Chamley, 2010). Además los sedimentos terrígenos de los continentes pueden ser transportados a los océanos en forma de polvo a grandes distancias desde unos cientos hasta miles de kilómetros, mediante el transporte eólico. Sin embargo, el viento solo es capaz de llevar partículas de tamaño de grano muy fino (en contraste con el transporte glacial y fluvial), como la fracción de limo y arcilla. Las regiones semiáridas y áridas de los continentes son las principales fuentes para el transporte de sedimentos eólicos, así como las cenizas de erupciones volcánicas las cuales son dispersadas por el viento sobre grandes áreas (Futterer, 2006), (Figs. 1.1 y 1.2). Por otra parte el desgaste del material volcánico submarino como cenizas, vidrio y pómez contribuye a la formación *in situ* de minerales de arcilla (esmectita), en los sedimentos de mar profundo (Folk, 2002).

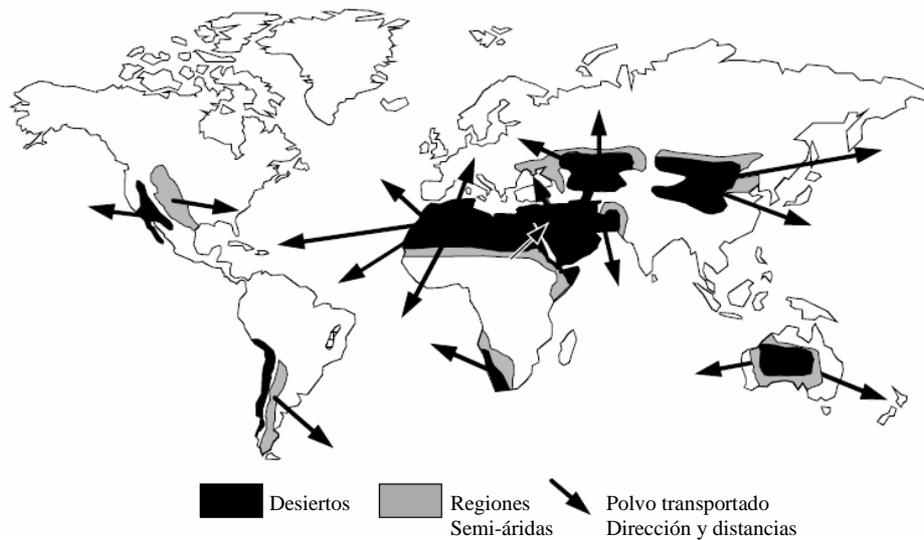


Figura 1.1. Principales desiertos y regiones semi-áridas del mundo que aportan sedimentos terrígenos a los fondos marinos (Futterer, 2006).



Figura 1.2. Influencia de los vientos alisios en el área de estudio. Se observa al centro la dirección de los vientos alisios, los cuales aportan sedimentos terrígenos al área de estudio (Modificado de De la Lanza, 2001).

El nombre de sedimentos pelágicos es utilizado para denominar a todos los materiales depositados en medios marinos alejados de costas. Los procesos que favorecen el depósito de los materiales pelágicos son: la precipitación química de organismos y la decantación de sedimentos de fracción fina así como la floculación de geles. Un tipo de sedimentos pelágicos son las denominadas arcillas rojas, que se describen como

sedimentos muy abundantes en el fondo de los océanos principalmente en la zona abisal, el cual es principalmente un material arcilloso que presenta un color rojo ladrillo y pardo oscuro a pardo. Estos sedimentos se encuentran asociados con sedimentos autigénicos tales como los nódulos polimetálicos, costras de óxidos de hierro y manganeso y zeolitas (Arche *et al.*, 1992). Estimaciones realizadas sugieren que en promedio las arcillas rojas cubre alrededor del 31% de las cuencas oceánicas del mundo, sin embargo, se calcula que son mucho mas abundantes en el Océano Pacífico con alrededor de 49% en comparación con los Océanos Atlántico (26%) e Índico (25%) (Glasby, 1991; Glasby, 2006).

El estudio de los nódulos polimetálicos así como los sedimentos asociados han sido objeto de estudio en las últimas décadas, debido a que los nódulos constituyen una fuente de minerales potencialmente económicos y los sedimentos pelágicos contribuyen en la génesis de estos. El interés económico por los nódulos polimetálicos fue la principal causa del estudio y exploración de los fondos oceánicos, donde se sospechaba la ocurrencia de estos, con el fin de ubicar dichos yacimientos, lo que despertó un gran interés científico por explicar el origen, la evolución y la ocurrencia de estos depósitos (Von Stackelberg, 1991; Cronan, 2010).

La existencia de campos de nódulos se ve favorecida en las zonas de alta productividad marina, debido a que la gran cantidad de materia orgánica depositada sobre los sedimentos marinos estimula la bioturbación de los organismos bentónicos lo que ayuda a mantener los nódulos polimetálicos en la superficie del sedimento (Von Stackelberg, 1991); por lo que este tipo de sedimentos se encuentran asociados con fangos silíceos compuestos de radiolarios y diatomeas (McMurtry, 2010).

El estudio de los sedimentos pelágicos asociados con los nódulos polimetálicos se debe a que la formación de los nódulos es explicada a través de diferentes procesos, uno de los principales es el de origen diagenético, que sugiere que los aportes metálicos son removidos de la columna de sedimento y precipitados en la interfase agua/sedimento (Dymond, 1981; Rosales-Hoz, 1989).

El escaso aporte de sedimentos es un factor muy importante que favorece la abundancia de los nódulos polimetálicos. Es decir, que se requiere que las tasas de acumulación sean muy bajas y a su vez las corrientes submarinas que inhiben su depósito jugarán un papel importante junto con el relieve del piso oceánico. De acuerdo con el Proyecto de Perforación de Mar Profundo (DSDP por sus siglas en inglés) se encontró en 1971 en el

Pacífico, que para el núcleo 6 del Sitio 159, la tasa de sedimentación para el Cuaternario es de 5mm /1,000 años. Para una escala regional Arche *et al.* (1992), encontraron que la velocidad de sedimentación de las arcilla rojas abisales para el centro del Océano Pacífico es de 0.3 a 0.5 milímetros / 1,000 años. Mientras que estudios realizados cerca del área de estudio La sedimentación en la zona de fracturas Clarión-Clipperton se encuentra entre 1 y 3 mm cada mil años (Cronan, 2010).

2. ANTECEDENTES

En el año de 1968, se inició el programa científico conocido como Deep-Sea Drilling Project (DSDP), el cual duró 15 años, durante los cuales se realizaron campañas oceanográficas que incluyeron sondeos de testigo continuo en lugares seleccionados a partir de datos de geología del subsuelo obtenidos por medio de prospección sísmica. El proyecto que constituye la continuación del DSDP, es el Ocean Drilling Program (ODP), este nuevo proyecto se coordina con la información disponible por investigaciones previas, tales como sondeos sísmicos, incluidos los realizados por compañías petroleras (Arche, 1992).

Particularmente, en el Océano Pacífico que es en donde se encuentra ubicada el área de estudio se han realizado diversos trabajos referentes al estudio de los nódulos polimetálicos, sedimentos pelágicos, así como otros enfocados sobre química y biología.

Entre los primeros trabajos regionales, de sedimentos pelágicos, se destaca el análisis geoquímico de dichos sedimentos en el oriente del Océano Pacífico (Goldberg y Arrhenius, 1958), realizando una comparación entre el tamaño de partícula y el contenido de elementos mayores y traza, observando sus relaciones entre ellos.

En 1971, se realizó el Transecto (Leg) 16, como parte del proyecto de perforación de mar profundo (DSDP), para lo cual se perforaron cinco sitios: del DSDP-159 al DSDP-163, dentro de la Zona de Fractura denominada Clarión-Cliperton. Los sitios DSDP-159 y DSDP-160, están cercanos al flanco oeste de la Dorsal del Pacífico Oriental (ver Anexo 1), y son los más cercanos al área de estudio.

Los sedimentos superficiales encontrados en todos los sitios corresponden con sedimentos pelágicos de color pardo, que a su vez se encuentran mezclados con radiolarios silíceos y micronódulos, además de estos componentes se reportan arcillas zeolíticas para el sitio DSDP-160 (Tjeerd *et al.*, 1971).

En el transecto 5 de otro de los proyectos del DSDP (Lee, 1980), que se realizó en el noreste del Océano Pacífico se encontró por DFRX que para el núcleo KK062, los primeros 5 metros son depósitos de arcilla pelágica compuesta por cuarzo, fillipsita, illita, moscovita, clorita y caolinita, y en el núcleo KK012 encontró el mismo tipo de arcilla pelágica en los primeros 4 m, así como para el núcleo KK012 en sus primeros 2 m. En dicho trabajo se considera que las fracciones calcítica y opalina-sílicea se

atribuyen a una importante fuente eólica (terrígena), y a otras fuentes como cenizas volcánicas generadas durante grandes erupciones, o aportes de polvo cósmico o de sedimentos autigénicos.

La movilización de metales de transición tales como Mn, Fe, Co, Ni, Fe y Zn, en sedimentos pelágicos superficiales fue analizada por Graybeal y Ross (1984), en los primeros 30 cm de dos sitios ubicados en el oriente del Pacífico ecuatorial. En donde sugieren que hay una incorporación de estos elementos en los sedimentos superficiales debido a la presencia de esmectita autigénica.

La comparación geoquímica entre nódulos polimetálicos y sedimentos asociados en el Pacífico ecuatorial contra los nódulos y sedimentos del Suroeste del Pacífico fue realizada por Glasby *et al.*, (1987), reportando variaciones significativas en el contenido de hierro y tierras raras, los cuales se encuentran en más altas concentraciones en los nódulos del Suroeste del Pacífico que en los del Pacífico ecuatorial, no obstante el contenido de tierras raras y oozes silíceos en los sedimentos pelágicos es similar en ambas zonas de estudio.

Carranza-Edwards *et al.*, (1987), realizaron un estudio acerca de la distribución y las características externas de los nódulos polimetálicos, en donde se destaca su importancia debido a sus concentraciones de minerales tales como níquel, cobre y cobalto. Los nódulos fueron colectados durante la Campaña Oceanográfica Mimar II, en dicho trabajo se describe el tamaño, la densidad y la morfología de estos sedimentos autigénicos. En la misma campaña oceanográfica se recolectaron 30 muestras de sedimentos los cuales fueron estudiados por Lozano *et al.* (1989) en el cual caracterizaron los minerales de la fracción arcillosa compuesta por esmectita, illita, caolinita y cuarzo, en donde el color predominante de los sedimentos fue el pardo oscuro, característico de los sedimentos pelágicos.

Por otra parte Saburo y Kohyama (1990), analizaron cinco núcleos de sedimentos en la parte sur del Pacífico Central, en donde los minerales arcillosos fueron identificados como esmectita, illita, caolinita y clorita. La esmectita identificada fue considerada de origen autigénico con un alto contenido en hierro.

Toyoda y Masuda, en 1990 realizan un estudio en sedimentos pelágicos del Pacífico en donde encontraron que la relación Ti/Al es un buen indicador de la contribución de los detritos procedentes de roca máfica, que existe una buena correlación entre P y Cu ya

que sí que hay un alto contenido de estos puede estar caracterizando una zona de alta producción primaria.

Glasby (1991), realizó una revisión de sedimentos pelágicos en base a su composición química y mineralógica, utilizando los datos reportados previamente por Bishoff *et al.* (1979a) de elementos mayores y trazas de sedimentos pelágicos para realizar una comparación con los análisis químicos para lutitas de Garrels y Mackenzie (1971), analizando las semejanzas entre estos para tratar de establecer una fuente terrígena para los sedimentos pelágicos del fondo marino.

Más recientemente Dubinin *et al.* (2008) realizaron un estudio con sedimentos de la zona alta/baja de transición bioproductiva del Océano Pacífico y encontraron en el horizonte superficial micronódulos de manganeso en tres diferentes fracciones de tamaños: 50 a 100, 100 a 250 y 250 a 500 μm , los cuales también se pueden dividir morfológicamente por su superficie, color (mate y brillante), fracciones minerales y composición química.

Finalmente Cabrera *et al.*, (en prensa), realizaron en la misma área de estudio de esta tesis, un estudio de la morfología y textura de los nódulos polimetálicos y la relación con el tamaño de grano de los sedimentos pelágicos asociados, encontrando una tendencia en el aumento de tamaño de nódulos con la disminución del tamaño de grano (cuando hay mayor cantidad de arcillas que el promedio), por lo que disminuyen también los porcentajes arena y limos.

2.1. HIPÓTESIS

La hipótesis de esta tesis es que a través del análisis textural, petrológico y geoquímico de sedimentos pelágicos del Pacífico mexicano se puede establecer el origen de sus principales constituyentes. El estudio de sedimentos pelágicos podría sugerir el origen de sus principales componentes, que se espera agrupar en terrígenos, autógenos y biógenos.

2.2. OBJETIVOS

Objetivo general

Conocer la composición de los sedimentos pelágicos en lugares donde se sabe que hay presencia de sedimentos autógenos que crecen a partir de núcleos formando nódulos polimetálicos.

Objetivos específicos

1. Analizar la distribución granulométrica de los sedimentos superficiales, para establecer comparaciones entre los distintos puntos de muestreo.
2. Estudiar la fracción arenosa de los sedimentos pelágicos para interpretar la naturaleza de los mismos.
3. Analizar la composición química de muestra total y la composición de la fracción arcillosa para su caracterización y relación con la influencia de eventos volcánicos.

3. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica entre 15°00'00" y 22°00'00" Latitud Norte y entre 110°00'00" y 119°00'00" de Longitud Oeste.

Las profundidades del piso oceánico en los puntos de muestreo varían entre 3500 m y los 4050 m.

En la figura 4.1 se localiza el área de estudio así como, los 15 diferentes estaciones del crucero MIMAR VI, dentro de la ZEE de México en el océano Pacífico.

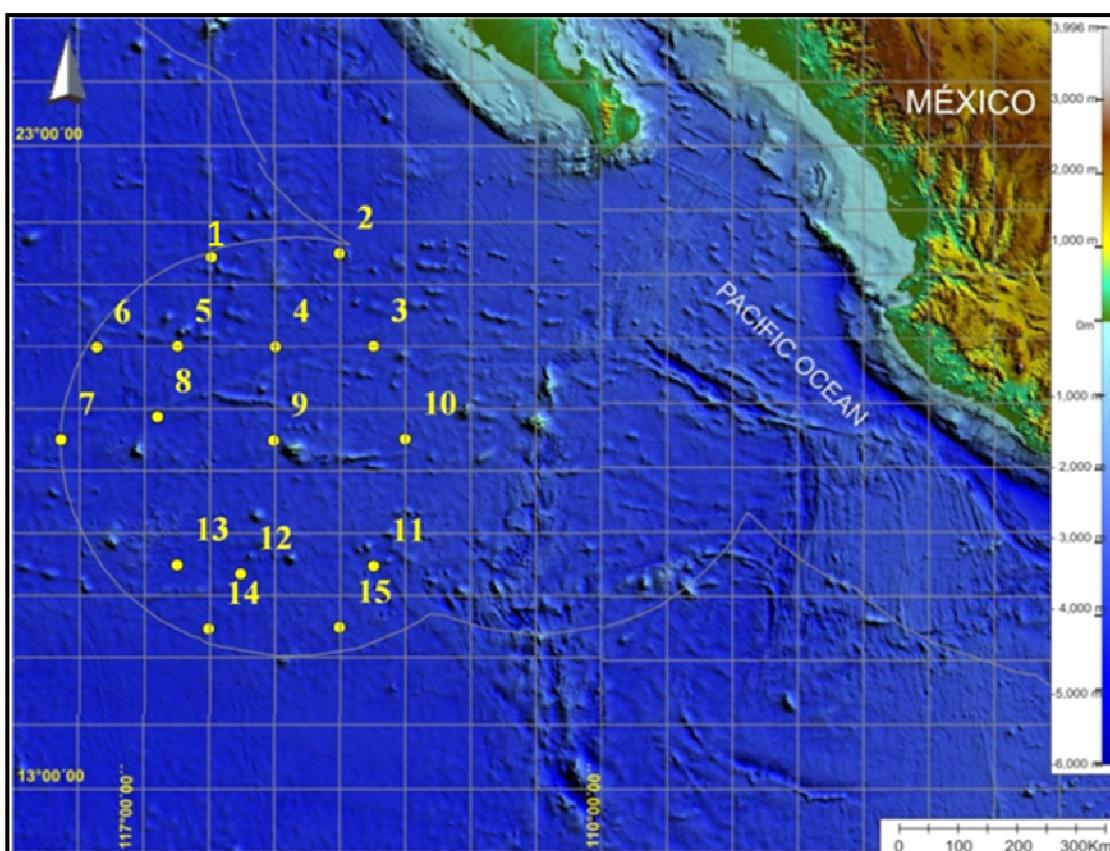


Figura 3.1. Localización del área de estudio. Los puntos 1 al 15 representan cada una de las estaciones muestreadas; lográndose recuperar sedimentos en solo 12 de estas estaciones, por lo que no se tiene información de las estaciones 7, 8 y 12.

3.1. Geología

De acuerdo con Carranza-Edwards y Aguayo-Camargo (1992), el área de estudio se ubica dentro de las planicies abisales del Pacífico Nororiental. En donde el relieve presenta cambios bruscos de planicie abisal con profundidades de hasta 4000 m de profundidad a grandes lomeríos o elevaciones montañosas.

El área de estudio se encuentra localizada en la Zona de Fractura Clarión-Clipperton la cual se extiende de occidente a oriente, el desarrollo de esta zona de fracturas es debido a la separación de la Placa de Cocos con dirección oeste-este con respecto a la Placa del Pacífico con dirección sureste-noreste, esta tectónica engloba también el régimen general de subducción de la placa del Pacífico debajo de la de Norteamérica dando lugar además a la trinchera Mesoamericana adyacente al continente (Aguayo-Camargo y Carranza-Edwards, 1992). Otros rasgos tectónicos presente en el área son la dorsal Pacífico-Rivera y la dorsal del Pacífico Este (Fig. 3.2).

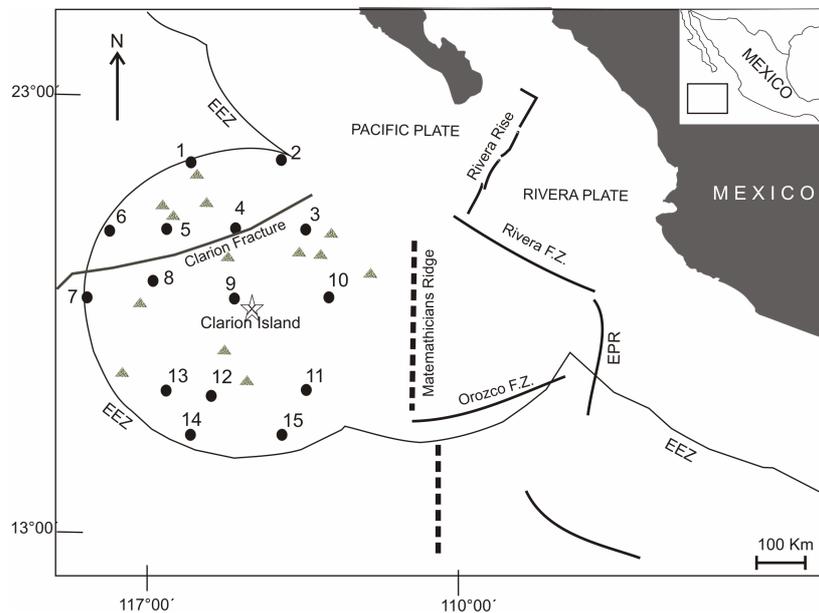


Figura 3.2. Rasgos tectónicos del área de estudio (Tomado de Cabrera *et al.*, en prensa).

3.2. Corrientes superficiales

La circulación de las corrientes superficiales en el Océano Pacífico forma dos giros en dirección opuesta (Fig. 3.3). El giro en el Norte del Pacífico en dirección de las manecillas del reloj, formado por las corrientes de Kuroshio, la Subártica de Alaska, la de California y la Norocuatral; el segundo en el Sur en sentido contrario a las manecillas del reloj constituido principalmente por las corrientes del Perú y Surecuatorial (De la Lanza, 2001).

En el litoral del Pacífico mexicano se localizan varias corrientes variables en dirección, y magnitud debido a la influencia del viento que varía a lo largo del año. La Corriente

de California, la Corriente Norecuatorial, (compuesta por la Corriente de California y la Corriente Costera de Costa Rica) y la Corriente de Costa Rica (De la Lanza, 2001).

