



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS  
MARINOS SUPERFICIALES DE SINALOA A JALISCO EN EL  
PACÍFICO MEXICANO.**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
QUÍMICO**

**PRESENTA**

**ALEJANDRO RAMOS BALLESTEROS.**



**MÉXICO, D.F.**

**AÑO 2012**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

## **JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:** Profesor: Juan Mateo Lartigue Gordillo.

**VOCAL:** Profesor: Sofía Guillermina Burillo Amezcua.

**SECRETARIO:** Profesor: María Trinidad Martínez Castillo.

**1<sup>er</sup> SUPLENTE:** Profesor: Emilio Bucio Carrillo.

**2<sup>o</sup> SUPLENTE:** Profesor: Mariano Sánchez Castellanos.

## **SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

**LABORATORIO DE QUÍMICA INORGÁNICA Y NUCLEAR. FACULTAD DE QUÍMICA. C.U. UNAM.  
DISTRITO FEDERAL.**

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES. DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AMBIENTALES.  
OCOYOACAC. ESTADO DE MÉXICO.**

## **ASESOR DEL TEMA:**

---

M. EN C. MARÍA TRINIDAD MARTÍNEZ CASTILLO

## **SUPERVISOR TÉCNICO:**

---

M. EN C. SAMUEL TEJEDA VEGA

## **SUSTENTANTE:**

---

ALEJANDRO RAMOS BALLESTEROS

## **DEDICATORIAS**

A mi Padre, mi Madre, a Lolis y a Lalo. Lo poco o mucho que pueda yo ser, es gracias a ustedes. Nunca me han dejado ni lo harán. En especial a mi hermano.

## AGRADECIMIENTOS

A la M en C. Trinidad Martínez Castillo que me introdujo al mundo de las ciencias nucleares que después se convertiría en mi profesión. Rebasando sus obligaciones como profesora, en más de una ocasión me apoyó, y ayudo en la realización de mi tesis. Nunca terminaré de agradecer su comprensión y conocimientos que me brindó para formarme como investigador. Gran parte de mi titulación fue gracias a ella. Muchas, muchas gracias Maestra “Trini”.

A el M. en C. Juan Mateo Lartigue Gordillo. Por su disposición y paciencia para enseñarme una técnica en la que es experto. Una persona que a pesar de la gran capacidad y conocimientos, me enseñó sobre todo la humildad para nunca dejar de aprender.

Al M. en C. Samuel Tejeda Vega. Mi segundo mentor y guía en mi carrera profesional. Un excelente ser humano que me aceptó como su alumno sin tener la obligación de hacerlo y junto al cual se realizó la mitad del presente trabajo en el Instituto Nacional de Investigaciones nucleares. Me enseñó como debe ser un investigador no sólo en el aspecto profesional sino también en el humano. Espero algún día ser la mitad de investigador que es usted.

A la Dra. Graciela Zarazúa Ortega que con sus conocimientos, habilidades y disciplina que me hicieron trabajar con eficiencia y limpieza.

Al Q. Alejandro Ramírez. Persona entregada que siempre estuvo dispuesto a ayudarme sin condiciones ni pretextos. Un investigador sumamente capaz pero mejor aún como persona.

# ÍNDICE GENERAL

## Contenido

1. INTRODUCCION	1
1.1. Sedimentos	
1.1.1. Definición	
1.1.2. Formación	
1.1.3. Clasificación	3
1.1.4. Composición	4
1.2. Metales en sedimentos	
1.2.1. Fuentes de aporte	
1.2.2. Clasificación	5
1.2.3. Importancia y contaminación ambiental	
2. ANTECEDENTES	9
2.1. Nivel mundial	
2.2. Nivel nacional	10
3. JUSTIFICACION	12
4. HIPÓTESIS	14
5. OBJETIVOS	15
5.1. Objetivo general	
5.2. Objetivos particulares	
6. ÁREA DE ESTUDIO	16
6.1. Zona económica exclusiva de México	
6.2. Golfo de California	17
6.2.1. Clima	
6.2.2. Batimetría	18
6.2.3. Geología	19
6.2.4. Características ambientales	19
6.2.5. Actividad económica	
6.2.6. Hidrografía	20
6.3. Pacífico centro-sur	20
6.3.1. Clima	21

6.3.2.	Geología	
6.3.3.	Batimetría	22
6.3.4.	Características ambientales	
6.3.5.	Problemática ambiental	23
6.3.6.	Actividad económica.	24
6.3.7.	Hidrografía	
7.	MATERIALES Y MÉTODOS	26
7.1.	Muestreo	
7.2.	Análisis espectroscópicos	28
7.2.1	Espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva (ED-XRF)	
7.2.2	Difracción de rayos X (XRD)	30
7.2.3	Microscopía electrónica de barrido	32
7.3	Análisis electroquímico. Conductividad eléctrica y pH	33
7.4	Análisis químico	
7.4.1	Análisis elemental de C, H, N y S por calcinación	
7.4.2	Determinación de carbono inorgánico por descomposición ácida	34
7.4.3	Determinación del porcentaje de materia orgánica por oxidación húmeda	37
7.5	Granulometría	39
7.5.1	Tratado de muestra	39
7.5.2	Tamizado	40
7.6	Análisis de resultados	41
7.6.1	Corrección de carbonatos	41
7.6.2	Factor de enriquecimiento	41
7.6.3	Índice de geoacumulación (Igeo)	43
7.6.4	Análisis estadísticos multivariados	44
8	RESULTADOS	45
8.1	Granulometría	
8.2	Electroquímica	48
8.3	Carbono orgánico e inorgánico	51
8.4	Análisis elemental por calcinación	56
8.5	Elementos mayoritarios y traza	57
8.5.1	Fase fina	
8.5.2	Fase total	70
8.6	Difracción de rayos X	83

8.7	Microscopía electrónica de barrido	85
8.8	Corrección de carbonatos	90
8.9	Índices geoquímicos ambientales de acumulación	93
8.9.1	Factor de enriquecimiento (FE)	93
8.9.2	Índice de geoacumulación	97
8.10	Análisis de componentes principales	99
8.11	Análisis de conglomerados (clústeres)	112
8.11.1	Análisis de clústeres. Variables	113
8.11.2	Análisis de clústeres. Estaciones	115
9	CONCLUSIONES	118
10	LITERATURA CITADA	124

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 7-1. Coordenadas geográficas y batimetría de las estaciones a analizar en el pacífico mexicano.</i>	26
<i>Tabla 7-2. Clasificación de fases para estudio de distribución de metales.</i>	28
<i>Tabla 7-3. Clasificación utilizada para análisis de granulometría.</i>	40
<i>Tabla 7-4. Clasificación de los elementos de acuerdo a su factor de enriquecimiento.</i>	43
<i>Tabla 7-5. Interpretación de los Índices de Geoacumulación</i>	44
<i>Tabla 8-1. Granulometría. Resultados.</i>	45
<i>Tabla 8-2 Datos de pH y conductividad eléctrica para sedimentos</i>	49
<i>Tabla 8-3 Concentración de carbono de origen orgánico e inorgánico</i>	53
<i>Tabla 8-4 Análisis elemental por calcinación.</i>	56
<i>Tabla 8-5 Concentraciones de carbono elemental</i>	57
<i>Tabla 8-6 Datos de fluorescencia de rayos x para el estándar IAEA-soil7.</i>	58
<i>Tabla 8-7 Concentraciones de elementos mayoritarios y traza para fase fina por fluorescencia de rayos X de energía dispersiva</i>	60
<i>Tabla 8-8. Intervalo de concentración de metales mayoritarios y traza con carbonatos en la zona central del pacífico mexicano (fase fina).</i>	69
<i>Tabla 8-9. Resultados de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva para el estándar de suelo S15.</i>	71
<i>Tabla 8-10. Concentraciones de componentes mayoritarios y traza para sedimentos marinos del pacífico mexicano por FRX-ED. Fase total con carbonatos.</i>	72
<i>Tabla 8-11. Intervalo de concentración de metales mayoritarios y traza con carbonatos en la zona central del pacífico mexicano (fase total).</i>	82
<i>Tabla 8-12. Relación de minerales identificados en las distintas estaciones de muestreo para sedimentos marinos superficiales.</i>	83
<i>Tabla 8-13 Relación de minerales identificados indicando la frecuencia de su ocurrencia por muestra</i>	84
<i>Tabla 8-14. Concentraciones de elementos mayoritarios y traza para sedimentos marinos por FRX-ED para fase fina con corrección de carbonatos.</i>	91
<i>Tabla 8-15. Concentraciones de elementos mayoritarios y traza para sedimentos marinos por FRX-ED para fase total con corrección de carbonatos.</i>	92
<i>Tabla 8-16. FE. Abundancias de elementos medidos en la corteza terrestre.</i>	94
<i>Tabla 8-17. Factores de enriquecimiento para sedimentos del pacífico mexicano.</i>	94
<i>Tabla 8-18. Clasificación del origen de elementos pesados en sedimentos marinos de acuerdo a su FE</i>	97
<i>Tabla 8-19. Índices de geoacumulación para sedimento marino del pacífico central mexicano.</i>	98
<i>Tabla 8-20. Variables utilizadas para el análisis multivariado de componentes principales.</i>	101
<i>Tabla 8-21. Porcentaje de varianza y acumulado explicado por componente.</i>	102
<i>Tabla 8-22. Análisis de componentes principales. Ponderación de componentes.</i>	103
<i>Tabla 8-23. Valores para los componentes principales en las estaciones de muestreo para sedimentos del pacífico mexicano.</i>	110
<i>Tabla 8-24. Análisis de conglomerados. Por ciento de elementos por clúster.</i>	115
<i>Tabla 8-25. Análisis de conglomerados. Centroides para cada variable.</i>	116

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 6-1. Mapa de la zona económica exclusiva de México (INEGI, 2011)	16
Figura 6-2. Ecozona del golfo de California. (Semarnat, 2011)	17
Figura 6-3 Temperatura promedio superficial del golfo de California ( <a href="http://iridl.Ideo.columbia.edu/">http://iridl.Ideo.columbia.edu/</a> )	18
Figura 6-4. Batimetría del golfo de California. ( <a href="http://iridl.Ideo.columbia.edu/">http://iridl.Ideo.columbia.edu/</a> )	19
Figura 6-5. Ecozona del Pacífico Centro-Sur (INEGI, 2011).	21
Figura 7-1. Localización geográfica de las estaciones de muestreo de sedimentos superficiales del pacífico mexicano. (Google, 2012).	27
Figura 7-2. Difractómetro de rayos X para polvos Siemens D500. (USAI. UNAM 2011).	31
Figura 7-3. Microscopio electrónico de alto-bajo vacío y fluorescencia de rayos-X JSM 6610 LV (ININ 2011)	32
Figura 7-4. Sistema para determinación de carbono inorgánico con trampa para humedad.	36
Figura 7-5. Vial con HCl para eliminación de CO <sub>2</sub> .	36
Figura 7-6. Diagrama de flujo del procedimiento para la determinación de materia y carbono orgánico por oxidación húmeda.	39
Figura 8-1 Granulometría. Composición granulométrica para las distintas estaciones de muestreo.	46
Figura 8-2 Granulometría. Gráfica de pie para la composición general de sedimentos marinos en el pacífico mexicano.	47
Figura 8-3. Mapa de distribución de partículas para la zona del pacífico central mexicano.	48
Figura 8-4 Electroquímica. Valores de pH en estaciones de sedimentos marinos del pacífico.	50
Figura 8-5 Electroquímica. Valores de conductividad eléctrica en estaciones de sedimentos marinos del pacífico.	50
Figura 8-6. Mapa de distribución para carbono orgánico en la zona de estudio.	52
Figura 8-7 Gráfica de Carbono orgánico vs. Profundidad	52
Figura 8-8. Mapa de distribución para carbonatos en la zona de estudio.	55
Figura 8-9 Gráfica de C inorgánico vs. Profundidad.	55
Figura 8-10 Gráfica y mapa de distribución de K en fase fina	59
Figura 8-11 Gráfica y mapa de distribución de Ca en fase fina.	61
Figura 8-12 Gráfica y mapa de distribución de Ti en fase fina.	62
Figura 8-13 Gráfica y mapa de concentraciones de Mn en fase fina.	63
Figura 8-14 Gráfica y mapa de concentraciones de Fe en fase fina	64
Figura 8-15 Gráfica y mapa de concentraciones de Cu en fase fina.	65
Figura 8-16 Gráfica y mapa de concentraciones de Zn en fase fina.	65
Figura 8-17 Gráfica y mapa de concentraciones de Ni en fase fina.	66
Figura 8-18 Gráfica y mapa de concentraciones de Ga en fase fina	67
Figura 8-19 Gráfica y mapa de concentraciones de Pb en fase fina	68
Figura 8-20 Gráfica y mapa de concentraciones de K en fase total.	73
Figura 8-21 Gráfica y mapa de distribución de Ca en fase total.	74
Figura 8-22 Gráfica y mapa de concentraciones de Ti en fase total.	76
Figura 8-23 Gráfica y mapa de concentraciones de Mn en fase total.	76
Figura 8-24 Gráfica y mapa de concentraciones de Fe en fase total.	77
Figura 8-25 Gráfica y mapa de concentraciones de Cu en fase total.	78

Figura 8-26 Gráfica y mapa de distribución de Zn en fase total.	79
Figura 8-27 Gráfica y mapa de distribución de Pb en fase total.	80
Figura 8-28 Gráfica y mapa de concentración de Sr en fase total.	80
Figura 8-29 Gráfica y mapa de distribución de Br en fase total.	81
Figura 8-30. Micrografía y espectro de FRX-ED de un cristal de Hematita especular o especularita ( $Fe_2O_3$ ) encontrado en la estación 6.	85
Figura 8-31. Micrografía y espectro de FRX-ED de una ortoclasa Bariana encontrada en la estación 2.	87
Figura 8-32. Micrografía y espectro de FRX-ED de una calcita encontrada en la estación 1.	87
Figura 8-33. Micrografía y espectro de FRX-ED de un cristal de albita encontrada en la estación 4.	88
Figura 8-34. Micrografía y espectro de FRX-ED de una ortoclasa encontrado en la estación 10.	88
Figura 8-35. Micrografía y espectro de FRX-ED de un cuarzo encontrado en la estación 2.	89
Figura 8-36. Micrografía y espectro de FRX-ED de pirita encontrado en la estación 5.	89
Figura 8-37. Micrografía y espectro de FRX-ED de una halita encontrado en la estación 8.	90
Figura 8-38. Factores de enriquecimiento para K, Ca, Mn y Fe en las 10 estaciones de muestreo.	95
Figura 8-39. Factores de enriquecimiento para Cu, Zn, Pb y Sr en las 10 estaciones de muestreo.	95
Figura 8-40. Gráfica de factores de enriquecimiento para el Br en las 10 estaciones.	95
Figura 8-41 Gráfica de índices de geoacumulación promedio	99
Figura 8-42 Análisis de componentes principales. Gráfica de sedimentación.	102
Figura 8-43. Análisis de componentes principales. Representación de los factores de carga sobre los componentes 1 y 2.	104
Figura 8-44. Análisis de componentes principales. Representación de los factores de carga sobre los componentes 1 y 3.	106
Figura 8-45. Análisis de componentes principales. Representación de los factores de carga sobre los componentes 1 y 4.	108
Figura 8-46. Análisis de componentes principales. Representación de los factores de carga sobre los componentes 1 y 5.	109
Figura 8-47. Análisis de componentes principales. Representación de las estaciones sobre los componentes. A) Componente 1 vs. Componente 2. B) Componente 2 vs. Componente 3. C) Componente 4 vs. Componente 5.	111
Figura 8-48. Dendograma para las distintas variables utilizadas en el análisis de clústeres para el pacífico central mexicano.	114
Figura 8-49. Análisis de clústeres. Dendograma para la asociación de estaciones.	117

## GLOSARIO

**Agua intersticial.** Agua que llena los espacios libres entre las partículas de los sedimentos (agua porosa).

**Antropogénico.** Efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas a diferencia de los que tienen causas naturales sin influencia humana.

**Bioacumulación.** Proceso de acumulación de sustancias químicas en organismos vivos de forma que estos alcanzan concentraciones más elevadas que las concentraciones en el medio ambiente o en los alimentos.

**Botroidales.** Toda clase de formaciones de superficie convexa brillante, liso, oval o esférica, parecidas a riñones o racimos

**Detritos.** Residuos sólidos permanentes provenientes de la descomposición de materia orgánica ya sea animal o vegetal. Es una fuente importante de sustrato para la nutrición de diversas clases de microorganismos.

**Diagénesis.** Es el proceso de formación de una roca a partir de sedimentos sueltos que sufren un proceso de compactación y cementación.

**Ecozonas.** Región biogeográfica que se define como una parte de la superficie terrestre representativa de una unidad ecológica a gran escala, caracterizada por factores abióticos (no vivos) y bióticos (vivos) particulares.

**Erosión.** Es la degradación y el transporte de material o sustrato del suelo, por medio de un agente dinámico, como son el agua, el viento, el hielo o la temperatura.

**Estuario.** Parte ancha y profunda de la desembocadura de un río en el mar abierto o en el océano, generalmente en zonas donde las mareas tienen amplitud u oscilación.

**Granulometría.** Distribución por tamaños de las partículas de un material sedimentario. Para conocer la distribución de tamaños de las partículas que componen una muestra de material se separan estos mediante cedazos o tamices.

**Limnología.** Rama de la ecología que estudia los ecosistemas acuáticos continentales (lagos, lagunas, ríos, charcas, marismas y estuarios), las interacciones entre

los organismos acuáticos y su ambiente, que determinan su distribución y abundancia en dichos ecosistemas.

**Lixiviación.** También llamada extracción sólido-líquido, es un proceso en el que un disolvente líquido pasa a través de un sólido pulverizado para que se produzca la elusión de uno o más de los componentes solubles del sólido.

**Normalización.** También llamada estandarización es la redacción y aprobación de normas que se establecen para garantizar el acoplamiento de elementos construidos independientemente.

**Oligoelemento.** Son bioelementos presentes en pequeñas cantidades (menos de un 0.05 %) en los seres vivos y tanto su ausencia como una concentración por encima de su nivel característico, puede ser perjudicial para el organismo, llegando a ser hepatotóxicos.

**Surgencias.** Las surgencias son un fenómeno oceanográfico que consiste en el movimiento vertical de las masas de agua, de niveles profundos hacia la superficie. A este fenómeno también se le llama afloramiento y las aguas superficiales presentan generalmente un movimiento de divergencia horizontal característico.

**Unidades Prácticas de Salinidad (UPS).** Relación de conductividad de una muestra de agua de mar con una solución estándar de *KCl*. Como las relaciones no tienen unidades, pero no es el caso aquí ya que 35 ups exactamente equivale a 35 g de sal por L de solución.

## RESUMEN

La República mexicana se encuentra entre dos ecozonas que son la neoártica y neotropical, lo que provoca una región de transición en la zona pacífico noroeste del país con una amplia biodiversidad, que se refleja también en la compleja composición de aguas y sedimentos marítimos. Esta situación geográfica privilegiada otorga una fuerte oferta para la industria pesquera nacional. La mayoría de la actividad pesquera del país está concentrada en el litoral del pacífico mexicano con alrededor del 77 % de la captura nacional.

La zona occidental del país no solo ejerce una importante actividad pesquera, sino también en la industria minera. Se han realizado estudios en la zona norte del mar de Cortés y costas adyacentes a la península de Baja California Sur, dejando en segundo término a la región costera de Sinaloa, Nayarit y Jalisco.

Para un mejor conocimiento de la zona y determinación de posible aporte antropogénico a las aguas y sedimentos, se realizó el siguiente estudio que tuvo por objetivo la caracterización geoquímica de sedimentos provenientes de 10 estaciones con profundidades que van desde los 25 a los 1650 m a lo largo de la región de Sinaloa a Jalisco, de manera más específica del río Baluarte (Sinaloa) a bahía de banderas y puerto Vallarta (Nayarit-Jalisco). Los sedimentos recolectados fueron secados a temperatura ambiente. Separados en dos fases para un estudio de distribución de metales y caracterizados por un análisis de cuatro módulos. Técnicas espectroscópicas: análisis por fluorescencia de rayos X de energía dispersiva (ED-XRF), Difracción de rayos X (XRD), Microscopía electrónica de barrido (MEB). Técnicas electroquímicas: Potenciometría (pH y conductividad eléctrica). Técnicas de análisis Químico: Determinación de C orgánico e Inorgánico y análisis elemental. Y caracterización física de tamaño de partícula (granulometría).

Los resultados obtenidos arrojaron las siguientes características para la zona de estudio. Los pisos oceánicos se componen en su mayoría por arena fina y gruesa (61 %); en segundo lugar 15 % de limos y arcillas (<62.5 $\mu$ m); 12% de gravas y piedras y 12 % de arena muy fina. El pH esta en el rango de 7.1-8.4 y conductividad eléctrica de 16.9-70.5  $\mu$ S/cm<sup>2</sup>. La cantidad de carbono orgánico fue de

0.54 a 6.22 % con un promedio de 2.37%. El orden descendente para la concentración de C orgánico fue: Est.8 > Est.7 > Est.2 > Est.3 > Est.9 > Est.10 > Est.5 > Est.1 > Est.4 > Est.6. En cuanto a C inorgánico, el orden de las estaciones fue: Est.4 > Est.6 > Est.5 > Est.3 > Est.1 > Est.2 > Est.8 > Est.7 > Est.9 > Est.10. La relación con la profundidad es inversa al igual que con la concentración de carbono orgánico. La zona no es muy rica en carbono mineral ya que su rango de concentración va de 0.07 % - 1.52% encontrado en la estación 2 que se ubica más alejada de la costa mexicana y con una alta profundidad.

El orden de los elementos por concentración para la fase fina (<62.5  $\mu\text{m}$ ) para la zona central del pacífico mexicano fue: Ca > Fe > K > Ti > Mn > Zn > Pb > Cu > Ni > Ga. Para la fase total fue: Ca > Fe > K > Ti > Sr > Br > Mn > Zn > Pb > Cu. No existe cambio en el orden para los elementos comunes entre las dos mediciones. Se observó una mayor asociación de los metales traza con la fase fina por encima del 80%. Las principales estructuras cristalinas en sedimentos del pacífico por orden de abundancia fueron: Cuarzo > (Caolinita, Halita) > (Albita, Calcita) > (Montmorillonita, Pirita) > (Ortoclasa, Hematita, Albita Calciana, Biotita) > (Ortoclasa bariana, Gismondina, Sanidina).

El orden de los elementos por su valor de factor de enriquecimiento promedio fue: Br (224) > Pb (5.2) > Zn (1.9) > Ca (1.8) > Sr (1.3) > K (1.2) > Cu (1.1) > Fe (0.7) > Mn (0.3). Destacando el Br y Pb como los únicos elementos que se han enriquecido. El Bromo no es probable que provenga de origen antropogénico, ya que el mar es la principal fuente de Br en el planeta, pero el Pb si es probable que debido a deposición atmosférica se acumulara en zonas cercanas a las costas de Nayarit y Jalisco. De acuerdo a los análisis realizados podemos clasificar el pacífico central mexicano en tres zonas principales. La primera que abarca la ubicación de las estaciones 1, 3, 4, 5 y 6. Estas se encuentran al norte de la región y cercano a la plataforma continental, se caracteriza por una profundidad menor a lo 100 metros, con mayoría de arena fina y gruesa ( $105 \mu\text{m} < x < 1680 \mu\text{m}$ ), un pH más básico que el resto de la zona de estudio, con conductividades bajas, la menor cantidad de materia orgánica y mayor de carbonatos (por lo mismo una alta concentración de calcio y estroncio) y las mayores concentraciones de Pb.

La segunda zona esta formada por las estaciones 2, 7 y 8. Profundidad media sobrepasando los 800 m, con mayoría de arena fina y gruesa mezclado con arena muy fina ( $62.5 \mu\text{m} < x < 105 \mu\text{m}$ ), los valores de pH más ácidos de la zona, contrariamente la mayor conductividad eléctrica, el mayor porcentaje de materia orgánica, el mayor porcentaje de carbono total (es decir, una cantidad apreciable de carbono en su forma elemental) además de valores elevados de cobre y bromo. Y por último la zona costera de bahía de Banderas y Puerto Vallarta. Es la zona que recibe mayor cantidad de influencia antropogénica de toda la zona de estudio. Presentó resultados particulares para todos los análisis, de modo que no fue posible relacionarlo con el resto de la región.



---

## 1. INTRODUCCION

### 1.1. *Sedimentos*

#### 1.1.1. Definición

El sedimento (del latín *Sedimentum*, asentamiento) es un material sólido, acumulado sobre la superficie terrestre (litósfera) por acción directa de la gravedad, derivado de las acciones de fenómenos y procesos (intemperismo) que actúan en la atmósfera, en la hidrósfera y en la biósfera. Estos procesos pueden ser de naturaleza física o química por ejemplo: vientos, variaciones de temperatura, precipitaciones meteorológicas, circulación de aguas superficiales o subterráneas, desplazamiento de masas de agua en ambiente marino o lacustre, acciones de agentes químicos o acciones de organismos vivos (CC-BY-SA, 2009).

#### 1.1.2. Formación

La primera fase para la formación de los sedimentos es el fenómeno de la meteorización o intemperismo. Esto es la transformación de rocas preexistentes, debido a la acción de la gravedad, de los agentes atmosféricos y también de la actividad de algunos organismos vivos. Existen en general dos tipos de meteorización: físico-mecánica y químico-biológica.

La meteorización físico-mecánica consiste en procesos que provocan transformaciones físicas en las rocas. La disgregación mecánica de las rocas produce fragmentos de roca suelta y granos minerales. Es decir que obtenemos partículas pequeñas de la misma roca. Los principales agentes activos son los cambios de temperatura, la acción de los organismos y la influencia física del agua.

La otra forma de meteorización es provocada por descomposición química que libera residuos y material en disolución. También se puede decir que es la alteración de los minerales provocando otros distintos. El agua es el principal



# 1. INTRODUCCIÓN

---

agente en el intemperismo químico, es un excelente solvente y casi todos los minerales son solubles en esta. Los procesos más destacados en la meteorización química son: oxidación, hidratación, carbonatación, reducción e hidrólisis. La estabilidad de los minerales al intemperismo químico depende en gran medida de la fuerza de sus enlaces (Villafuerte, 2000).

Los minerales sueltos y las partículas de roca liberados son transportados por el agua, el viento y el hielo dando lugar al segundo paso en la formación de sedimentos que es la erosión. Los fragmentos de roca meteorizados se encuentran expuestos a los agentes geológicos que los transportan a cuencas, ríos, lagos o mares que es el caso que nos interesa revisar en el presente estudio. Las principales formas en que los fragmentos de roca pueden ser transportados son:

- ❖ *Transporte por agua.*- La principal fuente de aporte hacia los mares de material meteorizado en las placas continentales es a través de ríos. Se transportan con rapidez recorriendo grandes distancias dependiendo de las condiciones de acidez y reducción.
- ❖ *Transporte por viento.*- El llamado polvo atmosférico, si bien no es la principal fuente abastecedora de minerales a los mares, se ha observado que puede enriquecer algunos elementos en depósitos marinos de manera importante.
- ❖ *Transporte por hielo.*- Al congelarse el agua en ciertas latitudes, el agua encapsula metales que se transportan en forma de glaciares liberándose de nuevo al mar cuando se alcancen condiciones específicas.
- ❖ *Transporte por organismos.*- Probablemente no sea el más importante ni medible, pero existe el transporte de minerales por mamíferos, aves o peces en sus estómagos. También la madera flotante puede transportar metales en su interior.

Lo que le confiere su identidad a los sedimentos no es su composición, ya que provienen (de manera natural) de los minerales presentes en la corteza terrestre, sino el fenómeno característico de deposición que se lleva a cabo por una

---



# 1. INTRODUCCIÓN

---

gran cantidad de factores llamado *sedimentación*.

La sedimentación es el proceso en el cual la materia sólida suspendida en cuerpos de agua (ríos, canales, lagos o mares) se ve depositada en el fondo, formando un recubrimiento relativamente delgado. Las corrientes de agua tienen por algunas de sus características el flujo, velocidad, temperatura, etc. Si alguna de estas variables se ve modificada por factores ambientales, la capacidad de transportar materia suspendida disminuye, provocando la deposición de la misma en el fondo.

## 1.1.3. Clasificación

Una manera común de clasificar a los sedimentos es de acuerdo a su origen.

- ❖ *Litogénicos*. Son definidos como aquellos provenientes de la erosión de la Tierra, vulcanismo submarino o por el intemperismo submarino donde la fase sólida no sufre mayor cambio durante su residencia en el agua de mar. La mayoría de los componentes litogénicos son inorgánicos y están incorporados en los sedimentos tanto como fragmentos de roca, como partículas discretas de minerales simples.
- ❖ *Hidrogénicos*. Son aquellos que resultan de la formación de la materia sólida en el mar por reacciones inorgánicas. Se dividen en dos amplios grupos: material primario formado directamente del agua de mar y material secundario que resulta de la alteración submarina de otros minerales preexistentes.
- ❖ *Biogénicos*. Son aquellos producidos en la biosfera, incluyen material inorgánico de conchas y materia orgánica (metabolitos).
- ❖ *Cosmogénicos*. Los componentes cosmogénicos de los sedimentos de mar son aquellos derivados de fuentes extraterrestres. (Villafuerte, 2000)

## 1.1.4. Composición

La materia prima de la cual están hechos los materiales sedimentarios son

---



# 1. INTRODUCCIÓN

---

simple y sencillamente rocas. Las cuales podemos definir de una manera general como objetos heterogéneos formados por una aglomeración de minerales. Los sedimentos pueden estar integrados por fragmentos de rocas de diversos tamaños, minerales; restos de organismos y productos de reacciones químicas o ciclos biológicos. En otras palabras son una compleja mezcla de numerosas fases de sólidos, las cuales pueden incluir materia orgánica, arcillas, carbonatos, sílice, óxidos de metales y otros minerales (Soto-Jiménez & Páez-Osuna, 2001).

## 1.2. Metales en sedimentos

La presencia de metales en sedimentos marinos es necesaria para un correcto desarrollo de la biota marina, así como de su directa participación en procesos metabólicos y enzimáticos. Los orígenes de estos pueden ser de diversa índole, tales como: litogénicos (derivados de placas continentales), biogénicos (de organismos), hidrogénicos (derivados de agua) o cosmogénicos (del espacio exterior). La forma en que los metales son transportados a los cuerpos de agua y posteriormente a los pisos oceánicos es por medio de sistemas de corrientes, por el viento, movimiento de hielo (icebergs) o por deposición atmosférica.

### 1.2.1. Fuentes de aporte

Los elementos traza se pueden encontrar en los sistemas acuáticos del planeta por dos orígenes principales: por procesos naturales (meteorización, desprendimiento de minerales, actividad volcánica, arrastre por viento, incendios forestales) y por procesos derivados de la actividad humana (deposición atmosférica, desemboque de ríos y descarga directa de desechos de índole agrícola-industrial-social).

Las contribuciones antropogénicas de metales traza a los estuarios y sedimentos costeros y marinos son introducidas a través de las aguas de escurrimiento, incluyendo los ríos; razón por la cual, los metales pesados se presentan en diferentes formas en el ambiente acuático. Los principales reservorios abióticos de



# 1. INTRODUCCIÓN

---

metales son: la columna de agua, los sedimentos suspendidos y depositados, y el agua intersticial. (Ramírez-Elías, et al., 2005)

## 1.2.2. Clasificación

Una clasificación muy utilizada para presencia de metales en sedimentos es por mayoritarios y traza. Para elementos con mayor abundancia se expresa el nivel de su concentración en porcentaje (%) o 10 mg/g, ejemplos de estos componentes mayoritarios son el Na, K, Ca, Fe, Mn, Ti y Al, mientras que por otro lado los elementos traza son aquellos con concentraciones menores a 0.1 % ó 1 mg/g y son expresados comúnmente en partes por millón (ppm) por ejemplo Cu, Zn, Pb, Ni, Co (Rodríguez-Meza, 2004).

## 1.2.3. Importancia y contaminación ambiental

Si bien algunos metales se encuentran en sedimentos de forma natural, se ha estudiado que su presencia en niveles elevados representa un riesgo importante para el desarrollo y mantenimiento de los ecosistemas marinos.

La presencia de metales como Mn, Fe, Cu y Zn son micronutrientes esenciales para la vida marina. Existen algunos metales que provienen de placas continentales y son arrastrados por procesos de erosión hasta depósitos acuíferos de manera natural como es el caso de K, Al, Ca, Fe, Mn, V, Cr, Pb, Ti, Cu, Zn y Ni. Pero otros metales como son el Hg, Cd, Pb y As no son requeridos ni siquiera en pequeñas cantidades por los organismos. Aun proviniendo de manera natural, metales en concentraciones relativamente altas, son tóxicos para organismos acuáticos y para el hombre. Los metales de origen natural se asocian fuertemente con la estructura de aluminosilicatos cosa que no sucede con metales de origen antropogénico, los cuales al estar unidos de manera lábil pueden estar disponibles por alteraciones débiles en el medio para la acumulación en la biota o en los cuerpos de agua.

Los metales pesados pueden adsorberse en aluminosilicatos, óxidos de hie-



# 1. INTRODUCCIÓN

---

ro y manganeso, carbonatos de calcio y materia orgánica. En suelos y sedimentos, su capacidad de adsorción y liberación dependen, fundamentalmente del pH y de las condiciones redox (Fuentes, et al., 2010). Además, su distribución en las diferentes fracciones geoquímicas está condicionada por las propiedades de cada metal, la competencia por los sitios de adsorción del sedimento, la capacidad de formación de complejos y la magnitud de la contaminación de los sedimentos (Campbell, 1995).

Cuando estos elementos ingresan en el medio acuático, pueden permanecer en el agua, ingresar en el sedimento o fijarse biológicamente a los organismos. Los organismos marinos son capaces de concentrar metales, algunos de los cuales compiten con aquellos esenciales para el crecimiento y pueden acumularse a lo largo de la cadena alimentaria (Esteves, et al., 1996), representando un especial riesgo para microorganismos bentónicos. (Pavé & Marchese, 2005)

El estudio y análisis de sedimentos se ha convertido en una herramienta muy útil para determinar la influencia antropogénica en los procesos naturales de sistemas acuáticos. El efecto de las comunidades cercanas a zonas costeras es una variable importante en el desequilibrio de la biota marina, pudiendo causar daños graves en la misma o en la raza humana. Los metales traza son uno de los contaminantes principales de los océanos, debido a que son fijados en los sedimentos en procesos de quelación, covalencia o captura por las arcillas presentes en lodos marinos (carbonatos, silicatos y una amplia variedad de materia orgánica). Con el tiempo la actividad biológica favorece la descomposición de los compuestos orgánicos a  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  como producto final. Sin embargo, las especies inorgánicas, especialmente los metales, son continuamente acumulados en el medio marino, excepto una porción menor que pueden ser ingeridos por los organismos marinos (Fuentes, et al., 2010). En el ambiente marino ya sea en el agua o en el sedimento, los metales traza son introducidos a las tramas tróficas ocasionando diversos daños en los diferentes niveles de organización biológica e incluso a través de la cadena trófica pudiesen llegar al hombre, como fue el caso del en-



# 1. INTRODUCCIÓN

---

venenamiento por mercurio ocurrido en Japón (Harada, 1995).

Muchas actividades afectan los ambientes costeros, especialmente aquellos que están cerca de áreas urbanas y de regiones agrícolas. Los metales han entrado al ciclo geoquímico desde eras geohistóricas por fuentes naturales como vulcanismo y clima terminando fijados a los sedimentos. Hoy día, las emisiones antropogénicas pueden ser de mayor intensidad que las naturales, al constituirse los sedimentos en una adecuada trampa para los materiales que se lanzan al ambiente. De esta manera se convierten en un indicador importante para monitoreo de contaminación ambiental (Ryan & Windom, 1988)

La zona que se analizó para el presente trabajo ubicada en la república mexicana, ha tenido un repunte en la última década en los rubros pesquero, turístico y petrolero. Por lo que se vuelve un proceso necesario el estricto monitoreo de la zona en busca de contaminantes ambientales.

Para medir el nivel de contaminación que pueda existir en cierta zona geográfica, se analiza alguna de las fases que interactúan en los ciclos biogeoquímicos:

- ❖ *Agua de mar.* Las muestras recolectadas son de difícil manejo debido a la gran cantidad de microorganismos presentes, además de que la calidad del agua se ve influenciada por la época del año y condiciones climatológicas presentes al momento del muestreo. En época de lluvia, la formación de corrientes produce una movilidad de materia suspendida y en algunas estaciones del año los microorganismos modifican sus procesos metabólicos precipitando diversos compuestos al ambiente (Holmes, 1996), lo que la vuelve una muestra poco representativa.
- ❖ *Biosensores.* En estudios recientes se está poniendo especial atención a ciertos organismos para el monitoreo de contaminantes en diversos ambientes y microambientes (Pavé & Marchese, 2005). Organismos como moluscos, algas o musgos, poseen la capacidad de bioacumular metales medibles por métodos directos o indirectos (a través de variaciones en sus



# 1. INTRODUCCIÓN

---

procesos metabólicos) (Olajire, et al., 2003).

