



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

**CARACTERIZACIÓN ESPACIAL Y COMPOSICIONAL DE
SEDIMENTOS DE PLAYA DE LA PENÍNSULA DE BAJA
CALIFORNIA, MÉXICO**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS
(GEOLOGÍA MARINA)

PRESENTA:
JOSÉ RODRIGO CRUZ CRUZ

TUTOR PRINCIPAL:
Dr. ARTURO CARRANZA EDWARDS
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

COMITÉ TUTOR:
Dr. MIGUEL ÁNGEL ALATORRE MENDIETA
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA
Dr. JUAN JOSÉ KASPER ZUBILLAGA
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA
Dr. RAYMUNDO GERARDO MARTÍNEZ SERRANO
INSTITUTO DE GEOFÍSICA
Dr. ANTONIO ZOILO MÁRQUEZ GARCÍA
UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., ENERO, 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



CARACTERIZACIÓN ESPACIAL Y COMPOSICIONAL DE SEDIMENTOS DE PLAYA DE LA PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS
(GEOLOGÍA MARINA)

PRESENTA:
JOSÉ RODRIGO CRUZ CRUZ

TUTOR PRINCIPAL:
Dr. ARTURO CARRANZA EDWARDS
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

COMITÉ TUTOR:
Dr. MIGUEL ÁNGEL ALATORRE MENDIETA
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA
Dr. JUAN JOSÉ KASPER ZUBILLAGA
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA
Dr. RAYMUNDO GERARDO MARTÍNEZ SERRANO
INSTITUTO DE GEOFÍSICA
Dr. ANTONIO ZOILO MÁRQUEZ GARCÍA
UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., ENERO, 2018

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme la oportunidad y el privilegio de ser un miembro de su comunidad.

Al Posgrado y al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología por todas las facilidades otorgadas en mi estancia dentro del posgrado.

Al CONACYT y al Gobierno Mexicano por la beca otorgada durante la realización de mis estudios.

Al Dr. Arturo Carranza Edwards, por permitirme ser su alumno de maestría, por facilitarme todo lo necesario para llevar acabo mi trabajo y sobre todo por brindarme su confianza, apoyo, paciencia, y amplios conocimientos tanto en el aula como fuera de ella, conocimientos que me han permitido amar mas a mi profesión, muchas gracias.

Al Dr. Miguel Ángel Alatorre Mendieta por sus enseñas dentro y fuera del aula gracias por compartir sus conocimientos y alentar a los demás en la adquisición de más conocimiento, gracias por sus observaciones sobre la oceanografía física del área de estudio de esta tesis y sus valiosos comentarios en la realización de este trabajo.

Al Dr. Juan José Kasper Zubillaga por la ayuda proporcionada durante el análisis petrográfico, sus aportes sobre sedimentología, así como por sus atenciones y comentarios a la realización de este

Al Dr. Antonio Márquez García, gracias por sus conocimientos dentro y fuera del aula de clase, por sus atenciones y comentarios en esta tesis, los cuales enriquecieron la interpretación de resultados de este trabajo.

Al Dr. Raymundo Gerardo Martínez Serrano, por sus valiosos conocimientos y aportación en cuanto a la interpretación geológica y geoquímica. Gracias por los conocimientos aportados dentro y fuera del aula, muchas gracias.

Al M. en C. Eduardo Alfredo Morales de la Garza por su amistad y conocimientos compartidos a lo largo de la elaboración de este trabajo.

Al Sr. Ricardo Martínez Domínguez por su amistad y por su apoyo en la preparación y trituración de muestras que fueron enviadas a análisis geoquímico.

Nuestros agradecimientos al Laboratorio Ultra limpio e ICP-MS y a la M. en C. Ofelia Pérez Arvizu por su trabajo aportado a la preparación y medición de las muestras por elementos traza y tierras raras.

A la Q.F.B. Susana Santiago Pérez por su amistad, paciencia, y apoyo en la realización de los ensayos químicos de fluorescencia de rayos x para elementos mayores.

A mis compañeros de clases que enriquecieron con sus comentarios y experiencias mi estancia en este posgrado.

A todos los profesores que compartieron sus conocimientos en el aula.

A las Autoridades del Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología y del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología por su apoyo y facilidades brindadas.

A la Dra. Gloria Vilaclara Fatjó por su confianza e interés durante la revisión del protocolo de investigación y por sus conocimientos compartidos en el aula.

A la Dra. Cecilia Venegas Pérez por su apoyo en la estancia dentro del posgrado.

A la M. en C. Diana Juárez Bustos por su cordialidad y atenciones prestadas dentro del posgrado.

A la Licenciada Gabriela Almaraz por sus facilidades en el trámite de beca.

A las Licenciadas Chantal Ruiz y Guadalupe Godoy por su apoyo en los asuntos escolares.

Tabla de Contenido

| | | |
|---|--|-----------|
| 1. | Introducción | 1 |
| 2. | Área de estudio | 2 |
| 2.1. | Localización y vías de acceso | 2 |
| 2.2. | Fisiografía | 2 |
| 2.3. | Clima | 3 |
| 2.4. | Hidrografía | 3 |
| 2.5. | Oceanografía física | 3 |
| 2.6. | Geología | 5 |
| 3. | Antecedentes | 11 |
| 3.1. | Hipótesis | 14 |
| 3.2. | Objetivo General | 14 |
| 4. | Materiales y métodos | 14 |
| 4.1. | Obtención de Muestras | 14 |
| 4.2. | Cuarteo | 15 |
| 4.3. | Lavado de muestras | 15 |
| 4.4. | Textura, composición petrográfica y mineral de los sedimentos | 15 |
| 4.5. | Composición geoquímica | 20 |
| 5. | Resultados y Discusión | 21 |
| 5.1. | Subdivisión de la península de Baja California | 21 |
| Región 1 | 24 | |
| Región 2 | 26 | |
| Región 3 | 28 | |
| Región 4 | 31 | |
| Región 5 | 34 | |
| Distribución regional de los sedimentos de la península de Baja California | 36 | |
| 5.2. | Geoquímica | 38 |
| Región 1 | 38 | |
| Región 2 | 43 | |
| Región 3 | 47 | |

| | |
|---|----|
| Región 4 | 52 |
| Región 5 | 56 |
| 5.3. Uso de diversos parámetros sedimentológicos en muestra total para su aplicación en análisis de ambientes de playa | 60 |
| Composición Geoquímica | 60 |
| Clasificación geoquímica | 62 |
| Ambiente Tectónico | 63 |
| Diagrama de clasificación de arenas de playa de la península de Baja California | 66 |
| 6. Conclusiones | 69 |
| Bibliografía | 71 |
| Anexo 1: Conteo petrográfico | 79 |
| Anexo 2: Análisis Geoquímico | 79 |

RESUMEN

Se analizaron 50 muestras de playa de la península de Baja California como parte del proyecto institucional titulado "*Sedimentología de playas de México*", del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Los sedimentos de playa que componen el material de trabajo fueron muestreados en octubre de 1984 y analizados petrográficamente en el laboratorio sedimentología, los análisis geoquímicos de elementos mayores se realizaron en el Laboratorio de Geoquímica Marina del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, obteniendo los análisis geoquímico de elementos traza y tierras raras en el Laboratorio Ultralimpio e ICP-MS del Centro de Geociencias Juriquilla de la UNAM. Estos sedimentos fueron estudiados mediante análisis textural, petrográfico y geoquímico en muestra total, para evitar enriquecimientos artificiales por tamizados. A nivel regional el análisis textural, petrográfico y geoquímico de los sedimentos de playa permitió subdividir la península de Baja California en 5 sub regiones. Los factores dominantes son debidos a la geología local, el relieve, y el clima. La textura del sedimento de playa influye en la composición petrográfica de cada región, como por ejemplo la presencia de fragmentos de roca plutónica en sedimentos con textura de grano medio a grueso y de pobre a mal clasificada, cuando la fuente de aporte es muy cercana a la zona de depósito en el ambiente de playa. En sedimentos de grano fino, los fragmentos de roca más comunes son de origen volcánico y fragmentos de roca metamórfica, principalmente cuarcitas. Por otro lado el contenido petrográfico influye en el contenido de elementos mayores, traza y tierras raras, siendo más común la presencia de SiO_2 y Na_2O en sedimentos de naturaleza félsica con contenidos variables de cuarzo, feldespatos y fragmentos de roca. En ocasiones los minerales pesados se presentan en muestra total de arenas finas y bien seleccionadas. Los minerales pesados disminuyen cuando se presentan un mayor contenido de cuarzo, plagioclasas y fragmentos de rocas. Los parámetros aquí utilizados (textura, petrografía y geoquímica) se pueden usar en diagramas para la clasificación de arenas de playa recientes. En cambio la litificación de sedimentos litorales cambia notablemente la naturaleza equivalente a sedimentos. Por ello se les debe considerar de manera diferente, pues se trataría de rocas sedimentarias, donde el cementante puede ser silíceo o calcáreo. Los análisis geoquímicos en muestra total por elementos mayores y traza se normalizaron con la CCS y las tierras raras se normalizaron con respecto a la condrita. Se observó que la textura se relacionó con la petrografía y ésta con la geoquímica, lo que fue útil para interpretar el papel del relieve, el clima y la litología en las cinco diferentes subregiones establecidas en esta tesis.

ABSTRACT

Fifty beach samples from Baja California peninsula were analyzed as part of the project entitled "*Sedimentology of beaches of Mexico*", from the Institute of Marine Sciences and Limnology. The beach sediments that compose the work material were sampled in October of 1984 and analyzed petrographically in the sedimentology laboratory, the geochemical analyzes of major elements were realized in the Laboratory of Marine Geochemistry of the Institute of Sciences of the Sea and Limnology, obtaining the analyzes Geochemistry of trace elements and rare earths in the Ultra-clean Laboratory and ICP-MS of the Juriquilla Geociencias Center of the UNAM. These sediments were studied by textural, petrographic and geochemical analysis in total sample, to avoid artificial enrichment by sieving. At the regional level the analysis of beach sediments by textural, petrographic and geochemistry allowed to subdivide the peninsula of Baja California into 5 sub regions. Dominant factors are due to local geology, relief, and climate. The texture of the beach sediment influences the petrographic composition of each region, such as the presence of fragments of plutonic rock in sediments with medium to coarse grain texture and poor to poorly sorted sediment, since the source of the contribution is very close to the deposit area in the beach environment. In fine-grained sediments, the most common rock fragments are of volcanic origin and fragments of metamorphic rock, mainly quartzites. On the other hand the petrographic content influences the content of major elements, trace and rare earths, being more common the presence of SiO_2 and Na_2O in sediments of felsic nature with variable contents of quartz, feldspars and rock fragments. Sometimes heavy minerals are present in a sample of fine, well-sorted sands. Heavy minerals decrease when there is a higher content of quartz, plagioclase and fragments of rocks. The parameters here analyzed (texture, petrography and geochemistry) can be used in diagrams for the classification of recent beach sands. On the other hand, the lithification of littoral sediments changes significantly the nature equivalent to sediments. Therefore they should be treated differently, because they would be sedimentary rocks, where the cement can be siliceous or calcareous. The geochemical analyzes in sand bulk sample by major elements and trace elements were normalized against the UCC and rare earths elements were normalized with respect to chondrite. It was observed that the texture was related to petrography and this to geochemistry, that was useful to interpret the role of relief, climate and lithology in the five different sub regions established in this thesis.

1. Introducción

En la zona costera se presenta la interacción de distintos procesos que ocurren en la litósfera, atmósfera e hidrósfera. Estas interacciones afectan caracteres geomorfológicos distintivos de ambientes de depósitos sedimentarios, tales como playas y dunas costeras. , los cuales son ambientes de depósito de sedimentos. En el caso de las playas, las partículas que conforman el sedimento, pueden proceder de diversas fuentes y presentar características físicas y químicas distintivas del medio litoral y a su vez pueden contener información acerca de su posible origen y medio de transporte. Por tal motivo los sedimentos recientes han sido utilizados como una herramienta de estudio y apoyo en la interpretación de posibles ambientes de formación de rocas sedimentarias. De acuerdo con Carranza-Edwards *et al.*, (1994), el estudio y resultados de ambientes sedimentarios actuales, puede ser aplicado para comprender el ambiente y características de depósitos sedimentarios antiguos, los cuales debieron estar sometidos a distintos procesos que afectan el litoral y la variabilidad en su composición, la cual puede presentarse en distintas escalas de tiempo, con lo que los procesos que intervienen en el depósito pueden llegar a variar desde algunos instantes hasta grandes intervalos de tiempo (Krumbein y Sloss, 1963).

El estudio de los sedimentos requiere de la determinación de los distintos procesos que dominan y controlan la margen litoral, para lo cual es útil el análisis en muestra total de diversos parámetros como la petrografía, la textura y la geoquímica.

La petrografía es ampliamente usada para establecer las relaciones entre las fuentes de aporte de sedimento y la composición de las arenas (Ingersoll, 1978). Los sedimentos costeros reflejan fuentes continentales de aporte, que afloran en la superficie y sufren de intemperismo, erosión y transporte desde zonas elevadas hacia la zona costera gracias al sistema de drenaje, pudiendo ser retransportados y redistribuidos por corrientes litorales (Komar, 1976).

Los parámetros texturales, tales como el tamaño de grano y la redondez en sedimentos de playa, han sido empleados con el fin de determinar interacciones entre los procesos costeros y el relieve (Carranza-Edwards *et al.*, 1998a, Kasper-Zubillaga y Faustinos-Morales, 2007a). A su vez, el transporte fluvial determina en cierta medida el tamaño de grano, siendo importantes las características petrográficas de la roca, el relieve, procesos de transporte continentales y costeros. En el caso de la redondez de los sedimentos, es una característica que ha sido utilizada para inferir el transporte y la abrasión en distintos ambientes de depósito (Kasper-Zubillaga y Carranza-Edwards, 2005).

Otra herramienta ampliamente utilizada para el análisis de sedimentos es la geoquímica, la cual permite determinar la composición y similitud o posibles diferencias entre distintas zonas de aporte de sedimento. Esta herramienta puede ser muy útil en la adquisición de información acerca de las condiciones de intemperismo en el área fuente (Armstrong-

Altrin, 2009), pero también en estudios de procedencia, debido a la baja movilidad de ciertos elementos (Armstrong-Altrin, 2014).

2. Área de estudio

2.1. Localización y vías de acceso

El área de estudio comprende toda la zona litoral de la península de Baja California, México, abarcando los Estados de Baja California y Baja California Sur (Figura 1); Ambas entidades cuentan con una red de carreteras que comunican a lo largo de la zona costera de la península, siendo la principal de ellas, la carretera federal transpeninsular No. 1. Ésta recorre desde la Ciudad de Tijuana, hasta la ciudad de Cabo San Lucas comunica también las localidades de Bahía de los Ángeles y Bahía Tortugas así como con las carreteras No. 22 que comunica el tramo Ciudad Constitución-Puerto San Carlos, la carretera No. 286 La Paz-Ensenada de Muertos, la carretera No. 11 Baja California Sur La Paz-El Tejocote y la carretera No 19. La Paz-Todos los Santos.

Existen carreteras secundarias como la No. 3, Ensenada-San Felipe la cual entronca con la carretera No. 5 que conecta el Tramo Mexicali-San Felipe, así como la carretera No. 2 en su tramo Tijuana-Mexicali y la carretera No. 201 Tijuana-Rosarito 2000. Además, la península de Baja California, cuenta con distintos puertos como: Ensenada, Regional, Rosarito, San Felipe, El Sauzal, Isla Cedros, ubicados en el Estado de Baja California. En el Estado de Baja California Sur se encuentran los Puertos de: La Paz, Pichilingue, San Carlos, Santa Rosalía, Puerto Escondido y Loreto (SCT, 2016).

2.2. Fisiografía

La península de Baja California presenta una orientación estructural NW-SE con una longitud de 1300 km, su superficie es cercana a 170000 km², teniendo una anchura variable, comprendida entre los 40 km y 225 km. Se encuentra limitada por las aguas del Pacífico y del Golfo de California formando una margen litoral de 3340 km de longitud. Entre los extremos norte y sur de la península, es característico el marcado relieve montañoso, bien diferenciado por tres regiones denominadas, norte, centro-sur y sur que se distinguen por su morfología, geología y edad (Hubp, 1990).

La península cuenta con dos subprovincias de rocas cristalinas denominadas por Álvarez (1961) como Sierra Cristalina en la región norte de la península, la cual se encuentra dominada por rocas intrusivas y metamórficas que conforman la Sierra de Juárez, San Pedro Mártir entre otras de menor tamaño. La segunda subprovincia Cristalina es la denominada Sierra de La Paz, también conocida como Región del Cabo, la cual cuenta con rocas de origen plutónico. La península de Baja California, también presenta rocas de origen volcánico, las cuales conforman la denominada Sierra de la Giganta.

A su vez la provincia de la península de Baja California cuenta con 2 subprovincias conformadas por llanuras costeras, denominadas Llanura Costera de Sebastián Vizcaíno y Llanura Costera de Iray-Purísima. La primera de ellas es conocida también, como zona desértica de Sebastián Vizcaíno, la cual se encuentra constituida principalmente por rocas sedimentarias y depósitos de playa y dunas. La segunda llanura también es conocida como Llano de la Magdalena, la cual se encuentra dominada por sedimentos marinos y en algunas regiones se cuenta con la presencia de sedimentos cenozoicos semejantes a los de San Sebastián Vizcaíno (Figura 2).

2.3. Clima

El clima encontrado dentro de la península de Baja California, de acuerdo con García (1964), es un clima predominantemente seco y cálido (Figura 3). Se encuentra caracterizado por seis tipos principales: 1) climas secos o áridos clasificados como BSx'- semiseco o estepario con lluvias poco abundantes en todas las estaciones, 2) BSw - semiseco o estepario con lluvias en verano en la región norte, 3) BSs- semiseco o estepario con lluvias en invierno, BWx' - desértico o muy árido con lluvias poco abundantes que pueden presentarse en cualquier época del año, 4) BWw - desértico o muy árido con lluvias en verano, 5) BWs - desértico con lluvias en invierno y clima húmedo templado, 6) Cs Templado húmedo con lluvias en invierno o clima mediterráneo en la región centro y sur (García, 1964).

2.4. Hidrografía

La península de Baja California cuenta con una precipitación media anual de 169 mm, con lluvias escasas en la mayor parte de la región, las cuales pueden ir desde los 100 mm hasta 600 mm a lo largo de la provincia fisiográfica. La mayor precipitación es en la porción norte, se presenta durante el invierno y en la región sur durante el verano (CONAGUA, 2012).

Los ríos más importantes son el Tijuana y Colorado, con algunos arroyos intermitentes, (Figura 4). El Tijuana con una longitud de 186 km nace en territorio mexicano y desemboca en el Océano Pacífico, drenando una cuenca de 3,231 km², con un escurrimiento anual es de 78 hm³. El Río Colorado con una longitud de 160 km, corre desde los Estados Unidos de América, desembocando en el Golfo de California drenando una cuenca de 3,840 km², con un escurrimiento anual de 1,863 hm³ (CONAGUA, 2012).

2.5. Oceanografía física

En la margen occidental de la península de Baja California se encuentra la presencia de distintos procesos oceánicos, tales como el oleaje y corrientes litorales, que son ocasionados por los vientos del NW-SE con velocidades de 2m/s a 6 m/s. Los vientos

predominantes en la margen oriental son dirección NE-SW con velocidades de 2 a 6 m s⁻¹, (Pérez-Villegas, 1990). Para el muestreo de estudio, las corrientes litorales correspondientes a la margen oeste y este de la península, de acuerdo con Carranza-Edwards *et al.*, (1998a) presentan una componente predominante de desplazamiento hacia el sur con una intensidad de viento de ligeros a moderados (Tabla 1).

Tabla 1. Datos de dirección de corrientes litorales encontrados en Carranza-Edwards *et al.*, (1998a)

| Playa | Dirección de la corriente litoral | Playa | Dirección de la corriente litoral | Playa | Dirección de la corriente litoral | Playa | Dirección de la corriente litoral | |
|-------|-----------------------------------|-------|-----------------------------------|-------|-----------------------------------|-------|-----------------------------------|-------|
| 1 | Sur | 16 | Sin dato | 31 | Sur | 46 | Norte | |
| 2 | Sin dato | 17 | Norte | 32 | | 47 | Sin dato | |
| 3 | Sur | 18 | Estacionaria | 33 | | 48 | | |
| 4 | | 19 | | 34 | | 49 | | Sur |
| 5 | | 20 | | 35 | | 50 | | Norte |
| 6 | | 21 | Norte | 36 | | | | |
| 7 | | 22 | Sur | 37 | | | | |
| 8 | SSE | 23 | Estacionaria | 38 | | | | |
| 9 | NW | 24 | Sur | 39 | Estacionaria | | | |
| 10 | Sur | 25 | Norte | 40 | Sur | | | |
| 11 | Estacionaria | 26 | Sur | 41 | Norte | | | |
| 12 | | 27 | Estacionaria | 42 | Sur | | | |
| 13 | | 28 | | 43 | | | | |
| 14 | | 29 | Norte | 44 | | | | |
| 15 | Norte | 30 | | 45 | | | | |

En la porción occidental se encuentra la presencia de la Corriente de California, teniendo como característica notoria el frente de Ensenada (Haury *et al.*, 1993). Es importante notar que en la boca del Golfo se encuentra presencia de frentes oceánicos, los cuales están localizados cerca del Cabo San Lucas. Estos frentes, de acuerdo con Griffiths (1963) se llegan a formar dentro de los primeros 120 m de profundidad debido a la interacción de hasta tres tipos de masas de agua, como lo son: la del Pacífico subtropical nororiental, la del Golfo de California y la de la Corriente de California. En el Golfo de California, de acuerdo con Viacheslave (2004) se encuentra la presencia de un giro ciclónico en la época de

verano que se efectúa debido a la distribución de la densidad de las aguas, lo cual genera corrientes más fuertes que aquellas generadas debido al giro anticiclónico que se produce en época de invierno, giro que es causado debido a efecto de Coriolis, características del relieve, diferencias en la baroclina y vientos dominantes.

