



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



**Indicadores geoquímicos de la presencia de material volcanogénico
en los sedimentos superficiales de la laguna costera de
San Quintín, Baja California, México**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE
O C E A N Ó L O G O**

PRESENTA:

ENRIQUE NAVARRO VALENZUELA

ENSENADA BAJA CALIFORNIA, ABRIL DEL 2005

RESUMEN

Se investiga la geoquímica multielemental y distribución de tamaño de grano, en 32 muestras de sedimento superficial de la laguna costera de San Quintín (LCSQ) y piroclastos del campo volcánico basáltico circundante (CVSQ). La composición de los piroclastos, así como de las rocas volcánicas reportadas para la zona (tipo basalto de isla oceánica u OIB), tienen concentraciones altas de elementos químicos, como por ejemplo el Ti y Fe, comparadas con las rocas comúnmente encontradas en la corteza continental y la península de Baja California. Lo mismo ocurre para los sedimentos de la LCSQ, los cuales tienen las concentraciones de Fe ($\leq 5.3\%$) más altas de entre otros sedimentos costeros reportados en México. Las altas concentraciones de Fe normalizado con respecto al % de sedimento $<63 \mu\text{m}$ en la LCSQ, indican que el enriquecimiento de Fe en algunas muestras, especialmente de Bahía Falsa (BF), se debe en parte a la presencia de partículas tamaño arena, probablemente relacionadas con el intemperismo y erosión del CVSQ. A diferencia de Bahía San Quintín (BSQ), en BF no existe una tendencia de correlación positiva entre la concentración de Fe y la abundancia de lodos. La partición geoquímica del Fe indica que, si bien este elemento se encuentra en menor abundancia en BF, ahí se asocia en $\sim 50\%$ con la fracción oxihidróxidos amorfos, lo cual posiblemente se debe al grado de intemperismo de minerales volcanogénicos o a la acumulación de Fe en esta fracción debido a la diagénesis de materia orgánica aportada por el cultivo de ostiones. Las altas concentraciones de Ti ($\leq 1.05\%$) en algunas muestras son atípicas para sedimentos costeros y marinos, sustentando la influencia volcanogénica en la LCSQ.

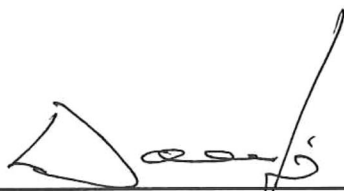
**Indicadores geoquímicos de la presencia de material volcanogénico
en los sedimentos superficiales de la laguna costera de
San Quintín, Baja California, México**

TESIS

QUE PRESENTA:

ENRIQUE NAVARRO VALENZUELA

APROBADA POR:



Presidente del jurado

Dr. Luis Walter Daesslé Heuser



Sinodal Propietario

Dr. Victor Froylán Camacho Ibar.



Sinodal Propietario

Dr. Miguel Agustín Téllez Duarte.

DEDICATORIA

A mi Madre Q.E.D.

A mi Padre

A mi Hijo

A mis Hermanos.

A mi Esposa

A todas las personas que conozco, por que de todos podemos aprender algo.

AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que conozco, por que han aportado algo en mi vida

A mi director de Tesis Dr. Luis Walter Daesslé Heuser por todo el apoyo, confianza y conocimiento que me ha brindando.

A mi comité de tesis: Dr. Victor Froylán Camacho Ibar, Dr. Miguel A. Téllez por las valiosas sugerencias a este trabajo.

A M.C. María Concepción Ortiz Hernandez, por la colecta de algunas muestras y su valioso apoyo en las extracciones secuenciales en el análisis de Fe.

A Arturo Siqueríos por su apoyo en el laboratorio y a Victor Macias, por su apoyo en campo.

Al Dr. José Carriquiry, por facilitar el acceso al ICP, en el laboratorio de Paleoceanografía.

A la UABC, IIO y FCM, por su apoyo durante mi educación.

A CONACYT y SEP-Promep, quienes financiaron la adquisición de la infraestructura analítica utilizada.

A todos mis compañeros de generación

CONTENIDO

1. INTRODUCCION.....	1
1.1 Hipótesis.....	7
1.2 Objetivos.....	7
2. MATERIALES Y METODOS.....	8
2.1 Área de estudio.....	8
2.2 Metodología.....	16
2.2.1 Campo.....	16
2.2.2 Laboratorio.....	17
2.2.2.1 Geoquímica de partición del Fe.....	19
2.2.2.1.1 Fracción intercambiable (NH ₄ Cl).....	19
2.2.2.1.2 Fracción oxihidróxidos de Fe (Ditionito Bicarbonato).....	20
2.2.2.1.3 Fracción residual / cristalina.....	20
2.2.2.2 Analisis.....	22
3. RESULTADOS.....	23
3.1 Distribución de tamaño de grano de los sedimentos de la LCSQ.....	23
3.2 Composición química de los sedimentos de la LCSQ.....	25
3.2.1 Metales.....	25
3.2.1.1 Distribución regional de Al, Fe y Ti.....	27
3.2.2 Distribución regional de P.....	31
3.2.3 Estadística Bivariada.....	33
3.3 Partición Geoquímica del Fe.....	35
3.4 Geoquímica de Piroclastos (Lapilli).....	37
4. DISCUSIONES.....	39
4.1 Geoquímica de rocas ígneas en la región de la LCSQ.....	39
4.2 Geoquímica de los sedimentos marinos de la LCSQ.....	42
4.2.1 Geoquímica del Fe y Ti.....	43
4.2.2 Elementos compatibles e incompatibles.....	47
4.3 Partición geoquímica del Fe.....	49

8. CONCLUSIONES.....	53
9. REFERENCIAS.....	55

LISTA DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1	Laguna costera de San Quintín, señalando las estaciones de muestreo. En las estaciones indicadas con un cuadrado se analizó la partición geoquímica. La ubicación de los conos volcánicos se indica como: 771, (R) Riveroll, (K) Kenton, (C) Ceniza, (V) Picacho Vizcaíno, (S) Sudoeste, (P1) (P2) Pescador 1 y 2 y (M) Monte Mazo. La línea punteada señala la separación de las bahías de manera empírica. ★Shallow Mud Sampler.	10
2	Tipo de materiales geológicos que rodean la laguna costera de San Quintín. Luhr <i>et al.</i> (1996).	12
3	Mapa regional de la distribución del porcentaje de lodos (% <63 μm), indicando las estaciones de colecta.	24
4	Concentración promedio de elementos mayores y elementos traza en 32 muestras de sedimentos de la LCSQ, y los valores máximos y mínimos para cada elemento. Las concentraciones de los elementos mayores están en porcentaje % y los elementos traza en $\mu\text{g g}^{-1}$.	27
5	Mapa regional de distribución espacial de la concentración de Al (%) en los sedimentos de la LCSQ, se indican las estaciones de muestreo y la localización de los volcanes.	29
6	Mapa regional de distribución espacial de la concentración de Ti (%) en los sedimentos de la LCSQ, se indican las estaciones de muestreo y la localización de los volcanes.	30
7	Mapa regional de distribución espacial de la concentración de Fe (%) en los sedimentos de la LCSQ, se indican las estaciones de muestreo y la localización de los volcanes.	31

- 8 Mapa regional de distribución espacial de la concentración de P ($\mu\text{g g}^{-1}$) en los sedimentos de la LCSQ, se indican las estaciones de muestreo y la localización de los volcanes. 33
- 9 Correlación entre Fe y P, para ambos brazos de la LCSQ. 35
Se indican con triángulos las muestras de Bahía Falsa y con cuadrados las de Bahía San Quintín. El coeficiente de correlación y las líneas de confianza son exclusivamente para las muestras de BSQ.
- 10 Concentración de elementos mayores, elementos traza y elementos de tierras raras, para rocas de la laguna costera San Quintín (volcán Kenton (V.K.), *Luhr et al. (1995)* y piroclasto (P.C.), *el presente estudio*), basalto de isla oceánica (OIB), basalto de cordillera meso oceánica (MORB), corteza continental (C. C.) *Wyman et al. (1996)* y granito, *Faure. (1991)*. 41
- 11 Correlación de Fe y % de sedimento $< 63 \mu\text{m}$, para ambos brazos de la LCSQ, indicando en triángulos BF y en cuadrados BSQ. La regresión y el coeficiente de correlación son exclusivos para las muestras ubicadas en BSQ. 46
- 12 Relación entre la razón de Ti/V (elementos compatibles), con el elemento incompatible Ba. Dentro del círculo se encuentran las muestras correspondientes al VK (*Luhr et al. 1995*) y las muestras G, F, 23, 31, J, I y K de la LCSQ. Corteza continental (CC, *Wyman et al. 1996*), y granito (*Faure. 1991*) 49
- 13 Mapa regional de distribución espacial de la concentración de Fe en los sedimentos. Indicando las estaciones de muestreo y localización de los volcanes. Diagramas de pie, indicando la partición del Fe en los sedimentos. 52

LISTA DE TABLAS

Tabla	Título	Página
I	Porcentaje de recuperación de elementos para el estándar certificado MAG-1 del USGS.	22
II	Concentración elemental promedio, máxima y mínima en sedimentos superficiales de BSQ, indicando la estación donde se localizan el máximo y el mínimo.	26
III	Índice de correlación de Pearson para los elementos analizados en sedimentos de la LCSQ ($n = 32$). Los valores estadísticamente significativos (intervalo de confianza 95 %) se indican en negritas.	34
IV	Concentraciones de Fe ($\mu\text{g g}^{-1}$), en la fracción intercambiable (NH_4Cl), oxihidróxidos amorfos de Fe (DB), Fe residual (HCl y NaOH).	36
V	Concentración de elementos mayores, en los diferentes estratos de lapilli colectados en el yacimiento del volcán Kenton.	37
VI	Concentración de elementos traza en los diferentes estratos de lapilli colectados en el yacimiento del volcán Kenton.	38
VII	Concentración de elementos de tierras raras en un estrato de lapilli colectado en el yacimiento del volcán Kenton..	38
VIII	Comparación de las concentraciones de Fe, respecto a otros sedimentos de las costas de BC y México.	43
IX	Comparación de los valores de Fe normalizados con tamaño de grano, respecto a otros sedimentos de las costas de BC y México.	45
X	Comparación de las concentraciones de Fe_{Total} y Ti en los sedimentos, indicando la concentración de Fe soluble en DB y el porcentaje que representa esta fracción en relación al Fe_{Total} .	51

ANEXOS

ANEXO	Título	Página
I	Concentración total para los elementos estudiados, así como el % < 63µm, para las 32 estaciones analizadas en la LCSQ.	1
II	Concentración de Fe (%), porcentaje de lodos (< 63µm) y normalización, publicados para otros sedimentos de costeros de Mazatlán (Osuna <i>et al.</i> , 1986), Norte Golfo de California (Daesslé <i>et al.</i> , 2002), Bahía Vizcaíno (Daesslé <i>et al.</i> , 2000), Región BC. (Villaescusa <i>et al.</i> , 1997) y Tamaulipas (Peña, 1989).	3
III	Concentraciones de Fe (%), lodos (< 63µm) y normalización para todas las muestras de la LCSQ, separando las muestras por bahías.	4

1.- INTRODUCCIÓN.

Los sedimentos costeros se depositan principalmente en las plataformas continentales, en una gran variedad de sistemas, los cuales están influenciados por las masas de tierra adyacentes. Consecuentemente las condiciones físicas, químicas y biológicas en estas áreas son más variables que en el mar profundo. Los ambientes de depósito costero incluyen estuarios, bahías, fiordos, lagunas, deltas, planicies de inundación, terrazas continentales y cuencas marginales (Chester, 1990).

La laguna costera de San Quintín (LCSQ) se localiza cerca de los poblados de San Quintín y Lázaro Cárdenas, a unos 200 km al sur de la ciudad de Ensenada sobre la costa del Pacífico. Ahí se desarrollan gran cantidad de actividades agrícolas, turísticas, acuícolas, comerciales y pesqueras. Son pocos los trabajos sobre la geoquímica de los sedimentos y la proveniencia de los componentes sedimentarios en la laguna y no se tiene conocimiento de alguno que discuta la probable influencia del material volcanogénico sobre la biogeoquímica de la laguna. El vulcanismo de San Quintín tiene importancia científica y económica. Geológicamente este vulcanismo se distingue por la presencia de rocas ultrabásicas en los volcanes del centro y norte del área. Dicha composición es poco usual y representa la composición del manto superior de la Tierra. Estos volcanes contienen minerales ultramáficos (característicos del manto superior) y

son los únicos de éstas características reportados para Baja California. Económicamente representan una fuente de riqueza por los materiales acumulados que fueron arrojados durante múltiples erupciones (Zúñiga-Santos, 1992). En el campo volcánico de San Quintín (CVSQ) existen tanto cenizas finas como gruesas. Sin embargo no existen depósitos de polvo volcánico, probablemente debido a que el viento los arrastró y dispersó en la zona. El área de estudio se ha encontrado expuesta a la influencia del océano desde el Cretácico depositándose sedimentos granulares finos como arenas, limos y arcillas. Al final del Terciario y durante el Cuaternario, inicia el vulcanismo en la zona, siendo muy explosivo en un medio acuoso, generando grandes volúmenes de tefritas y conos cineríticos, seguidos por la erupción de lavas basálticas al finalizar la actividad de cada volcán (Zúñiga-Santos, 1992).

Las rocas volcánicas se caracterizan por altas concentraciones de Fe, Ti, P, Mg y otros elementos, lo que las distingue de otras rocas que comúnmente se encuentran en la corteza terrestre. (Wyman *et al.*, 1996)

Uno de los primeros estudios geológicos en el CVSQ fue elaborado por Woodford (1928). Posteriormente Gorsline *et al.* (1962) estudiaron las características sedimentológicas de la LCSQ. Estos autores reportan que los conos volcánicos se encuentran en diversas etapas de erosión, pero en lo general se muestran

relativamente con un bajo grado de intemperismo, sin indicios de terrazas que hayan sido formadas por la influencia del mar. La línea de costa es recta, excepto donde el oleaje ha expuesto flujos volcánicos, que forman pequeños promontorios o irregularidades. Según Gorsline *et al.* (1962), mineralógicamente los sedimentos del fondo a lo largo de toda la laguna son constantes en composición. Las arcillas típicamente incluyen illitas y montmotillonitas, en proporciones aparentemente similares. Gran parte de este material es re TRABAJADO y proviene de la erosión por el oleaje y del transporte del campo de dunas.

Téllez-Duarte (1983) describió un afloramiento de sedimentos del Pleistoceno Superior (30 Ka a 120 Ka) en la costa noreste de Bahía San Quintín (BSQ) en el sitio conocido como “Molino Viejo”. En la columna estratigráfica, descrita por dicho autor, menciona la presencia de abundantes piroclastos¹ muy angulares, interestratificados de grano fino a grueso, que se localizan a 1.80 m bajo la superficie. Lo anterior sugiere que en esta zona en particular la sedimentación se debió a la acción combinada del aporte de drenajes fluviales provenientes del batolito peninsular, y la redistribución de los piroclastos volcánicos por el oleaje y las corrientes marinas.

¹ Término general que se emplea para definir a aquellos fragmentos producidos por una actividad volcánica explosiva y depositados por procesos de transporte resultantes de dicha actividad.

Díaz-García (1989) estudió la génesis de los volcanes de San Quintín mediante análisis petrológicos, y concluyó que la actividad volcánica Pliocuaternaria que caracteriza a la región, es producto de una cristalización diferenciada la cual parte de un material rico en óxidos de Mg, Ca, Al y Si.

Luhr *et al.* (1995) realizaron un estudio petrológico y geoquímico de tierras raras, elementos traza e isotópico, clasificando a los basaltos del CVSQ y proponen que el magmatismo de San Quintín representa el único magmatismo alcalino tipo intraplaca conocido en la península de Baja California, que se caracteriza por contener xenolitos peridotíticos del manto superior y granulitas de la corteza inferior.