- ❖ *Sedimentos*. Al ser reservorio de diversas sustancias requeridas en el ecosistema, el estudio de sedimentos para monitoreo es la opción mas utilizada debido a su intrínseca relación con las distintas fases que intervienen en procesos biogeoquímicos de manutención del ecosistema.

Los metales se encuentran en sedimentos depositados por los distintos procesos mencionados con anterioridad, pero al entrar en contacto con las partículas sedimentarias, se producen asociaciones facilitadas por la gran cantidad de sitios de unión y ligandos, favoreciendo su retención y por lo tanto su posterior análisis.

Ya que los lodos marinos son una mezcla compleja de compuestos, se utilizan técnicas de excitación atómica aprovechando las propiedades de los metales pesados para formación de especies metaestables.

Una caracterización geoquímica de la zona central del pacífico mexicano es lo que se realizó a manera de monitoreo de contaminantes ambientales, así como las posibles asociaciones entre ellos. Para lograr un análisis completo se analizaron otras variables como son el pH, cantidad de materia orgánica y de carbono inorgánico (carbonatos), conductividad eléctrica y un estudio granulométrico. A partir de estas variables se buscaron asociaciones características existentes en la zona de estudio que nos permita conocer de una manera más amplia la costa oeste de la república mexicana.



---

## 2. ANTECEDENTES

El análisis de sedimentos como un medio de monitoreo en ambientes marinos ha tomado popularidad gracias a sus prestaciones y bondades. Por un lado proporciona información fidedigna para un completo y serio análisis ambiental. Y por otro el fácil manejo de variables, aunado a reducción de costos en análisis y aparatos, lo colocan como la mejor alternativa para estudios de impacto ambiental. Con el pasar del tiempo, los análisis fueron evolucionando, volviéndose más específicos y precisos. Siendo uno de los principales contaminantes de los ambientes marinos los metales traza, se mostrarán estudios relevantes realizados a nivel mundial y a nivel nacional.

### 2.1. *Nivel mundial*

El análisis de sedimentos ha ido modificándose a lo largo del tiempo, implementando mejoras y nuevos parámetros para la detección apropiada de elementos. Así como una amplia variedad de técnicas diferentes acomodadas a lo que se desee analizar o determinar.

Goldschmidt y Peter en 1932, fueron de los primeros que determinaron la presencia de boro en sedimentos marinos y su relación con la salinidad del agua de mar.

Goldschmidt realizó una especie de almanaque recopilando información en el año de 1954, en su artículo "Geochemistry" analizando los principales minerales, así como sus propiedades físico-químicas y diversas asociaciones que se presentaban entre estos. Hasta ese momento no existía una unificación de conocimientos y Goldschmidt recopiló los resultados. Es por eso que es considerado como el padre de la geología.

Goldberg y Arrhenius en el año de 1958. Analizaron sedimentos del pacífico norte encontrando asociaciones entre elementos y minerales como es el caso de;



## 2. ANTECEDENTES

---

Ca y Sr con la filipsita y apatita biogénica; y elementos como Y, Sc, Ti, y elementos de tierras raras con óxidos de ferromanganeso y apatita biogénica.

Yen y Tang en 1977, en su artículo geoquímica de sedimentos, los estudiaron desde el punto de vista químico. Encontraron que compuestos orgánicos poseen sitios reactivos en los cuales se logran fijar los elementos aumentando de esta manera la contaminación de metales traza.

Holmes (1996), se dedicó a realizar un monitoreo de Cd, Zn y Hg por un lapso de 10 años en sedimentos de Texas. Observando que las concentraciones de metales varían en función de la estación del año y las condiciones climáticas al momento del muestreo. Esto debido a que al existir lluvias, se generan corrientes marinas que causan movilidad de la materia suspendida, y en algunas épocas del año los microorganismos realizan diversos procesos metabólicos liberando compuestos al ambiente que después son fijados por los sedimentos.

Löring y Rantala (1977), publican su manual para el manejo de muestras sedimentarias marinas. Estandarizando de esta manera los procesos a llevar a cabo en el análisis de sedimentos. Dentro del mismo manual proponen la normalización de los resultados obtenidos para compensar la variabilidad de los elementos por medio de una comparación con un elemento conservativo (Al, Sc, Fe, Ce y Li), logrando de esta manera obtener una estimación de la aportación antropogénica de los elementos.

### **2.2. Nivel nacional**

Ortega (1991) y Gutiérrez-Galindo (1994), estudiaron concentraciones de metales traza en la frontera EE.UU.-México en la cuenca de California. Encontraron concentraciones elevadas de Al, Mn, Cr, Zn, Cu, Cd y Ag. En especial analizaron el caso de la plata con un factor de enriquecimiento elevado que fue asociado a la existencia de una planta de tratamiento de aguas residuales que descargaba sus desechos directamente a la cuenca.

Villanueva y Botello en 1992. Realizaron una recopilación de datos sobre



## 2. ANTECEDENTES

---

concentraciones de metales no esenciales (Hg, Pb, Cd y Cr) en agua, sedimentos y organismos en la zona del golfo de México desde 1972 hasta 1992. Arrojando que las mayores concentraciones de Hg y Pb se encuentran en orden descendiente en Veracruz, Tabasco y Campeche. Mientras que en zonas del Caribe mexicano como es caso de Quintana Roo la concentración es casi nula como es lógico pensar, ya que es una zona turística y no tanto industrial.

Villanueva y Botello 1998. Estudiaron sedimentos de la zona de Salina Cruz, Oaxaca. Para determinar compuestos aromáticos policíclicos encontrando altos niveles de geoacumulación por encima de los límites permitidos. Cd, Cu, Pb y Zn tienen índices de geoacumulación por encima del mínimo.

González-Fierro et al 1994. Investigaron en la laguna de Sontecomapán, Veracruz la presencia de metales como Cu, Co, Cr, Ni, Zn, Cd y Pb. Sobresalieron las concentraciones de Ni, Ce, Zn y Cu en organismos bentónicos.

Rodríguez-Meza 2004 y Shumilin et al. 2000. Han estudiado ampliamente la zona de la península de baja California así como su zona lacustre para determinar tanto metales traza como elementos de tierras raras por medio de análisis de activación neutrónica y absorción atómica. La zona es minera por lo que elementos como Cu, Pb, Fe, P, Mn, Mg, Co, Cr y lantánidos están presentes en sedimentos. Así como otros elementos de importancia ambiental como Se, Sb y As que son asociados al aporte continental.

Santiago-Pérez 1990, se enfocó en la parte norte de la península de baja California. Por medio de análisis químicos y granulométricos llegó a la conclusión de que elementos como Ti, Mn y Fe se encuentran en mayor cantidad en la desembocadura del Río San Antonio. Mientras que Sr, Ba y Zn provienen del aporte continental, es decir de las rocas ígneas que componen la mayor cantidad de la corteza terrestre.

Ortiz-Hernández, et al., 1997. Encontraron más de 20,000 bagres (*Ariopsis assimilis*) muertos, debido a una contaminación de fuentes no localizadas por plaguicidas organoclorados.



---

### 3. JUSTIFICACION

La humanidad ha puesto nuevamente su atención en la provincia marina, debido al potencial que el mar ofrece como abastecedor de alimentos por un lado, y de minerales y energía, por otro. De los 510000000 km<sup>2</sup> de la superficie total de nuestro planeta, 362000000 corresponden al área marina, o sea, alrededor del 71%.

En el agua de mar hay alrededor de 60 elementos explotables, de los cuales en la actualidad sólo se obtienen: sodio (Na), cloro (Cl), magnesio (Mg), bromo (Br) y potasio (K). En la plataforma continental se extraen principalmente hidrocarburos, arena, grava, carbón y fosforitas (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). También se pueden encontrar óxidos de hierro, manganeso, titanio, entre otros.

El mar es una fuente basta de minerales de aplicación humana. La mayoría de estos se extraen de la superficie continental dado su bajo costo y fácil acceso. Pero llegará el momento en que debemos de explotar nuestros yacimientos minerales marinos. La zona económica exclusiva de México es aproximadamente 1.5 veces mayor que la superficie continental de nuestro territorio nacional. Esto nos da un reservorio de minerales extenso que necesita ser ampliamente caracterizado. Estudios realizados en esta zona encontraron sedimentos con altas concentraciones de fósforo y núcleos polimetálicos provenientes de ventilas hidrotermales (Carranza-Edwards & Morales de la Garza, 1995).

El estudio y análisis de sedimentos se ha convertido en una herramienta muy útil para determinar la influencia antropogénica en los procesos naturales de sistemas acuáticos en diferentes ambientes. El efecto de las comunidades cercanas a zonas costeras, es una variable importante en el desequilibrio de la biota marina, pudiendo causar daños graves en la misma o en la raza humana.

En la actualidad es escasa la información sobre la composición y características de los sedimentos en la zona, lo que vuelve necesario la elaboración de un



### 3. JUSTIFICACIÓN

---

mapa con las principales características geoquímicas de las zonas costeras de la república mexicana.

La región costera del pacífico medio mexicano es de vital importancia en el desarrollo económico del país. Al convertirse en la zona pesquera más importante de la nación, además de un punto turístico mundial. La elevada actividad desarrollada en la zona puede provocar desequilibrios ambientales como puede ser acumulación de metales traza.

Por tales razones se propone el siguiente estudio, ya que se tienen datos obtenidos en zonas adyacentes como es el golfo de California y la costa de Colima y Guerrero, pero aun sin determinar se encuentra la zona de Sinaloa a Jalisco. El último estudio de caracterización geoquímica data del año 2000. Por lo que será interesante una comparación de concentraciones de metales 10 años después. De esta manera podemos determinar el grado de impacto que ha sufrido la zona debido al aumento en la actividad humana, posibles fuentes de contaminación y distribución de los metales traza analizados.

Análisis realizados en todo el mundo han podido prevenir riesgos importantes a la biota nativa y al ser humano. Pudiendo prevenir o poner en marcha procesos de biorremediación para el rescate de zonas contaminadas.



---

## 4. HIPÓTESIS

La zona del pacífico oriental de la república mexicana consta de una capa de aguas superficiales delgada, relativamente fría y rica en nutrientes. Es origen de un sistema de corrientes que termina en la zona tropical del pacífico oriental.

La región del océano pacífico que abarca de Sinaloa-Nayarit-Jalisco, iniciando desde el Río Baluarte a bahía de banderas se caracteriza por una importante actividad turística, pesquera y acuícola. La plataforma continental en su mayoría esta formada por rocas marinas sedimentarias del cenozoico cuaternario, ígneas volcánicas continentales del periodo terciario, ígneas intrusivas graníticas del mesozoico e ígneas volcano sedimentarias marinas del paleozoico pérmico y rocas sedimentarias del paleozoico superior.

Estas características hidrodinámicas y geológicas contribuyen a un aporte natural de metales como Fe, Zn, Cu, Ti, K, Ca y Mn en los sedimentos marinos. La zona costera de Sinaloa a Jalisco por su temperatura y características hidrodinámicas, debe tener un tamaño de partícula medio, en el rango de las arenas finas, y dadas las escasas precipitaciones que ocurren al año, las concentraciones de metales presentes en sedimentos marinos no están diluidas.

Por la escasa actividad industrial en la zona, los sedimentos marinos provenientes de la zona pacifico centro sur de la república mexicana se encuentran dentro de los límites mínimos (menores a 1) de enriquecimiento antropogénico con características geoquímicas determinadas por las condiciones geológicas, climatológicas, geográficas, hidrodinámica y estacionales.

Asociaciones características entre elementos mayoritarios y traza ocurrirán en la zona de estudio debido a las propiedades físico-químicas de las variables estudiadas.



---

## 5. OBJETIVOS

### 5.1. *Objetivo general*

Elaborar la caracterización geoquímica de materia sedimentaria superficial proveniente de la zona de Sinaloa a Jalisco (río Baluarte a bahía de banderas) del pacífico central mexicano.

### 5.2. *Objetivos particulares*

- ❖ Determinar la concentración de elementos traza por fluorescencia de rayos X de energía dispersiva en pastilla y en polvos para sedimentos superficiales procedentes de la zona comprendida entre el río Baluarte y bahía de banderas en el pacífico mexicano.
- ❖ Determinar la cantidad de materia orgánica presente en sedimentos marinos así como elementos C, H, N y S por técnicas químicas y por calcinación.
- ❖ Comparación entre métodos de preparación de muestra y de medición diferentes para determinación de elementos mayoritarios y traza para la técnica de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva.
- ❖ Conocer los principales minerales presentes en la zona de estudio por difracción de rayos x confirmando su presencia por medio de microscopía electrónica de barrido, así como principales fase granulométricas características de la zona.
- ❖ Calcular los principales índices geoquímicos de contaminación ambiental, en búsqueda de zonas con posible riesgo de acumulación anormal de metales.
- ❖ Realizar análisis estadísticos en búsqueda de asociaciones entre las distintas variables determinadas, tanto físicas como químicas.



## 6. ÁREA DE ESTUDIO

Para comprender de manera correcta la importancia de la caracterización de sedimentos en el área de estudio, se precisarán primero algunos conceptos para delimitar correctamente las características y alcances del análisis realizado. La república mexicana tiene derechos de explotación y cuidados en plataforma continental y área marina. A la zona de mar se le conoce como “zona económica exclusiva”.

### 6.1. Zona económica exclusiva de México

La zona económica exclusiva (ZEE) de México es la que comprende 200 millas náuticas (370.4 km) hacia el océano, a partir de la línea de costa que define el nivel medio del mar de la zona litoral.

Las muestras fueron tomadas en un área correspondiente a la unión del golfo de California y la zona pacífico sur dentro de la ZEE de México. De manera más específica la porción sur del golfo de California y el pacífico central mexicano. Desde el río Baluarte en el estado de Sinaloa a Bahía de banderas en los límites entre Nayarit y Jalisco. Una de las bahías más grandes del mundo con una extensión de 4289 km<sup>2</sup>, 32 km de ancho norte-sur y 42 km de longitud este-oeste.



Figura 6-1. Mapa de la zona económica exclusiva de México (INEGI, 2011)



## 6. ÁREA DE ESTUDIO

### 6.2. Golfo de California

El Golfo de California está ubicado en el noroeste de México y está delimitado por la península de Baja California y la costa continental de los estados de Sonora y Sinaloa. El Golfo de California está definido al norte por la boca del Río Colorado y al sur por una línea recta imaginaria que va desde Cabo San Lucas, Baja California Sur a la desembocadura del Río Ameca, Nayarit. Y como el límite terrestre, la cota superior de la Zona Federal Marítimo-Terrestre. Esta área tiene más de 1,500 Km. de longitud y anchuras variables que van de los 92 a los 222 Km. La superficie marina cubre aproximadamente 247,00 km<sup>2</sup>



Figura 6-2. Ecozona del golfo de California. (Semarnat, 2011)

#### 6.2.1. Clima

Los distintos climas encontrados a lo largo del golfo se deben a la variabilidad en los índices de precipitación a lo largo del año. Los climas que presenta son: cálido subhúmedo con lluvias en verano; semi-seco muy cálido y cálido; seco muy cálido y cálido; semi-cálido subhúmedo con lluvias en verano; muy seco muy cálido y cálido; templado subhúmedo con lluvias en verano y seco semi-cálido; citados en orden según la extensión que abarcan.

La temperatura media anual va de 22° a 26°C, aunque en la zona sur llega



## 6. ÁREA DE ESTUDIO

a 28°C, la temperatura media del mes más frío es mayor de 18°C y la precipitación total anual varía entre 700 y 1000 mm.

Durante invierno, se forma una estratificación térmica en el golfo de California, en donde la zona fría se localiza en el norte y gradualmente aumenta hasta llegar a la Boca. En verano la sucesión térmica se pierde y la temperatura se unifica. En la figura 6-3 se observan las distintas temperaturas superficiales presentes en el golfo. Yendo de temperaturas mas frías en coloración azul a más cálidas hacia el sur del golfo.

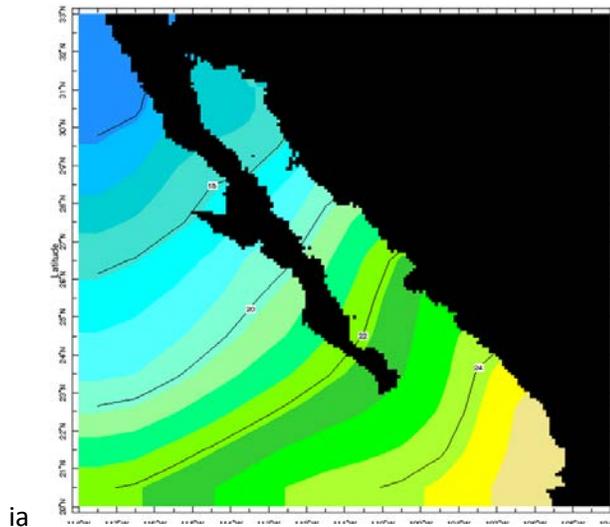


Figura 6-3 Temperatura promedio superficial del golfo de California (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/>)

### 6.2.2. Batimetría

El golfo de California alcanza profundidades que superan los 3,000 m en su zona de talud continental. La profundidad media es de 813 m. En la zona más cercana a la costa tiene zonas con profundidad baja que permite la proliferación de biota y zonas fotosintéticas. En la figura 6-4 se muestra las distintas profundidades del golfo de California. Zonas con una coloración más oscura indican mayor profundidad.



## 6. ÁREA DE ESTUDIO

---

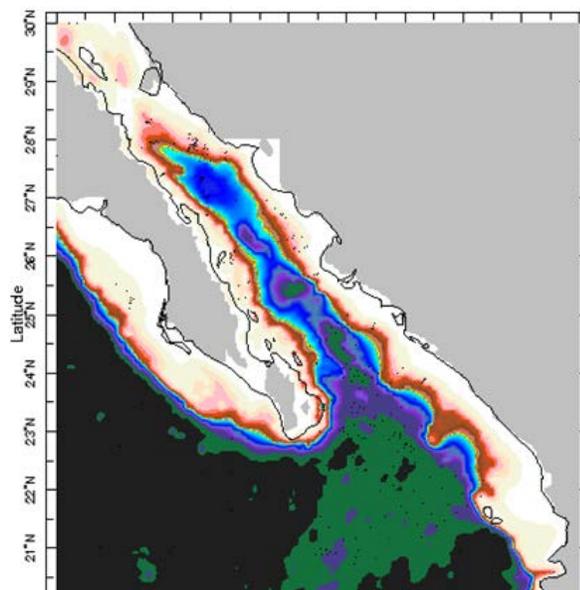


Figura 6-4. Batimetría del golfo de California. (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/>)

### 6.2.3. Geología

El golfo de California se ubica en la unión de las placas del pacífico y la placa de Norteamérica. Esta unión produce una falla que se extiende desde San Francisco, California, Estados Unidos, hasta la boca del golfo de California. Es conocida como la falla San Andrés-Golfo de California.

### 6.2.4. Características ambientales

El golfo de California es de vital importancia para el crecimiento económico del país. Es un cuerpo de agua con una gran cantidad de nutrientes presentes en las zonas superficiales debido a procesos de surgencia que propicia la existencia de una amplia biodiversidad catalogada de entre la mejores del planeta. (Semarnat.gob.mx, 2004)

### 6.2.5. Actividad económica

Las principales actividades son la pesca, turismo y acuicultura. Es la región del país con mayor producción pesquera; la extracción de camarón, atún, sardina



## 6. ÁREA DE ESTUDIO

---

y calamar, representa cerca del 50% del peso total de la producción nacional. En cuanto a turismo se refiere, aproximadamente 5 millones de turistas visitan la zona cada año.

### 6.2.6. Hidrografía

El rango de salinidad se ubica entre 35ups y 37 ups (Gilmartin & Relevante, 1978). Esta zona es semi restringida, es decir, la circulación del agua dentro del golfo no es muy efectiva; los cambios ocurren en el extremo sur del mismo, que recibe la influencia de la corriente de California y del pacífico sur. Por esta peculiaridad geográfica, manifiestan mareas mixtas semi diurnas con una amplitud de 0.36m.

Las lluvias torrenciales de verano introducen grandes cantidades de agua fresca atmosférica y continental, lo que incrementa el volumen de mezcla cambiando el balance de los iones de los elementos mayoritarios y nutrientes entre Bahía Concepción y el Golfo de California (Rodríguez-Meza, 2004).

### 6.3. *Pacífico centro-sur*

La región del pacífico tropical mexicano forma parte del “Gran Ecosistema Marino del Pacífico Nordeste”. Los grandes Ecosistemas Marinos son regiones del espacio oceánico, que comprenden las zonas costeras desde las cuencas de los ríos y estuarios hasta los bordes marinos de las plataformas continentales y los márgenes externos de los sistemas de corrientes más importantes. Son regiones grandes caracterizadas por una batimetría, hidrografía, productividad y biodiversidad en particular. La región costera del pacífico centro-sur está conformada por la vertiente de los estados de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas. Se caracteriza por presentar una angosta plataforma continental producto de la zona de subducción entre la placa de Cocos y el continente mesoamericano, los procesos marinos son regidos por las masas de agua oceánicas del pacífico tropical y la diversidad biológica pertenece a la provincia panameña (SEMARNAT,



## 6. ÁREA DE ESTUDIO

2011).



Figura 6-5. Ecozona del Pacífico Centro-Sur (INEGI, 2011).

### 6.3.1. Clima

El tipo de clima que le corresponde a esta zona es caliente húmedo con lluvias en verano (Am) que se extienden en su vertiente pacífica (occidental) aproximadamente al paralelo 14° en la frontera con Guatemala, hasta el paralelo 25° en el Mar de Cortés. La temperatura oscila de los 22 a los 30 °C con una media anual de 24°C.

En cuanto al ritmo de las temperaturas, en el curso del año se aprecia como enero el mes más frío a excepción de los litorales de Colima, en las que febrero iguala a enero, o es ligeramente inferior. En las costas pacíficas, entre julio y agosto, se observa un aumento en la temperatura respecto al resto del año, en puntos del pacífico se retrasa a septiembre.

### 6.3.2. Geología

La provincia del pacífico se caracteriza por ser tectónicamente activa, lo que se evidencia por su gran actividad sísmica, volcánica y por las intrusiones de rocas ígneas que han estado presentes a través de toda la historia evolutiva de la por-



## 6. ÁREA DE ESTUDIO

---

ción occidental del territorio nacional. Los movimientos tectónicos causan el rompimiento de la corteza terrestre y las soluciones mineralizantes rellenan las fracturas o remplazan las rocas preexistentes con compuestos de óxidos y sulfuros de cobre, hierro, plata, zinc, cobalto, manganeso, titanio, torio, cromo, zirconio y varios más; otros son minerales nativos, como la plata y el oro, abundantes en nuestro país.

Algunos de los procesos geológicos que se han detectado en la cuenca oceánica del pacífico, el volcánico y el hidrotermal, son factores importantes como fuente de minerales polimetálicos, aparte de que favorecen la proliferación de la vida. Algunos de estos minerales precipitan en forma de concreciones botroidales cuya superficie es lisa, rugosa o combinada. La composición de las concreciones minerales es variada; sin embargo, en ellas predominan los siguientes metales: manganeso, hierro, cobre níquel, cobalto, molibdeno, vanadio, plomo y zinc. A estas estructuras polimetálicas se les conoce como *nódulos de manganeso* y son abundantes en el fondo oceánico profundo (Aguayo & Trápaga, 2001).

### 6.3.3. Batimetría

Debido a que es el océano de mayor extensión en el planeta, no presenta uniformidad en su profundidad. Existen zonas en que apenas es de algunas decenas de metros, hasta zonas de kilómetros. Pero de manera general podemos decir que la profundidad media para la porción que se ubica dentro de la zona económica de México es de 900 a 1500 m.

### 6.3.4. Características ambientales

El Océano Pacífico encierra las mayores riquezas en cuanto a recursos marinos del Planeta, siendo éstas de variadas naturalezas y en donde sobresalen las pesqueras, y las minerales. Este océano es un factor ecológico fundamental para el mundo y sus vías de comunicaciones constituyen nervios vitales para la realización del comercio y el funcionamiento de la economía mundial. Sus reservas de



## 6. ÁREA DE ESTUDIO

---

biomasa son fundamentales para asegurar la alimentación de la humanidad en el próximo siglo, siendo esto factor de creciente atención por las grandes potencias que ven en esta biomasa fuentes de recursos alimenticios ricos en proteínas y de fácil obtención. (Semarnat 2011, Recursos naturales)

En estos últimos años, investigadores del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México, en uno de los buques oceanográficos de la misma institución, *El Puma*. Colectaron nódulos de manganeso explorando el fondo oceánico del pacífico en las inmediaciones de las islas Revillagigedo, a 19° de latitud norte y a más de 4 000 metros de profundidad.

El resultado de esta expedición es atractivo, ya que se detectó que existen concentraciones de por lo menos 10 kilogramos de mineral por metro cuadrado; considerando que cuando tienen 6 kilogramos en la misma área, ya se les considera económicamente importantes. La presencia de concentraciones de nódulos polimetálicos es indicativa de la actividad geodinámica del fondo oceánico del pacífico, que se desplaza hacia el noroeste, con manifestaciones de vulcanismo e hidrotermalismo.

### 6.3.5. Problemática ambiental

El principal problema que enfrenta la zona del pacífico central de nuestro país es el vertido de desechos por parte de embarcaciones pesqueras, así como de sus embarcaciones de acompañamiento. Estos desechos en ocasiones llegan a la playa afectando la estética del paisaje y provocando problemas de salud a las comunidades cercanas. Muchos de estos desechos incluyen cabezas de camarón, vísceras de pescado y otros son vertidos a los esteros y sistemas lagunares en los municipios de Tonalá, Arriaga, Pijijiapan, Mazatlán y Suchiate.

Otros problemas incluyen el mal manejo de la basura desarrollando basureros a cielo abierto en ciertos municipios así como el constante foco de infección. También cabe destacar la presencia de contaminación de suelo, aire y agua por los agroquímicos utilizados en la siembra de plátano, mango y papaya.



## 6. ÁREA DE ESTUDIO

---

Hasta ahora, las diferentes percepciones, valores y prioridades de los diferentes sectores de la sociedad han impedido el desarrollo de una política de manejo de los recursos marinos que a todos satisfaga; el resultado ha sido un gran deterioro ambiental de la mayoría de los ambientes marinos y la rápida sobreexplotación de la mayoría de los recursos, lo cual trae consigo, indudablemente, la degradación social de todos los actores que dependen de la explotación de los recursos naturales, y de la sociedad en general.

### **6.3.6. Actividad económica.**

La explotación de la riqueza mineral del Pacífico está temperada por las grandes profundidades oceánicas. En aguas poco profundas lejos de las costas se extrae petróleo y gas natural. La mayor riqueza del Pacífico es la pesca. Las aguas costeras de los continentes y las islas más templadas crían bacalao, salmón, sardina, pez espada, y atún. La mayor parte de la pesca que nuestro país explota es proveniente del océano pacífico. Los estados de Sinaloa y Chihuahua son los que sobresalen en este rubro. La zona sur de del pacífico mexicano está mas dedicada al turismo. La temperatura media anual y las pocas precipitaciones lo vuelve un destino turístico mundial de primera calidad.

### **6.3.7. Hidrografía**

La salinidad en la zona del océano pacífico se caracteriza por ser baja. Esto favorece la diversidad de las especies presentes. Su salinidad promedio en la república mexicana es de 34.7 ups.

Este océano debido a sus grandes dimensiones, provoca que su distribución de calor se aproxime más a la disposición zonal teórica. Por lo que entonces, en lo que respecta a salinidad, este posee valores relativamente bajos; constituyéndose en una de sus características más notables.

Debido a las abundantes precipitaciones y la escasa evaporación que se produce en su extremo septentrional, junto a la expansión de las aguas de origen



## 6. ÁREA DE ESTUDIO

---

polar, en su extremo meridional, los índices menores de salinidad se encuentran en su extremo norte y sur, respectivamente (Atlas mundial, Clarín, 2010).

Recibe la influencia de la Corriente Tropical Ecuatorial del Pacífico oriental, que se extiende desde las zonas aledañas al ecuador hasta el extremo sur del Golfo de California.



## 7. MATERIALES Y MÉTODOS

En el periodo comprendido entre el 10/02/2011 y 10/08/2011, se realizó la caracterización geoquímica de sedimentos superficiales provenientes del océano pacífico adyacente a los estados de Sinaloa-Nayarit-Jalisco. La caracterización constó de cuatro módulos:

- ❖ Técnicas espectroscópicas: análisis por fluorescencia de rayos X de energía dispersiva (ED-XRF), difracción de rayos X (XRD) y microscopía electrónica de barrido (MEB).
- ❖ Técnicas electroquímicas: Potenciometría (pH y conductividad eléctrica).
- ❖ Técnicas de análisis Químico: Análisis elemental de C, H, N y S por calcinación, Oxidación húmeda para determinación de Carbono orgánico (Löring & T., 1992) y determinación de carbono inorgánico por descomposición ácida (carbonatos).
- ❖ Técnica física. Granulometría.

### 7.1. Muestreo

Las muestras fueron proporcionadas por el “Instituto de Limnología y Ciencias del Mar” de la UNAM. Campaña Oceanográfica “MAZBAHIB”. A lo largo del recorrido por el golfo de California y pacífico central mexicano se recolectaron 10 estaciones en puntos con coordenadas geográficas y batimetría mostradas en la tabla 7-1. En la figura 7-1 se muestra la ubicación geográfica para las 10 estaciones de muestreo a lo largo del pacífico central mexicano.

La recolección se llevo a cabo del 24 al 26 de Mayo del 2010 con un nucleador de caja tipo Reineck y una profundidad de penetración de 30 cm, por el buque “El Puma” con base en Mazatlán, Sinaloa. La muestra se tomó de la parte central del nucleador que es la parte menos expuesta a las paredes de la draga. Para su transporte las muestras se almacenaron en recipientes cerrados de plástico a una temperatura de 4°C para su análisis.

Tabla 7-1. Coordenadas geográficas y batimetría de las estaciones a analizar en el pacífico mexicano.

# 7. MATERIALES Y MÉTODOS



Determinadas por geo posicionamiento GPS. Proporcionadas por el Instituto de Limnología y ciencias del mar. UNAM.

Estación	Profundidad (msnm)	Longitud	Latitud
1	55.4	106° 09.949 N	22°42.176 W
2	1650	106° 46.118 N	22°07.756 W
3	51.8	106° 02 N	22°13 W
4	30.8	105° 52.136 N	22°23.303 W
5	25	105° 43.184 N	21°49.674 W
6	73.5	105° 55.403 N	21°37.208 W
7	359.5	105° 39.06 N	21°19.546 W
8	457	105° 51 N	21°08 W

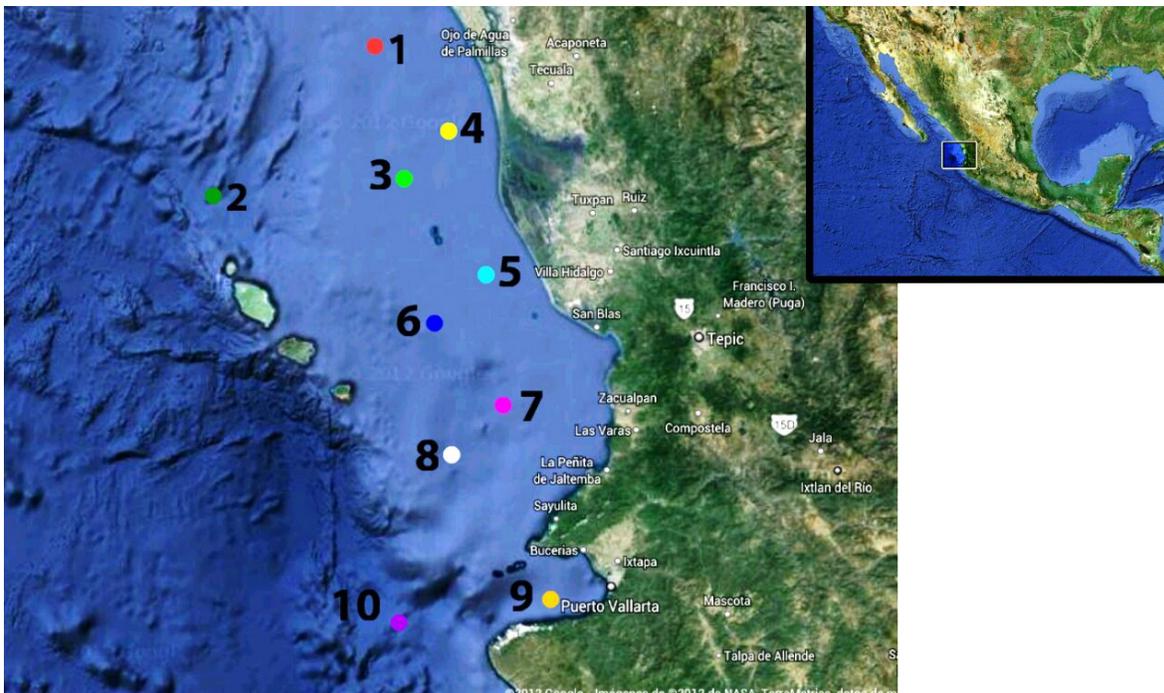


Figura 7-1. Localización geográfica de las estaciones de muestreo de sedimentos superficiales del pacífico mexicano. (Google, 2012).



## 7.2. *Análisis espectroscópicos*

### 7.2.1 Espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva (ED-XRF)

La determinación de elementos mayoritarios (Ca, K, Ti, Mn, Fe) y elementos traza (Cu, Zn, Pb, Ni, Ga, Sr y Br) Se realizó en dos sedes de manera simultanea como medio de comparación de resultados. De esta manera se busca la concordancia o diferencia de resultados aplicando variaciones en la preparación de la muestra y en la detección de la radiación. Las sedes fueron: el Laboratorio de Química Inorgánica y Nuclear de la Facultad de Química, Ciudad Universitaria, D.F. UNAM. Y El Laboratorio de Fluorescencia de rayos X, gerencia de Ciencias Ambientales, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), Ocoyoacac, Estado de México.

La muestra de sedimento superficial se secó a temperatura de 60 °C en horno hasta peso constante. El material secó se homogeneizó en mortero de vidrio y se almacenó en recipientes de plástico debidamente etiquetados. Para la realización del estudio de distribución de metales traza en los sedimentos, se separó en dos fases de acuerdo al tamaño de partícula con un tamiz de 0.073 mm. De ésta manera se obtienen dos grupos problema:

Tabla 7-2. Clasificación de fases para estudio de distribución de metales.

Tamaño de partícula	Etiqueta de fase
< 73µm	Fase Fina
>73µm	Fase total.

La llamada fase fina se analizó en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. De manera análoga se hizo con la fase total en el Laboratorio de Química Inorgánica y Nuclear de la Facultad de Química, UNAM, ubicado en Ciudad



---

Universitaria, México D.F.

## 7.2.1.1 Preparación de muestra. Fase fina

La preparación de muestras fue distinta para las dos fases. Esto buscando variaciones en el método con el fin de obtener la metodología que arrojara los mejores resultados.

Las muestras de sedimentos superficiales para su determinación sólo en la “fase fina”, se secaron a temperatura ambiente por un lapso de 120 horas. De esta forma evitamos transformaciones y pérdida de metales al no ser sometidas a calor excesivo. Se pesaron 1.5 g de sedimento en balanza electrónica para la elaboración de pastillas en una prensa hidráulica para montaje de muestras modelo 20-1310 Buehler Ltd., a una presión constante de 7 tons/cm<sup>2</sup> por un lapso de 5 minutos con un troquel de 1 ¼ plg de diámetro. A cada pastilla se adicionó aproximadamente 10 % de aglutinante (poliestireno en benceno al 10 %) para facilitar la cohesión de partículas. Las pastillas se almacenaron en cajas Petri de plástico etiquetadas y selladas para evitar fuentes de contaminación ambiental.

## 7.2.1.2 Análisis por fluorescencia de rayos X de energía dispersiva. Fase fina

El equipo propiedad del ININ consta de un detector de Si-Li con un amplificador integrado. El equipo tiene 185 eV (FWHM) y 5.9 keV de resolución. La fuente radiactiva fue <sup>238</sup>Pu con una energía de excitación de 13.612 keV.

Las muestras fueron analizadas por triplicado variando la posición de la muestra en 120° por un periodo de 1000 segundos. Las señales obtenidas se procesaron por medio del software AXIL, para representación gráfica e integración de áreas. Por medio de material certificado de referencia IAEA Soil 7 tratado de la misma manera que la muestra se obtuvieron concentraciones de elementos mayoritarios y traza de los sedimentos marinos con el método de patrón externo de corrección por Compton.