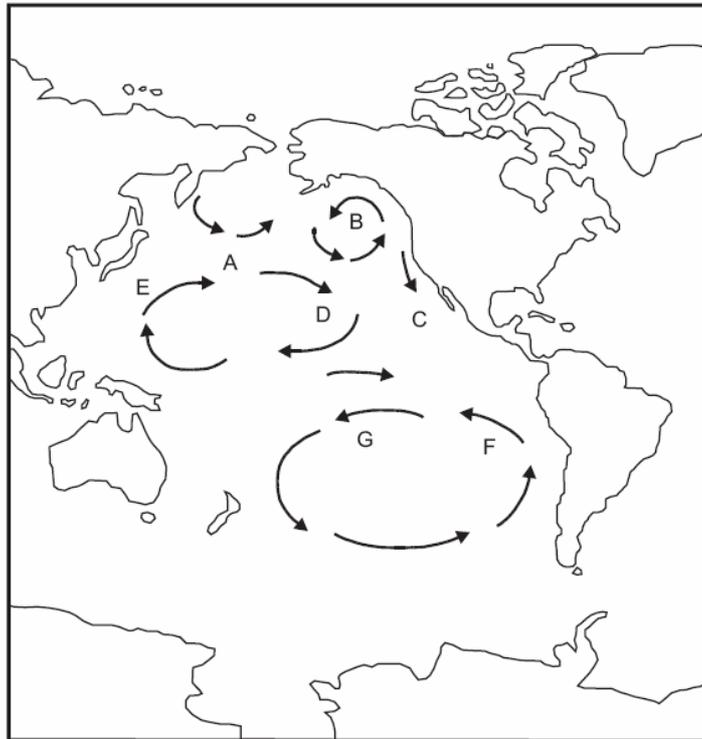


Figura 3.3. Circulación oceánica del Océano Pacífico. Donde se observan las corrientes superficiales: A) Corriente Oyashio, B) Corriente de Alaska, C) Corriente de California, D) Corriente Norecuatorial, E) Corriente de Kuroshio, F) Corriente del Perú y G) Corriente Surecuatorial (Modificado de De la Lanza, 2001).

3.3. Masas de agua

Dado el enorme tamaño del Océano Pacífico, éste presenta una gran diversidad de climas y movimientos de masas de agua, asimismo, se presentan variaciones en las masas de agua intermedias entre el Pacífico Norte y el Pacífico Sur, así como variaciones en las masas de agua superficiales en las partes Occidentales y Orientales, presentando una amplia banda en el Pacífico ecuatorial derivada de la surgencia ecuatorial (Emery, 2001), la cual desaparece por periodos debido al fenómeno de El Niño (Tabla 3.1).

Existe una uniformidad en las aguas profundas y de fondo, debido a que no existe la formación de agua profunda en el fondo ni fuentes de suministro de alta salinidad como en el Atlántico.

Tabla 3.1. Muestra las diferentes masas de agua en el Océano Pacífico. Diferenciadas por su profundidad, temperatura y salinidad (Modificada de Emery, 2001).

Capa	Profundidad en metros	Masas de agua	Rango de temperatura °C	Salinidad ‰
Masas de agua Superficiales	0-500	Superior Subártica del Pacífico	3.0-15.0	32.6-33.6
		Noroeste del Pacífico central	10.0-22.0	34.2-35.2
		Noreste del Pacífico central	12.0-20.0	34.2-35.0
		Transicional del Pacífico noreste	11.0-20.0	33.8-34.3
		Pacífico ecuatorial	7.0-23.0	34.5-36.0
		Suroeste del Pacífico central	6.0-22.0	34.5-35.8
		Sureste del Pacífico central	8.0-24.0	34.4-36.4
		Oriental del Pacífico sur	14.0-20.0	34.6-35.2
Masas de agua Intermedias	500-1500	Intermedia Subártica del Pacífico	5.0-12.0	33.8-34.3
		Intermedia de California	10.0-12.0	33.9-34.4
		Intermedia Sureste del Pacífico	10.0-12.0	34.0-34.4
		Intermedia del Antártico	2.0-10.0	33.8-34.5
Masas de agua profundas y de fondo	1500-Fondo	Profunda Circumpolar	0.1-2.0	33.8-34.5
		Superficial Subantártica	3.2-15.0	34.0-35.5
		Superficial Antártica	-1.0-1.0	34.0-34.6

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Los sedimentos pelágicos utilizados para el presente trabajo, se recolectaron durante la Campaña Oceanográfica Mimar VI dentro de la ZEE del Pacífico Mexicano, a bordo del Buque Oceanográfico B/O El Puma, realizada del 12 al 24 de febrero del 2009.

4.1. Trabajo de Campo

Se utilizó un nucleador de caja recolectándose doce muestras en quince de las estaciones oceanográficas. En las estaciones 7, 8 y 12 no se obtuvo muestra a pesar de que la draga tocó el fondo en el piso oceánico. Esto se pudo deber a que en el fondo hubo rocas, o bien a que la draga no cerró por exceso de material grueso. Una vez a bordo del B/O se separaban manualmente los nódulos polimetálicos de la superficie del sedimento y se procedía a sacar los núcleos de superficie utilizando un tubo de PVC de 10.5 cm de diámetro, los cuales se etiquetaron, se sellaron y se refrigeraron, para conservar los sedimentos sin alteración (Láminas 4.1 y 4.2).

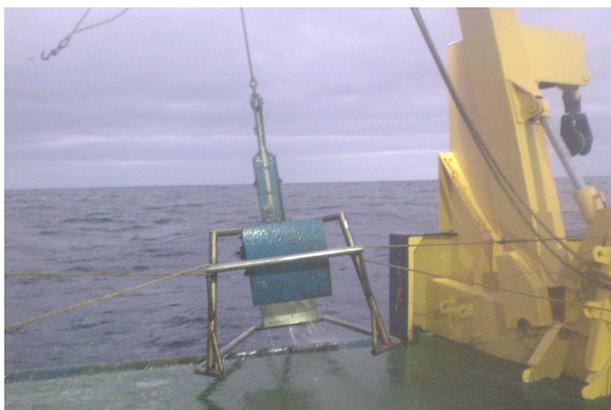


Lámina 4.1. Dragas de caja utilizadas a bordo de B/O El Puma.



Lámina 4.2. Se observa la toma de los núcleos de sedimento superficial.

4.2. Trabajo de Laboratorio

En el laboratorio de sedimentología del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, los núcleos fueron seccionados transversalmente con una sierra. Los núcleos muestreados tienen una longitud que varía entre 10 y 25 cm (Lámina 4.3 y 4.4; Tabla 4.1).

Se determinó el color en húmedo y en seco cada centímetro de las muestras de núcleos cortos de acuerdo con las tablas de color de Munsell (Munsell Color Chart Company, 1975).

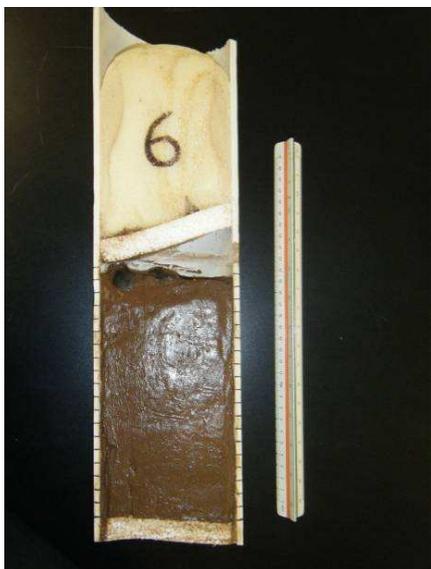


Lámina 4.3. En la cual se observa el núcleo 6. El escalímetro mide 30 cm.



Lámina 4.4. En la cual se observa el núcleo 11 y la diferencia de tamaño con respecto al mostrado en la lámina 4.3.

Tabla 4.1. Longitud de los núcleos y profundidad de las estaciones muestreadas.

Estación	Longitud del núcleo (cm)	Profundidad (m)
1	10	3936
2	20	3892
3	15	3593
4	20	3720
5	21	3847
6	18	4001
7	n/c*	3943
8	n/c*	4011
9	21	3781
10	17	3486
11	24	3689
12	n/c*	3985
13	25	3981
14	21	3927
15	24	3765

Nota: n/c, representa las estaciones donde no se recuperó muestra de sedimento.

Los sedimentos se caracterizaron por tener en húmedo color pardo oscuro, pardo, pardo amarillento oscuro, y pardo oscuro con vetillas pardo amarillento, mientras que el color en seco fue principalmente pardo, pardo pálido, pardo amarillento claro, y pardo con vetillas pardo amarillento (Tabla 4.2, Fig. 4.1). Los colores obtenidos se aproximan mucho con lo reportado por Rufino-Lozano *et al.*, (1989) para la zona de estudio.

El hecho de que los sedimentos presenten en general colores pardos puede estar indicando concentraciones de hierro y manganeso en condiciones oxidantes.

Tabla 4.2. Color del sedimento muestreado cada centímetro, para cada uno de los núcleos.

Núcleos	Color en húmedo	Color en seco
1 (0.0 – 10.0 cm)	pardo oscuro	Pardo
2 (0.0 – 16.0 cm)	pardo muy oscuro	Pardo
(16.0 – 19.0 cm)	pardo oscuro con vetillas pardas	Pardo con vetillas pardo amarillento
(19.0 - 20.0 cm)	pardo oscuro	Pardo
3 (0.0 – 11.0 cm)	pardo oscuro	Pardo
(11.0 – 14.0 cm)	pardo oscuro con vetillas pardas	Pardo con vetillas pardo amarillento
(14.0 – 15.0 cm)	pardo oscuro	Pardo
4 (0.0 – 15.0 cm)	pardo oscuro	Pardo
(15.0 – 20.0 cm)	pardo oscuro con vetillas pardas	Pardo con vetillas pardo amarillento
5 (0.0 – 14.0 cm)	pardo oscuro	Pardo
(14.0 – 21.0)	pardo oscuro con vetillas pardas	Pardo con vetillas pardo amarillento
6 (0.0 – 14.0 cm)	pardo oscuro	Pardo
(14.0 – 16.0 cm)	pardo oscuro con vetillas pardas	Pardo con vetillas pardo amarillento
(16.0 – 19.0 cm)	pardo oscuro	Pardo
9 (0.0 – 21.0 cm)	pardo oscuro	Pardo
10 (0.0 – 17.0 cm)	pardo oscuro	Pardo
11 (0.0 – 19.0 cm)	pardo oscuro	Pardo
(19.0 – 21.0 cm)	pardo oscuro con vetillas pardas	Pardo con vetillas pardo amarillento
(21.0 – 24.0 cm)	pardo oscuro	Pardo
13 (0.0 – 11.0 cm)	pardo oscuro	Pardo pálido
(11.0 – 25.0 cm)	pardo amarillento oscuro	Pardo amarillento claro
14 (0.0 – 15.0 cm)	pardo oscuro	Pardo pálido
(15.0 – 17.0 cm)	pardo oscuro con vetillas pardas	Pardo con vetillas pardo amarillento
(17.0 – 21.0 cm)	pardo oscuro	Pardo pálido
15 (0.0 – 14.0 cm)	pardo oscuro	Pardo pálido
(18.0 – 24.0 cm)	pardo amarillento oscuro	Pardo amarillento claro

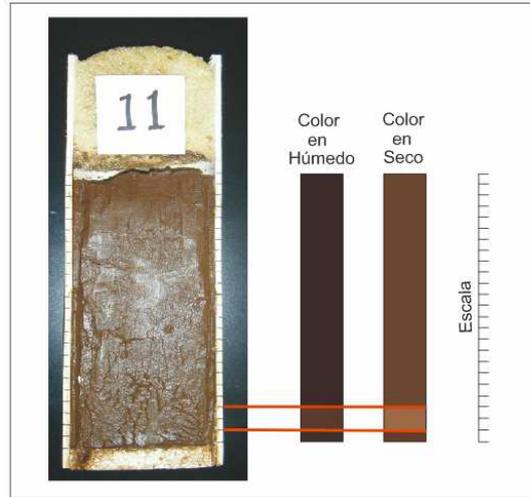


Figura 4.1. Ejemplo de los colores encontrados en los núcleos muestreados.

Posteriormente se seccionaron los núcleos cada centímetro, para la determinación del análisis granulométrico del sedimento utilizando el analizador láser de tamaño de partículas Beckman Coulter L5230 para la obtención (Tabla 4.3) de los parámetros texturales: 1) tamaño gráfico promedio ($Mz\phi$), 2) la desviación estándar gráfica inclusiva ($\sigma_1\phi$), 3) grado de asimetría gráfica (Sk_1) y 4) curtosis (K_G), utilizando las fórmulas y límites sugeridos por Folk (2002).

Tabla 4.3. Parámetros, fórmulas y límites de Folk.

Tamaño gráfico promedio:

$Mz\phi = (\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}) / 3$, esta medida se aproxima mucho al promedio y está basada en tres puntos de la curva acumulativa.

Escala Wentworth	Phi (ϕ)
Arena	-1 a 4
Limos	4 a 8
Arcilla	8 a 12

Desviación estándar gráfica inclusiva:

$$\sigma_1(\phi) = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6}$$

cuyos límites de acuerdo con Folk (2002) son los siguientes:

< 0.35 ϕ	Muy bien clasificado
0.35 a 0.50 ϕ	bien clasificado
0.50 a 0.71 ϕ	moderadamente bien clasificado
0.71 a 1.0 ϕ	moderadamente clasificado
1.0 a 2.0 ϕ	mal clasificado
2.0 a 4.0 ϕ	Muy mal clasificado

> 4.0φ extremadamente mal clasificado

Grado de asimetría gráfica

$$Sk_1 = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{50} - \phi_{16})} + \frac{\phi_{50} + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{50} - \phi_{5})}$$

Los límites de acuerdo con Folk (2002) son:

1.00 a 0.30	Muy asimétrico hacia los finos
0.30 a 1.10	asimétrico hacia los finos
0.10 a -0.10	Simétrico
-0.10 a -0.30	asimétrico hacia los gruesos
-0.30 a -1.00	muy asimétrico hacia los gruesos

Curtosis:

$$K_G = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44(\phi_{40} - \phi_{25})}$$

cuyos límites (Folk, 2002), son:

< 0.67	muy platicúrtico
0.67 a 0.90	Platicúrtico
0.90 a 1.11	Mesocúrtico
1.11 a 1.50	Leptocúrtico
1.50 a 3.00	muy leptocúrtico
> 3.00	extremadamente leptocúrtico

Posteriormente se secó parte de la muestra superficial y de fondo para cada uno de los núcleos, a una temperatura aproximada de 40°C, una vez seca la muestra se molió en un mortero de ágata hasta obtener un tamaño de doscientas mallas (3.75φ) para realizar análisis por fluorescencia de rayos X, para la obtención de elementos mayores y traza; así, como el análisis por difracción de rayos X de arcillas para determinar los minerales arcillosos predominantes.

El análisis de fluorescencia de rayos X, se realizó en el Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X-LUGIs, en el Instituto de Geología de la UNAM, a cargo del Quím. Rufino Lozano Santa Cruz.

En el Laboratorio de Difracción de Rayos X, del Instituto de Geología de la UNAM, a cargo de la Dra. Teresa Pi i Puig, se realizó el análisis de la muestra total mediante la difracción de rayos X, con un equipo Shimadzu XRD-600 equipado con filtro de Ni, tubo de cobre y monocromador (Láminas 4.5 y 4.6).



Lámina 4.5. Laboratorio de Difracción de Rayos X, del Instituto de Geología de la UNAM.



Lámina 4.6. Muestras dentro del difractómetro, para su análisis.

Posteriormente en el mismo laboratorio y con el mismo equipo se realizó la identificación de las fases mineralógicas de la fracción arcillosa, para lo cual se separó la fracción menor que 2 micras y se prepararon las muestras para ser analizadas por DRX (Láminas 4.7 y 4.8).

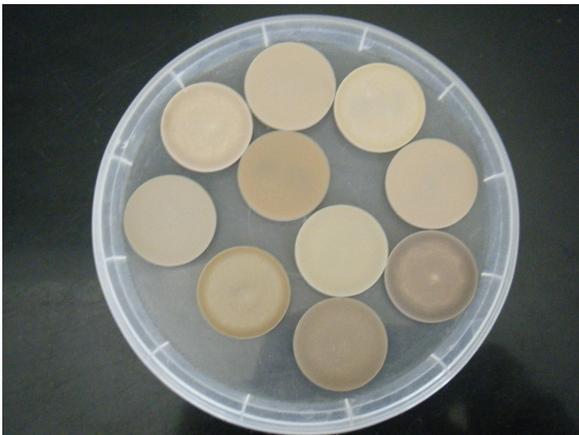


Lámina 4.7. Muestras preparadas para ser analizadas por DRX.



Lámina 4.8. Difractómetro Shimadzu XRD-6000, en el Laboratorio.

Se separaron las fracciones de arena de los sedimentos superficiales para su observación con un microscopio electrónico de barrido y con un microscopio de luz transmitida. Las arenas obtenidas se utilizaron además para la elaboración de láminas delgadas para su análisis en el microscopio petrográfico.

5. ANÁLISIS TEXTURAL

Desde las tablas 5.1 hasta la 5.12, se puede observar que los porcentajes de arena son los más bajos y varían entre 0.00% y 14.84%, mientras que los porcentajes más altos, en tamaños de limos, su rango varía entre 54.89% y 74.56%. Para la fracción de las arcillas, se obtuvieron porcentajes menores que para los limos (entre 19.89% y 45.99%).

En cuanto a los valores obtenidos para la desviación estándar gráfica inclusiva ($\sigma_{I\phi}$), se observa que existe una mala clasificación para los núcleos, esto corresponde con lo reportado por Folk (2002), esto es, para los sedimentos finos comprendidos entre 6 y 8 ϕ donde la clasificación es más pobre. El análisis granulométrico también indica una tendencia general de curvas simétricas y mesocúrticas.

Tabla 5.1. Parámetros texturales y porcentajes de arena, limo y arcilla del núcleo 1.

Muestra	Mz ϕ	$\sigma_{I\phi}$	Sk _I	K _G	Arenas	Limos	Arcillas
(0-1)	7.708	1.636	-0.033	0.954	0.067	56.039	43.894
(1-2)	7.778	1.587	-0.020	0.958	0.000	54.894	45.106
(2-3)	7.668	1.656	-0.028	0.944	0.074	56.944	42.982
(3-4)	7.722	1.682	-0.060	0.975	0.114	55.004	44.882
(4-5)	7.508	1.778	-0.063	0.932	0.196	58.846	40.958
(5-6)	7.737	1.664	-0.054	0.973	0.075	54.931	44.994
(6-7)	7.714	1.667	-0.050	0.942	0.000	55.306	44.694
(7-8)	7.593	1.729	-0.066	0.949	0.110	57.420	42.470
(8-9)	7.550	1.782	-0.083	0.927	0.205	57.425	42.370
(9-10)	7.540	1.789	-0.072	0.929	0.418	57.724	41.858
Promedio	7.652	1.697	-0.053	0.948	0.126	56.453	43.421
Desv. Est.	0.096	0.069	0.020	0.017	0.124	1.406	1.491
Máximo	7.778	1.789	-0.020	0.975	0.418	58.846	45.106
Mínimo	7.508	1.587	-0.083	0.927	0.000	54.894	40.958

Tabla 5.2. Parámetros texturales y porcentajes de arena, limo y arcilla del núcleo 2.

Muestra	Mz ϕ	$\sigma_{I\phi}$	Sk _I	K _G	Arenas	Limos	Arcillas
(0-1)	7.590	1.693	-0.032	0.959	0.105	58.613	41.282
(1-2)	7.496	1.704	-0.020	0.951	0.153	60.777	39.070
(2-3)	7.664	1.619	-0.013	0.959	0.009	57.697	42.294
(3-4)	7.649	1.620	-0.009	0.955	0.000	58.118	41.882
(4-5)	7.398	1.765	-0.022	0.939	0.590	61.864	37.546
(5-6)	7.541	1.683	-0.017	0.950	0.079	59.951	39.970
(6-7)	7.592	1.647	-0.008	0.965	0.057	59.360	40.582
(7-8)	7.586	1.655	-0.006	0.958	0.086	59.432	40.482
(8-9)	7.418	1.744	-0.034	0.944	0.406	61.535	38.058

(9-10)	7.519	1.697	-0.032	0.947	0.129	60.001	39.870
(10-11)	7.554	1.665	-0.017	0.953	0.058	59.772	40.170
(11-12)	7.438	1.724	-0.018	0.953	0.374	61.668	37.958
(12-13)	7.289	1.778	0.000	0.912	0.628	63.938	35.434
(13-14)	7.391	1.721	0.001	0.933	0.315	62.927	36.758
(14-15)	7.509	1.730	-0.024	0.941	0.257	60.073	39.670
(15-16)	7.349	1.758	-0.005	0.923	0.360	63.194	36.446
(16-17)	7.319	1.763	0.000	0.928	0.544	63.822	35.634
(17-18)	7.426	1.710	0.005	0.935	0.265	62.388	37.346
(18-19)	7.558	1.655	0.012	0.940	0.091	60.239	39.670
(19-20)	7.254	1.793	-0.018	0.902	0.574	64.092	35.334
Promedio	7.477	1.706	-0.013	0.942	0.254	60.973	38.773
Desv. Est.	0.119	0.052	0.013	0.016	0.209	1.963	2.150
Máximo	7.664	1.793	0.012	0.965	0.628	64.092	42.294
Mínimo	7.254	1.619	-0.034	0.902	0.000	57.697	35.334

Tabla 5.3. Parámetros texturales y porcentajes de arena, limo y arcilla del núcleo 3.