2.6. Geología

La provincia geológica de la península de Baja California (Figura 5), litológicamente presenta rocas de edad Paleozoica hasta el reciente. Cuenta con una secuencia de sedimentos marinos y continentales del Cretácico Superior cuya litología es denominada como Formación Rosario, que consiste de estratos de arenisca, limolita, lutita y conglomerado, y la cual cuenta con la presencia tanto de fósiles marinos como continentales. Por otro lado esta porción se encuentra constituida por secuencias de rocas volcánicas, volcanoclásticas y sedimentarias de edad Cretácico Inferior (INEGI, 1983).

En esta provincia fisiográfica existen afloramientos de rocas intrusivas, así como rocas metamórficas derivadas del metamorfismo regional de rocas sedimentarias. Las rocas plutónicas de edad Cretácica presentan composición desde tonalitas hasta granodioritas y granitos, existiendo pequeños afloramientos de diorita y gabro. En la Región del Cabo, se encuentra un macizo batolítico integrado por granodioritas y granitos. En las porciones septentrional y occidental de la Sierra de la Laguna se encuentra un complejo metamórfico prebatolítico constituido por rocas meta-sedimentarias derivadas de lutitas, areniscas y calizas. Durante el Paleoceno y Eoceno se acumularon sedimentos de ambientes cercanos a costa y delta, además de depósitos costeros que tuvieron lugar en el litoral del Pacífico durante el Plioceno y Pleistoceno. Por último, las cuencas del Vizcaíno y Ballenas-Iray-Magdalená, están representadas por topografía suave donde se exponen secuencias estratigráficas cuyo rango geocronológico varía desde el Triásico hasta el Reciente (INEGI, 1983).

Se cuenta con la presencia de complejos ofiolíticos en la península de Vizcaíno e isla de Cedros (Ojeda-García, 2016). La presencia de rocas meta-sedimentarias, esquistos y cuarcitas se encuentra desde el Paleozoico. Se encuentran rocas plutónicas, metamórficas y volcánicas de edad Jurásica, areniscas, caliza, y lutita de edad Cretácica, rocas meta-sedimentarias pre-cretácicas, intrusionadas por rocas plutónicas de edad Cretácica. Del Terciario también se tienen rocas plutónicas, areniscas, lutita y rocas volcánicas (Schaaf, et al., 2000), depósitos de conglomerado y areniscas. Pertenecientes al Cuaternario, es posible hallar depósitos eólicos, lacustres, palustres y litorales así como rocas plutónicas, areniscas, lutita y rocas volcánicas, depósitos de aluvión de origen litoral, lacustre y eólico, así como también de edad Cuaternaria, se cuenta con conglomerado polimíctico, areniscas, lutita y coquinas y depósitos eólicos, areniscas y conglomerados polimícticos (Ortega-Gutiérrez, 1992).

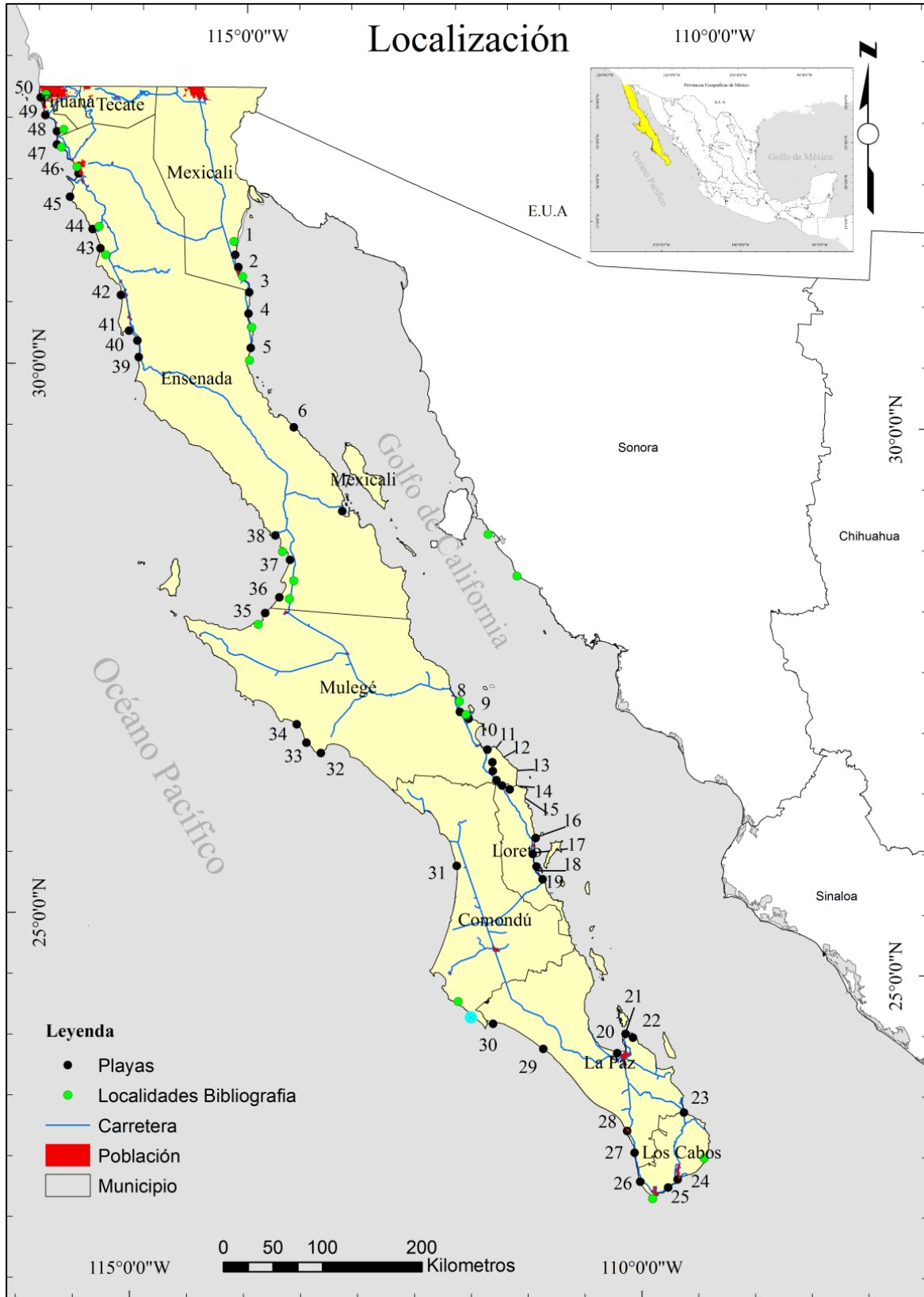


Figura 1. Mapa de localización y vías de acceso de la península de Baja California, México.

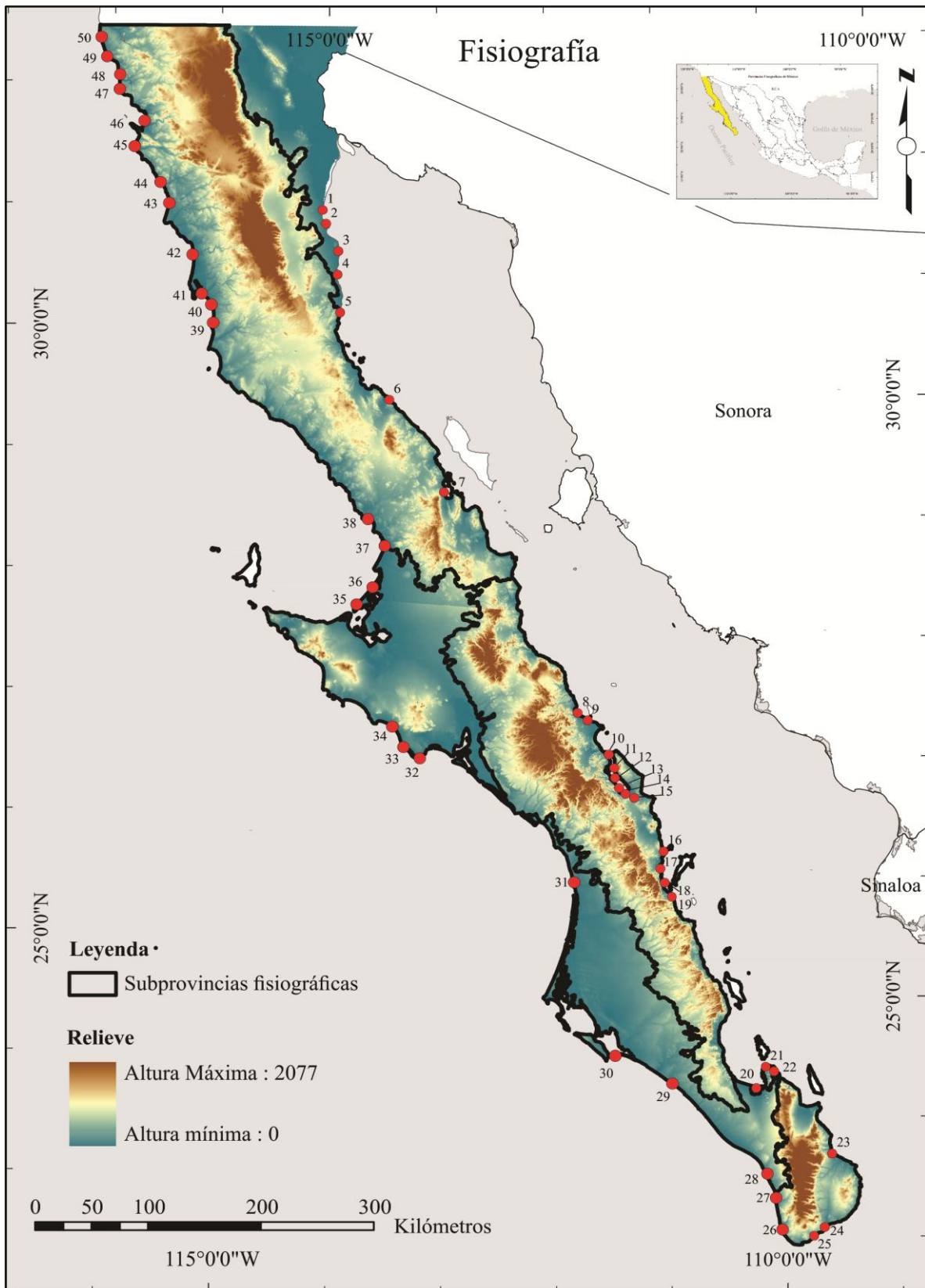


Figura 2. Subprovincias fisiográficas de la península de Baja California (modificado de INEGI, 1983).

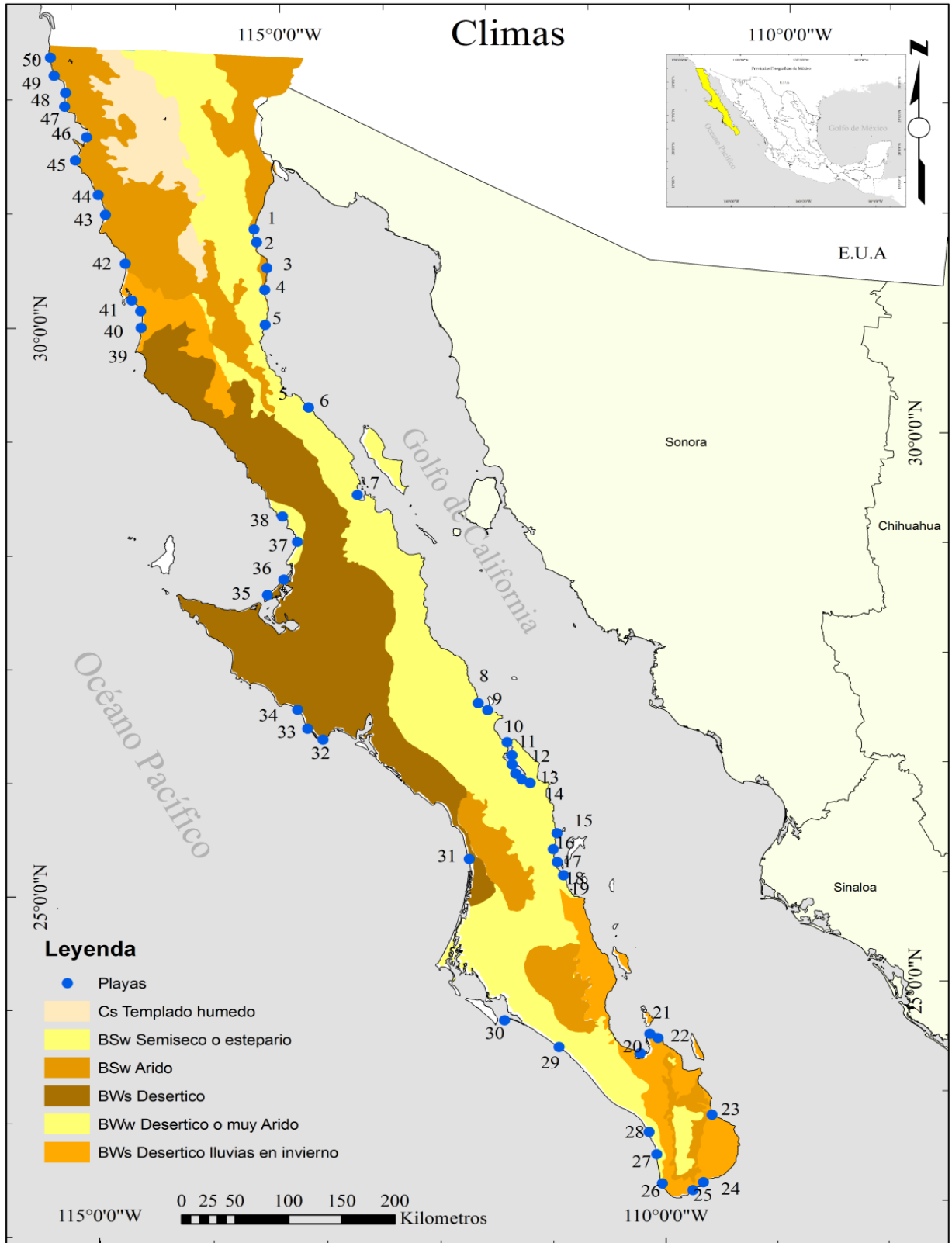


Figura 3. Climas de la península de Baja California, México (modificado de García, 1964).

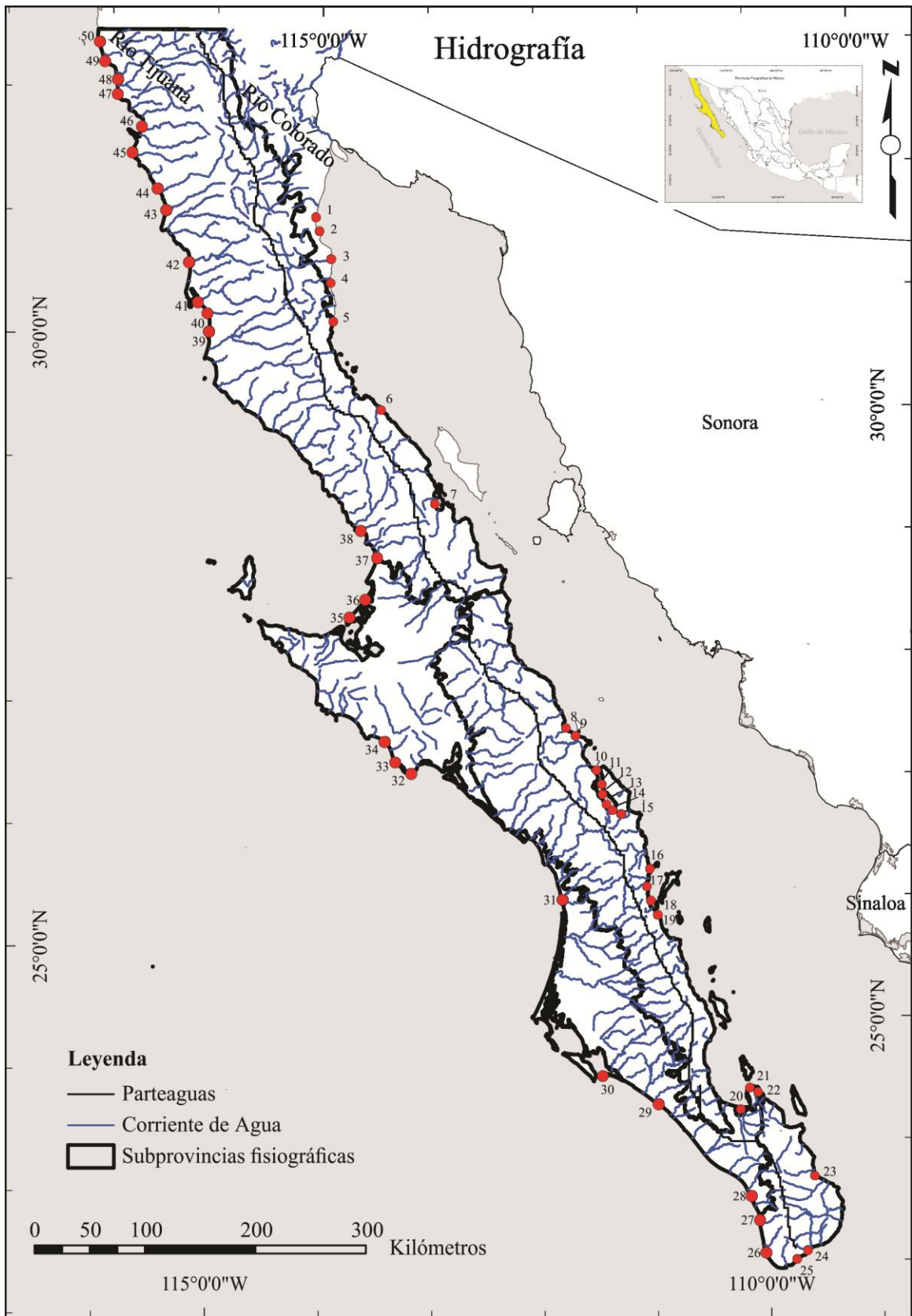


Figura 4. Hidrografía de la península de Baja California, México

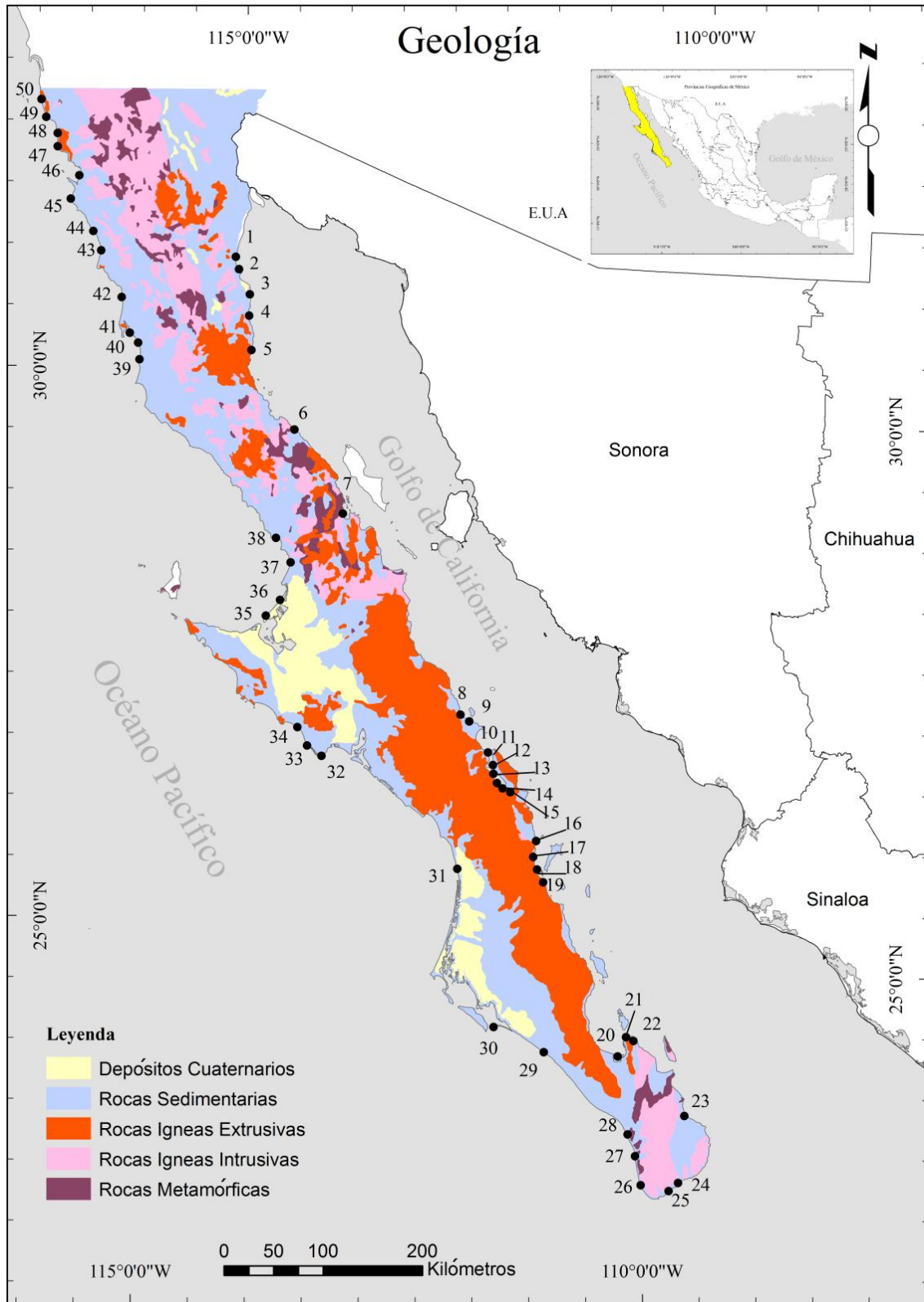


Figura 5. Mapa geológico de la península de Baja California, México (modificado de Ortega-Gutiérrez, 1992).