### 7.2.1.3 Preparación de muestra. Fase total

El sedimento analizado en el laboratorio de Química Inorgánica y Nuclear de la UNAM, fue secado en estufa a temperatura de 60 °C hasta peso constante en un lapso aproximado de 24 h. No se realizó tamizado a razón de determinar la cantidad de elementos mayoritarios y traza en las muestras de sedimentos en estado natural. Se pesó 4 g de sedimento seco y se sometió a molienda hasta obtener consistencia de talco. Sin otro tratamiento extra se colocó en forma de polvo empaquetado para su análisis de ED-XRF.

### 7.2.1.4 Análisis de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva. Fase total

El análisis de fluorescencia de rayos X se determinó en un equipo con detector de Si (Li) y fuente de  $^{238}\text{Pu}$  conectada a un amplificador RESEARCH AMPLIFIER ORTEC Modelo 450 y enviada al ordenador con el software "Nucleus" para su interpretación. Se utilizó el estándar S15 como patrón de referencia externa para corrección por Compton. Cada muestra fue medida por un lapso de 3000 segundos en una sola detección.

### 7.2.2 Difracción de rayos X (XRD)

Mediante la difracción de rayos X se detectan arreglos atómicos en búsqueda de estructuras cristalinas características. El fenómeno de difracción ocurre cuando un haz de rayos X incide en un material sólido y parte de este haz se dispersa en todas direcciones a causa de los electrones asociados a los átomos o iones que encuentra en el trayecto, pero el resto del haz puede dar lugar al fenómeno de difracción de rayos X, que tiene lugar si existe una disposición ordenada de átomos y si se cumplen las condiciones que vienen dadas por la Ley de Bragg que relaciona la longitud de onda de los rayos X y la distancia interatómica con el ángulo de incidencia del haz difractado. Si no se cumple la ley de Bragg, la interferencia es de naturaleza no constructiva y el campo del haz difractado es de muy



baja intensidad. Mediante este procedimiento físico, se pueden determinar estructuras cristalinas de composición química compleja y de baja simetría. Con este análisis se obtuvieron las estructuras cristalinas principales para cada estación.

### 7.2.2.1 Preparación de muestras

El sedimento se secó a temperatura de 60°C hasta peso constante (aproximadamente 2 g). Cada sedimento se sometió a rigurosa molienda para obtener un grano muy fino y uniforme.

### 7.2.2.2 Análisis de difracción de rayos X

La obtención de los espectros de difracción de rayos X para polvos fue realizado por la “Unidad de Servicios de Apoyo a la Investigación” (USAI) de la Facultad de Química de la UNAM, campus CU. En un equipo marca Siemens modelo D500, con tubo de cobre y el software de procesamiento Diffract ver. 3.3. Con archivos de comparación del “Institute Center for Diffraction data” (1994). Con parámetros de ángulo  $2\theta = 2.5$  y  $2\theta = 70$ .



Figura 7-2. Difractómetro de rayos X para polvos Siemens D500. (USAI. UNAM 2011).



## 7.2.3 Microscopía electrónica de barrido

Por medio de la microscopía electrónica de barrido se buscó estructuras cristalinas que confirmen los resultados obtenidos por la difracción de rayos X.

### 7.2.3.1 Preparación de muestra

Aproximadamente  $1 \text{ cm}^2$  de sedimento seco sin moler fue montado en un contenedor de aluminio con cinta de carbón, para su posterior baño con oro por un lapso de 40 segundos a  $25 \mu\text{A}$ .

### 7.2.3.2 Obtención de micrografías

El servicio fue proporcionado por el “Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares” (ININ). Gracias a la utilización de los microscopios electrónicos JEOL JSM-5900LV de bajo vacío y Microscopio electrónico de alto-bajo vacío y fluorescencia de rayos-X JSM 6610 LV, se obtuvieron micrografías de cristales presentes en sedimentos marinos del pacífico. Las micrografías se realizaron con aumentos de 500x a 25000x a 20 kV en bajo vacío. En modo de detección de electrones por retrodispersión.



Figura 7-3. Microscopio electrónico de alto-bajo vacío y fluorescencia de rayos-X JSM 6610 LV (ININ 2011)



### **7.3 *Análisis electroquímico. Conductividad eléctrica y pH***

En 20 mL de agua desionizada se mezclaron 10 g de sedimento con agitación constante por un lapso de 5 minutos. Terminada la agitación se toma la conductividad y pH del sobrenadante. El análisis se realiza por triplicado para disminuir el error.

Se utilizó un pHmetro y conductímetro portátil electrónico con electrodo combinado para la determinación por triplicado de pH y conductividad eléctrica en cada una de las estaciones.

### **7.4 *Análisis químico***

#### **7.4.1 *Análisis elemental de C, H, N y S por calcinación***

La muestra se molió en mortero de vidrio hasta un tamaño de grano menor a 100  $\mu\text{m}$  y entregado a la “Unidad de Servicios Analíticos para la Investigación” (USAI) de la UNAM para su análisis.

El método analítico es basado en la completa oxidación instantánea de la muestra por “combustión flash”, el cual convierte todas las sustancias orgánicas e inorgánicas en productos de combustión. Los gases de combustión resultantes pasan a través de un horno de reducción y son llevados posteriormente a la columna cromatográfica mediante un gas acarreador (Helio), donde son separados y detectados por un detector de conductividad térmica (TCD) el cual da una señal de salida proporcional a la concentración de los componentes individuales de la mezcla.

Las muestras son pesadas y depositadas en una cápsula de Estaño. Posteriormente las cápsulas son colocadas en el equipo donde son purgadas con un flujo continuo de helio. En seguida la muestra pasa a un reactor de combustión que se encuentra a 1000°C. Cuando la muestra se encuentra en el horno, el flujo de helio es temporalmente enriquecido con oxígeno puro y la muestra funde y el estaño promueve una reacción violenta en una temporal atmósfera enriquecida de



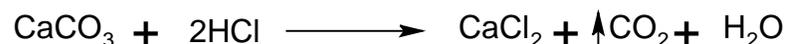
oxígeno. Bajo esas condiciones favorables toda la sustancia resistente térmicamente es completamente oxidada. La combustión cuantitativa es alcanzada al pasar la mezcla de gases sobre el catalizador. Después esta mezcla es pasada por cobre para eliminar el exceso de oxígeno y reducir los óxidos de nitrógeno a nitrógeno elemental. La mezcla resultante es dirigida a la columna cromatográfica, donde los componentes individuales son separados y eluidos como: N, CO<sub>2</sub>, agua y SO<sub>2</sub> para finalmente ser detectados por un detector de conductividad térmica (TCD). (USAI. UNAM 2011)

### 7.4.2 Determinación de carbono inorgánico por descomposición ácida

#### 7.4.2.1 Fundamento

El método consiste en que por medio de la pérdida de peso registrada en el sistema se calcula la cantidad de carbonatos presentes en el sedimento. La forma en que se encuentra en su mayoría el carbono inorgánico en sedimentos es por medio de carbonatos, y de manera más específica en carbonatos de calcio que es el compuesto más estable en condiciones marinas.

La reacción que se lleva a cabo para la formación de CO<sub>2</sub> es:



Lo que se mide es el CO<sub>2</sub> por pérdida de peso. La ecuación para el cálculo de concentración de C inorgánico en forma de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) es:

$$\% \text{CaCO}_3 = \frac{P}{Q} \times \frac{0.1}{R} \times 100$$

## 7. MATERIALES Y MÉTODOS



Donde:

P = Peso perdido en gramos (muestra)

Q = Peso perdido en gramos de  $\text{CaCO}_3$  ultrapuro.

R = Peso de sedimento seco inicial.

La concentración de C inorgánico es calculado con estequiometría por:

$$\% C_{\text{inorgánico}} = \% \text{CaCO}_3 \times 0.12$$

### 7.4.2.2 Técnica

Se preparó HCl 4N para la reacción y se fabricaron trampas de humedad para los matraces con  $\text{CaCl}_2$ . La técnica empleada fue la propuesta por Löring y Rantala (1992) para determinación de carbonatos en sedimentos. Se colocó un gramo de sedimento seco y molido en un matraz con tapón de hule horadado. En la perforación se colocó un tubo de vidrio relleno de  $\text{CaCl}_2$  contenido por tapones de algodón en ambos lados como se muestra en la figura 7-4. En el interior del matraz se coloca un frasco vial conteniendo 5 mL de HCl 4N. Se tapa y sella el matraz con el sistema antes mencionado. En una balanza se pesa todo el sistema antes de llevar a cabo la reacción. Con un movimiento brusco se provoca el vuelco del vial en el interior agitando por un lapso de 30 segundos. Después de 2 horas de reposo con agitación cada 30 minutos se registra de nuevo el peso. El mismo procedimiento se lleva a cabo con 100 mg de  $\text{CaCO}_3$  ultra puro como medida estándar de comparación.

## 7. MATERIALES Y MÉTODOS



Figura 7-4. Sistema para determinación de carbono inorgánico con trampa para humedad.



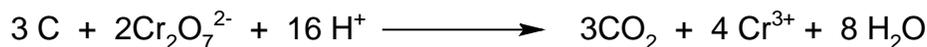
Figura 7-5. Vial con HCl para eliminación de  $\text{CO}_2$ .



### 7.4.3 Determinación del porcentaje de materia orgánica por oxidación húmeda

#### 7.4.3.1 Fundamento

Para la determinación de materia orgánica y carbono contenido en ella, se siguió el método de Löring y Rantala (1992) que es una modificación del procedimiento de Walkley y Black (1934), que consiste en una titulación inversa de una reacción de óxido-reducción entre dicromato de potasio en medio ácido y calor, para favorecer una completa oxidación del carbono a  $\text{CO}_2$  y  $\text{Cr}^{3+}$  que después será titulado por una solución acidificada de Sal de Mohr. Las reacciones que describen el proceso son dos. Primero se oxida el carbono formando  $\text{CO}_2$  y el cromo se reduce a su forma de Cr (III).



La siguiente reacción consiste en una titulación redox del exceso de dicromato que no reaccionó. Para esto utilizamos una solución acidificada de sal de Mohr. La reacción de titulación inversa es la siguiente.



El porcentaje de carbono orgánico fue calculado con la siguiente fórmula.

$$\% \text{C}_{\text{orgánico}} = \text{mL de } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \left(1 - \frac{T}{S}\right) * [\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7] * (\text{meq de C}) * \frac{100}{W} * F$$

Donde:

T = Volumen (mL) gastado de la disolución de sulfato de hierro (II) y amonio para el exceso de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

S = Volumen (mL) gastado en la titulación del blanco de la disolución de sulfato de hierro (II) y amonio.

## 7. MATERIALES Y MÉTODOS



$[K_2Cr_2O_7]$  = Concentración de la disolución de dicromato de potasio en normalidad.

Meq de C = Peso miliequivalente de carbono. Esto se obtiene de dividir peso atómico del carbono entre estado de oxidación  $\times 10^{-3}$

W = Masa de la muestra de sedimento (g)

F = Factor de corrección para el método. Como la fracción que se oxida es la más lábil presente en los sedimentos, se añade este factor considerando que sólo se oxida el 75 % de la cantidad total de carbono orgánico presente en la muestra. El término aceptado para sedimentos marinos es de 1.33. (Hernández, et al., 2008)

El porcentaje de materia orgánica se calculó con la utilización de factor de corrección de van Bemmelen que considera que aproximadamente el 58 % de la materia orgánica está formada por carbono.

$$\% \text{ Materia Orgánica} = \% \text{ C} \times 1.724$$

### 7.4.3.2 Técnica

Las soluciones utilizadas se prepararon de la siguiente manera.

- ❖ 0.625 g de  $Ag_2SO_4$  en 250 mL de  $H_2SO_4$ .
- ❖ 12.26 g de  $K_2Cr_2O_7$  en 250 mL de agua desionizada.
- ❖ 0.25 g de difenilamina se disuelven en 10 mL de  $H_2O$  y se adicionan 50 mL de  $H_2SO_4$  concentrado.
- ❖ 49.025 g de  $Fe (NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6 H_2O$  en 200 mL de agua con 5 mL de  $H_2SO_4$  concentrado. Diluir a 250 mL.

Para estandarizar los resultados se realizó el mismo procedimiento para una muestra de 0.01 g de dextrosa (39.99 % de C). En la figura 7-6 se esquematiza el procedimiento realizado.

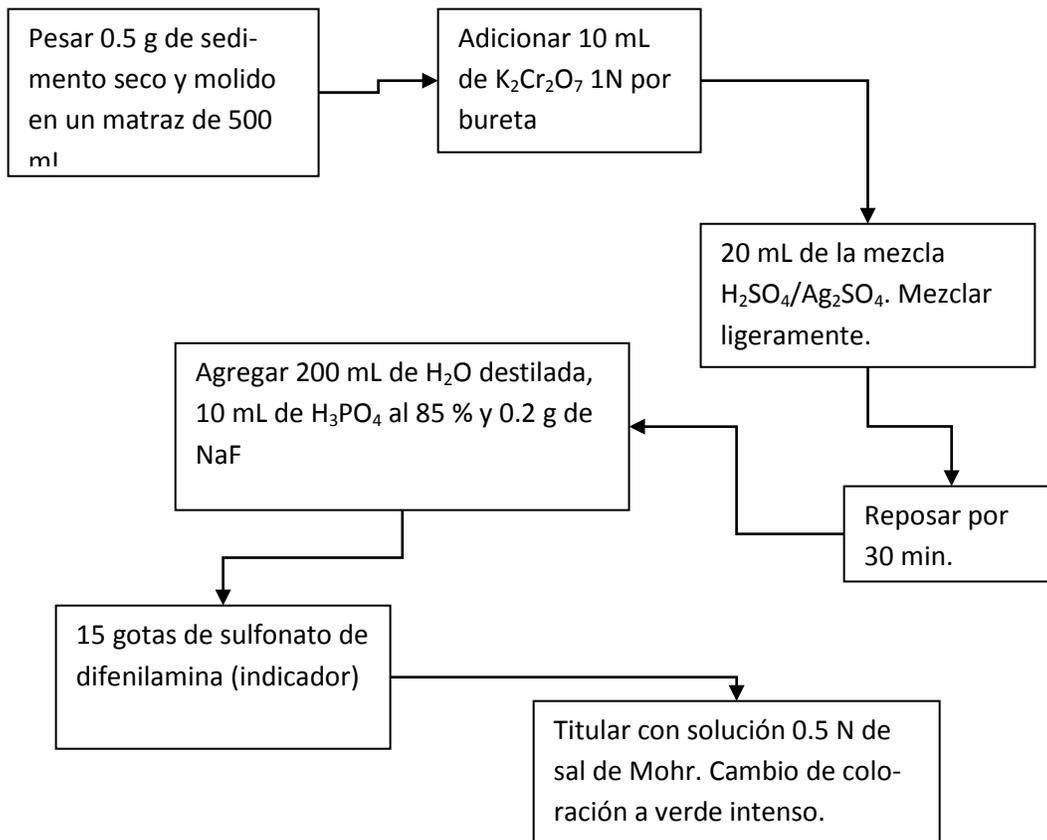


Figura 7-6. Diagrama de flujo del procedimiento para la determinación de materia y carbono orgánico por oxidación húmeda.

## 7.5 Granulometría

### 7.5.1 Tratado de muestra

La principal interferencia que presenta la separación por tamaño de partícula es la cantidad de materia orgánica. La materia orgánica provoca cúmulos de partículas alterando la distribución real de partículas en el sedimento marino. Por lo tanto primero se debe de tratar la muestra para eliminarlos. Se pesan de 50 a 60 gramos de sedimento seco sin moler. Se adicionó  $H_2O_2$  hasta que no presente más desprendimiento de gas. La muestra se dejó secar a temperatura ambiente hasta peso constante.



## 7.5.2 Tamizado

La elección de los tamices fue de acuerdo a la clasificación del Departamento de agricultura de los Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés). Se hace pasar por una serie organizada de tamices, con tamaños decrecientes y conocidos de apertura de malla, desde arriba hacia abajo. Con sacudidas horizontales y golpes verticales manuales, se hace pasar el sedimento por la serie de tamices, de arriba abajo, para luego pesar por separado el sedimento retenido en cada malla.

Las mallas utilizadas fueron de las siguientes características:

Marca: Mont- inux. Abertura en mm: 1.68 (1680  $\mu\text{m}$ ). No. 10.

Marca: Mont- inux. Abertura en mm: 0.105 (105  $\mu\text{m}$ ). No. 150

Marca: Mont- inux. Abertura en mm: 0.0625 (62.5  $\mu\text{m}$ ). No. 250

Con las mallas escogidas se separó las fases indicadas en la tabla 7-3.

**Tabla 7-3. Clasificación utilizada para análisis de granulometría.**

Tamaño de partícula	Clasificación
< 62.5 $\mu\text{m}$	Limos y Arcillas
62.5 $\mu\text{m}$ < x < 105 $\mu\text{m}$	Arenas muy finas
105 $\mu\text{m}$ < x < 1680 $\mu\text{m}$	Arenas finas, gruesas y muy gruesas
> 1680 $\mu\text{m}$	Gravas y piedras

Datos de acuerdo al "Departamento de agricultura de los Estados Unidos" (USDA).



## 7.6 *Análisis de resultados*

Para un estudio amplio de los resultados y caracterización de la zona, se realizaron cálculo de corrección de carbonatos, factor de enriquecimiento (FE), Índice de geoacumulación, análisis de componentes principales y de conglomerados (clústeres).

### 7.6.1 Corrección de carbonatos

Este factor sirve para normalizar los datos provenientes de sedimentos de ambientes marinos con una elevada concentración de carbonatos. Por medio del cálculo de un factor de dilución normalizamos los resultados como si fueran sedimentos libres de carbonatos. También se utiliza para eliminar el efecto de dilución provocado por minerales como el cuarzo y materia orgánica (Rodríguez-Meza, 2004).

Primero se debe de calcular el factor de dilución (FD)

$$FD = \frac{100}{100 - \% \text{ de carbonatos}}$$

Para normalizar el dato simplemente se multiplica el factor de dilución por la concentración química en mg/kg de cada elemento.

### 7.6.2 Factor de enriquecimiento

El FE informa de la dinámica de un contaminante inorgánico o elemento químico de la corteza terrestre que puede ser transportado por las lluvias, viento o por fuentes antropogénicas. (Del-Aguila, et al., 2005)

Se determino el factor de enriquecimiento a partir de los valores en la corteza que reporto Taylor (1979) y como elemento conservativo se utilizó el Ti. Con la normalización disminuimos los efectos del tamaño de partícula, disminuimos la variabilidad natural que pueda existir por los diversos procesos que se lleven a cabo en el ecosistema, y detectamos aumentos o disminuciones en las concentra-

## 7. MATERIALES Y MÉTODOS



ciones de los elementos por origen natural y antropogénico.

De las características principales que se deben observar en la elección del elemento de referencia son: presencia en el ambiente de manera natural (no importa el origen siempre y cuando no sea de origen antropogénico), debe ser de fácil manejo y medición (cantidad apreciable, no cerca de los límites de detección) y sobretodo debe ser conservativo (que no cambie de manera significativa con el tiempo). Es decir que se debe mantener estable a pesar de los factores de variabilidad no importa la época del año o situación climatológica. Otra manera de plantearlo es que el elemento se encuentra en un estado estacionario y no se acumula en la capa de suelo. Sino que solo proviene por acción de la erosión de minerales continentales.

Para el cálculo de factor de enriquecimiento se usó la siguiente fórmula:

$$FE = \frac{\left( \frac{M_{muestra}}{Ti_{muestra}} \right)}{\left( \frac{M_{corteza}}{Ti_{corteza}} \right)}$$

Donde:

$M_{muestra}$ : Concentración del metal en sedimento marino.

$Ti_{muestra}$ : Concentración de titanio en la muestra de sedimento marino.

$M_{corteza}$ : Concentración del metal presente en la corteza terrestre.

$Ti_{corteza}$ : Concentración de titanio presente en la corteza terrestre

Se escogió el Ti como elemento normalizador por sus características conservativas, de poco aporte antropogénico, pero sobre todo por que no está cerca de los límites de detección, lo que puede acarrear una fuente importante de error en los datos finales.

De acuerdo a su valor de factor de enriquecimiento, se clasificó cada elemento



según los datos indicados en la tabla 7-4.

Tabla 7-4. Clasificación de los elementos de acuerdo a su factor de enriquecimiento.

Valor	Intensidad de enriquecimiento
< 1	Elementos diluidos
1-2	Elementos conservativos
2-10	Elementos enriquecidos
>10	Elementos altamente enriquecidos

### 7.6.3 Índice de geoacumulación (*I<sub>geo</sub>*)

Es un indicador de la cantidad de metales de origen antropogénico presentes en sedimentos marinos. Propuesto por Müller en 1979. La definición que el da para este índice es:

$$I_{geo} = 2 \log \frac{C_n}{F * B_n}$$

Donde:

$C_n$  = Concentración del metal medida en el sedimento.

$B_n$  = Concentración de referencia del metal.

$F$  = Es un factor (1.5) que se introduce para compensar las variaciones que puedan surgir en las concentraciones de los minerales por el posible aporte natural.

La manera de interpretar los resultados calculados es por medio de la clasificación mostrada en la siguiente tabla.

## 7. MATERIALES Y MÉTODOS



Tabla 7-5. Interpretación de los Índices de Geoacumulación (Müller, 1979)

$I_{geo}$	Clase de $I_{geo}$	Grado de contaminación.
<0	0	No contaminado
0-1	1	No contaminado a moderadamente contaminado
1-2	2	Moderadamente contaminado
2-3	3	Moderadamente a fuertemente contaminado
3-4	4	Fuertemente contaminado
4-5	5	Fuertemente a muy fuertemente contaminado
>5	6	Muy fuertemente contaminado

Fuente. (Rodríguez-Meza, 2004).

### 7.6.4 Análisis estadísticos multivariados

El estudio estadístico de los resultados es una útil herramienta que nos permite identificar comportamientos característicos en la zona. Los principales que evalúan una cantidad elevada de variables para  $n$  medidas son: el análisis de componentes principales y el análisis de conglomerados (clústeres).

El primero es un análisis multivariado para datos continuos que busca asociaciones entre variables a través de componentes. El segundo es un análisis de jerarquización que relaciona a las variables y estaciones de muestreo de acuerdo a parámetros como menor distancia entre centroides de grupos de datos.

Los análisis estadísticos se realizaron con el software "Statgraphics centurión XV".



## 8 RESULTADOS

### 8.1 Granulometría

Se realizó un estudio general de granulometría a 9 estaciones provenientes del pacífico central mexicano con la utilización de tres mallas con apertura de 1680  $\mu\text{m}$ , 105  $\mu\text{m}$  y 62.5  $\mu\text{m}$ . Con predominancia de arenas finas y gruesas para 7 de las 9 estaciones.

Tabla 8-1. Granulometría. Resultados.

Fases a separar

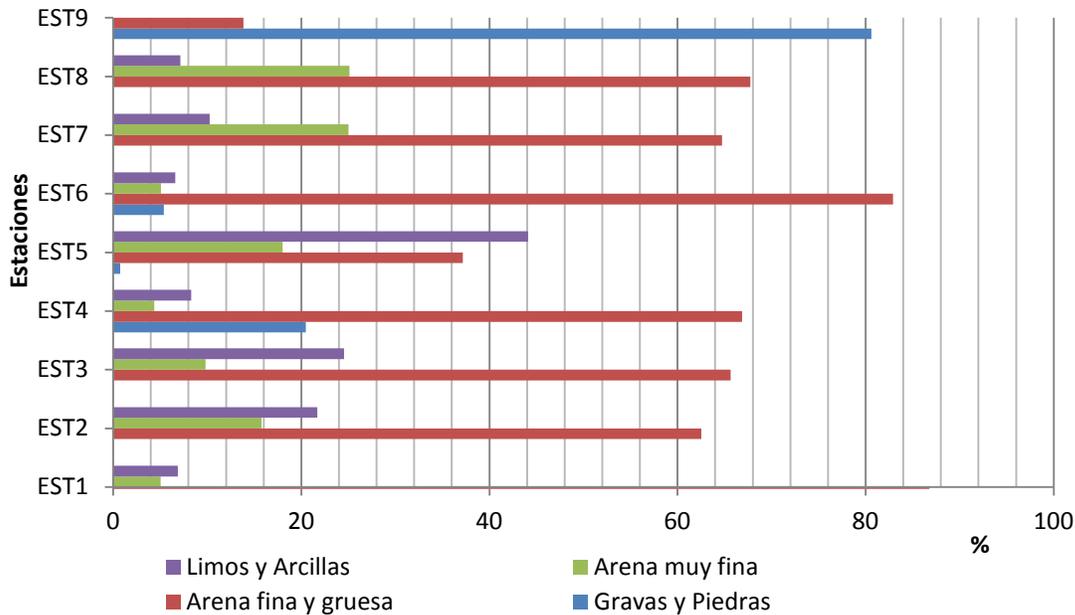
	>1680 $\mu\text{m}$	1680 $\mu\text{m}$ >X>105 $\mu\text{m}$	105 $\mu\text{m}$ >X>62.5 $\mu\text{m}$	<62.5 $\mu\text{m}$	
	Gravas y Piedras	Arena fina y gruesa	Arena muy fina	Limos y Arcillas	
CLAVE:	%	%	%	%	Profundidad (m)
EST1	1.31	86.77	5.04	6.87	55.4
EST2	0	62.54	15.76	21.68	1650
EST3	0	65.65	9.8	24.54	51.8
EST4	20.48	66.88	4.35	8.28	30.8
EST5	0.73	37.17	17.99	44.11	25
EST6	5.38	82.92	5.08	6.61	73.5
EST7	0	64.72	25.01	10.26	359.5
EST8	0	67.74	25.11	7.14	457
EST9	80.6	13.85	1.96	3.57	1269

En la figura 8.1 se muestra las características granulométricas generales para la zona de estudio. En general se observa una predominancia de arenas fi-



## 8. RESULTADOS.

nas y gruesas. Resaltan los casos de la estación 5 donde existe una mezcla de arena fina y gruesa con limos y arcillas en proporciones muy similares.

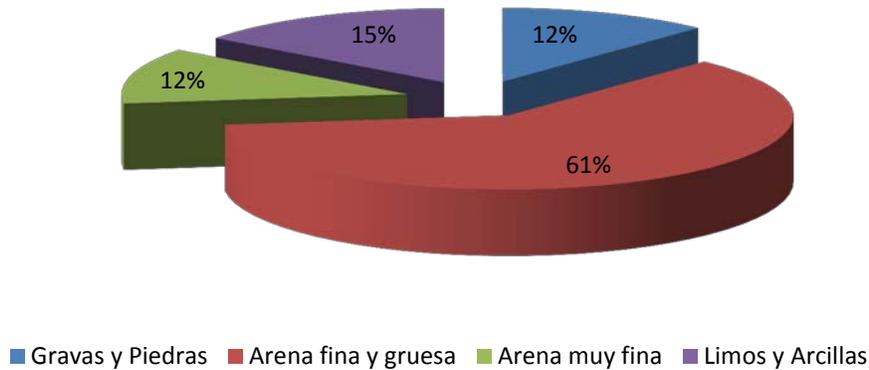


**Figura 8-1 Granulometría. Composición granulométrica para las distintas estaciones de muestreo.**

La única estación que presento una mayoría de gravas y piedras fue la 9. Haciendo una generalización podemos decir que el pacífico central mexicano es una zona con un 61 % aproximado de arena fina y gruesa ( $1680\mu\text{m} > X > 105\mu\text{m}$ ), en segundo lugar 15 % de limos y arcillas ( $< 62.5\mu\text{m}$ ) y un 12 % de las otras dos fases granulométricas por igual.



## 8. RESULTADOS.



**Figura 8-2 Granulometría. Gráfica de pie para la composición general de sedimentos marinos en el pacífico mexicano.**

El Tamaño de partícula tiene que ver con tectonismo, vulcanismo, erosión y sedimentación. Zonas con bajo flujo de agua favorecen la existencia de arenas finas y muy finas (Rodríguez-Meza, 2004). Existen ciertos factores que favorecen una mayor deposición de sedimentos finos que en otras zonas. Dentro de estos factores podemos encontrar las condiciones de acidez de la zona, ausencia de corrientes de agua, poca diversidad biológica, etc. Al existir una baja dinámica hidrológica, las partículas finas no son transportadas, sino que se depositan en el fondo y permanecen ahí por la poca turbulencia. Esto sucede en el caso de la estación 5 como se muestra en la tabla 8-1. Pero se encuentra muy cercano el porcentaje de arena fina y gruesa. Probablemente por su poca profundidad y relativa cercanía con la zona litoral de la plataforma continental. La presencia de pequeñas cuencas provoca la deposición de material fino en ellas a pesar de una cierta velocidad el flujo de agua.

Caso opuesto sucede en la estación 9 ubicada en la zona de Bahía de banderas (figura 8-3). Donde el mayor porcentaje de partículas es del tipo “gravas y piedras”. Las partículas gruesas son generalmente por aporte continental, y con gran abundancia en climas desérticos como es el caso de Sinaloa. Esto debido a



## 8. RESULTADOS.

que solo en una época del año existe descargas y por lo tanto flujo elevado de agua. En la zona de estudio como se mencionó en la sección 6.3.1, el clima se caracteriza por ser desértico y semidesértico. Las arenas son transportadas por biota marina en su mayoría.

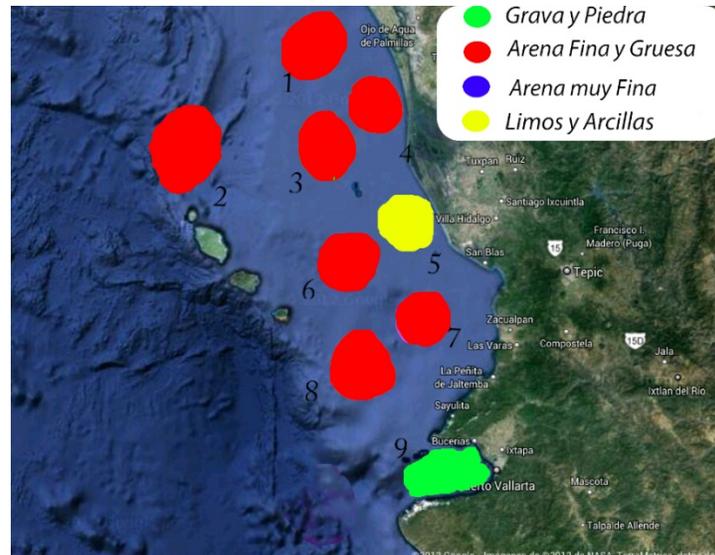


Figura 8-3. Mapa de distribución de partículas para la zona del pacífico central mexicano.

Las estaciones 2, 3, 7 y 8 presentan una distribución de partículas similar. Predominando arena fina y gruesa en aproximadamente 65 %. Estaciones 7 y 8 presentan porcentajes muy cercanos. Esto debido a que su profundidad que oscila entre los 350 y 550 m

### 8.2 *Electroquímica*

La zona del pacífico se caracteriza por ser un océano con salinidad baja, por eso los valores de pH oscilan entre 7.1-8.4. Valores ligeramente básicos por la presencia de carbonatos. Los valores medidos fueron los siguientes:



## 8. RESULTADOS.

Tabla 8-2 Datos de pH y conductividad eléctrica para sedimentos superficiales marinos de las estaciones de muestreo.

Estación	Profundidad (m)	pH	Conductividad eléctrica
			( $\mu\text{S/cm}$ )
1	55.4	8.3 $\pm$ 0.1	16.9 $\pm$ 0.3
2	1650	7.6 $\pm$ 0.1	47.6 $\pm$ 6.9
3	51.8	8.1 $\pm$ 0.1	25.5 $\pm$ 3.5
4	30.8	8.5 $\pm$ 0.2	19.4 $\pm$ 0.4
5	25	8.1 $\pm$ 0.0	20.0 $\pm$ 0.6
6	73.5	8.4 $\pm$ 0.0	20.4 $\pm$ 0.4
7	359.5	7.1 $\pm$ 0.1	70.5 $\pm$ 6.2
8	457	7.5 $\pm$ 0.1	70.0 $\pm$ 8.3
9	1269	7.9 $\pm$ 0.1	50.4 $\pm$ 3.7

Se obtuvo un valor máximo en la estación 4 que se encuentra en la desembocadura del río Baluarte. La explicación más probablemente debido a desechos industriales y urbanos los valores de pH sean los más elevados. La ubicación geográfica no es la única variable. La estación 4 esta entre las dos estaciones con menor profundidad. Esto genera una concentración mayor de carbonatos al no presentar el fenómeno de disolución por profundidad. Este concepto se ampliará en la sección 8.5.1.2, cuando se analicen los índices de carbonatos en las estaciones. La hipótesis se refuerza al observar que las estaciones con menores valores de pH son las de mayor profundidad y menor concentración de carbonatos (estaciones 2, 7, 8 y 9). Valores de conductividad eléctrica van de 16.9-70.5. Con máximo en la estación 7 y mínimo en la 1. Al aumentar la conductividad eléctrica nos indica mayor cantidad de sales presentes en el medio, o materia orgánica con



## 8. RESULTADOS.

capacidad para transportar electrones. La zona más cercana a bahía de Banderas presenta una mayor cantidad de sales pero no todas básicas, ya que el pH en las estaciones 7 y 8 no son de los valores más altos. Otro factor que contribuye a valores elevados de conductividad eléctrica en las estaciones 2, 7 y 8 es la presencia de concentraciones apreciables de Cu. Este elemento como es bien sabido, destaca por sus capacidades para conducir la electricidad.

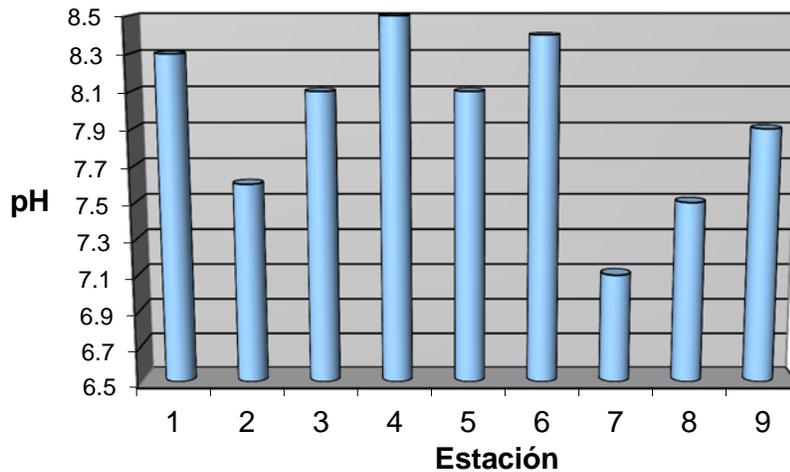


Figura 8-4 Electroquímica. Valores de pH en estaciones de sedimentos marinos del pacífico.

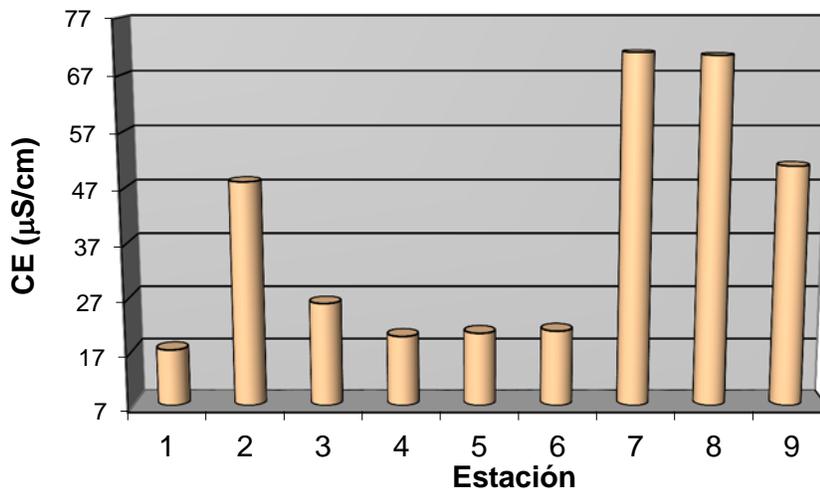


Figura 8-5 Electroquímica. Valores de conductividad eléctrica en estaciones de sedimentos marinos del pacífico.



## 8. RESULTADOS.

---

Las estaciones con menor valor de conductividad eléctrica fueron la 1,4, 5 y 6. Todas tienen en común valores pequeños en la concentración de carbono orgánico (tabla 8-3). Al ser sedimentos marinos, la cantidad de metabolitos conductores de electricidad es grande. En el mar se lleva a cabo la mayor producción de oxígeno del planeta. Esto es por medio de procesos fotosintéticos. Por lo tanto las estaciones con mayor cantidad de materia orgánica tienen más moléculas conductoras.

### **8.3 Carbono orgánico e inorgánico**

La cantidad de carbono orgánico está en un intervalo de 0.54 a 6.22 %, con un promedio de 2.37 %. El orden de las estaciones de mayor a menor en concentración de carbono orgánico es el siguiente:

Est.8 > Est.7 > Est.2 > Est.3 > Est.9 > Est.10 > Est.5 > Est.1 > Est.4 > Est.6

La estación con mayor concentración fue la 8 que no se encuentra a una profundidad elevada y no muy cercano a la costa. Características similares a esta estación presenta la 7, con una profundidad de 360 m y en una zona con poca influencia antropogénica. De este comportamiento presentado en las tres estaciones de más concentración de carbono orgánico podemos sacar una relación inversa entre la profundidad y la concentración. La materia orgánica presente en sedimentos puede provenir de desechos metabólicos de la biota marina o restos de organismos muertos.