Muestra	Mz ϕ	$\sigma_I\phi$	Sk _I	K _G	Arenas	Limos	Arcillas
(0-1)	7.496	1.757	-0.065	0.942	0.142	59.388	40.470
(1-2)	7.359	1.841	-0.069	0.926	0.932	60.729	38.339
(2-3)	7.351	1.856	-0.077	0.919	0.935	60.419	38.646
(3-4)	7.415	1.828	-0.073	0.924	0.289	60.053	39.658
(4-5)	7.188	1.864	-0.034	0.891	1.085	63.881	35.034
(5-6)	7.292	1.843	-0.047	0.917	0.948	62.406	36.646
(6-7)	7.450	1.803	-0.058	0.933	0.497	59.757	39.746
(7-8)	7.202	1.901	-0.035	0.893	2.051	62.427	35.522
(8-9)	7.040	1.866	0.017	0.882	1.704	66.597	31.699
(9-10)	7.224	1.806	0.002	0.912	0.754	64.924	34.322
(10-11)	7.056	1.843	0.023	0.889	1.109	67.280	31.610
(11-12)	7.189	1.830	0.002	0.909	0.958	65.119	33.922
(12-13)	7.106	1.822	0.018	0.904	0.996	66.894	32.110
(13-14)	7.166	1.834	0.002	0.902	0.960	65.330	33.710
(14-15)	7.331	1.802	-0.018	0.918	0.510	62.856	36.634
Promedio	7.258	1.833	-0.027	0.911	0.925	63.204	35.871
Desv. Est.	0.141	0.034	0.036	0.017	0.489	2.738	3.010
Máximo	7.496	1.901	0.023	0.942	2.051	67.280	40.470
Mínimo	7.040	1.757	-0.077	0.882	0.142	59.388	31.610

Tabla 5.4. Parámetros texturales y porcentajes de arena, limo y arcilla del núcleo 4.

Muestra	Mz ϕ	σ_{ϕ}	Sk $_{\phi}$	K $_G$	Arenas	Limos	Arcillas
(0-1)	7.466	1.750	-0.029	0.942	0.125	60.829	39.046
(1-2)	7.481	1.767	-0.037	0.936	0.206	60.136	39.658
(2-3)	7.285	1.815	-0.022	0.927	0.661	63.605	35.734
(3-4)	7.416	1.775	-0.033	0.947	0.529	61.325	38.146
(4-5)	7.102	1.900	-0.015	0.888	1.995	64.494	33.510
(5-6)	7.406	1.776	-0.025	0.933	0.226	61.828	37.946
(6-7)	7.233	1.834	-0.022	0.923	0.973	64.093	34.934
(7-8)	7.258	1.829	-0.021	0.933	0.957	63.809	35.234
(8-9)	7.337	1.826	-0.036	0.923	0.620	62.146	37.234
(9-10)	7.357	1.780	-0.015	0.933	0.484	62.770	36.746
(10-11)	7.305	1.815	-0.021	0.923	0.751	63.015	36.234
(11-12)	7.286	1.805	-0.011	0.920	0.703	63.663	35.634
(12-13)	7.178	1.837	0.000	0.905	0.935	65.243	33.822
(13-14)	7.142	1.880	-0.012	0.895	1.912	64.266	33.822
(14-15)	7.123	1.884	-0.011	0.894	1.841	64.548	33.610
(15-16)	7.167	1.821	-0.008	0.907	0.924	65.454	33.622
(16-17)	7.272	1.809	-0.015	0.914	1.001	63.377	35.622
(17-18)	7.432	1.791	-0.037	0.947	0.675	60.766	38.558
(18-19)	7.308	1.792	-0.015	0.921	0.256	63.697	36.046
(19-20)	7.447	1.724	-0.002	0.934	0.143	61.811	38.046
Promedio	7.300	1.810	-0.019	0.922	0.796	63.044	36.160
Desv. Est.	0.118	0.044	0.011	0.017	0.562	1.536	1.954
Máximo	7.481	1.900	0.000	0.947	1.995	65.454	39.658
Mínimo	7.102	1.724	-0.037	0.888	0.125	60.136	33.510

Tabla 5.5. Parámetros texturales y porcentajes de arena, limo y arcilla del núcleo 5.

Muestra	Mz ϕ	σ_{ϕ}	Sk $_{\phi}$	K $_G$	Arenas	Limos	Arcillas
(0-1)	7.462	1.725	0.007	0.948	0.342	61.711	37.946
(1-2)	7.340	1.810	-0.011	0.938	0.799	62.767	36.434
(2-3)	7.455	1.748	-0.010	0.947	0.380	61.362	38.258
(3-4)	7.465	1.748	-0.010	0.959	0.527	61.214	38.258
(4-5)	7.521	1.746	-0.025	0.962	0.513	59.729	39.758
(5-6)	7.395	1.777	-0.017	0.937	0.446	62.108	37.446
(6-7)	7.285	1.849	-0.016	0.919	1.237	62.741	36.022
(7-8)	7.253	1.842	-0.015	0.914	0.947	63.679	35.375
(8-9)	7.357	1.835	-0.034	0.940	1.224	61.341	37.434
(9-10)	6.612	1.997	0.081	0.805	5.721	67.528	26.751
(10-11)	7.402	1.783	-0.019	0.936	0.567	61.699	37.734
(11-12)	7.453	1.751	-0.011	0.939	0.430	61.224	38.346
(12-13)	7.381	1.772	-0.011	0.924	0.337	62.417	37.246

(13-14)	7.241	1.841	-0.015	0.910	0.899	63.879	35.222
(14-15)	7.538	1.713	-0.010	0.948	0.358	59.784	39.858
(15-16)	7.433	1.771	-0.018	0.932	0.493	61.161	38.346
(16-17)	7.285	1.810	-0.008	0.914	0.702	63.664	35.634
(17-18)	7.102	1.885	0.007	0.874	1.643	65.059	33.299
(18-19)	7.332	1.844	-0.043	0.918	0.850	61.716	37.434
(19-20)	7.422	1.797	-0.038	0.925	0.401	60.853	38.746
(20-21)	7.498	1.756	-0.032	0.928	0.174	59.880	39.946
Promedio	7.344	1.800	-0.012	0.925	0.904	62.167	36.928
Desv. Est.	0.198	0.065	0.025	0.034	1.162	1.853	2.863
Máximo	7.538	1.997	0.081	0.962	5.721	67.528	39.946
Mínimo	6.612	1.713	-0.043	0.805	0.174	59.729	26.751

Tabla 5.6. Parámetros texturales y porcentajes de arena, limo y arcilla del núcleo 6.

Muestra	Mz ϕ	$\sigma_1\phi$	Sk _I	K _G	Arenas	Limos	Arcillas
(0-1)	7.848	1.559	0.007	0.961	0.000	54.094	45.906
(1-2)	7.791	1.592	0.003	0.968	0.037	55.357	44.606
(2-3)	7.878	1.536	0.010	0.968	0.000	53.482	46.518
(3-4)	7.699	1.622	0.000	0.958	0.007	57.299	42.694
(4-5)	7.620	1.715	-0.046	0.982	0.452	57.478	42.070
(5-6)	7.736	1.622	-0.022	0.970	0.000	55.994	44.006
(6-7)	7.658	1.647	-0.013	0.953	0.049	57.669	42.282
(7-8)	7.568	1.671	-0.006	0.955	0.071	59.758	40.170
(8-9)	7.576	1.746	-0.044	0.979	0.380	58.350	41.270
(9-10)	7.348	1.870	-0.065	0.932	1.067	60.787	38.146
(10-11)	7.396	1.840	-0.063	0.938	0.850	60.304	38.846
(11-12)	7.504	1.773	-0.052	0.952	0.209	59.432	40.358
(12-13)	7.715	1.664	-0.042	0.968	0.010	55.796	44.194
(13-14)	7.588	1.735	-0.050	0.957	0.147	58.071	41.782
(14-15)	7.648	1.729	-0.059	0.977	0.144	56.674	43.182
(15-16)	7.633	1.730	-0.062	0.973	0.099	56.819	43.082
(16-17)	7.584	1.760	-0.061	0.976	0.506	57.524	41.970
(17-18)	7.849	1.636	-0.055	0.994	0.000	52.494	47.506
Promedio	7.647	1.691	-0.034	0.964	0.224	57.077	42.699
Desv. Est.	0.146	0.091	0.027	0.015	0.313	2.289	2.513
Máximo	7.878	1.870	0.010	0.994	1.067	60.787	47.506
Mínimo	7.348	1.536	-0.065	0.932	0.000	52.494	38.146

Tabla 5.7. Parámetros texturales y porcentajes de arena, limo y arcilla del núcleo 9.

Muestra	Mz ϕ	σ_{ϕ}	Sk _I	K _G	Arenas	Limos	Arcillas
(0-1)	7.095	1.877	0.008	0.897	1.256	66.046	32.699
(1-2)	6.902	1.940	0.023	0.861	3.173	66.552	30.275
(2-3)	6.901	1.946	0.025	0.835	1.762	67.563	30.675
(3-4)	6.985	1.866	0.042	0.888	1.292	68.321	30.387
(4-5)	7.010	1.890	0.021	0.869	1.297	67.205	31.499
(5-6)	6.802	1.990	0.028	0.829	4.188	66.337	29.475
(6-7)	7.092	1.838	0.008	0.893	1.038	66.651	32.310
(7-8)	6.993	1.890	0.010	0.868	1.440	67.061	31.499
(8-9)	7.230	1.852	-0.013	0.900	0.925	63.853	35.222
(9-10)	6.991	1.855	0.052	0.873	1.112	68.301	30.587
(10-11)	6.896	1.930	0.042	0.839	2.209	67.416	30.375
(11-12)	6.977	1.892	0.028	0.878	2.435	66.778	30.787
(12-13)	6.857	1.911	0.055	0.872	3.158	68.067	28.775
(13-14)	7.065	1.824	0.033	0.914	1.011	67.891	31.099
(14-15)	7.101	1.869	0.016	0.891	1.577	65.724	32.699
(15-16)	6.917	1.863	0.055	0.889	1.938	68.988	29.075
(16-17)	6.939	1.857	0.051	0.892	1.785	68.876	29.339
(17-18)	7.775	1.673	-0.062	0.988	0.082	53.924	45.994
(18-19)	6.960	1.860	0.038	0.897	1.924	68.289	29.787
(19-20)	6.765	1.868	0.081	0.887	3.073	70.464	26.463
(20-21)	6.728	1.870	0.105	0.882	3.216	70.833	25.951
Promedio	6.999	1.874	0.031	0.883	1.900	66.911	31.189
Desv. Est.	0.214	0.061	0.034	0.033	0.996	3.360	3.955
Máximo	7.775	1.990	0.105	0.988	4.188	70.833	45.994
Mínimo	6.728	1.673	-0.062	0.829	0.082	53.924	25.951

Tabla 5.8. Parámetros texturales y porcentajes de arena, limo y arcilla del núcleo 10.

Muestra	Mz ϕ	σ_{ϕ}	Sk _I	K _G	Arenas	Limos	Arcillas
(0-1)	7.021	1.850	0.035	0.891	1.146	67.956	30.899
(1-2)	6.792	1.911	0.051	0.885	4.346	68.091	27.563
(2-3)	6.767	1.819	0.085	0.909	2.539	71.787	25.675
(3-4)	7.017	1.812	0.050	0.916	1.417	68.685	29.899
(4-5)	6.866	1.826	0.072	0.905	2.105	70.420	27.475
(5-6)	6.625	1.851	0.105	0.906	4.534	71.627	23.839
(6-7)	6.693	1.959	0.055	0.876	6.636	66.802	26.563
(7-8)	6.781	1.874	0.076	0.898	3.808	69.529	26.663
(8-9)	6.785	1.860	0.068	0.894	3.115	70.210	26.675
(9-10)	6.782	1.869	0.063	0.907	3.882	69.555	26.563
(10-11)	6.717	1.872	0.078	0.881	3.571	70.666	25.763
(11-12)	6.810	1.882	0.060	0.908	4.050	68.787	27.163

(12-13)	6.883	1.767	0.092	0.934	1.605	71.720	26.675
(13-14)	6.602	1.791	0.126	0.923	3.392	74.070	22.539
(14-15)	6.614	1.781	0.122	0.922	2.894	74.567	22.539
(15-16)	6.456	1.837	0.121	0.916	6.101	72.872	21.027
(16-17)	6.441	1.868	0.119	0.902	6.980	71.693	21.327
Promedio	6.744	1.849	0.081	0.904	3.654	70.532	25.815
Desv. Est.	0.1633	0.0479	0.0287	0.0155	1.7231	2.1631	2.7605
Máximo	7.021	1.959	0.126	0.934	6.980	74.567	30.899
Mínimo	6.441	1.767	0.035	0.876	1.146	66.802	21.027

Tabla 5.9. Parámetros texturales y porcentajes de arena, limo y arcilla del núcleo 11.

Muestra	Mz ϕ	σ_{ϕ}	Sk _I	K _G	Arenas	Limos	Arcillas
(0-1)	7.028	1.967	-0.056	0.853	3.098	63.279	33.622
(1-2)	7.195	1.949	-0.087	0.864	1.404	61.562	37.034
(2-3)	7.060	1.933	-0.050	0.847	1.514	64.564	33.922
(3-4)	7.140	1.934	-0.073	0.854	1.336	62.942	35.722
(4-5)	7.032	1.954	-0.051	0.841	2.317	63.960	33.722
(5-6)	7.098	1.939	-0.066	0.850	1.433	63.633	34.934
(6-7)	6.956	1.938	-0.027	0.842	2.393	65.697	31.910
(7-8)	7.063	1.945	-0.059	0.842	1.563	64.114	34.322
(8-9)	7.005	1.979	-0.058	0.822	2.533	63.645	33.822
(9-10)	6.996	1.964	-0.055	0.832	2.498	64.179	33.332
(10-11)	6.921	1.966	-0.026	0.819	2.689	65.413	31.899
(11-12)	7.032	1.941	-0.043	0.837	1.565	64.813	33.622
(12-13)	7.052	1.918	-0.046	0.835	1.382	64.695	33.922
(13-14)	7.027	1.920	-0.043	0.840	1.458	65.220	33.322
(14-15)	7.099	1.916	-0.056	0.854	1.359	63.919	34.722
(15-16)	6.963	1.956	-0.034	0.842	3.221	64.369	32.410
(16-17)	7.182	1.909	-0.062	0.872	1.221	62.845	35.934
(17-18)	7.050	1.898	-0.028	0.873	1.975	65.202	32.822
(18-19)	6.948	1.930	-0.016	0.863	3.138	65.463	31.399
(19-20)	6.914	1.926	-0.002	0.860	3.110	66.303	30.587
(20-21)	7.171	1.883	-0.047	0.878	0.871	63.895	35.234
(21-22)	6.940	1.953	-0.019	0.859	3.841	64.561	31.599
(22-23)	7.100	1.893	-0.028	0.882	1.331	65.046	33.622
(23-24)	7.046	1.904	-0.024	0.867	1.453	65.725	32.822
Promedio	7.042	1.934	-0.044	0.851	2.029	64.377	33.594
Desv. Est.	0.0802	0.0253	0.0200	0.0169	0.8157	1.0849	1.5421
Máximo	7.195	1.979	-0.002	0.882	3.841	66.303	37.034
Mínimo	6.914	1.883	-0.087	0.819	0.871	61.562	30.587

Tabla 5.10. Parámetros texturales y porcentajes de arena, limo y arcilla del núcleo 13.

Muestra	Mz ϕ	σ_{ϕ}	Sk $_{\phi}$	K $_G$	Arenas	Limos	Arcillas
(0-1)	6.945	1.903	0.032	0.861	1.481	67.933	30.587
(1-2)	7.000	1.883	0.028	0.878	1.331	67.582	31.087
(2-3)	7.077	1.886	0.003	0.880	1.223	65.979	32.799
(3-4)	6.905	1.873	0.054	0.891	2.036	68.989	28.975
(4-5)	6.820	1.940	0.047	0.850	3.263	67.774	28.963
(5-6)	7.048	1.890	0.011	0.876	1.307	66.407	32.287
(6-7)	7.008	1.909	0.012	0.861	1.430	66.671	31.899
(7-8)	7.019	1.922	-0.001	0.859	1.489	66.024	32.487
(8-9)	7.006	1.959	-0.016	0.859	3.031	64.271	32.699
(9-10)	6.794	1.959	0.040	0.831	3.608	67.418	28.975
(10-11)	6.740	1.944	0.051	0.850	4.522	67.915	27.563
(11-12)	6.839	1.937	0.036	0.845	2.622	68.103	29.275
(12-13)	6.591	1.955	0.097	0.815	4.546	69.803	25.651
(13-14)	6.200	2.065	0.170	0.769	14.844	63.053	22.103
(14-15)	6.862	1.928	0.026	0.856	2.661	67.853	29.487
(15-16)	6.804	1.999	0.015	0.831	4.915	65.410	29.675
(16-17)	6.837	1.983	0.006	0.841	4.046	66.068	29.887
(17-18)	6.649	2.049	0.034	0.788	7.406	64.531	28.063
(18-19)	6.511	1.958	0.084	0.845	7.453	68.520	24.027
(19-20)	6.670	1.915	0.077	0.861	3.888	70.361	25.751
(20-21)	6.735	2.019	0.018	0.794	4.893	65.945	29.163
(21-22)	6.664	1.937	0.066	0.857	4.853	69.096	26.051
(22-23)	7.095	1.928	-0.037	0.864	1.056	64.734	34.210
(23-24)	6.825	2.013	-0.008	0.807	3.528	65.785	30.687
(24-25)	6.903	1.981	-0.017	0.823	2.077	66.237	31.687
Promedio	6.822	1.949	0.033	0.844	3.740	66.898	29.362
Desv. Est.	0.2031	0.0507	0.0435	0.0303	2.9261	1.7981	2.9410
Máximo	7.095	2.065	0.170	0.891	14.844	70.361	34.210
Mínimo	6.200	1.873	-0.037	0.769	1.056	63.053	22.103

Tabla 5.11. Parámetros texturales y porcentajes de arena, limo y arcilla del núcleo 14.

Muestra	Mz ϕ	σ_{ϕ}	Sk $_{\phi}$	K $_G$	Arenas	Limos	Arcillas
(0-1)	6.978	1.929	-0.014	0.867	2.867	65.335	31.799
(1-2)	7.148	1.896	-0.037	0.896	1.729	63.749	34.522
(2-3)	7.107	1.880	-0.021	0.887	1.208	65.282	33.510
(3-4)	6.936	1.925	-0.002	0.870	2.954	66.247	30.799
(4-5)	7.008	1.894	-0.008	0.880	1.995	66.295	31.710
(5-6)	7.076	1.934	-0.048	0.880	2.720	63.458	33.822
(6-7)	7.057	1.873	-0.012	0.884	1.269	66.409	32.322
(7-8)	7.112	1.923	-0.049	0.881	2.096	63.481	34.422
(8-9)	6.959	1.908	0.004	0.872	2.625	66.377	30.999

(9-10)	7.045	1.873	-0.010	0.887	1.764	66.126	32.110
(10-11)	7.448	1.775	-0.049	0.936	0.206	60.536	39.258
(11-12)	7.286	1.812	-0.035	0.916	0.617	63.237	36.146
(12-13)	7.159	1.863	-0.032	0.892	1.096	64.481	34.422
(13-14)	7.131	1.845	-0.014	0.895	1.038	65.539	33.422
(14-15)	7.009	1.859	0.008	0.885	1.677	67.124	31.199
(15-16)	6.864	1.888	0.023	0.876	3.308	67.805	28.887
(16-17)	7.062	1.804	0.019	0.912	1.351	67.539	31.110
(17-18)	6.995	1.850	0.015	0.891	1.840	67.461	30.699
(18-19)	7.102	1.792	0.017	0.921	1.380	66.909	31.710
(19-20)	7.166	1.814	-0.011	0.917	0.902	65.564	33.534
(20-21)	7.066	1.859	-0.006	0.909	2.122	65.768	32.110
Promedio	7.082	1.866	-0.012	0.893	1.751	65.463	32.786
Desv. Est.	0.125	0.047	0.023	0.019	0.816	1.780	2.242
Máximo	7.448	1.934	0.023	0.936	3.308	67.805	39.258
Mínimo	6.864	1.775	-0.049	0.867	0.206	60.536	28.887

Tabla 5.12. Parámetros texturales y porcentajes de arena, limo y arcilla del núcleo 15.