Juárez-Aguilar (1996) realizó un estudio geoquímico, geocronológico y geológico del CVSQ, concluyó que el magmatismo que dió origen a este es del tipo de basaltos de islas oceánicas, similar al que se observa en Hawaii. Hace referencia que cerca de Bahía Falsa (BF) aflora un horizonte epiclástico de 0.4 m formado por un conglomerado oligomítico compuesto por clastos bien redondeados de basalto, embebidos en una matriz calcáreo-arenosa. Este horizonte sobreyace a un depósito de lapilli² retrabajado que contiene fragmentos de bivalvos y espinas de equinodermos.

² Piroclastos de forma subangular generalmente con dimensiones de 2 a 64 mm.

Carrillo-Sánchez (1985) analizó el contenido de materia orgánica en sedimentos y biodepósitos de la LCSQ, donde señala que los biodepósitos modifican el ambiente de la localidad creando condiciones reductoras. Tinoco-Orta (1996) estudió la calidad sanitaria del agua y bacterias reductoras de sulfato en sedimentos de BF, señalando que la producción de ácido sulfhídrico por bacterias, indica una modificación en el ambiente de la LCSQ, presentando condiciones anaerobias, principalmente en la zona de cultivo del ostión, debido a la mayor concentración de materia orgánica. Martínez-Magaña (1995) realizó un estudio sobre la distribución de metales pesados en sedimentos de la LCSQ, en el cual concluye, a través de técnicas de análisis multivariado, que existen dos fuentes principales de metales: la oceánica y continental. Este autor sugiere que, la primera transporta metales pesados asociados a nutrientes (Cd y Zn) por medio de surgencias, y la segunda se compone de material detrítico producto de la erosión de rocas graníticas del batolito peninsular y las rocas circundantes. Morales-Ramírez (2002) realizó un estudio sobre los niveles de metales en sedimentos superficiales y en pastos marinos (*Zostera marina*), en la LCSQ, encontrando que existen concentraciones altas de Fe, Mn y Zn en relación con otras lagunas de Baja California y Alaska. Utilizando una gráfica bivariada de la concentración de Fe en el sedimento y la abundancia (%) de lodos ($<63 \mu\text{m}$), señalando que existe una tendencia de correlación positiva ($r = 0.76$) entre estas dos variables para la totalidad de las muestras estudiadas. Sin embargo, se observa que la correlación

para el caso exclusivo de la LCSQ no es significativa, existiendo una gran dispersión de las concentraciones de Fe total, que no depende directamente del tamaño de grano. Ésto indica la existencia de minerales ricos en Fe, no necesariamente asociados con limos y arcillas.

1.1 Hipótesis

El intemperismo y la erosión de las rocas y piroclastos del campo volcánico basáltico-alcalino de San Quintín, han aportado minerales con concentraciones elevadas de metales particulados a los sedimentos de la LCSQ.

1.2 Objetivos

1. Identificar las características geoquímicas típicas de los sedimentos de la LCSQ en relación con otros sedimentos estudiados en zonas costeras de México.
2. Investigar las características geoquímicas típicas de las rocas volcánicas y piroclastos en la región de San Quintín.
3. Determinar los indicadores geoquímicos típicos de procedencia volcánica en sedimentos de la LCSQ.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de Estudio.

La LCSQ se localiza entre los 30°21.6'-30°30'N, y 116°00'-115°55.2'W aproximadamente a 200 km al Sur de la ciudad de Ensenada (Fig. 1). Tiene dos brazos los cuales en la cartografía se denominan como Bahía Falsa (BF) y Bahía San Quintín (BSQ). Las dos bahías son separadas por dos conos volcánicos cineríticos conocidos como Monte Ceniza y Monte Kenton. Al Oeste y Sureste de éstos, se encuentran otra serie de conos volcánicos con una alineación aproximada norte sur (Wooldford, 1928; Téllez-Duarte, 1983). Esta característica fisiográfica es la que determina la dominancia de materiales volcánicos en la porción central de las dos bahías. El lado Este de BSQ está conformado por suelos arcillosos recientes de origen aluvial. El lado Oeste con vista al Océano Pacífico, es un gran tómbolo que une a dos conos volcánicos (Téllez-Duarte, 1983). Esta laguna costera, tiene un origen tectónico contemporáneo con las etapas terminales del vulcanismo que emergió al SW de la planicie costera durante el Pleistoceno (Almeida-Vega, 1998).

El valle de San Quintín fisiográficamente consiste de una llanura costera alargada, paralela a la costa. Su ancho máximo es de 13 km y su longitud de 43 km aproximadamente. Dentro del Valle de San Quintín destacan por su altura los volcanes. El grupo volcánico de San Quintín se compone de una docena de

volcanes cuyos conos son visibles, aunque es probable que existan uno o dos mas con el cono destruído (Zúñiga-Santos, 1992).

La agricultura es la actividad que domina en el valle, los cultivos principales son tomates, chiles y fresas. El cultivo de tomate se duplicó entre 1990 y 1997. En la laguna la acuacultura del ostión *Cassostrea gigas* y de la almeja *Chione ssp.* por ley está restringida a BF que cubre alrededor de 300 hectáreas o 33 % del área superficial de dicho brazo. La acuacultura total ha incrementado de ~ 600 ton (peso seco) en 1990 a ~2000 ton en 1997 (Aguirre-Muñoz *et al.*, 2001) y esta actividad representa una carga de aproximadamente 400 kg/día de heces y pseudo heces (Carrillo-Sánchez, 1985). En el mar adyacente a LCSQ, son conocidos los eventos de surgencias, los cuales aportan nutrientes a la laguna (Millán-Núñez *et al.*, 1982).

Los sedimentos de la LCSQ presentan uniformidad en la composición mineralógica y ausencia de clastos gruesos, lo que sugiere que éstos provienen de la planicie costera y del transporte litoral. Probablemente los volcanes contribuyen volúmenes de sedimentos relativamente pequeños, esto debido en parte, al clima y a la naturaleza de los flujos volcánicos. Las características del material sedimentario sugieren que son producto de la redistribución de antiguos depósitos locales por olas y mareas (Gorsline *et al.*, 1962).

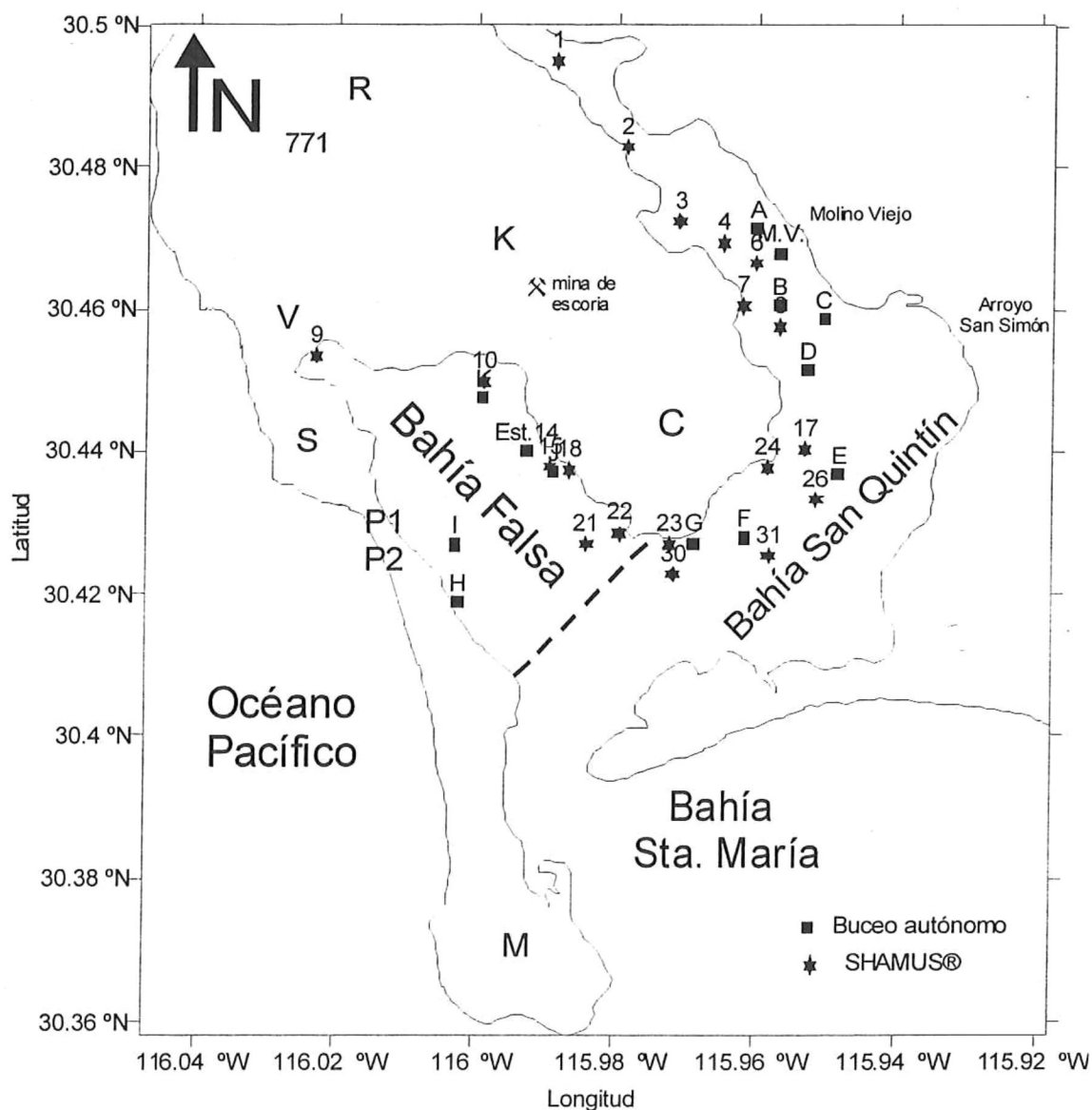


Figura 1.- Laguna costera de San Quintín, señalando las estaciones de muestreo. En las estaciones indicadas con un cuadrado se analizó la partición geoquímica. La ubicación de los conos volcánicos se indica como: 771, (R) Riveroll, (K) Kenton, (C) Ceniza, (V) Picacho Vizcaíno, (S) Sudoeste, (P1) (P2) Pescador 1 y 2 y (M) Monte Mazo. La línea punteada señala la separación de las bahías de manera empírica. ★Shallow Mud Sampler.

Los depósitos piroclásticos en el CVSQ son principalmente tobas y tefras de lapilli y ceniza, aglomerados y aglutinados, por lo que se infiere que se trata de material expulsado explosivamente. Los piroclastos se depositan en las cercanías de la salida del material magmático, construyendo conos aislados. Los materiales más pesados como bombas y bloques quedan en las cercanías de la boca por donde sale el magma mientras que los depósitos más finos se depositan generalmente en la parte superior formando capas (Juárez-Aguilar, 1996).

Las rocas basálticas y los piroclastos cubren una amplia extensión en la región costera de LCSQ (Luhr *et al.* 1995; Fig. 2) por lo que su erosión e intemperismo se consideran una fuente potencial de material a la laguna costera.

En las partes altas del valle de San Quintín afloran grandes cuerpos de rocas ígneas extrusivas félsicas y tobas riolíticas no diferenciadas y correlacionables con la Formación Alisitos del Cretácico Inferior. Hacia el oriente, fuera del área de estudio, esta unidad está intrusionada por cuerpos graníticos de tamaño y composición variable (granodiorita, tonalita y gabro; Gastil *et al.*, 1975).

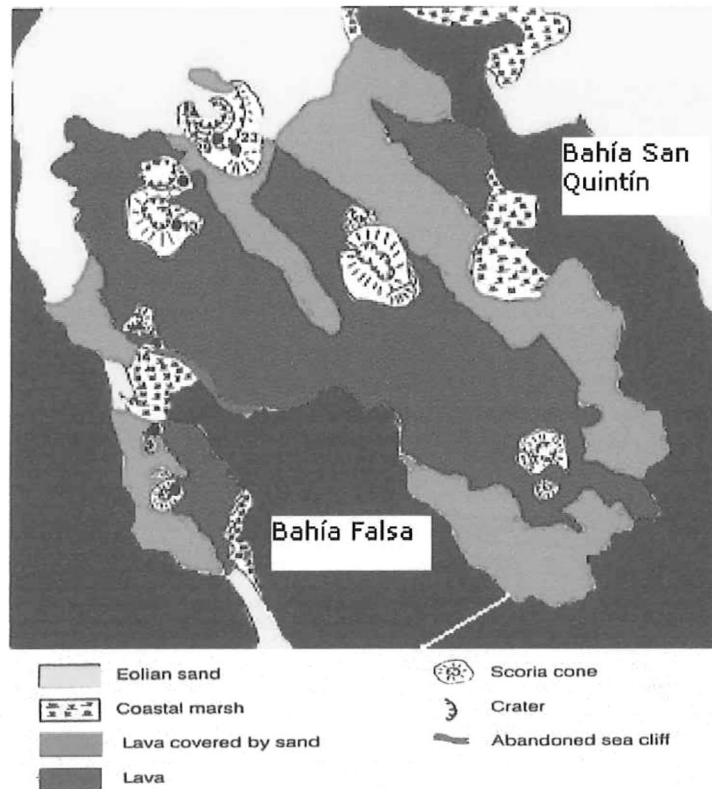


Figura 2.- Tipo de materiales geológicos que rodean la laguna costera de San Quintín. Luhr *et al.* (1995).

Las terrazas y mesetas costeras están constituídas por una secuencia de rocas sedimentarias marinas constituídas a su vez por areniscas, limonitas y lutitas de la Formación Rosario del Cretácico Superior. La mesa de San Simón está formada por conglomerados polimícticos del Plioceno compuestos por fragmentos de granito y caliza metamorfizada cementados por una matriz arcillo-arenosa. La planicie costera es una antigua terraza formada por material sedimentario marino (areniscas), aluvión y depósitos fluviales, que en conjunto alcanzan espesores de

50 a 250 m, descansando sobre una base de material arcilloso semiconsolidado de espesor variable del Pleistoceno y Reciente (Mejía-Vázquez, 1990).

Durante el Pleistoceno y Reciente dio inicio la actividad volcánica localizada al poniente de la planicie costera que formó el CVSQ. Ésta actividad corta y se desarrolla sobre el relleno sedimentario geogénico que sobreyace a la Formación Alisitos (Almeida-Vega, 1998). La mayoría de las rocas volcánicas en el CVSQ deben su origen a la actividad volcánica principalmente del tipo estromboliano, la cual se caracteriza por formar depósitos piroclásticos de composición basáltica distribuidos en un área de 50 a 5000 m², formando conos de escoria con derrames simultáneos de lava (Juárez-Aguilar, 1996).

El CVSQ se divide en dos grupos de volcanes, denominados norte y sur, y volcanes aislados como el Monte Mazo y la Isla San Martín. El grupo norte lo forman tres volcanes: Media Luna, Callado Internacional y Monte San Quintín, los cuales tienen alturas inferiores a los 120 m y su base inicia a los 40 msnm (Juárez-Aguilar, 1996), y se encuentran a menos de 5 km de la parte norte de BSQ. El grupo sur, lo forman los volcanes Riveroll, 771, Picacho Vizcaíno, Kenton, Ceniza, Pescador 1, Pescador 2 y Sudoeste. En la parte central del CVSQ se encuentra el volcán Riveroll, con una altura de 220 msnm, con depósitos piroclásticos intensamente intemperizados que tienden a acumularse en la parte

sureste del cono volcánico (Juárez-Aguilar, 1996). Al suroeste de este volcán se encuentra el volcán 771, sus derrames están más cercanos a la costa, y no están cubiertos por arena. El volcán Picacho Vizcaíno se eleva 100 msnm, y fluyó hacia el noroeste y hacia el sur en dirección a la entrada de BF, extendiéndose 1.2 km a partir del centro del cono volcánico.

En el centro de los dos brazos de la LCSQ se encuentra el volcán Kenton, el cual alcanza 260 msnm. Sobre la unidad más antigua del volcán Kenton descansan por lo menos 14 depósitos de lapilli, los cuales en conjunto tienen un espesor de 12 m dispuestos horizontalmente. Cada horizonte representa una erupción que se caracteriza por tener en la parte superior una capa de ceniza fina de 2 a 10 cm de espesor. Juárez (1996) interpretó estas capas de ceniza como material que se mantuvo más tiempo en suspensión y que se depositó lentamente como lluvia de ceniza al final de cada periodo eruptivo. Así mismo este autor infiere que las erupciones ocurrieron en un tiempo relativamente corto ya que de otra manera hubieran sido removidos por la lluvia u otros agentes meteóricos.