## 8. RESULTADOS.

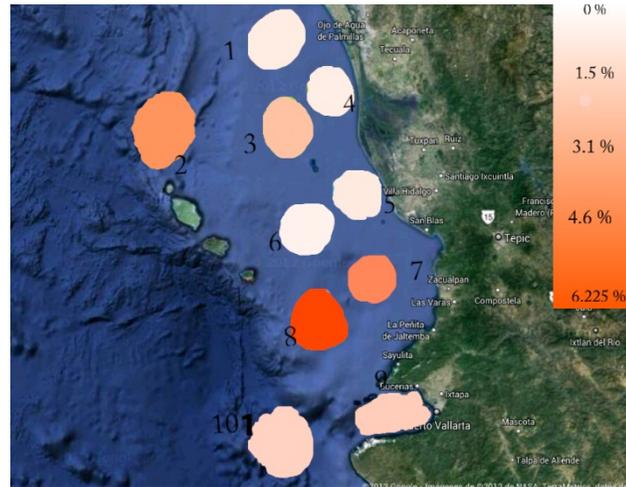


Figura 8-6. Mapa de distribución para carbono orgánico en la zona de estudio.

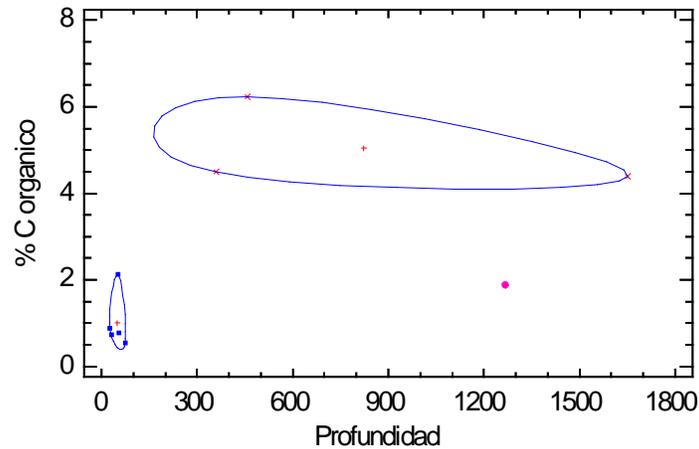


Figura 8-7 Grafica de Carbono orgánico vs. Profundidad

Otro factor importante que provoca aumentos en la concentración de carbono orgánico son los fenómenos de **surgencia** que abundan en época de primavera debido a la diferencia de temperaturas entre aguas profundas y someras. Bajos niveles de materia orgánica de las estaciones 1, 4 y 6 que son estaciones con baja profundidad pueden deberse a que en época de lluvias disminuye la concentración en sedimentos por flujo mayor de agua, efectos de dilución y resuspensión. (Hernández, et al., 2008)



## 8. RESULTADOS.

Se ha verificado la tendencia a formar complejos con la materia orgánica en Cu, Ni, y Pb, observándose que la retención de metal por el suelo depende fuertemente del contenido orgánico. La cantidad de materia orgánica conservada en los sedimentos depende entre otros, de la textura de los sedimentos, de la tasa de sedimentación y de la relación entre las velocidades de aporte y descomposición de la materia orgánica (Pineda, 2009).

**Tabla 8-3 Concentración de carbono de origen orgánico e inorgánico en sedimentos del pacífico central.**

Clave	% C <sub>org</sub>	%Materia Orgánica	% CaCO <sub>3</sub>	% C <sub>ino</sub>	% C <sub>total</sub>
<i>Est. 1</i>	0.765 ± 0.05	1.31 ± 0.05	9.79 ± 0.1	1.17 ± 0.1	1.93 ± 0.1
<i>Est. 2</i>	4.396 ± 0.05	7.57 ± 0.05	4.26 ± 0.1	0.51 ± 0.1	4.90 ± 0.1
<i>Est. 3</i>	2.13 ± 0.05	3.67 ± 0.05	10.2 ± 0.1	1.22 ± 0.1	3.35 ± 0.1
<i>Est. 4</i>	0.731 ± 0.1	1.26 ± 0.1	38.43 ± 0.1	4.61 ± 0.1	5.34 ± 0.1
<i>Est. 5</i>	0.886 ± 0.1	1.52 ± 0.1	11.39 ± 0.1	1.37 ± 0.1	2.25 ± 0.1
<i>Est. 6</i>	0.541 ± 5x10 <sup>-4</sup>	0.93 ± 5x10 <sup>-4</sup>	21.68 ± 0.1	2.60 ± 0.1	3.14 ± 0.1
<i>Est. 7</i>	4.503 ± 0.05	7.76 ± 0.05	2.19 ± 0.1	0.26 ± 0.1	4.76 ± 0.1
<i>Est. 8</i>	6.225 ± 0.05	10.73 ± 0.05	3.41 ± 0.1	0.41 ± 0.1	6.63 ± 0.1
<i>Est. 9</i>	1.87 ± 0.05	3.22 ± 0.05	1.4 ± 0.1	0.17 ± 0.1	2.04 ± 0.1
<i>Est. 10</i>	1.68 ± 0.11	2.89 ± 0.11	0.51 ± 0.1	0.06 ± 0.1	1.74 ± 0.1
<i>Promedio</i>	2.37 %	4.09 %	1.24 %	10.3 %	3.61 %
<i>d. s.</i>	1.97	3.4	1.41	11.77	1.7

%C<sub>org</sub> = Carbono orgánico. %C<sub>ino</sub> = Carbono inorgánico. %C<sub>total</sub> = %C<sub>org</sub> + %C<sub>ino</sub>

El carbono inorgánico en su mayoría se presenta en sedimentos marinos en



## 8. RESULTADOS.

---

forma de carbonatos. Y la mayoría de estos carbonatos son de calcio y una pequeña parte de magnesio. De manera contraria a lo sucedido con la materia orgánica, el orden de las estaciones para concentración de carbono inorgánico es la siguiente:

Est.4 > Est.6 > Est.5 > Est.3 > Est.1 > Est.2 > Est.8 > Est.7 > Est.9 > Est.10

Se observa que las estaciones con mayor concentración de carbonatos son las que tiene una menor profundidad. Esta relación se representa en la figura 8-7. A una mayor cantidad de carbonatos, existe menor asociación de metales. Pero depende de la cantidad de aluminosilicatos presentes. En la sección 8.6 se revisarán los diversos aluminosilicatos detectados en los sedimentos.

Otra asociación importante de los carbonatos es con el calcio (véase 8.5.1.2) y con el pH. Los carbonatos tienen carácter básico y en estaciones con mayor concentración de carbonatos el pH es más alto. En lo que a ubicación geográfica se refiere, a una mayor cercanía a la costa, aumenta la concentración de carbonatos.

De manera general podemos decir que en sedimentos marinos los carbonatos y el carbono de origen orgánico tienen una relación inversa. A mayor concentración de uno el otro disminuye. En la tabla 8-3 calcula de manera teórica la cantidad de carbono total. Este se obtiene de la suma de carbono inorgánico + orgánico. Debe de hacerse notar que es puramente teórico este valor, pero servirá para comparar con los valores obtenidos por análisis elemental por calcinación (véase 8.4).



## 8. RESULTADOS.

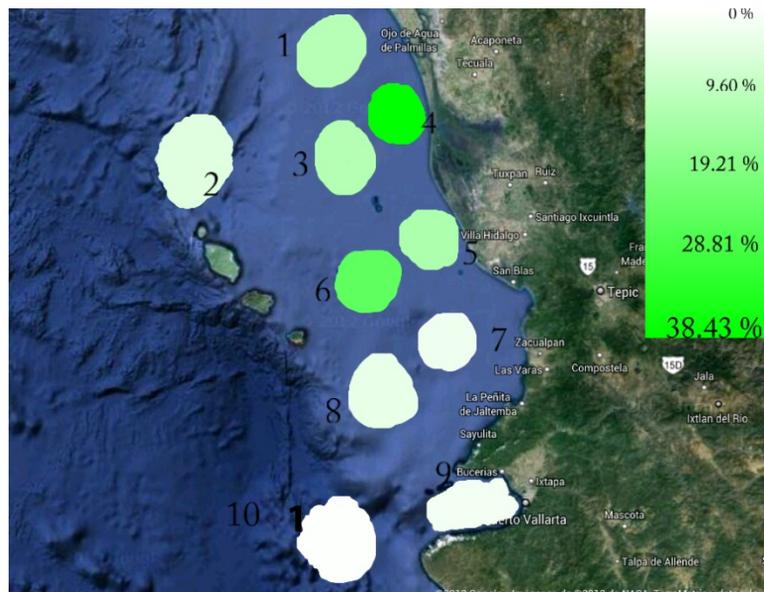


Figura 8-8. Mapa de distribución para carbonatos en la zona de estudio.

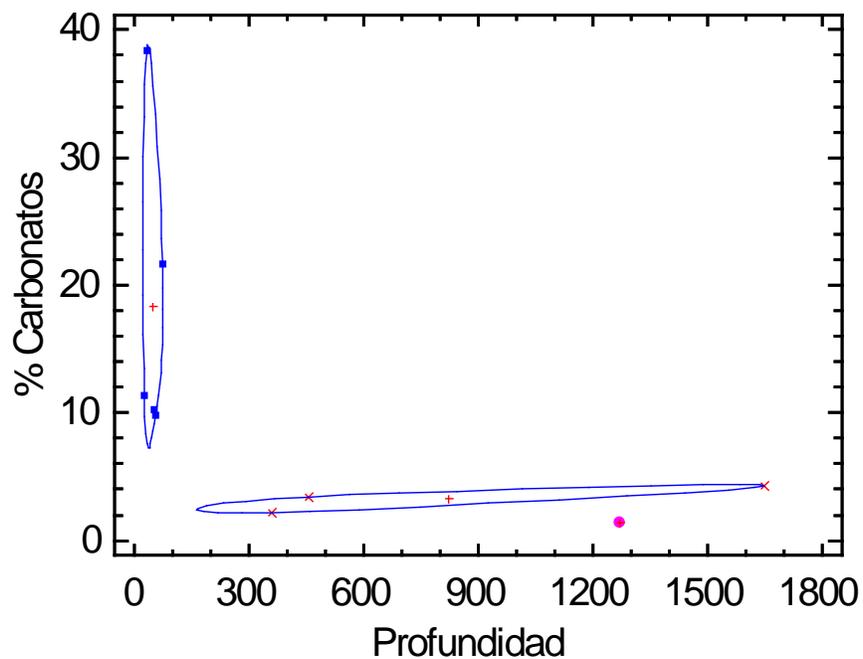


Figura 8-9 Gráfica de C inorgánico vs. Profundidad.



## 8. RESULTADOS.

### 8.4 *Análisis elemental por calcinación*

Los resultados del análisis por calcinación se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 8-4 Análisis elemental por calcinación.

CLAVE:	% C <sub>total</sub>	% H	% N	% S
EST.1	2.009	0.403	n. d.	n. d.
EST.2	6.423	1.145	0.607	0.089
EST.3	3.525	0.823	0.159	n. d.
EST.4	6.081	0.439	n. d.	n. d.
EST.5	2.482	0.475	0.045	n. d.
EST.6	3.524	0.249	0.052	n. d.
EST.7	6.04	1.231	0.539	0.073
EST.8	6.737	1.262	0.719	0.128
EST.9	1.904	0.516	0.143	n. d.
EST.10	2.027	0.626	0.175	n. d.

n. d.-No detectado.

El análisis elemental se vuelve útil en la caracterización de sedimentos sobretudo para detectar zonas con abundancia de carbono en su forma mineral o en estado elemental. Por las técnicas de oxidación húmeda y de descomposición ácida, obtenemos carbono de naturaleza orgánica o inorgánica respectivamente. Pero el carbono que se encuentra en forma elemental en sus distintas formas alotrópicas no. Este análisis además de mostrarnos la cantidad de hidrógeno, nitrógeno y azufre (característico de materia orgánica), nos da este carbono mineral. En la tabla 8-5 se muestran las cantidades aproximadas de carbono mineral para cada estación. Recordemos que uno de los principales energéticos que nos da la naturaleza es el carbón. Actualmente se extrae el carbón y otros minerales de minas superficiales. En el futuro conocer zonas de nuestro territorio nacional ricas en ciertos minerales y energéticos será importante.



## 8. RESULTADOS.

Tabla 8-5 Concentraciones de carbono elemental en sedimentos marinos del pacífico central mexicano.

	Est.1	Est.2	Est.3	Est.4	Est.5	Est.6	Est.7	Est.8	Est.9	Est.10
C elemental	0.07 %	1.52 %	0.15 %	0.74 %	0.23 %	0.38 %	1.28 %	0.1 %	-	0.28 %

La estación 2 es la de mayor concentración. También es la más alejada de la costa y de gran profundidad. En la estación 9 no fue posible determinarlo por la poca cantidad detectada. El resto de las estaciones presentan valores entre el 0.07 % al 1.2 %.

### 8.5 Elementos mayoritarios y traza

En el análisis de fluorescencia de rayos X se introdujeron dos variables para observar el comportamiento de los resultados.

- Una de ellas fue la separación de la muestra de sedimento marino en dos fases (fina y total) para buscar la mayor afinidad (distribución) de los metales de acuerdo al tamaño de partícula.
- La segunda variable fue el tratamiento de la muestra. En pastilla para el caso del análisis de fluorescencia de rayos X para la fase fina, y en polvo para la fase total.

#### 8.5.1 Fase fina

Primero se determinó el espectro correspondiente al estándar IAEA-Soil 7 debido a su semejanza con el tipo de material que se analizó. De esta manera se busca igualar los efectos de absorción inherentes a la matriz de los sedimentos. Los resultados del análisis espectral del suelo estándar se presentan en la tabla 8-6. Analizando por quintuplicado por un periodo de 1000 segundos. En la fase fina del sedimento marino se realizó un conteo de 1000 segundos por triplicado, por lo que se tienen 3 mediciones de las cuales se obtuvo promedio reduciendo el posible error. Se reportan valores promedio, desviación estándar y desviación estándar.



## 8. RESULTADOS.

dar relativa. Además se muestran valores de incoherente para cada espectro determinado, útiles para el cálculo de concentraciones por corrección Compton.

En la tabla 8-7 se muestran los resultados de concentración de componentes mayoritarios (%) y metales traza (ppm) para las estaciones en la fase fina (<0.073 mm) compactando la muestra para formar pastillas. Con desviación estándar y error relativo. Las concentraciones de la tabla 8-7 fueron calculadas por normalización Compton y sin corrección de carbonatos. Al normalizar por Compton se disminuyen las posibles absorciones provocadas por la matriz. Y la corrección de carbonatos, elimina el factor de dilución. Estos resultados se presentan en la tabla 8-10, sección 8.8.

**Tabla 8-6 Datos de fluorescencia de rayos x para el estándar IAEA-soil7.**

Elemento	C.R. (IAEA)	Intensidad (cuentas)	d. s.	d. s. relativa	Límite de Detección	Corteza Continental <sup>1</sup>
<i>K</i>	1.21 %	1310	77.94	5.95 %	0.01 %	2.09 %
<i>Ca</i>	1.63 %	28457	60.77	0.21 %	0.009 %	4.2 %
<i>Ti</i>	0.3 %	866	50.72	5.85 %	0.025 %	0.44 %
<i>Mn</i>	631 mg/Kg	725	45.35	6.25 %	0.025 %	0.095 %
<i>Fe</i>	2.57 %	46988	116.53	0.25%	0.005 %	5.6 %
<i>Ni</i>	26 mg/Kg	136	30.22	22.22 %	20	75 mg/Kg
<i>Cu</i>	11 mg/Kg	115	23.44	20.38 %	10	55 mg/Kg
<i>Zn</i>	104 mg/Kg	635	31.1	4.89 %	10	70 mg/Kg
<i>Ga</i>	10 mg/Kg	77	28.60	37.14	9	19 mg/Kg
<i>Pb</i>	60 mg/Kg	529	24.6	4.65	20	12.5 mg/Kg
			Incoherente	9945	d.s.104.58	

C. R. (IAEA)= Concentración reportada por IAEA. Intensidad = Área bajo la curva. D. S.= Desviación estándar. D. S. relativa = Desviación estándar relativa. <sup>1</sup> (Taylor, 1979).



## 8. RESULTADOS.

La determinación de elementos mayoritarios y metales traza en la fase fina fue realizada solo en 8 estaciones. Esto porque la muestra recibida de la estación 9 no cumplía con las condiciones para una correcta separación granulométrica. La muestra fue proporcionada al laboratorio con una molienda previa, lo que la descalificaba para realizar una correcta caracterización.

### 8.5.1.1 Potasio

El potasio es el 7<sup>mo</sup> elemento más abundante en la corteza terrestre. Es de procedencia natural, de concentración baja y conservativa. En un análisis de correlaciones, es el único elemento que presenta valores altos con casi todas las demás variables estudiadas. En general los valores de K en todas las estaciones no varían de manera importante. Se conservan alrededor del valor reportado por Taylor (1979) para la corteza terrestre (2.09 %). Solo las estaciones 7 y 8 presentan valores un poco bajos. Probablemente la baja concentración en estas dos estaciones sea debido a un alto flujo hidrológico, lo que provoca que se encuentre en suspensión el potasio y no sedimentado.

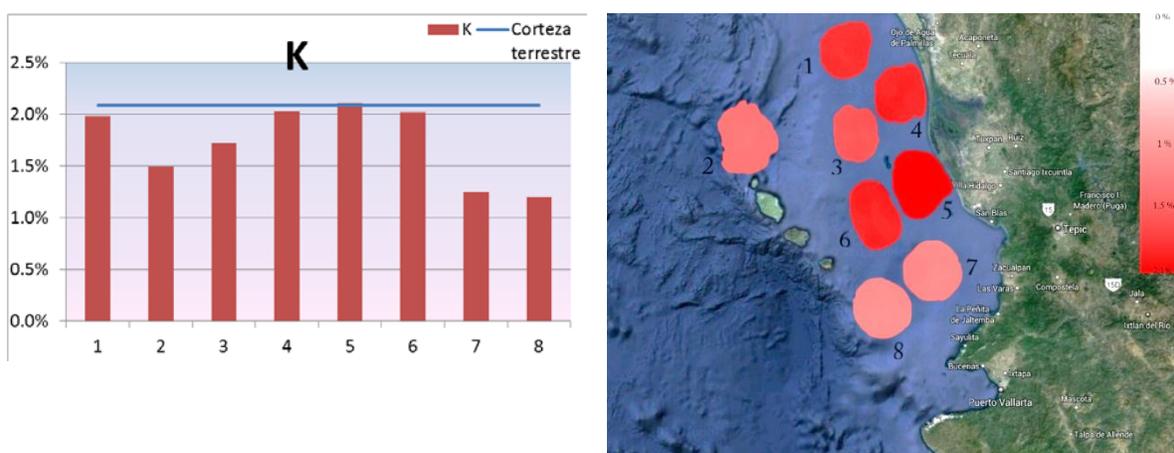


Figura 8-10 Gráfica y mapa de distribución de K en fase fina



## 8. RESULTADOS

**Tabla 8-7 Concentraciones de elementos mayoritarios y traza para fase fina por fluorescencia de rayos X de energía dispersiva**

Clave	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Ga	Pb
C. prom	1.98 %	6.41 %	0.34 %	0.03 mg/Kg	3.095 %	18 mg/Kg	29 mg/Kg	101 mg/Kg	17 mg/Kg	60 mg/Kg
Est. 1	d.s.	0.07	0.02	$3 \times 10^{-3}$	0.005	4	4	5	2	1
	d.s.r.	3.53 %	5.88 %	9.5 %	0.16 %	22.22 %	13.8 %	4.95 %	11.76 %	1.66 %
C. prom	1.50 %	2.22 %	0.27 %	0.02 mg/Kg	2.5 %	33 mg/Kg	37 mg/Kg	146 mg/Kg	15 mg/Kg	25 mg/Kg
Est. 2	d.s.	0.01	0.01	$2.1 \times 10^{-3}$	0.01	1	1	12	4	3
	d.s.r.	0.66 %	3.70 %	8.64 %	0.4 %	3.03 %	2.7 %	8.21 %	26.66 %	12 %
C. prom	1.72 %	6.92 %	0.32 %	0.02 mg/Kg	3.16 %	21 mg/Kg	30 mg/Kg	101 mg/Kg	17 mg/Kg	35 mg/Kg
Est. 3	d.s.	0.12	0.02	$1.7 \times 10^{-3}$	0.01	8	4	3	3	4
	d.s.r.	6.97 %	6.25 %	7.45 %	0.31 %	38.1 %	13.3 %	2.97 %	17.64 %	11.42 %
C. prom	2.03 %	7.88 %	0.34 %	0.04 mg/Kg	3.06 %	21 mg/Kg	29 mg/Kg	108 mg/Kg	20 mg/Kg	37 mg/Kg
Est. 4	d.s.	0.12	0.03	$7 \times 10^{-3}$	0.02	8	3	5	4	3
	d.s.r.	5.91 %	8.82 %	1.91 %	0.65 %	38.1 %	10.3 %	4.62 %	20 %	8.10 %
C. prom	2.11 %	3.24 %	0.420 %	0.05 mg/Kg	3.86 %	19 mg/Kg	14 mg/Kg	106 mg/Kg	17 mg/Kg	40 mg/Kg
Est. 5	d.s.	0.01	0.007	$4.1 \times 10^{-3}$	0.03	7	1	4	4	6
	d.s.r.	0.47 %	1.69 %	7.09 %	0.77 %	36.84 %	7.1 %	3.77 %	23.52 %	15 %
C. prom	2.02 %	11.8 %	0.35 %	0.03 mg/Kg	2.83 %	21 mg/Kg	21 mg/Kg	92 mg/Kg	15 mg/Kg	51 mg/Kg
Est. 6	d.s.	0.03	0.03	$2.9 \times 10^{-3}$	0.03	2	1	1	5	8
	d.s.r.	1.5 %	8.57 %	10.9 %	1.06 %	9.52 %	4.8 %	1.08 %	33.33 %	15.68 %
C. prom	1.25 %	0.76 %	0.270 %	0.02 mg/Kg	2.74 %	30 mg/Kg	41 mg/Kg	122 mg/Kg	19 mg/Kg	38 mg/Kg
Est. 7	d.s.	0.05	0.006	$1.1 \times 10^{-3}$	0.08	6	6	4	5	3
	d.s.r.	4 %	2.22 %	4.64 %	2.91 %	20 %	14.6 %	3.27 %	26.31 %	7.89 %
C. prom	1.2 %	1.78 %	0.24 %	0.02 mg/Kg	2.350 %	26 mg/Kg	25 mg/Kg	104 mg/Kg	12 mg/Kg	35 mg/Kg
Est. 8	d.s.	0.06	0.01	$1.1 \times 10^{-3}$	0.003	7	1	3	3	1
	d.s.r.	5 %	4.16 %	5.91 %	0.13 %	26.9 %	4 %	2.88 %	25 %	2.85 %

C.prom.= Concentración promedio, d.s.= desviación estándar, d.s.r.= desviación estándar relativa



## 8. RESULTADOS

En el mapa de distribución de potasio (figura 8-8) en la zona se observa que a medida que la medición se aleja del borde continental, la concentración de K va en disminución. Y también que mientras mas nos acercamos a bahía de Banderas (zona turística), la concentración es menor. El potasio presenta una alta afinidad a otros elementos conservativos y a carbonatos. En las estaciones 7 y 8 la concentración de carbonatos no es la mayor debido a su profundidad.

### 8.5.1.2 Calcio

Elemento natural abundante en ambientes marinos en forma de carbonatos. Casi todos los carbonatos presentes en el agua de mar son de calcio. También en los seres vivos se encuentra como elemento mayoritario en huesos, como cofactor enzimático y como metabolito necesario para organismos.

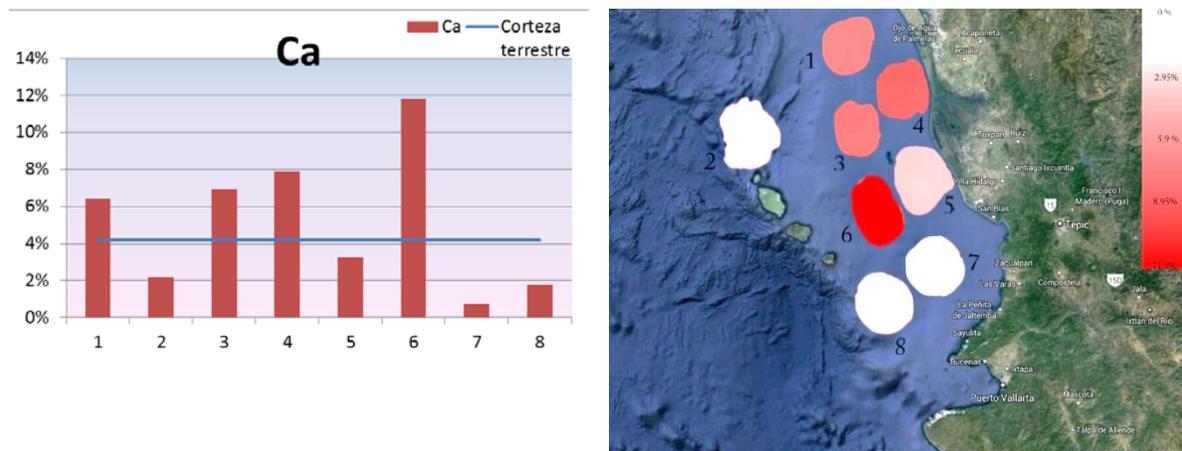


Figura 8-11 Gráfica y mapa de distribución de Ca en fase fina.

El valor más alto se observó en la estación 6 con 11.8, seguido por la estación 4 con 7.8 %. Los dos muy por encima del valor en la corteza terrestre que es de 4.2 %. En estas zonas se encontró mayor concentración de carbonatos, poca profundidad y menor concentración de carbono orgánico. En el mapa de distribución no existe un patrón observable para el comportamiento del calcio. La zona de mayor concentración está alejada de la zona litoral y esta se encuentra rodeada de zonas con concentración muy baja, por lo que no existe una tendencia en el



## 8. RESULTADOS.

comportamiento.

### 8.5.1.3 Titanio

Metal ligero abundante en la naturaleza que generalmente se encuentra en su forma oxidada. Es el metal conservativo que se utilizó para el cálculo de factores de enriquecimiento (sección 8.9.1). Los resultados de fluorescencia no demostraron lo contrario. Los niveles de Titanio oscilaron entre 0.2 a 0.42 %. El valor reportado en la corteza terrestre es de 0.44 %. En general los valores encontrados son más bajos. Esto probablemente a la época del año en que las muestras fueron recolectadas. En mayo como se mencionó en la sección 6.3.1, es época de estiaje en la zona. Esto disminuye la concentración de metales en los cuerpos de agua (Holmes, 1996).

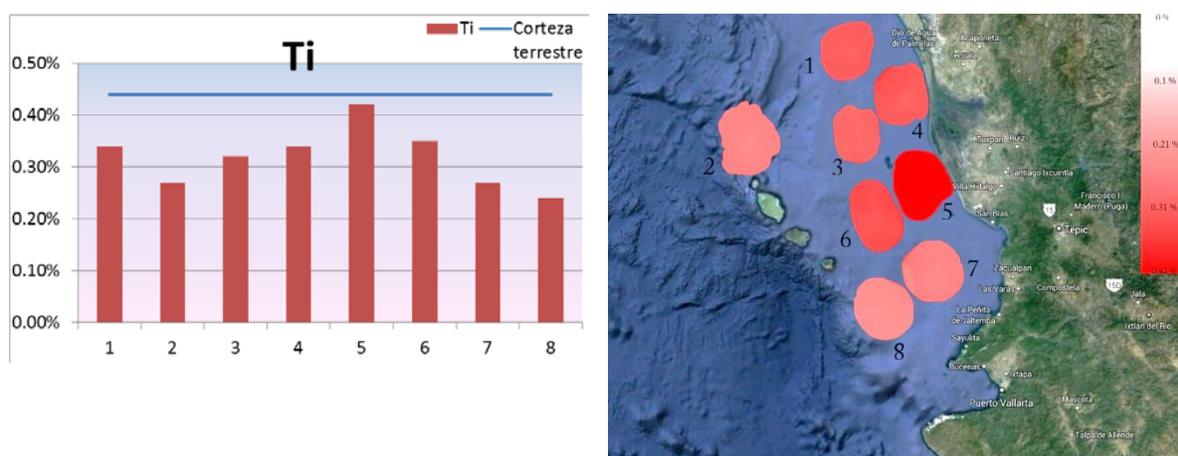


Figura 8-12 Gráfica y mapa de distribución de Ti en fase fina.

### 8.5.1.4 Manganeso

Oligoelemento importante para la fotosíntesis oxigénica de plantas. Su presencia nos puede guiar para identificar zonas con una alta actividad fotosintética (sección 8.10.2). La estación con mayor concentración de Mn es la 5 que se encuentra cerca de la zona costera de Nayarit. El manganeso presenta una alta afinidad a la fase granulométrica “limos y arcillas”, con un tamaño de partícula menor a 62.5 micras. En este rango de tamaño entran los lodos, que son ricos en micro-



## 8. RESULTADOS.

organismos fotosintéticos, dato que concuerda debido a que la estación 5 es la que presenta un mayor porcentaje de limos y arcillas en todo el estudio. Probablemente esa es la razón de la mayor concentración de Mn, además de su cercanía con la zona litoral de la república y poca profundidad (25 m) para que exista la proliferación de microorganismos fotosintéticos.

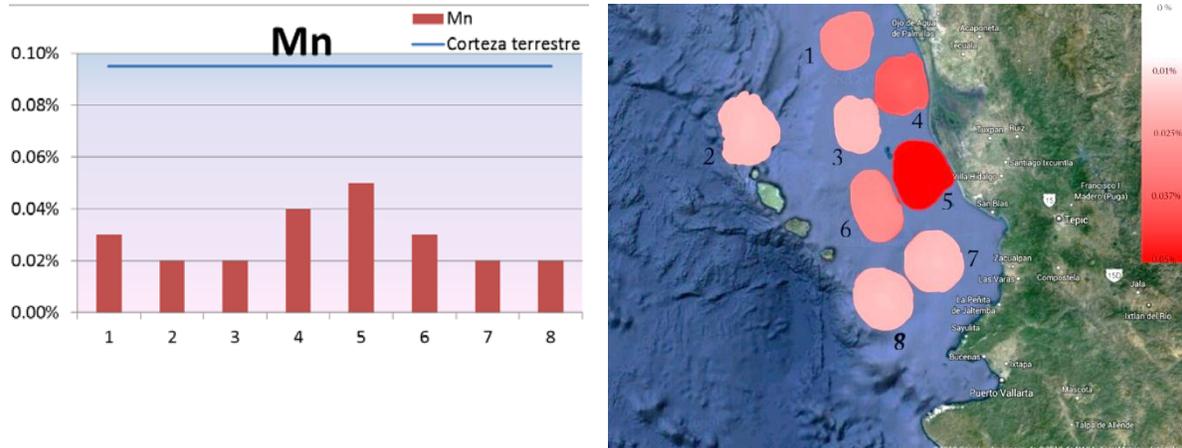


Figura 8-13 Gráfica y mapa de concentraciones de Mn en fase fina.

### 8.5.1.5 Hierro

Es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre. En cuanto a metales se refiere, se ubica solo detrás de aluminio en abundancia. Es uno de los elementos mayoritarios determinados en la zona de estudio. La abundancia reportada por Taylor en la corteza es de 5.6 %. Los valores en la fase fina se encuentran debajo de este porcentaje de nuevo probablemente a la época del año en que se tomaron las muestras. En la época de verano la biota realiza procesos metabólicos distintos a la época de lluvias provocando una disminución en la concentración de Fe depositado en el fondo marino.

La estación 5 es la de mayor concentración de Fe pero aún debajo del valor de abundancia en la corteza. Al encontrarse en una zona cercana a la costa litoral, presenta mucha actividad metabólica, esta puede ser la razón principal de la mayor concentración. Las demás estaciones presentan valores de concentración similares con valores más bajos de Fe para la estación 2 y la 8. En la figura 8-12 se



## 8. RESULTADOS.

puede observar que son las estaciones que se ubican más alejadas de la costa mexicana las que presentan valores diluidos de Fe.

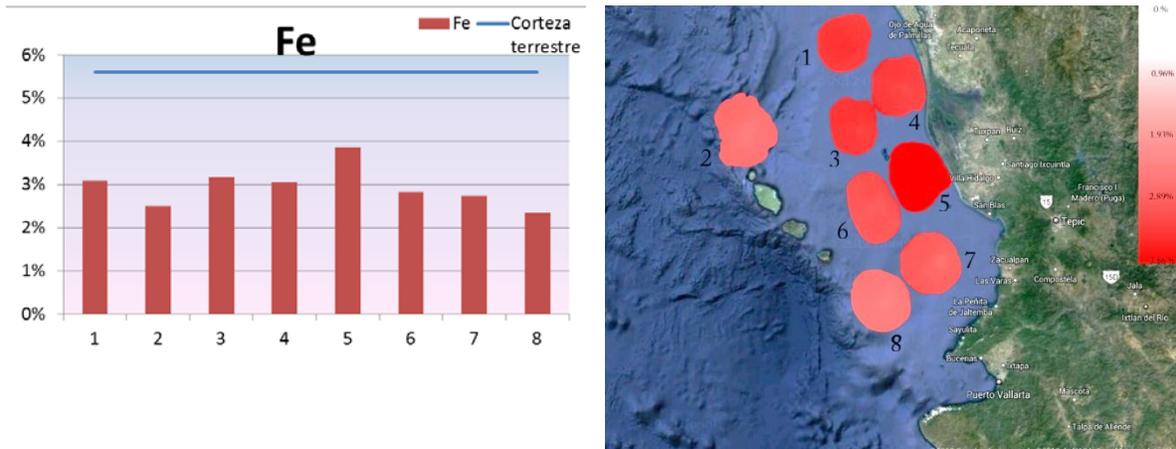


Figura 8-14 Gráfica y mapa de concentraciones de Fe en fase fina

### 8.5.1.6 Cobre

La principal característica de este elemento es su conductividad eléctrica. Además de que participa en el proceso de la fotosíntesis en plantas y animales es elemento esencial en procesos sanguíneos. Las estaciones 2 y 7 sobresalen del resto sin llegar a niveles peligrosos, ya que no rebasan la concentración en la corteza terrestre. Concuerdan los valores con la determinación de conductividad eléctrica presentada en la sección 8.2. Los valores de conductividad de estas estaciones son de los más altos junto con la estación 8. En la cual probablemente la alta conductividad eléctrica se deba a la presencia de mayor concentración de materia orgánica. El valor más bajo fue la estación 5, en la cual el cobre no se encuentra depositado en gran medida, sino que debe estar en suspensión o en los organismos bioacumulado.



## 8. RESULTADOS.

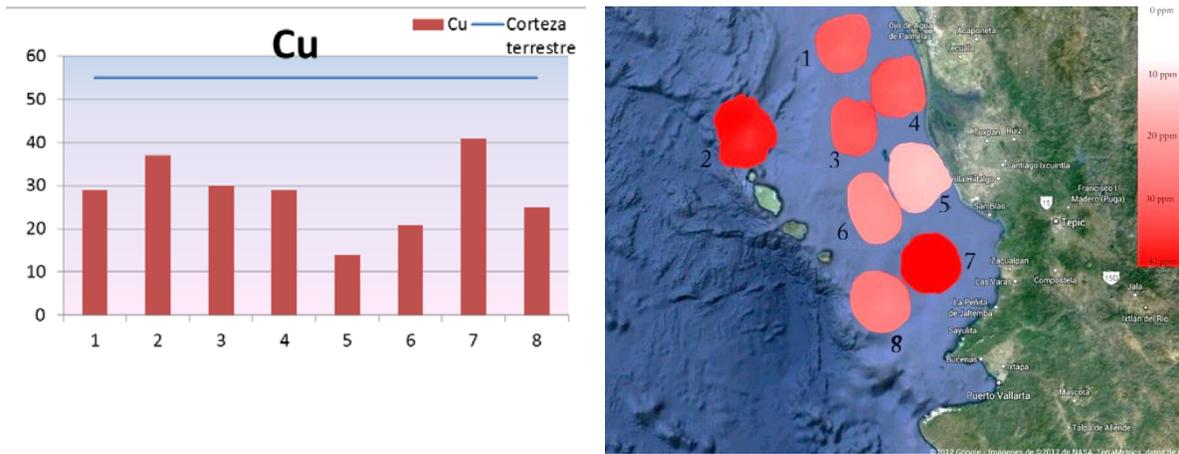


Figura 8-15 Gráfica y mapa de concentraciones de Cu en fase fina.