Muestra	Mz ϕ	σ_{ϕ}	Sk _I	K _G	Arenas	Limos	Arcillas
(0-1)	6.923	1.906	0.021	0.853	2.153	67.360	30.487
(1-2)	6.849	1.933	0.034	0.849	3.179	67.346	29.475
(2-3)	7.001	1.920	-0.010	0.857	2.170	65.631	32.199
(3-4)	6.919	1.933	0.011	0.841	2.338	66.675	30.987
(4-5)	7.000	1.935	-0.018	0.837	1.540	65.761	32.699
(5-6)	6.994	1.908	-0.008	0.851	1.443	66.558	31.999
(6-7)	6.955	1.940	-0.008	0.842	2.398	65.803	31.799
(7-8)	6.064	1.994	0.235	0.775	14.838	65.271	19.891
(8-9)	6.649	1.937	0.062	0.840	5.046	68.791	26.163
(9-10)	6.904	1.943	-0.001	0.847	3.169	66.032	30.799
(10-11)	6.768	1.932	0.028	0.855	4.458	67.567	27.975
(11-12)	6.898	1.935	-0.001	0.842	2.573	66.740	30.687
(12-13)	6.954	1.872	0.007	0.887	1.526	68.176	30.299
(13-14)	6.756	1.900	0.043	0.860	3.454	69.271	27.275
(14-15)	6.798	1.918	0.023	0.863	4.111	67.614	28.275
(15-16)	6.711	1.889	0.063	0.858	3.394	70.243	26.363
(16-17)	6.974	1.876	-0.003	0.909	2.811	66.690	30.499
(17-18)	6.729	1.915	0.039	0.872	4.886	68.239	26.875
(18-19)	6.821	1.934	0.014	0.869	4.642	66.571	28.787
(19-20)	6.911	1.875	0.017	0.879	2.260	68.142	29.599
(20-21)	7.084	1.874	-0.016	0.912	2.296	64.994	32.710
(21-22)	6.944	1.874	0.017	0.896	2.629	67.385	29.987
(22-23)	7.040	1.836	0.004	0.919	2.087	66.802	31.110
(23-24)	6.873	1.893	0.022	0.876	2.900	67.914	29.187

Promedio	6.855	1.911	0.024	0.862	3.429	67.149	29.422
Desv. Est.	0.201	0.034	0.050	0.030	2.647	1.285	2.794
Máximo	7.084	1.994	0.235	0.919	14.838	70.243	32.710
Mínimo	6.064	1.836	-0.018	0.775	1.443	64.994	19.891

En las correlaciones de los parámetros texturales $Mz\phi$ y $\sigma_1\phi$ (Tabla 7.13), se muestra en general una correlación negativa pero significativa, con excepción de los núcleos 3, 10 y 11, esto debido a que los porcentajes de arena eran mayores que en otras estaciones y lo mismo pasa con los puntos dispersos de las demás gráficas. La correlación significativa negativa implica que cuando el tamaño de partícula es más fino entonces la clasificación es mejor. Esto se puede deber a una mayor presencia de sedimentos pelágicos terrígenos.

Tabla 5.13. Matriz de correlación entre $Mz\phi$ y $\sigma_1\phi$ para valores > 0.576 .

Núcleo	Correlación
1	-0.94
2	-0.95
3	-0.54
4	-0.91
5	-0.94
6	-0.94
9	-0.81
10	-0.07
11	-0.46
13	-0.65
14	-0.62
15	-0.61

Nota.- En negritas se presentan los valores significativos de la correlación de Pearson, significativa al 99%.

En las figuras de 5.1 a 5.12, se observan los diagramas, de tamaño grafico promedio contra clasificación, en donde no se observa correlación entre las estaciones 3, 10 y 11.

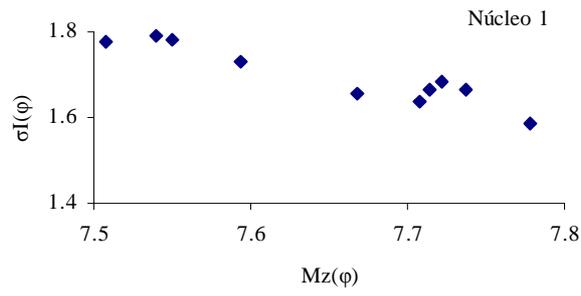


Figura 5.1. Diagrama de dispersión entre $Mz\phi$ y $\sigma_I\phi$, para las muestras del núcleo 1.

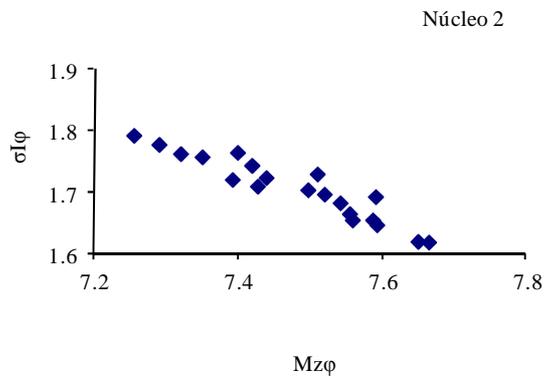


Figura 5.2. Diagrama de dispersión entre $Mz\phi$ y $\sigma_I\phi$, para las muestras del núcleo 2.

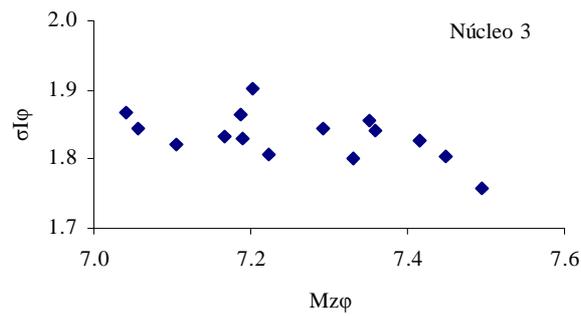


Figura 5.3. Diagrama de dispersión entre $Mz\phi$ y $\sigma_I\phi$, para las muestras del núcleo 3.

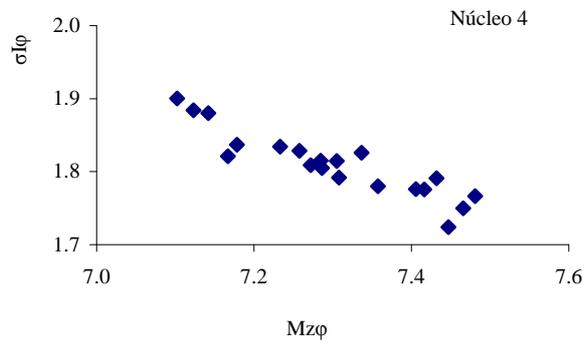


Figura 5.4. Diagrama de dispersión entre $Mz\phi$ y $\sigma_I\phi$, para las muestras del núcleo 4.

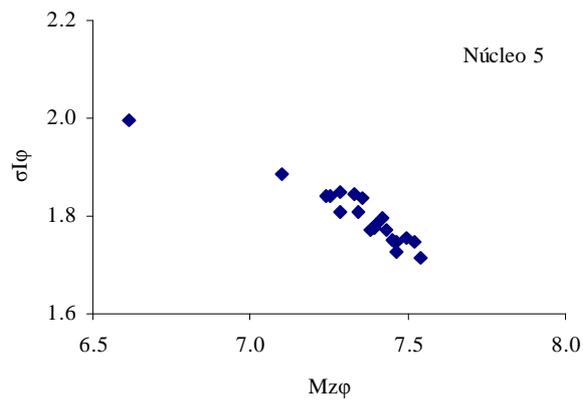


Figura 5.5. Diagrama de dispersión entre $Mz\phi$ y $\sigma_I\phi$, para las muestras del núcleo 5.

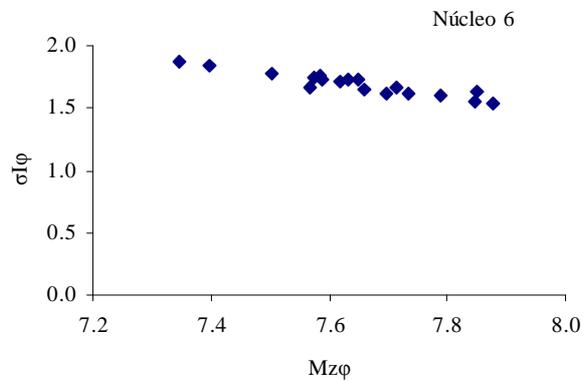


Figura 5.6. Diagrama de dispersión entre $Mz\phi$ y $\sigma_I\phi$, para las muestras del núcleo 6.

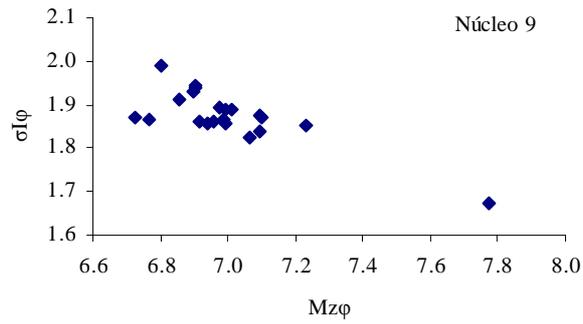


Figura 5.7. Diagrama de dispersión entre $Mz\phi$ y $\sigma_I\phi$, para las muestras del núcleo 9.

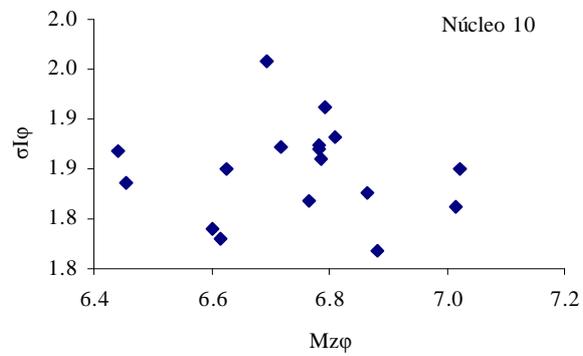


Figura 5.8. Diagrama de dispersión entre $Mz\phi$ y $\sigma_I\phi$, para las muestras del núcleo 10.

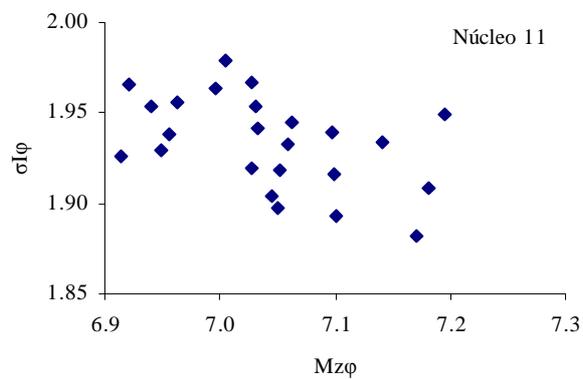


Figura 5.9. Diagrama de dispersión entre $Mz\phi$ y $\sigma_I\phi$, para las muestras del núcleo 11.

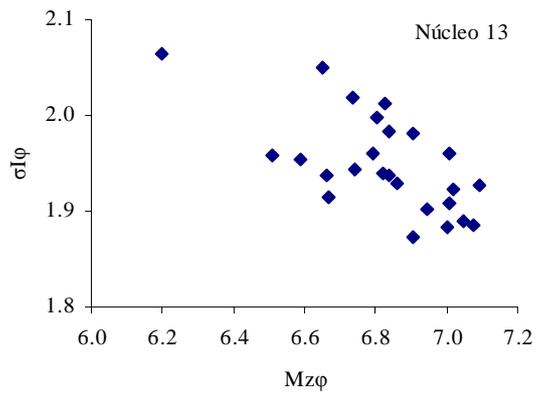


Figura 5.10. Diagrama de dispersión entre $Mz\phi$ y $\sigma_{I\phi}$, para las muestras del núcleo 13.

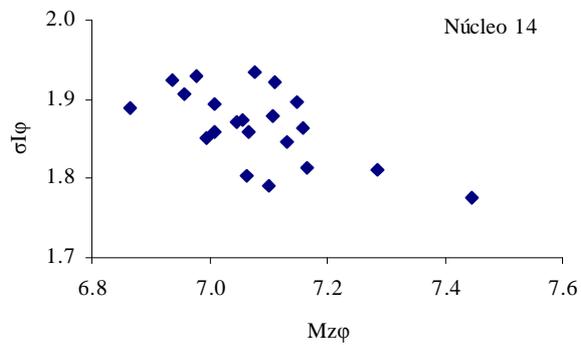


Figura 5.11. Diagrama de dispersión entre $Mz\phi$ y $\sigma_{I\phi}$, para las muestras del núcleo 14.

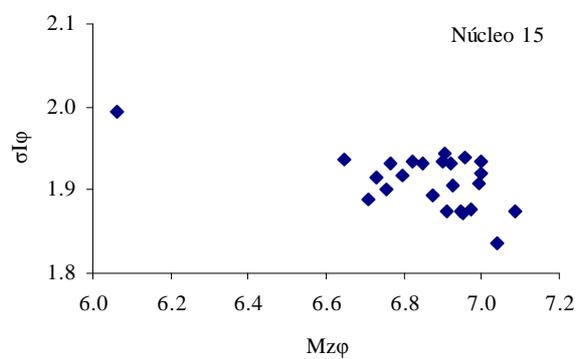


Figura 5.12. Diagrama de dispersión entre $Mz\phi$ y $\sigma_{I\phi}$, para las muestras del núcleo 15.

Cuando se presentan tendencias lineales en los diagramas de dispersión cabe suponer cierto grado de homogeneidad y un comportamiento similar al que se presenta cuando hay sedimentos terrígenos con mejor clasificación hacia los tamaños finos. En el caso contrario cabría esperar variaciones controladas tal vez por aumentos anómalos de biógenos o autógenos.

Los sedimentos estudiados son principalmente limos y arcillas con un porcentaje de arenas escaso a nulo. Tomando en cuenta que tamaño del sedimento depende en gran medida del ambiente de transporte y la lejanía del área de estudio de las fuentes de sedimentos continentales, estos tamaños de partículas pueden ser transportados por agentes eólicos, los cuales solo pueden alcanzar grandes distancias cuando se trata principalmente de limo y la arcilla. Por otra parte, la alteración y fragmentación de partículas de mayor tamaño debido al intemperismo por la exposición permanente al agua de mar, reduce el tamaño de los sedimentos. Es así que se concentran principalmente sedimentos finos en el área de estudio.

Mientras que los sedimentos arenosos observados son generalmente productos volcánicos de las islas y montes submarinos circundantes o bien por aportes biogénicos.

La clasificación ó desviación estándar gráfica inclusiva, varía entre 1.94ϕ y 1.67ϕ , los cuales se encuentran entre 1.0ϕ y 2.0ϕ , siendo entonces sedimentos mal clasificados. Aunque la desviación estándar gráfica inclusiva es una medida de homogeneidad de los tamaños de grano de los sedimentos, que implica que entre más homogéneos sean los sedimentos estos tendrá una mejor clasificación; esta depende en gran medida de la fuente de origen por lo que a pesar de que todos los núcleos estudiados están compuestos principalmente por limos y arcillas, estos presentan una mala clasificación debido a las diferentes fuentes de suministro de sedimentos en el área.

La asimetría o sesgo (SkI) de las muestras se distribuye desde -0.053 hasta 0.081, correspondiendo con el intervalo 1.0 a -1.0ϕ , con curvas simétricas, lo que refleja que existen condiciones homogéneas en el lugar de depósito. El grado de asimetría gráfica indica de acuerdo con Folk (2002), que no hay dominancias en exceso de partículas finas o gruesas.

6. ANÁLISIS COMPOSICIONAL DE LA FRACCIÓN ARENOSA

6.1. Microscopía Electrónica

Al separar los horizontes con porcentaje mayor al 5% de arenas, estas se analizaron en el microscopio electrónico de barrido (MEB) del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM.

La sílice encontrada en las fuentes biogénicas en muestras de fracción arenosa corresponde principalmente con radiolarios, así como con espículas silíceas de organismos.

Para el estudio con el MEB se seleccionaron muestras de sedimentos que tuvieran más de 5% de arena. Se eligieron muestras de los núcleos 5 y 10, en los cuales se encontraron micronódulos y posibles granos de vidrio volcánico.

Entre los biógenos se observaron radiolarios (naselarios y espumelarios) y espículas como se ve en las láminas 6.1 a 6.9.



Lámina 6.1. Espumelario en el núcleo 5.



Lámina 6.2. Naselario en el núcleo 5.

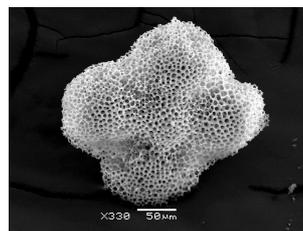


Lámina 6.3. . Espumelario en el núcleo 10.

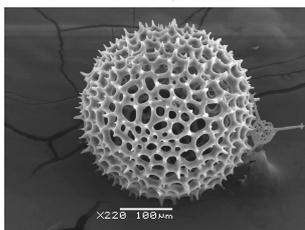


Lámina 6.4. Espumelario en el núcleo 10.

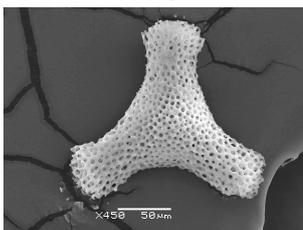


Lámina 6.5. Espumelario en el núcleo 15.

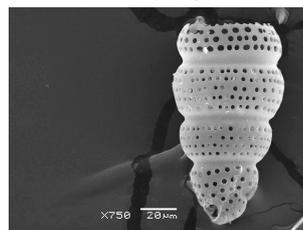


Lámina 6.6. Naselario en el núcleo 13.

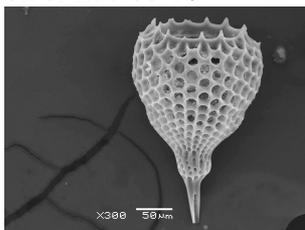


Lámina 6.7. Nasselario en el núcleo 15.



Lámina 6.8. Espícula de SiO₂ en el núcleo 15.

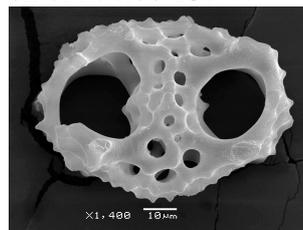


Lámina 6.9. Naselario en el núcleo 13.

Entre los diversos componentes no biogénicos fue común encontrar micronódulos (autigénicos), y posibles fragmentos de vidrio (Láminas 6.10 a 6.15).

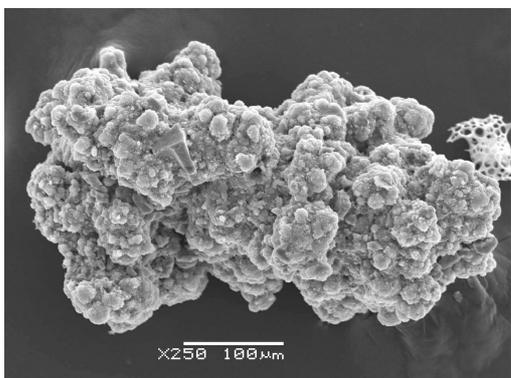


Lámina 6.10. Fotomicrografía de micronódulo en el núcleo 5.

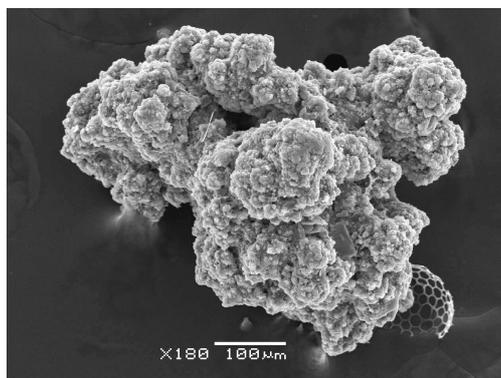


Lámina 6.11. Fotomicrografía de micronódulo en el núcleo 5.

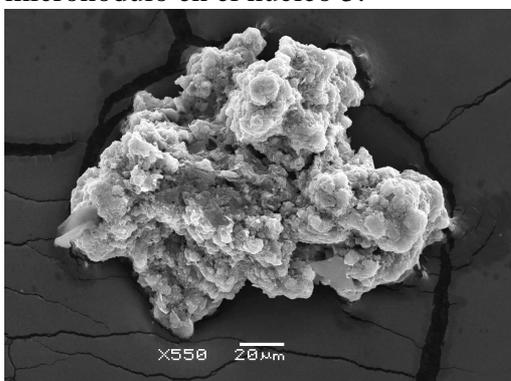


Lámina 6.12. Fotomicrografía de micronódulo en el núcleo 10.

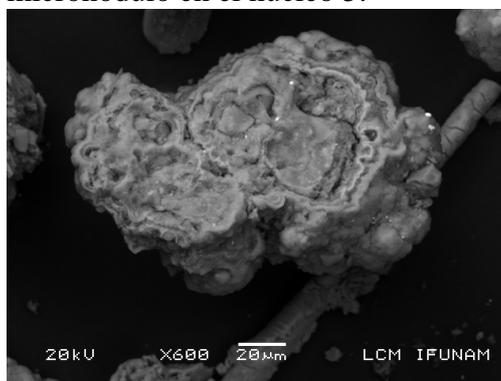


Lámina 6.13. Fotomicrografía de micronódulo en el núcleo 7.

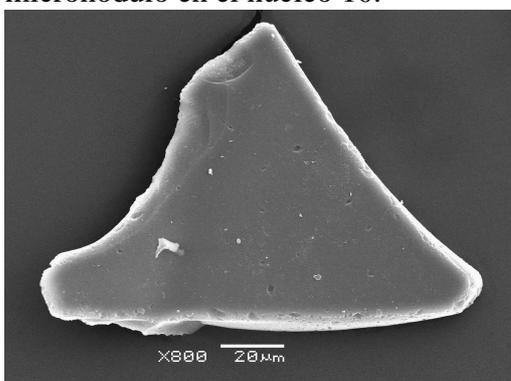


Lámina 6.14. Fotomicrografía de posible vidrio volcánico en el núcleo 10.