3. Antecedentes

En la península de Baja California se han realizado diversas investigaciones enfocadas al estudio de sedimentos de playa, los cuales han aportado información acerca de las características texturales, petrográficas y geoquímicas de las arenas de playa encontradas en la margen litoral de esta provincia fisiográfica.

Las características texturales de las localidades que se encuentran en este estudio, han sido fueron realizadas por Carranza-Edwards *et al.*, (1998a) en donde realizan un estudio de arenas de playa de la península de Baja California, México. En este estudio se caracterizan texturalmente las arenas, además de obtener parámetros de composición. Con lo cual encuentran que las arenas del margen Oeste son más finas y mejor clasificadas que las de la porción litoral Este. Sugiriendo mediante estos resultados que las arenas de la margen Oeste se encuentran asociadas con una costa muy amplia y de bajo relieve, la cual se encuentra afectada por oleaje fuerte y corrientes litorales.

Posteriormente, Kasper-Zubillaga y Carranza-Edwards (2005) realizan un estudio textural sobre la distribución de tamaño de grano en sedimentos de dunas lineales y parabólicas del desierto y de la costa del Desierto de Altar en el estado de Sonora. En este lugar, encontraron que las dunas de El Pinacate son muy diferentes al resto de las dunas de la región, principalmente en cuanto a tamaño de grano. Sugieren que esto es provocado por la gran selectividad de los vientos del noroeste que concentran tamaños finos debido al mayor transporte desde la fuente hasta las dunas de El Pinacate. Por otro lado indican que las distribuciones de tamaño de grano para el resto de los campos de dunas se encuentran afectadas por la cercanía a la fuente de sedimentos, el régimen de marea, las corrientes litorales y los vientos.

Kasper-Zubillaga *et al.*, (2007b) realizan una caracterización textural de la arena de playa del golfo de California encontrando que en la Costa Oeste se trata de una arena principalmente gruesa, moderadamente clasificada, mientras que en las arenas de playa de la costa oriental se encuentran arenas medianas, moderadamente bien clasificadas y por otra parte sugiriendo, de acuerdo a los perfiles de playa que las fracciones gruesas en las arenas se deba probablemente a la baja velocidad de las corrientes litorales, así como también a la poca energía del oleaje y las olas altas debido a la presencia de bahías pequeñas e islas cerca de la costa.

Por otro lado Lizárraga-Arciniega *et al.*, (2008) estimaron los volúmenes mensuales de arena en playa, los cuales se relacionaron con registros de olas en mar abierto en California y en aguas cercanas a la costa en dos localidades frente a Rosarito las cuales fueron estudiadas mediante el análisis espectral de las series de tiempo de volumen de arena, en donde se identificaron dos picos espectrales importantes, evidenciando que el ciclo de

erosión se presentó en invierno y del acreción en verano, mostrando que el cambio en el volumen de arena, es controlado por las características del oleaje.

Murillo-Jiménez *et al.*, (2007) realizaron un estudio de las fuentes de sedimentos de arena de playas de la costa suroeste de la península de Baja California, con el fin de identificar las posibles fuentes de aporte de los sedimentos y con esto, definir los procesos de transporte, la erosión y reposición de las playas locales a lo largo de la costa de la península de Baja California, utilizando el análisis de forma de grano de Fourier, con lo cual lograron identificar dos provincias sedimentarias denominadas El Médano y Los Cabos.

Carranza-Edwards *et al.*, (1988b) realizaron un estudio mineralógico y petrográfico de arenas de playa en San Antonio del Mar (BC), con el fin de determinar y evaluar el contenido de minerales metálicos y su posible procedencia de estas arenas negras, sugiriendo como fuente de aporte de la sedimentación, afloramientos de origen metamórfico y plutónico cercano al área fuente. Indicando que texturalmente los sedimentos de playa presentan arenas finas que tienden a ser más finas y oscuras hacia la parte alta del frente de playa y en la berma de la misma.

De forma más regional Carranza-Edwards *et al.*, (2001), estudian la procedencia de arenas oscuras del Oeste de México, con el fin de determinar la relación entre el contenido de minerales pesados, así como las posibles variaciones de elementos pertenecientes al grupo de las tierras raras, observando que las arenas de cuarzos, feldespatos y fragmentos de roca contienen bajos valores de estos elementos químicos y que en contraste estos valores se incrementan en arenas oscuras, además de encontrar una relación directa en la concentración de algunos elementos como el Zn, Hf, Th, Ni y Cr, los cuales sugieren, están estrechamente relacionados al contenido de minerales pesados.

Navarro *et al.*, (2006) realizan un estudio sobre sedimentos de la laguna costera de San Quintín, Baja California, con la finalidad de identificar mediante herramientas geoquímicas la presencia de sedimento volcanoclástico producto del intemperismo y erosión de las rocas basálticas del campo volcánico de San Quintín, analizando las concentraciones de Fe, Ti y Al, así como la distribución de tamaño de grano de sedimento superficial, debido a que las rocas del campo volcánico se caracterizan por tener concentraciones altas de Ti y Fe, comparadas con la corteza continental y el batolito peninsular.

Kasper-Zubillaga y Zolezzi-Ruiz (2007) realizan un estudio petrográfico y geoquímico en arena de dunas para establecer el posible origen y la procedencia de las dunas costeras y continentales del Desierto de El Vizcaíno, indicando, que los vientos hacia la costa generan arenas finas bien clasificadas en el Desierto de El Vizcaíno, las cuales son un subproducto de la arena de playa de la Bahía del Vizcaíno, por otro lado definen que las dunas costeras y continentales provienen de fuentes cercanas como las playas así como de depósitos aluviales procedentes de rocas ígneas sedimentarias y metamórficas.

Posteriormente Camacho-Valdéz *et al.*, (2008) analizaron la respuesta natural del huracán Juliette y la influencia antropogénica sobre la morfodinámica de Duna y playa de Cabo Falso, Baja California Sur, México y de la misma forma Lizarraga-Arciniega *et al.*, (2008) analizan la repuesta multianual de la playa de la costa de Rosarito mediante el levantamiento de perfiles de playa, en donde fue posible identificar que en la porción norte se encontró una margen litoral relativamente estable, no ocurriendo de la misma manera con las playas del sur, en donde la tendencia fue acrecional.

González-Yajimovich *et al.*, (2010) realizaron un estudio de transporte de sedimentos en Bahía Concepción, con lo cual obtuvieron patrones de dispersión de los sedimentos así como su distribución espacial de sus características texturales y contenido de minerales pesados, aplicando los modelos de McLaren y Bowles y LeRoux a datos de textura de sedimentos en donde se identificaron siete tipos de minerales pesados y obteniendo sus fuentes mediante el Análisis de Componentes Principales.

Sánchez *et al.*, (2010) realizan un estudio sobre el patrón de sedimento en Bahía Magdalena, con la finalidad de inferir la trayectoria del transporte de los sedimentos mediante el análisis de tendencias de los parámetros texturales. Con lo que pudieron observar que el material clástico sugiera la presencia de un giro ciclónico en la parte central de la bahía y otro anticiclónico en la región sureste de la bahía.

Armstrong-Altrin *et al.*, (2014) realizaron un estudio geoquímico de arenas de playa a lo largo de las playas de San Nicolás y San Carlos en el Golfo de California, con el fin de encontrar las condiciones de intemperismo, procedencia y marco tectónico de las arenas de ambas playas utilizando mineralogía, elementos mayores y elementos traza. Demostrando la presencia de arenas con mayor madurez en San Nicolás, además de que el enriquecimiento de tierras raras ligeras y la poca concentración pesadas en la playa, implicaría sedimentos provenientes de rocas félsicas.

Rodríguez-Revelo *et al.*, (2014), realizan un análisis de procedencia de arenas del complejo de dunas parabólicas del Socorro en Baja California, en donde determinan una composición, dominada por cuarzo, feldespatos, plagioclasas y en menor medida por pequeñas cantidades de fragmentos de roca, teniendo que son abundantes los minerales pesados hornblenda y piroxenos, siendo escasas la magnetita y la ilmenita.

Hipótesis y objetivos.

3.1. Hipótesis.

Se pretende demostrar a nivel regional, que el análisis de sedimentos de playa en base a su relación textural, petrográfica y geoquímica, puede ser utilizado como una herramienta que permita la división de la margen litoral, en zonas con características sedimentarias similares en base al relieve presente en la región, el clima, corrientes litorales, textura, composición petrográfica y composición geoquímica. Para ello se considera que la muestra total deberá utilizarse para los análisis de textura, petrografía y geoquímica, en tal forma que se trabaje con la misma muestra para los diferentes fines.

3.2. Objetivo General.

Proponer una regionalización de los sedimentos de playa con base en las características litológicas, fisiográficas y climáticas de la península de Baja California.

1. Analizar los parámetros texturales y petrográficos de los sedimentos de playa, para determinar las diferencias entre playas para observar si su posible procedencia corresponde con la litología de los afloramientos existentes en la península.
2. Describir la relación existente entre los análisis geoquímicos con los parámetros texturales y petrográficos de los sedimentos de playa, con el fin de determinar la naturaleza de la roca fuente, cuyos afloramientos son conocidos.
3. Evaluar la aplicación de distintos diagramas de petrografía sedimentaria utilizados en sedimentología y proponer un modelo que se ajuste a las características de la península de Baja California.

4. Materiales y métodos.

4.1. Obtención de Muestras

El presente material de estudio sedimentario es parte del proyecto titulado "*Sedimentología de playas de México*", del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Los sedimentos de playa que componen el material de trabajo fueron muestreados en octubre de 1984 en épocas de lluvia, y de acuerdo con los perfiles de playa que se pueden consultar en Carranza-Edwards (1998a).

4.2. Cuarteo.

Las muestras de sedimento fueron cuarteadas con el fin de obtener una sub-muestra representativa, que no tenga un sesgo y que sea tomada de manera aleatoria. Con el fin de obtener esta muestra aleatoria y representativa, se utilizó el cuarteador de rifles, en donde el material es vertido por medio de un cucharón, con el fin de distribuir el material uniformemente en su superficie. En este estudio los datos petrográficos y geoquímicos se elaboraron considerando la muestra completa sin realizar fraccionamientos o cribado, recibiendo cada uno de los recipientes, una muestra que es representativa del muestreo principal (Figura 6).



Figura 6. Cuarteador de Rifles. Laboratorio de Sedimentología. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.

4.3. Lavado de muestras.

Las muestras fueron lavadas con agua oxigenada, sin excepción alguna, con el fin de eliminar la posible presencia de materia orgánica y eliminar el excedente de sal presente. Esto con el fin de obtener una muestra limpia para los estudios granulométricos y petrográficos y análisis geoquímicos de fluorescencia de rayos X y espectrometría de masas.

4.4. Textura, composición petrográfica y mineral de los sedimentos

Se elaboraron secciones delgadas de sedimentos, cuya descripción se llevo a cabo mediante el uso de microscopio petrográfico. Las muestras seleccionadas fueron cementadas con resina époxica con el fin de lograr cortar la muestra en una sección delgada y posteriormente se pulió la muestra con carburo de silicio para su montaje en cristales portaobjetos. Posterior a este procedimiento la muestra fue devastada hasta 0.003 mm y pulida con el fin de obtener una superficie lo más plana posible, tanto en el montaje como en el acabado final. Con la obtención de la sección delgada es posible determinar las

propiedades ópticas de los sedimentos presentes, tales como el color, relieve, índice de refracción, pleocroísmo, ángulos de extinción, maclado, birrefringencia, figuras de interferencia, signos óptico, formas y hábitos cristalinos, dimensiones, relación entre granos o cristales y presencia de cemento o matriz.

Los parámetros texturales utilizados en este estudio se encuentran descritos en Carranza-Edwards (1998a). El análisis petrográfico y mineralógico de los sedimentos se realizó por el método de Franzinelli y Potter (1983), método que fue elegido debido a que los sedimentos estudiados pertenecen a ambientes de depósito recientes de arenas de ríos y playas de Sudamérica, además de tratar una descripción de los sedimentos como partículas no consolidadas. Por lo que la metodología de ese estudio puede extrapolarse a los sedimentos de ambiente de playa descritos en este estudio, cuyas texturas se encuentran entre el rango 0.064 mm y 2mm. Concordando con Decker y Helmold (1985), la composición de los sedimentos varía según el tamaño del grano, ya que los fragmentos de roca son más fáciles de preservar en la fracción gruesa y en menor medida se preservan en sedimentos de grano fino.

Este análisis se realizó mediante el uso de secciones delgadas observadas con microscopio petrográfico determinando los parámetros observados en la tabla 2. En base a este criterio se realizó un conteo de 300 granos de sedimento por lámina delgada para determinar el conteo modal (presencia de minerales y fragmentos de roca) de 8 grupos definidos como; cuarzo, cuarzo policristalino, feldespato potásico, plagioclasas, pedernal, micas, fragmentos de roca y minerales pesados, pudiéndose observar algunas fotomicrografías representativas de en la figura 7. Se realizó un conteo de 100 granos de sedimento por lamina delgada para determinar 4 grupos de fragmentos de roca; ígnea extrusiva, ígnea intrusiva, sedimentaria y metamórfica. Por último se realizó un conteo de 100 granos por lamina delgada para determinar la abundancia de clastos de origen biogénico o terrígeno.

Tabla 2. Método de conteo de minerales y fragmentos de roca. Modificado de Franzinelli y Potter (1983).

| Procedimiento de Conteo | |
|--------------------------------|---|
| Cuarzo | |
| Monocristalino/Unitario | Cristales simples ya sea con extinción recta u ondulante. |
| Policristalino/compuesto | Dos o más cristales con varias texturas excluyendo areniscas y limolitas |
| Feldespato | |
| Potásico | Todo tipo de feldespato incluyendo ortoclasa, microclina y sanidina |
| Plagioclasas | Todo grano sin teñir con albita y macla de albita tipo Carlsbad y granos monocristalinos con alteración |

| Fragmentos de roca | |
|---|---|
| Cristalinas | |
| Plutónicas | Agregados de grano grueso de cuarzo, feldespato, micas, anfíboles, etc. , carente de una orientación preferente |
| Metamórficas | Como se menciona anteriormente, pero teniendo orientación y/o algunos minerales metamórficos distintivos. |
| Volcánicas | Vidrio y texturas fluidas o tobáceas, productos de alteración como espilitas y vidrios |
| Sedimentarias | |
| Argilitas | Agregados de arcilla de grano fino, comúnmente parduzcos y con algunos limos y micas finos |
| Carbonatados | Dolomitas y calizas de diversas texturas y mármoles raros |
| Limolita | Granos finos compuestos comúnmente de algo de arcilla y siempre con una fábrica sedimentaria |
| Arenisca | Granos gruesos compuestos comúnmente de cuarzo arenita, graywackas y siempre con una fábrica sedimentaria. Puede incluir algunos granos ferruginosos |
| Alterita | No es posible asignarlo a alguno de los tipos descritos arriba, pero puede incluir algunas lateritas volcánicas o argilitizadas y finamente cristalizados cuarzo-mica esquisto, todo fuertemente alterado |
| Pedernal | Mosaicos de cuarzo anhedral de muy fino a medio tamaño; difícil de distinguir de algunas alteraciones vidriosas producto de rocas volcánicas a partir del reemplazamiento de caliza |
| Micas | Muscovita, biotita y clorita |
| Minerales Pesados | Diversos, pero todos con alta birrefringencia |
| Fuente Biogénica o Terrígena--Conteo de 100 granos | |
| Conteo Modal--Conteo de 300 granos | |
| Fragmentos de Roca--Conteo de 100 granos | |

Continuación Tabla 2. Método de conteo de minerales y fragmentos de roca. Modificado de Franzinelli y Potter (1983).