### 8.5.1.7 Zinc

Elemento muy común en enzimas para la formación de proteínas y ácidos nucleicos. Activa al menos a 100 tipos distintos de enzimas metabólicas. El Zinc se encuentra en concentraciones apreciables en organismos que habitan en los pisos oceánicos. Organismos tales como ostras, moluscos y una gran cantidad de bentos.

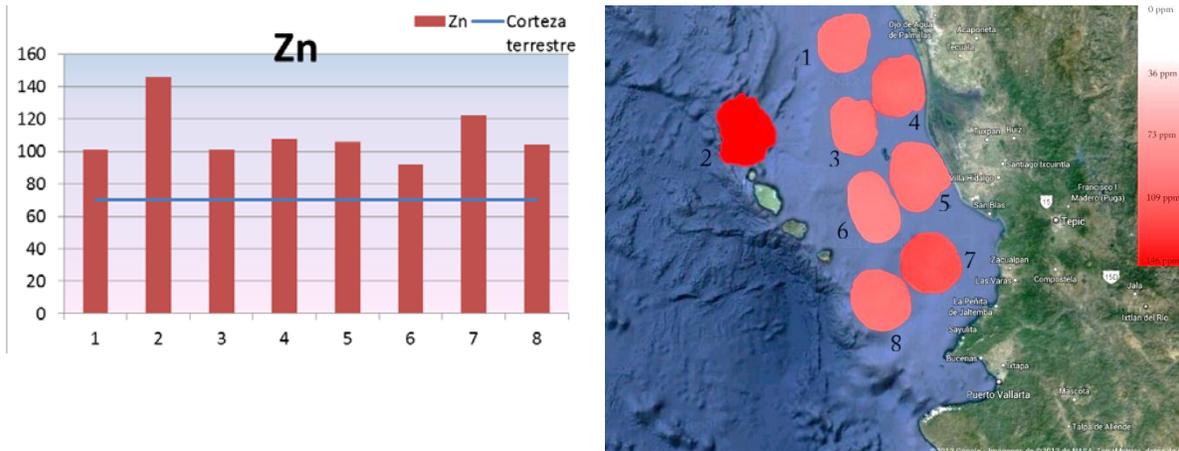


Figura 8-16 Gráfica y mapa de concentraciones de Zn en fase fina.

La estación 2 es la de mayor concentración de zinc, seguida de la estación 7. Otros elementos asociados a la presencia de bentos son el Cu y el Br. Estos tres elementos presentan una alta afinidad. Aseveración que se comprueba en la



## 8. RESULTADOS.

tabla 8-7, ya que estas mismas estaciones presentan valores de 37 ppm y 41 ppm respectivamente. En cuanto al bromo, en la sección 8.5.2.10 se reportan las concentraciones en la fase total.

### 8.5.1.8 Níquel

La mayoría de las hidrogeñas contienen níquel. Es un elemento que se encuentra en nivel traza en los organismos vivos, pero concentraciones elevadas se convierten en un serio peligro toxicológico. La zona del pacífico mexicano estudiada no rebasa el nivel promedio de la corteza terrestre, por lo que no se considera un peligro. En la sección 8.9.1 se tratará a detalle el nivel de peligrosidad al realizar el cálculo del factor de enriquecimiento.

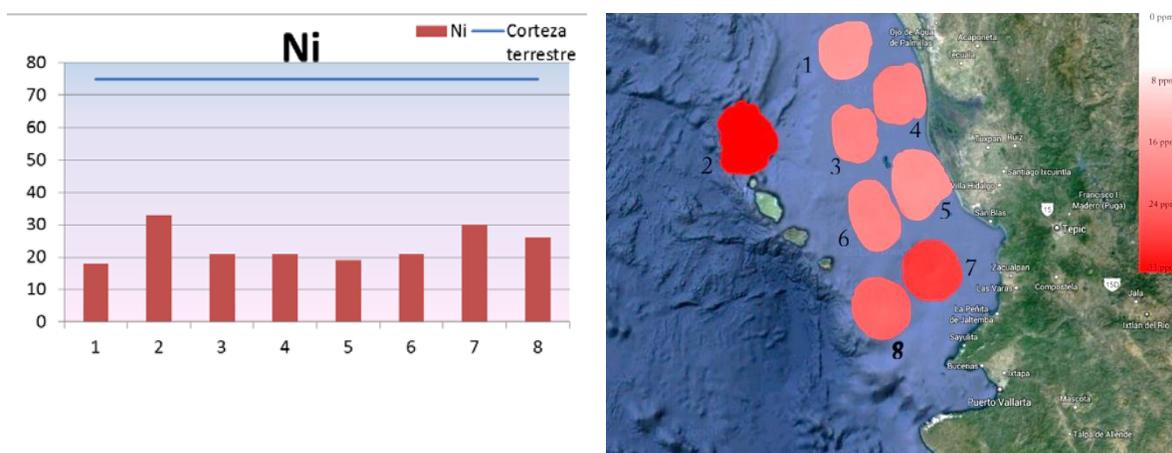


Figura 8-17 Gráfica y mapa de concentraciones de Ni en fase fina.

La estación 2 tiene la concentración mas alta de Ni, sin llegar a ser contaminante. En general la zona del pacífico central mexicano no presenta concentraciones de Ni de consideración. Los valores van de 18 ppm a 33 ppm. Observando el mapa de distribución nos damos cuenta que la parte concerniente a Sinaloa tuvo las concentraciones más bajas. A medida que nos vamos acercando a la zona de Nayarit y Jalisco, las concentraciones se elevan. El Ni generalmente va asociado con otros elementos contaminantes como son el Cu y Pb. En la tabla 8-7, se puede ver que las concentraciones de los tres elementos conservan esta relación



## 8. RESULTADOS.

casi lineal en especial con el cobre.

### 8.5.1.9 Galio

El galio es un elemento conservativo de no mucha abundancia en el ambiente. En la corteza terrestre se encuentra en un promedio de 19 ppm. Es un sólido de bajo punto de fusión, por lo que no es muy estable. Esa fue la principal razón por la que no se utilizó como elemento de referencia para el cálculo de índices geoquímicos de acumulación ambiental, aunado a su baja concentración que apenas superaba el límite de detección del equipo. Valores de concentración cercanos al límite de detección, acarrea un error mayor.

El rango de concentraciones es de 12 a 20 ppm. En el mapa se observa que a medida que nos alejamos de la costa, los valores de galio disminuyen.

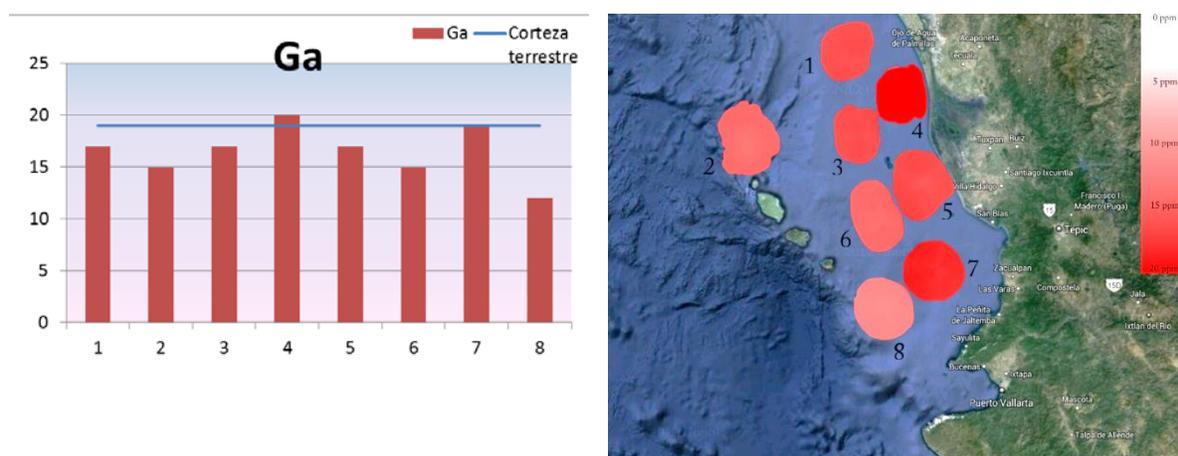


Figura 8-18 Gráfica y mapa de concentraciones de Ga en fase fina

### 8.5.1.10 Plomo

El plomo no es un elemento esencial para ningún proceso realizado por los seres vivos, pero se encuentra de manera natural en el ambiente. El valor en la corteza terrestre medido en 1979 es de 12.5 ppm. Con el aumento en el uso de combustibles fósiles no refinados, se dio un aumento en los niveles de plomo en ambientes cercanos a los asentamientos humanos. Altos niveles de plomo se



## 8. RESULTADOS.

vuelven muy tóxicos. Todas las estaciones se encuentran por encima del valor reportado por Taylor. En especial la estación 1, que es la más cercana al río Bahuarte, tiene una concentración de plomo de 60 ppm. Esto es 480 % arriba del valor de la corteza. La zona del pacífico mexicano analizada muestra claramente influencia antropogénica importante tanto en el ámbito turístico, pesquero y naval.

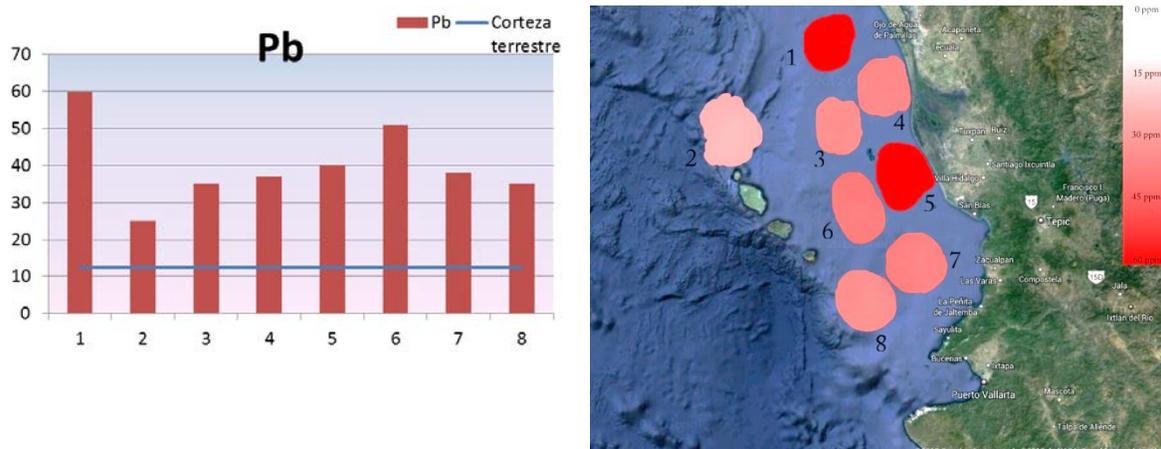


Figura 8-19 Gráfica y mapa de concentraciones de Pb en fase fina

Sobresalen las estaciones 1 y 6 con concentraciones arriba de 50 ppm. La estación 1 que fue la más elevada, tiene la menor concentración de carbono orgánico y poca profundidad. En lugares con mayor profundidad, la concentración de plomo disminuye (Del-Aguila, et al., 2005).

### 8.5.1.11 Análisis de la fase fina

A manera de resumen se sintetizan los principales valores (máximos y mínimos) para cada elemento, así como un promedio con desviación estándar.



## 8. RESULTADOS.

Tabla 8-8. Intervalo de concentración de metales mayoritarios y traza con carbonatos en la zona central del pacífico mexicano (fase fina).

	Rango	Máximo	Mínimo	Promedio
<i>K</i>	1.2 – 2.11 %	Est. 5	Est. 8	1.72± 0.37%
<i>Ca</i>	0.7 – 11.8 %	Est. 6	Est. 7	5.12± 3.75%
<i>Ti</i>	0.24 – 0.420 %	Est. 5	Est. 8	0.32± 0.06%
<i>Mn</i>	0.01 – 0.05 %	Est. 5	Est. 8	0.03± 0.01 %
<i>Fe</i>	2.350 – 3.86 %	Est. 5	Est. 8	3.00±0.47 %
<i>Ni</i>	19 – 33 mg/Kg	Est. 2	Est. 5	24± 5.5mg/Kg
<i>Cu</i>	14 – 41 mg/Kg	Est. 7	Est. 5	28± 8.5mg/Kg
<i>Zn</i>	92 – 146 mg/Kg	Est. 2	Est. 6	110± 16.8mg/Kg
<i>Ga</i>	12 – 20 mg/Kg	Est. 4	Est. 8	17± 2.5mg/Kg
<i>Pb</i>	25 – 60 mg/Kg	Est. 1	Est. 2	40± 10.75mg/Kg

El intervalo de concentración de potasio en la zona de estudio vario muy poco encontrando máximo en la estación 5, que se ubica cerca de zona litoral, y mínimo en la estación 8. La desviación estándar mostrada en la tabla 8-8 evidencia muy poca variación entre los valores sin importar su ubicación geográfica, por lo que podemos considerar que la zona presenta una concentración característica promedio de  $1.72 \pm 0.37$  % de K.

El contenido de Ca en los sedimentos osciló de 0.7 % a 11.7 % con un promedio de 5.1%, que sobrepasó el valor de referencia (4.15%) de la corteza continental (Taylor, 1979). La presencia de Ca va directamente asociada a la cantidad de carbonatos presentes en el sedimento. Casi la totalidad de carbonatos están asociados a Ca en la fase fina. Una estación destaca con un porcentaje de 11.8 %, la estación 6. Zona no muy cercana al litoral, pero en área de bajo flujo de agua por su ubicación en la parte intermedia de la costa del pacífico continental y el archipiélago de las islas Marías. La alta concentración de calcio sugiere un



## 8. RESULTADOS.

---

aporte biogénico importante gracias a la biodiversidad presente. El valor mas bajo se dio en la estación 7 con una profundidad de 359 m, mostrando poco aporte biogénico.

En la zona norte, las estaciones 1, 3 y 4, tienen concentraciones similares en el rango de 6.5-7 %. Acorde a su cercanía y profundidad (30 a 55 m), lo que nos indica coherencia de datos.

El titanio mostró la variación mas baja para las distintas estaciones. Esto concuerda con resultados presentados por (Del-Aguila, et al., 2005), que lo considera como elemento conservativo para el cálculo del FE e  $I_{geo}$ . De manera análoga, se considerará al Ti como elemento de normalización para el cálculo de los parámetros geoambientales en el presente estudio.

El plomo presentó un valor de 60 ppm en la estación 1 la cual se encuentra ubicada en la desembocadura del río Baluarte en el estado de Sinaloa. Las descargas agrícolas, urbanas y turísticas de la zona pueden elevar la cantidad de plomo sedimentado.

De acuerdo con las concentraciones promedio obtenidas se pueden ordenar de la siguiente manera:

Ca>Fe>K>Ti>Mn>Zn>Pb>Cu>Ni>Ga.

Siendo los principales componentes de origen biogénico y litogénico.

### 8.5.2 Fase total

El grupo de muestras que se utilizó para analizar la llamada "fase total" fue determinado en polvo, por el equipo de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva del Laboratorio de Química Inorgánica y Nuclear de la Facultad de Química de la UNAM. Se utilizó el estándar S15 como patrón de comparación para la corrección Compton. También se muestran los límites de detección reportados para el equipo.



## 8. RESULTADOS.

Tabla 8-9. Resultados de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva para el estándar de suelo S15.

	Intensidad (cuentas)	Concentración Reportada (NIST)	Límite de detección	Corteza continental <sup>1</sup>
<i>K</i>	166	1.43 %	0.7 %	2.09 %
<i>Ca</i>	2607	7.06 %	0.2 %	4.2 %
<i>Ti</i>	595	0.47 %	0.05 %	0.44 %
<i>Mn</i>	134	0.06 %	0.02 %	0.095 %
<i>Fe</i>	26681	3.45 %	150 ppm	5.6 %
<i>Cu</i>	183	106 ppm	16 ppm	55 ppm
<i>Zn</i>	1939	750 ppm	33 ppm	70 ppm
<i>Pb</i>	564	327 ppm	16 ppm	12.5 ppm
<i>Sr</i>	2966	352 ppm	11 ppm	375 ppm
<i>Br</i>	583	67 ppm	10 ppm	2.5 ppm

Incoherente 2181

<sup>1</sup> (Taylor, 1979)

Las muestras de sedimentos marinos se contaron por un lapso de 3000 segundos buscando datos más fidedignos al aumentar el número de cuentas detectadas. La tabla 8-10 muestra concentraciones incluyendo al Br, que no se presenta en la fase fina por la falta de estándar apropiado de comparación.

## 8. RESULTADOS



Tabla 8-10. Concentraciones de componentes mayoritarios y traza para sedimentos marinos del pacífico mexicano por FRX-ED. Fase total con carbonatos.

	K (%)	Ca (%)	Ti (%)	Mn (%)	Fe (%)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Sr (ppm)	Br (ppm)
Est. 1	b.l.d.	7.47	0.28	b.l.d.	2.55	67	120	88	476	853
Est. 2	1.93	1.97	b.l.d.	b.l.d.	2.24	74	117	b.l.d.	192	525
Est. 3	2.20	6.38	0.24	b.l.d.	3.38	b.l.d.	92	52	315	223
Est. 4	2.14	18.12	b.l.d.	b.l.d.	3.13	b.l.d.	101	b.l.d.	947	124
Est. 5	2.36	5.80	0.36	1.05	3.92	b.l.d.	110	b.l.d.	449	103
Est. 6	1.61	13.14	0.23	b.l.d.	1.82	b.l.d.	49	96	592	84
Est. 7	1.65	1.90	0.29	b.l.d.	2.46	82	84	63	200	617
Est. 8	1.72	2.26	0.32	b.l.d.	2.89	63	98	b.l.d.	192	719
Est. 9	2.32	1.29	0.46	b.l.d.	3.91	b.l.d.	136	b.l.d.	248	212
Est. 10	2.40	1.29	0.45	b.l.d.	4.20	54	142	133	271	133

b.l.d.= Bajo el límite de detección.



## 8. RESULTADOS

Para analizar los sedimentos en su estado natural o en “bruto”, se realizaron sobre las 10 estaciones totales.

### 8.5.2.1 Potasio

El límite de detección del aparato utilizado para la fluorescencia de rayos X de energía dispersiva no fue tan alto como el de la fase fina. En caso de la determinación de potasio en la estación 1 sólo se reportan trazas. Es decir, que se observa una pequeña elevación en el espectro pero no lo suficiente como para que el software incorporado al equipo logre integrar el área bajo la curva. En estos casos, los resultados se reportan como “bajo el límite de detección”. Ninguna estación sobresale en particular. Todas rondan el valor reportado para la corteza terrestre.

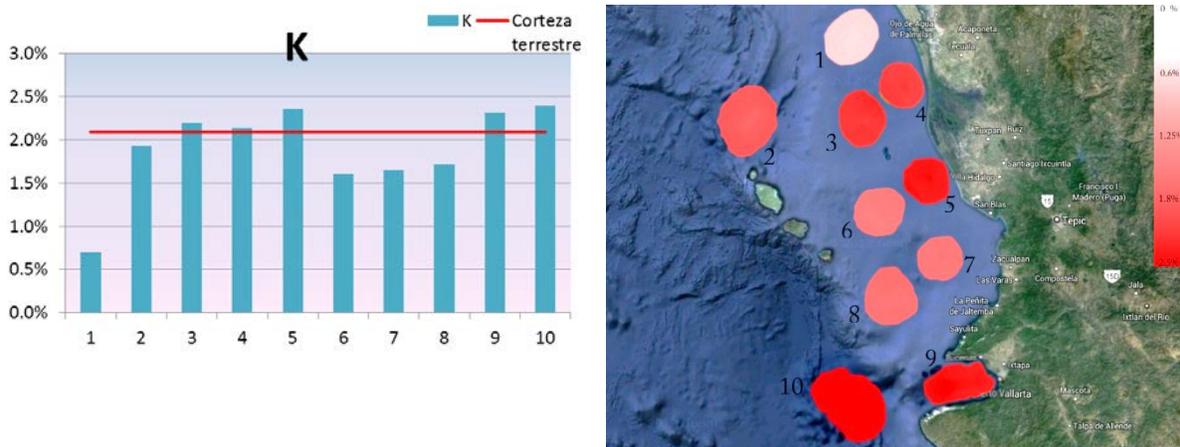


Figura 8-20 Gráfica y mapa de concentraciones de K en fase total.

Las concentraciones más altas fueron las provenientes de las estaciones 5, 9 y 10. Las estaciones 5 y 9 tienen como característica en común su cercanía con la plataforma continental. Una muy cercana a Villa Hidalgo en Nayarit (estación 5) y la otra en plena bahía de Banderas (estación 9). La estación 10 puede ser que por su cercanía con la bahía de Banderas tenga similares valores de concentración.



## 8. RESULTADOS.

### 8.5.2.2 Calcio

Como se mencionó en el análisis de sedimentos en fase fina, el calcio en sedimentos marinos se encuentra asociado con carbonatos. Se puede observar en la figura 8-19, que 5 de las 10 estaciones tienen valores muy bajos de calcio. Esto se puede explicar por un fenómeno característico de los carbonatos en ambientes marinos.

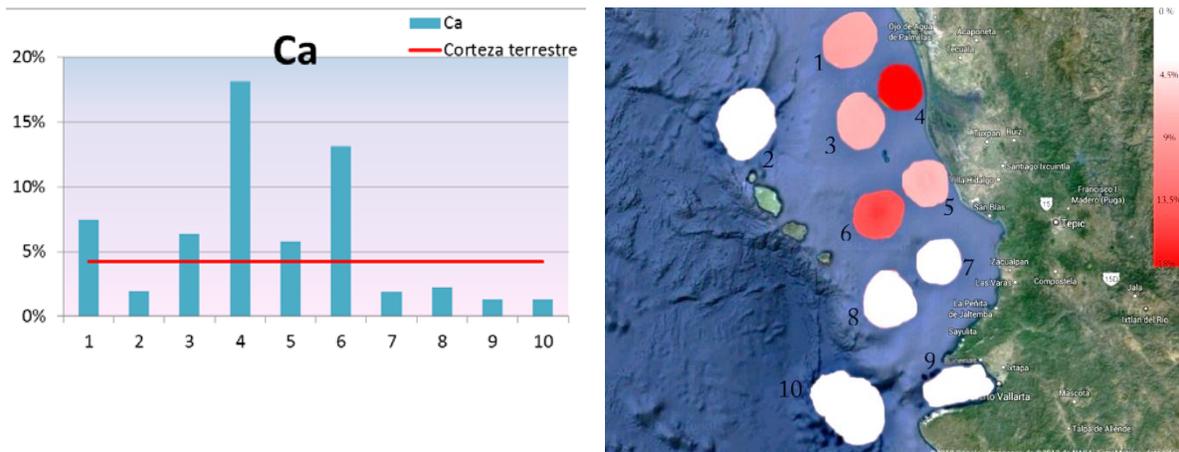


Figura 8-21 Gráfica y mapa de distribución de Ca en fase total.

Sabemos que la solubilidad es una propiedad dependiente de la presión y la temperatura. A medida que vamos a mayores profundidades en el mar, la presión aumenta al soportar una columna de agua de mayor peso y la temperatura disminuye por la poca penetración de rayos solares. Esto provoca que las aguas profundas estén subsaturadas y los carbonatos en los sedimentos se solubilizan. A la profundidad donde ocurre este fenómeno se le conoce como “Profundidad de compensación de carbonatos (PCC)”. En otras palabras es la profundidad en un lugar dado del océano a la cual no existe acumulación neta de carbonato debido al balance entre la tasa de aporte y la tasa de disolución (Honjo & Erez, 1978). La PCC no es la misma siempre. Va a depender de las condiciones de salinidad, temperatura y batimetría del cuerpo de agua. En general la PCC se encuentra más allá del kilómetro de profundidad, pero en algunos casos se alcanza a unos cuantos cientos de metros de profundidad como es el caso de los polos.



## 8. RESULTADOS.

---

En las estaciones 2, 7, 8, 9 y 10. Las concentraciones de Ca son muy bajas. En 4 de estas 5 estaciones la profundidad es elevada, por lo que los carbonatos se disuelven disminuyendo su concentración en sedimentos.

Las estaciones 1, 4 y 6 son a profundidades menores a 100 metros y tienen concentraciones de carbono orgánico elevadas. Como se mencionó en la sección 8.3 las variables de carbono orgánico y carbonatos tienen una relación inversa. A mayor cantidad de carbono orgánico, menor de carbonatos. En estas estaciones valdría la pena realizar la corrección de carbonatos para obtener valores fidedignos de concentraciones.

### 8.5.2.3 Titanio

Como elemento conservativo no presenta cambios abruptos. Todas las estaciones mostraron valores cercanos a la concentración en la corteza terrestre. En la figura 8.20 aparecen dos estaciones con valor de casi cero. Las estaciones 2 y 4 mostraron una pequeña señal indicativa de trazas del elemento, pero no fue posible medirlas con el equipo. En la tabla 8-10 se reportan como “debajo del límite de detección”.

Las estaciones con mayor concentración de Ti fueron las dos últimas. La de mayor valor fue la 9 que se ubica en la bahía de Banderas. La concentración elevada de Ti es posible que se deba al aporte continental que se arrastra de mayor forma por ser una zona turística importante de la república mexicana.

A través del mapa de concentraciones de titanio en la zona podemos concluir que las estaciones más cercanas a la costa son las que tienen un mayor valor de titanio.



## 8. RESULTADOS.

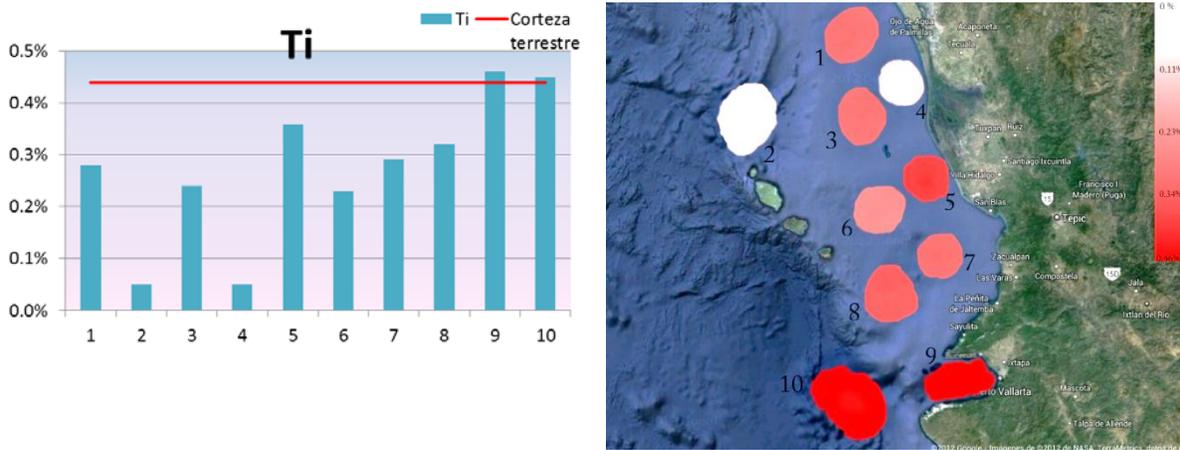


Figura 8-22 Gráfica y mapa de concentraciones de Ti en fase total.

### 8.5.2.4 Manganeso

El manganeso se encuentra en proporción tan pequeña que no pudo ser detectada con éxito por el equipo de fluorescencia del laboratorio de Química Inorgánica y Nuclear de la Facultad de Química de la UNAM.

La única estación que presento resultados detectables fue la 5. La mas cercana a la costa y que se identifica como la zona con mayor actividad fotosintética.

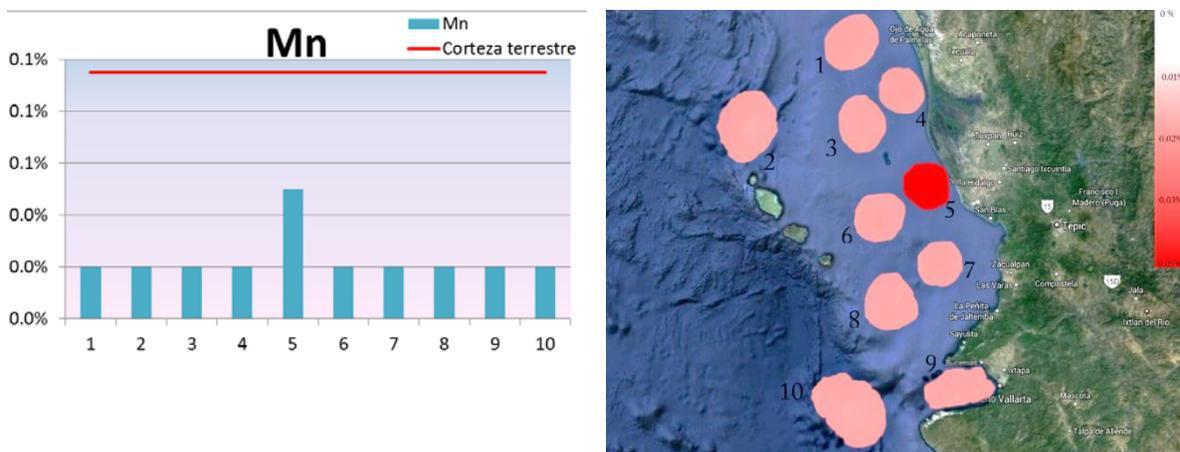


Figura 8-23 Gráfica y mapa de concentraciones de Mn en fase total.



## 8. RESULTADOS.

### 8.5.2.5 Hierro

Las de mayor concentración fueron la 10, 9 y 5 en orden descendente. La estación 5 está ubicada en una zona de alta actividad metabólica al igual que la 9. Son zonas costeras litorales con biota diversa, por lo que la presencia de mayor concentración de micronutrientes para los organismos es entendible.

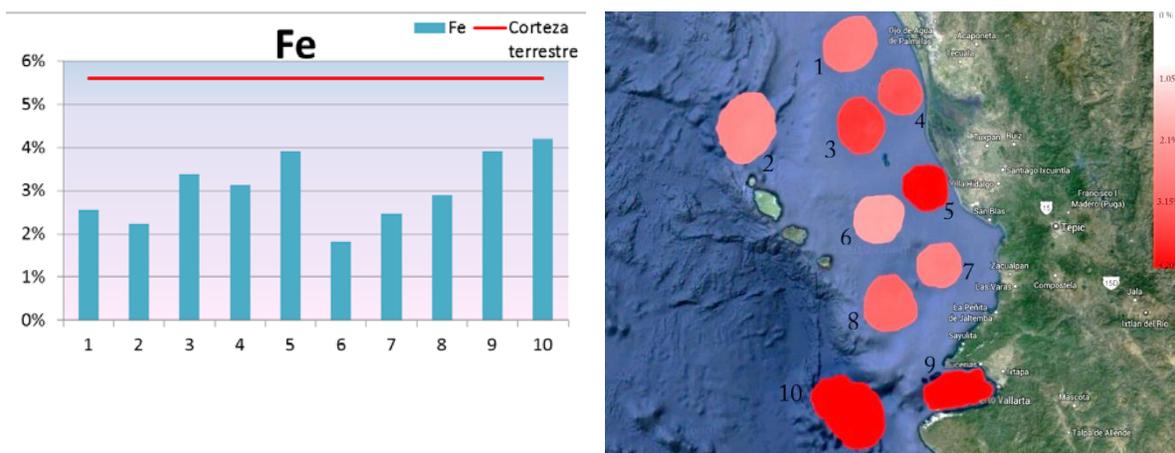


Figura 8-24 Gráfica y mapa de concentraciones de Fe en fase total.

### 8.5.2.6 Cobre

Se detecto cobre en las estaciones: 1, 2, 7, 8 y 10. La 7 con mayor concentración sobrepasando las 80 ppm. El nivel en la corteza es de 55 ppm que es rebasado por las 5 estaciones antes mencionadas. Si bien rebasan la concentración reportada en la corteza, no se encuentra en niveles peligrosos para la biota o para el hombre. En la sección 8.9.1 se ampliará más en cuanto al riesgo de contaminación se refiere. Una característica que comparten estas estaciones es que son de profundidad mayor a 300 metros, excepto la estación 1 que corresponde a solo 55.4 metros, pero que se debe juzgar como un caso especial dada la cercanía al desfogue del río Baluarte.



## 8. RESULTADOS.

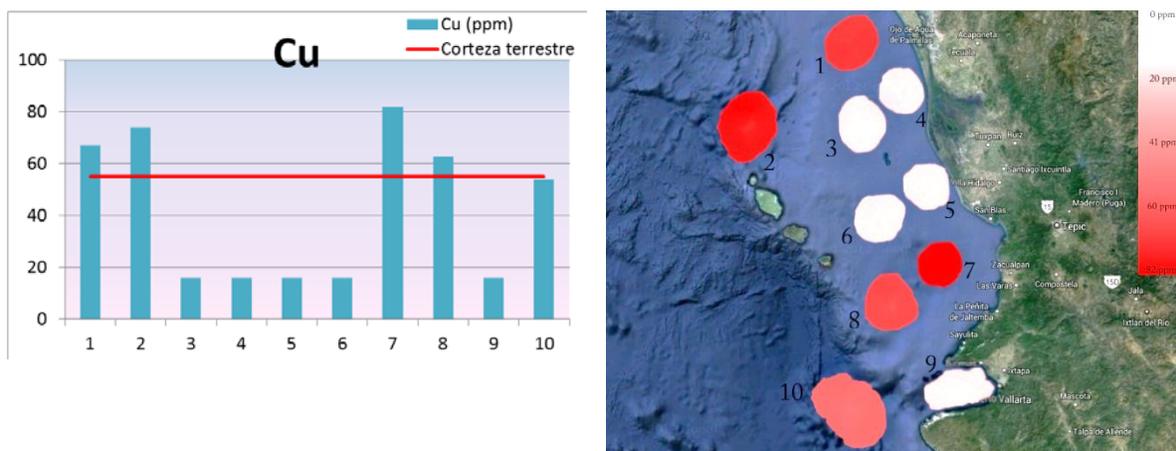


Figura 8-25 Gráfica y mapa de concentraciones de Cu en fase total.

### 8.5.2.7 Zinc

La estación 6 es la que presenta una menor concentración de Zn que como se anotó en secciones anteriores son características de zonas con mas cantidad de organismos bentónicos. La estación 6 esta alejada de la costa con poca profundidad y probablemente zona con corrientes importantes. Es entendible que todas las estaciones presenten valores por encima del valor en la corteza terrestre por la presencia de bentos como las ostras que son organismos que elevan la concentración de Zinc, que en tierra firme no existen.

Estaciones con alta profundidad fueron las que presentaron una mayor concentración, tales como la 9 y 10. Esto nos puede indicar una relación directa entre la concentración de Zinc y la profundidad del cuerpo de agua. Estas asociaciones se analizarán en la sección referente al análisis de componentes principales.



## 8. RESULTADOS.

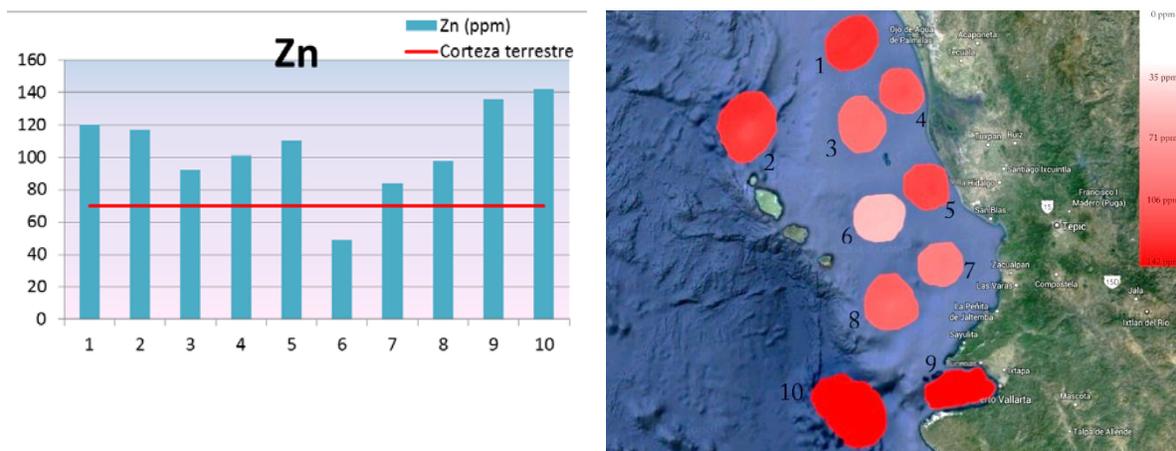


Figura 8-26 Gráfica y mapa de distribución de Zn en fase total.

### 8.5.2.8 Plomo

La estación 10 tiene valores muy elevados a comparación del resto de la zona de estudio. Con 133 ppm rebasa en gran medida los valores de la corteza. Zonas como la estación 1, que se encuentra en la desembocadura del río Baluarte podemos explicar valores de plomo notables, pero la zona 10 no está cercana a la costa ni en una zona turística importante.