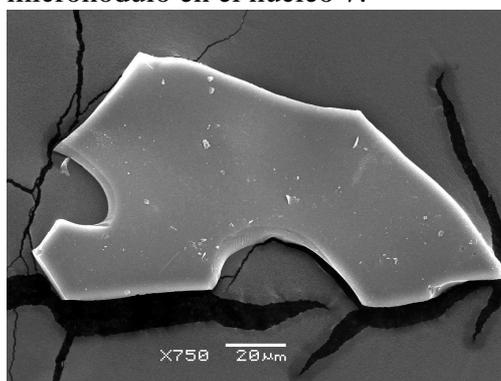


Lámina 6.15. Fotomicrografía de posible vidrio volcánico en el núcleo 10.

De acuerdo con McMurtry, (2010) hay correlación entre la abundancia de nódulos con los depósitos de sedimentos pelágicos rojizos o pardos, y también con los lodos silíceos compuestos de radiolarios y diatomeas. Esto se observa en la mayoría de las estaciones muestreadas. Por otro lado, los biógenos pueden aportar núcleos que son necesarios para la formación de micronódulos, al igual que los fragmentos de roca, fragmentos de

nódulos y restos de biógenos (e incluso dientes de tiburón) que también intervienen en la formación de nódulos (Láminas 6.16 y 6.17).

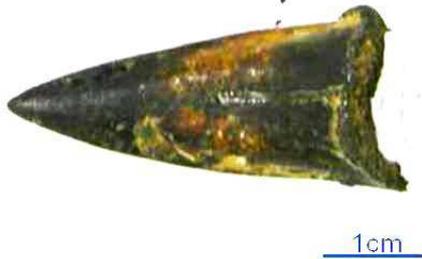


Lámina 6.16. Diente de tiburón mineralizado posiblemente con ferromanganeso, obtenido durante el muestreo (Tomado de Cabrera, 2012).

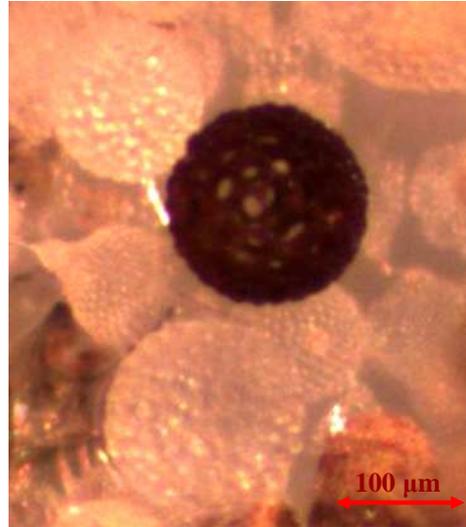


Lámina 6.17. Radiolario mineralizado, como posible inicio de un núcleo de micronódulo.

Algunos de los micronódulos fueron analizados con el Espectroscopio de Energía Dispersiva, con el fin de tener una idea los principales componentes ya que debido al tamaño de estos, no es posible contar con secciones transversales de estos, para un análisis más detallado (Fig. 6.1).

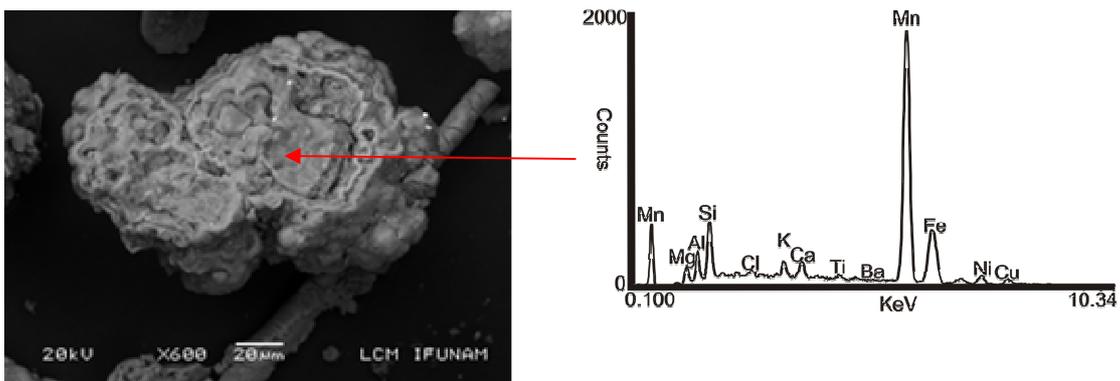


Figura 6.1. Gráfica de principales elementos químicos en un micronódulo colectado en la estación 7.

6.2. Análisis Petrográfico de la Fracción Arenosa

Se hizo un conteo modal de 300 puntos para analizar la fracción de arena de los sedimentos superficiales, utilizándose siete campos: 1) cuarzo, 2) feldespatos, 3) biógenos silíceos (radiolarios o diatomeas), 4) biógenos foraminíferos (arenícolas), 5) micronódulos, 6) pómez (fragmentos de pómez), 7) fragmentos de roca volcánica (FRV). Los resultados aparecen en la Tabla 6.1 (Láminas 6.18 a 6.27).

Los mayores porcentajes encontrados fueron de micronódulos (entre 6 y 66%), de fragmentos de pómez (de 4 a 65%), los fragmentos de feldespato (1 a 27%) y de FRV (1 a 16%), éstos últimos solo en las estaciones 6, 7 y 9. Los biógenos silíceos se encontraron en todas las estaciones con una variación entre 6 y 85% mientras que foraminíferos arenícolas se presentaron en porcentajes mínimos (1 a 9%).

Los resultados obtenidos indican que existe influencia de terrígenos, biógenos y autógenos dominando los porcentajes de micronódulos, fragmentos de pómez y biógenos silíceos.

Los sedimentos muestreados se encontraron asociados con nódulos polimetálicos en todas las estaciones, con excepción de la estación 9 en donde solo se encontró sedimento, esto se puede explicar debido a la cercanía del punto de muestreo con la Isla Clarión, lo que significa un mayor aporte de sedimentos terrígenos (como se observa en la Tabla 6.1) los cuales incrementan la tasa de sedimentación, inhibiendo el crecimiento de los nódulos.

En las estaciones 7 y 9 se observa el menor porcentaje de biógenos silíceos 6% y 7% respectivamente; sin embargo, en estas estaciones se observa también el mayor porcentaje de fragmentos de roca volcánicos (la estación 7 con 11% y la estación 9 con 16%), por lo que se concluye que hay un relación en la disminución de los biógenos silíceos al aumentar los FRV.

Tabla 6.1. Composición mineralógica de la fracción de arena de los sedimentos superficiales, normalizados al 100%.

Estación	μ n	PM	FRV	F	B. S.	Frm	Total
1	54	30	0	1	14	0	100
2	45	22	0	1	27	5	100
3	50	4	0	1	36	9	100
4	19	16	0	0	63	2	100
5	13	45	0	2	40	0	100
6	16	65	1	0	18	1	100
7	66	8	11	1	6	7	100

9	11	36	16	27	7	3	100
10	6	57	0	0	36	1	100
11	23	31	0	2	43	1	100
13	24	48	0	0	28	0	100
14	21	42	0	4	32	1	100
15	7	8	0	0	85	0	100

Dónde: μ n = micronódulos, PM = pómez, FRV = fragmentos de roca volcánica, F = feldespatos, B.S. = biógenos silíceos y Frm = foraminíferos aglutinados.

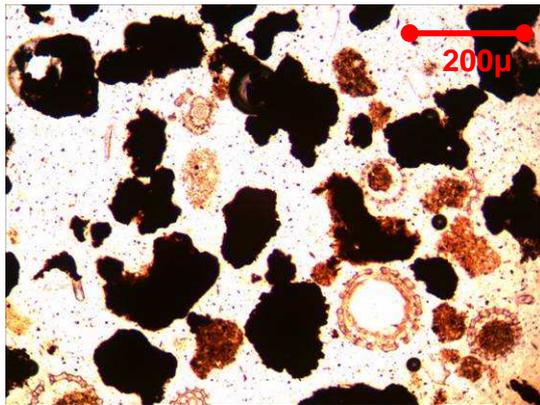


Lámina 6.18. Micronódulos y fragmentos de pómez y biógenos silíceos. Fotografía tomada con luz paralela y objetivo 10x (Muestra E7).



Lámina 6.19. Micronódulos y fragmentos de pómez. Fotografía tomada en microscopio con luz transmitida (Muestra E7).

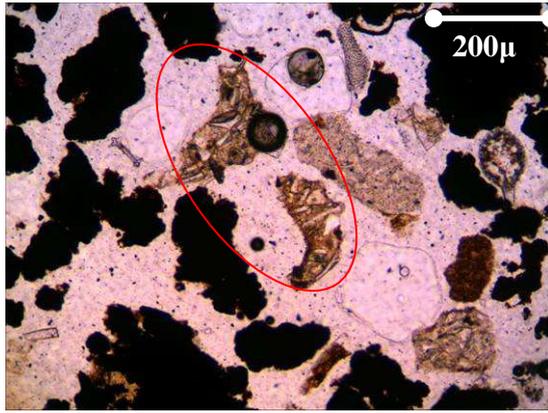


Lámina 6.20. Fragmentos de rocas volcánicas. Fotografía tomada con luz paralela y objetivo 10X (Estación 7).

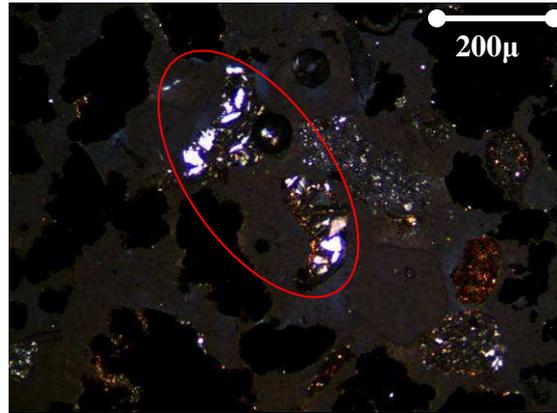


Lámina 6.21. Fragmentos de rocas volcánicas. Fotografía tomada con nicols cruzados y objetivo 10X (Estación 7).

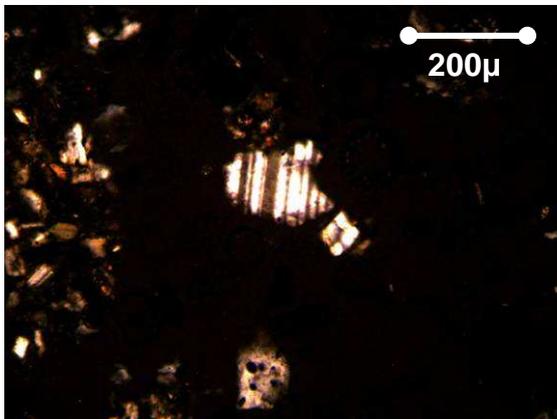


Lámina 6.22. Fragmento de feldespato. Fotografía tomada con nicols cruzados y objetivo 10X (Estación 9).

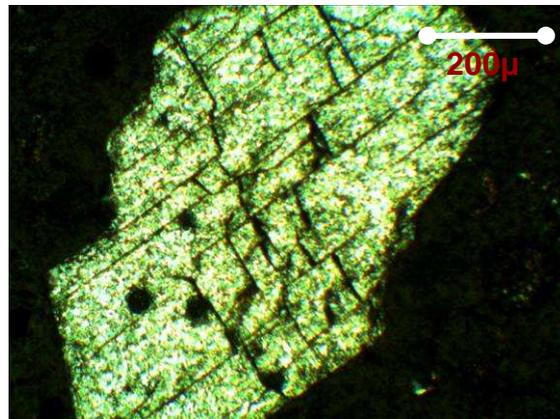


Lámina 6.23. Fragmento de feldespato. Fotografía tomada con nicols cruzados y objetivo 10X (Estación 5).

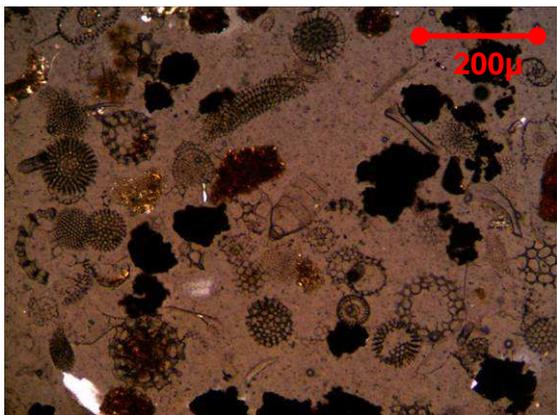


Lámina 6.24. Biógenos silicios (radiolarios). Fotografía tomada con luz paralela y objetivo 10x (muestra E2).

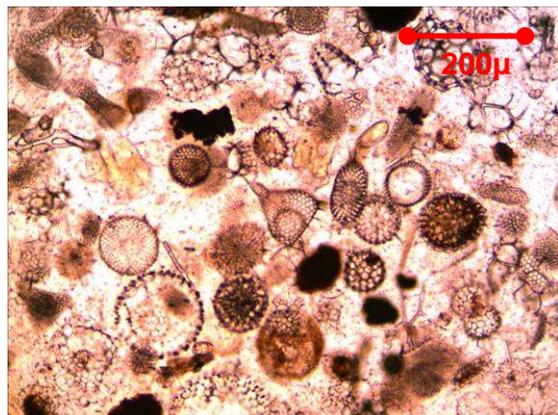


Lámina 6.25. Biógenos silicios (radiolarios). Fotografía tomada con luz paralela y objetivo 10x (muestra E4).



Lámina 6.26. Testa de foraminífero aglutinado. Fotografía tomada con luz paralela y objetivo 10x (muestra E2).

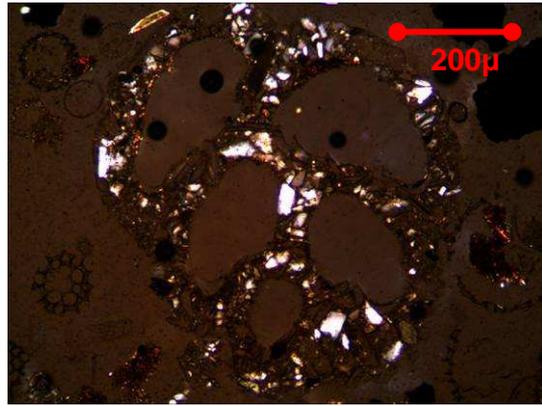


Lámina 6.27. Testa de foraminífero aglutinado. Fotografía tomada con nicoles cruzados y objetivo 10x (muestra E2).

Se puede concluir que la mayor cantidad de aportes biogénicos son silíceos debido a la profundidad de las estaciones muestreadas, por estar debajo de la zona de disolución de carbonatos, lo que evita que los biógenos carbonatados de aguas someras lleguen al piso marino; no obstante, ocasionalmente, se encontraron escasos foraminíferos aglutinados (Figs. 6.26 y 6.27), esto puede deberse a la cercanía de estas estaciones a montes submarinos en donde podrían estar depositándose estos organismos los cuales son enterrados rápidamente antes de su disolución debido a la actividad volcánica de la zona, dado que el área de estudio se encuentra ubicada en una zona con fracturamientos.

7. GEOQUÍMICA

El análisis de difracción de rayos X en muestra total (Tabla 7.1), permitió identificar que las fases minerales identificadas fueron cuarzo, halita (ésta derivada del agua de mar contenida en la muestra) y plagioclasa. Las arcillas presentes en las muestras son esmectita, illita y caolinita, los minerales de tipo arcilla encontrados en las muestras coinciden con las reportadas por Lozano *et al.*, (1989) para zonas cercanas al área de estudio.

Las fases mineralógicas son de baja cristalinidad, por lo que es posible que el cuarzo reportado provenga de dos fuentes: a) cuarzo biogénico, debido al aporte de radiolarios y diatomeas y que muestra baja cristalinidad en los difractogramas, b) dado que no se observó cuarzo cristalino en el microscopio petrográfico debido al escaso porcentaje de arenas, este debe encontrarse en las fracciones más abundantes del sedimento en tamaños de limo y arcilla, lo cual puede sugerir un aporte eólico proveniente del continente desde dunas costeras, desiertos o incluso cenizas volcánicas ricas en sílice. Diversos autores sugieren este último origen para el cuarzo encontrado para zonas cercanas al área de estudio en la zona de fracturas Clarión-Clipperton (Rex y Golberg, 1957; Tjeerd *et al.*, 1971; Lee, 1980).

De acuerdo con Tjeerd *et al.* (1971), durante el DSDP Leg 16, el hidrotermalismo producido en la Dorsal del Pacífico Oriental (EPR), puede influir a lo largo de toda la zona de fracturas Clarión-Clipperton, lo cual fue observado y reportado para el DSDP-159 al DSDP-163.

Las arcillas identificadas son predominantemente del tipo esmectita, seguido de la caolinita y escasa illita. La presencia de esmectita indica influencia de rocas volcánicas y la alteración de éstas (Futterer, 2006), así como la alteración de cenizas, pómez y vidrio volcánico a esmectita (Folk, 2002). Así mismo la predominancia de esta indica una fuente cercana y puede estar dada por la actividad volcánica submarina. No obstante, la caolinita y la illita, y la esmectita pueden estar también por aportes eólicos.

Tabla 7.1. Difracción de rayos X para muestra total.

Núcleo	Fases identificadas	Arcillas identificadas
1 (0-1) cm	Cuarzo: SiO ₂	Esmectita
	Plagioclasa	Illita

	Filosilicatos	Caolinita
2 (0-1) cm	Cuarzo: SiO ₂	Esmectita
	Plagioclasa	Illita
	Filosilicatos	Caolinita
3 (0-1) cm	Cuarzo: SiO ₂	Esmectita
	Plagioclasa	Illita
	Filosilicatos	Caolinita
4 (0-1) cm	Cuarzo: SiO ₂	Esmectita
	Plagioclasa	Illita
	Filosilicatos	Caolinita
5 (0-1) cm	Cuarzo: SiO ₂	Esmectita
	Plagioclasa	Illita
	Filosilicatos	Caolinita
6 (0-1) cm	Cuarzo: SiO ₂	Esmectita
	Plagioclasa	Illita
	Posibles trazas de Anfíbol	Caolinita
	Filosilicatos	
7 (0-1) cm	Cuarzo: SiO ₂	Esmectita
	Plagioclasa	Illita
	Filosilicatos	Caolinita
9 (0-1) cm	Cuarzo: SiO ₂	Esmectita
	Plagioclasa	Illita
	Filosilicatos	Caolinita
10 (0-1) cm	Cuarzo: SiO ₂	Esmectita
	Plagioclasa	Illita
	Filosilicatos	Caolinita
11 (0-1) cm	Cuarzo: SiO ₂	Esmectita
	Plagioclasa	Illita
	Filosilicatos	Caolinita
13 (0-1) cm	Cuarzo: SiO ₂	Esmectita
	Plagioclasa	Illita
	Filosilicatos	Caolinita
14 (0-1) cm	Cuarzo: SiO ₂	Esmectita
	Plagioclasa	Illita
	Filosilicatos	Caolinita
15 (0-1) cm	Cuarzo: SiO ₂	Esmectita
	Plagioclasa	Illita
	Filosilicatos	Caolinita

Nota.- En las muestras analizadas se encontró halita, debido al contenido de agua de mar en el sedimento.

Los resultados obtenidos mediante el análisis de fluorescencia de rayos X, para la determinación de elementos mayores y traza, se presentan en las Tablas 7.2 y 7.3 en donde se observan la parte superficial de los núcleos (0 a 1 cm), los horizontes medios y la base de cada uno de los núcleos.

Tabla 7.2. Porcentajes de óxidos de elementos mayores obtenidos para los sedimentos en la parte superficial (0 a 1 cm), media y base de los núcleos.