El volcán Ceniza se localiza hacia el sureste del volcán Kenton, en la parte oriental de BF y occidental de BSQ, alcanza 180 msnm, con derrames de basalto sobre los cuales se depositan sedimentos arcillo-calcáreos con fragmentos de gasterópodos y bivalvos (Juárez-Aguilar, 1996).

Los volcanes Pescador 1 y Pescador 2 son los más pequeños del CVSQ y se conectan con el volcán sudoeste por medio de la barra “El Playón”. Separado de los dos grupos está el volcán Monte Mazo, el cual se ubica en el extremo sur del tómbolo conocido como El Playón. Este cono no sobrepasa los 40 msnm (Juárez-Aguilar, 1996).

2.2 Metodología

2.2.1 Campo

En el 2003 se colectaron 19 muestras de sedimentos conteniendo los 2 cm superficiales, mediante un nucleador de mano "SHAMUS®" (Shallow Mud Sampler). Dicho nucleador tiene la característica de colectar y conservar la capa mas reciente de sedimento. El objetivo de colectar la superficie del sedimento, es por que se considera que esta porción es la que esta interactuando actualmente con la columna de agua. El nucleador está construído con material de PVC y colecta el sedimento en un recipiente de 60 ml fabricado con polietileno de baja densidad marca Nalgene®, por lo que no contiene ninguna pieza metálica en su estructura, con lo cual se evita que exista alguna contaminación por metales durante la colecta de las muestras. Adicionalmente, se estudiaron 13 muestras colectadas, por medio de buceo autónomo durante el año del 2002 (Fig. 1).

Se colecto material de tres estratos de lapilli del CVSQ, los cuales fueron diferenciados principalmente por su color (negro, rojo y café) de un yacimiento expuesto adyacente al volcán Kenton (Fig. 1). Las muestras fueron colocadas en bolsas ziplock y almacenadas en hielo.

2.2.2 Laboratorio

Para el presente estudio se eligieron **32** muestras que en su mayoría se encuentran adyacentes al canal principal de navegación de la LCSQ. Las muestras fueron extraídas cuidadosamente, se secaron durante 24 hrs en un horno a 60 °C, se molieron en un mortero de ágata y se guardaron en un desecador con silica gel hasta pesar y analizar.

El análisis de distribución de tamaño de grano se llevó a cabo con un analizador láser de partículas marca HORIBA LA910. A una submuestra seca se le agregó dispersante (hexametáfosfato de sodio) y se colocó en agitación para su homogenización. Posteriormente se tomó una submuestra con un gotero y se colocó en el recipiente de flujo del equipo, el cual cuenta con un bombeo continuo de una mezcla de agua con agente dispersante (Daesslé *et al.*, 2002).

Para el análisis químico, la disolución total de las muestras de sedimento se llevó a cabo según el método descrito por Thompson y Walsh (1989), el cual consiste en digerir 0.500 g de muestra macerada con ácidos concentrados en vasos de teflón. Al sedimento se le agregaron 10 ml de HNO_3 y posteriormente se taparon los vasos con vidrios de reloj en reflujo 1 hr a 90 °C. Posteriormente se evaporaron a 190 °C. Una vez evaporado todo el HNO_3 se agregaron 5 ml de HClO_4 y 10 ml de HF, se taparon los vasos con vidrios de reloj, se dejaron en reflujo 2 hr a 90

°C, se subió la temperatura a 140 °C y se dejaron 2 hr mas en reflujo. Posteriormente se evaporaron a 190 °C. Los residuos se redisolviaron con 10 ml de HCl al 30% y 40 ml de H₂O desionizada.

Para el análisis de elementos de tierras raras (ETR) en piroclastos se siguió el método de Watkins y Nolan (1992), el cual consiste en la utilización de columnas cromatográficas de 1.5 cm de diámetro interno, cargadas con resina de intercambio iónico Dowex[®] 50W-X8 de malla 200-400 a una altura de 17 cm en equilibrio con H₂O. La resina se limpió con 100 ml de HNO₃ 8 M, y luego con 500 ml de H₂O. Posteriormente, se equilibró con 100 ml de HCl 1 M.

Se cargaron las soluciones obtenidas de la digestión anteriormente descrita y se levigaron los elementos mayores y traza con 200 ml de HCl 1.75 M y después 200 ml de HNO₃ 1.75 M. Los ETR y el Itrio (Y) se levigan con 100 ml de HNO₃ 6 M y después 100 ml de HNO₃ 8 M. Este último levigado se colectó en un vaso de precipitados de 250 ml, (previamente lavado con HCl y enjuagado con H₂O desionizada), se evaporó cuidadosamente a 25 ml y se transfirió a un vaso de precipitados de 50 ml para evaporar a sequedad. Se redisolvió el residuo con 10 ml de HCl al 30 % y 40 ml de H₂O desionizada.

2.2.2.1 Geoquímica de partición del Fe.

Para el análisis de las distintas fracciones geoquímicas de Fe se utilizaron las extracciones secuenciales originalmente utilizadas para análisis de P, de acuerdo al método propuesto por Psenner *et al.* (1988), modificado por Hupfer *et al.* (1995), el cual consiste en exponer sedimento húmedo (equivalente a 0.5 g de material seco), a diferentes reactivos. Dichas extracciones se hicieron de manera paralela y colaborativa con el trabajo doctoral de la M.C. Maria Concepción Ortiz Hernández. El esquema de extracción para P es aquel que se describe a continuación y ha sido adaptado para conocer de manera general la fraccionación geoquímica del Fe a través de las siguientes consideraciones: (a) La fracción intercambiable (soluble en NH_4Cl) representa el Fe ligeramente adsorbido a partículas del sedimento, (b) fracción oxihidróxidos amorfos de Fe o “sensible a redox” (soluble en Ditionito Bicarbonato), se refiere al Fe en forma cristalina, y (c) la fracción residual, la cual resulta de la suma de las fracciones soluble en HCl y en NaOH , se considera como Fe cristalino, asociado a carbonatos y otros minerales ricos en Fe que no se solubilizaron en fracciones anteriores.

2.2.2.1.1 Fracción intercambiable (NH_4Cl)

Para la primera fracción se realizó la digestión en una atmósfera inerte de N_2 , agregando 25 ml de NH_4Cl 1 M y agitando durante 3 horas. Se filtraron los sobrenadantes y se agregaron 25 ml de NH_4Cl 1 M. Se agitaron durante 1hr e

igualmente se filtraron los sobrenadantes y se agregaron 25 ml de NH_4Cl 1 M. Se agitaron durante 25 minutos, se filtraron los sobrenadantes y finalmente se agregaron 25 ml de H_2O para enjuagar. Después de cada agitación la muestra se centrifugó a 5000 r.p.m. durante 10 minutos, para posteriormente decantar los sobrenadantes.

2.2.2.1.2 Fracción oxihidróxidos amorfos de Fe (Ditionito Bicarbonato)

Esta fracción, también se digirió dentro de una atmósfera inerte de N_2 . Al sedimento que no fue disuelto en la digestión anterior se le agregaron 25 ml de DB 0.11 M con pH 7 y agitando durante 2 horas, se filtraron los sobrenadantes y se agregaron 25 ml DB 0.11 M con pH 7, se agitaron durante 2 horas, se filtraron los sobrenadantes, después se agregaron 25 ml de NH_4Cl 1M, y se agitaron durante 25 minutos, se filtraron los sobrenadantes y finalmente se agregaron 25 ml de H_2O para enjuagar. Después de cada agitación la muestra se centrifugó a 5000 r.p.m. durante 10 minutos, para posteriormente decantar los sobrenadantes.

2.2.2.1.3 Fracción residual /cristalina

Se le agregaron 25 ml de NaOH 1 M, y se agitaron durante 16 hr, se filtraron los sobrenadantes, y se le agregaron 25 ml de NaOH 1 M, y se agitaron durante 2 hrs, se filtraron los sobrenadantes, después se le agregaron 25 ml de NH_4Cl 1 M, y se agitaron durante 25 minutos, se filtraron los sobrenadantes y finalmente se

agregaron 25 ml de H_2O , para enjuagar. Después de cada agitación la muestra se centrifugó a 5000 r.p.m. durante 10 minutos, para posteriormente decantar los sobrenadantes. Adicionalmente, se agregaron 25 ml de HCl 0.5 M, y se agitaron durante 16 hrs, se filtraron los sobrenadantes, y se le agregaron nuevamente 25 ml de HCl 0.5 M, y se agitaron durante 2 hrs, se filtraron los sobrenadantes, y después se le agregaron 25 ml de NH_4Cl 1 M, y se agitaron durante 25 minutos, se filtraron los sobrenadantes y finalmente se agregaron 25 ml de H_2O , para enjuagar. Después de cada agitación la muestra se centrifugó a 5000 r.p.m. durante 10 minutos, para posteriormente decantar los sobrenadantes.

Todos los lixiviados se acidificaron al 5% con HCl concentrado.

2.2.2.2 Análisis.

Para cuantificar la concentración de calcio (Ca), hierro (Fe), potasio (K), magnesio (Mg), sodio (Na), fósforo (P), titanio (Ti), bario (Ba), cobalto (Co), cobre (Cu), manganeso (Mn), níquel (Ni), vanadio (V), zinc (Zn), lantano (La), cerio (Ce), neodimio (Nd), samario (Sm), europio (Eu), gadolinio (Gd), disprosio (Dy), erbio (Er) e iterbio (Yb), se usó un espectrómetro de emisión atómica de plasma inductivamente acoplado (ICP-AES) marca Thermo Jarell Ash modelo Iris/Ap simultáneo. Para verificar la confiabilidad de los datos obtenidos en términos de precisión y sesgo en todos los pasos se utilizó el sedimento marino de

referencia MAG-1, distribuido por el departamento de Geología de los Estados Unidos (USGS). Los porcentajes de recuperación de este material de referencia certificado se presentan en la tabla I.

Tabla I.- Porcentaje de recuperación de elementos para el estándar certificado MAG-1 del USGS.

Elemento	Concentración reportada	Concentración medida	Porcentaje de recuperación
Al (%)	8.68	7.88	90.8
Ca (%)	0.98	0.98	100.1
Fe (%)	5.25	5.62	107.0
K (%)	2.95	2.94	99.8
Mg (%)	1.81	1.81	100.0
Na (%)	2.84	2.84	100.0
P (%)	0.07	0.05	64.5
Ti (%)	0.45	0.45	100.1
Ba ppm	539	480	89.1
Co ppm	29.6	20	67.6
Cu ppm	31.7	30	94.8
La ppm	42.7	43	100.7
Ni ppm	43.1	53	122.9
V ppm	109.5	140	127.9
Zn ppm	141.1	130	92.1
Sr ppm	128.0	150	117.2
La ppm	42.98	43.00	100.0
Ce ppm	7.25	8.80	121.4
Nd ppm	3.91	3.80	97.3
Sm ppm	0.66	0.75	113.3
Eu ppm	0.17	0.16	94.8
Gd ppm	0.56	0.58	102.8
Dy ppm	0.46	0.52	113.8
Er ppm	0.22	0.30	137.6
Yb ppm	0.26	0.26	100.3

El Mn no se analizó en MAG, sin embargo los porcentajes de recuperación con este método comunmente es 94 – 104%.

3. RESULTADOS

3.1 Distribución de tamaño de grano de los sedimentos de la LCSQ.

De acuerdo a la clasificación de Folk (1974), los sedimentos de la LCSQ texturalmente están constituidos principalmente por arenas y arenas limosas, con presencia de limos arenosos en las partes mas alejadas de la boca en ambas bahías y alrededor de la muestra 24 cerca de la zona intermedia entre ambas bahías, conocida como la base de "Y". En promedio los sedimentos contienen 6.7 % de arcillas, 50.4 % de limos y 42.7 % de arenas (Fig. 3). En el anexo 1, se muestran todas las concentraciones de los elementos estudiados para cada una de las estaciones.

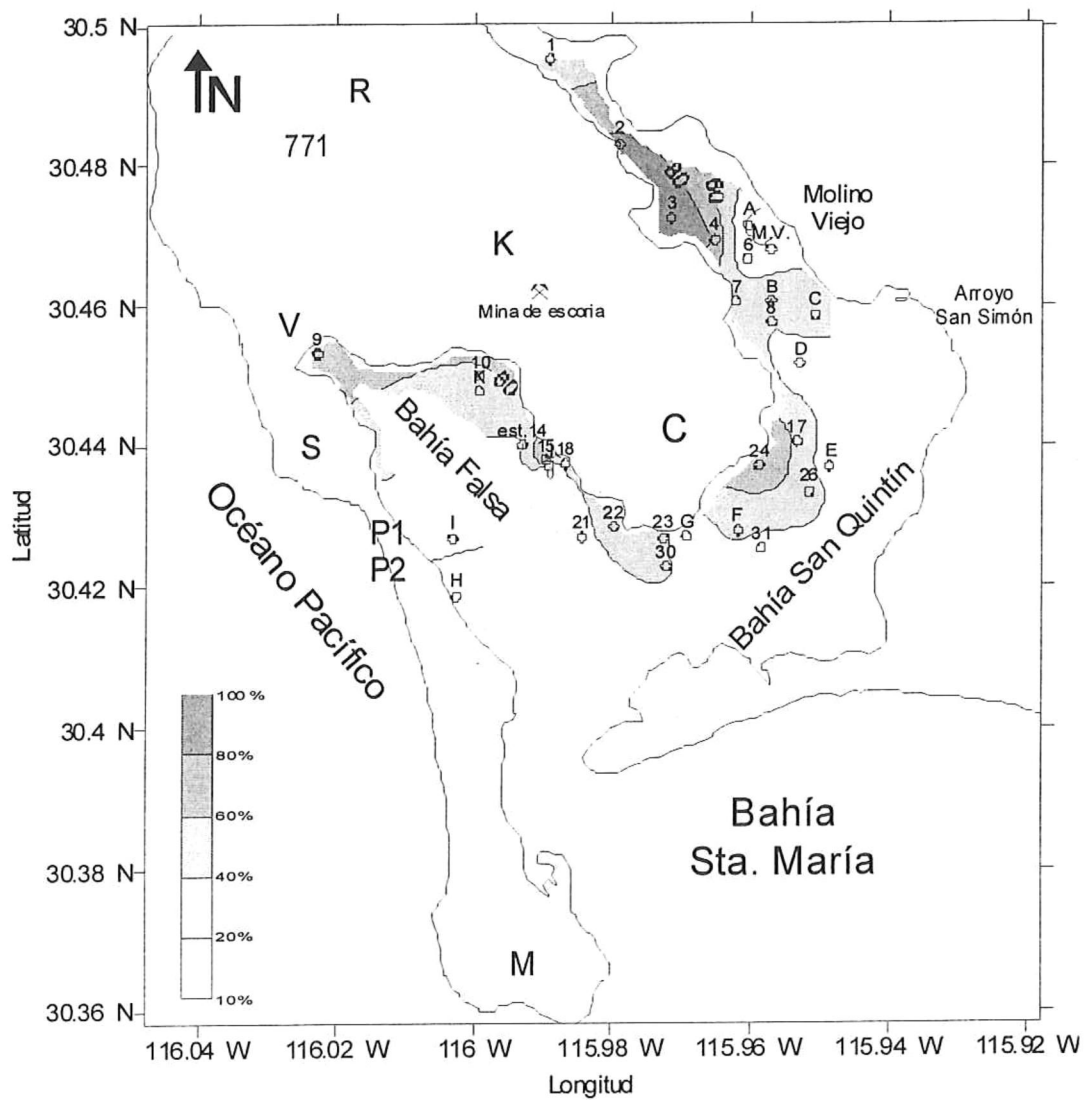


Figura 3.- Mapa regional de la distribución del porcentaje de lodos ($<63 \mu\text{m}$), indicando las estaciones de colecta.

3.2 Composición química de los sedimentos de la LCSQ.

3.2.1. Metales

Las concentraciones promedio, los máximos y los mínimos de los metales evaluados se muestran en la tabla II. En el Anexo 1 se presentan las concentraciones de los elementos químicos para cada muestra en lo individual.