La probable explicación por esta alza en la concentración de plomo, puede ser por el fenómeno de deposición atmosférica. En la década de los años 80's y principios de los 90's, los combustibles fósiles contenían cantidades apreciables de plomo en su composición. Los vehículos automotores emitían a la atmósfera plomo que era transportado por viento a distintas zonas incluyendo cuerpos de agua. Con el tiempo las partículas se van depositando hasta el fondo y asociándose a partículas sedimentarias.



## 8. RESULTADOS.

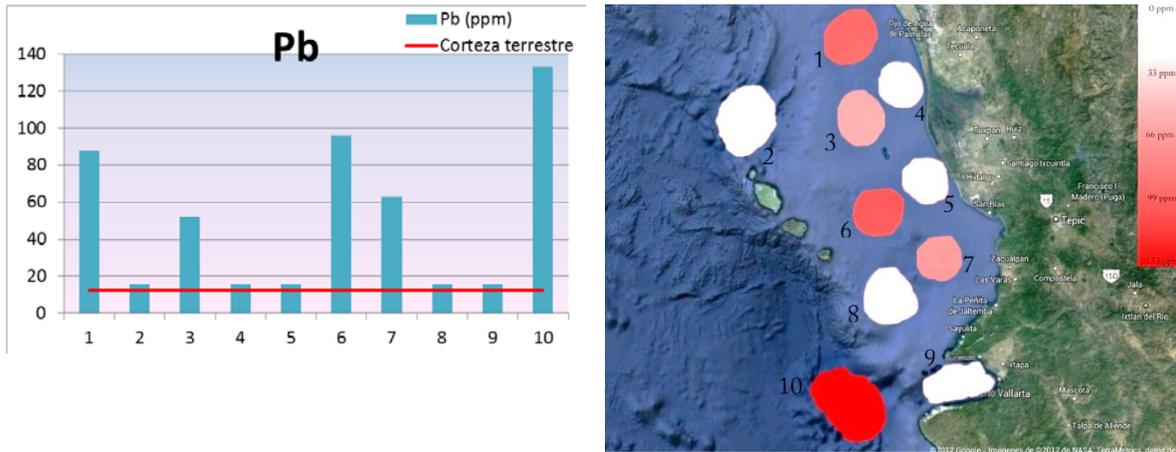


Figura 8-27 Gráfica y mapa de distribución de Pb en fase total.

### 8.5.2.9 Estroncio

El estroncio es un elemento que se encuentra de manera natural con una amplia cantidad de isótopos radiactivos. Al ser muy similar al calcio, se asocia a moléculas orgánicas e inorgánicas en los sitios ocupados por el calcio. Si bien no es contaminante por si mismo, en algunos de sus isótopos radiactivos si puede llegar a causar graves afectaciones a los ecosistemas. El nivel de estroncio en la estación 4 es elevado, pero como se repite, no necesariamente se puede considerar peligroso. Un estudio posterior determinando abundancia isotópica puede resultar interesante en busca de  $Sr^{90}$ .

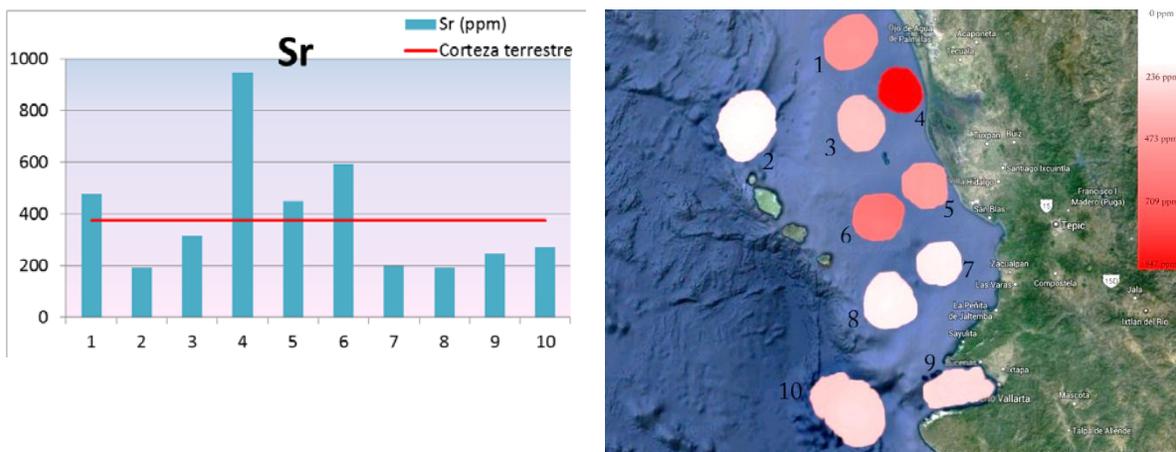


Figura 8-28 Gráfica y mapa de concentración de Sr en fase total.



## 8. RESULTADOS.

### 8.5.2.10 Bromo

El bromo se encuentra en aguas de mar en forma de sales. La mayor cantidad del bromo en el planeta se ubica en el mar. Es por eso que la cantidad de bromo en sedimentos marinos es mucho mayor que la encontrada en la corteza. También el bromo se bioacumula en organismos que por transporte en las distintas cadenas tróficas o por deposición de desechos, terminan en los fondos oceánicos. El bromo no se considera un elemento tóxico en forma iónica pero si en forma elemental. Dada su alta reactividad en forma molecular, casi no se encuentra.

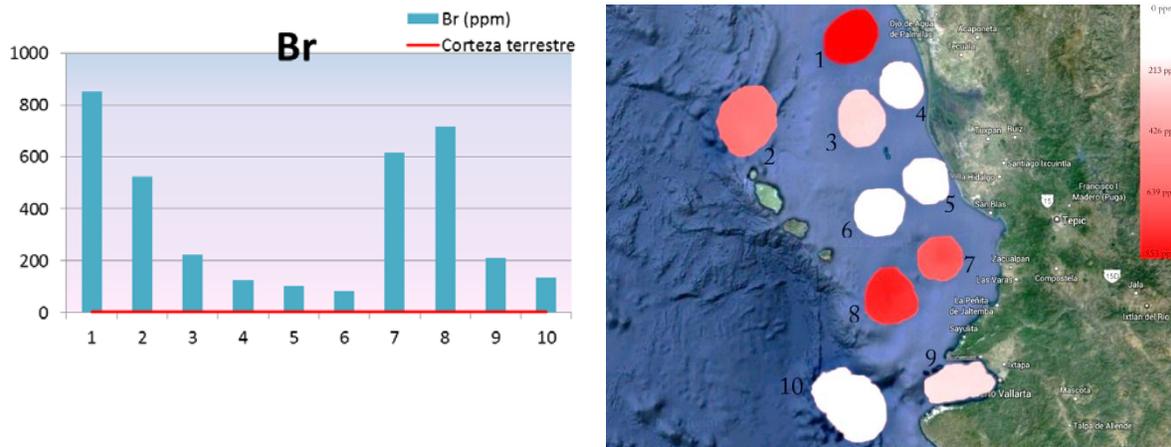


Figura 8-29 Gráfica y mapa de distribución de Br en fase total.

### 8.5.2.11 Análisis de la fase total

El comportamiento de los metales en sedimentos se mantiene dentro de niveles normales excepto el Br, Sr y Pb. El K no presenta mucha variación entre las estaciones, por lo que puede considerarse característica para toda la región central del pacífico con un valor promedio de 1.9 %. Dadas las distintas batimetrías en las estaciones, el calcio presenta un amplio rango de concentraciones. Esto debido al fenómeno mencionado en la sección 8.5.2.2. El Pb eleva el promedio de la zona las estaciones 1, 6 y 10, sobretudo esta última con un valor casi 90 % mayor a la estación de menor concentración.

El Sr es un elemento que no tiene relaciones isotópicas muy bien definidas.



## 8. RESULTADOS.

Dependen de la ubicación geográfica, condiciones de altitud y composición de suelos. Valores altos de este elemento no necesariamente significan riesgo de contaminación, así como tampoco bajas concentraciones lo excluyen de esta.

El orden de los elementos para la fase total fue:



La distribución espacial de la concentración de Fe indica que los sedimentos tienen una distribución muy homogénea (Rodríguez-Meza, 2004), con excepción de la estación 8 que se caracteriza por una profundidad de 457 mbnm. Mientras que la estación 4 se caracteriza por un bajo contenido de Fe, con la presencia de magnetita y montmorilonita y rico en Ni, Cu y Zn (véase sección 8.6). El Br es un elemento que se asocia a materia orgánica con facilidad. Además de relación con Cu. Se encontraron valores altos en todas las estaciones y rebasando por mucho la concentración media en la corteza terrestre.

**Tabla 8-11. Intervalo de concentración de metales mayoritarios y traza con carbonatos en la zona central del pacífico mexicano (fase total).**

	Rango	Máximo	Mínimo	Promedio
<i>K</i>	0.7 – 2.4 %	Est. 10	Est. 1	1.9 ±0.005%
<i>Ca</i>	1.29 – 18.12 %	Est. 4	Est. 9 y 10	5.96 ±0.06%
<i>Ti</i>	0.05 – 0.46 %	Est. 9	Est. 3 y 4	0.273 ±0.001%
<i>Mn</i>	0.02 – 0.05 %	Est. 5	Est. 8	0.023 ±9.5x10 <sup>-5</sup> %
<i>Fe</i>	1.82 – 4.20 %	Est. 10	Est. 6	3.05 ±0.008%
<i>Cu</i>	16 – 82 mg/Kg	Est. 7	Est. 5	42 ±28.3mg/Kg
<i>Zn</i>	49 – 142 mg/Kg	Est. 10	Est. 6	105 ±27mg/Kg
<i>Pb</i>	16 – 133 mg/Kg	Est. 10	Est. 2	51.2 ±42.7mg/Kg
<i>Sr</i>	192 – 947 mg/Kg	Est. 4	Est. 2 y 8	388 ±239mg/Kg
<i>Br</i>	84 – 853 mg/Kg	Est. 6	Est. 1	349 ±28.7mg/Kg



## 8. RESULTADOS.

### 8.6 Difracción de rayos X

De los análisis por difracción de Rayos X de las 10 muestras de sedimento superficial, se han identificado 14 especies minerales (Tabla 8-12), correspondientes a los grupos de los Óxidos, Halogenuros, Carbonatos y Silicatos (Inosilicatos, Filosilicatos y Tectosilicatos). Estas especies minerales se diferencian según sus grados de concentración y distribución en los sedimentos superficiales de la plataforma submarina, observándose dos modos de dispersión, en un caso se indica concentración en determinadas áreas y en otro caso de dispersión aleatoria.

**Tabla 8-12. Relación de minerales identificados en las distintas estaciones de muestreo para sedimentos marinos superficiales.**

Mineral	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est 6	Est 7	Est 8	Est 9	Est 10
Cuarzo	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Albita	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Calcita	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Caolinita	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Halita	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Montmorillonita	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Ortoclasa	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Ortoclasa bariana	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Gismondina	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Pirita	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Hematita	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Sanidina	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Albita calciana	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Biotita	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■



## 8. RESULTADOS.

Si ordenamos a las distintas clases de minerales encontradas en la zona del pacífico central por presencia, obtenemos:

Cuarzo > (Caolinita, Halita) > (Albita, Calcita) > (Montmorillonita, Pirita) > (Ortoclasa, Hematita, Albita Calciana, Biotita) > (Ortoclasa bariana, Gismondina, Sanidina).

**Tabla 8-13 Relación de minerales identificados indicando la frecuencia de su ocurrencia por muestra**

Minerales	Presencia	Estaciones
Cuarzo $\text{SiO}_2$	9	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10
Caolinita $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	8	1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10
Halita $\text{NaCl}$	8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
Albita $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	7	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
Calcita $\text{CaCO}_3$	7	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8
Montmorillonita $(\text{Na}, \text{Ca})_{0.3}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	4	2, 3, 5, 10
Pirita $\text{FeS}_2$	4	4, 5, 9, 10
Albita calciana $(\text{Na}_{0.84}\text{Ca}_{0.16})\text{Al}_{1.16}\text{Si}_{2.84}\text{O}_8$	2	9, 10
Ortoclasa $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$	2	9, 10
Biotita $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$	2	9, 10
Hematita $\text{Fe}_2\text{O}_3$	2	5, 6
Sanidina $(\text{K}, \text{Na})(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_8$	1	8
Gismondina $\text{Ca}_2(\text{Si}_4\text{Al}_4)\text{O}_{16} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	1	3
Ortoclasa bariana $(\text{K}, \text{Ba}, \text{Na})(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_8$	1	2

El cuarzo que es uno de los componentes principales de sedimentos es el mineral que se encuentra en casi todas las estaciones excepto la 8. Tiene la característica de ser la zona con la mayor cantidad de materia orgánica. Le sigue en orden de ocurrencia la caolinita que no esta presente en las estaciones 3 y 5 que son de poca profundidad. Halita no se encuentra en las estaciones más al sur (9 y 10), que también son de alta profundidad. Esto sucede también con la albita y calcita, los cuales no están presentes en zonas del sur con alta profundidad. La



## 8. RESULTADOS.

montmorillonita no parece presentar un comportamiento en particular, ya que se encuentra en estaciones con características geográficas, batimétricas y químicas muy dispares. Pirita en las estaciones 4, 5, 9 y 10 nos indica que el mineral se ubica principalmente en zonas cercanas a la plataforma continental. Las estaciones 9 y 10 que comparten características de profundidad y ubicación geográfica, también lo hacen en presencia de albita calciana, ortoclasa y biotita. Fueron las únicas zonas donde se encontraron esos minerales.

### 8.7 Microscopía electrónica de barrido

Como una forma alterna para confirmar los datos obtenidos en el análisis de difracción de rayos X, se analizaron los sedimentos superficiales en un microscopio electrónico de barrido acoplado a un sistema de fluorescencia de rayos X con filamento de W.

A continuación se presentan las imágenes con espectro asociado de los principales minerales y estructuras encontradas.

La Hematita es un compuesto de óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y constituye una importante mena de hierro que en estado puro contiene un 70% de este metal. Las más grandes cantidades de hematita se encuentran en las rocas sedimentarias.

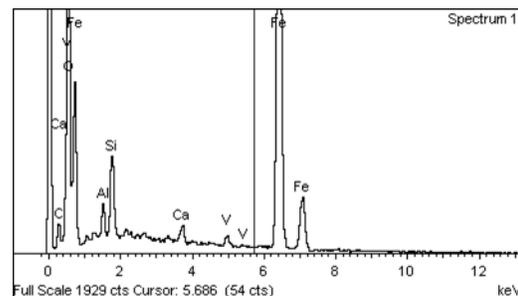
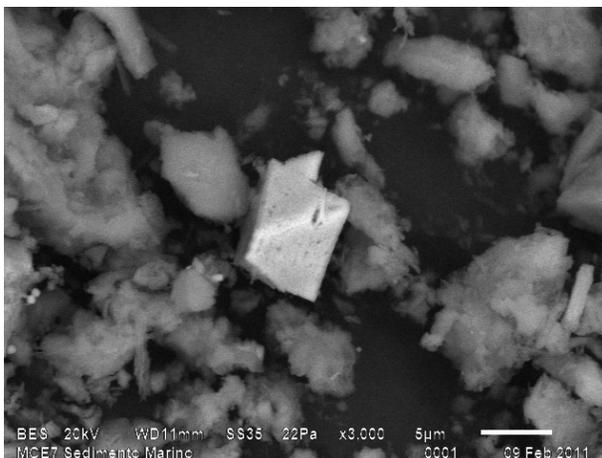


Figura 8-30. Micrografía y espectro de FRX-ED de un cristal de Hematita especular o especularita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) encontrado en la estación 6.



## 8. RESULTADOS.

Las diatomeas son una clase de Algas unicelulares microscópicas, conocidas también como Bacillariophyceae, son uno de los más comunes tipos de fitoplancton. Existen diatomeas que habitan en agua dulce y salada como son los ambientes marinos. Dentro de los bentos se consideran algunos tipos de diatomeas. Tienen un esqueleto de sílice que al morir son depositados en el fondo del océano.

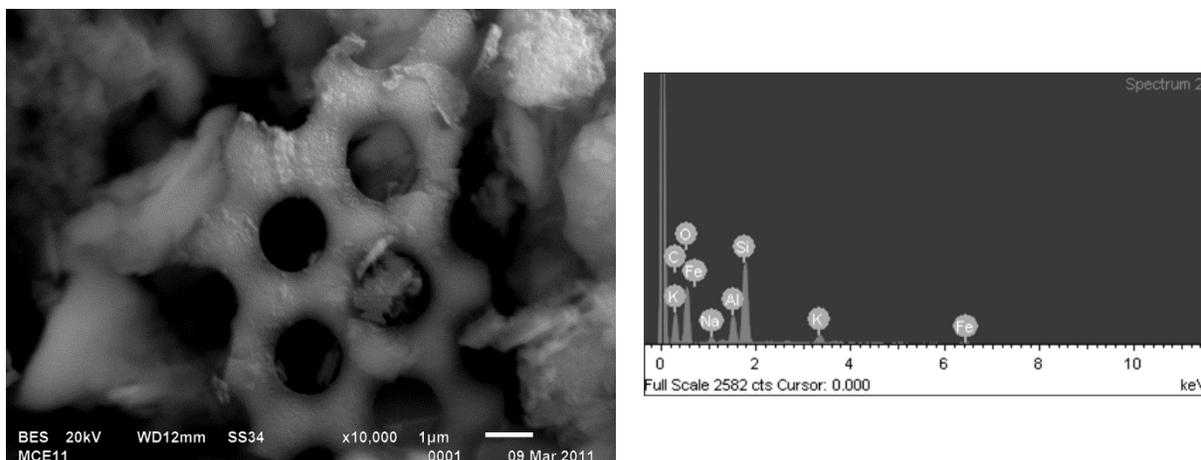


Figura 8 26. Micrografía y espectro de FRX-ED de esqueleto silíceo de diatomeas. Estación 8

En el análisis de fluorescencia de rayos X de la sección **8.5.2** no se detectó el Ba en cantidades apreciables, pero en la búsqueda de estructuras por microscopía electrónica se encontró presente en algunos minerales.



## 8. RESULTADOS.

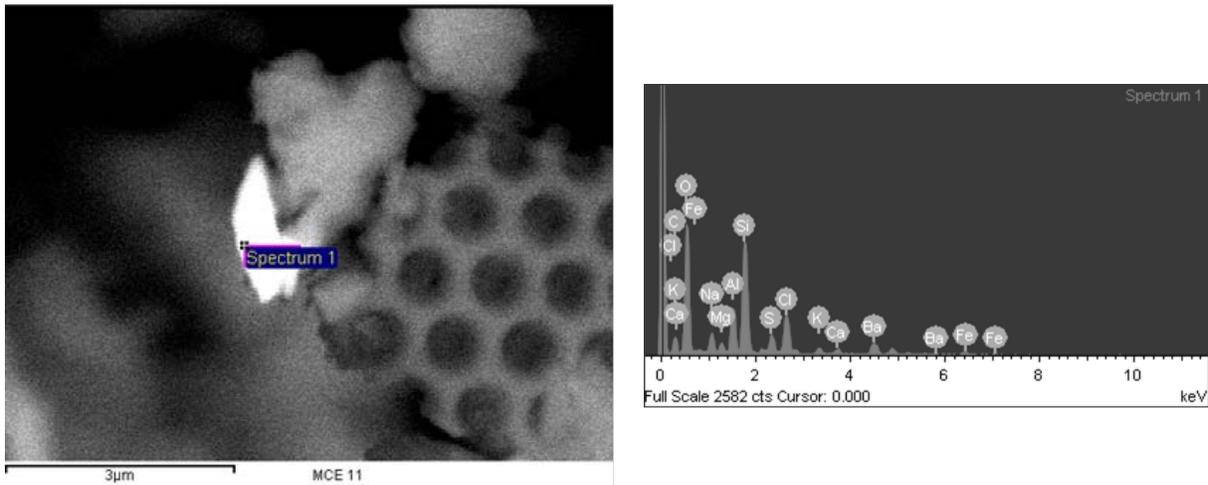


Figura 8-31. Micrografía y espectro de FRX-ED de una ortoclasa Bariana encontrada en la estación 2.

La calcita es de los minerales más comunes en la corteza terrestre. Aproximadamente el 4% en peso son de calcita. En aguas marinas, se encuentra en su mayoría disuelto, pero se llega a depositar en los pisos si las condiciones son propicias.

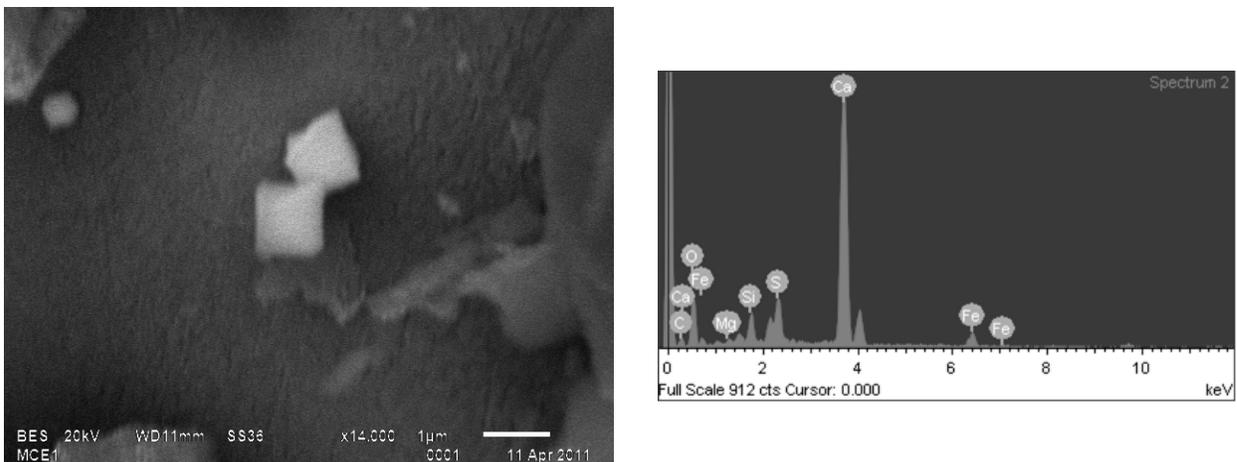


Figura 8-32. Micrografía y espectro de FRX-ED de una calcita encontrada en la estación 1.



## 8. RESULTADOS.

La albita es un mineral del grupo de los Silicatos, subgrupo Tectosilicatos y dentro de ellos pertenece a los feldespatos denominados plagioclasas. Es un aluminosilicato de sodio, que puede llevar calcio o potasio sustituyendo al sodio en la red cristalina, pero por definición de albita debe tener mucho más sodio (más de 90%) que calcio y potasio juntos (menos de 10%).

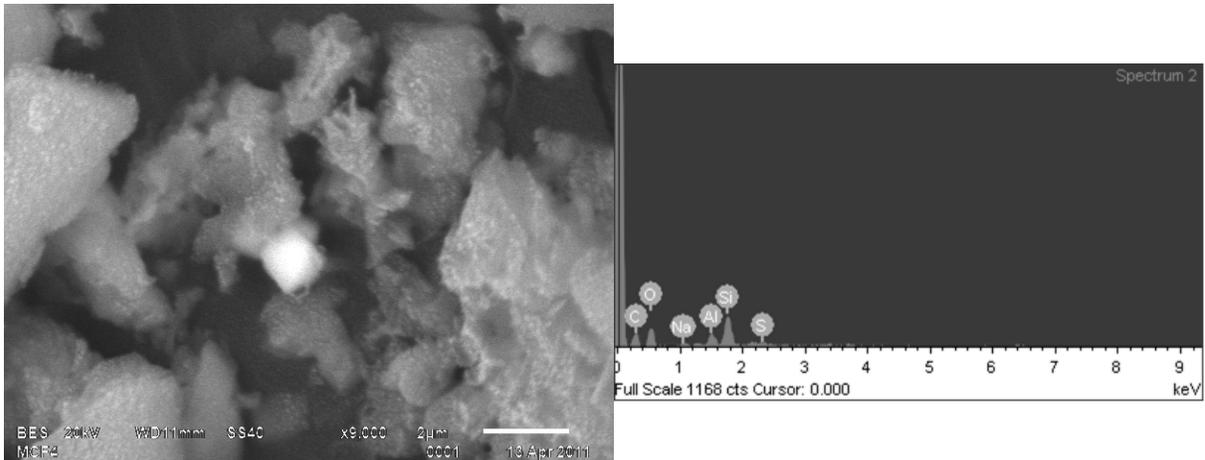


Figura 8-33. Micrografía y espectro de FRX-ED de un cristal de albita encontrada en la estación 4.

Mineral de los más abundantes en la corteza terrestre muy utilizado para la elaboración de artículos de porcelana. En la zona del pacífico estudiada se encuentra de manera mas común en altas profundidades.

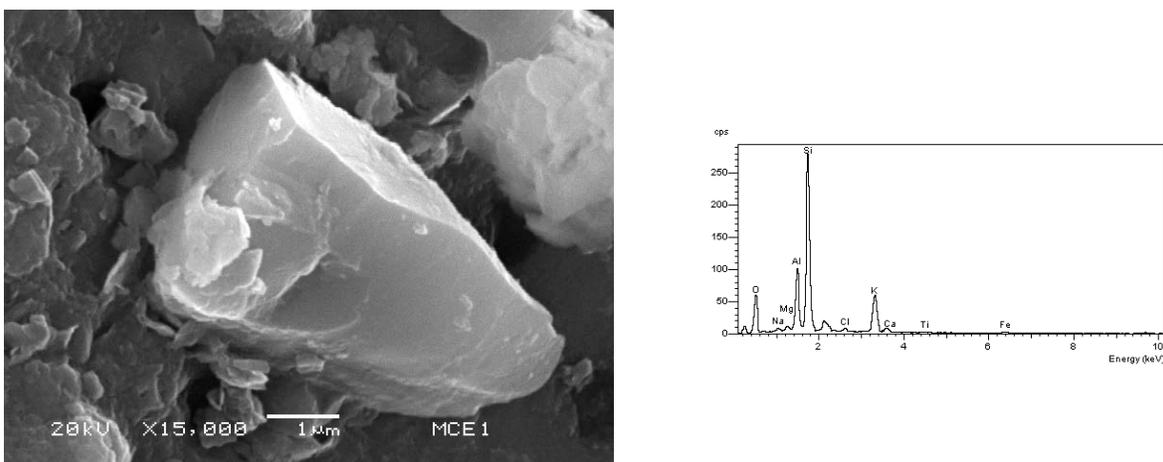


Figura 8-34. Micrografía y espectro de FRX-ED de una ortoclase encontrado en la estación 10.



## 8. RESULTADOS.

Propiedades piezoeléctricas, termoluminiscencia, resonancia y como abrasivo, son de las principales características del cuarzo que lo convierten en uno de los minerales con más aplicaciones.

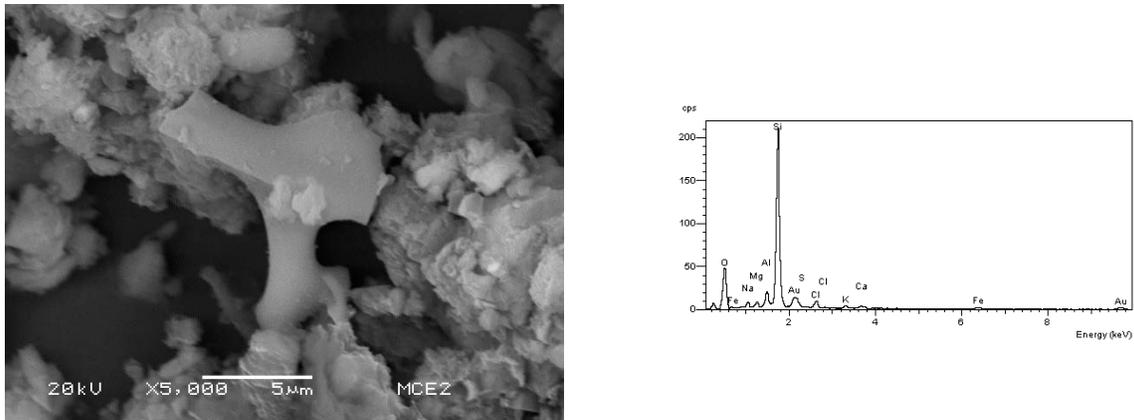


Figura 8-35. Micrografía y espectro de FRX-ED de un cuarzo encontrado en la estación 2.

El llamado oro de los tontos, por su parecido al oro, el Sulfuro de hierro ( $\text{FeS}_2$ ). De estructura cúbica y octaédrica esta presente en sedimentos marinos

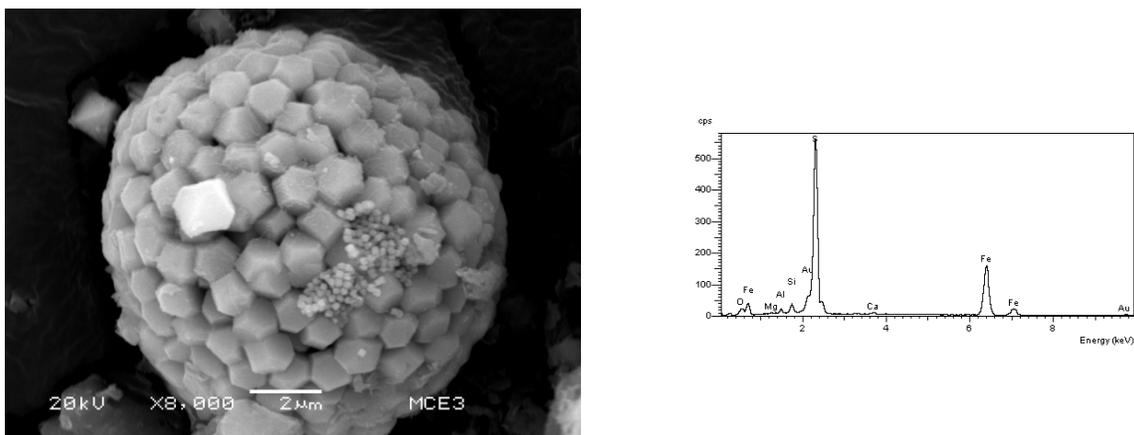


Figura 8-36. Micrografía y espectro de FRX-ED de pirita encontrado en la estación 5.



## 8. RESULTADOS.

Conocida como sal en grano o sal de roca. La halita es la forma mineral del NaCl básico en la alimentación humana. En el agua de mar se encuentra en su mayoría disuelto dándole el carácter “salado” al mar.

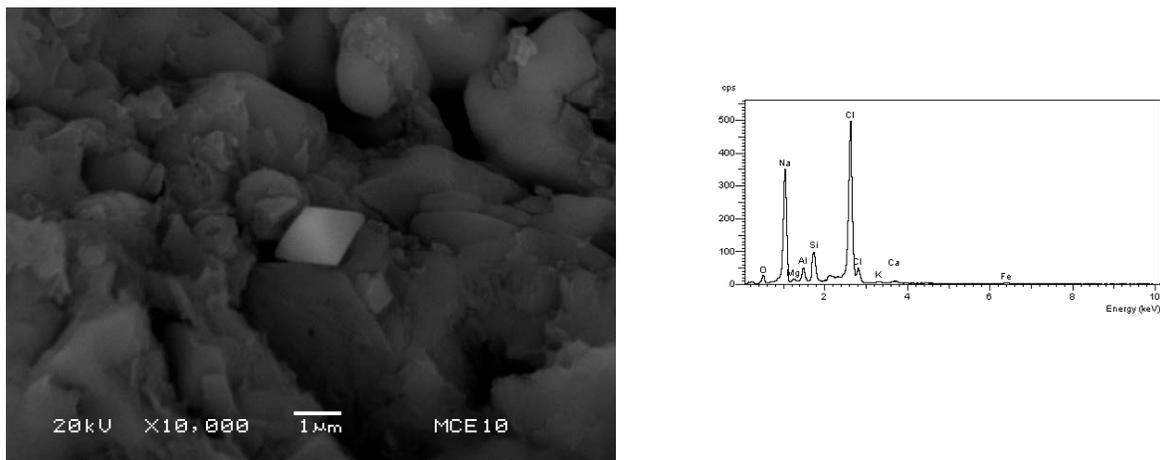


Figura 8-37. Micrografía y espectro de FRX-ED de una halita encontrado en la estación 8.

### 8.8 Corrección de carbonatos

En algunas estaciones con poca profundidad, la cantidad de  $\text{CaCO}_3$  provoca que la concentración medida para cada metal no sea del todo correcta. La PCC (véase 8.5.2.2) no es la misma para todo el cuerpo de agua. El hecho de que exista una menor cantidad de  $\text{CaCO}_3$  sedimentada provoca un efecto de “dilución” en la concentración real de los metales en sedimentos marinos. Para eso realizamos la corrección de carbonatos. En las tablas 8-14 y 8-15 se colocan los datos de concentración sin corrección de carbonatos y con corrección. Se resaltan las estaciones con mayor diferencia entre las concentraciones después de aplicar la corrección.

## 8. RESULTADOS

Facultad de Química. UNAM  
Caracterización geoquímica de sedimentos  
marinos superficiales de Sinaloa a Jalisco  
en el pacífico mexicano



Tabla 8-14. Concentraciones de elementos mayoritarios y traza para sedimentos marinos por FRX-ED para fase fina con corrección de carbonatos.

	% de Carbonatos	Factor De dilución	K (%)		Ca (%)		Ti (%)		Fe (%)		Mn (%)		Ni (mg/Kg)		Cu (mg/Kg)		Zn (mg/Kg)		Ga (mg/Kg)		Pb (mg/Kg)			
			SC	CC	SC	CC	SC	CC	SC	CC	SC	CC	SC	CC	SC	CC								
			Est. 1	9.79	1.10	1.98	2.17	6.41	7.05	0.34	0.37	3.1	3.4	0.03	0.03	18	19.8	29	32	101	112	17	18.7	60
Est. 2	4.26	1.04	1.5	1.56	2.22	2.29	0.27	0.27	2.5	2.57	0.02	0.04	33	34.3	37	38.5	146	151	15	15.6	25	26		
Est. 3	10.2	1.11	1.72	1.9	6.92	7.68	0.32	0.35	3.16	3.5	0.02	0.02	21	23.3	30	33.3	101	113	17	18.8	35	38		
Est. 4	38.43	1.62	2.03	3.28	7.88	12.7	0.34	0.53	3.06	4.95	0.04	0.05	21	34	29	47	108	174	20	32.4	37	60		
Est. 5	11.39	1.12	2.11	2.36	3.24	3.62	0.42	0.47	3.86	4.32	0.05	0.05	19	21	14	15.7	106	117	17	19	40	44		
Est. 6	21.68	1.27	2.02	2.56	11.8	14.9	0.35	0.43	2.83	3.59	0.03	0.02	21	26.6	21	26.7	92	116	15	19	51	64		
Est. 7	2.19	1.02	1.25	1.26	0.76	0.77	0.27	0.27	2.74	2.79	0.02	0.02	30	30.6	41	40.8	122	124	19	19.4	38	38		
Est. 8	3.41	1.03	1.2	1.22	1.78	1.82	0.24	0.24	2.35	2.42	0.02	0.01	26	26.8	25	24.7	104	106	12	12.4	35	36		

SC = Sin corrección. CC = Con corrección. Estaciones mas afectadas por la dilución de carbonatos.

## 8. RESULTADOS

Facultad de Química. UNAM  
Caracterización geoquímica de sedimentos  
marinos superficiales de Sinaloa a Jalisco  
en el pacífico mexicano



Tabla 8-15. Concentraciones de elementos mayoritarios y traza para sedimentos marinos por FRX-ED para fase total con corrección de carbonatos.

	% de Carbonatos	Factor De dilución	K (%)		Ca (%)		Ti (%)		Fe (%)		Mn (%)		Cu (mg/Kg)		Zn (mg/Kg)		Pb (mg/Kg)		Sr (mg/Kg)		Br (mg/Kg)	
			SC	CC	SC	CC	SC	CC	SC	CC	SC	CC	SC	CC								
			Est. 1	9.79	1.10	-	-	7.47	8.21	0.28	0.31	2.55	2.8	-	-	67	73.7	120	132	88	96.8	476
Est. 2	4.26	1.04	1.93	2.01	1.97	2.05	-	-	2.24	2.33	-	-	74	77	117	121	-	-	192	199	525	546
Est. 3	10.2	1.11	2.20	2.44	6.38	7.08	0.28	0.27	3.38	3.75	-	-	-	-	92	102	52	57.7	315	349	223	247
Est. 4	38.43	1.62	2.14	3.47	18.12	29.3	-	-	3.13	5.07	-	-	-	-	101	163	-	-	947	953	124	200
Est. 5	11.39	1.12	2.36	2.64	5.80	6.5	0.36	0.40	3.92	4.39	0.05	0.06	-	-	110	123	-	-	449	502	103	115
Est. 6	21.68	1.27	1.61	2.04	13.14	16	0.23	0.29	1.82	2.31	-	-	-	-	49	62	96	121	592	751	84	106
Est. 7	2.19	1.02	1.65	1.68	1.90	1.94	0.29	0.29	2.46	2.51	-	-	82	83.6	84	85.6	63	64.2	200	204	617	629
Est. 8	3.41	1.03	1.72	1.77	2.26	2.33	0.32	0.33	2.89	2.98	-	-	63	64.9	98	101	-	-	192	197	719	740
Est. 9	1.4	1.01	2.32	2.34	1.29	1.30	0.46	0.46	3.91	3.95	-	-	-	-	136	136	-	-	248	250	212	113
Est. 10	0.51	1	2.40	2.40	1.29	1.29	0.45	0.25	4.20	4.20	-	-	54	54	142	142	133	133	271	271	133	133

SC = Sin corrección CC = Con corrección Estaciones mas afectadas por la dilución de carbonatos.