Núcleo	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	PXC	SUMA
1 (0-1)	52.207	0.718	14.897	7.422	1.160	3.437	1.454	4.029	3.157	0.302	9.980	98.763
1 (5-6)	50.671	0.703	14.377	7.404	1.200	3.364	1.430	4.169	3.043	0.339	9.990	96.690
1 (9-10)	51.584	0.706	14.597	7.729	1.459	3.400	1.389	4.019	3.134	0.324	10.320	98.661
2 (0-1)	51.476	0.678	14.246	7.401	1.773	3.198	1.606	4.451	2.984	0.345	10.790	98.948
2 (10-11)	51.788	0.673	14.374	7.324	1.226	3.304	1.429	4.315	3.059	0.296	9.780	97.570
2 (19-20)	52.570	0.683	14.850	7.398	1.219	3.283	1.439	4.230	3.073	0.283	10.260	99.288
3 (0-1)	50.385	0.655	14.013	7.214	1.273	3.031	1.530	5.095	3.002	0.365	11.370	97.933
3 (7-8)	50.134	0.630	14.007	7.252	1.273	3.096	1.455	5.120	2.946	0.375	11.040	97.330
3 (14-15)	51.395	0.655	14.763	7.329	0.859	3.110	1.416	4.850	3.066	0.348	11.250	99.041
4 (0-1)	51.652	0.675	14.296	7.236	1.126	3.203	1.493	4.658	3.074	0.347	10.940	98.700
4 (10-11)	50.02	0.666	14.136	7.334	1.091	3.135	1.390	4.395	2.957	0.320	10.370	95.810
4 (19-20)	51.202	0.689	14.909	7.396	1.156	3.127	1.374	4.193	3.016	0.322	10.770	98.154
5 (0-1)	50.780	0.699	14.211	7.089	1.002	3.242	1.639	4.919	3.058	0.443	11.280	98.362
5 (11-12)	51.048	0.700	14.513	7.327	1.009	3.189	1.577	4.405	3.071	0.422	9.930	97.190
5 (20-21)	51.968	0.710	15.012	7.372	1.003	3.242	1.527	3.943	3.171	0.401	10.500	98.849
6 (0-1)	51.733	0.738	14.791	7.325	0.955	3.452	1.444	4.209	3.243	0.333	10.350	98.573
6 (9-10)	52.088	0.713	14.884	7.435	0.894	3.493	1.370	4.405	3.177	0.212	10.010	98.680
6 (17-18)	52.139	0.731	15.198	7.441	0.965	3.406	1.344	3.755	3.217	0.317	10.090	98.603
9 (0-1)	49.517	1.075	14.347	8.271	0.853	2.988	2.442	4.964	2.685	0.562	10.190	97.894
9 (11-12)	48.991	0.980	13.955	8.207	0.927	2.889	2.152	5.201	2.730	0.523	10.440	97.000
9 (20-21)	52.165	0.741	15.220	7.445	0.982	3.404	1.350	3.589	3.198	0.315	9.860	98.269
10 (0-1)	51.323	0.687	13.601	7.685	1.073	2.733	1.854	5.351	2.915	0.462	11.360	99.044
10 (8-9)	49.789	0.694	13.821	7.814	0.921	2.822	1.589	5.326	2.871	0.434	10.730	96.810
10 (16-17)	50.800	0.725	14.649	7.962	0.729	2.938	1.640	5.046	2.929	0.419	11.060	98.897
11 (0-1)	47.781	0.611	12.487	8.207	2.975	2.862	1.532	5.326	2.639	0.435	13.410	98.265
11 (11-12)	46.344	0.588	12.500	8.238	2.853	2.888	1.516	6.068	2.517	0.414	13.480	97.410
11 (23-24)	47.879	0.596	12.745	8.097	2.733	2.833	1.489	5.499	2.603	0.404	12.950	97.828
13 (0-1)	48.257	0.675	12.015	9.556	1.679	3.213	1.483	5.381	2.729	0.433	12.800	98.221
13 (12-13)	48.137	0.664	11.845	9.105	1.301	3.192	1.362	5.793	2.611	0.368	12.550	96.930
13 (24-25)	49.838	0.635	12.040	8.706	0.766	3.136	1.241	5.159	2.694	0.324	13.230	97.769
14 (0-1)	47.789	0.625	12.488	9.126	1.774	3.133	1.507	5.307	2.901	0.447	13.240	98.337
14 (10-11)	46.390	0.595	12.304	9.075	1.919	3.203	1.388	5.765	2.657	0.396	13.180	96.870
14 (20-21)	47.134	0.620	12.780	9.067	1.935	3.136	1.434	5.127	2.847	0.410	13.500	97.990
15 (0-1)	47.371	0.640	11.687	8.454	2.132	3.163	1.600	6.007	2.753	0.429	15.170	99.406
15 (11-12)	47.102	0.604	12.127	8.609	1.800	3.007	1.374	6.417	2.532	0.375	13.970	97.920
15 (23-24)	47.347	0.595	13.021	8.069	2.944	2.856	1.501	5.607	2.603	0.400	13.560	98.503
Promedio	49.967	0.688	13.770	7.892	1.415	3.142	1.521	4.891	2.913	0.379	11.492	98.070
Des.Est.	1.925	0.095	1.111	0.682	0.634	0.200	0.224	0.704	0.216	0.069	1.492	0.837

Máximo	52.570	1.075	15.220	9.556	2.975	3.493	2.442	6.417	3.243	0.562	15.170	99.406
Mínimo	46.344	0.588	11.687	7.089	0.729	2.733	1.241	3.589	2.517	0.212	9.780	95.810

Tabla 7.3. Concentración de elementos traza (ppm) obtenidos para los sedimentos en la parte superficial (0 a 1 cm), media y base de los núcleos.

Núcleo	Rb ppm	Sr Ppm	Ba ppm	Y ppm	Zr ppm	Nb ppm	V ppm	Cr ppm	Co ppm	Ni ppm	Cu ppm	Zn ppm	Th ppm	Pb ppm
1 (0-1)	187	496	10348	160	15	15	164	80	103	388	303	302	7	40
1 (5-6)	188	467	10828	170	7	13	141	81	110	436	347	327	8	43
1 (9-10)	220	531	14899	258	int.	12	168	88	155	820	464	459	7	45
2 (0-1)	188	497	8152	156	46	14	193	83	120	525	418	360	9	44
2 (10-11)	155	328	8125	107	42	8	145	84	83	242	311	276	5	39
2 (19-20)	158	388	8146	113	46	11	145	83	80	239	291	267	8	40
3 (0-1)	175	473	8730	174	40	16	159	74	107	380	328	321	8	43
3 (7-8)	166	306	8696	149	32	7	141	70	110	413	398	344	9	37
3 (14-15)	161	373	8767	147	37	11	147	76	86	213	268	285	7	46
4 (0-1)	181	492	9619	175	26	16	157	71	108	361	312	313	8	42
4 (10-11)	175	370	9494	159	25	9	218	79	103	348	343	316	8	41
4 (19-20)	177	416	10191	166	17	12	172	81	101	346	312	309	9	40
5 (0-1)	185	467	9082	221	36	18	154	73	109	360	320	302	9	43
5 (11-12)	189	401	9589	216	27	15	215	75	108	352	337	311	10	39
5 (20-21)	187	407	9954	208	23	16	147	79	101	320	331	309	9	46
6 (0-1)	194	481	10640	178	10	16	167	86	102	335	302	285	8	38
6 (9-10)	164	221	10940	141	4	5	173	86	118	347	345	309	5	29
6 (17-18)	193	431	11307	173	int.	13	176	85	97	328	322	299	7	44
9 (0-1)	138	510	7667	199	68	28	140	69	101	252	285	282	10	33
9 (11-12)	145	405	7818	193	56	17	123	74	102	281	325	302	8	39
9 (20-21)	212	434	11559	199	int.	13	157	86	118	372	340	321	8	37
10 (0-1)	147	459	7922	209	65	24	138	68	100	289	306	290	9	38
10 (8-9)	139	352	8329	185	52	17	197	69	96	249	328	291	8	39
10 (16-17)	142	417	9160	192	42	20	135	68	87	204	314	285	7	38
11 (0-1)	159	526	10538	215	11	14	216	72	138	776	565	460	9	42
11 (11-12)	155	363	10468	197	10	8	231	78	149	830	657	494	8	41
11 (23-24)	152	473	10169	200	15	11	196	73	127	542	573	427	8	44
13 (0-1)	141	470	9440	185	26	15	198	72	110	426	454	352	6	65
13 (12-13)	121	255	8488	128	31	6	133	72	91	302	382	311	7	46
13 (24-25)	133	369	8073	146	43	13	158	74	84	218	347	288	9	56
14 (0-1)	155	488	10539	195	11	14	181	70	114	474	466	360	7	50
14 (10-11)	140	273	10487	168	9	7	264	66	127	540	528	391	6	41
14 (20-21)	163	457	11033	204	4	11	183	79	128	570	551	409	7	52
15 (0-1)	136	484	9190	179	29	14	191	68	120	565	525	387	7	45
15 (11-12)	127	269	9114	151	24	6	180	90	119	495	537	382	7	33
15 (23-24)	146	468	9998	190	17	11	206	69	115	497	557	421	8	43
Promedio	163.7	417.1	9652.8	177.9	28.7	13.2	172.5	76.4	109.1	406.5	391.4	337.4	7.8	42.3
Des.Est.	24.2	80.8	1418.8	31.4	17.4	4.9	31.8	6.7	17.2	161.1	104.8	58.7	1.2	6.4
Máximo	220	531	14899	258	68	28	264	90	155	830	657	494	10	65
Mínimo	121	221	7667	107	4	5	123	66	80	204	268	267	5	29

Los resultados obtenidos mediante el análisis de fluorescencia de rayos X, para la determinación de elementos mayores y traza se utilizaron para realizar las gráficas de

variación de cada estación, observándose, en general, que las mayores variaciones se encontraron entre el MnO y el Zr.

Como se ve en las figuras 7.9, 7.11 y 7.12 las variaciones de Mn corresponden con las variaciones de Cu y Ni para las estaciones 11, 14 y 15, las cuales se encuentran al sur del área de estudio que es una zona donde estos elementos se encuentran por arriba del promedio. Por otra parte se observa un incremento en el Zr (Figs. 7.7 y 7.8.) en las estaciones superficiales de los núcleos 9 y 10, lo cual puede deberse al aporte de sedimentos de origen volcánico (Chris, 2004).

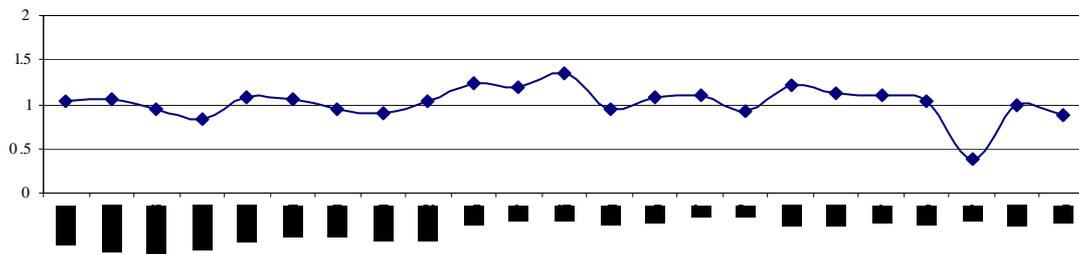


Figura 7.1. Diagrama de variaciones mayores y traza en el núcleo 1.

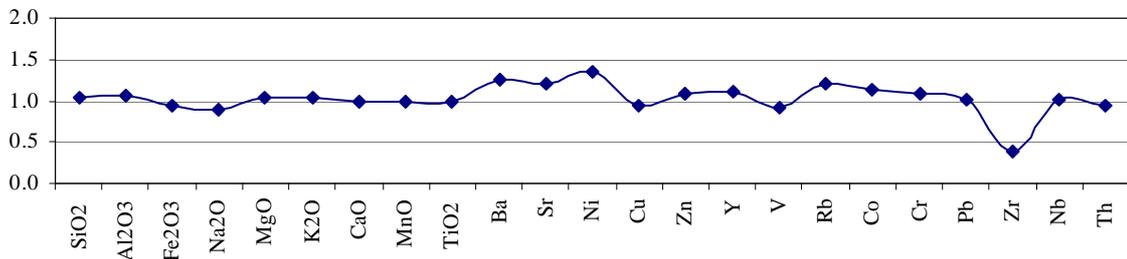


Figura 7.2. Diagrama de variaciones mayores y traza en el núcleo 2.

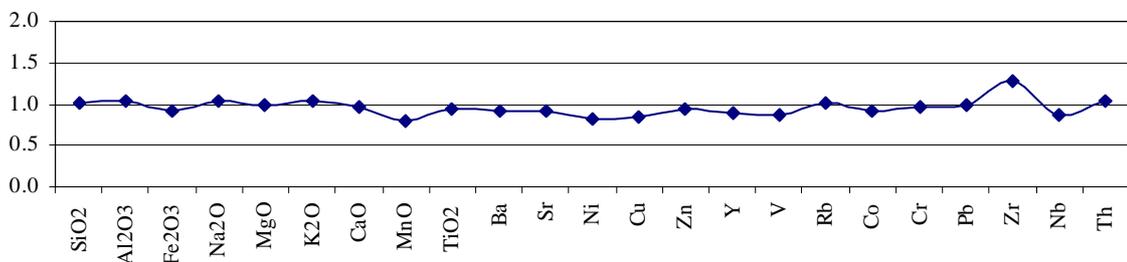


Figura 7.3. Diagrama de variaciones mayores y traza en el núcleo 3.

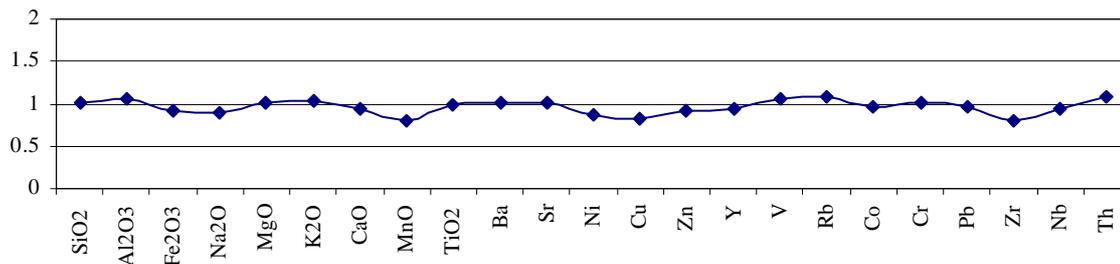


Figura 7.4. Diagrama de variaciones mayores y traza en el núcleo 4.

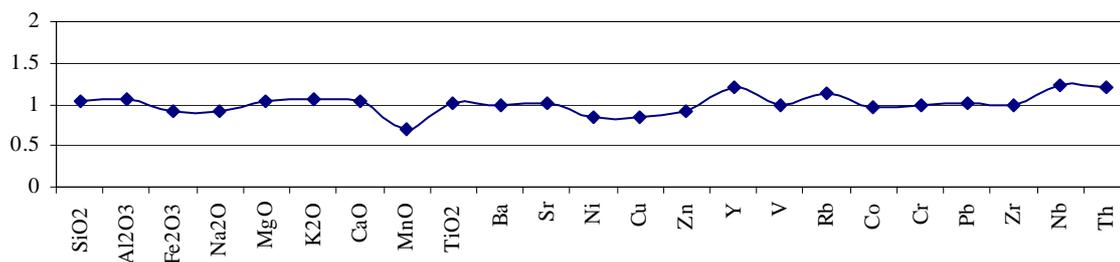


Figura 7.5. Diagrama de variaciones mayores y traza en el núcleo 5.

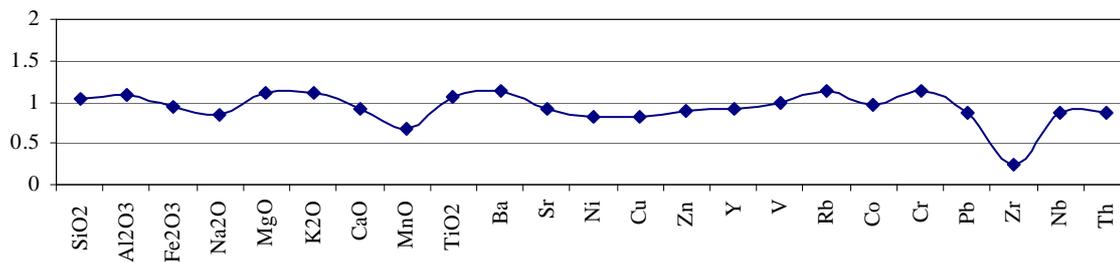


Figura 7.6. Diagrama de variaciones mayores y traza en el núcleo 6.

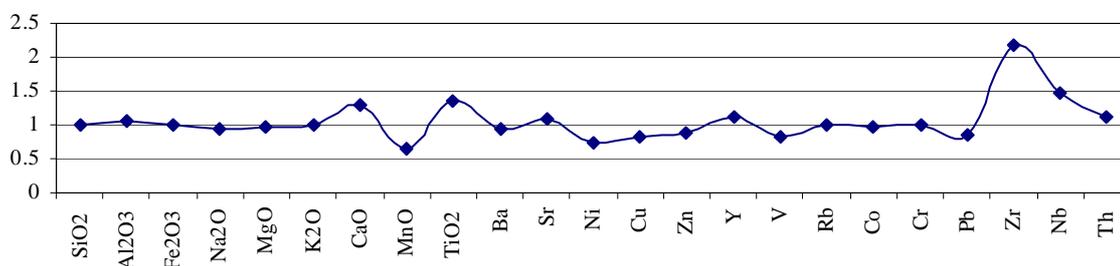


Figura 7.7. Diagrama de variaciones mayores y traza en el núcleo 9.

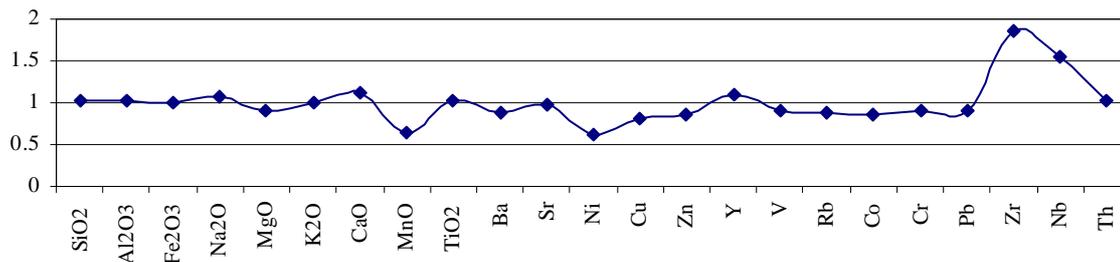


Figura 7.8. Diagrama de variaciones mayores y traza en el núcleo 10.

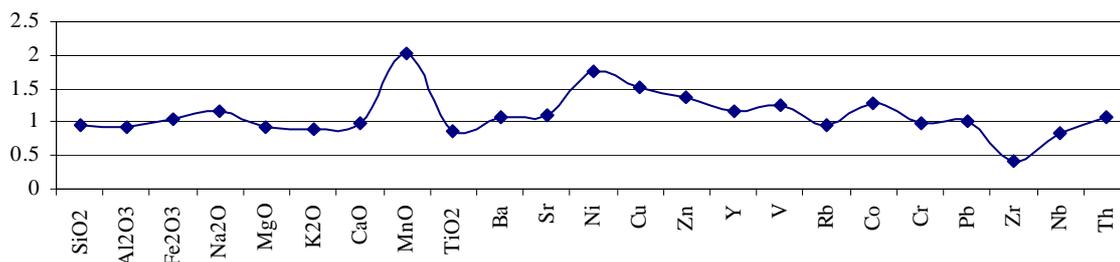


Figura 7.9. Diagrama de variaciones mayores y traza en el núcleo 11.

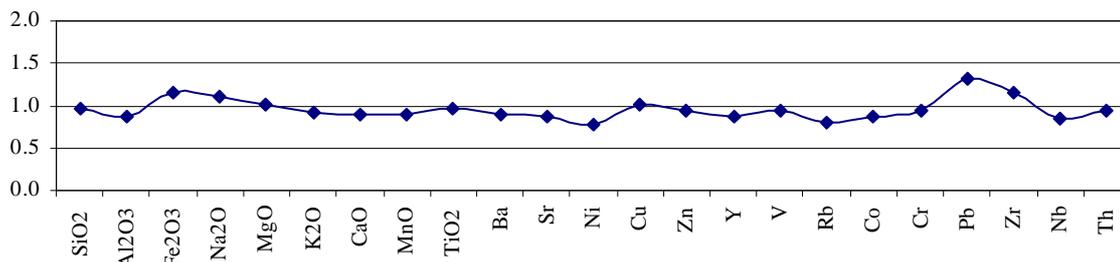


Figura 7.10. Diagrama de variaciones mayores y traza en el núcleo 13.

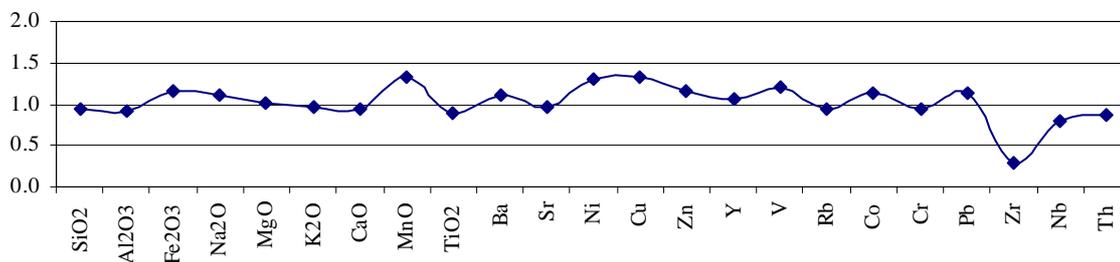


Figura 7.11. Diagrama de variaciones mayores y traza en el núcleo 14.

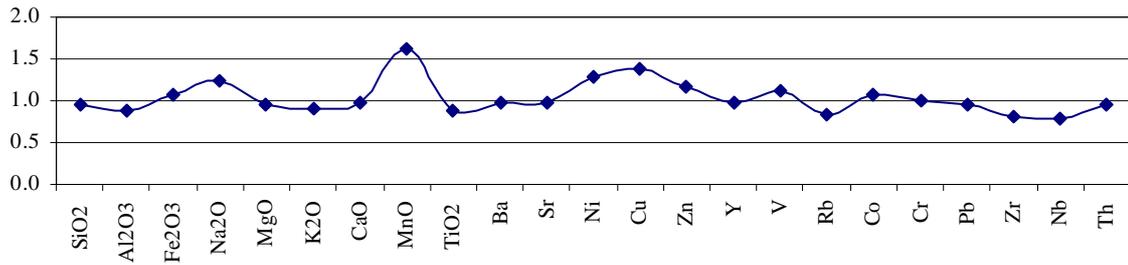


Figura 7.12. Diagrama de variaciones mayores y traza en el núcleo 15.