De entre los 15 metales estudiados, se observa que los valores máximos de algunos elementos como el Fe (5.28 %), K (1.62 %), Mg (2.24 %) y Na (4.57 %), se encuentran en la estación C, la cual se localiza en la parte media de BSQ al NE del arroyo San Simón. Los valores máximos para Ti y La se localizan en la muestra 4 la cual también se encuentra en BSQ al NW de la estación C. En cuanto a los valores mínimos de Fe (1.51 %), Ca (2.78 %), Mg (0.61 %) y Ti (0.19 %), éstos se localizan en la estación A. Los valores mínimos para P, Co, V y Zn en la estación M.V. Ambas estaciones (A y M.V.) se encuentran en la parte Norte de BSQ, y se encuentran cercana una de la otra (Fig. 3).

En la Figura 4 se muestran de manera gráfica y en escala logarítmica, la concentración promedio, máximo y mínimo de las concentraciones de los elementos analizados en las 32 muestras. El Al, Na y Sr, son los elementos que presentan una menor variación en la concentración respecto a la media entre 8 y

Ca, Ti, P, Co, Cu, La, Mn, Ni y Zn, presentan una mayor variación en la concentración respecto a la media de 35 a 63 %.

Tabla II.- Concentración elemental promedio, máxima y mínima en sedimentos superficiales de BSQ, indicando la estación donde se localizan el máximo y el mínimo.

Elemento	Media	Máximo	Estación	Mínimo	Estación
Al (%)	7.90	8.98	D	6.59	18
Ca (%)	5.77	11.12	18	2.78	A
Fe (%)	3.73	5.28	C	1.51	A
K (%)	1.23	1.62	C	0.69	H
Mg (%)	1.50	2.24	C	0.61	A
Na (%)	3.22	4.57	C	2.47	H
Ti (%)	0.54	1.05	4	0.19	A
P (%)	0.042	0.125	7	0.012	M.V.
Sr ($\mu\text{g g}^{-1}$)	288	445	18	223	9
Ba ($\mu\text{g g}^{-1}$)	346	475	Est. 14	150	9
Co ($\mu\text{g g}^{-1}$)	15.9	25.3	26	5.3	M.V.
Cu ($\mu\text{g g}^{-1}$)	18.8	35.9	3	8.0	6
La ($\mu\text{g g}^{-1}$)	37.3	92.5	4	12.0	A
Mn ($\mu\text{g g}^{-1}$)	555	960	H	310	4
Ni ($\mu\text{g g}^{-1}$)	12.9	34.9	G	3.0	6
V ($\mu\text{g g}^{-1}$)	88.1	147.4	26	36.0	M.V.
Zn ($\mu\text{g g}^{-1}$)	59.9	106.7	3	21.0	M.V.

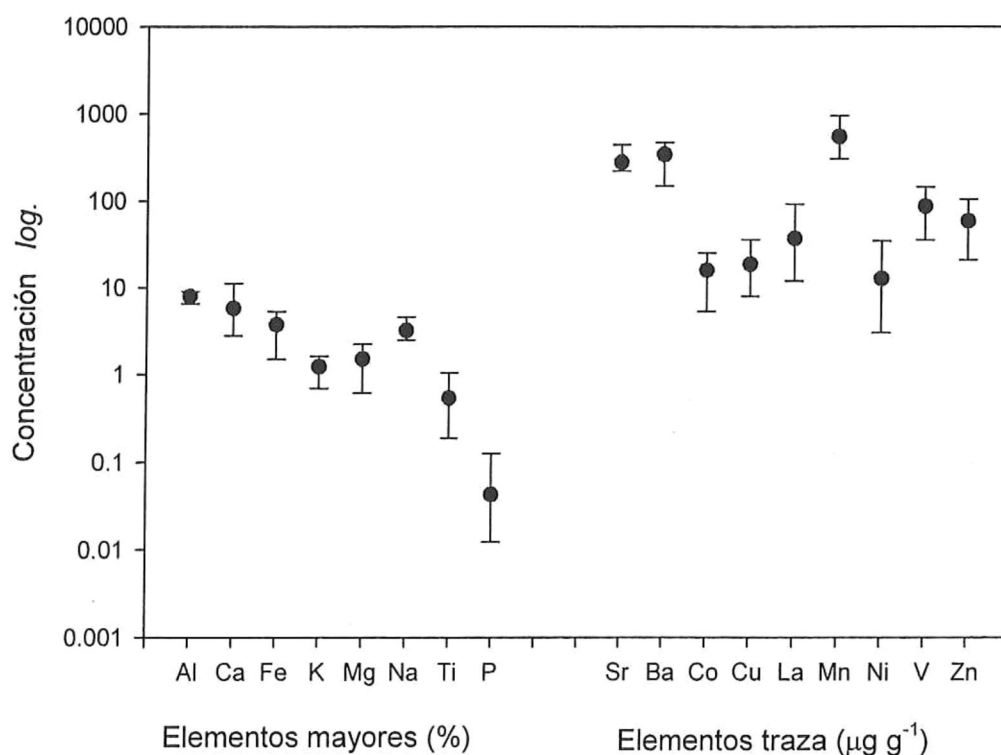


Figura 4.- Concentración promedio de elementos mayores y elementos traza en 32 muestras de sedimentos de la LCSQ, y los valores máximos y mínimos para cada elemento. Las concentraciones de los elementos mayores están en porcentaje % y los elementos traza en $\mu\text{g g}^{-1}$.

3.2.1.1 Distribución regional de Al, Fe y Ti.

De entre los metales estudiados, se presta especial atención al Al, Fe, y Ti, debido a que estos elementos presentan las siguientes características: (1) su uso común como elementos conservativos en estudios sedimentológicos y geoquímicos (Horowitz, 1991), (2) sus altas concentraciones en las rocas del CVSQ (Luhr *et al.*, 1995), (3) la alta variabilidad en las concentraciones de Ti en los sedimentos

de LCSQ (Fig. 4) y (4) el uso del Al y Fe como normalizadores en estudios de contaminación en sedimentos de la plataforma continental del sur de California (Schiff y Weisberg, 1999).

El Al es uno de los elementos que presenta menor variación a lo largo de las estaciones de muestreo. En el mapa regional, se observan los valores máximos en la zona de influencia del Arroyo San Simón, donde se localiza el valor máximo en la estación D (8.89 %). La menor concentración de Al se observa hacia el norte de ambas bahías (Fig. 5).

Los sedimentos de la LCSQ tienen altas concentraciones de Ti, presentando un máximo en las estaciones 4 y H (1.05 %). Así mismo se presentan altas concentraciones en la zona intermedia de las dos bahías, la cual es comúnmente conocida como “base de la Y” (muestras F y 31; Ti = 0.79 % en ambas). Las estaciones A, E, C y M.V. tienen las más bajas concentraciones, presentando un mínimo en la estación A (0.18 %) (Fig. 6).

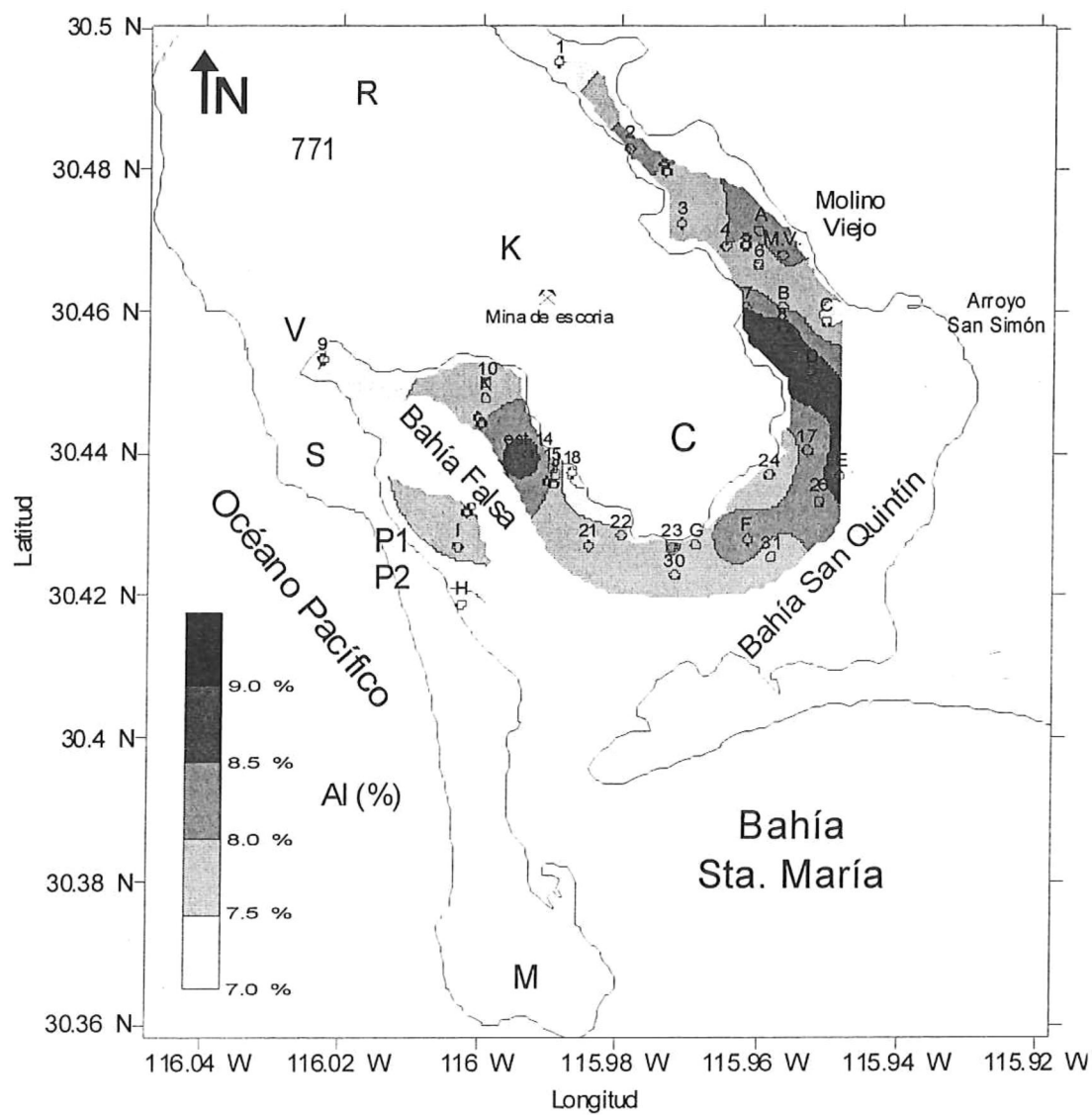


Figura 5.- Mapa regional de distribución espacial de la concentración de Al (%) en los sedimentos de la LCSQ, se indican las estaciones de muestreo y la localización de los volcanes.

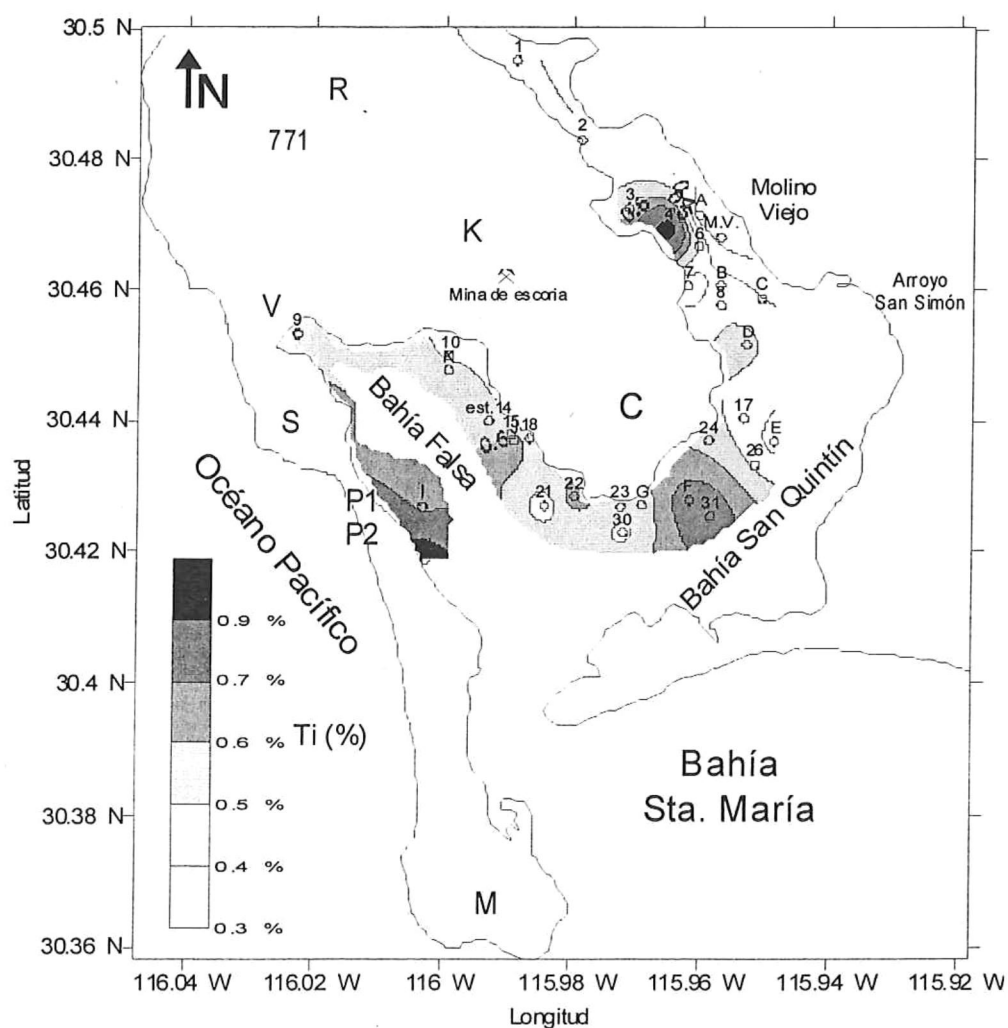


Figura 6.- Mapa regional de distribución espacial de la concentración de Ti (%) en los sedimentos de la LCSQ, se indican las estaciones de muestreo y la localización de los volcanes.

Las concentraciones de Fe en los sedimentos de la LCSQ presentan un promedio de 3.82 % con un máximo de 5.28 % en la estación C y concentraciones altas en las estaciones D y 3. El valor mínimo de Fe se localiza en la estación A (1.50 %). Es en esta estación donde se presentó la concentración mas baja de Ti.