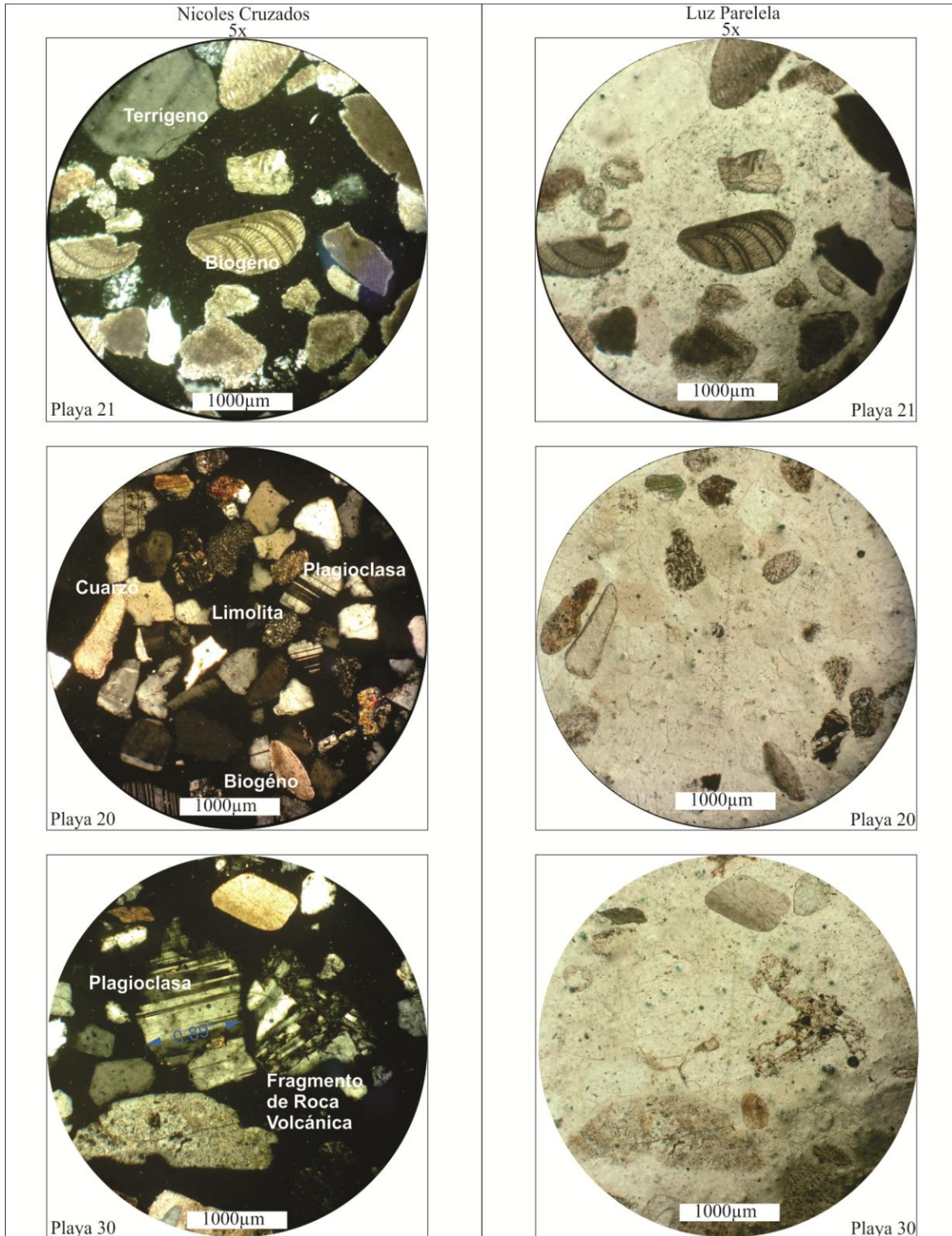
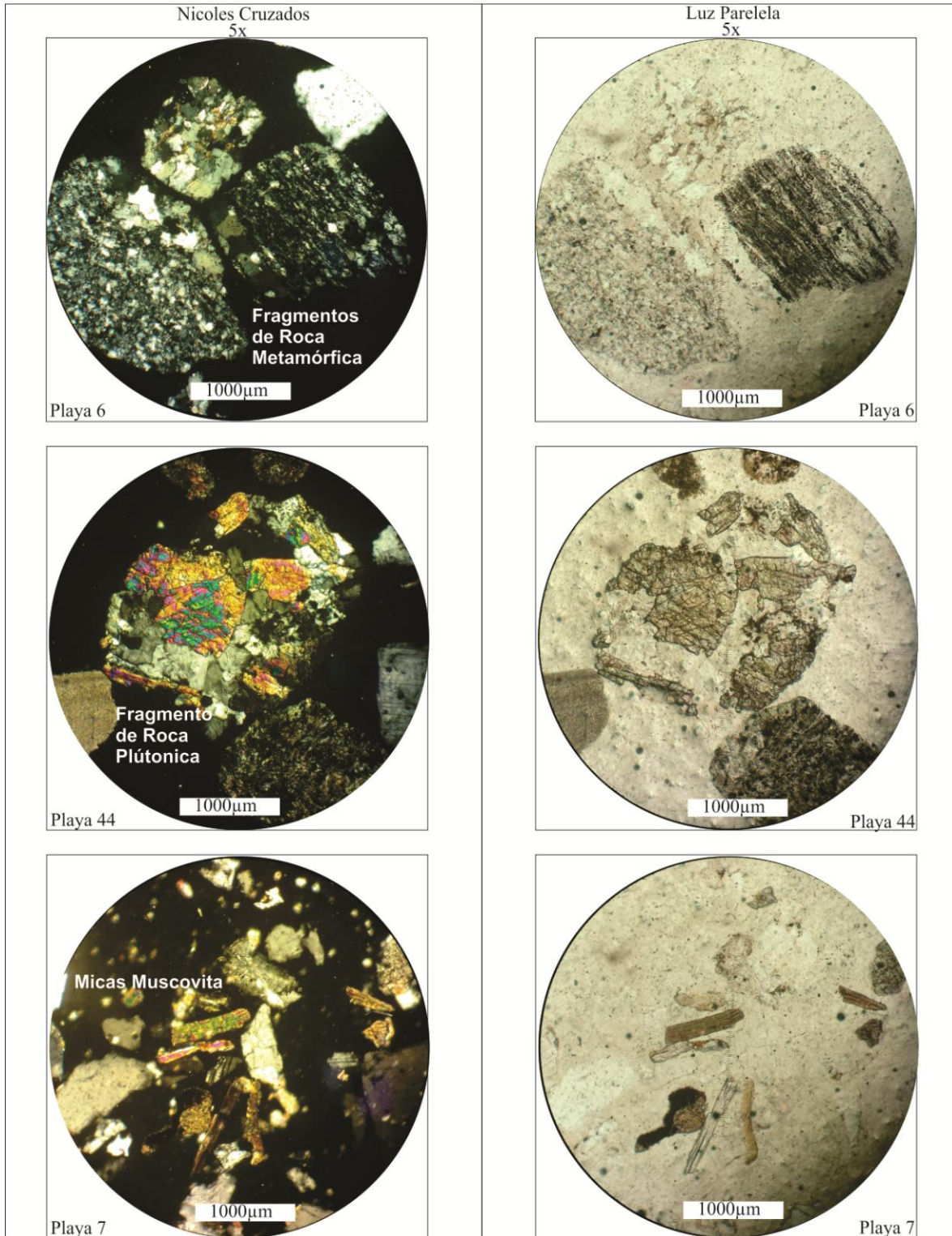


Figura 7. Fotomicrografías representativas del conteo modal en playas de la península de Baja California.



Continuación Figura 7. Fotomicrografías representativas del conteo modal en playas de la península de Baja California.

4.5. Composición geoquímica.

Fueron realizados 50 análisis geoquímicos por el método de fluorescencia de rayos x (FRX) y espectrometría de masas, con el fin de cuantificar elementos mayores y elementos traza, incluidos los elementos de tierras raras. Para esto, se cuartearon las muestras, con el fin de obtener una fracción representativa de las mismas y mediante el uso de balanza electrónica se obtuvieron 5 gr de sedimento. Fueron lavadas con agua destilada para retirar el material disuelto y finalmente pasar al proceso de secado, para posteriormente pulverizar la el sedimento en mortero de porcelana, hasta obtener un tamaño de 70 micras (Figura 8).

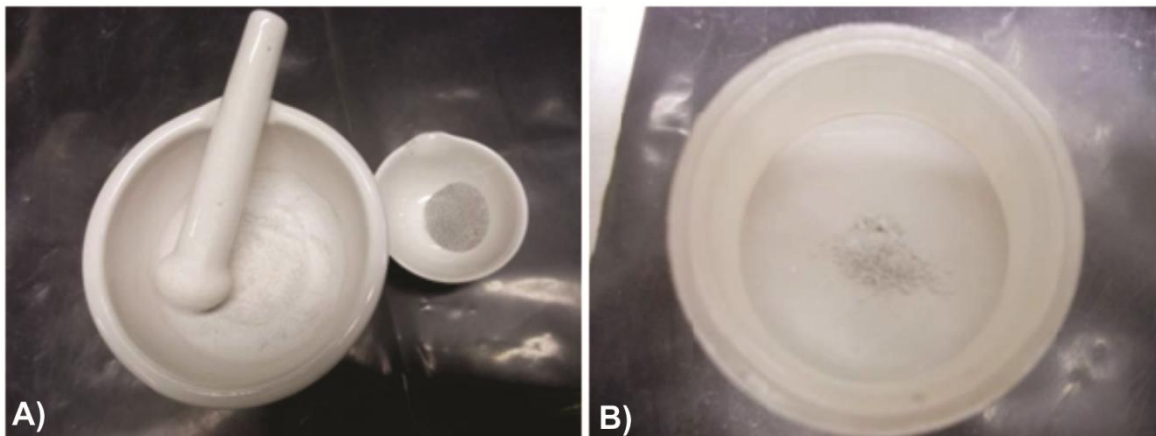


Figura 8. A) Trituración de muestras de sedimentos con mortero de cerámica.
B) Tamiz de 70 micras. Laboratorio de sedimentología. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.

En cuanto a los elementos mayores se obtuvo la concentración de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , MgO , MnO , CaO , Na_2O , K_2O y P_2O_3 , los cuales constituyen alrededor del 98% en peso de la corteza terrestre, con lo cual se mide la influencia y procedencia de material terrígeno en los sedimentos de la margen litoral. Los elementos traza y de tierras raras se hicieron en el cuarto Ultralimpio de Geociencias calibrado por la M. en C. Ofelia Pérez Arvizú, usando un ICP-MS modelo iCAP Qc el que se calibró utilizando los siguientes estándares AGV-2, BCR-2, BHVO-2, y JB-2, JR-1, y ZZ, descrito en Mori *et al.*, (2009).

5. Resultados y Discusión.

5.1. Subdivisión de la península de Baja California.

En el presente estudio, la península de Baja California fue dividida en 5 regiones que pueden ser observadas en la (Figura 9). Estas regiones fueron elaboradas a partir del relieve descrito en Álvarez (1961), donde se señalan la principales subprovincias de la península de Baja California: 1) Sierra Cristalina, 2) Sierra Volcánica, 3) Sierra de La Paz, 4) Llanura Costera de San Sebastián Vizcaíno, y 5) Llanura Costera de Iray-Purísima. además de las provincias geológicas encontradas en INEGI (1983). Por otro lado se realizó una modificación acorde a este estudio, del mapa geológico regional de la República Mexicana de Ortega-Gutiérrez (1992). Se utilizaron los parámetros texturales descritos en Carranza-Edwards (1998a), que pueden ser observados en la Tabla 3. En los parámetros texturales, fueron obtenidos los promedios de tamaño de grano y clasificación de los sedimentos de cada playa. De esta manera se agruparon los rasgos texturales de los sedimentos. Esta división es de amplia utilidad para separar grupos de playas que cuentan con las mismas características petrográficas y geoquímicas, las cuales a su vez cuentan con caracteres geomorfológicos y geológicos distintivos en un clima principalmente desértico en toda la península de Baja California.

En la **región 1**, fisiográfica y geológicamente se tiene la influencia de la Sierra Cristalina, la cual cuenta con una litología compleja compuesta de rocas metamórficas de edad Paleozoica y rocas intrusivas del Mesozoico, que geomorfológicamente está representada por planicies costeras amplias. La **región 2**, cuenta con influencia de la provincia fisiográfica de la Sierra de la Giganta constituida por rocas de origen volcánico de composición y edad variada. Esta región cuenta con la geomorfológico de Bahía de Concepción, el cual impide una circulación de corrientes de mar abierto dentro de la bahía. La sedimentación que se encuentra en esta sub-región es ampliamente influenciada por un relieve abrupto y planicies costeras estrechas. La **región 3** está ubicada en la zona Sur de la margen litoral, en donde se cuenta con sedimentación, que presenta influencia del bloque plutónico-metamórfico Los Cabos, en donde se puede observar la presencia de una planicie costera estrecha. La **región 4**, cuenta con influencia de sedimentos depositados en la margen occidental de la península de Baja California, la cual es afectada por las corrientes del Océano Pacífico. Esta región cuenta con influencia de la provincia geológica de la Sierra de la Giganta, pero geomorfológicamente diferenciada por dos amplias llanuras costeras pertenecientes al Desierto de Vizcaíno y Llanos de la Magdalena. La **región 5** Noroccidental presenta fisiográfica y geológicamente influencia de la Sierra de San Pedro Mártir. Geológicamente está compuesta de rocas metamórficas de edad Paleozoica y rocas intrusivas y extrusivas de edad Mesozoica. Aunque con fuentes de aporte semejantes a las de la región 1, las playas en donde se depositan los sedimentos están geomorfológicamente definidas por planicies costeras estrechas a diferencia de la Región 1.

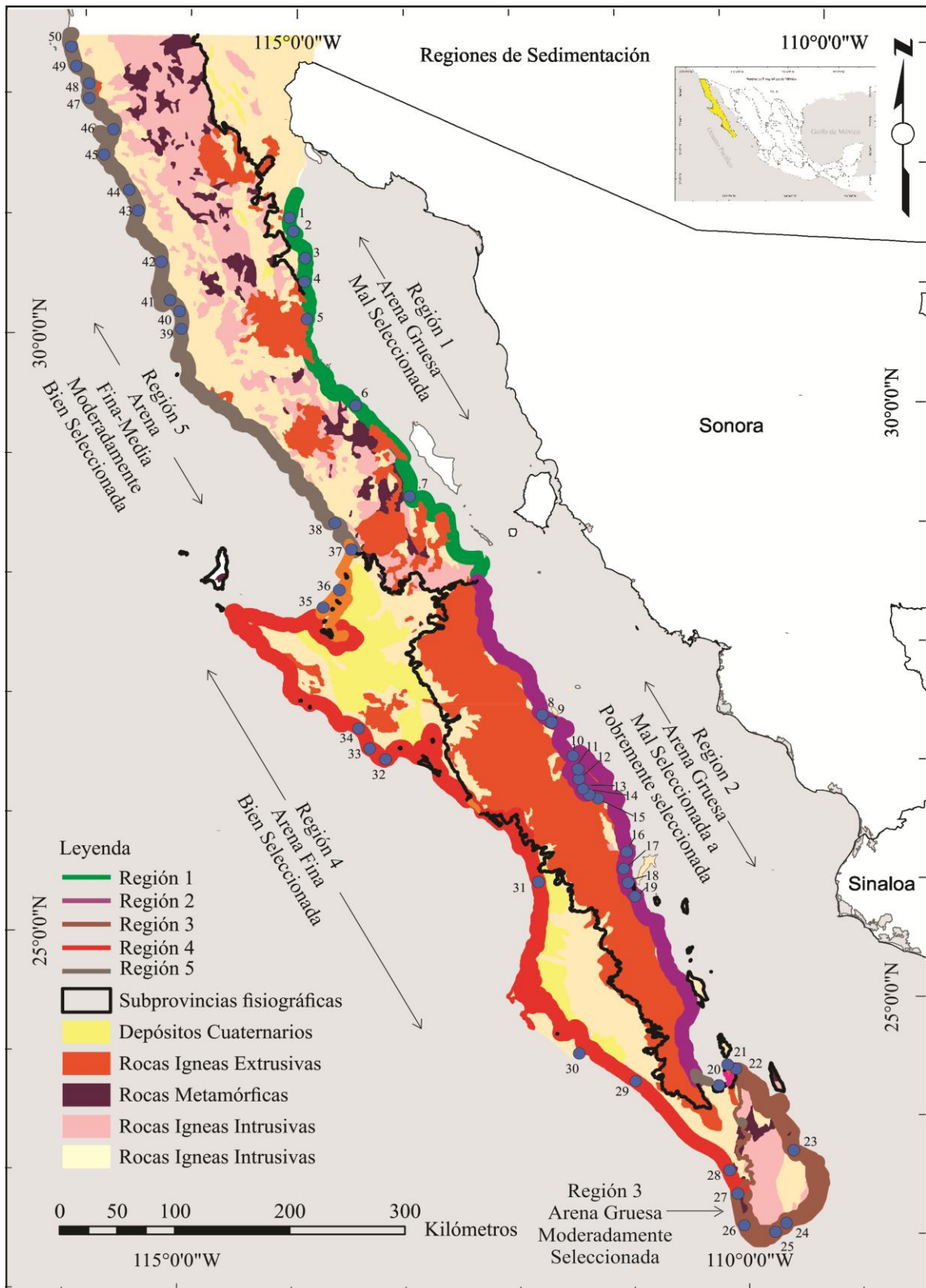


Figura 9. Regiones de sedimentación de la península de Baja California

Tabla 3. Parámetros texturales de las 5 regiones de la península de Baja California propuestas en este estudio (modificado de Carranza-Edwards, 1998a).

| Playa | Margen | Región | Tamaño | | Clasificación | |
|-------|----------|--------|--------|------------------|---------------|---------------------------------|
| 1 | Golfo | 1 | 0.91 | Arena gruesa | 0.81 | Mal Seleccionada |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | | | | | |
| 6 | | | | | | |
| 7 | | | | | | |
| 8 | | | | | | |
| 9 | | | | | | |
| 10 | | | | | | |
| 11 | | | | | | |
| 12 | | | | | | |
| 13 | | | | | | |
| 14 | | | | | | |
| 15 | | | | | | |
| 16 | | | | | | |
| 17 | | | | | | |
| 18 | | | | | | |
| 19 | | | | | | |
| 20 | | | | | | |
| 21 | | | | | | |
| 22 | | | | | | |
| 23 | | | | | | |
| 24 | | | | | | |
| 25 | | | | | | |
| 26 | Pacífico | 3 | 0.89 | Arena gruesa | 0.58 | Moderadamente Seleccionada |
| 27 | | | | | | |
| 28 | | | | | | |
| 29 | | | | | | |
| 30 | | | | | | |
| 31 | | | | | | |
| 32 | | | | | | |
| 33 | | | | | | |
| 34 | | | | | | |
| 35 | | | | | | |
| 36 | | | | | | |
| 37 | | | | | | |
| 38 | | | | | | |
| 39 | | | | | | |
| 40 | | | | | | |
| 41 | | | | | | |
| 42 | | | | | | |
| 43 | | | | | | |
| 44 | | | | | | |
| 45 | | | | | | |
| 46 | | | | | | |
| 47 | | | | | | |
| 48 | | | | | | |
| 49 | | | | | | |
| 50 | | | | | | |
| | | 4 | 2.40 | Arena Fina | 0.50 | Bien Seleccionada |
| | | 5 | 1.96 | Arena media-Fina | 0.59 | Moderadamente Bien Seleccionada |

Región 1

Los sedimentos de esta región cuentan con una mineralogía y litología predominantemente siliciclástica comprendiendo las muestras de playa 1 a 7. En esta región se cuenta con una concentración promedio 95% de material de origen terrígeno (rango 86%-100%) y 5% de material biogénico, teniendo que los sedimentos están texturalmente compuestos de arena gruesa mal seleccionada, de acuerdo al promedio obtenido de los parámetros texturales encontrados en la Tabla 2. La concentración de cuarzo total (Qt), Feldespato total (Ft) y fragmentos de roca (FR), indica, en el caso de las playas de la región 1, una abundancia de cuarzo total del 44.29%, la de feldespato del 26.28% y un contenido de fragmentos de roca el 29.42% del diagrama ternario de clasificación de Folk (1974), el cual se muestra en la figura 10.

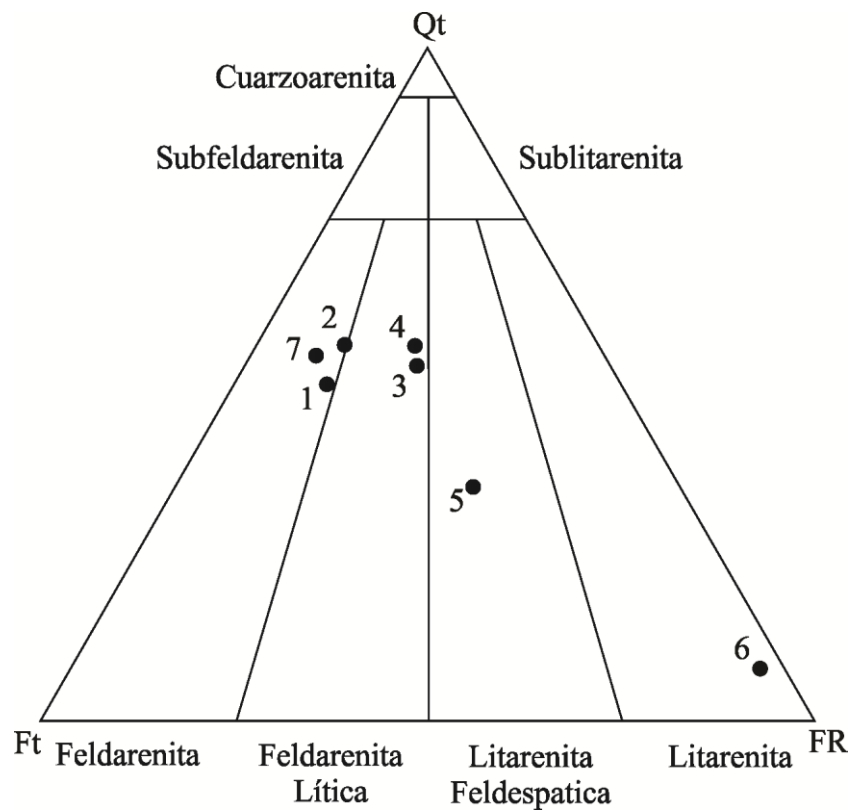


Figura 10. Diagrama ternario de Folk (1974) correspondiente a la Región 1 en el que se muestra la composición de las arenas de playa en base al contenido de cuarzo total (Qt), feldespato total (Ft) y fragmentos de roca (Fr)

En cuanto a la fracción lítica, los principales fragmentos de roca que componen el sedimento proceden de rocas ígneas volcánicas con un promedio del 32.6% y en segunda instancia de rocas de origen plutónico, las cuales presentan una abundancia regional

promedio del 29.98%, seguidas de las rocas de origen metamórfico (promedio 20.43 %) y sedimentarias (promedio 16.88 %).

Los sedimentos presentes en base al contenido de fragmentos de roca se encuentran en el rango de feldarenita a litarenita, siendo predominante la feldarenita lítica, por lo que estas arenas en base a su fracción lítica están clasificadas como volcarenitas y filarenitas (Figura 11).

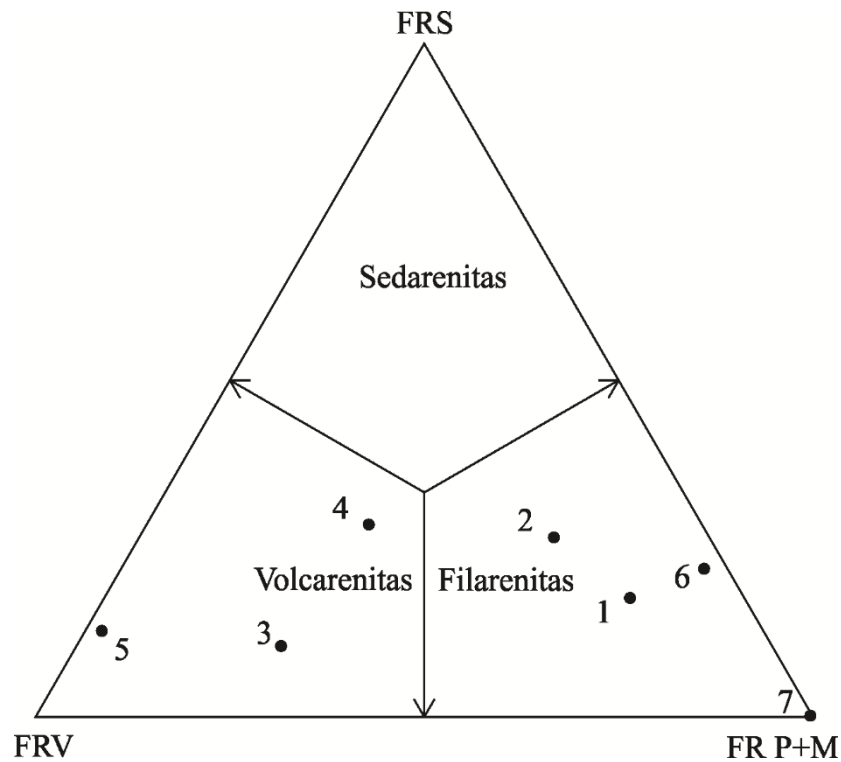


Figura 11. Diagrama de Folk (1974) perteneciente a la Región 1, en base a su contenido de fragmentos de roca. En esta región, los fragmentos de roca que componen los sedimentos provienen principalmente de afloramientos plutónico-metamórficos (FR P+M), y en segundo lugar de afloramientos de rocas volcánicas (FRV).