Al comparar los elementos mayores del área de estudio con los de basaltos colectados en la zona de fracturas Clarión-Clipperton y analizados en el LEG-16 del DSDP dichos basaltos son toleíticos al igual que los estudiados en el EPR (Tjeerd *et al.*, 1971 y Yeats, 1972; Anexo 2).

En la figura 7.13 se observa similitud entre los elementos mayores del área de estudio con los del LEG-16 (S-159 al S163), por lo que se infiere un aporte de sedimentos para el área por la alteración de rocas del mismo tipo.

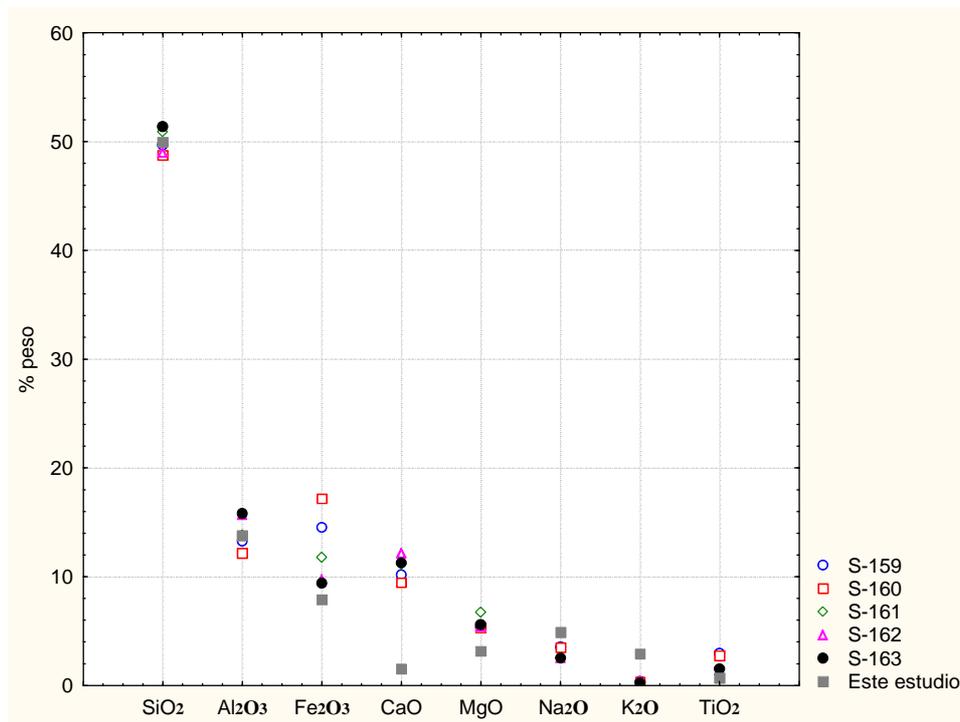


Figura 7.13. Comparación entre elementos mayores del área de estudio y los elementos mayores de basaltos obtenidos en la zona de fracturas Clarión Clipperton por el DSDP (Leg 16).

Por otra parte al realizar una comparación de los elementos mayores de rocas perteneciente a la Isla Clarión, Promedio de Lutita por Garrels y Mackenzie (1971); contra el área de estudio se observan valores muy similares (Anexo 3), por lo que se puede inferir la existencia de aportes terrígenos hacia los sedimentos estudiados (Fig. 7.14).

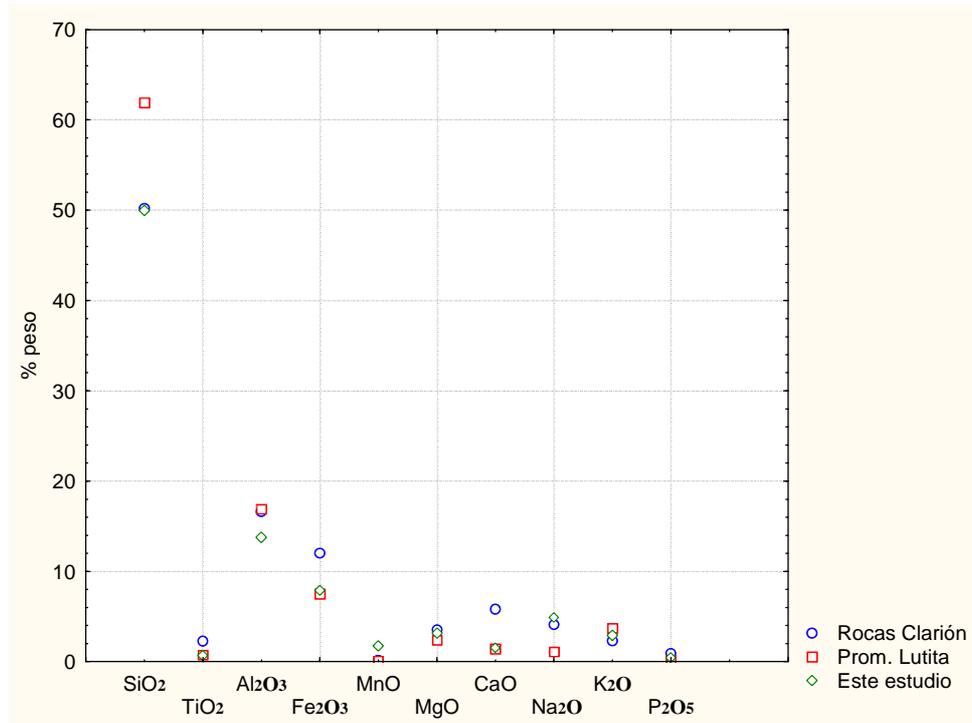


Figura 7.14. Comparación entre elementos mayores del área de estudio contra el promedio de ocho rocas de la isla Clarión colectadas en la campaña MIMAR II y promedio de la Lutita NASC (Garrels y Mackenzie, 1971).

Se observan valores similares entre los elementos mayores del área de estudio y los valores promedio de NASC (Gromet *et al.*, 1984) y de rocas de la isla Clarión colectadas en la Campaña MIMAR II, siendo mayor dicha similitud con éstas últimas, reflejándose en los óxidos de elementos mayores. Las pequeñas diferencias en dichos promedios pueden deberse a que los minerales antigénicos del área de estudio aportan metales derivados la almirólisis en basaltos del piso marino.

El SiO₂ y el AlO₂ presentan un comportamiento similar en su distribución, principalmente en la zona norte del área de estudio (Figs. 7.15 y 7.16). Esto puede estar relacionado con aportes eólicos de sedimentos terrígenos (cuarzos, feldespatos y

arcillas), dado que esta parte del área estudiada es la más cercana a las regiones áridas y semiáridas de Norteamérica, por lo que estos sedimentos podrían tener un mayor aporte de sedimentos continentales con respecto a la zona Sur del área estudiada.

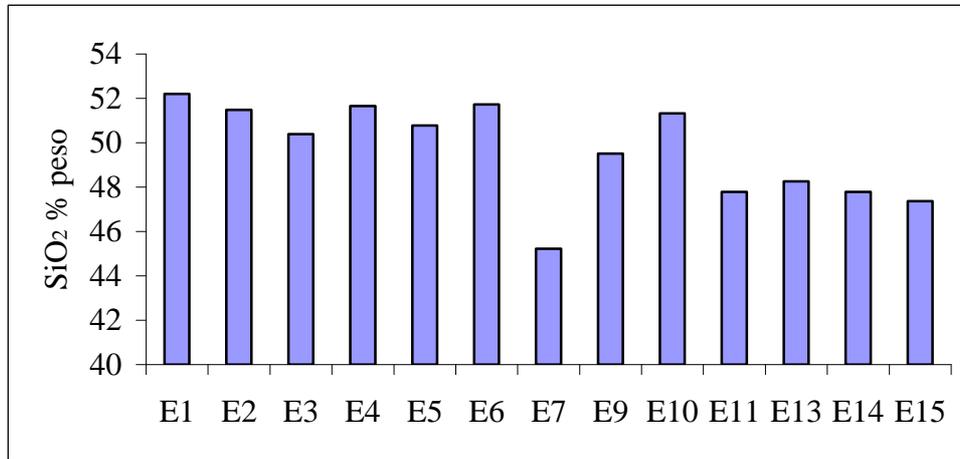


Figura 7.15.- Distribución de SiO₂ en el área de estudio.

La estación 7 presenta una disminución en con respecto a las demás estaciones ubicadas en la zona norte de la zona de estudio, esto puede deberse a que se encuentra más alejada del continente con respecto a este grupo de estaciones (de la zona norte) además de que es el punto que presenta el mayor aporte de sedimentos autigénicos del área, lo cual puede estar modificando la composición de la muestra.

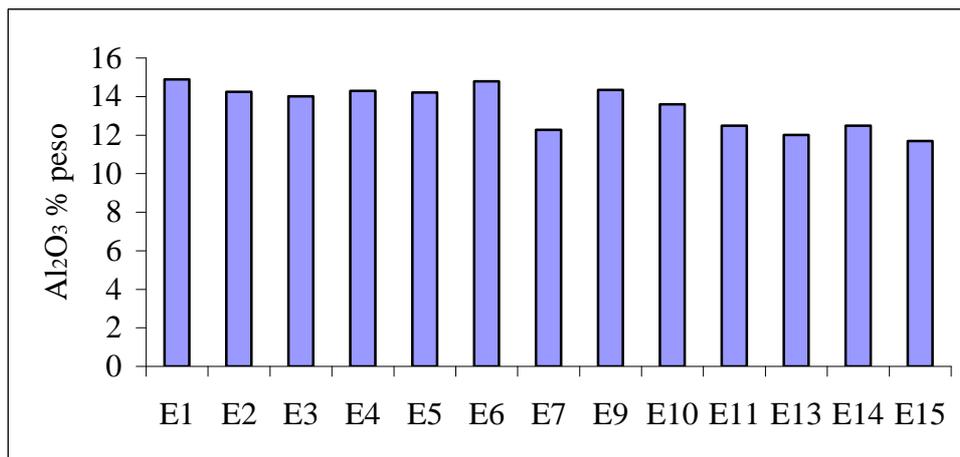


Figura 7.16. Abundancia de Al₂O₃ en el área de estudio.

Se observa una distribución similar de Co, Ni, Cu y Zn en el área de estudio (Figs. 7.17 a 7.20), esto debido a la afinidad química existente entre estos elementos, dada esta

similitud en el comportamiento estos elementos podrían estar ligados con su origen a partir de los sedimentos. De esta forma se puede descartar así un origen biogénico para el Cu. No obstante diversos autores han propuesto que el cobre sea transportado y depositado por fases biogénicas, debido a la capacidad de dicho elemento de formar complejos con compuestos orgánicos (Goldberg y Arrhenius, 1958; Sawlan y Murria, 1983). Toyoda y Masuda (1990) encontraron que existe una buena correlación entre el contenido de Cu de origen biogénico y el contenido de P_2O_5 , debido a que la abundancia de estos elementos en los sedimentos refleja la actividad biológica de las aguas superficiales. Sin embargo, no existe dicha correlación para los datos obtenidos en área de estudio (Fig. 7.21), por lo que podría decirse que la principal fuente de cobre no es biogénica.

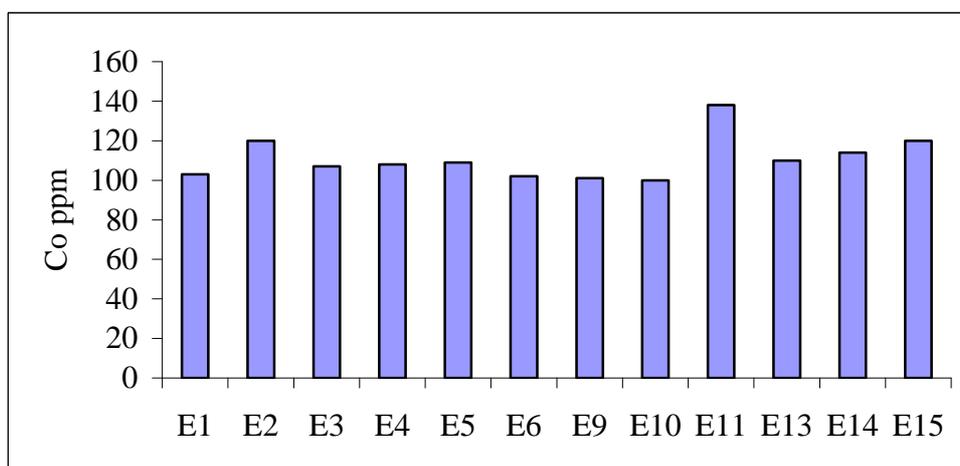


Figura 7.17. Abundancia de Co en el área de estudio.

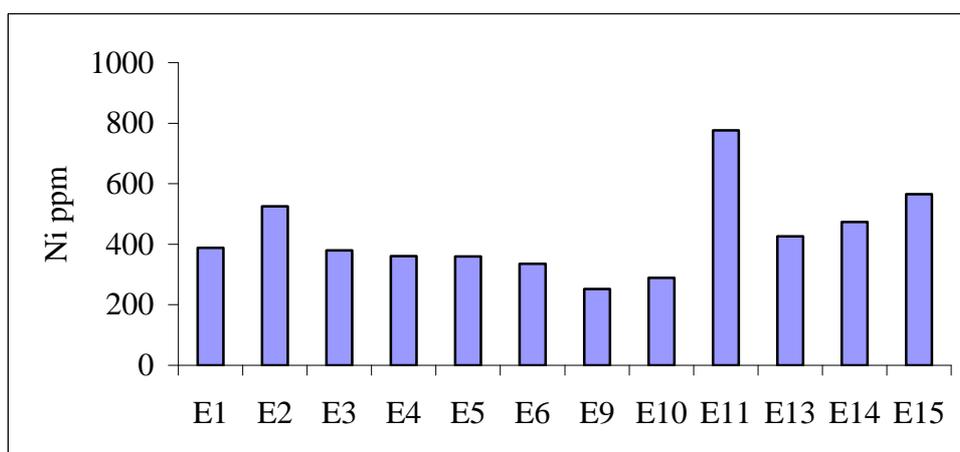


Figura 7.18. Abundancia de Ni en el área de estudio.

Al Sur la distribución es similar entre cobalto, níquel, cobre y el zinc, que son metales que presentan un comportamiento similar. Además los contenidos de Cu y Ni en nódulos presentan un incremento hacia el ecuador (Jung y Lee, 1999).

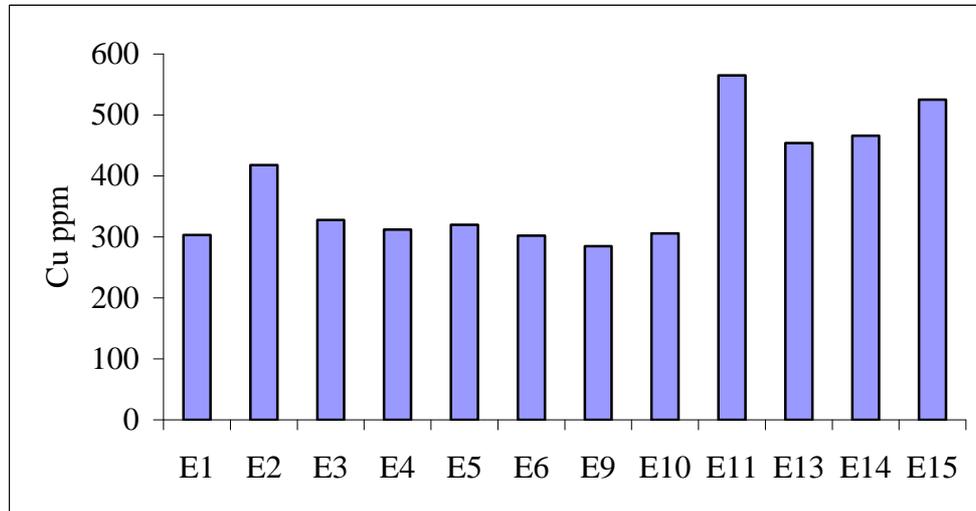


Figura 7.19. Abundancia de Cu en el área de estudio.

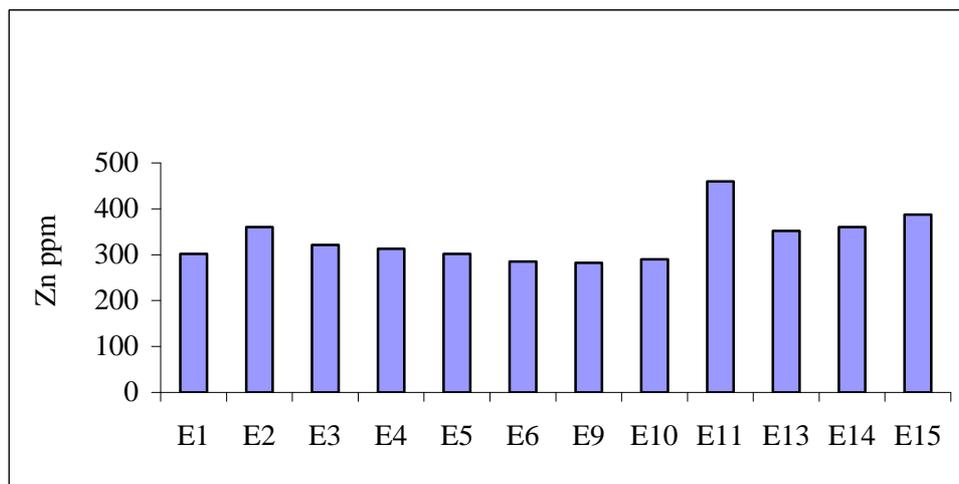


Figura 7.20. Abundancia de Zn en el área de estudio.

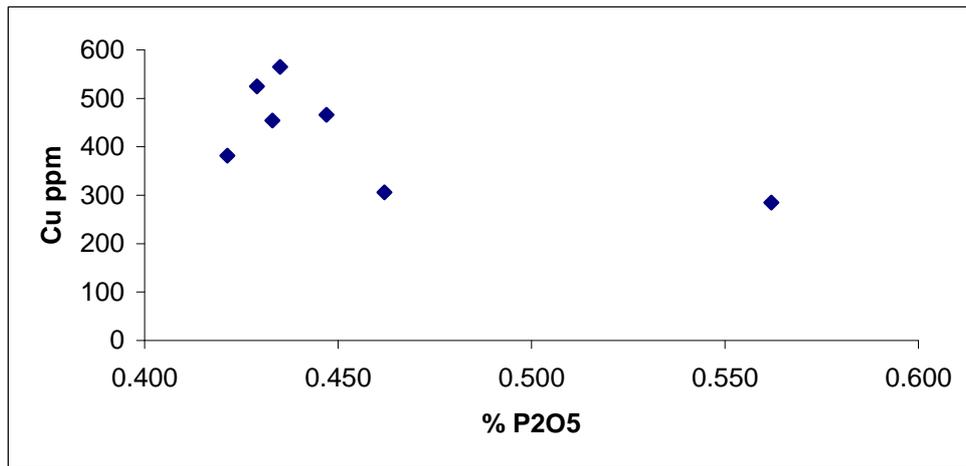


Figura 7.21. Gráfica de dispersión de P₂O₅ vs. Cu.

Otra asociación similar se observa en las concentraciones de Fe₂O y MnO, donde las concentraciones mayores se presentan principalmente en la zona Sur del área de estudio (Figs. 7.22 y 7.23).

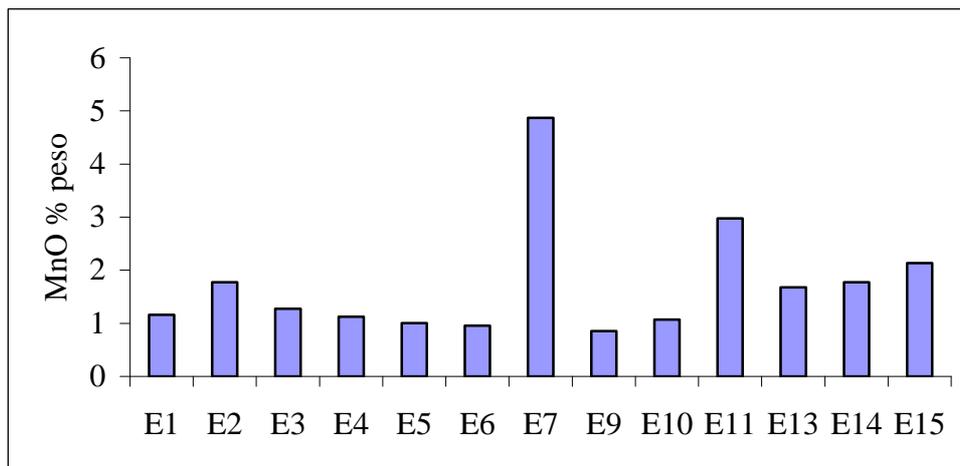


Figura 7.22. Abundancia de MnO en el área de estudio.

Se observa una mayor cantidad de MnO en la estación 7 debido al mayor aporte de sedimentos antigénicos en este punto como se observa en la fracción arenosa.