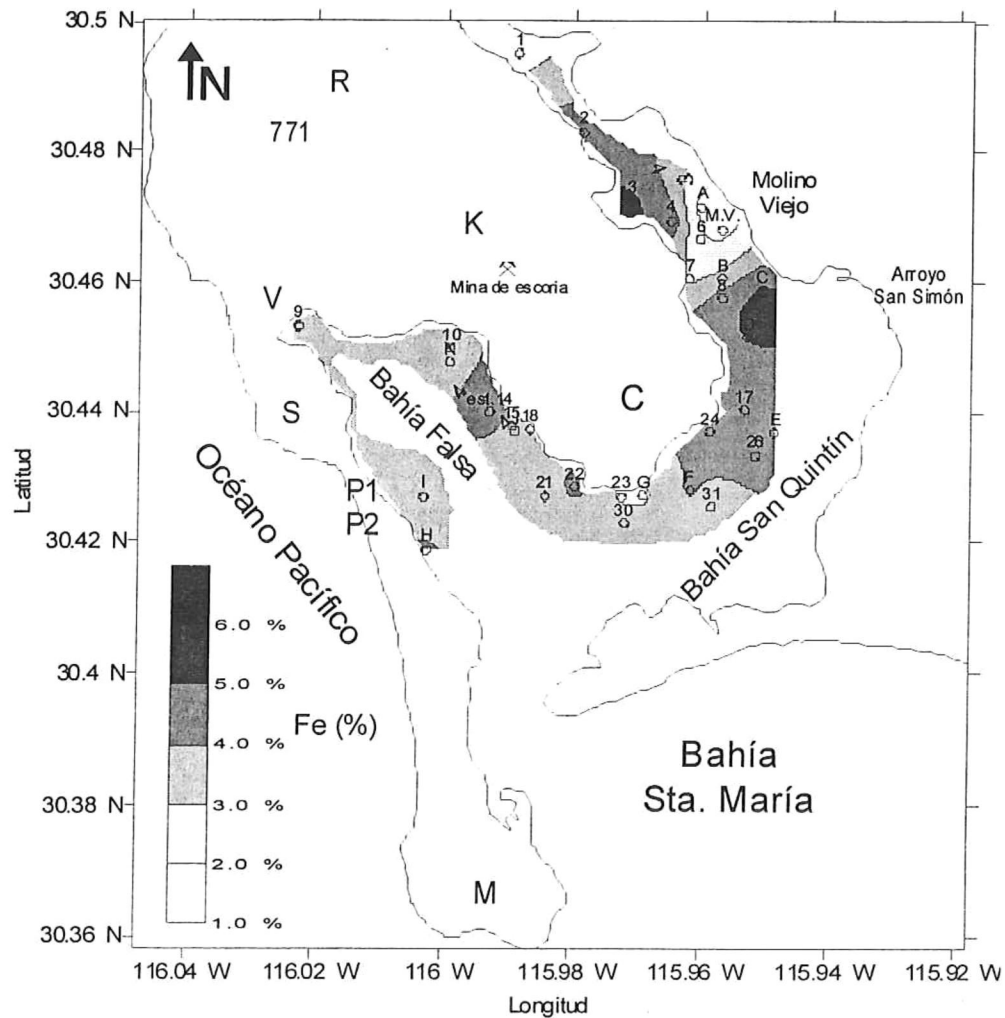


Figura 7.- Mapa regional de distribución espacial de la concentración de Fe (%) en los sedimentos de la LCSQ, se indican las estaciones de muestreo y la localización de los volcanes.

3.2.2 Distribución regional de P.

De los elementos estudiados (no metales) se destaca el P debido a: (a) su alta variación de concentraciones en la LCSQ, (b) sus elevadas concentraciones en los sedimentos de la LCSQ, así como en las rocas volcánicas de la región (Luhr *et al.*,

1995 y Fig. 4) y (c) la importancia de este elemento en los ciclos biogeoquímicos de lagunas costeras y el océano en general.

El rango de las concentraciones de fósforo en la LCSQ es de 120 a 1250 $\mu\text{g g}^{-1}$. Las concentraciones más altas se encuentran en la parte Este de BSQ y los mínimos en la parte Oeste de la misma. (Fig. 8, Tabla I, Anexo 1). Sin embargo, también existen concentraciones de P por arriba del promedio de 420 $\mu\text{g g}^{-1}$, en la costa NE de BF. En ambas bahías aparentemente existe un gradiente con mayores concentraciones cerca de la costa central (alrededor de la base de la "Y"), disminuyendo hacia las estaciones mas alejadas. El P presenta la mayor variación en sus concentraciones de entre todos los elementos estudiados.

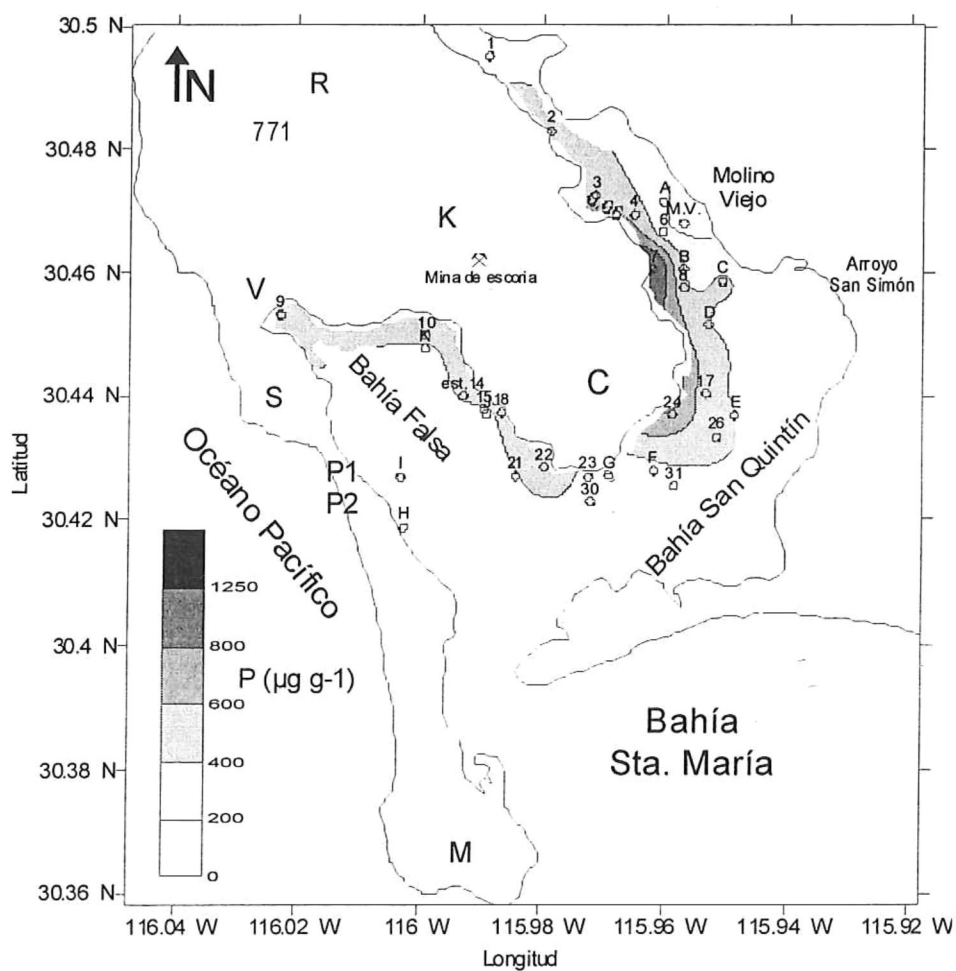


Figura 8.- Mapa regional de distribución espacial de la concentración de P ($\mu\text{g g}^{-1}$) en los sedimentos de la LCSQ, se indican las estaciones de muestreo y la localización de los volcanes.

3.2.3 Estadística Bivariada.

Utilizando el índice de correlación de Pearson para las concentraciones de los elementos estudiados, se observa que el Al presenta correlación positiva con el K y el Ba. El Ti sólo negativa con el Sr. El P presenta una correlación positiva con

el Cu, el La, el Zn y correlación negativa con el Mn y el Ni. El Fe muestra una correlación con el K, Mg, Co, Cu, V, Zn y Ti.

Tabla III.- Índice de correlación de Pearson para los elementos analizados en sedimentos de la LCSQ (n = 32). Los valores estadísticamente significativos (intervalo de confianza 95 %) se indican en negritas.

	<i>Al</i>	<i>Ca</i>	<i>Fe</i>	<i>K</i>	<i>Mg</i>	<i>Na</i>	<i>P</i>	<i>Sr</i>	<i>Ba</i>	<i>Co</i>	<i>Cu</i>	<i>La</i>	<i>Mn</i>	<i>Ni</i>	<i>V</i>	<i>Zn</i>	<i>Ti</i>
Al	1.00																
Ca	-0.29	1.00															
Fe	0.10	0.20	1.00														
K	0.44	0.11	0.68	1.00													
Mg	0.11	0.17	0.98	0.71	1.00												
Na	-0.15	-0.01	0.17	0.45	0.30	1.00											
P	0.03	0.64	0.33	0.38	0.29	0.08	1.00										
Sr	-0.31	0.31	-0.23	-0.25	-0.19	0.06	0.07	1.00									
Ba	0.82	-0.37	-0.13	0.19	-0.09	-0.23	-0.12	-0.13	1.00								
Co	-0.12	0.59	0.54	0.18	0.49	-0.09	0.28	0.10	-0.34	1.00							
Cu	0.18	0.09	0.74	0.70	0.75	0.24	0.38	0.20	-0.03	0.47	1.00						
La	-0.20	0.51	-0.02	-0.04	-0.03	-0.07	0.36	-0.20	-0.13	0.00	-0.34	1.00					
Mn	0.03	-0.70	0.02	-0.34	0.03	-0.20	-0.49	0.08	0.14	-0.26	0.04	-0.52	1.00				
Ni	0.02	-0.59	0.08	-0.20	0.05	-0.27	-0.34	0.00	0.02	-0.13	0.21	-0.44	0.74	1.00			
V	-0.17	0.44	0.56	0.13	0.53	-0.21	0.24	0.19	-0.17	0.83	0.52	0.12	-0.06	0.03	1.00		
Zn	-0.04	0.62	0.67	0.52	0.65	0.14	0.46	0.14	-0.32	0.89	0.70	0.03	-0.41	-0.19	0.75	1.00	
Ti	-0.27	-0.10	0.33	-0.17	0.24	-0.19	-0.14	-0.46	-0.31	0.17	-0.16	0.15	0.32	0.27	0.18	-0.05	1.00

La concentración de Fe no mostró correlación con respecto a la concentración de P, para las muestras de toda la laguna costera. Sin embargo, al correlacionar estas variables de forma separada para cada bahía se observa que BSQ si presenta una correlación positiva con excepción de dos muestras enriquecidas en P, mientras que BF presenta concentraciones de Fe entre el 3 y 5 % independientemente de la

concentración de P (Fig. 9). El límite seleccionado empíricamente para dividir la BF de BSQ, se señala en la Figura 1.

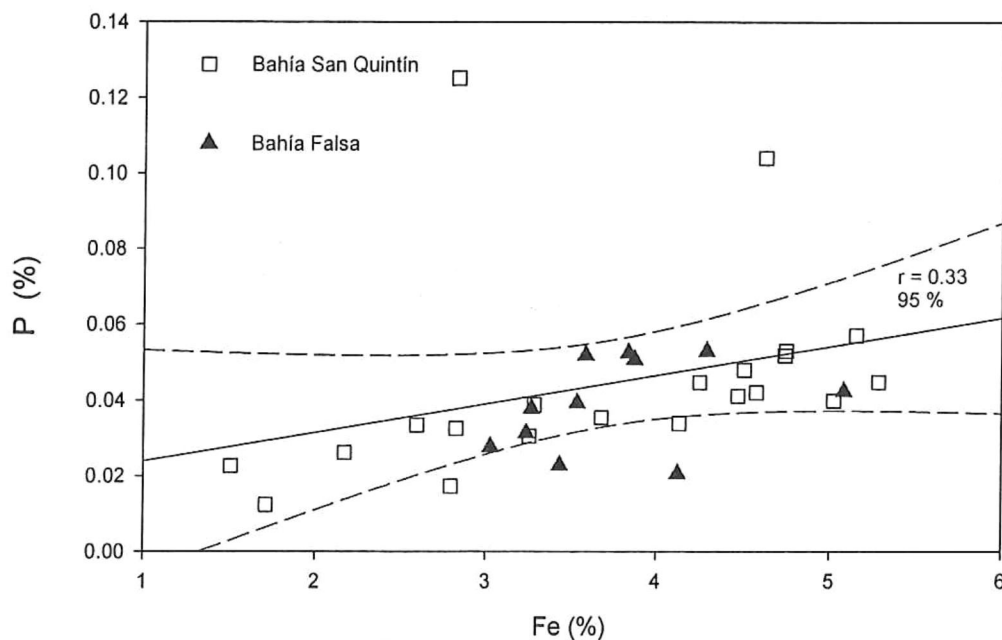


Figura 9.- Correlación entre Fe y P, para ambos brazos de la LCSQ. Se indican con triángulos las muestras de Bahía Falsa y con cuadrados las de Bahía San Quintín. El coeficiente de correlación y las líneas de confianza son exclusivamente para las muestras de BSQ.

3.3 Partición geoquímica de Fe

La concentración de Fe fue altamente variable en las fracciones de Fe residual y oxihidróxidos de Fe amorfo. Aproximadamente 34 a 77 % de la concentración total del Fe se encuentra en la fracción soluble en HCl y NaOH, y entre el 23 y 63 % del total de Fe en la fracción oxihidróxidos. En la fracción intercambiable presenta un promedio de $62 \mu\text{g g}^{-1}$ (0.7 % del total), con un máximo de $169 \mu\text{g g}^{-1}$.

¹ (5.2 % del total) que se presenta en la estación F, y un mínimo de 11 $\mu\text{g g}^{-1}$ (0.1 % del total) el cual se presenta en la estación C. La fracción oxihidróxidos amorfos de Fe presenta un promedio de 1808 $\mu\text{g g}^{-1}$ un máximo de 4929 $\mu\text{g g}^{-1}$ que se presentó en la estación C, y un mínimo de 282 $\mu\text{g g}^{-1}$ localizado en la estación G. La fracción Fe residual presentó un promedio de 3160 $\mu\text{g g}^{-1}$, con un máximo de 12795 $\mu\text{g g}^{-1}$ ubicado en la estación C, y un mínimo de 445 $\mu\text{g g}^{-1}$ localizado en la estación H (Tabla IV).

Tabla IV.- Concentraciones de Fe ($\mu\text{g g}^{-1}$) en la fracción intercambiable (NH_4Cl), oxihidróxidos amorfos de Fe (DB), Fe residual (HCl y NaOH).

		Fe		
		Intercambiable	Amorfo	Residual
		NHCl	DB	HCl + NaOH
A	BSQ	20	969	2458
B	BSQ	63	2090	7110
C	BSQ	11	4929	12795
D	BSQ	80	4119	5159
E	BSQ	80	3740	5493
F	BSQ	169	1327	1741
G	BSQ	72	282	541
M.V.	BSQ	24	429	634
H	BF	17	690	445
I	BF	34	373	867
J	BF	14	605	649
K	BF	77	827	1479
EST.14	BF	147	3125	1705
Prom.		62	1808	3160
Máx.		169	4929	12795
Mín.		11	282	445

3.4 Geoquímica de Piroclastos (Lapilli).

Se considera que los fragmentos de lapilli son susceptibles de ser intemperizados y erosionados fácilmente, debido a su alta porosidad y bajo grado de consolidación, por lo cual pueden ser una fuente importante de sedimentos a la LCSQ. De los tres estratos colectados (Fig. 1), se analizaron los mismos elementos químicos que en los sedimentos, además de realizar un análisis de elementos de tierras raras.

Los tres estratos de lapilli, discriminados por su color, presentan concentraciones similares en todos los elementos mayores. Destacan las altas concentraciones de Ti, Fe y P. Al igual que los elementos mayores, los elementos traza varían en menos del 5.7 %, entre los diferentes estratos a excepción del Ni, el cual varía de 72.8 a 97.7 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Tabla VI).

Tabla V.- Concentración de elementos mayores, en los diferentes estratos de lapilli colectados en el yacimiento del volcán Kenton.

Estrato de lapilli	Elementos Mayores (%)							
	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na	Ti	P
Negra	7.68	*	7.22	1.43	4.89	2.58	2.15	0.137
Roja	7.91	6.52	7.80	1.51	4.94	2.85	2.05	0.119
Café	8.41	6.75	8.45	1.60	5.40	3.06	1.89	0.124

* no analizado

Tabla VI.- Concentración de elementos traza en los diferentes estratos de lapilli colectados en el yacimiento del volcán Kenton.

Estrato de lapilli	Elementos Traza ($\mu\text{g g}^{-1}$)								
	Sr	Ba	Co	Cu	La	Mn	Ni	V	Zn
Negra	472	377	31.0	39.6	32.5	664	78.3	130	53.1
Roja	450	363	33.2	40.0	32.7	671	97.7	146	54.8
Café	451	390	32.0	41.2	27.9	691	72.8	137	57.0

Las concentraciones de ETR obtenidas en el estrato de lapilli estudiado, se presentan en la Tabla VII.

Tabla VII.- Concentración de elementos de tierras raras en un estrato de lapilli colectado en el yacimiento del volcán Kenton.