Debido a que la margen litoral de esta zona, de manera general se encuentra en una zona expuesta a las fuertes corrientes litorales propias del Golfo de California y a la desembocadura del río Colorado, existe un enriquecimiento de componentes clásticos de mala selección, que incluyen minerales leucocráticos y melanocráticos. Entre los primeros componentes los más abundantes son cuarzo (44.29%) y feldespatos (47.45%), en segunda instancia se encuentran los minerales pesados con un promedio de 4.67%. En el caso de la playa número 4, esta presenta la concentración máxima con un 12% de minerales pesados. Por último el pedernal y la mica presentan la menor concentración dentro del conteo modal de esta región con un promedio de 0.7% y 0.5% respectivamente.

Las muestras de playa 1, 2 cuentan con características petrográficas semejantes debido a que las fuentes de aporte se encuentran con una mayor influencia por parte de la desembocadura del río Colorado y a la geología plutónico-metamórfica de la parte norte de esta región. Caso contrario a lo que ocurre en las muestras de playa de 3, 4 y 5, las cuales presentan una fuente de sedimentos de origen principalmente volcánico que es mezclado con sedimentos de fuentes plutónico-metamórficas que son transportados de norte a sur por las corrientes litorales. La cual genera condiciones de mayor energía que genera una mayor segregación mineral que enriquece a las muestras en cuarzo y feldespato, debido a su mayor resistencia al intemperismo físico, así como al químico.

Dentro del grupo de sedimentos de playa muestreados es de notar la respuesta de las playas 6 y 7, que divergen de esta clasificación debido a que se trata de playas de bolsillo. En el caso de la playa 6, los sedimentos presentan una mala clasificación con presencia de mayor cantidad de líticos, plutónicos, metamórficos y volcánicos debido al dominio de la litología de la región consultada en SGM (2002a, 2002b), lo que puede reflejar poco transporte de los sedimentos de esta playa. En el caso de la playa 7 esto se debe a la influencia de rocas de origen plutónico-metamórfico (SGM, 2002b), teniendo la presencia de mayor cantidad de feldespato potásico y plagioclasas. En ambos casos la sedimentación refleja las condiciones locales del área debido en primer lugar a los componentes líticos y mineralógicos de la geología local y en segunda instancia a la geomorfología del lugar, en donde la playa se encuentra en una pequeña bahía lo que propicia la poca influencia de la desembocadura del Río Colorado, caso contrario a las muestras restantes, las cuales debido a la probable selectividad que se genera en los sedimentos por el efecto de transporte y posterior depósito de los sedimentos transportados a través de esta desembocadura, la cual genera condiciones de mayor energía que genera una mayor segregación mineral que enriquece a las muestras en cuarzo y feldespato, debido a su mayor resistencia al intemperismo físico, así como al químico.

Región 2.

Los sedimentos de esta región comprenden las playas 8 a 19. Estas playas cuentan con una composición mixta debido al material siliciclástico y de origen biogénico. El promedio regional es del 55.54% de material de origen terrígeno, y una concentración promedio de 44.45% de material biogénico autóctono producto de la actividad biogénica *insitu*. Estos sedimentos, texturalmente están compuestos de arena gruesa de mal seleccionada a pobremente seleccionada, de acuerdo al promedio obtenido de los parámetros texturales encontrados en Carranza-Edwards (1998a). Siendo la presencia de material biogénico abundante en bahía de Concepción, la cual es favorecida por la geomorfología de la región, ya que en esta región se forman playas protegidas del oleaje y de corrientes características de mar abierto, con lo que se favorece la productividad biogénica, que se encuentra dominada por la presencia de pellets y bivalvos.

Acorde a la clasificación de Folk (1974) que se muestra en la figura 12, los sedimentos presentan un promedio de cuarzo total del 22.53 %, feldespato total 18% y un contenido de fragmentos de roca del 60.64%, por lo que estos sedimentos presentan una composición desde las litarenitas, a las feldarenitas líticas, siendo predominantes las litarenitas.

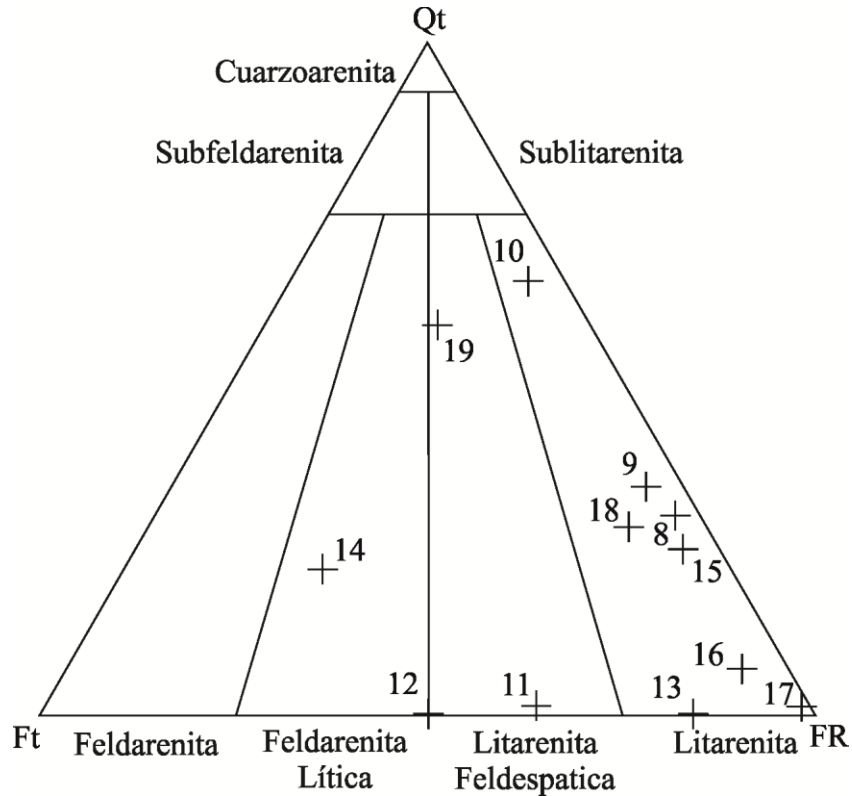


Figura 12. Diagrama ternario de Folk (1974) correspondiente a la Región 2.

Por otro lado los sedimentos presentes, en base al contenido de fragmentos de roca se encuentran dominados por las volcarenitas (Figura 13), debido a la amplia presencia de rocas de origen volcánico.

Todas las muestras de esta región presentan características petrográficas similares. Existiendo una mayor distribución de playas con abundancia de fragmentos de roca volcánica lo cual genera litarenitas. En esta región, las muestras 11, 12, 14 y 19 cuentan con una mayor proporción de feldespato plagioclasa. Esto es probablemente debido a que los sedimentos de las muestras 11, 12 y 14 se encuentran presentes en desembocaduras del sistema de drenaje que se presenta en la zona, lo que podría aportar una mayor cantidad de plagioclasas producto de la fragmentación de andesitas que han sido transportadas por el sistema de drenaje y que predominan en la provincia geológica de la Sierra de la Giganta. A la vez, la muestra de sedimento de la playa 19, se encuentra más expuesta a la erosión e

intemperismo que sufren los afloramientos de roca volcánica, debido a un oleaje que propicia también la disminución de material biogénico.

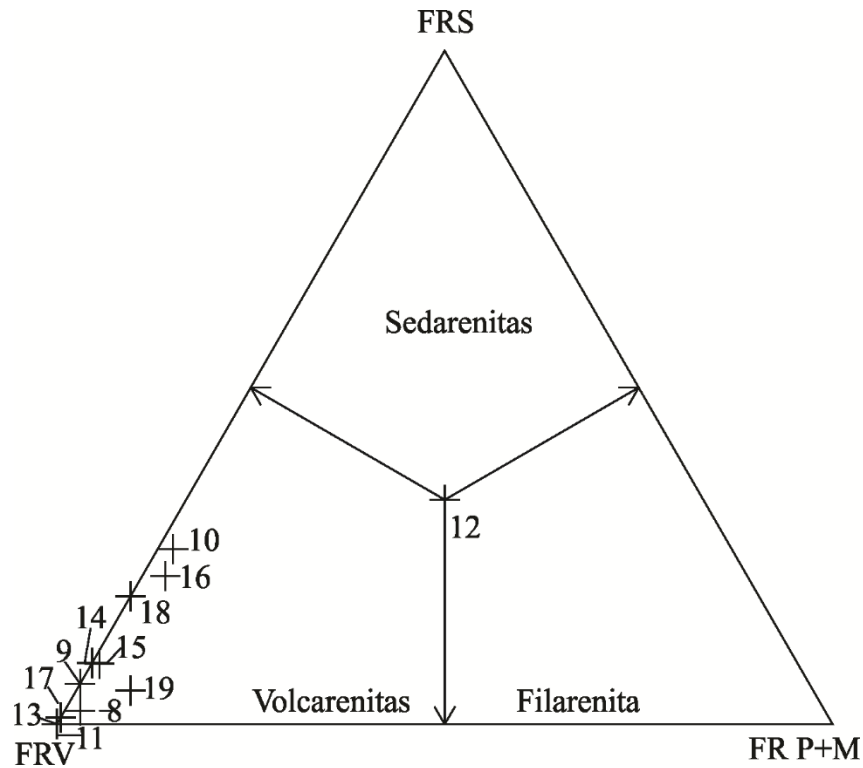


Figura 13. Diagrama de Folk (1974) base a su contenido de fragmentos de roca, en donde se puede observar que los sedimentos que componen las arenas de la región 2, cuentan con un dominio de fragmentos de rocas volcánicas (FRV).

Región 3.

Los sedimentos de esta región abarcan las playas 20 a 29, las cuales están texturalmente compuestas de arena gruesa moderadamente seleccionada, de acuerdo a los parámetros texturales encontrados en Carranza-Edwards (1998a). La fracción terrígena presenta un promedio del 80% en esta región y un 20 % la fracción biogénica (rango 0-84%).

De acuerdo con la clasificación de Folk (1974) que se muestra en la figura 14, en esta región los sedimentos presentan un promedio de cuarzo total del 41.2%, feldespato total 36.35% y un contenido de fragmentos de roca del 22.43%, los sedimentos tienen una composición donde predomina la feldarenita lítica.

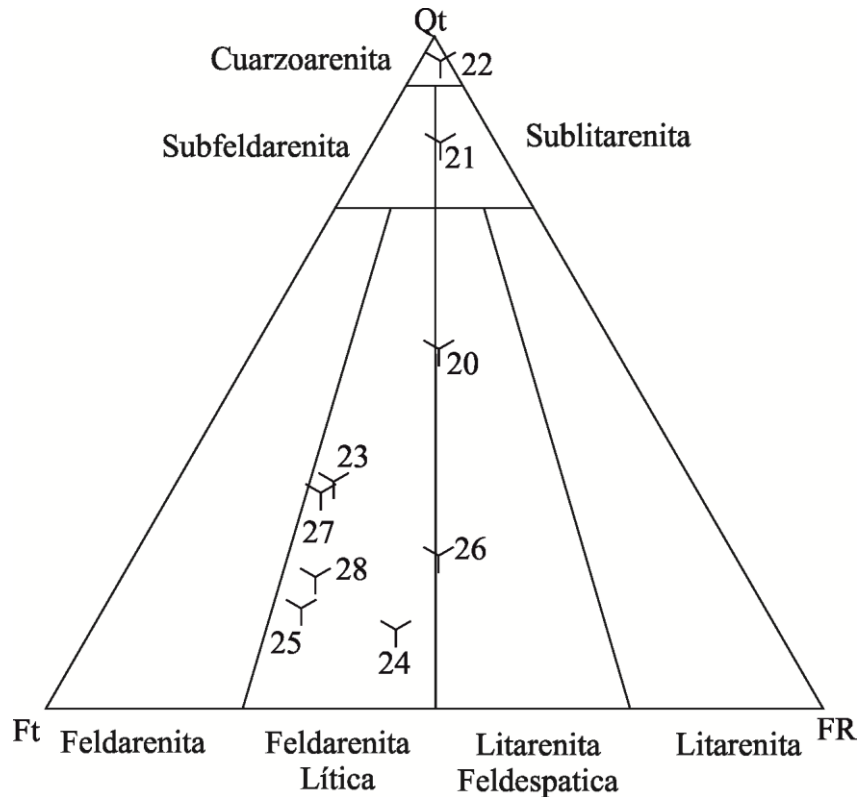


Figura 14. Diagrama ternario de Folk (1974) correspondiente a la Región 3, en el que se muestra la composición de las arenas de playa en base al contenido de cuarzo total (Qt), feldespato total (Ft) y fragmentos de roca (FR).

La petrografía en base al conteo modal, es predominantemente félsica, presentando una abundancia promedio de cuarzo del 40%, seguida de los fragmentos de roca (promedio 22.2%), plagioclasas (promedio 21.1%) y feldespato potásico (promedio 15%) el cual se encuentra fuertemente asociado a la presencia de rocas de origen plutónico evidenciado en la petrografía. Por otra parte, los minerales pesados son relativamente escasos con un promedio de 1.27%, en donde la muestra de playa 21 es la de mayor concentración de minerales pesados con un 5.33% de la fracción terrígena.

Los líticos presentes en la fracción siliciclástica, cuenta con una concentración promedio de 68.5% de fragmentos de rocas plutónicas, 14.2% de líticos de origen volcánico, 15.2% de fragmentos de rocas sedimentarias y 2% de fragmentos de roca metamórfica (Figura 15).

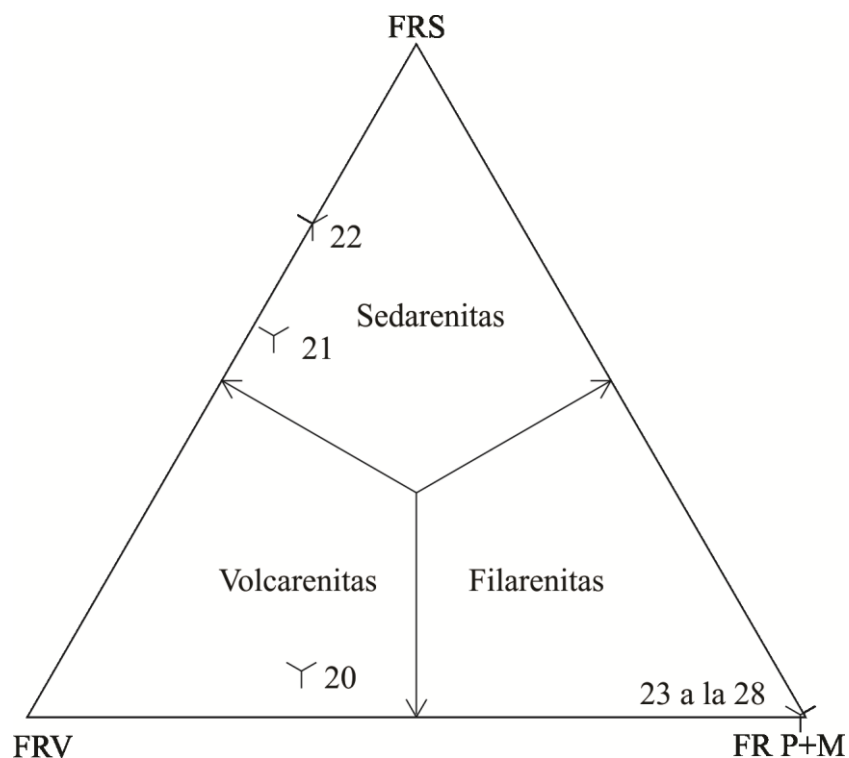


Figura 15. Diagrama de Folk (1974) en base a la abundancia de fragmentos de roca, en donde se puede observar que la región 3, cuentan con un dominio de fragmentos de roca plutónica y metamórfica (FR P+M).

Si bien estas playas, de manera regional presentan enriquecimiento de componentes minerales de feldespato, fragmentos de roca y cuarzo, la muestra 20 presenta una mezcla de fragmentos de roca de origen plutónico, volcánico, sedimentario y metamórfico. Esto es probablemente debido a que se encuentra en la zona de transición entre el final de la provincia de Sierra de la Giganta y el inicio del Bloque los Cabos, donde se forma el graben de La Paz, lugar en el cual drenan distintos ríos intermitentes hacia la denominada Laguna de La Paz descrita por Nava y Cruz (1989), la cual a su vez cuenta con una llanura costera relativamente amplia y somera, lo que podría permitir el caso de las una mezcla de los distintos fragmentos de rocas, tanto volcánicas, plutónicas y sedimentarias, todas, rocas encontradas en zonas aledañas, además de contar con una concentración de material biogénico del 18% de la muestra total, reflejando un ambiente de relativa baja energía en la zona de depósito.

Región 4

Esta región de la península de Baja California se encuentra como la más extensa dentro de toda la península de Baja California, y abarca las subprovincias fisiográficas de Llanos de La Magdalena y San Sebastián Vizcaíno, estas dos cuencas han recibido material desde el Cretácico al reciente de acuerdo con Mina (1957).

En estas regiones se cuenta en las playas con una sedimentación de dominio siliciclástico. En las cuales es posible encontrar una presencia de material terrígeno promedio del 88% contra el 12% de material de origen biogénico. A lo largo de la región, la arena se encuentra texturalmente compuesta de arena fina bien seleccionada de acuerdo al promedio obtenido de los parámetros texturales ver Tabla 2.

La presencia mineralógica en base al conteo modal, es predominantemente félsica, presentando una abundancia promedio de cuarzo monocristalino del 42.63%, seguida los fragmentos de roca (promedio 23.42%), plagioclasas (promedio 17.16%), siendo los minerales pesados los siguientes en abundancia con un promedio de 15.43%. En esta región la muestra de playa 34 es la que cuenta con la mayor concentración de minerales pesados con un 67.33% en contenido total de la fracción terrígena, y por último en menor concentración se encuentra el feldespato potásico con un promedio 1.23% en concentración.

Si bien estas playas, de manera regional cuentan con una distribución homogénea tanto de minerales leucocráticos y melanocráticos, la muestra muestra 34 presenta una menor concentración de cuarzo y feldespato en el conteo modal, pero un enriquecimiento de minerales de composición máfica esta concentración de minerales pesados (67.33% de la muestra), está constituida principalmente por hornblenda y magnetita, posiblemente ligados a la presencia de gabros y granodioritas que afloran cerca del área, identificados mediante las cartas geológico-mineras G11-3 y G12-4 del SGM.

Los sedimentos de esta región cuentan con un enriquecimiento en cuarzo, petrográficamente son arenas distribuidas dentro de las feldarenita lítica y la litarenita feldespática. Su concentración promedio de cuarzo total es del 52.23%, feldespato total 21.60% y fragmentos de rocas 26.15% (Figura 16). Esto se debe a que la margen litoral en la región se encuentra expuesta a oleaje y corrientes litorales que favorecen la erosión de la roca fuente y el transporte de los clastos a lo largo de la margen litoral.