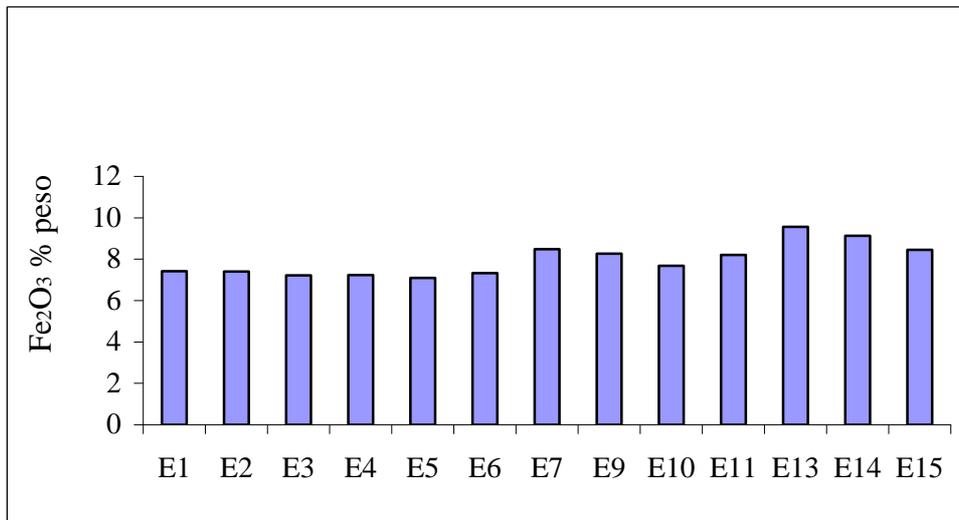


Figura 7.23. Abundancia de Fe₂O₃ en el área de estudio.

De acuerdo con Cabrera *et al.*, (en prensa), los nódulos colectados en la zona sur de la ZEE de México tienden a disminuir de tamaño con respecto a los de la zona norte, lo anterior podría estar pasando no solo con los nódulos sino que se podría extender hasta los micronódulos, presentándose en mayor cantidad en la fracción limosa. Los elementos como Mn, Co, Cu y Ni se encuentran en mayor abundancia enriquecidos, posiblemente debido a los micronódulos (Geoffrey y Glasby, 2006), en la zona Sur del área de estudio.

Se observa una similitud en la distribución del Ba con el Sr (Figs. 7.24 y 7.25), esta similitud puede deberse a que el bario en el agua marina comúnmente es reemplazado por el Sr en compuestos sólidos, debido a su afinidad química (Toyoda y Masuda, 1990).

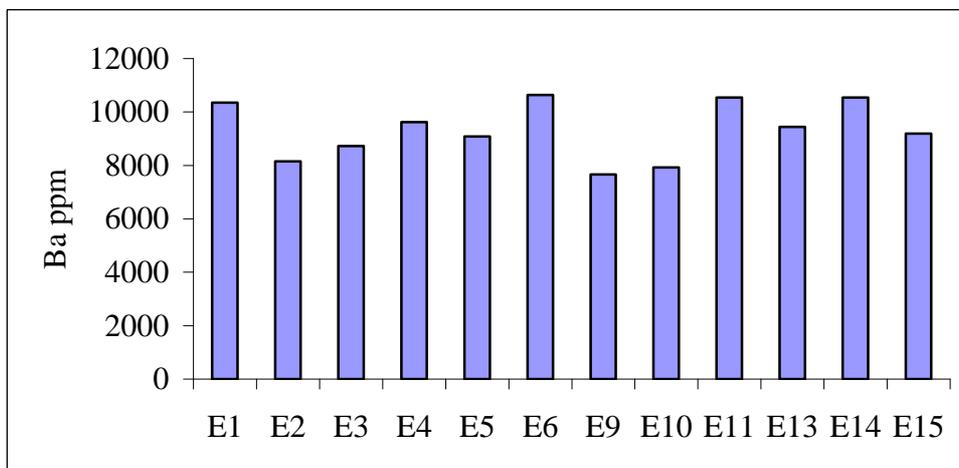


Figura 7.24. Abundancia de Ba en el área de estudio.

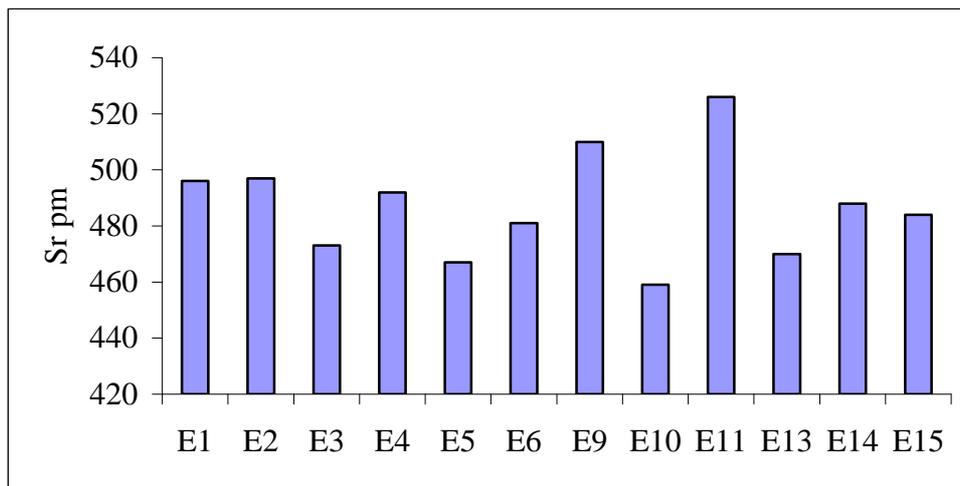


Figura 7.25. Abundancia de Sr en el área de estudio.

Por otra parte las altas concentraciones de bario y estroncio (este último en menor cantidad pero con un porcentaje importante en comparación con los demás elementos), observados en la tabla 7.3, podrían deberse a que estos elementos son móviles en soluciones acuosas y podrían haber sido concentrados en los sedimentos durante la formación *in situ* de minerales de arcilla, lo que concuerda con Rolf y Behrmann (2003).

CONCLUSIONES

El estudio de los sedimentos pelágicos constituye una componente importante en las investigaciones relacionadas con nódulos pólímetálicos en la Zona Exclusiva de México, donde se mostraron que los procesos diagenéticos que tienen lugar en los sedimentos del piso marino contribuyen a la formación de nódulos. Por lo cual se caracterizaron texturalmente, petrográficamente y geoquímicamente. Las conclusiones principales derivadas de este estudio son:

Análisis textural

El tamaño de partículas más abundantes en las estaciones muestreadas (~95%) es de limos y arcillas. Presentándose los mayores porcentajes de limo en la zona norte del área de estudio, y los mayores porcentajes de arcilla presentan un incremento relativo en la zona sur del área de estudio.

Los horizontes con mayores contenidos de arenas se relacionan con la cercanía de montes submarinos, en particular la Isla Clarión, donde es común observar micronódulos y biógenos silíceos.

El color del sedimento no presenta variaciones significativas entre las diferentes estaciones: pardo oscuro y pardo con vetillas pardo amarillento en húmedo y pardo y pardo con vetillas pardo amarillento en seco, estas coloraciones típicas de los sedimentos pelágicos están relacionadas con la presencia de óxidos de hierro y manganeso.

Petrología de la Fracción Arenosa

En las estaciones muestreadas se observaron micronódulos, fragmentos de pómez y biógenos silíceos. Los feldespatos, fragmentos de roca volcánica y foraminíferos arenícolas, fueron encontrados solo en algunas estaciones. La presencia de dichos constituyentes muestra una influencia de fuentes terrígenas, autigénas y biogénas.

Las fuentes terrígenas son debidas al vulcanismo del área de estudio y a aportes eólicos procedentes del continente. Las fuentes autigénicas son debidas a la formación *in situ* de minerales de arcilla y micromódulos. Se observaron aportes biogénicos principalmente silíceos debido a la profundidad de las estaciones muestreadas.

Análisis Composicional

La composición mineralógica está determinada por las diferentes fuentes terrígenas, autógenas y biogénicas. Las fases arcillosas identificadas fueron principalmente esmectita (a partir de la alteración de rocas volcánicas), caolinita e illita, éstas derivadas de aportes terrígenos y autógenos.

El cuarzo identificado en muestra total presenta dos posibles fuentes: 1) biogénico a partir de los restos silíceos y, 2) de terrígenos transportados por agentes eólicos, representados por los vientos alisios.

El SiO_2 y el Al_2O_3 agrupados en la zona norte del área de estudio representan influencia terrígena, dado que coincide con los mayores porcentajes de arcilla en dicha zona.

El Cu, Zn, Co y Ni, se agruparon principalmente en la zona sur del área de estudio como sucede con los óxidos de hierro y manganeso.

Finalmente, se concluye de manera global que los sedimentos asociados con nódulos polimetálicos están constituidos por sedimentos limo arcillosos con poca arena. La actividad volcánica, de la zona así como los aportes eólicos continentales y biogénicos de la zona, influyen en el origen y composición de los sedimentos. Dada la profundidad de las estaciones ($\approx 4,000$ m) y la baja tasa de sedimentación, hay condiciones favorables para la formación de minerales arcillosos y autógenos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguayo-Camargo, J.E., Bello M., R., Del Vecchio C., M.A., Araujo M., J., Basañez L., M.A., 1980, Estudio sedimentológico en el área Tulum-Cancún-Isla Mujeres, estado de Quintana Roo, México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 41(1), 15-32.
- Aguayo-Camargo, J.E. y A. Carranza-Edwards, 1992, Tectónica Marina. Carta de Geología Marina (esc. 1:4,000,000) del Atlas Nacional del Instituto de Geografía, Vol. II, Naturaleza.
- Arche, A., Coordinador, 1992, Sedimentología, Nuevas tendencias: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Vol. II, Ed. RAYCAR, Madrid, 528p.
- Bischoff, J. L.; Heath, G. R.; Leinen, M. L. 1979a: Geochemistry of deep-sea sediments from the Pacific Manganese Nodule Province: DOMES Sites A B, and C. In: Bischoff, J. L; Piper, D. Z. ed. Marine Geology and Oceanography of the Pacific Manganese Nodule Province. New York, Plenum Press. Pp. 397-136.
- Blyth, F.G.H., De Freitas, M.H., 1998, Geología Para Ingenieros: México, Compañía Editorial Continental, S.A., de C.V., 440p.
- Cabrera, R.M., Carranza-Edwards, Olivares C.M., 2012, Morphology and texture of polymetallic nodules and their association with sediments of the Central Mexican Pacific. En prensa en: Marine Georesources & Geotechnology.
- Cabrera, R.M., 2012, Génesis de nódulos polimetálicos en la Zona Económica Exclusiva del Pacífico Central Mexicano, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis Doctoral., 111p.
- Carranza-Edwards, A., Márquez-García, A.Z., Morales de la Garza, E.A., 1987, Distribución y características físicas externas de nódulos polimetálicos en el sector central del Pacífico Mexicano: Boletín de Mineralogía, 3(1), 78-94.
- Carranza-Edwards, A., Rosales-Hoz, L., 1988, Estudio de metales en arenas de playa de San Antonio del Mar, Baja California, México: Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, 15(1), 215-222.

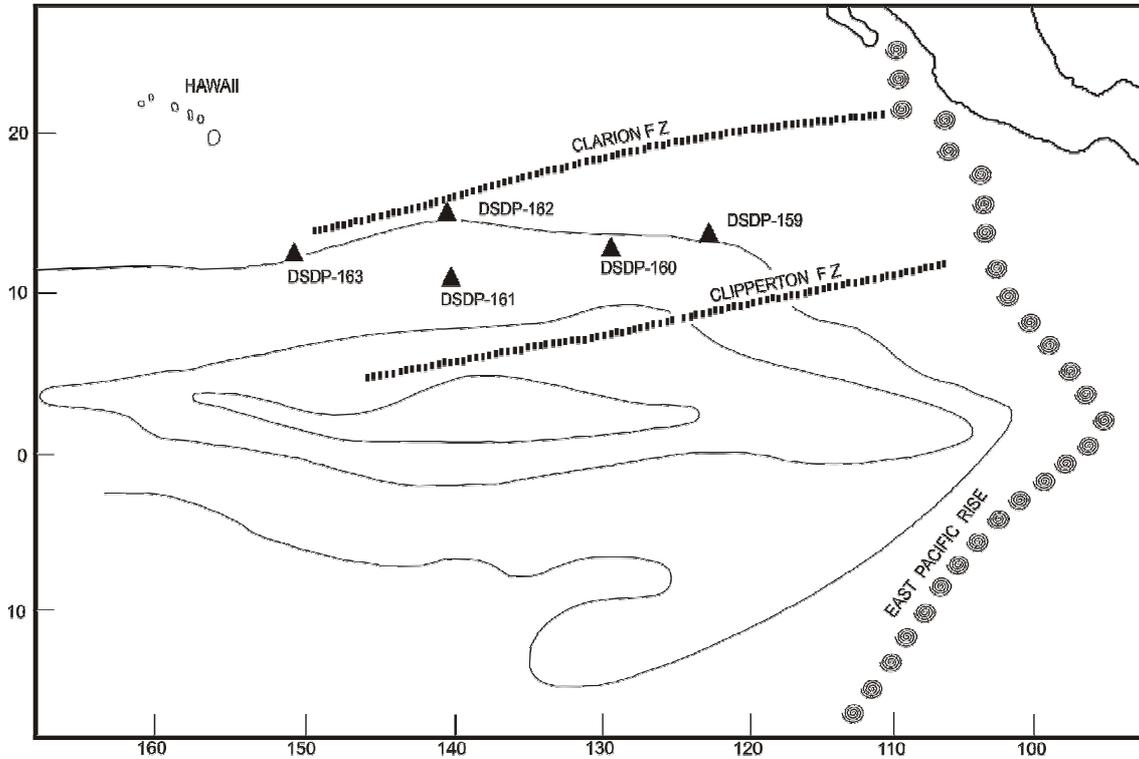
- Carranza-Edwards, A. y J.E. Aguayo-Camargo, 1992, Sedimentología Marina. Carta de Geología Marina (esc. 1:12,000,000) del Atlas Nacional del Instituto de Geografía, Vol. II, Naturaleza.
- Chamley, H., 2010, Clay Mineralogy; in: Marine Chemistry and Geochemistry, Compiled by Kart K. Turekian, Encyclopedia of ocean sciences, 2nd Edición, 631 pp.
- Chris, P., 2004, Rocas y Minerales; Manuales de identificación, Ediciones Omega, S.A., España, Primera reimpresión 2004, 256 pp.
- Cronan, D.S., 2010, Manganese Nodules; in: Marine Chemistry and Geochemistry, Compiled by Kart K. Turekian, Encyclopedia of ocean sciences, 2nd Edición, 631 pp.
- De la Lanza, E.G., 2001, Características Físico-Químicas de los Mares de México. Temas Selectos de Geografía, Plaza y Valdés Editores, 149 pp.
- Dymond, J., 1981, Geochemistry of Nazca Plate surface sediments: and evaluation of hydrothermal, biogenic, detrital and hydrogenous sources. Geol. Soc. of Amer.: Memoir 154: 133-173.
- Dubinín, A.V., Sval'nov, V.N., Uspenskaya, T., Yu., 2008, Geochemistry of the Authigenic Ferromanganese Ore Formation in Sediments of the Northeast Pacific Basin: Lithology and Mineral Resources, 42(2): 99-110.
- Emery, W.J., 2001, Water Types and Water Masses: Academic Press, 3179-3187.
- Folk, R. L., 2002, Petrology of sedimentary rocks: Hemphill Publishing Company, Austin, Texas, 182 p.
- Futterer, D.K., 2006, The Solid Phase of Marine Sediments; in: Marine Geochemistry. Schulz Horst and Zabel Matthias (Editors), 2nd revised, updated and extended edition, 582 pp.
- Garrels, R. and M.Mackenzie, F. T. 1971: Evolution of sedimentary rocks. New York, W.W. Norton & Co. 397 p.
- Geoffrey, P. and Glasby, 2006, Manganese: Predominant Role of Nodules and Crusts in: Marine Geochemistry. Schulz Horst and Zabel Matthias (Editors), 2nd revised, updated and extended edition, 582 pp.

- Glasby, G.P., Gwozdz R., Kunzendorf H., Friedrich G., Thijssen T., 1987, The distribution of rare earth and minor elements in manganese nodules and sediments from the equatorial and S.W. Pacific: Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, *Lithos*, 20, 97-113.
- Glasby, G.P., 1991, Mineralogy and geochemistry of Pacific red clays. *N.Z. Journal of Geology and Geophysics*, 34: 167-176.
- Glasby, G.P., 2006, Predominant Role of Nodules and Crusts; in *Marine Geochemistry*. Schulz Horst and Zabel Matthias (Editors), 2nd revised, updated and extended edition, 582 pp.
- Graybeal, A.L., Ross G.H., 1984, Remobilization of transition metals in surficial pelagic sediments from the eastern Pacific: *Geochimica Cosmochemica*, 48, 965-975.
- González de Vallejo, L.I., Ferrer, M., Ortuño, L., Oteo, C., 2004, *Ingeniería Geológica: España*, Pearson Prentice Hall, España, 715p.
- Gromet, L.P., Dymek F.R., Larry A., 1984, The "North American shale composite": Its compilation, major and trace element characteristics: *Geochimica Cosmochemica*, 48 2469-2482.
- Lee, H.J., 1980, Physical properties of Northeast Pacific sediments related to sedimentary environment and geologic history: *Marine Geology*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Printed in the Netherlands, 38, 141-163.
- Lozano, S.C.R., Altuzar-Coello, P., Carranza-Edwards, A., Rosales-Hoz, L., 1989, Distribución de minerales en la fracción arcillosa de sedimentos del Pacífico Central Mexicano, *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, Universidad Nacional Autónoma de México, 16(2):321-330.
- McMurtry, 2010, Manganese Nodules; in: *Marine Chemistry and Geochemistry*, Compiled by Kart K. Turekian, *Encyclopedia of ocean sciences*, 2nd Edición, 631 pp.
- Munsell Color Company, 1975, *Munsell Soil Color Charts*. Munsell Color Company Inc., Macbeth Division of Kollmorgen Corporation, Baltimore MD USA, 34 p.

- Rex, W.R., Goldberg D.E., 1958, Quartz Contents of Pelagic Sediments of the Pacific Ocean, The Scripps Institution of Oceanography, New Series No. 971.
- Rolf, K. and Behrmann J.H., 2003, Geochemical constraints on the sources of Southern Chile Trench sediments and their recycling in arc magmas of the Southern Andes: Journal of the Geological Society, v.150:1, 57-70p.
- Rosales-Hoz, L. Leticia. 1989, Investigación sobre origen, procesos y distribución de nódulos polimetálicos en una porción del Pacífico Central Mexicano. Tesis doctoral. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM.
- Saburo, A. and Kohyama N., 1990, The vertical change in clay mineral composition and chemical characteristics of smectite in sediment cores from the southern part of the Central Pacific Basin: Marine Geology, 98, 41-49.
- Toyoda, K. and Masuda, A., 1990, Sedimentary environments and chemical composition of Pacific pelagic sediments: Chemical Geology, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 88, 127-141.
- Turekian, K.K., 1974, Los Océanos, Colección Fundamentos de las Ciencias de la Tierra: Ediciones Omega S.A., 120p.
- Tjeerd, H., Heath, R., Bennett, H., Bukry, D., Charleston, S., Cronan, S., 1971, The Shipboard Scientific Party: LEG-16., DSDP.
- Von Stackelberg, U., and Beiesdorf H., 1991, The formation of manganese nodules between the Clarion and Clipperton fracture zones southeast of Hawaii. Marine Geology, 98. 411-423.
- Yeats, S., 1972, Petrology and Geochemistry of DSDP LEG 16 basalts, Eastern Ecuatorial Pacific: LEG 16., DSDP.

ANEXOS

Anexo 1. Mapa de localización de estaciones muestreadas para el DSDP-Leg 16.



Anexo 2. Tabla de valores de los núcleos DSDP (tomado de Tjeerd *et al.*, 1971 y Yeats, 1972) y el presente estudio.

Núcleo	DSDP-159	DSDP-160	DSDP-161	DSDP-162	DSDP-163	Este Estudio
SiO ₂	49.71	48.77	50.9	49	51.38	49.96
Al ₂ O ₃	13.29	12.15	13.87	15.73	15.78	13.77
Fe ₂ O ₃	14.53	17.17	11.79	9.73	9.41	7.89
CaO	10.17	9.47	11.17	12.16	11.28	1.52
MgO	+5.37	5.33	6.74	5.43	5.6	3.14
Na ₂ O	3.53	3.51	2.54	2.58	2.52	4.89
K ₂ O	0.36	0.33	0.24	0.4	0.2	2.91
TiO ₂	2.94	2.74	1.54	1.42	1.55	0.68

Anexo 3. Tabla de valores comparados para este estudio *versus* rocas de Isla Clarion y promedio de lutita NASC, Garrels y Mackenzie (1971).

	Rocas Clarión	Lutita	Este Estudio
SiO ₂	50.216	61.9	49.96
TiO ₂	2.281	0.74	0.68
Al ₂ O ₃	16.612	16.9	13.77
Fe ₂ O ₃	12.028	7.5	7.89
MnO	0.189	0.07	1.74
MgO	3.547	2.4	3.14
CaO	5.807	1.4	1.52
Na ₂ O	4.089	1.1	4.89
K ₂ O	2.312	3.7	2.91
P ₂ O ₅	0.931	0.18	0.421