Estrato de lapilli	Elementos de Tierras raras ($\mu\text{g g}^{-1}$)							
	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Yb
Negra	32.5	54.0	31.8	5.50	1.11	6.44	5.32	2.98

4. DISCUSIONES

4.1 Geoquímica de rocas ígneas en la región de la LCSQ.

Para determinar las posibles fuentes de sedimento a la LCSQ a partir de la geología y geoquímica de la región, se comparó la composición de elementos presentes en seis tipos de roca. La figura 10 muestra la concentración de elementos mayores, elementos traza y elementos de tierras raras normalizados con respecto a un estándar de condrita, para seis tipos de rocas: basalto de isla oceánica (OIB, por sus siglas en inglés), basalto de cordillera meso oceánica (MORB por sus siglas en inglés), corteza continental (CC), granito, volcán Kenton (VK) y piroclastos (PC) del CVSQ.

Las concentraciones de los elementos químicos en rocas se normalizan generalmente con respecto a un estándar común de referencia, comúnmente las condritas (meteoritos). Las condritas son elegidas porque se considera que son muestras sin fraccionar del Sistema Solar. La normalización por condritas tiene dos funciones importantes. En primer lugar reduce la variación de la abundancia entre los elementos y en segundo lugar permite identificar cualquier fraccionación de los elementos químicos con relación a las condritas, las cuales se asume tienen una composición química similar al promedio del planeta Tierra (Rollinson, 1993).

Estos tipos de roca fueron seleccionados con base en el origen basáltico del CVSQ, así como la litología granítica dominante de la península de Baja California. Se puede observar que, en lo general, la concentración de los distintos elementos es similar en todas las rocas, sin embargo existen diferencias notorias en la composición de algunas, dependiendo de su petrología.

Las rocas que forman parte del CVSQ, donde se tomó al VK y los PC como ejemplo, son los materiales con las mayores concentraciones de Na, Cu (para los piroclastos) y P, Ti, Co, Zn y Nb (para el volcán Kenton). Ambos materiales presentan elevadas concentraciones de Fe y Mg al igual que los OIB. Entre estos elementos resalta el enriquecimiento de Ti (2.5 %), P (0.13 %), Fe (7.3 %) y Mg (4.8 %), que son notablemente mayores en el CVSQ (VK y PC) en comparación con el resto de las rocas.

Los elementos traza con las mas altas concentraciones para PC y VK, son el Cu (40.3 y 37.0 $\mu\text{g g}^{-1}$), Co (32.1 y 45.5 $\mu\text{g g}^{-1}$) y Zn (55.0 y 82.0 $\mu\text{g g}^{-1}$), respectivamente, además Sr (558 a 611 $\mu\text{g g}^{-1}$), V (138 a 220 $\mu\text{g g}^{-1}$) y Ni (82 a 112 $\mu\text{g g}^{-1}$), presentan un ligero enriquecimiento en estas rocas. La concentración de ETR en las distintas rocas es muy similar. El OIB y VK son los que se encuentran mas enriquecidos en Eu (3.0 y 2.0 $\mu\text{g g}^{-1}$ respectivamente), respecto a las otras rocas.

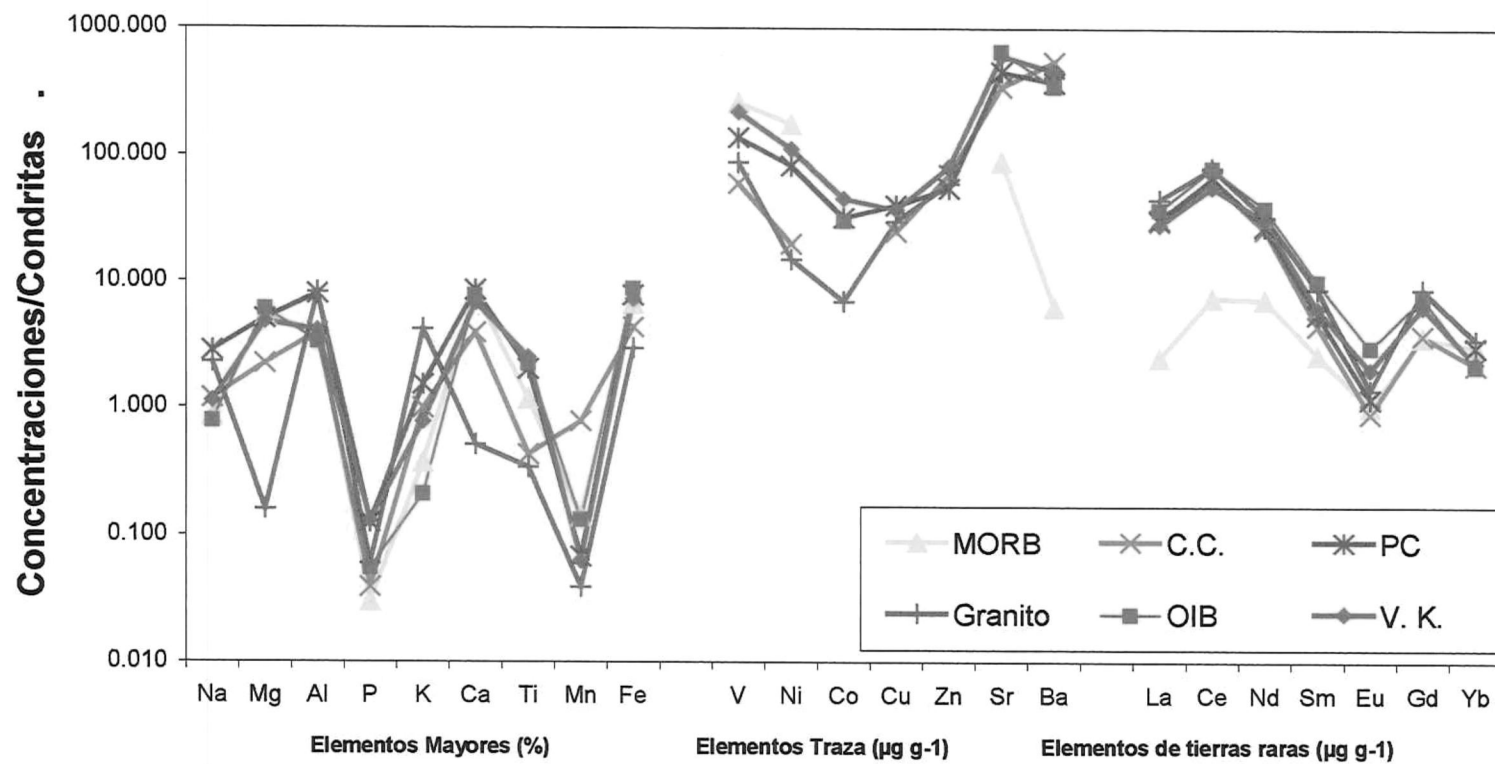


Figura 10.- Concentración de elementos mayores, elementos traza y elementos de tierras raras, para rocas de la laguna costera San Quintín (volcán Kenton (V.K.), *Luhr et al. (1995)* y piroclasto (P.C.), *el presente estudio*), basalto de isla oceánica (OIB), basalto de cordillera meso oceánica (MORB), corteza continental (C. C.) *Wyman et al. (1996)* y granito, *Faure. (1991)*.

Por lo anteriormente expuesto, se observa una composición tipo OIB para las rocas volcánicas y piroclastos del CVSQ, misma que había sido indicada para las rocas volcánicas por Juárez (1996) y se indica por vez primera para los piroclastos. Las concentraciones de Na, P, Ti, Co, Cu y Zn, son las más altas en el CVSQ de entre todas las rocas usadas en la comparación, incluyendo OIB.

4.2 Geoquímica de los sedimentos marinos de la LCSQ.

Se comparó la concentración de elementos en los sedimentos de la LCSQ, con valores publicados para otros sedimentos costeros incluyendo Mazatlán (Osuna-López *et al.*, 1986), el Norte Golfo de California (Daesslé *et al.*, 2002), Bahía Vizcaíno (Daesslé *et al.*, 2000), la zona costera fronteriza entre el estado de California E.U.A. y Baja California, México (Villaescusa-Celaya *et al.*, 2000) y Tamaulipas (Peña-Anaya, 1989) (Anexo 2). Se observó que los sedimentos de la LCSQ tienen la más alta concentración promedio de Fe de todos ellos (Tabla VIII). Dada la alta concentración de Fe y Ti en las rocas del CVSQ y sus piroclastos, así como de los propios sedimentos marinos en la LCSQ, la presente discusión se orienta a resolver la hipótesis sobre la proveniencia volcanogénica de los sedimentos de la LCSQ utilizando éstos elementos como indicadores geoquímicos.

4.2.1 Geoquímica del Fe y Ti.

La concentración promedio de Fe en los sedimentos de la LCSQ es de 3.82 %. Las concentraciones de este elemento son altas al compararse con sedimentos costeros de otras regiones, en Baja California y el país.

Tabla VIII.- Comparación de las concentraciones de Fe, respecto a otros sedimentos de las costas de BC y México.

	Concentración de Fe (%)					
	BSQ n=32	B.VIZ ^a n=17	NGC ^b n=53	Tamaulipas ^c n=24	Mex-E.U. ^d n=19	Mazatlán ^e n=10
Media	3.82	1.71	1.9	2.42	2.72	2.16
Máximo	5.28	2.20	2.537	3.775	4.60	5.05
Mínimo	1.50	1.25	0.557	1.315	1.36	1.09
Desv. Est.	1.02	0.28	0.60	0.65	0.72	1.15

^aBahía Vizcaíno (Daesslé *et al.* 2000), ^bNorte Golfo de California (Daesslé *et al.* 2002), ^cPeña-Anaya (1989), ^dMex-E.U.= zona costera fronteriza entre el estado de California E.U.A. y Baja California, México (Villaescusa-Celaya *et al.* 1997), ^eOsuna-López *et al.* (1986).

Dada la posibilidad de que las altas concentraciones de Fe en la LCSQ se deban a una mayor abundancia de material fino (Ej. arcillas; Horowitz, 1991) y no a la presencia de material volcánico rico en Fe, se normalizó la concentración de Fe con respecto a la fracción de sedimento < 63 µm. La normalización de las muestras se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Valor normalizado} = (\text{factor de dilución}) (\text{Concentración de Fe en } \%)$$

Donde:

$$\text{Factor de dilución} = 100 / \% \text{ menor a } 63 \mu\text{m}$$

Los valores normalizados para la LCSQ (Tabla IX) y otras áreas estudiadas indican que, con excepción de la región de Mazatlán, las concentraciones normalizadas mas altas se encuentran en la LCSQ con un promedio de 10.7 %). Cabe señalar que las regiones reportadas en la Tabla IX, son las únicas para las que se encontraron reportes publicados con bases de datos completas y confiables sobre tamaño de grano y concentración de Fe.

Un valor normalizado alto (el caso para el máximo en LCSQ, Tabla IX) indica que la presencia de Fe que no se asocia necesariamente a la abundancia de lodos, cuyos minerales normalmente tienen una alta capacidad de adsorción y su litología es más rica en metales que los sedimentos arenosos. El enriquecimiento en Fe (al menos en parte) en la LCSQ, se atribuye a minerales no lodosos. La alta concentración promedio normalizada para los sedimentos de Mazatlán se atribuye a dos muestras arenosas colectadas en la porción central del canal de navegación, el cual fue sometido anualmente a operaciones de dragado, lo cual probablemente afectó los procesos naturales de incorporación de Fe y otros metales en estos sedimentos (cf. Osuna *et al.*, 1986), por lo que se consideran anómalos. Al excluir estas muestras del cálculo de la concentración de Fe normalizado se obtienen valores promedio de 8.5 % y de 5.2 % y 12.7 % como mínimo y máximo respectivamente.

Tabla IX.- Comparación de los valores de Fe normalizados con tamaño de grano, respecto a otros sedimentos de las costas de BC y México.

	Valores normalizados de Fe con lodos				
	BSQ n=32	B.VIZ ^a n=17	NGC ^b n=53	Tamaulipas ^c n=24	Mazatlán ^e n=10
Media	10.73	5.47	3.8	6.02	12.28
Máximo	41.25	19.68	35.0	21.36	35.62
Mínimo	4.07	1.94	1.06	2.37	5.23
Desv. Est.	7.67	5.42	4.89	4.18	9.14

^aBahía Vizcaíno (Daesslé *et al.* 2000), ^bNorte Golfo de California (Daesslé *et al.* 2002),

^cPeña-Anaya (1989), ^eOsuna-López *et al.* (1986).

La figura 11 muestra la relación entre la concentración de Fe y el porcentaje de sedimento < 63 µm en los sedimentos de la LCSQ. A pesar de que la correlación no es estadísticamente significativa, se aprecia que las muestras colectadas en BSQ presentan tendencia de correlación positiva entre Fe y el tamaño de grano, y que las estaciones que se encuentran en BF poseen todas de 3 a 5 % de Fe independientemente del tamaño de grano, que varía de 10 a 90 % de lodos. Esta información al igual que la base de datos de la Tabla IX y el Anexo 2 sugieren que, si bien en BSQ la geoquímica del Fe pudiera estar de forma general controlada por el tamaño de grano (fino), en BF el rango de concentraciones de Fe (de 3 a 5 %) es independiente del tamaño de grano.

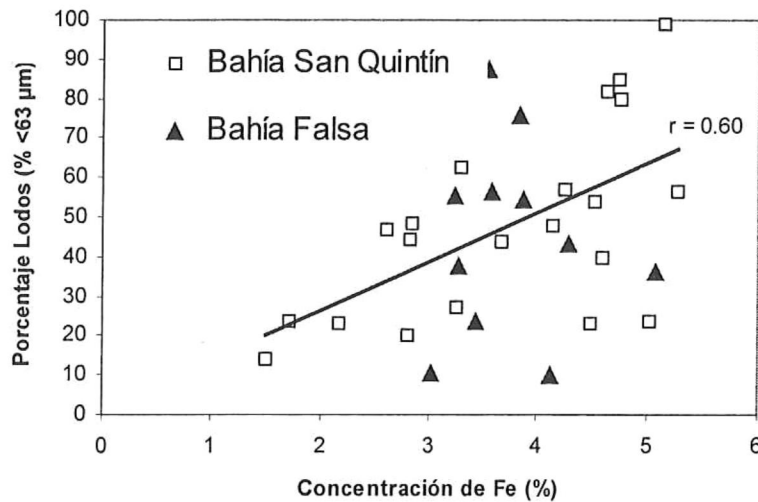


Figura 11.- Correlación de Fe y % de sedimento < 63 μm , para ambos brazos de la LCSQ, indicando en triángulos BF y en cuadrados BSQ. La regresión y el coeficiente de correlación son exclusivos para las muestras ubicadas en BSQ.

En el anexo 3, se indican las concentraciones normalizadas para todas las muestras de la LCSQ. A excepción de las muestras E ($\text{Ti} = 0.35\%$) y D ($\text{Ti} = 0.53\%$), las cuales se encuentran ubicadas en BSQ, todas las muestras con concentraciones normalizadas de Fe por arriba de la media para la LCSQ (10.7%), se encuentran ubicadas en estaciones de BF y en la base de la “Y” entre ambas bahías. Todas estas muestras con altas concentraciones normalizadas de Fe coinciden con altas concentraciones totales de Ti ($> 0.52\%$). Es en las costas de BF donde la litología de origen volcánico domina por

encima de las arenas de duna, playa y aportes de arroyos (Fig. 2). La presencia de una alta concentración de Ti en estas muestras sugiere una contribución volcanogénica a los sedimentos estudiados.

Se considera que de todos elementos analizados, el más adecuado para establecer una proveniencia volcanogénica de los sedimentos en la LCSQ es el Ti. Este elemento, además de estar enriquecido en las rocas volcánicas y piroclastos de la zona, es considerado un elemento refractario, conservativo y que a diferencia del Fe, no interviene en procesos diagenéticos en el sedimento (Kryc *et al.*, 2003). El Ti está enriquecido ($> 0.6 \%$) en las muestras F, H, I y J, las cuales se localizan en BF y en la parte SW de BSQ, sugiriendo una mayor influencia de material volcanogénico en estas zonas (Fig. 5). Las diferencias de concentraciones de Ti, probablemente se deben, ya sea a un menor aporte volcanogénico en BSQ, o a la mayor dilución de los sedimentos volcanogénicos en esta bahía a causa de los sedimentos terrígenos provenientes del Arroyo San Simón y/o playas y dunas cercanas.