## 8. RESULTADOS

---

Las estaciones donde se observa una diferencia notable debido a la alta concentración de carbonatos son la 1, 3, 4, 5 y 6. La estación 1 presenta aumentos en la fase fina para el Ca de 7.47 a 8.21 (diferencia de 0.74 %), es decir, existió un aumento en la concentración de un 9 %.

En la estación 5 para el mismo elemento paso de 5.8 a 6.5 %. Una diferencia de 0.7 (12%). En la estación 6 pasa de 13.14 a 16 %. Una diferencia de 2.86 % .En otras palabras un aumento de 21.76 %. Pero el caso más claro en cuanto a cambio de concentración se refiere, se da en la estación 4. De un 18.12 % de Calcio en concentración, se elevó a 29.3 %. Una diferencia de 11.18 % que significa un aumento del 61.7 % de concentración.

### **8.9 Índices geoquímicos ambientales de acumulación**

Existen medidas que se han propuesto a manera de normalizar datos para evaluar el grado de acumulación que existe de ciertos elementos en ambientes naturales. Los más comunes son el factor de enriquecimiento (FE) y el índice de geoacumulación ( $I_{geo}$ ).

#### **8.9.1 Factor de enriquecimiento (FE)**

El factor de enriquecimiento se ha utilizado comúnmente en ecotoxicología química ambiental como marco de referencia para normalización (Del-Aguila, et al., 2005).

Para el cálculo del factor de enriquecimiento se utilizó como elemento conservativo al Ti. En las mediciones realizadas tanto en el "Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares como en la UNAM, el Ti mostro valores muy similares de concentración entre las estaciones. Las abundancias en la corteza terrestre empleadas para el cálculo del FE se muestran en la tabla 8-16. El cálculo se realizó en las 10 estaciones en fase total.



## 8. RESULTADOS.

Tabla 8-16. FE. Abundancias de elementos medidos en la corteza terrestre.

	K % <sup>1</sup>	Ca % <sup>1</sup>	Ti % <sup>2</sup>	Mn % <sup>2</sup>	Fe % <sup>1</sup>	Cu ppm <sup>1</sup>	Zn ppm <sup>1</sup>	Pb ppm <sup>1</sup>	Sr ppm <sup>1</sup>	Br ppm <sup>1</sup>	Ni ppm <sup>1</sup>	Ga ppm <sup>2</sup>
<i>Corteza continental</i>	2.09	4.2	0.44	0.095	5.6	55	70	12.5	375	2.5	75	19.2

<sup>1</sup>Taylor (1979). <sup>2</sup> Israel Science and Technology Homepage.

Tabla 8-17. Factores de enriquecimiento para sedimentos del pacífico mexicano.

CLAVE:	K (%)	Ca (%)	Mn (%)	Fe (%)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Sr (ppm)	Br (ppm)
<i>EST1</i>	0.43	2.30	0.27	0.59	1.58	2.21	9.10	1.64	485.71
<i>EST2</i>	1.56	0.79	0.36	0.68	2.28	2.82	2.17	0.86	369.60
<i>EST3</i>	1.45	2.09	0.29	0.83	0.40	1.81	5.70	1.15	136.13
<i>EST4</i>	1.36	5.75	0.28	0.75	0.39	1.93	1.71	3.37	106.67
<i>EST5</i>	1.18	1.45	0.51	0.73	0.30	1.64	1.34	1.25	48.19
<i>EST6</i>	1.00	4.05	0.27	0.42	0.38	0.90	9.95	2.04	55.23
<i>EST7</i>	1.29	0.74	0.34	0.71	2.44	1.94	8.27	0.87	410.01
<i>EST8</i>	1.51	0.99	0.39	0.95	2.11	2.56	2.35	0.94	543.03
<i>EST9</i>	1.06	0.29	0.20	0.67	0.28	1.86	1.22	0.63	43.14
<i>EST10</i>	1.12	0.30	0.21	0.73	0.96	1.99	10.40	0.71	51.98

En una gráfica de barras se esquematizan los datos obtenidos para todos los sedimentos en todas las estaciones.

## 8. RESULTADOS

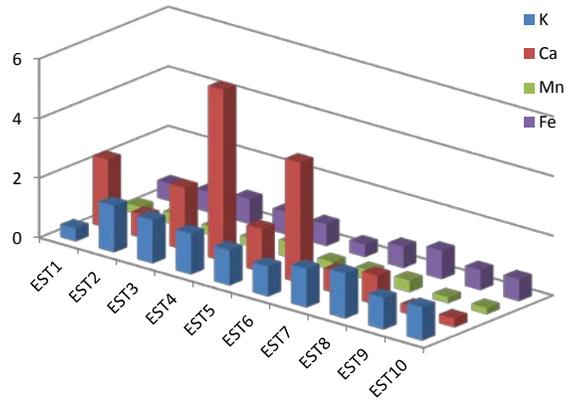


Figura 8-38. Factores de enriquecimiento para K, Ca, Mn y Fe en las 10 estaciones de muestreo.

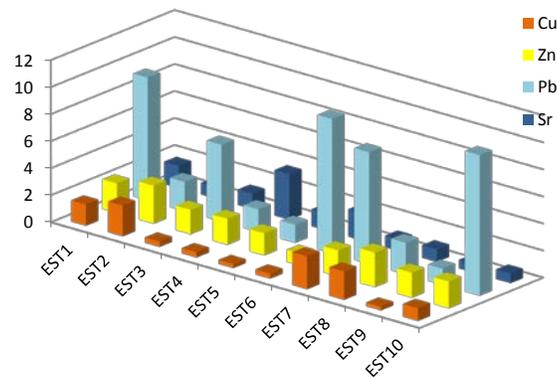


Figura 8-39. Factores de enriquecimiento para Cu, Zn, Pb y Sr en las 10 estaciones de muestreo.

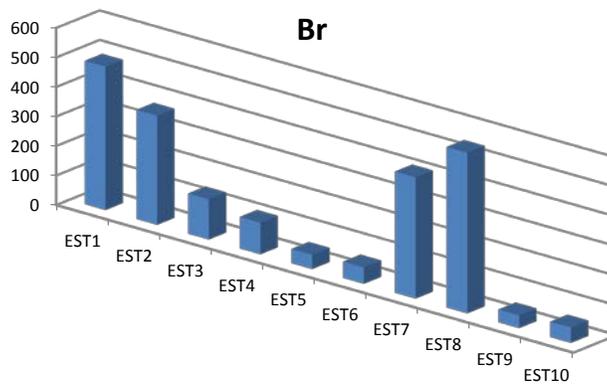


Figura 8-40. Gráfica de factores de enriquecimiento para el Br en las 10 estaciones.



## 8. RESULTADOS

---

El orden de los elementos por su valor de factor de enriquecimiento promedio fue:

Br (224) > Pb (5.2) > Zn (1.9) > Ca (1.8) > Sr (1.3) > K (1.2) > Cu (1.1) > Fe (0.7) > Mn (0.3).

Considerando los promedios de FE para todas las estaciones se puede clasificar a los elementos en la zona del pacífico central mexicano de la siguiente manera. De acuerdo a la clasificación propuesta por Rodríguez Meza (véase 7.6.2), Los elementos con un valor menor a 1 se consideran como diluidos. En esta categoría entran el Mn y Fe. Valores de FE entre 1 y 2 se consideran como elementos conservativos. El K, Ca, Cu, Zn y Sr cumplen con esta característica. El plomo al tener un valor de 5.221 entra en la categoría de elementos enriquecidos. Y por último el caso especial en el estudio es el Br. Presenta un valor sumamente alto (224.9 en promedio), considerado como altamente enriquecido.

Analizando de manera individual el comportamiento por estación, vemos que en la figura 8-38 se representan los valores de FE para el K, Ca, Mn y Fe. El K, Mn y Fe no presentan valores altos en ninguna de las estaciones. Es importante mencionar que elementos como el Fe se encuentran disueltos en aguas cálidas como las estudiadas. Por lo que la mayoría del Fe está en partículas suspendidas.

Para el calcio los valores más altos pertenecen a las estaciones 4 y 6, que concuerda con los valores más altos de carbonatos reportados. Dadas sus propiedades de solubilidad, el calcio se considera un elemento muy móvil. En la figura 8-39 nos muestra que el plomo es el único que se encuentra enriquecido. Las estaciones 1, 7, 9 y 10 se encuentran cerca del valor para considerarse altamente enriquecidos que es de 10.

El Br se consideró en una sola gráfica debido a su disparidad de magnitud de sus FE con respecto a los demás elementos. Todas las estaciones presentan valores de FE por encima del mínimo para considerarse altamente enriquecidos. El mar es la principal fuente de Br del planeta, por lo que no es raro encontrar estos valores. No se consideran contaminantes ya que no se han encontrado efectos



## 8. RESULTADOS.

adversos a la salud encontrándose en forma iónica (figura 8-40).

Elementos de una solubilidad alta como son el Ca y Sr son traídos a los sedimentos marinos por disolución en el agua, mientras que elementos como el Zn, Cu y Pb son acarreados por partículas suspendidas. Esto probablemente pueda explicar las altas concentraciones de Pb en la zona. Debido a una zona con corrientes y las condiciones propicias para la sedimentación.

Lawson y Winchester (1979) propusieron otra clasificación para determinar el origen de los metales encontrados en los sedimentos de acuerdo a su valor de FE.

**Tabla 8-18. Clasificación del origen de elementos pesados en sedimentos marinos de acuerdo a su FE**

Valores de FE	Origen del elemento
1-10	De la roca madre
10-500	Moderadamente enriquecido, e indica otra fuente de enriquecimiento adicional a la roca madre
>500	Indica un alto enriquecimiento y muestra que existe una grave contaminación de origen antropogénico

Lawson y Winchester (1979).

De acuerdo a esta clasificación, solo el Bromo se considera como un elemento que no es totalmente aportado por la roca madre, sino que existe una fuente de aporte adicional. Los demás elementos son considerados de origen natural.

### 8.9.2 Índice de geoacumulación

Los resultados obtenidos para el cálculo del índice de geoacumulación para



## 8. RESULTADOS.

el pacífico central mexicano se muestran en la tabla 8-19.

El valor mínimo fue para el Mn (-1.63) y el mayor para el Br (3.72). Los elementos ordenados por índice de geoacumulación dan la siguiente serie descendente:

Br (3.72) > Pb (0.57) > Zn (-0.03) > Ca (-0.405) > Sr (-0.445) > K (-0.47) > Cu (-0.79) > Fe (-0.9) > Ti (-0.95) > Mn (-1.63)

**Tabla 8-19. Índices de geoacumulación para sedimento marino del pacífico central mexicano.**

CLAVE:	K (%)	Ca (%)	Ti (%)	Mn (%)	Fe (%)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Sr (ppm)	Br (ppm)
EST1	-1.30	0.15	-0.75	-1.71	-1.04	-0.18	0.11	1.34	-0.14	4.80
EST4	-0.42	-1.01	-2.24	-1.71	-1.15	-0.09	0.09	-0.14	-0.94	4.33
EST6	-0.31	0.01	-0.87	-1.71	-0.79	-1.42	-0.11	0.88	-0.50	3.64
EST7	-0.33	0.92	-2.24	-1.71	-0.86	-1.42	-0.03	-0.14	0.45	3.45
EST8	-0.25	-0.07	-0.52	-0.99	-0.66	-1.42	0.04	-0.14	-0.20	2.97
EST9	-0.58	0.64	-0.91	-1.71	-1.33	-1.42	-0.67	1.42	0.05	2.91
EST10	-0.56	-1.04	-0.73	-1.71	-1.07	0.00	-0.20	1.06	-0.90	4.45
EST11	-0.52	-0.89	-0.62	-1.71	-0.93	-0.23	-0.06	-0.14	-0.93	4.59
EST13	-0.26	-1.38	-0.31	-1.71	-0.66	-1.42	0.23	-0.14	-0.71	2.96
EST15	-0.23	-1.38	-0.33	-1.71	-0.60	-0.37	0.26	1.70	-0.63	3.10



## 8. RESULTADOS.

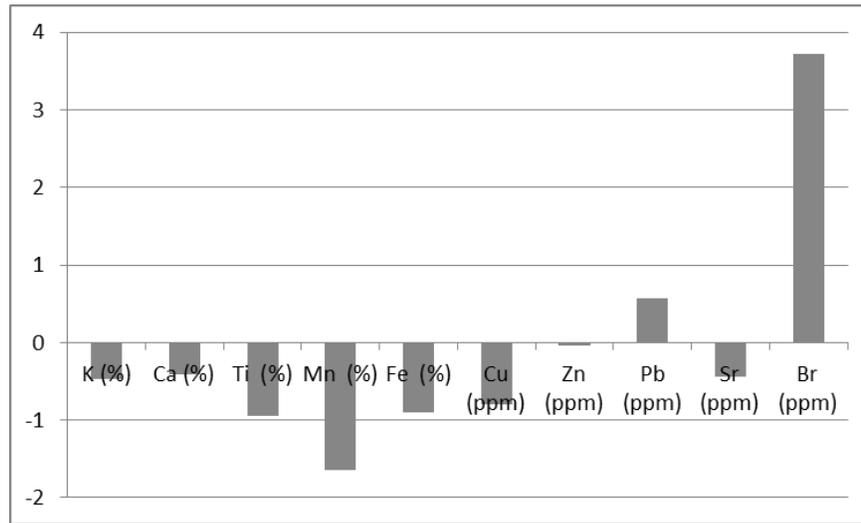


Figura 8-41 Gráfica de índices de geoacumulación promedio

Según clasificación referida por Rodríguez Meza (véase 7.6.3), K, Ca, Ti, Mn, Fe, Cu, Zn y Sr, tienen valores negativos que corresponden a sedimentos no contaminados. El Pb (0.57) se considera como sedimento no contaminado a moderadamente contaminado. El Br (3.72) clasifica para la categoría de fuertemente contaminado.

Los resultados negativos en 8 de las 10 estaciones nos indican que la zona no se encuentra influenciada de manera importante por el hombre. La mayoría de los elementos traza medidos en la zona proviene de la roca madre. Solo el plomo y bromo existen en una concentración más alta por aporte de una fuente externa que no se puede precisar si es de origen antropogénico o no.

### **8.10 Análisis de componentes principales**

La técnica de análisis de componentes principales es un método multivariado para datos continuos. Los resultados obtenidos nos ayudan a establecer asociaciones o interrelaciones de las variables determinadas, así como las principales causas que las afectan. En resumen, el análisis de componentes principales consiste en encontrar transformaciones ortogonales de las variables originales para conseguir un



## 8. RESULTADOS.

---

nuevo conjunto de variables incorreladas, denominadas componentes principales, que se obtienen en orden decreciente de importancia (Vicente, 2010).

### **8.10.1 Definición de variables y elección del número de componentes**

El ACP construye una transformación lineal que escoge un nuevo sistema de coordenadas para el conjunto original de datos en el cual la varianza de mayor tamaño del conjunto de datos es capturada en el primer eje (llamado el Primer Componente Principal), la segunda varianza más grande es el segundo eje, y así sucesivamente. En otras palabras, el propósito del análisis es obtener un número reducido de combinaciones lineales de las 23 variables que expliquen la mayor variabilidad en los datos. En este caso, 5 componentes se han extraído puesto que 5 componentes tuvieron eigenvalores mayores o iguales que 1.0. En conjunto ellos explican 93.6503% de la variabilidad en los datos originales.

Las variables para las cuales se determinaron los componentes principales se muestran en la tabla 8-20. Incluyendo elementos mayoritarios y traza; características electroquímicas; tamaño de partícula y profundidad.

El primero explica el 42%, el segundo el 23, el tercero el 12 %, el cuarto el 10 % y el quinto el 5%. En la tabla 8-21 se encuentran los valores de porcentaje explicado por componente de manera individual y acumulada. Así como el valor del vector propio por componente, necesario para la elección del correcto número de componentes que logren explicar el sistema de manera más exacta.

## 8. RESULTADOS.



Tabla 8-20. Variables utilizadas para el análisis multivariado de componentes principales.

Variable	Tipo
Profundidad	Ubicación
Gravas y piedras	Tamaño de partícula
Arena fina y gruesa	Tamaño de partícula
Arena muy fina	Tamaño de partícula
Limos y arcillas	Tamaño de partícula
pH	Electroquímico
Conductividad eléctrica	Electroquímico
Carbono orgánico	Materia orgánica
Carbonatos	Sales inorgánicas
Carbono total	Elemento mayoritario
Hidrógeno	Elemento mayoritario
Nitrógeno	Elemento mayoritario
Azufre	Elemento mayoritario
Potasio	Elemento mayoritario
Calcio	Elemento mayoritario
Titanio	Elemento mayoritario
Manganeso	Elemento mayoritario
Hierro	Elemento mayoritario
Cobre	Elemento traza
Zinc	Elemento traza
Plomo	Elemento traza
Estroncio	Elemento traza
Bromo	Elemento traza

Se consideraron todas las variables sin importar el tipo, a manera de buscar interrelaciones peculiares o características en la zona de estudio y sus posibles



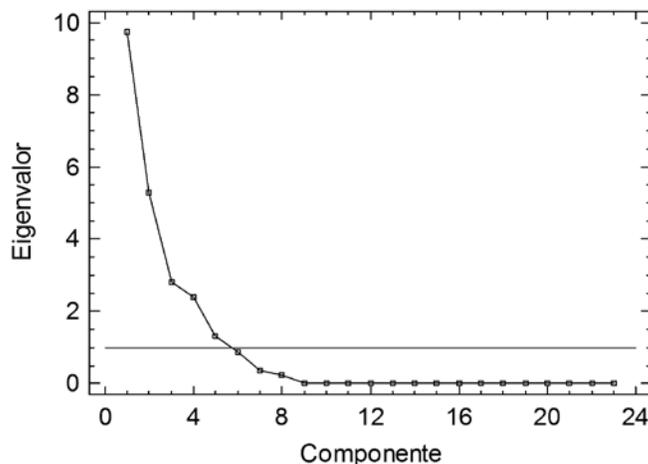
## 8. RESULTADOS.

causas. Por un ensayo multivariado de correlaciones se comprobó la independencia entre variables. Requisito necesario para el análisis de componentes principales.

**Tabla 8-21. Porcentaje de varianza y acumulado explicado por componente.**

Componente	Eigenvalor	Porcentaje de Varianza	Porcentaje acumulado
1	9.74506	42.370	42.370
2	5.29246	23.011	65.381
3	2.81745	12.250	77.630
4	2.37861	10.342	87.972
5	1.306	5.678	93.650
6	0.855123	3.718	97.368

La elección del número de componentes a considerar fue dada por la gráfica de sedimentación. Eigenvalores mayores a 1 son los indicados para una correcta interpretación de resultados.



**Figura 8-42** Análisis de componentes principales. Gráfica de sedimentación.



## 8. RESULTADOS.

### 8.10.2 Interpretación de componentes

La ponderación de cada una de las variables por componente se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 8-22. Análisis de componentes principales. Ponderación de componentes.

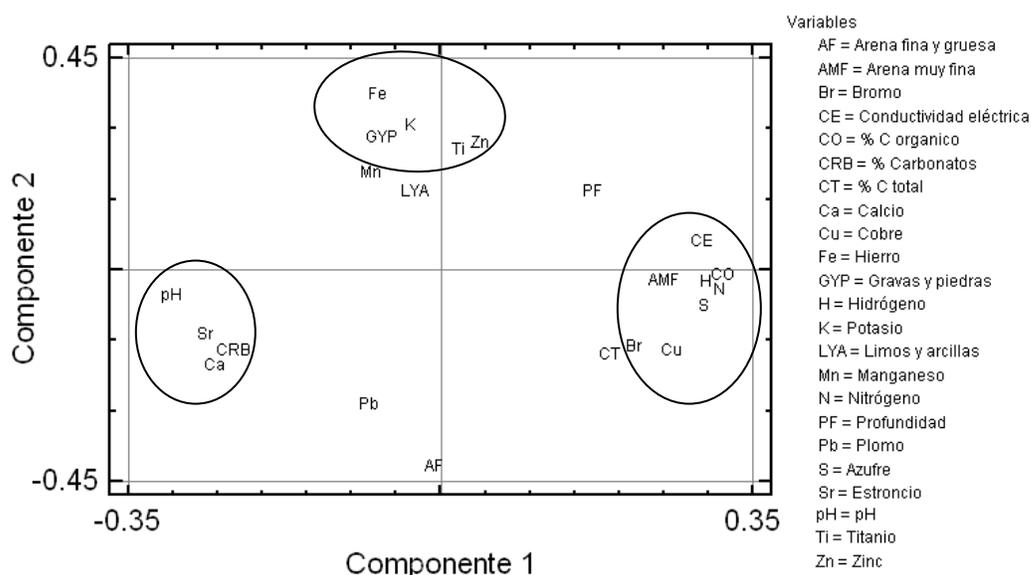
	Componente	Componente	Componente	Componente	Componente
	1	2	3	4	5
<i>Profundidad</i>	0.168821	0.166836	-0.101892	-0.318637	-0.195559
<i>Gravas y piedras</i>	-0.0650856	0.279815	-0.259221	-0.360564	0.127216
<i>Arena fina y gruesa</i>	-0.0060271	-0.421907	0.00265984	0.0973629	-0.0633347
<i>Arena muy fina</i>	0.251831	-0.0158129	0.253417	0.249898	0.0863628
<i>Limos y arcillas</i>	-0.0311486	0.16834	0.345586	0.390672	-0.207965
<i>pH</i>	-0.301343	-0.0555981	-0.0116226	-0.0440475	-0.139042
<i>CE</i>	0.290392	0.061911	-0.0290374	-0.126053	0.240808
<i>% C orgánico</i>	0.309058	-0.0117316	0.0873685	-0.0670128	0.0739269
<i>% Carbonatos</i>	-0.236593	-0.166386	0.244617	-0.20759	-0.0315645
<i>% C total</i>	0.189833	-0.17424	0.335203	-0.257742	0.00919914
<i>% H</i>	0.302571	-0.0132948	0.137226	-0.0206763	0.0186741
<i>% N</i>	0.309432	-0.0309498	0.105048	-0.0735399	0.0582661
<i>% S</i>	0.296352	-0.0748721	0.125722	-0.0673925	-0.0110409
<i>K</i>	-0.0355059	0.307248	0.341737	-0.161434	0.219295
<i>Ca</i>	-0.25208	-0.204374	0.169036	-0.152302	0.0105988
<i>Ti</i>	0.0183436	0.25582	-0.287551	0.272742	0.342419
<i>Mn</i>	-0.0778793	0.208017	0.256096	0.40727	-0.136555
<i>Fe</i>	-0.0714343	0.375942	0.0659764	0.0472753	-0.0703377
<i>Cu</i>	0.256888	-0.171989	-0.113164	0.0696963	-0.279569
<i>Zn</i>	0.0438889	0.272208	-0.160451	-0.104142	-0.594938
<i>Pb</i>	-0.0792054	-0.283151	-0.299029	0.239752	0.244264
<i>Sr</i>	-0.261165	-0.14149	0.159006	-0.158532	-0.100631
<i>Br</i>	0.215274	-0.15919	-0.247084	0.107811	-0.334919



## 8. RESULTADOS.

Los valores van de -1 a 1, siendo un valor más cercano a 1 un aporte importante a ese componente. El siguiente paso en el análisis es buscar las variables que tengan un “mayor peso” para cada uno de los componentes, de manera que al representarlo en una gráfica podamos encontrar asociaciones entre variables que nos ayuden a definir de manera clara cada componente, para una posterior clasificación de las estaciones de muestreo.

Tomando los valores del peso que representa cada variable en los componentes como coordenadas en sistemas ortogonales, obtenemos las siguientes representaciones.



**Figura 8-43. Análisis de componentes principales. Representación de los factores de carga sobre los componentes 1 y 2.**

En la gráfica 8-43, observamos valores positivos en el componente 1 para las variables: carbono orgánico, hidrógeno, nitrógeno, azufre, Conductividad eléctrica, arena muy fina, cobre y bromo. Y negativos para: pH, estroncio, calcio y carbonatos. La agrupación de las variables nos da evidencia para definir al primer componente como “asociación de las variables a la materia orgánica o inorgánica”. La presencia de carbono orgánico, aunado a hidrógeno, nitrógeno y azufre, es una asociación clara de elementos presentes en moléculas de naturaleza bioquímica.



## 8. RESULTADOS.

---

Tales como los aminoácidos que forman proteínas, azúcares y desechos orgánicos de la biota. Todas ellas, moléculas sumamente comunes en ambientes marinos como resultado de procesos metabólicos de los organismos (metabolitos). El cobre y bromo también presentan un grado alto de asociación con la materia orgánica. El bromo es bien conocido que presenta una abundancia importante en ambientes con alta población de seres vivos. En el caso específico del agua de mar se presenta en una concentración promedio de 65 ppm en forma de ión bromuro. El cobre (sobre todo en su forma  $\text{Cu}^{2+}$  es un importante cofactor inorgánico necesario para el correcto funcionamiento de enzimas como también es el caso del citocromo a. Molécula necesaria para el transporte de energía química en las células de organismos vivos. Otro proceso en el que interviene el cobre es en la formación de clorofila. Recordemos que la hidrosfera es la principal fuente de oxígeno del planeta.

Otra variable que nos muestra el análisis de componentes principales asociada al primer componente, es la conductividad eléctrica. La presencia de cobre, uno de los mejores conductores de electricidad del planeta lo puede explicar. Además de que moléculas orgánicas pertenecientes a cadenas transportadoras de electrones en organismos fotosintéticos como el plancton y en pared celular del necton.

La última variable que explica muy bien el primer componente es la arena muy fina. La materia orgánica forma cúmulos de material sedimentario menores a 100 micras. Esta es la fase granulométrica que presenta la mayor abundancia de material de origen orgánico.

Con valores negativos en el primer componente encontramos a variables asociadas a materia inorgánica. Variables como el calcio y estroncio (elementos con características similares), se asocian a carbonatos que a su vez modifican el pH del medio gracias al carácter básico del ión carbonato. El estroncio puede llegar a ocupar el espacio del calcio en los carbonatos. Lo mismo puede llegar a suceder en material esquelético o de protección de los organismos.



## 8. RESULTADOS.

Para el segundo componente encontramos en el lado positivo al: K, Fe, Zn, Ti y Mn. Todos elementos conservativos, naturales, abundantes y de gran estabilidad. Todos estos elementos son comunes en zonas de litoral. Así como también que las zonas de playa se caracterizan por un tamaño de partículas no muy grande. Por lo que este componente lo podemos definir como “zonas con impacto turístico alto”. En la parte positiva del componente, encontramos variables naturales características de zonas con una biodiversidad alta. Esto por la presencia de litorales que mantienen microecosistemas acuáticos. En esta zona de la gráfica se encuentra el elemento escogido para el cálculo de factores de enriquecimiento, el titanio.

En el plano negativo del eje Y, se ubicó el plomo y la arena fina y gruesa. Las variables que presentaron a lo largo del estudio la mayor fluctuación entre estaciones, así como el calcio, el cobre y el bromo.

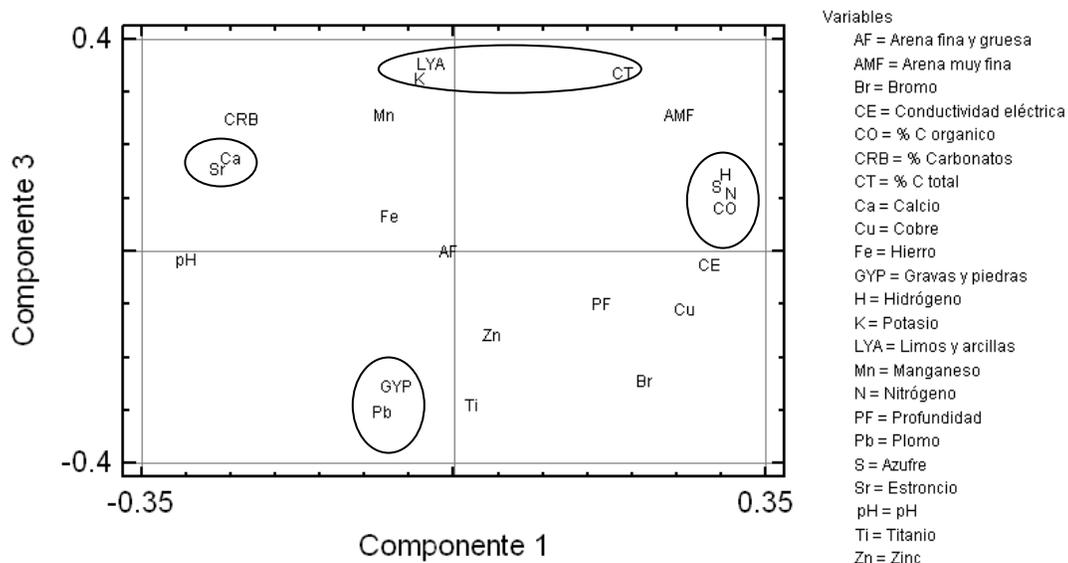


Figura 8-44. Análisis de componentes principales. Representación de los factores de carga sobre los componentes 1 y 3.

En la gráfica 8-44 se representa el primer componente vs. El tercer componente. En la parte positiva de las ordenadas, se ubican variables pertenecientes a



## 8. RESULTADOS.

---

categorías granulométricas menores a 100 micras. Esto incluye a las arenas muy finas ( $62.5 \mu\text{m} < x < 105 \mu\text{m}$ ) y los limos y arcillas ( $< 62.5 \mu\text{m}$ ). En el lado contrario encontramos a la categoría de mayor tamaño de partícula; los limos y arcillas. El tercer componente entonces nos indica la asociación de los elementos de acuerdo al tamaño de partícula de los sedimentos marinos. En la misma gráfica vemos asociaciones explicadas con anterioridad como son las de: calcio y estroncio; carbono orgánico, azufre, hidrógeno y nitrógeno; y una muy importante que confirma una asociación poco común encontrada en el estudio de distribución presentado en la sección **8.5.2.8**, el plomo con sedimentos de tamaño de partícula mayor a  $100 \mu\text{m}$ . Los metales traza tienden a encontrarse en su mayoría en partículas finas de los sedimentos (Löring & T., 1992), pero en el caso del plomo en el presente estudio, se encontró una mayor asociación en la fase que contenía partículas de sedimento marino de mayor tamaño. Como se explicó en el capítulo concerniente a la distribución de metales en fase fina o gruesa, esta particular asociación se puede explicar como un fenómeno de superficie. Esto es, que el plomo se adsorbe en la superficie de las partículas grandes, características de zonas con una hidrodinámica alta gracias a su gran cantidad de superficie. A diferencia de las partículas pequeñas donde la superficie no es mucha, pero los metales se asocian a ellas por medio de sustituciones o quelaciones.

El tercer componente explica de manera clara el comportamiento del carbono en el tamaño de partícula. Al existir una alta asociación de carbono con partículas de tamaño menor a  $0.072 \mu\text{m}$  (limos y arcillas), nos indica que los limos que contienen los sedimentos de la zona de estudio, son en su mayoría de procedencia orgánica. Esto es, restos vegetales y animales, así como lodos y barros ricos en microorganismos.



## 8. RESULTADOS.

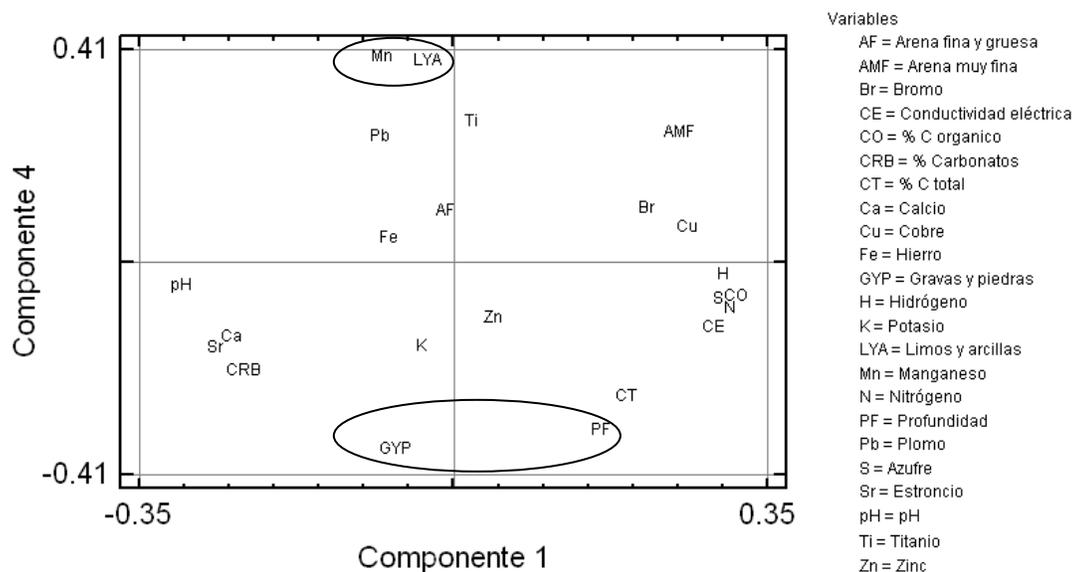
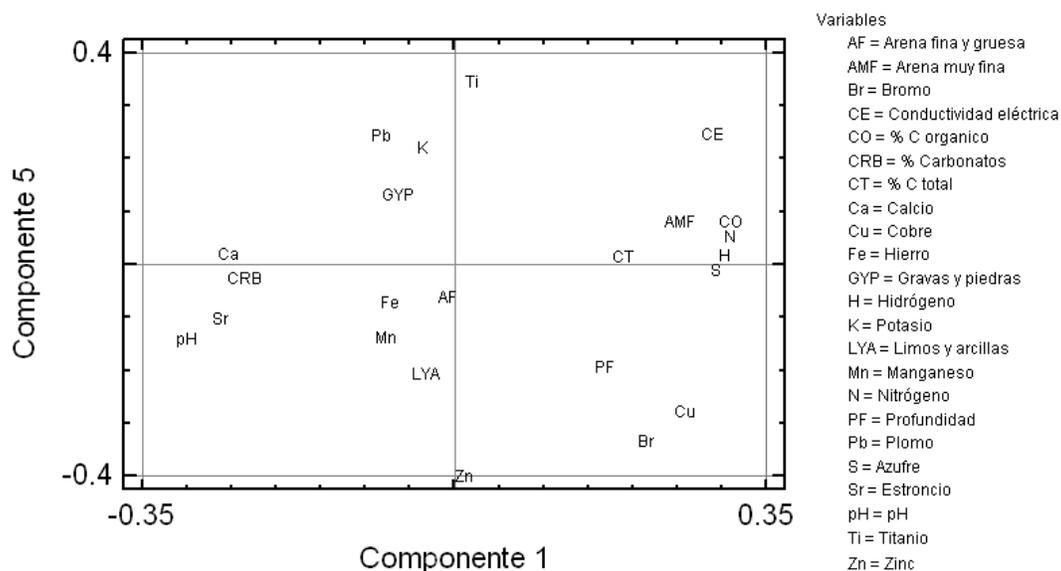


Figura 8-45. Análisis de componentes principales. Representación de los factores de carga sobre los componentes 1 y 4.

El cuarto componente tiene un fuerte aporte de la variable “Mn”. El manganeso es un oligoelemento con un amplio papel en la bioquímica enzimática del ecosistema marino. De las más importantes está su participación en la fotosíntesis oxigénica de algunos microorganismos. El complejo oxigénico es parte del fotosistema II contenido en las membranas de los cloroplastos; es responsable de la fotooxidación final del agua durante la fase luminosa de la fotosíntesis y tiene una metaloenzima con cuatro átomos de manganeso. Por lo tanto el componente 4 es una medida de las zonas con una amplia actividad fotosintética. Va muy relacionada con El tamaño de partícula (preferentemente limos y arcillas) y con la profundidad (a poca profundidad).



## 8. RESULTADOS.



**Figura 8-46. Análisis de componentes principales. Representación de los factores de carga sobre los componentes 1 y 5.**

El último componente que explica de manera fehaciente la zona de estudio, nos explica al Zn, Cu y Br. Los cuales son elementos abundantes en organismos bentónicos. Por lo tanto el quinto componente nos indica zonas que son ricas en organismos bentónicos (organismos que habitan en el fondo de los ecosistemas acuáticos).