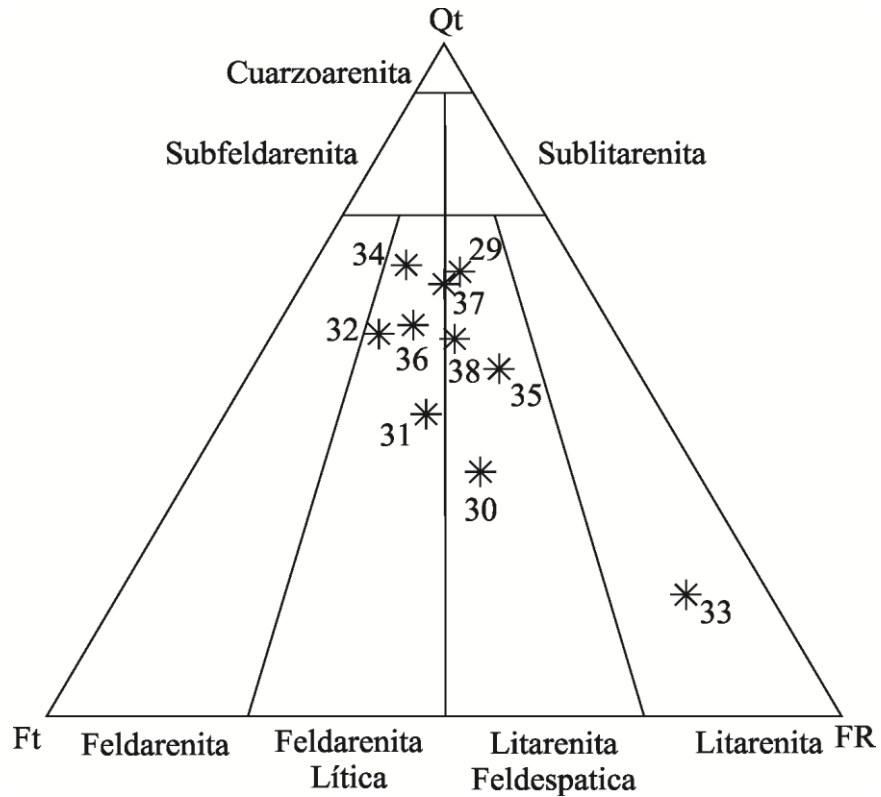


Figura 16. Diagrama ternario de Folk (1974) correspondiente a la región 4 (Llanos Vizcaíno-Magdalena), en el que se muestra la composición de las arenas de playa en base al contenido de cuarzo total (Qt), feldespato total (Ft) y fragmentos de roca (FR). Se observa que las arenas de esta región están dominadas por la litarenita feldespática y la feldarenita lítica excepto la muestra de playa número 33 que difiere en su composición debido a su alta concentración de fragmentos de roca (70.91%).

La fracción lítica se conforma por fragmentos de roca metamórfica, metasedimentaria (promedio 31%, rango 12%-74.19%), principalmente constituida de fragmentos de gneis y esquisto, cuarcitas y metarenisca, seguido de rocas volcánicas (promedio 26.3%) que en ocasiones presentan metamorfismo insipiente, líticos sedimentarios (promedio 36.29%) y líticos plutónicos (6.36%) (Figura 17).

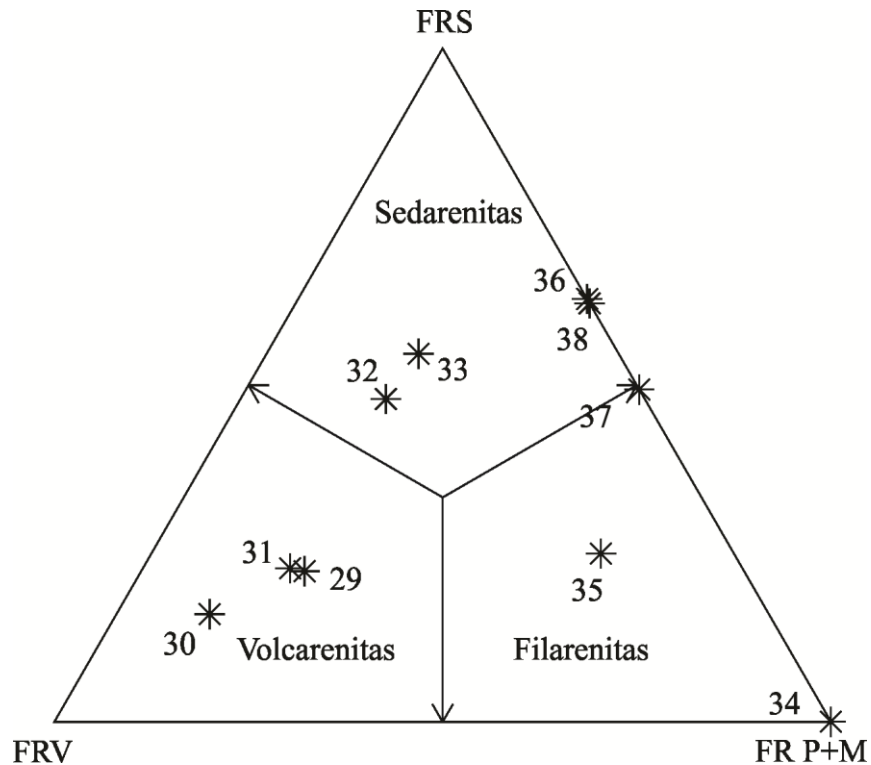


Figura 17. Diagrama de Folk (1974) en base a su contenido de fragmentos de roca. La Región 4, cuentan con un dominio de fragmentos de roca sedimentaria (FRS) generando sedarenitas, en menor proporción se cuenta con volcarenitas compuestas de fragmentos de rocas volcánicas (FRV) y por último la presencia de fragmentos de roca de origen plutónico-metamórfico (FR P+M) genera de esta manera filarenitas en las regiones con más influencia plutónico-metamórfica.

Como se observa, esta región cuenta con la mezcla de distintas fuentes de aporte, que pueden ser observadas en el diagrama ternario anterior, el cual indica una mayor fuente de aporte de sedimentos de origen volcánico en las playas 29, 30 y 31 debido a que estas muestras pueden tener mayor influencia de sedimentos con una fuente de aporte de la Sierra de la Giganta. En el caso de las muestras 32, 33 y 36 a 38, las arenas se encuentran cercanas a afloramientos de areniscas y lutitas de edad Terciaria y depósitos de aluvión, eólicos conglomerados polimícticos, areniscas, lutita y coquinas. Las muestras 34 y 35 se encuentran a su vez influenciadas por afloramientos de rocas plutónicas de edad Cretácica SGM (1997a, 1998b, 1999b, 2000b, 2002c, 2002e).

Región 5

Esta región de la península de Baja California cuenta con un dominio siliciclástico, teniendo una presencia promedio de material terrígeno del 99% contra el 1% de material biogénico en la región y texturalmente compuestos de arena media a fina moderadamente bien seleccionada, de acuerdo al promedio obtenido de los parámetros texturales encontrados en Carranza-Edwards (1998a).

Los sedimentos de esta región son en promedio arenas finas, moderadamente bien seleccionadas, indicando que esta margen litoral, se encuentra expuesta a los efectos del oleaje y corrientes litorales que favorecen la erosión de la roca fuente y el transporte de los clastos, preservándose en esta región los fragmentos de roca de origen volcánico. Los sedimentos en esta región cuentan con un enriquecimiento en cuarzo, siendo predominantes las feldarenitas líticas seguidas de las litarenitas feldespáticas, pudiéndose encontrar en menor proporción litarenitas y feldarenitas, esto de acuerdo con el diagrama de Folk (1974), ya que su concentración promedio de cuarzo total es del 43.26%, feldespato total 30.52% y fragmentos de rocas 26.20% (Figura 18).

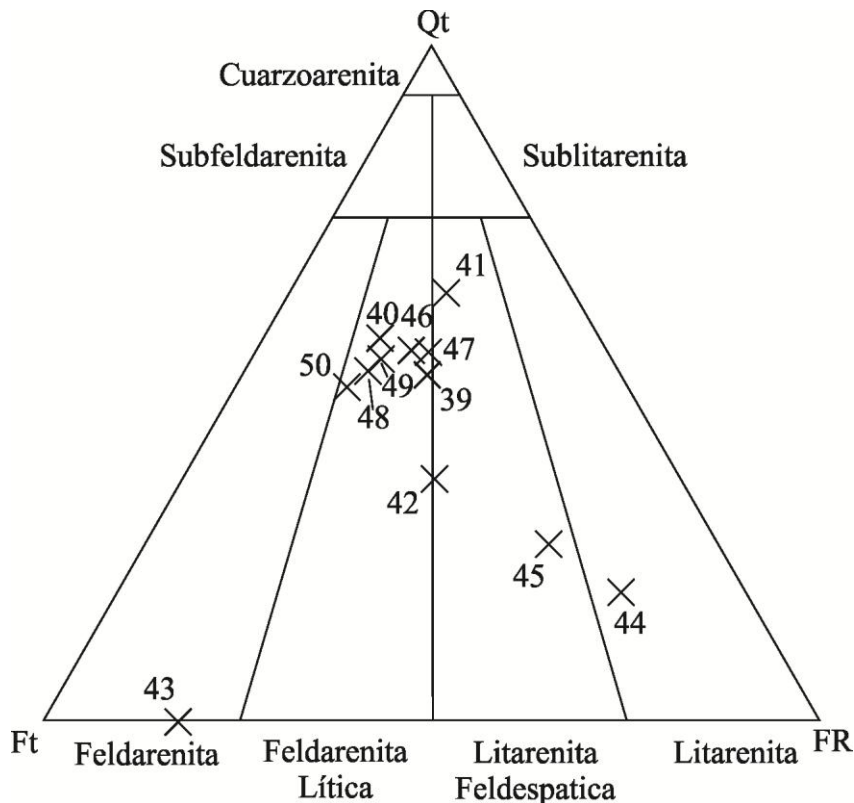


Figura 18. Diagrama ternario de Folk (1974) correspondiente a la región 5, en donde se muestra la composición de las arenas de playa en base al contenido de cuarzo total (Qt), feldespato total (Ft) y fragmentos de roca (FR).

La presencia mineralógica de mayor importancia, en base al conteo modal en esta región, se encuentra con 35.44% de concentración promedio de cuarzo, seguido de un 20.41% de plagioclasas, 21.05% de fragmentos de roca y 21.19% de minerales pesados, encontrándose en menor medida 0.69% de mica y 0.27% de pedernal. Las playas de esta región cuentan con la mayor concentración de minerales pesados dentro de toda la península, siendo las muestras 39 y 43 las de mayor concentración con 66% y 84.66% respectivamente.

La fracción lítica en esta región está constituida en por fragmentos de rocas volcánicas (promedio 58.89%), seguido de rocas metamórficas (promedio 16.04%), líticos sedimentarios (promedio 20.18%) y líticos plutónicos (promedio 4.86%) (Figura 19). Observándose que el predominio de rocas volcánicas es mayor debido a que estas presentan mayor competencia ante los procesos de abrasión generados por el transporte y oleaje.

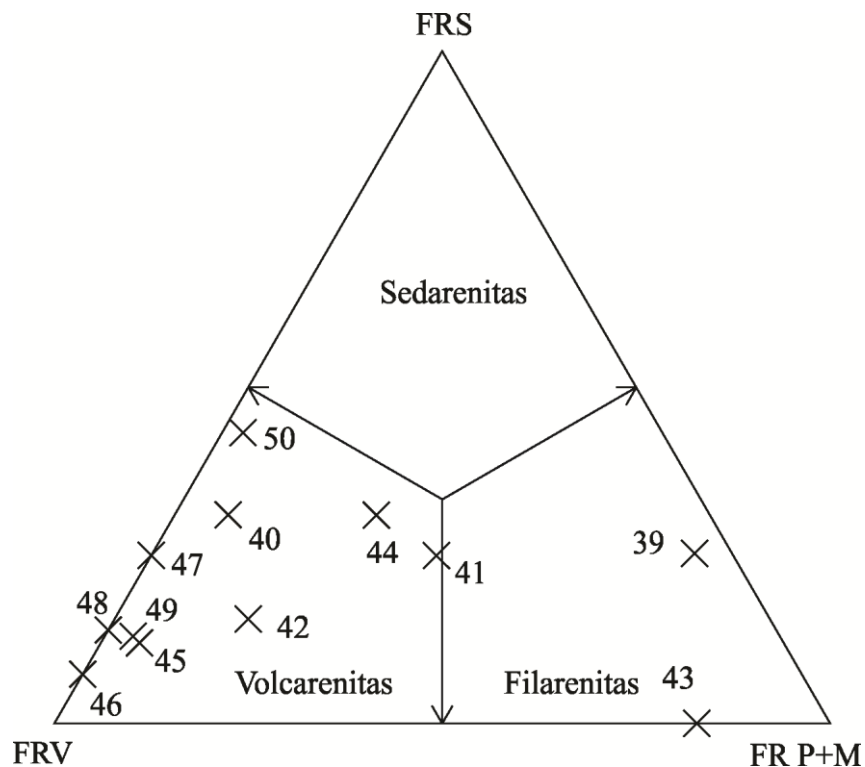


Figura 19. Diagrama de Folk (1974) en base a su contenido de fragmentos de roca. La región 5, cuentan con un dominio de fragmentos de roca volcánica (FRV) generando principalmente volcarenitas.

Distribución regional de los sedimentos de la península de Baja California.

Con el fin de visualizar la dispersión de los sedimentos de playa en base a su contenido de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca, se trazó el diagrama ternario con polígonos correspondientes a su promedio y desviación estándar del contenido petrográfico en las regiones del Golfo de California y Océano Pacífico (Figura 20), el cual puede ser comparado con el trabajo elaborado por Carranza-Edwards (1998), en donde la determinación mineralógica fue hecha por medio de tablas comparativas de Terry y Chillingar (1955), observando valores gráficos muy semejantes a los de este estudio.

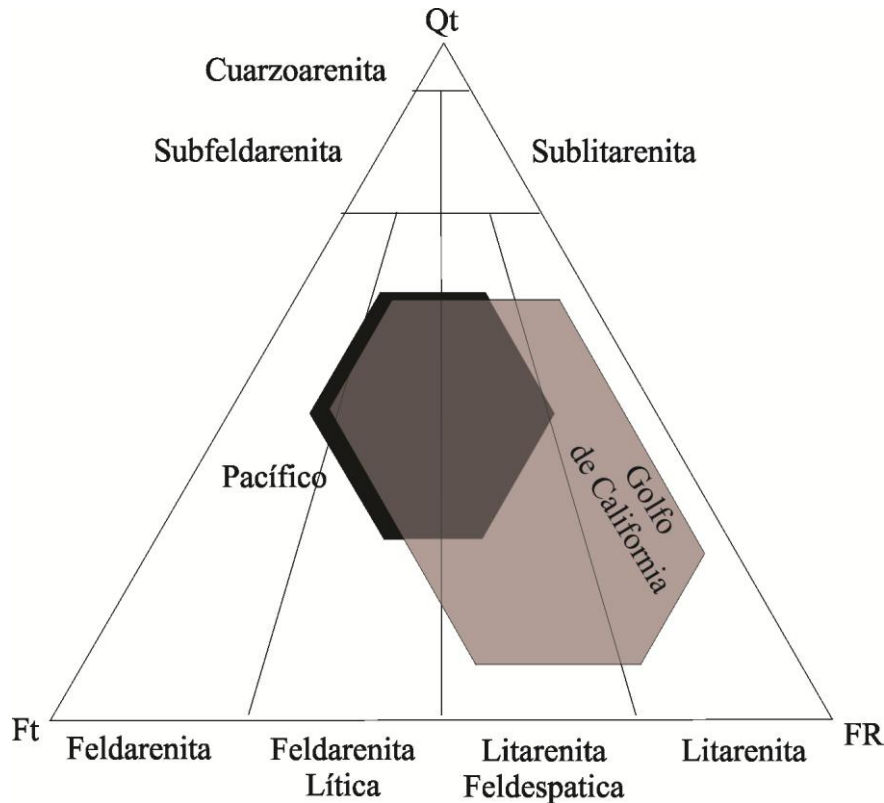


Figura 20. Diagrama de Folk (1974) para los sedimentos de las porciones Golfo de California y Pacífico.

Es importante notar que en la porción con influencia del golfo cuenta con una mayor tendencia hacia los fragmentos debido a que la zona de depósito se encuentra dominada por una pendiente abrupta generando arenas de playa gruesas con una mala clasificación. En el caso de las arenas encontradas en la región del Pacífico las arenas se encuentran en zonas de depósito con una amplia planicie costera y asociadas a un bajo relieve, con oleaje y corrientes litorales de alta intensidad, lo que genera arenas finas, lo cual dificulta la presencia de fragmentos de roca (Carranza-Edwards *et al.*, 1998a).

En el caso de la Región 2 es de notar que existe una tendencia a presentar un mayor contenido de fragmentos de roca, en el caso de la Región 3 una tendencia hacia la presencia

de feldespatos y por último las regiones 1, 4 y 5 cuentan con una proporción semejante en cuanto a sus contenidos de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca, difiriendo en el origen de sus fragmentos de roca.

Siguiendo la misma distribución, se pueden observar los polígonos que muestran la dispersión de cada región de la península de Baja California (Figura 21), en donde se puede observar la tendencia de cada región hacia algún componente petrográfico utilizando el método de Franzinelli y Potter (1983).

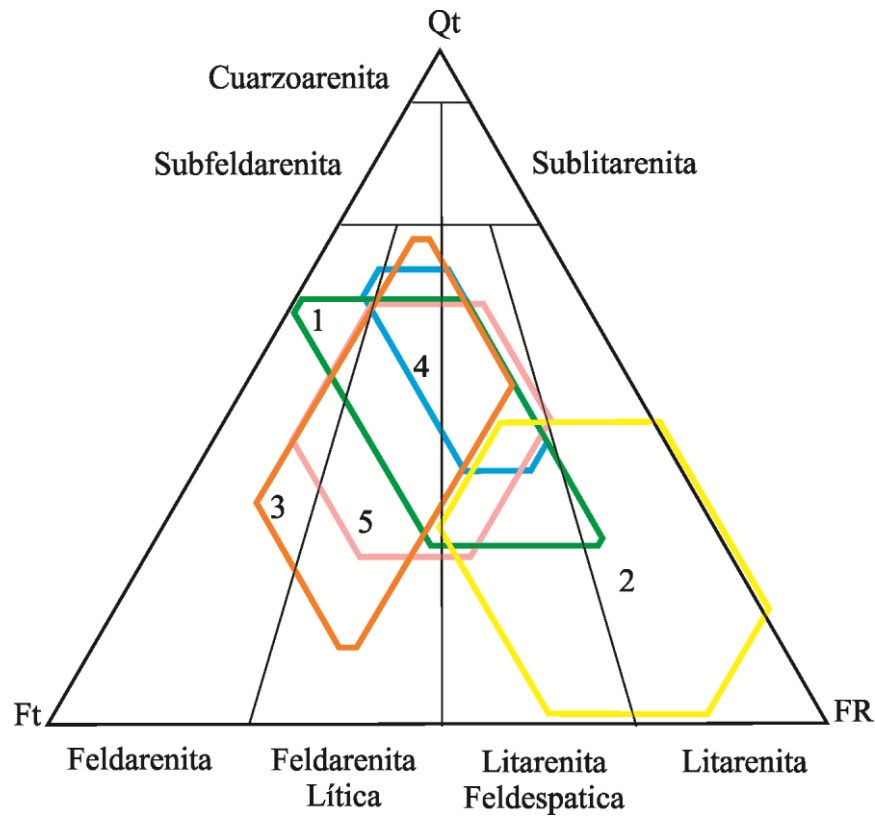


Figura 21. Diagrama de Folk (1974) en donde se pueden observar las composiciones de las 5 regiones pertenecientes a la península de Baja California en base a su promedio y desviación estándar.

5.2. Geoquímica.

Región 1

Elementos mayores

Los valores graficados de acuerdo a la concentración normalizada de elementos mayores para esta región se presentan en la figura 22, en donde se puede observar una tendencia relativamente dispersa en el contenido de elementos mayores. Encontrándose algunas arenas de playa cuya concentración geoquímica de elementos mayores se encuentra muy por encima de la normalización del CCS y otras por debajo de esta normalización. Es posible observar un incremento notable en el contenido de TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO , CaO y P_2O_5 (Ver anexo 2), óxidos mayores que se encuentran estrechamente relacionados con la concentración de minerales máficos, elementos de tierras raras y material de origen biogénico respectivamente.

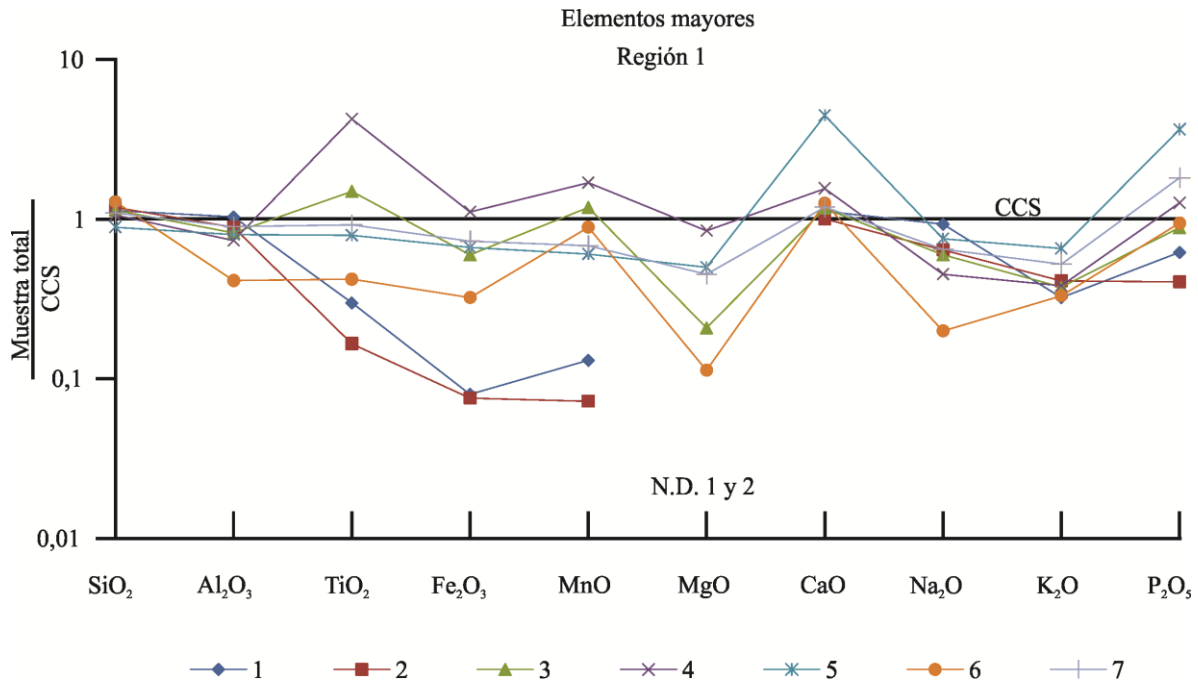


Figura 22. Diagrama de elementos mayores de la Región 1, normalizados con respecto a la corteza continental superior de Taylor y McLennan (1985). CCS= corteza continental superior, ND= no detectado.