4.2.2 Elementos compatibles e incompatibles.

Los elementos compatibles tienen preferencia por presentarse en la fase mineral durante el proceso de enfriamiento del magma (Rollinson, 1993). En contraste los elementos incompatibles se encuentran, preferentemente en la

fase líquida. Al existir un enfriamiento rápido ambos elementos compatibles e incompatibles son inmóviles. Al comparar gráficamente las razones entre elementos compatibles e incompatibles en rocas con un mismo origen petrológico, se observan similitudes composicionales, pudiendo con ello distinguir geoquímicamente diferentes tipos de petrogénesis (Rollinson, 1993).

Al comparar las razones entre los elementos compatibles a medianamente compatibles como el Ti y V con la concentración del elemento incompatible Ba, para los sedimentos de LCSQ, se observa que algunas muestras de sedimento tienen razones de elementos compatibles e incompatibles similares a las encontradas para rocas del VK (Fig. 12). En esta figura también se observa que las razones de Ti/V con respecto a Ba son muy similares entre las muestras G, F, 23, 31 de BSQ y J, I, K de BF. Excepto por las muestras 23 y F, este grupo de muestras es el mismo que fue descrito con anterioridad por tener altas concentraciones normalizadas de Fe y ubicarse en BF y cercanas a la base de la "Y". Adicionalmente, en la figura 12 se observa que las razones entre elementos compatibles e incompatibles para la corteza continental y granito (litología más común en la corteza continental y la península de Baja California) difieren de aquellas encontradas para las muestras de roca del VK y aquellos de origen volcanogénico de la LCSQ.

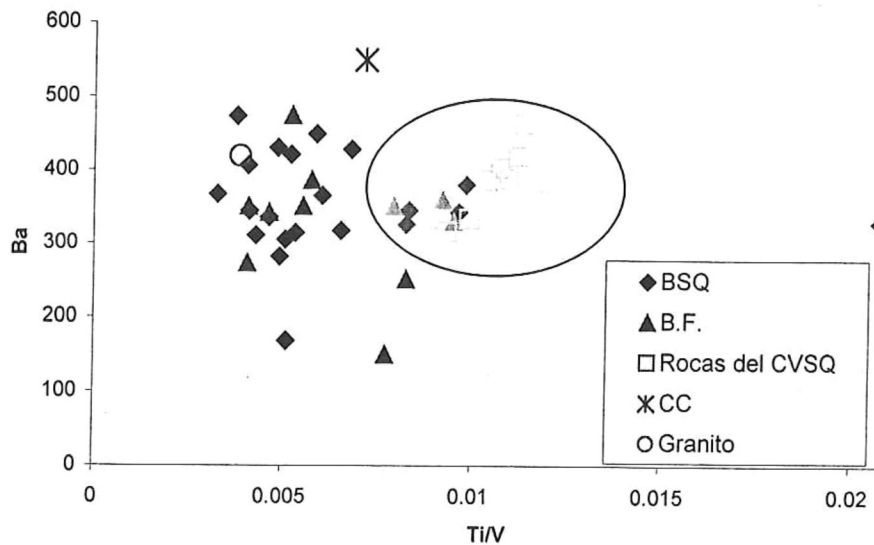


Figura 12.- Relación entre la razón de Ti/V (elementos compatibles), con el elemento incompatible Ba. Dentro del círculo se encuentran las muestras correspondientes al VK (*Luhr et al. 1995*) y las muestras G, F, 23, 31, J, I y K de la LCSQ. Corteza continental (CC, *Wyman et al. 1996*), y granito (*Faure. 1991*).

4.3 Partición geoquímica del Fe

Con el propósito de apreciar las diferencias en la asociación geoquímica del Fe en los sedimentos de la LCSQ, se presenta la Figura 13. Esta figura consiste en un mapa de la distribución regional de las concentraciones de Fe total y una serie de diagramas de pie señalando las muestras para las cuales se llevó a cabo el análisis de partición geoquímica. En los diagramas de pie se observan las fracciones geoquímicas: intercambiable, oxihidróxidos amorfos de Fe y Fe residual.

La fracción de Fe intercambiable, se encuentra en un bajo porcentaje en la mayoría de las muestras, excepto las estaciones F y G, que se encuentran en la base de la "Y", y en menor porcentaje en las estaciones I, K, M.V. y Est. 14. Se observa que en BSQ más del 50% del total del Fe en las fracciones estudiadas se encuentra en forma residual. Sin embargo, en BF las muestras presentan una mayor concentración en la fracción de oxihidróxidos amorfos, que incluso en las estaciones 14, H y J es similar o mayor que la fracción residual.

Las dos muestras que tienen la mayor proporción de Fe amorfo ($\approx 60\%$), también contienen altas concentraciones de Ti total, especialmente la muestra H. En términos de concentración, el Fe total en BF no es en general más alta que en BSQ (Tabla X). Sin embargo, el Fe existente en los sedimentos de BF se encuentra predominante asociado a oxihidróxidos de Fe amorfo. Lo anterior, indica una probable asociación (al menos parcial) entre el Fe amorfo con aquellas partículas ricas en Ti, derivadas del intemperismo y erosión de las rocas volcánicas y piroclastos del CVSQ.

Cabe mencionar que en la LCSQ existen muestras con concentraciones de Ti relativamente altas (ej. muestra I con $Ti = 0.7$) pero con una baja proporción de Fe amorfo (29 %). La alta proporción de Fe amorfo en algunas muestras

probablemente se deba al grado de intemperismo de las partículas volcanogénicas. Sin embargo debe estudiarse con mayor detenimiento la posibilidad de que los cultivos de ostión en BF generen un ambiente redox tal que permita una mayor acumulación de Fe amorfo en la interfase agua-sedimento asociado a procesos diagenéticos de la materia orgánica en esta zona.

Tabla X.- Comparación de las concentraciones de Fe_{Total} y Ti en los sedimentos, indicando la concentración de Fe soluble en DB y el porcentaje que representa esta fracción en relación al Fe_{Total} .

muestra		Fe_{Total} %	Ti %	Amorfo (DB)	
				Fe %	Fe $\mu\text{g g}^{-1}$
A	BSQ	1.5	0.19	28.1	969
B	BSQ	3.3	0.45	22.6	2090
C	BSQ	5.3	0.4	27.8	4929
D	BSQ	5.0	0.53	44.4	4119
E	BSQ	4.5	0.36	40.2	3740
F	BSQ	4.1	0.79	41.0	1327
G	BSQ	2.8	0.54	31.6	282
M.V.	BSQ	1.7	0.25	39.5	429
H	BF	4.1	1.04	59.9	690
I	BF	3.4	0.67	29.3	373
J	BF	3.0	0.74	47.7	605
K	BF	3.2	0.52	34.7	827
Est. 14	BF	5.1	0.53	62.8	3125

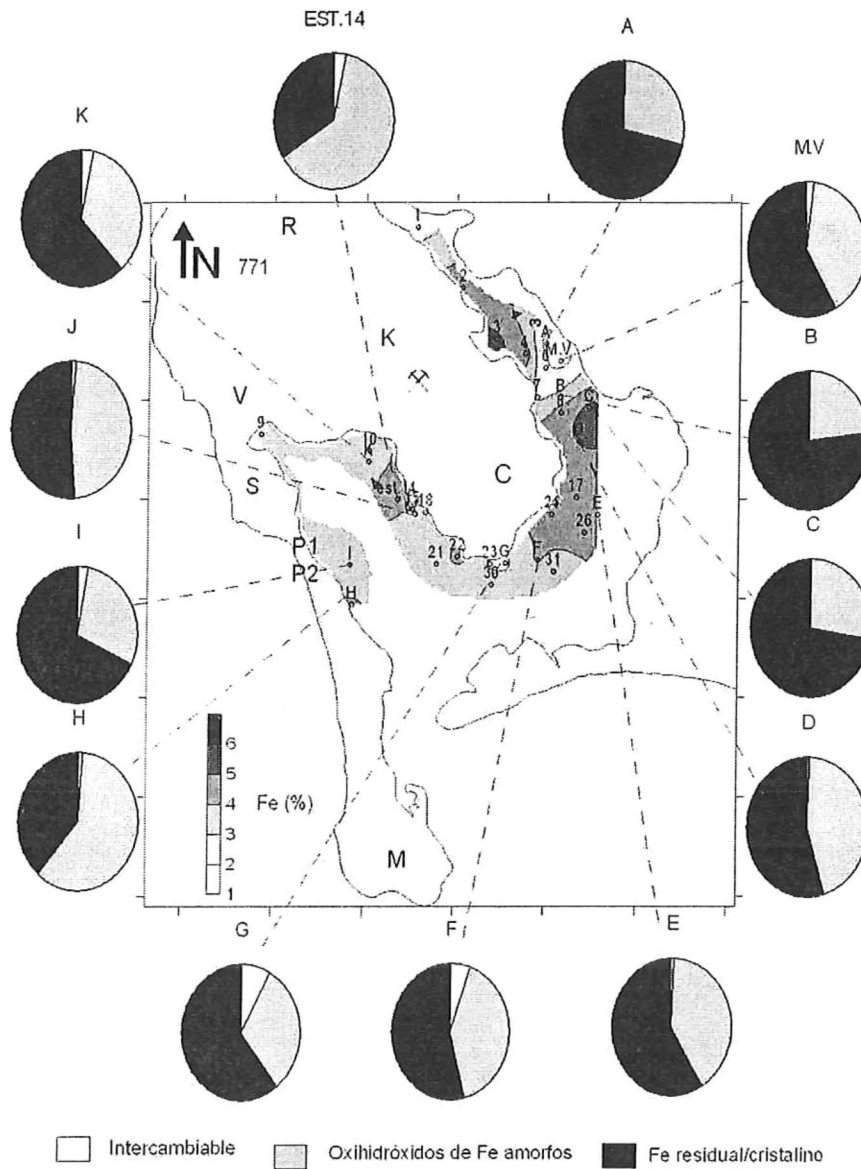


Figura 13.- Mapa regional de distribución espacial de la concentración de Fe en los sedimentos. Indicando las estaciones de muestreo y localización de los volcanes. Diagramas de pie, indicando la partición del Fe en los sedimentos.

5. CONCLUSIONES

1. Las rocas volcánicas reportadas con anterioridad y los piroclastos del CVSQ analizados en el presente estudio, tienen una composición geoquímica similar en los elementos químicos estudiados, destacando concentraciones elevadas de Fe, P, Ti, Na, Ca, Cu, Co y Zn.
2. Las altas concentraciones de Fe (sin normalizar y normalizado con respecto al porcentaje de lodos) indican que en BF el Fe se encuentra asociado principalmente a partículas $> 63 \mu\text{m}$, por lo cual las altas concentraciones de este metal se atribuyen a partículas tamaño arenas de origen volcanogénico.
3. Las altas concentraciones de Fe normalizado en sedimentos, especialmente de BF, coinciden con altas concentraciones totales de Ti ($> 0.52 \%$). Ésto, aunado a los resultados de la correlación entre Ba y Ti/V, indica que los volcanes del CVSQ son una fuente de material a los sedimentos de la LCSQ, principalmente a BF. Los sedimentos de BSQ se encuentran influenciados en mayor parte por los aportes del arroyo San Simón y dunas cercanas.

4. El Fe presente en los sedimentos de la LCSQ se encuentra principalmente como Fe residual. A diferencia de BSQ en BF ~50% del Fe se asocia a oxihidróxidos de Fe amorfo, lo cual posiblemente se debe al grado de intemperismo de minerales volcanogénicos o a la acumulación de Fe en esta fracción debido a la diagénesis de materia orgánica aportada por el cultivo de ostiones.

6. REFERENCIAS

- Aguirre-Muñoz, A., Buddemeier, R.W., Camacho-Ibar, V.F., Carriquiry, J.D., Ibarra-Obando, S.E., Massey, B., Smith, S.V., Wulff, F. (2001). Sustainability of coastal resources in San Quintín, México. *Ambio*, 30: 142-149.
- Almeida-Vega, M. (1998). Análisis de datos aeromagnéticos de la planicie costera del Valle de San Quintín, B. C., México. Tesis Licenciatura Universidad Autónoma de Baja California. México. 56 pp.
- Carrillo-Sánchez, C.G. (1985). Variación estacional del contenido de material orgánica en sedimentos y biodepósitos en Bahía San Quintín, B.C. México. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. México. Tesis licenciatura 54 pp.
- Chester, R. (1990). *Marine Geochemistry*. Chamoman & Hall. London. 698 pp.
- Daesslé, L.W. Carriquiry, J.D.; Navarro R., and Villaescusa-Celaya, J.A., (2000). Geochemistry of surficial sediments from Sebastián Vizcaíno Bay, Baja California. *Coast. Res.* 16: 1133-1145.
- Daesslé, L.W., Ramos, S.E., Carriquiry, J.D., Camacho, V.F. (2002). Clay dispersal and the geochemistry of Manganese in the Northern Gulf of California. *Cont. Shelf Res.*, 22: 1311-1323.
- Díaz-García, J.E. (1989). Génesis de los volcanes de San Quintín, B.C. mediante análisis petrológicos. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. México. Tesis licenciatura 35 pp.
- Faure, G. (1991). *Principles and Applications of inorganic Geochemistry*. Macmillan Publishing Company, New York., 626 pp.
- Folk, R.L. (1974). *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill Publishing Company, Austin Texas. 182 pp.
- Forstner, U., y Wittmann, G. (1981). *Metal pollution in the aquatic environment*. 2a edición. Springer Verlag, New York, 486 pp.

- Gastil, R.G., Phillips, R.P. y Allison, C.C. (1975). Reconnaissance geology of the State of Baja California, Mem. Geol. Soc. Am. 140.
- Gorsline, D.S. y Sterwart R.A. (1962). Benthic marine exploration of Bahía de San Quintín, Baja California. *Pacif. Nat.* 3: 282-319.
- Jenne, E., Kennedy, V., Burchard, J. y Ball, J. (1980). Sediment collection and processing for selective extraction and for total metal analysis. En: Baker, R. (Ed.), *Contaminants and sediments*, Vol. 2, Ann Arbor Science Publishers, E.U.A., pp. 169-189.
- Juárez-Aguilar, L. (1996). Estudio geoquímico, geocronológico y geológico del campo volcánico de San Quintín, Baja California, México. Tesis Maestría en Ciencias, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, México, 147 pp.
- Kryc, K.A., Murray, R.W. y Murray, D.W. (2003). Al-to-oxide and Ti-to-organic linkages in biogenic sediment: relationships to paleo-export production and bulk Al/Ti. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 211: 125-141.
- Horowitz, A.J. (1991). A primer on sediment-trace element geochemistry. Second edition. Lewis Publishers, E.U.A., 136 pp.
- Hupfer, M. Gächter, G. y Giovanoli, R. (1995). Transformation of phosphorus species in settling seston and early sediment diagenesis. *Aquat. Sci.*, 57: 305-324.
- Luhr, J.F., Aranda-Gomez, J.J. y Todd, B.H. (1995). The San Quintin Volcanic Field, Baja California Norte, México: Geology, petrology, and geochemistry. *J. Geophys. Res.*, 100(B7):10,353-10,380.
- Martinez-Magaña, V.H. (1995). Distribución de metales pesados en sedimentos de Bahía San Quintín, Baja California, México. Tesis Maestría, Universidad Autónoma de Baja California. 60 pp.
- Mejia-Vázquez, R. (1990). Simulación numérica del flujo bidimensional del acuífero de San Quintín, B.C. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis de Licenciatura. 70 pp.
- Millan-Núñez, R.S. , S. Alvarez Borrego y D.M. Nelson, (1982). Effects of physical phenomena on the distribution of nutrients and phytoplankton productivity in a coastal lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf science* 15 (3) : 317-337.