### 8.10.3 Caracterización de estaciones

Se utilizan los valores para los componentes principales del sistema de cada una de las estaciones analizadas. En la gráfica 8-47 se muestran la representación de cada uno de los 5 componentes.



## 8. RESULTADOS.

Tabla 8-23. Valores para los componentes principales en las estaciones de muestreo para sedimentos del pacífico mexicano.

Etiqueta	Componente	Componente	Componente	Componente	Componente
	1	2	3	4	5
<i>Est 1</i>	-1.40384	-2.14042	-2.86755	1.2666	-1.68252
<i>Est 2</i>	3.42498	-0.267094	0.86985	-1.08689	-1.49866
<i>Est 3</i>	-1.06343	0.415478	0.416014	0.737921	0.615155
<i>Est 4</i>	-3.70987	-1.15805	1.91379	-2.38102	-0.612475
<i>Est 5</i>	-2.02384	2.9358	1.92409	2.5833	-0.475573
<i>Est 6</i>	-3.12348	-2.6489	-0.366066	0.0457377	1.71775
<i>Est 7</i>	3.88658	-1.06359	-0.100018	0.663837	0.998937
<i>Est 8</i>	4.49201	-0.454945	0.567131	-0.127419	0.426949
<i>Est 9</i>	-0.479098	4.38172	-2.35725	-1.70206	0.510439

Las estaciones 2, 7 y 8 tienen valores positivos para el primer componente (figura X, gráfica A). Por lo tanto los metales mayoritarios y traza presentes en sedimentos provenientes de estas estaciones presentan una asociación mayor a la materia orgánica. Esto concuerda con la cantidad de materia orgánica presente en ellos. Son las estaciones de mayor índice de materia orgánica (Tabla 8-3). Caso opuesto son las estaciones 4 y 6. Sus valores de carbonatos son los más elevados de toda la zona de estudio. En estas estaciones, los metales tienen mayor asociación a materia inorgánica que a orgánica.

Las estaciones 5 y 9 son las que presentan poca acumulación de metales traza. En su mayoría todos los elementos son de origen natural y se mantienen en niveles conservativos. Esto probablemente por una dinámica de aguas alta, lo que moviliza los metales a otras regiones de menores corrientes o por la existencia de litorales.



## 8. RESULTADOS.

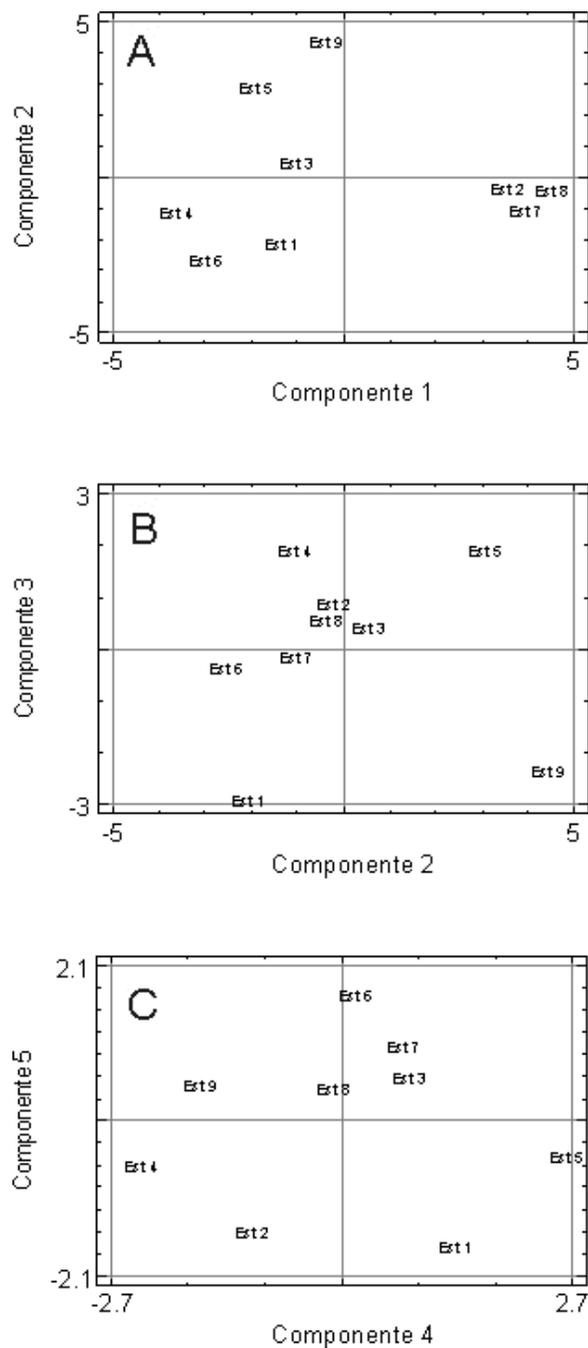


Figura 8-47. Análisis de componentes principales. Representación de las estaciones sobre los componentes. A) Componente 1 vs. Componente 2. B) Componente 2 vs. Componente 3. C) Componente 4 vs. Componente 5.

En caso de la existencia de litorales, la evaluación de los niveles de metales traza se debe de realizar además de en sedimentos, en organismos de la zona. La



## 8. RESULTADOS.

---

estación 1 y 6 son las de mayor acumulación de plomo. Probablemente por la descarga directa del río Baluarte en el estado de Sinaloa. Esta misma característica provoca que la estación 1 tenga un tamaño de partícula grande. Recordemos que a un mayor flujo de agua, existen menos sedimentos ligeros., ya que son suspendidos en los cuerpos de agua y llevados a zonas donde las condiciones físico-químicas permitan la deposición de los mismos.

Las estaciones 4 y 5 de acuerdo a la gráfica B, son las que presentan una asociación de elementos mayoritarios y traza en sedimentos con partículas de menor tamaño. Las estaciones 1 y 9 al contrario. Es importante mencionar que la estación 1 es la que muestra el mayor valor de Pb. Que como se observó en las gráficas de factores vs. Componentes (figura 8-44), se asocia a partículas de tamaño mayor a 100 micras.

La gráfica C, nos muestra que la estación 5 es la que tiene mayor actividad fotosintética. Esto suena lógico debido a que es la zona con menor profundidad. Otra cosa que podemos sacar de conclusión es que es una zona con una claridad en sus aguas. Al ser las aguas más cristalinas y de poca profundidad, los rayos solares penetran a mayores profundidades favoreciendo reacciones fotosintéticas.

En la estación 6 encontramos la mayor cantidad de bentos. Deben ser aguas tranquilas, con gran cantidad de nutrientes, profundidad media y condiciones de acidez estables. La estación 1 es la que presenta la menor biodiversidad. De nuevo la causa más posible debe de ser el desfogue de un río con descargas de asentamientos humanos y turismo.

### **8.11 Análisis de conglomerados (clústeres)**

El Análisis de Clústeres (o Análisis de conglomerados) es una técnica de Análisis Exploratorio de Datos para resolver problemas de clasificación. Su objeto consiste en ordenar objetos (personas, cosas, animales, plantas, variables, etc...) en grupos (conglomerados o clústeres) de forma que el grado de asociación/similitud entre miembros del mismo clúster sea más fuerte que el grado de



## 8. RESULTADOS.

---

asociación/similitud entre miembros de diferentes clústeres. Cada clúster se describe como la clase a la que sus miembros pertenecen (Vicente, 2011).

En el análisis químico que se presenta se desea establecer grupos dentro de las estaciones de muestreo, que presenten características geoquímicas similares. De esta manera se puede realizar una caracterización de la zona del pacífico medio mexicano. De manera complementaria al estudio de estaciones, se realizó un análisis de conglomerados para las 23 variables que se determinaron.

### 8.11.1 Análisis de clústeres. Variables

Las variables que se utilizaron para el análisis de conglomerados fueron las mismas que para el análisis por componentes principales (tabla 8-20).

En el dendograma construido a partir de las variables se pueden ver las distintas asociaciones apoyadas en el análisis de componentes principales (figura 8-48)

Las principales son:

Cu-Sr-Carbonatos-pH. La mayor parte de los carbonatos presentes en agua de mar son de calcio, magnesio y estroncio. La cantidad de magnesio no se determinó ya que las técnicas de análisis utilizadas no lo detectan en los rangos descritos en materiales y métodos. El estroncio al ser un elemento muy similar al calcio, llega a ocupar los lugares del calcio en las estructuras carbonatadas. Por último en una segunda etapa, se asocia con el pH. Esta asociación tiene sentido al ser los compuestos con carbonatos de naturaleza básica.



## 8. RESULTADOS.

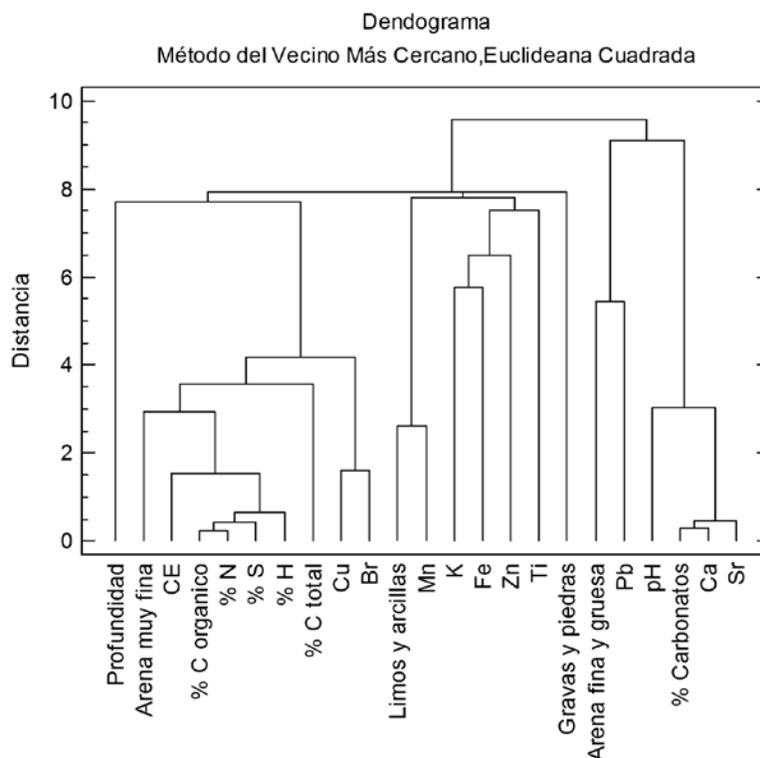


Figura 8-48. Dendograma para las distintas variables utilizadas en el análisis de clústeres para el pacífico central mexicano.

Pb-Arena fina y gruesa. En el análisis de fluorescencia de rayos X se ve claramente esta asociación. La fase fina mostró una concentración para la estación 6 de 51 ppm, mientras que en la fase gruesa fue de 45 ppm. Los resultados reportados por Rodríguez Meza indican una mucha mayor afinidad de los metales traza por la fase fina. En este caso son casi iguales las asociaciones.

K-Fe-Zn-Ti. Estos elementos tienen una alta correlación por ser naturales y esenciales para los organismos. Son de gran estabilidad y conservativos.

Br-Cu. El bromo como se explicó en la sección de componentes principales, se encuentra en el mar en forma de ión bromuro. Se asocia con el Cu presente en enzimas necesarias para procesos metabólicos de la biota. Dada la concentración de bromo en sedimentos, a pesar de no ser un elemento tóxico para los organismos acuáticos, están empezando a realizar procesos metabólicos que lo incluyen.



## 8. RESULTADOS.

---

Además mostraron una alta afinidad a la materia orgánica presente en sedimentos marinos.

Mn-Limos y arcillas. Al ser un componente esencial en los cloroplastos de microorganismos fotosintéticos y plantas, los lodos contienen cantidades apreciables de manganeso.

C orgánico-H-N-S. Materia prima para la formación de carbohidratos, proteínas y todo tipo de metabolitos orgánicos.

### 8.11.2 Análisis de clústeres. Estaciones

A partir de las 23 variables determinadas para cada estación, el análisis genera la formación de 3 clústeres naturales con características similares. Este procedimiento ha creado 3 conglomerados a partir de 9 observaciones proporcionadas. Los conglomerados son grupos de observaciones con características similares. Para formar los conglomerados, el procedimiento comienza con cada observación en grupos separados. Después, combina las dos observaciones que fueron los más cercanos para formar un nuevo grupo. Después de recalcular la distancia entre grupos, se combinan los dos grupos ahora más cercanos. Este proceso se repite hasta que quedan solamente 3 grupos. Se utilizó la técnica del vecino más cercano por distancias euclidianas al cuadrado. El resumen de la conglomeración realizada incluyendo porcentaje de estaciones por clúster y centroides para cada variable por clúster se informan en las siguientes tablas.

Tabla 8-24. Análisis de conglomerados. Por ciento de elementos por clúster.

<i>Conglomerado</i>	<i>Miembros</i>	<i>Porcentaje</i>
1	5	55.56
2	3	33.33
3	1	11.11



## 8. RESULTADOS.

Tabla 8-25. Análisis de conglomerados. Centroides para cada variable.

Clúster	Profundidad (m)	Gravas y piedras (%)	Arena fina y gruesa (%)	Arena muy fina (%)	Limos y arcillas (%)	pH	CE $\mu\text{S}/\text{cm}^2$
1	47.3	5.5	67.8	8.4	18	8.	20.4
2	822.1	0.0	65.0	21.9	13	7.4	62.7
3	1269	80.6	13.8	1.9	3	7.9	50.4

Clúster	% C orgánico	% Carbonatos	% C total	% H	% N	% S	K (%)	Ca (%)	Ti (%)
1	1.01	18.2	3.5	0.47	0.05	0.0	1.8	10.1	0.24
2	5.04	3.2	6.4	1.21	0.62	0.09	1.7	2.04	0.22
3	1.87	1.4	1.9	0.51	0.14	0.0	2.3	1.29	0.46

Clúster	Mn (%)	Fe (%)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Sr (ppm)	Br (ppm)
1	0.026	2.96	26.2	94.4	53.6	555.8	277.4
2	0.02	2.53	73.0	99.6	31.6	194.6	620.3
3	0.02	3.91	16.0	136.0	16.0	248.0	212.0

El primer clúster esta formado por las estaciones: 1, 3, 5, 6 y 4. El grupo se caracteriza por una profundidad menor a lo 100 metros, con mayoría de arena fina y gruesa ( $105 \mu\text{m} < x < 1680 \mu\text{m}$ ), un pH mas básico que el resto de la zona de estudio, con conductividades bajas, la menor cantidad de materia orgánica y mayor de carbonatos (por lo mismo una alta concentración de calcio y estroncio) y las mayores concentraciones de Pb.

El segundo clúster lo forman las estaciones 2, 7 y 8. Profundidad media sobrepasando los 800 m, con mayoría de arena fina y gruesa mezclado con arena muy fina ( $62.5 \mu\text{m} < x < 105 \mu\text{m}$ ), los valores de pH más ácidos de la zona, contra-



## 8. RESULTADOS.

riamente la mayor conductividad eléctrica, el mayor porcentaje de materia orgánica, el mayor porcentaje de carbono total (es decir, una cantidad apreciable de carbono en su forma elemental) además de valores elevados de cobre y bromo.

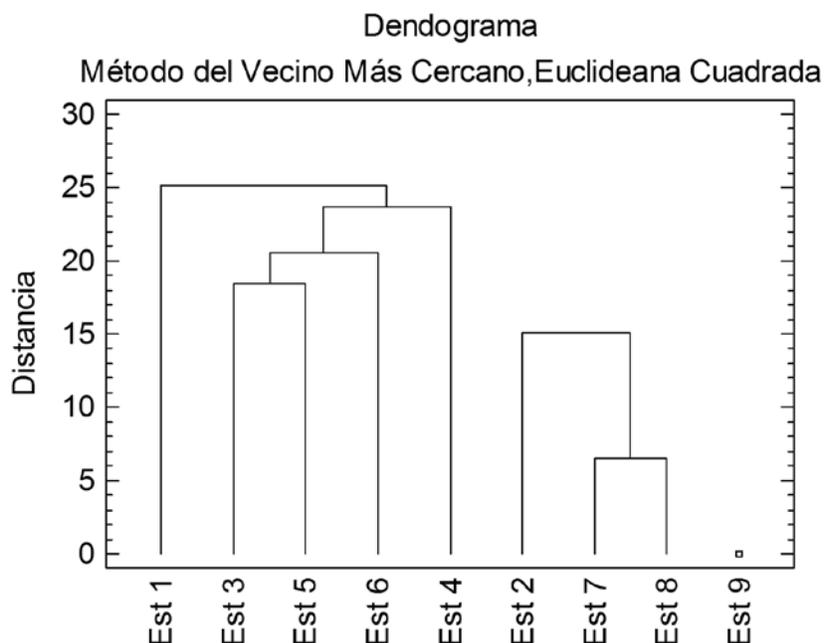


Figura 8-49. Análisis de clústeres. Dendograma para la asociación de estaciones.

Por último el tercer clúster solo lo comprende la estación 9. Que no presenta características similares con otra estación. Esto probablemente a sus condiciones peculiares de ubicación. Es la estación que se encuentra más cercana a la costa de Jalisco, en la bahía de puerto Vallarta. Un lugar con intenso turismo y transporte marítimo. Sus características principales son: gran profundidad, valores de carbono bajos, mayoritariamente partículas mayores a  $1680 \mu\text{m}$  y valores elevados de elementos naturales conservativos (K, Ti, Fe y Zn)



---

## 9 CONCLUSIONES

1. La zona central del pacífico mexicano en su mayoría se compone de arena fina y gruesa (61 %); en segundo lugar 15 % de limos y arcillas (<62.5 $\mu$ m); 12% de gravas y piedras y 12 % de arena muy fina.
2. La zona de estudio es de baja salinidad con pH que oscila entre 7.1-8.4. La zona central de la república es la de mayor pH. Por lo tanto también mayor concentración de carbonatos. La mayor salinidad se presentó en estaciones con mayor profundidad. Los valores de conductividad eléctrica van de 16.9 – 70.5  $\mu$ S/cm<sup>2</sup> para las estaciones 1 y 7 respectivamente.
3. La cantidad de carbono orgánico está en un intervalo de 0.54 a 6.22 %, con un promedio de 2.37 %. El orden descendente para la concentración de C orgánico es: Est.8 > Est.7 > Est.2 > Est.3 > Est.9 > Est.10 > Est.5 > Est.1 > Est.4 > Est.6 Est.1 > Est.4 > Est.6. Con una relación directa positiva con la profundidad. Es decir, a mayor profundidad existe una mayor concentración de C orgánico. esto probablemente por la menor existencia de biota a mayor profundidad que no consume los desechos orgánicos de los pisos oceánicos. En cuanto a C inorgánico, el orden de las estaciones fue: Est.4 > Est.6 > Est.5 > Est.3 > Est.1 > Est.2 > Est.8 > Est.7 > Est.9 > Est.10. La relación con la profundidad es inversa al igual que con la concentración de carbono orgánico.
4. El porcentaje de H tuvo un rango de 0.403-1.262% sin mucha variación entre estaciones. El nitrógeno de 0.045-0.719% y S solo detectado en 3 de 10 estaciones con porcentajes menores al 0.15 %. La zona no es muy rica en carbono mineral ya que su rango de concentración va de 0.07 % - 1.52% encontrado en la estación 2 que se ubica más alejada de la costa mexicana y con una alta profundidad.
5. El potasio se comportó como elemento conservativo, con un porcentaje en la zona un poco más bajo que en la corteza terrestre (10 % abajo), proba-



## 9. CONCLUSIONES.

---

blemente por ser recolectadas las muestras en época de lluvias. La distribución por tamaño de partícula mostro una afinidad mucho mayor a la fase fina. 91 % del potasio se asoció a la fase fina y solo el 9 % en la gruesa. Las concentraciones un poco más elevadas se encontraron mas alejadas de la costa.

6. La mayoría del calcio contenido en sedimentos marinos se encuentra en forma de  $\text{CaCO}_3$ . Las concentraciones van de 0.76 a 11.80% para la fase fina y de 1.29 a 18.12 para la fase total. Con una desviación elevada lo que indica disparidad entre zonas. La mayor concentración se presentó en la estación 6 para la fase fina y en la estación 4 para la fase total. Este cambio se debe a una mayor asociación de los carbonatos de calcio en la fase gruesa para la estación 4, que tiene una baja profundidad pero una mayor concentración de gravas y piedras. Las estaciones con profundidad menor a la PCC (véase 8.5.2.2) presentan mayor concentración de calcio. En cuanto a distribución las mayores concentraciones se presentan mientras más cercanas se encuentren las estaciones al golfo de California. El 86% del calcio en sedimentos del pacífico central mexicano se encuentran asociados a la fase menor a 62.5 micras.
7. El titanio y manganeso se comportaron como elementos conservativos. Con valores muy cercanos a los valores reportados en la corteza terrestre para la fase fina y un bajos (alrededor del 61%) para la fase total en el caso del Mn. La principal causa de la baja en la concentración puede ser por causas técnicas. El equipo y la preparación de la muestra son las principales variables.
8. El hierro no presento variaciones importantes en la zona. Valores casi la mitad por debajo de la abundancia en la corteza, debido a la época de lluvias. Valores promedio para la fase fina de 2.95%, y para la fase total de 3.05%. El 96% del hierro contenido tiene afinidad por la fase fina.
9. El valor promedio de Cu en fase fina es de 28 ppm y de 42 para la fase to-



## 9. CONCLUSIONES.

---

- tal. Un 66 % se asocia a la fase fina pero un porcentaje alto (34%) a la fase gruesa. El equipo y tratamiento de muestra practicado en el laboratorio de la UNAM no logró detectar Cu en la mitad de las estaciones.
10. Concentraciones de Zinc elevadas se encontraron en la zona de estudio. La presencia de organismos bentónicos eleva la concentración en sedimento. El Zn guarda una relación lineal con la profundidad. Entre estaciones los valores presentaron disparidad.
  11. La sensibilidad del equipo propiedad del ININ era mucho mas alta. El Ni se logró detectar en concentraciones del orden de 18 a 30 ppm. En el equipo de la UNAM no se detectó cuantitativamente. El Galio es un elemento conservativo que no se utilizó como referencia para los índices geoquímicos de acumulación ambiental por estar apenas encima del límite de detección del equipo. Esto falsee los datos.
  12. El plomo tiene una abundancia en la corteza de 12.5%. Las concentraciones en la zona del pacífico mexicano están en 40 ppm en fase fina y 51 ppm en fase total en promedio. Esto representa una aumento en 400%. El 78 % presenta afinidad por la fase fina. Entre estaciones hubo mucha variación (desviación estándar del 42%). Lo que indica que algunas zonas son contaminadas por factores particulares. Las de mayor concentración fueron las que tienen mayor influencia antropogénica (estaciones 1 y 10). La estación 1 por la descarga del río Baluarte y la 10 ubicada en plena bahía de Banderas. Las estaciones cerca de la costa como la 5 y 6 también tienen valores altos de Pb. Donde la afinidad del metal por la fase gruesa es casi la misma que por la fase fina. Esto probablemente por un fenómeno de superficie. Los átomos de Pb se adhieren a la superficie de gravas y arcillas por ser las que se encuentran en zonas de corrientes altas. Un caso para tomar atención es el de la estación 10. Con concentración de 133 ppm se ubica en el rango de sedimentos contaminados. Probablemente por acarreo de la zona con alto tráfico marítimo y turístico de bahía de Banderas y puer-



## 9. CONCLUSIONES.

---

to Vallarta.

13. Bromo y estroncio solo se detectaron en el estudio de la fase total. El estroncio es un elemento natural con concentraciones por encima de la abundancia en la corteza para tres estaciones del centro de la república. Tienen en común ser de poca profundidad y con ubicación geográfica muy cercana. El bromo es el elemento que sobrepasa en más la abundancia en la corteza. Sales disueltas que se depositan por condiciones de pH y temperatura provoca el aumento en sedimentos. No se tienen antecedentes de que el Br pueda considerarse como un elemento contaminante en estado asociado, cosa que no sucede en estado elemental donde es muy tóxico.
14. El orden de los elementos por concentración para la fase fina ( $<62.5 \mu\text{m}$ ) para la zona central del pacífico mexicano fue:  $\text{Ca} > \text{Fe} > \text{K} > \text{Ti} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Ga}$ . Para la fase total fue:  $\text{Ca} > \text{Fe} > \text{K} > \text{Ti} > \text{Sr} > \text{Br} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cu}$ . No existe cambio en el orden para los elementos comunes entre las dos mediciones. Se observó una mayor asociación de los metales traza con la fase fina por encima del 80%. En cuanto a las variaciones en el método para las dos mediciones de fluorescencia de rayos X, la técnica utilizada en el ININ (muestra en pastilla y tres mediciones de 1000 s con giro de muestra) presento mejores resultados, ya que en 30 de las 80 mediciones de elementos comunes se obtuvieron resultados de concentración mas elevados que en la fase total. Hecho que no es coherente debido a que en el sedimento total debe ser mayor la concentración de metales traza. Esto demuestra que la técnica detecta una mayor cantidad de cuentas que en la metodología utilizada en la UNAM (muestra en polvo y un solo conteo de 3000 s).
15. Las estructuras cristalinas principales encontradas en la zona de estudio fueron: Cuarzo > (Caolinita, Halita) > (Albita, Calcita) > (Montmorillonita, Piritita) > (Ortoclasa, Hematita, Albita Calciana, Biotita) > (Ortoclasa bariana, Gismondina, Sanidina).



## 9. CONCLUSIONES.

---

16. Las estaciones de muestreo 1, 3, 4, 5 y 6 son zonas con una alta concentración de carbonatos. Para presentar valores fidedignos de concentración de elementos mayoritarios y traza se debe aplicar una corrección debido a la dilución que generan los carbonatos. Se puede concluir de manera aproximada que la PCC ("Profundidad de compensación de carbonatos) para la zona central del pacífico central mexicano es de 300 m.
17. El orden de los elementos por su valor de factor de enriquecimiento promedio fue: Br (224) > Pb (5.2) > Zn (1.9) > Ca (1.8) > Sr (1.3) > K (1.2) > Cu (1.1) > Fe (0.7) > Mn (0.3). El Fe y Mn se consideran como elementos diluidos. Elementos como el K, Ca, Cu, Zn y Sr por su valor de FE entran en la categoría de conservativos. El Pb se considera como elemento enriquecido y el Br como altamente enriquecido para la zona central del pacífico mexicano.
18. El Br y Pb son los únicos elementos que presentaron índices de geoacumulación con valores positivos. Lo que indica que no provienen de la roca madre, sino que están siendo aportados por una fuente externa que puede ser antropogénica.
19. Por análisis de componentes principales se observaron asociaciones entre Ca y Sr con carbonatos. Esto es lógico ya que los dos elementos tienen características similares y puede el Sr ocupar sitios en la calcita en lugar del Ca. El Cu y Br presentaron alta afinidad a la materia orgánica. Mientras que elementos conservativos se asociaron a partículas de tamaño menor a 100  $\mu\text{m}$ . La estación 1 y 6 son las de mayor acumulación de plomo. Probablemente por la descarga directa del río Baluarte en el estado de Sinaloa. Esta misma característica provoca que la estación 1 tenga un tamaño de partícula grande. Las estaciones 4 y 5 presentan una asociación de elementos mayoritarios y traza en sedimentos con partículas de menor tamaño. Las estaciones 1 y 9 al contrario. La estación 5 es la que tiene mayor actividad fotosintética. En la estación 6 encontramos la mayor cantidad de bentos.



## 9. CONCLUSIONES.

---

Deben ser aguas tranquilas, con gran cantidad de nutrientes, profundidad media y condiciones de acidez estables. La estación 1 es la que presenta la menor biodiversidad. De nuevo la causa más posible debe de ser el desfoque de un río con descargas de asentamientos humanos y turismo.

20. Las estaciones se pueden agrupar en tres grupos de acuerdo a su similitud de características. El primero está formado por las estaciones: 1, 3, 4, 5 y 6. El grupo se caracteriza por una profundidad menor a los 100 metros, con mayoría de arena fina y gruesa ( $105 \mu\text{m} < x < 1680 \mu\text{m}$ ), un pH más básico que el resto de la zona de estudio, con conductividades bajas, la menor cantidad de materia orgánica y mayor de carbonatos (por lo mismo una alta concentración de calcio y estroncio) y las mayores concentraciones de Pb.

El segundo grupo lo forman las estaciones 2, 7 y 8. Profundidad media sobrepasando los 800 m, con mayoría de arena fina y gruesa mezclado con arena muy fina ( $62.5 \mu\text{m} < x < 105 \mu\text{m}$ ), los valores de pH más ácidos de la zona, contrariamente la mayor conductividad eléctrica, el mayor porcentaje de materia orgánica, el mayor porcentaje de carbono total (es decir, una cantidad apreciable de carbono en su forma elemental) además de valores elevados de cobre y bromo.

El tercer grupo solo lo forma una estación que es la 9. Esta estación se sale de las características comunes de la zona. Probablemente debido a su cercanía con la costa y a que es una zona con alta influencia turística, marítima y pesquera. Bahía de Banderas y Puerto Vallarta son zonas con gran influencia antropogénica, lo que provoca que sus características físico-químicas sean difícil de ser explicadas y relacionadas con el resto del pacífico central mexicano.



---

## 10 LITERATURA CITADA

Aguayo, J. E. & Trápaga, R., 2001. *Geodinámica de México y minerales del mar*. primera ed. México: Fondo de cultura económica.

Campbell, N., 1995. Surficial Bottom Sediments of Lake Taupo, New Zealand: texture, Composition, Provenance and Sedimentation Rates. *New Zeal. J. Geol.*, Volumen 38, pp. 61-79.

Carranza-Edwards, A. & Morales de la Garza, E. A., 1995. Sedimentos fosfatados en el golfo de Tehuantepec. *Hidrobiológica*, 5(1-2), pp. 25-36.

CC-BY-SA, 2009. *Wikipedia.org*. [En línea]

Available at: <http://es.wikipedia.org/wiki/Sedimentaci%C3%B3n>

[Último acceso: 3 Noviembre 2011].

Del-Aguila, P., Lugo, J. & Vaca, R., 2005. Determinación de factores de enriquecimiento y geoacumulación de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn. *Ciencia ergo sum*, 12(2), pp. 155-161.

Esteves, J. L., Gil, M. & Harvey, M., 1996. *Informes Técnicos del Plan de Manejo Integrado de la Zona Costera Patagónica*, Puerto Madryn, Argentina: Fundación Patagonia Natural.

Fuentes, M. V., Rojas, L., Diaz, A. & Martínez, G., 2010. Distribución de Metales Pesados en los Sedimentos Superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, Sucre, Venezuela. *Int.J. Trop. Biol.*, 58(3), pp. 129-140.

Gilmartin, M. & Relevante, N., 1978. The phytoplankton characteristics of the barrier island lagoons of the gulf of California. *Estuarine Coastal Marine Science*, Volumen 7, pp. 29-47.

Goldberg, E. D. & Arrhenius, G., 1958. Chemistry of Pacific Pelagis Sediments.. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 13(1), pp. 153-212.

Goldschmidt, V. M., 1954. *Geochemistry*. Primera ed. Oxford: Clarendon Press.

Goldschmidt, V. M. & Peters, C., 1932. Geoquímica del Boro. *Nachr. Gesellch. Naturwissensch*, 25(4), p. 402.

González-Fierro, A., Vázquez-Botello, A., Villanueva-Fragoso, S. & Ponce-Vélez, G., 1994. Presencia de metales en sedimentos recientes y organismos de la laguna Sontecomapán, Veracruz, México.. *Hidrobiológica*, 4(1-2), pp. 35-43.

González-Lozano, M. C., Méndez Rodríguez, L., López-Veneroni, D. & Botello, A., 2006. Evaluación de la contaminación en sedimentos del área portuaria y zona costera de

## 10. LITERATURA CITADA.



- 
- Salina Cruz, Oaxaca, México.. *Interciencia*, 31(009), pp. 647-656.
- Gutiérrez-Galindo, E., Flores, G., Ortega, V. & Villaescusa, J. A., 1994. Metales Pesados en Sedimentos de la Costa Fronteriza Baja California (México)- California (E.U.A.). *Ciencias Marinas*, Volumen 20, pp. 105-121.
- Harada, M., 1995. Minamata Disease: Methylmercury Poisoning in Japan Caused by Environmental Pollution.. *Crit. Rev. Toxicol.*, 25(1), pp. 1-24.
- Hernández, S., Franco, C. & Herrera, C., 2008. Carbono orgánico y materia orgánica en sedimentos superficiales de la Bahía Concepción. *Ciencia... Ahora*, 11(21), pp. 28-34.
- Holmes, R. R., 1996. Sediment Transport in the Lower Missouri and the Central Mississippi. *US Geological Survey Circular*, 1(1120), p. 23.
- Honjo, S. & Erez, J., 1978. Dissolution rates of calcium carbonate in the deep ocean; an in-situ experiment in the North Atlantic Ocean. *Earth and Planetary Science Letters*, 40(2), pp. 287-300.
- Lawson, D. R. & Winchester, J. W., 1979. A standard crustal aerosol as a reference for elemental enrichment factors. *Atmospheric Environmental*, Volumen 13, pp. 925-930.
- Löring, D. & T., R. R., 1992. Manual of the Geochemical Analyses of Marine Sediments and Suspended Particulate Matter. *Earth Science Rev.*, Issue 32, pp. 235-283.
- Müller, G., 1971. Schwermetalle in den sediment des Rheins, Veränderungem Seit. *Umschau*, Volumen 79, pp. 778-783.
- Olajire, A., Ayodele, E., Oyedirdan, O. & Oluyemi, E., 2003. Levels and Speciation of the Heavy Metals in Soils of Industrial Southern Nigeria. *Environ. Monit. and Assess.*, Issue 85, pp. 135-155.
- Ortega-Lara, V., 1991. *Metales Traza en Sedimentos Superficiales Marinos de la Región Noroccidental Fronteriza México-EUA. Tesis de Licenciatura*. Ensenada, B. C. México.: UABC.
- Pavé, P. J. & Marchese, M., 2005. Invertebrados Bentónicos como Indicadores de Calidad del Agua en Ríos Urbanos (Paraná-Entre Ríos, Argentina). *Ecología Austral*, 1(15), pp. 183-197.
- Pineda, V., 2009. granulometría y geoquímica de los sedimentos marinos en el área comprendida entre el seno Reloncaví y golfo Corcovado, Chile. *Ciencia y Tecnología del Mar*, 32(1), pp. 27-47.
- Ramírez-Elías, M. y otros, 2005. Estudio de Metales Pesados en Sedimentos del Arroyo
-

## 10. LITERATURA CITADA.



---

"La Caleta", Ciudad del Carmen, Campeche.. *Facultad de Química, Universidad Autónoma del Carmen.*, 1(1), p. 7.

Rodríguez-Meza, G. D., 2004. *Caracterización Geoquímica por Componentes Mayores y Elementos Traza de Sedimentos de los Ambientes Marinos Costeros a la Península de Baja California.* *Adyacentes*, La Paz, B. C. S. México.: CICIMAR-IPN.

Ryan, J. D. & Windom, H. L., 1988. A Geochemical and Statistical Approach for Assessing Metal Pollution in coastal Sediments.. En: Lacerda & Patchineelam, edits. *Metal in Coastal Environments of Latin America*. Berlin: Springer, pp. 47-58.

Shumilin, E. N. y otros, 2000. Anomalous trace elements composition of coastal sediments near the copper mining district of Santa Rosalía, Península de Baja California, México.. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, Volumen 65, pp. 261-268.

Soto-Jiménez, M. & Páez-Osuna, F., 2001. Cd, Cu, Pb, and Zn in Lagoonal Sediments from Mazatlán Harbor (SE Gulf of California). Bioavailability and Geochemical Fractioning. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, Issue 66, pp. 350-356.

Taylor, B., 1979. Bismarck Sea: evolution of a back arc basin. *Geology*, Volumen 7, pp. 171-174.

Vicente, J. L., 2010. *Análisis de componentes principales*. [En línea] Available at: [biplot.usal.es/DOCTORADO/3CICLO](http://biplot.usal.es/DOCTORADO/3CICLO) [Último acceso: 15 Mayo 2012].

Vicente, J. L., 2011. *Introducción al análisis de Clúster*, Universidad de Salamanca: Departamento de Estadística.

Villafuerte, M. M., 2000. *Estudio Químico de Sedimentos de la Plataforma Continental de una Porción del Pacífico Mexicano*. Tesis de Licenciatura ed. Mexico, D. F.: Facultad de Química. UNAM.

Villanueva, S. & Botello, A., 1998. Metal pollution in coastal areas of Mexico. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.*, Volumen 157, pp. 53-94.

Walkley, A. & Black, I. A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil. Sci.*, Volumen 63, pp. 251-263.

Yen, T. F. & Tang, J. I. S., 1977. Chemical Aspects of Marine Sediments. *Chemistry of marine sediments*, pp. 1-38.