Cabe destacar que en esta región el óxido mayor, que se encuentra en mayor proporción es el SiO_2 , con una concentración promedio en la región de 73.2 wt% en un rango de 58.7wt% como lo es el caso de la playa 8, hasta 84.5 wt% como en el caso de la playa 6, la cual cuenta con una gran cantidad de cuarzo y fragmentos de cuarcitas, lo cual genera arenas predominantemente félsicas. En segundo lugar se encuentra el Al_2O_3 (promedio 12.1 wt%, rango 6.24-15.6 wt%) y CaO (promedio 7.03wt%, rango 4.21-18.7wt%) que se ve

influenciado por la presencia de material biogénico, especialmente enriquecido en la playa 5. Los óxidos encontrados en menor concentración son el Na_2O (promedio 2.34 wt%, rango 0.77-3.61 wt%), K_2O (promedio 1.45wt%, rango 1.09-2.22wt%), MgO (promedio 0.67 wt%) y P_2O_5 (promedio 0.27 wt%, rango 0.08-0.73 wt%). La presencia de estos óxidos mayores es relativamente pobre en la Región 1, tal como es el caso del Fe_2O_3 contando con una concentración promedio de 2.3 wt%, en un rango que va desde 0.34 a 4.99 wt% seguido del TiO_2 (promedio 0.6wt%, rango 0.08-2.12wt%) MnO (promedio 0.05wt%, rango 0.01-0.12wt%), correspondiendo los valores máximos a los óxidos relacionados con las arenas de la playa 4, la cual cuenta con una considerable cantidad de minerales máficos de acuerdo al conteo modal de petrografía.

Las muestras de playa 1 y 2 presentan una disminución en el contenido de los elementos mayores químicos Fe_2O_3 , TiO_2 y MnO y en el caso del MgO este óxido mayor no fue detectado en laboratorio. Estos cuatro óxidos mayores se encuentran relacionados con la formación de minerales pesados y en el caso del conteo petrográfico estos se encuentran en un porcentaje de 0.33 en la playa 1 y 0.66 en la playa 2.

De manera general la región se encuentra dominada por minerales leucocráticos y se ve posiblemente influenciada por el posible proceso de transporte generado por el Río Colorado y su desembocadura descrita en el apartado de petrografía, el cual genera una concentración de elementos químicos que componen minerales de mayor resistencia mecánica y química, como el cuarzo y los feldespatos. En cuanto a la presencia de mayor concentración de Calcio y fosforo en la muestra de la playa 5, esto es debido a una mayor abundancia de material biogénico el cual ronda en un 14 % de la muestra total.

Elementos traza.

La grafica normalizada de elementos traza de esta región se proveen en la figura 23, los cuales, en comparación con los valores de corteza continental superior (CCS) de Taylor y McLennan (1985), presentan concentraciones por debajo de esta normalización. En el caso de los elementos traza más móviles como lo son el Sr (promedio 427 ppm, rango 300-602 ppm) y el Ba (promedio 720 ppm, rango 490-941 ppm) (**Ver anexo 2**), las concentraciones probablemente se deban a la ligera presencia de feldespatos, ya que de acuerdo con Puchelt (1972), el Bario se encuentra mayormente ligado a los feldespatos y posiblemente ligado a un intemperismo químico pobre. En el caso del Estroncio este se encuentra posiblemente ligado a la presencia de plagioclasas y en este estudio, posiblemente ligado a material de origen biogénico el cual concuerda con el conteo petrográfico.

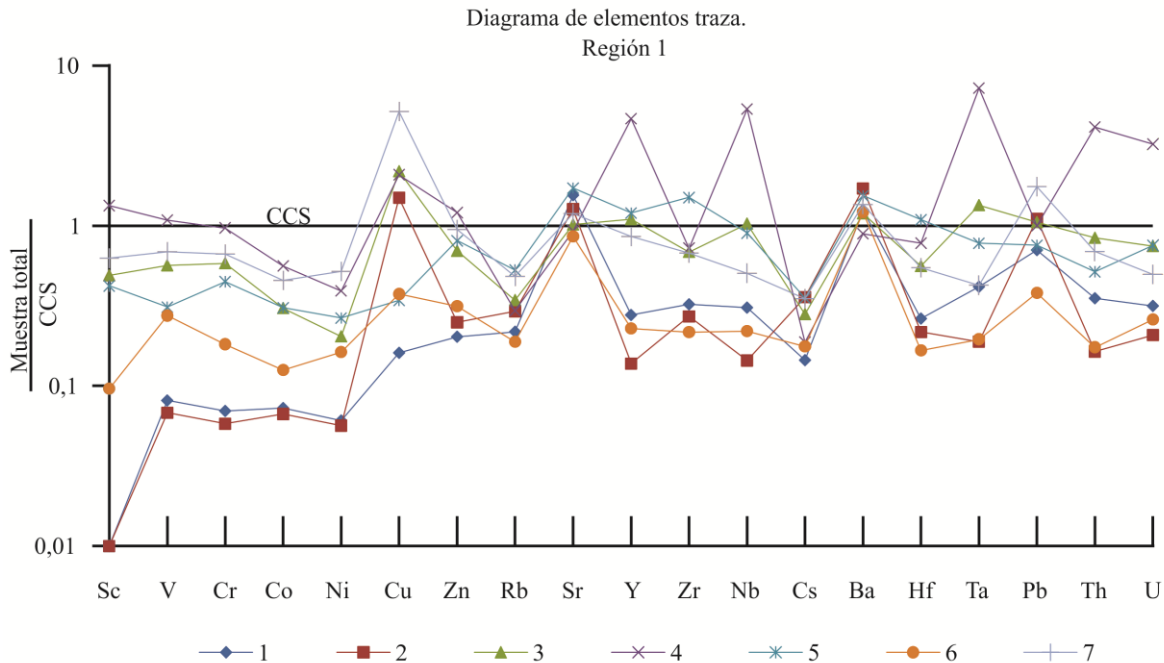


Figura 23. Diagrama de elementos traza de la Región 1, península de Baja California. CCS= corteza continental superior.

La concentración de elementos LILE o elementos litófilos de ion largo, así como la concentración de los elementos HFSE se encuentra por debajo de la normalización en la mayoría de las muestras a excepción de las playas 4, 5 y 7. En la muestra 4 el posible incremento en la concentración de elementos traza como lo es el caso de los elementos como el Y, el cual presenta un promedio 26.6 ppm, en un intervalo de 26.6 a 103 ppm, en segunda instancia el Nb (promedio 14.5 ppm, rango 1.73-64.4 ppm) y el Ta (promedio 1.51 ppm, rango 0.19-7.24 ppm). Esto posiblemente es debido a la presencia de mineral titanita, el cual de acuerdo con Tiepolo, M (2002) puede contener estos elementos químicos y pudiendo indicar que el material sedimentario procede de fuentes graníticas, rocas cuyos afloramientos se encuentran en la región en la que se encuentran estos sedimentos y que han sido descritos en la carta geológica del SGM (2000_a).

La muestra numero 5 presenta una ligera abundancia del elemento Zr (promedio regional de 120 ppm, rango 1.73-286 ppm), y Hf (promedio regional de 3 ppm, rango 0.96-6.34 ppm), debido a la presencia de pequeños minerales de circón dentro de fragmentos de mineral de cuarzo, lo que también pudiera indicar una fuente granítica.

Por otro lado la abundancia de Cu (promedio 2.49 ppm, rango 2.49-22.8 ppm), en las muestras 2, 3, 4 y 7 en las arenas de playa, posiblemente se deba a la presencia de afloramientos de roca basáltica y a la presencia de yacimientos epitermales y mesotermiales

de cobre en la zona epicontinental, lo que puede estar siendo manifestado en los sedimentos de playa. Los principales minerales pesados observados en la petrografía, son hornblenda, en ocasiones grandes cantidades de magnetita, siendo posible encontrar en menor medida piroxenos, olivinos y zircones. Estos minerales de acuerdo con Rollinson (1993) presentan coeficientes de partición que permiten la asimilación de estos elementos traza dentro de su estructura cristalina.

Existe la presencia de concentraciones elevadas de plomo, elemento que geoquímicamente pueden sustituir algunos iones dentro de la estructura mineral de acuerdo con Macdonald *et al.*, (1973). En el caso del plomo, este ion plomo²⁺ (119 pm) presenta un tamaño intermedio entre K⁺ (138 pm) y el Ca²⁺ (100 pm), con lo cual el plomo puede remplazar estos iones en el feldespatos potásico, micas y en menor medida se puede encontrar en plagioclasas y zircones lo que indica que este elemento traza se encuentra en mayor medida en rocas ígneas félsicas. En este caso particular el Pb se encuentra en una concentración relativamente abundante en la muestra número 7 la cual cuenta en base al conteo petrográfico con una abundancia de micas, lo cual podría explicar esta anomalía.

Tierras raras

La concentración geoquímica de elementos de tierras raras en esta región, normalizados con respecto a condrita de Nakamura (1974), se observa en la figura 24.

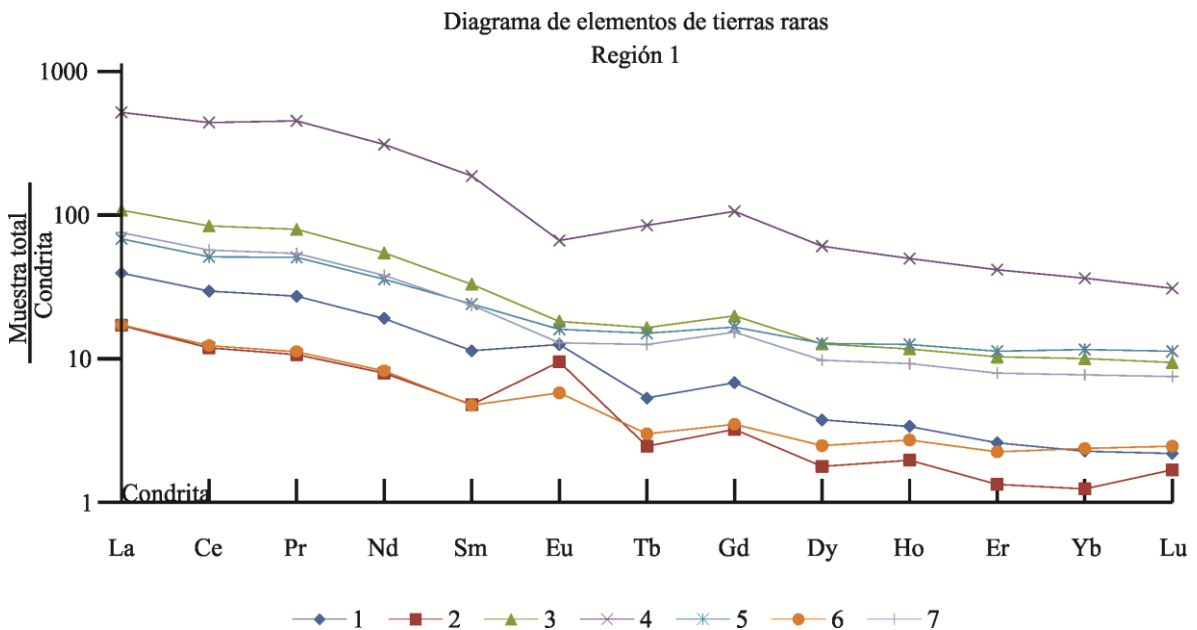


Figura 24. Diagrama de elementos de tierras raras normalizado con respecto a condrita de Nakamura (1974), pertenecientes a la Región 1 de la península de Baja California.

Es posible observar que las muestras 3, 4 y 5 presentan mayores concentraciones de elementos de tierras raras siendo la muestra 4 la de mayor concentración de estos elementos (**Ver anexo 2**). Esta anomalía encontrada en estas playas, muy probablemente es debida a la mayor concentración de minerales pesados, principalmente magnetita y en segundo lugar titano-magnetita, tanto en forma monomineral o constituyendo parte del agregado mineralógico de fragmentos de roca de origen plutónico, ya que este mineral, de acuerdo con Prowatke (2005) puede incorporar grandes cantidades de tierras raras. Teniendo los minerales pesados y los óxidos mayores TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO y MgO , afinidad por los elementos de tierras raras, especialmente por las tierras raras pesadas.

Se puede observar una baja concentración de los elementos traza en las muestras 1, 2, 6 y 7, todas estas con una ligera concentración de europio que indica la presencia de mayores concentraciones de mineral plagioclasa, tal como es observado en la composición modal de petrografía, ya que este mineral, debido a su coeficiente de partición, propicia la asimilación de este elemento químico dentro de la estructura mineral (Rollinson, 1993).

La normalización con respecto a condrita de Nakamura (1974), indica un enriquecimiento de elementos de tierras raras ligeras, esto de acuerdo con Cullers y Graf (1984) las relaciones altas de tierras raras ligeras o LREE (por sus siglas en inglés) sobre las tierras raras pesadas HREE con anomalías positivas de europio pueden indicar una fuente félsica-intermedia de emplazamiento profundo que se corrobora con la petrografía descrita en el caso de las muestras 1, 2 y 6. En el caso de las muestras de las playas 3, 4, 5 y 7 con tendencias homogéneas en las tierras raras, concuerdan con patrones encontrados en rocas volcánicas descritas en Lipman (1987).

Región 2

Elementos mayores

La región 1 muestra valores promedio de óxidos mayores muy cercanos a la Corteza Continental Superior de Taylor y McLennan (1985). Una de las principales características que se pueden observar en la figura 25, es su alta concentración de CaO y P₂O₅, con respecto a la normalización de los valores de CCS de Taylor y McLennan (1985) estos óxidos mayores que se encuentran de forma abundante en todas las playas de esta región, deben esta característica geoquímica a la alta presencia de material biogénico identificado mediante el conteo petrográfico, y en el cual, en promedio la abundancia en esta región se encuentra en el orden del 44.45% de material de origen biológico *insitu*, consistente de bivalvos, el cual sustenta la concentración de estos óxidos mayores ya que, de acuerdo como es explicado por Lowenstam y Weiner (1989) la mayor producción mineral de origen biológica se concentra en distintas fases minerales de CaCO₃ y Ca₃(PO₄)₂, sílice y varios óxidos de hierro, dependiendo del tipo de organismo mineralizador del que se trate. Aunado a esto, la presencia de P₂O₅ puede a su vez encontrarse asociada a la existencia de depósitos minerales continentales de edad Miocénica, Plio-Pleistoceno y Reciente (SE, 2013).

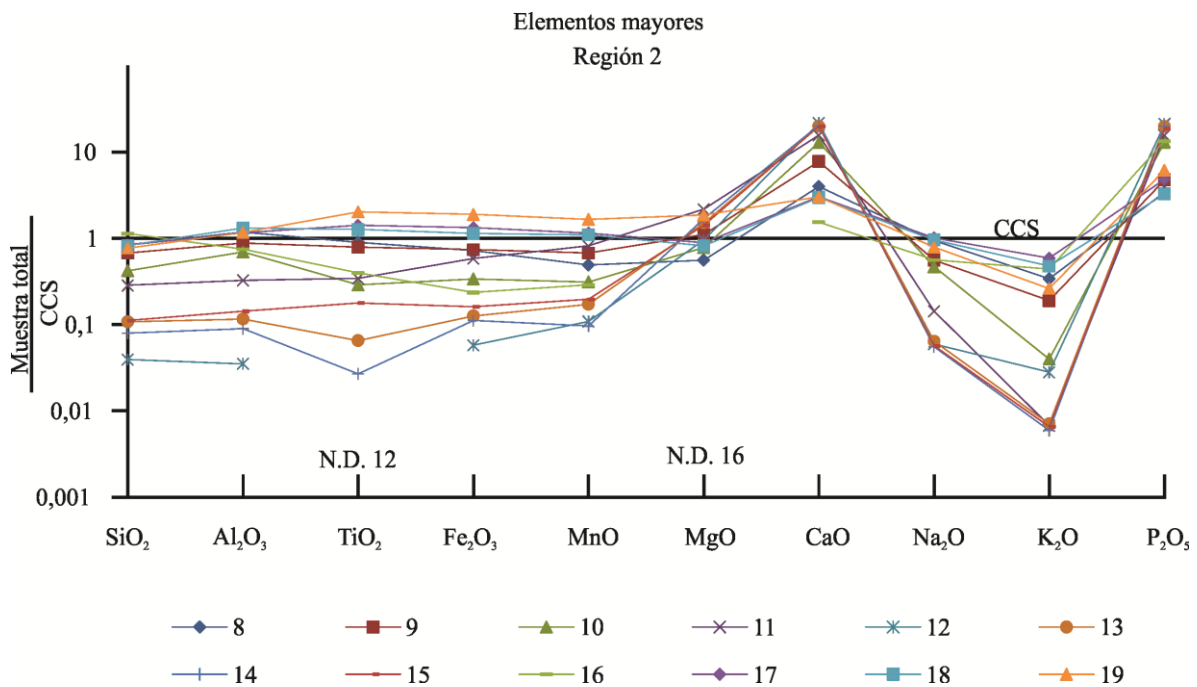


Figura 25. Diagrama de elementos mayores perteneciente a la Región 2 de la península de Baja California. CCS= corteza continental superior, ND= no detectado.

En general la concentración promedio de óxidos mayores se ve dominada por la presencia de CaO con un promedio de 46 wt% en un rango 6.44-90 wt%, seguido del SiO₂ (promedio de 33.5 wt%, rango de 2.58-74.6 wt%), Al₂O₃ (promedio 9.9 wt%, rango 0.53-19.9wt%), P₂O₅ (promedio 2.38wt%, rango 0.65-4.18wt%) y en menor medida por la presencia de Na₂O (promedio 1.83 wt%, rango 0.22-3.91 wt%) y K₂O (promedio 0.67 wt%, rango 0.02-1.99 wt%). Es posible encontrar un enriquecimiento de óxidos mayores en las muestras 8, 9 y 10 las cuales en su conteo modal, cuentan con mayor proporción de fragmentos de roca volcánica y presencia de cuarzo lo cual explica concentraciones cercanas a la normalización con respecto a CCS en la geoquímica de elementos mayores.

Aunado a lo anterior, en esta región todas las muestras cuentan con valores bajos en el contenido de los óxidos mayores Fe₂O₃ (promedio 2.77 wt%, rango 0.26-8.47 wt%), TiO₂ (promedio 0.32wt%), y MnO (promedio 0.04 wt%, rango 0.01-0.12wt%), óxidos que cuentan con los elementos químicos característicos de minerales de composición máfica. Una excepción a esta concentración de óxidos mayores es el MgO que se incrementa ligeramente en la mayoría de las muestras, lo cual puede estar aunado a la presencia de los minerales presentes, especialmente a la hornblenda, la cual es un mineral común en rocas volcánicas y que fue identificada en el conteo petrográfico.

Una característica que resalta en el análisis multielemental, es la disminución en la concentración de los elementos mayores de TiO₂ y MnO₂ en la playa 12 y 16 respectivamente, en el primer caso debido a la disminución de minerales máficos, siendo la muestra 12 la de mayor contenido de material biogénico contando con un 86% con respecto al material de origen terrígeno. En lo que respecta a la muestra 16 su baja concentración de manganeso es debido al incremento en su concentración de SiO₂ el cual llega a cubrir el 74.62% de concentración del total de la muestra, ya que presenta fuentes de aporte más silíceas, como lo son areniscas, y rocas volcánicas félsicas, como lo son brechas de andesita-arenisca encontradas en la carta SGM (2000b, 2002d). Además como es descrito en el apartado de petrografía la muestra presenta alto contenido de rocas volcánicas y de fragmentos de roca sedimentaria las cuales pueden afectar directamente la relación de elementos mayores por efecto de dilución (Rollinson, 1993).

Elementos traza.

Los gráficos de elementos traza de esta región se proveen en la figura 26. En comparación con los valores de corteza continental superior (CCU) de Taylor y McLennan (1985), la mayoría de las muestras de esta región tienen concentraciones por debajo de la composición de la corteza continental superior y es de notar una fuerte anomalía positiva de Sr (promedio 1907 ppm, rango 895-3253 ppm) así como una anomalía positiva de Cu (promedio 57.9 ppm, rango 3.74-135 ppm), siendo las anomalías más significativas en esta región.