- Morales-Ramírez, M. (2002). Niveles de Metales en Sedimento Superficial y Pasto Marino *Zostera marina* en lagunas costeras de Baja California y Alaska. Tesis Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, México, 55 pp.
- Osuna-López, J.I., Paez-Osuna, F. y Ortega-Romero, P. (1986). Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb y Zn en los sedimentos del puerto y antepuerto de Mazatlán. Cienc. Mar., 12: 35-45.
- Peña-Anaya, J.F. (1989). Metales traza en sedimentos de la zona adyacente a la desembocadura del Rio Panuco y Puerto Altamira Tamaulipas. Tesis Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, México, 45 pp.
- Pro-García, R. (1990). Metales traza biodisponibles en el ostión *cassostrea gigas* y en biodepositos de la zona de maricultivo de Bahía San Quintín, Baja California. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. México. Tesis licenciatura 55pp.
- Psenner, R., Boström, B., Dinka, M., Petterson, K., Pucsko, R. y Sager, M. (1988). Fractionation of phosphorus in suspended matter and sediment. Archiv. Hydrobiol. Beih. Ergeb. Limnol., 30: 98-110.
- Rollinson, H.R. (1993). Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Prentice Hall. London England. 352 pp.
- Ruttenberg, CK. (1992). Development of a sequential extraction method for different forms of phosphorus in marine sediments. Limnol Oceanogr 37:1460-1482.
- Schiff, K.C. y Weisberg, S.B. (1999). Iron as a reference for determining trace metal enrichment in Southern California coastal shelf sediments. Mar. Environ. Res., 48: 161-176.
- Tinoco-Orta, G. (1996). Calidad sanitaria del agua y bacterias reductoras de sulfato en sedimentos de Bahía Falsa, San Quintín. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. México. Tesis licenciatura 56 pp.

- Téllez-Duarte, M.A. (1983). Paleoecología de una comunidad bentónica del Pleistoceno Superior. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, 75 pp.
- Thompson, M. y Walsh J.N. (1989). A Handbook of Inductively Coupled Plasma Spectrometry Blackie, Glasgow, 273 pp.
- Villaescusa-Celaya, J.A. Gutiérrez-Galindo E. A. y Flores-Muñoz, G. (2000). Heavy metals in the fine fraction of coastal sediments from Baja California, México and California U.S.A. Environ. Pollut., 108 457-462.
- Watkins, P.J y Nolan, J. (1992). Determination of rare-earth elements, yttrium, scandium and hafnium using cation-exchange separation and inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry. Chem. Geol., 95: 131-139.
- Woodford, A.O. (1928). The San Quintín Volcanic Field, Lower California. Am. Jour. Sci., 15: 337-345.
- Wyman, D.A. y Bailes, A.H. (1996). Trace element geochemistry of volcanic rocks: applications for masive sulphide exploration. GAC Mineral Deposits Division. Geol. Assoc. Canada, 402 pp.
- Zúñiga-Santos, J. (1992). Evaluación geológico-económica de la escoria volcánica en la zona de Bahía San Quintín. Departamento de Minería de la Secretaria de Desarrollo Económico. Gobierno del Estado de Baja California. Ensenada, Baja California, México, 34 pp.

ANEXOS

ANEXO I.- Concentración total para los elementos estudiados, así como el % < 63µm, para las 32 estaciones analizadas en la LCSQ.

	1	2	3	4	6	7	8	9	10	15	17	18	21	22	23	24	26
Al	7.13	8.27	7.47	8.01	7.39	8.52	8.98	6.96	7.78	8.16	8.15	6.50	7.89	7.52	8.11	7.34	8.30
Ca	6.08	7.55	8.24	5.86	7.29	9.89	7.11	5.75	6.74	6.19	6.63	11.12	6.98	6.92	6.72	8.65	7.20
Fe	2.60	4.74	5.15	4.75	2.17	2.83	4.58	3.83	3.58	3.54	4.25	3.87	3.27	4.29	2.83	4.63	4.51
K	1.06	1.49	1.59	1.54	0.81	1.29	1.52	1.35	1.14	1.21	1.26	1.16	1.07	1.34	0.98	1.18	1.34
Mg	1.23	1.77	2.03	1.80	0.89	1.13	1.91	1.60	1.54	1.45	1.64	1.60	1.37	1.66	1.12	1.69	1.77
Na	3.97	2.75	3.55	3.18	2.91	3.10	3.46	4.36	3.47	3.28	3.17	3.12	2.94	3.11	3.26	2.86	2.96
Ti	0.42	0.41	0.56	1.05	0.49	0.30	0.49	0.56	0.49	0.56	0.46	0.48	0.43	0.67	0.53	0.53	0.48
P	0.03	0.05	0.06	0.05	0.03	0.13	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.03	0.10	0.05
Sr	275.06	229.84	345.12	--	317.21	346.01	262.93	223.07	277.06	269.62	275.23	445.88	286.46	248.41	275.23	276.52	254.25
Ba	305.30	310.99	168.40	330.07	317.79	407.19	430.92	150.48	351.13	386.54	336.25	273.42	350.91	342.37	345.49	282.23	367.85
Co	12.42	21.85	24.83	9.47	12.55	12.73	23.41	17.48	19.71	17.78	23.01	17.51	17.27	24.52	16.13	18.55	25.31
Cu	10.37	28.93	35.91	7.97	7.96		22.44	19.01	13.92	13.99	24.77	19.94	13.05	25.59	9.01	17.43	27.05
La	75.91	31.46	33.60	92.49	71.09	73.74	28.39	23.48	22.28	55.63	28.97	54.27	65.03	38.29	28.51	41.76	35.35
Mn	381.92	368.76	444.28	310.25	395.88	346.50	462.56	428.80	497.10	461.76	462.36	384.18	511.15	462.79	467.84	453.71	484.10
Ni	9.27	14.32	14.18	6.30	3.04	5.90	10.87	10.50	8.80	6.88	10.18	9.92	4.86	10.81	4.40	8.79	10.56
V	82.21	96.03	108.54	50.45	75.44	73.52	99.99	72.99	88.50	96.67	98.18	117.26	105.25	143.74	63.99	107.21	147.40
Zn	51.94	101.48	106.67	35.49	39.05	60.05	83.21	75.50	68.45	67.93	81.61	76.42	59.09	90.51	46.76	69.99	88.35
%<63µm	46.95	84.90	99.10	79.85	23.45	48.70	40.15	75.75	56.70	87.30	57.25	54.40	37.80	43.45	44.35	81.75	54.15

Continuación anexo I.

	30	31	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	est.14	M.V.	Prom	Max	Min
Al	7.71	7.73	8.24	7.88	7.32	8.90	8.80	8.37	7.87	6.70	7.73	8.03	7.79	8.79	8.24	7.79	8.98	6.50
Ca	6.87	7.35	2.78	2.93	5.45	3.92	3.35	3.35	3.30	3.63	3.60	3.47	3.29	3.61	2.91	7.35	11.12	5.75
Fe	3.68	3.25	1.51	3.28	5.28	5.02	4.47	4.13	2.80	4.12	3.43	3.03	3.24	5.08	1.71	3.85	5.15	2.17
K	1.15	1.06	1.16	1.29	1.62	1.49	1.54	1.34	0.83	0.69	0.93	1.05	1.04	1.58	1.15	1.25	1.59	0.81
Mg	1.49	1.27	0.61	1.39	2.24	2.07	1.89	1.59	1.10	1.52	1.43	1.18	1.39	2.05	0.70	1.54	2.03	0.89
Na	2.93	3.09	3.09	3.67	4.57	3.33	3.12	3.34	2.88	2.47	2.87	3.15	3.05	3.14	3.05	3.26	4.36	2.75
Ti	0.47	0.79	0.19	0.45	0.40	0.53	0.36	0.79	0.54	1.04	0.67	0.74	0.52	0.53	0.25	0.52	1.05	0.30
P	0.04	0.03	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.01	0.05	0.13	0.03
Sr	256.32	287.00	309.40	262.52	349.40	235.10	248.70	256.20	288.70	282.20	260.00	299.90	258.50	247.94	271.99	287.99	445.88	223.07
Ba	344.91	343.26	421.77	365.51	314.73	449.48	474.07	380.63	326.54	251.79	330.47	359.98	350.88	475.19	428.84	321.02	430.92	150.48
Co	19.70	19.78	5.33	11.45	11.64	12.98	14.20	12.21	11.33	19.62	12.16	12.73	10.31	14.44	5.33	18.50	25.31	9.47
Cu	16.60	12.21	13.79	23.50	31.22	23.15	29.54	22.20	13.43	18.46	11.77	15.33	16.58	27.70	9.85	18.58	35.91	7.96
La	61.18	17.94	12.03	19.89	27.23	27.50	22.18	29.85	22.33	30.16	25.51	28.13	25.02	27.84	16.89	47.07	92.49	22.28
Mn	484.27	558.20	523.63	577.34	671.69	734.03	614.39	696.93	887.00	960.70	909.72	827.17	772.64	709.95	510.11	430.82	511.15	310.25
Ni	7.33	5.20	14.22	17.16	6.65	10.24	27.52	24.88	34.89	32.90	24.50	17.89	13.63	16.05	9.00	8.80	14.32	3.04
V	114.34	81.46	36.14	74.96	75.61	90.43	94.74	79.99	64.94	125.80	70.30	79.86	65.80	101.04	35.99	95.73	147.40	50.45
Zn	69.85	57.35	22.05	49.43	61.04	54.76	63.27	51.69	31.66	50.14	35.87	40.95	39.57	64.39	21.04	70.74	106.67	35.49
%<63µm	43.80	27.25	14.30	62.40	56.70	23.90	23.40	48.10	20.10	10.00	23.90	10.70	55.70	36.60	23.50	46.76	91.10	10.00

ANEXO II.- Concentración de Fe (%), porcentaje de lodos (< 63µm) y normalización, publicados para otros sedimentos de costeros de Mazatlán (Osuna *et al.*, 1986), Norte Golfo de California (Daesslé *et al.*, 2002), Bahía Vizcaíno (Daesslé *et al.*, 2000), Región BC. (Villaescusa *et al.*, 1997) y Tamaulipas (Peña, 1989).

Mazatlan			Bahia Vizcaino			Tamaulipas		
% Fe	% < 63 µm	Norm	% Fe	% < 63 µm	Norm	%Fe	% < 63 µm	Norm
1.69	32.30	5.23	2.09	68.32	3.06	0.18	13.30	1.32
1.94	21.00	9.24	1.46	35.49	4.11	0.29	13.43	2.14
1.09	13.90	7.84	1.92	78.28	2.45	0.18	25.27	0.72
2.31	20.40	11.32	1.81	87.46	2.07	0.29	80.83	0.36
1.27	13.40	9.48	1.76	90.48	1.95	0.30	80.40	0.37
5.05	91.70	5.51	2.20	54.71	4.02	0.13	11.69	1.12
2.52	20.70	12.17	1.61	59.82	2.69	0.21	30.14	0.68
1.14	3.20	35.63	1.84	19.37	9.50	0.23	48.68	0.47
1.92	10.00	19.20	2.07	82.65	2.50	0.27	85.25	0.32
2.68	37.20	7.20	1.50	47.82	3.14	0.29	75.85	0.38
			1.89	55.83	3.39	0.16	18.05	0.90
			1.48	26.04	5.68	0.19	39.39	0.47
			1.55	30.01	5.16	0.25	46.12	0.53
			1.25	6.35	19.69	0.28	81.56	0.35
			1.83	60.62	3.02	0.33	88.11	0.38
			1.62	63.44	2.55	0.20	32.78	0.62
			1.25	6.77	18.46	0.19	39.18	0.49
						0.20	37.27	0.54
						0.16	69.12	0.24
						0.29	90.29	0.32
						0.38	76.15	0.50
						0.34	60.42	0.56
						0.29	80.96	0.35
						0.19	56.72	0.33

Prom	2.16	26.38	12.28	1.71	51.38	5.50	0.24	53.37	0.60
maX	5.05	91.70	35.63	2.20	90.48	19.69	0.38	90.29	2.14
Min	1.09	3.20	5.23	1.25	6.35	2.55	0.13	11.69	0.24

Continuación Anexo II.

	Region B.C.	Golfo de california			Golfo de california (Cont).		
	% Fe	% Fe	% < 63 μm	Norm	% Fe	% < 63 μm	Norm
	3.04	1.22	62.00	1.97	1.76	100.00	1.76
	3.37	1.23	95.00	1.29	1.47	55.00	2.67
	2.80	2.30	89.00	2.58	2.49	99.00	2.52
	3.39	2.44	83.00	2.94	2.67	83.00	3.22
	2.92	1.48	36.00	4.11	2.38	81.00	2.94
	1.90	2.51	81.00	3.10	1.81	78.00	2.32
	3.25	1.89	82.00	2.30	2.04	76.00	2.68
	2.48	1.44	83.00	1.73	2.18	62.00	3.52
	2.14	0.56	4.00	14.00	2.35	47.00	5.00
	1.94	2.13	75.00	2.84	1.95	93.00	2.10
	2.21	2.54	92.00	2.76	2.34	100.00	2.34
	3.15	2.08	68.00	3.06	1.04	67.00	1.55
	4.60	2.10	81.00	2.59	2.42	97.00	2.49
	2.37	2.25	88.00	2.56	1.52	64.00	2.38
	2.34	2.08	73.00	2.85	2.63	95.00	2.77
	1.36	1.13	57.00	1.98	2.71	100.00	2.71
	2.58	1.00	94.00	1.06	1.46	69.00	2.12
	2.58	2.38	84.00	2.83	1.24	34.00	3.65
	3.19	2.69	26.00	10.35	2.36	99.00	2.38
	2.72	0.50	5.00	10.00	2.83	95.00	2.98
		1.10	50.00	2.20	1.37	27.00	5.07
		1.34	54.00	2.48	1.91	66.00	2.89
		2.38	76.00	3.13	1.13	47.00	2.40
		0.80	24.00	3.33	2.27	81.00	2.80
		0.35	1.00	35.00	2.56	100.00	2.56
		2.02	76.00	2.66	1.05	38.00	2.76
		1.44	40.00	3.60	1.76	100.00	1.76
		1.95	93.00	2.10	1.47	55.00	2.67
		2.34	100.00	2.34	2.49	99.00	2.52
		1.04	67.00	1.55	2.67	83.00	3.22
		2.42	97.00	2.49	2.38	81.00	2.94
		1.52	64.00	2.38	1.81	78.00	2.32
		2.63	95.00	2.77	2.04	76.00	2.68
		2.71	100.00	2.71	2.18	62.00	3.52
		1.46	69.00	2.12	2.35	47.00	5.00
		2.27	81.00	2.80	1.24	34.00	3.65
		2.56	100.00	2.56	2.36	99.00	2.38
		1.05	38.00	2.76	2.83	95.00	2.98
		1.91	66.00	2.89	1.37	27.00	5.07
		1.13	47.00	2.40			
Prom	2.72				1.84	68.53	3.81
maX	4.60				2.83	100.00	35.00
Min	1.36				0.35	1.00	1.06

ANEXO III. Concentraciones de Fe (%), lodos (< 63µm) y normalización para todas las muestras de la LCSQ, separando las muestras por bahías.

	Estación.	% Fe	% < 63 µm	Norm.
Bahía falsa	H	4.12	10.00	41.25
	I	3.43	23.90	14.37
	J	3.03	10.70	28.27
	K	3.24	55.70	5.81
	Est.14	5.08	36.60	13.88
	22	5.20	43.45	11.97
	15	3.55	87.30	4.07
	9	3.80	75.75	5.01
	10	3.68	56.70	6.49
	18	3.90	54.40	7.17
Bahía San Quintín	21	3.71	37.80	9.80
	23	2.96	44.35	6.67
	24	5.09	81.75	6.23
	7	2.74	48.70	5.63
	4	4.95	79.85	6.20
	2	4.85	84.90	5.71
	1	2.57	46.95	5.48
	30	4.21	43.80	9.61
	31	3.68	27.25	13.49
	26	4.67	54.15	8.62
	17	4.10	57.25	7.17
	8	4.20	40.15	10.46
	6	2.32	23.45	9.88
	3	5.22	99.10	5.26
	A	1.51	14.30	10.54
	B	3.28	62.40	5.26
	C	5.28	56.70	9.32
	D	5.02	23.90	21.01
	E	4.47	23.40	19.12
	F	4.13	48.10	8.59
	G	2.80	20.10	13.92
	M.V.	1.71	23.50	7.28
Promedio		3.83	46.76	10.74
Maximo		5.28	99.10	41.25
Minimo		1.51	10.00	4.07