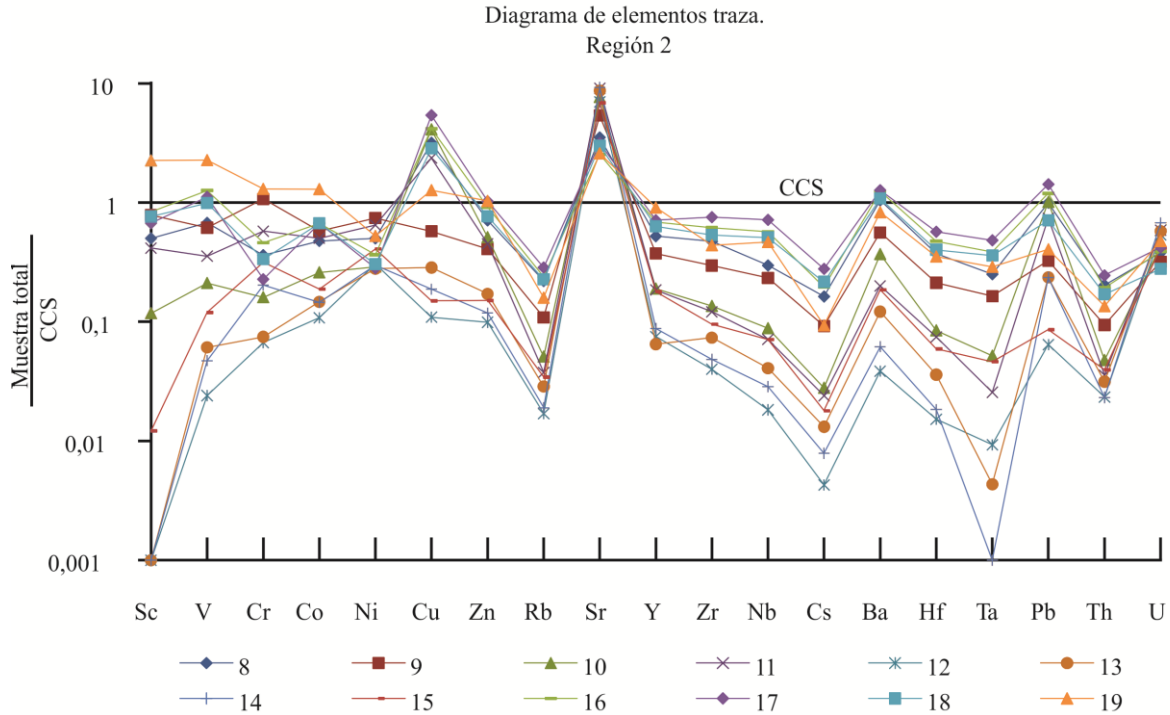


Figura 26. Diagrama de elementos traza perteneciente a la Región 2 de la península de Baja California. CCS= corteza continental superior.

En el caso del estroncio este podría estar sustituyendo al calcio, esto posiblemente debido a su carácter geoquímico ya que de acuerdo con Feng (2011). el estroncio es fácilmente movilizado durante el intemperismo. Por lo cual el Sr puede estar sustituyendo al calcio en el arreglo cristalino que conforma a las plagioclasas (Wedepohl, 1978). Principalmente este elemento traza puede encontrarse fuertemente ligado al material de origen biogénico *insitu* presente en la muestra, la cual como es visto en el apartado de petrografía la fracción biogénica compone en promedio el 22% de las muestras de esta región, en un rango que puede llegar al 65% en contenido total en la muestra.

En el caso del cobre, Rodríguez-Meza *et al.*, (2009), se encuentra que la procedencia de elementos en esta región como lo son el Ba, Cr, Cs, Cu, Fe, Hf, K, Zn y Zr indican que la posible fuente de los elementos a la bahía es el aporte continental. En este estudio se encontró una anomalía en la concentración de cobre encontrada en las playas, 8, 10, 11, y 16 a 19, que puede deberse a aportes continentales, que de acuerdo con el conteo modal sugiere su procedencia de rocas volcánicas, principalmente básicas e intermedias, representadas por afloramientos de basaltos y andesitas de edad Terciaria, las cuales geoquímicamente permiten concentraciones mayores al promedio de la corteza continental superior, tanto en cobre como en estroncio, lo cual es reflejado en la geoquímica de los sedimentos de playa de esta región.

Tierras raras

En general los elementos de tierras raras de la región 2 normalizados con condrita de Nakamura (1974), presenta anomalías significativas que pueden ser observadas en la figura 27. En el caso de la región 2, la normalización con respecto a condrita de Nakamura (1974), indica un enriquecimiento de elementos de tierras raras ligeras que de acuerdo con Cullers y Graf (1984) puede indicar una roca fuente de composición félsica-intermedia, en este caso el patrón de tierras raras tiende a ir decreciendo homogéneamente hacia las tierras raras pesadas, lo que puede indicar de acuerdo con Lipman (1987) rocas volcánicas de composición pórfido andesítica. Encontrándose valores muy cercanos a la condrita, en aquellas muestras que presentan alto contenido CaO, debido a la gran abundancia de material biogénico que provee un efecto de dilución sobre los elementos de tierras raras de esta región.

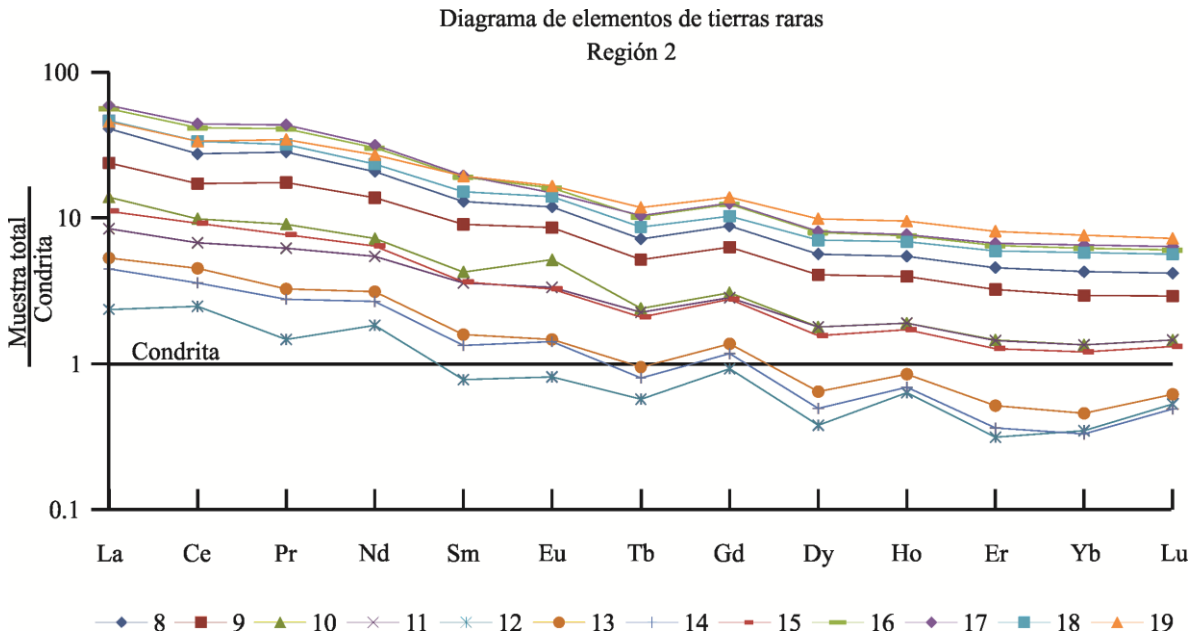


Figura 27. Diagrama de elementos de tierras raras normalizado con respecto a condrita de Nakamura (1974), pertenecientes a la Región 1 de la península de Baja California.

Región 3

Elementos mayores

La Región 3 de la península de Baja California corresponde fisiográficamente con la subprovincia del Cabo (INEGI, 1983), en donde los sedimentos muestran un carácter geoquímico por debajo de la concentración de los valores promedio de la corteza continental superior de Taylor y McLennan (1985) observados en la figura 28, encontrándose la concentración de elementos mayores en dos agrupaciones diferentes, la primera de ellas cuenta con una anomalía significativa de CaO (promedio 19 wt%, rango 1.38-76.1 wt%) y P₂O₅ (promedio 0.84 wt%) encontradas en las playas 21 y 22. El resto de las playas de esta región cuentan con un patrón semejante en donde es posible encontrar solo algunas divergencias en cuanto al análisis geoquímico de elementos mayores.

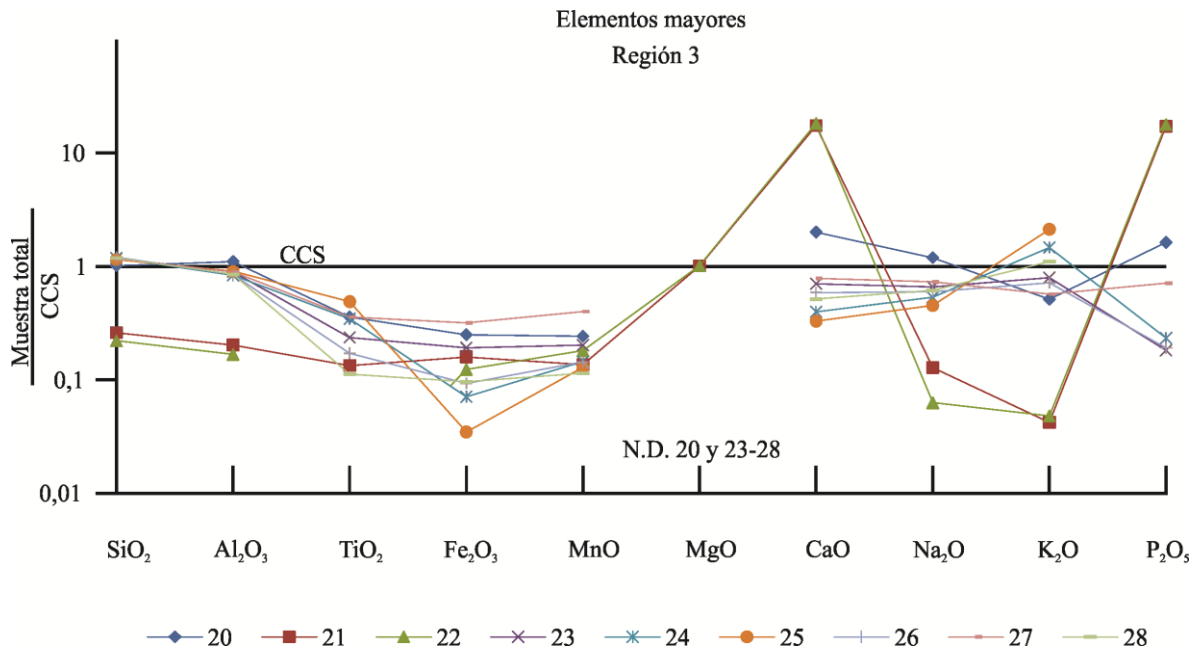


Figura 28. Diagrama de elementos mayores perteneciente a la Región 3 de la península de Baja California. CCS= corteza continental superior, ND= no detectado.

Una de las principales características que se pueden observar en base a la concentración de sus óxidos mayores, es su alta concentración de CaO y P₂O₅ muy abundante en las playas 20, 21 y 22 de esta región, con respecto a la normalización de los valores de CCS de Taylor y McLennan (1985). Así como también concentraciones ligeramente mayores de K₂O (promedio 2.78 wt%, rango 0.14-7.17wt%) en las playas 24, 25 y 28. A excepción de las muestras 21 y 22, todas las muestras de esta región presentan una concentración de óxidos mayores ligeramente elevados con respecto a la corteza continental superior de Taylor y

McLennan (1985), lo que aunado a la concentración de K_2O , podría dar evidencia de una procedencia félsica, estrechamente relacionada con los intrusivos graníticos de esta región.

Las concentraciones mayores de CaO y P_2O_5 se encuentran asociadas a la presencia de material biogénico identificado mediante el conteo petrográfico, en las cuales de acuerdo con Lowenstam y Weiner (1989) la mayor producción mineral de origen biológica se concentra en distintas fases minerales de $CaCO_3$ y $Ca_3(PO_4)_2$ lo cual se correlaciona con la fracción biogénica formada *insitu*, que en dichas arenas de playa se encuentra en abundancia, donde el promedio es del 20% de material biogénico, siendo estas playas las de mayor abundancia en relación a la fracción terrígena, con un contenido del 18% en la playa 20, 79% en la 21 y 84% en la 22, esta fracción biogénica consistente principalmente de bivalvos.

En esta región todas las muestras cuentan con valores bajos en el contenido de los óxidos mayores Fe_2O_3 (promedio 0.67 wt%, rango 0.16 a 1.42 wt%), TiO_2 (promedio 0.12 wt%, rango 0.01-0.24 wt%), MgO (promedio 0.49 wt%) y MnO (promedio 0.01 wt%, rango 0.01-0.03 wt%), Al_2O_3 (promedio 11.3 wt%, rango 2.54-16.7 wt%) y Na_2O (promedio 2.15 wt%, rango 0.24-4.64 wt%), elementos característicos de minerales de composición máfica. A excepción del MgO que se encuentra en mayor abundancia en las playas 21 y 22, lo cual está aunado a la presencia de rocas volcánicas (Mielke.,1979) de composición basáltica descritas por Gómez y Venzor (1988) como brecha y conglomerado volcánico Balandra, constituidos por clastos de rocas volcánicas basálticas y andesíticas, con contenido de fenocristales de plagioclasas y piroxena, minerales que también fueron identificados en el conteo petrográfico de este estudio. Estas altas concentraciones de MgO se suman en el caso de las muestra número 21 y 22 a altas concentraciones de cuarzo de grano fino (95% de la fracción terrígena), también identificado en el conteo modal y se ve reflejado en una concentración de SiO_2 (62.7 wt%,) en donde la geoquímica muestra poco sílice debido a la relación porcentual afectada por la cantidad de $CaCO_3$ y P_2O_5 debido posiblemente a una procedencia con mayor influencia de las rocas pre-volcanismo descritas por Gómez y Venzor (1988), las cuales consisten de areniscas de color rojo con composición cuarzo-feldespáticas de grano fino, las cuales se encuentran bien seleccionadas y con una concentración de 80% de cuarzo, coincidiendo con el conteo petrográfico de este estudio siendo la muestra 22 la de mayor porcentaje de cuarzo presentando 95% de la muestra analizada de acuerdo con el conteo modal, lo que explica el pico negativo en la concentración TiO_2 debido a su procedencia predominantemente félsica.

Las muestras 20 y 23 a la 28 muestran un comportamiento geoquímico similar siendo su concentración de SiO_2 , Al_2O_3 y K_2O semejantes al promedio de la CCS de Taylor y McLennan (1985), teniendo que en estas playas se presenta una baja concentración de los óxidos mayores Fe_2O_3 , TiO_2 , MgO , y MnO , los cuales constituyen componentes de minerales ferromagnesianos. El conteo modal de esta región indica la presencia de

fragmentos de rocas plutónicas. Estos fragmentos de roca pueden correlacionarse con las rocas intrusivas que abarcan una amplia región del denominado Bloque Los Cabos, en donde son ampliamente distribuidas rocas de composición granítica y tonalítica, rocas predominantemente félsicas en las cuales sus principales constituyentes son plagioclasas, cuarzo, feldespatos alcalinos, biotita y hornblenda (Schaaf, *et al.*, 2000).

Elementos traza.

Dentro de la concentración de elementos traza en las playas de esta subregión son de notar tres anomalías positivas significativas, la primera de ellas reconocida como una ligera anomalía de Cu (promedio 29.2 ppm, rango 3.38-66.5 ppm), con respecto a la normalización de CCS en las playas 21 a 24. Una segunda anomalía de Sr (promedio 931 ppm, rango 184-2953 ppm) es encontrada en las playas 20, 21 y 22 además de una anomalía de Ba (promedio 1372 ppm, rango 110-4618 ppm) y otra de Pb (promedio 21.4 ppm, rango 7.77-39.2 ppm) en las playas 20 y 23 a la 28 el gráfico de estos valores de elementos traza en esta región se proveen en la figura 29, en donde se puede observar que los elementos traza restantes se encuentran por debajo de la normalización y no presentan concentraciones significativas.

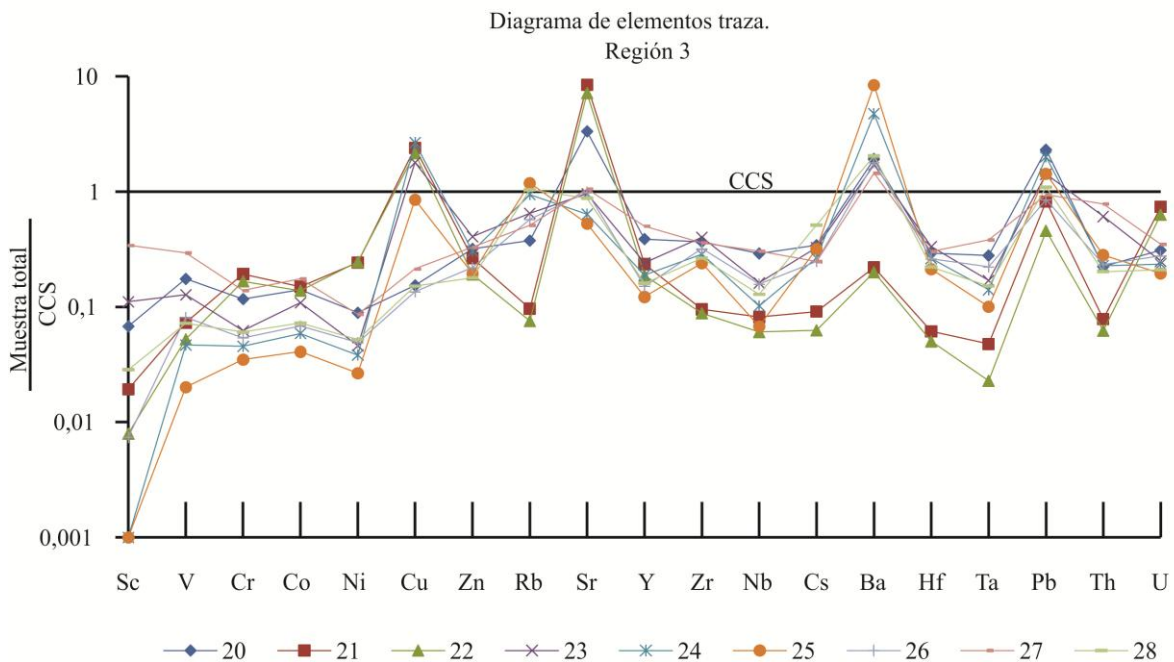


Figura 29. Diagrama de elementos traza perteneciente a la Región 3 de la península de Baja California. CCS= corteza continental superior.

La anomalía de cobre concuerda con un conteo petrográfico con mayor cantidad de fragmentos de rocas volcánicas, en el caso de las muestras 21 y 22 probablemente procedentes de rocas basálticas del Complejo Volcánico Basal y de la Brecha y Conglomerado de la formación Balandra del Terciario medio Gómez y Venzor (1988). Para las muestras 23 y 24 esta anomalía probablemente sea debida a la presencia de fragmentos de roca plutónica de composición intermedia de las formaciones; Los Barriles Plioceno tardío a Pleistoceno temprano y El Chorro Pleistoceno Tardío a Holoceno temprano, ambas compuestas de areniscas y conglomerados procedentes del basamento constituido de rocas plutónicas y metamórficas (Arreguín y Schwennicke, 2013). Así como granitoides no deformados que componen las rocas del basamento ígneo-metamórfico de Sierra La Laguna (Schaaf *et al.*, 2000) las cuales cuentan con distintas zonas de mineralización de sulfuros siendo la más cercanas Valle Perdido y San Antonio (SGM, 2002e).

En el caso del estroncio y el bario estos elementos químicos, debido a su carácter geoquímico, posiblemente podrían estar sustituyendo al potasio de los feldespatos que se encuentran en los fragmentos de roca de origen plutónico, así como también puede ser encontrado en el arreglo cristalino que conforma a las plagioclasas y algunos minerales máficos como el anfíbol, contenidos en las rocas volcánicas y plutónicas de esta región. En el caso de la anomalía positiva de plomo, esta puede ser debida a que este elemento químico puede remplazar al K y el Ca de acuerdo con Macdonald *et al.*, (1973), en feldespato potásico, micas y plagioclasas.

Tierras Raras

Los elementos de tierras raras se encuentran en altas concentraciones con de acuerdo a la normalización con condrita de Nakamura (1974) sin la presencia de anomalías negativas significativas, pero si existiendo la presencia de anomalías positivas de europio que puede estar asociado la presencia de plagioclasas debido a su coeficiente de partición encontrado en Rollinson, (1993). El descenso en la concentración de tierras raras probablemente es debido a las altas concentraciones de SiO₂ y al empobrecimiento de minerales y rocas máficas así como también a la ausencia de fragmentos de rocas félsicas los cuales podrían contener elementos de tierras raras pesadas y tierras raras ligeras respectivamente (Figura 30).

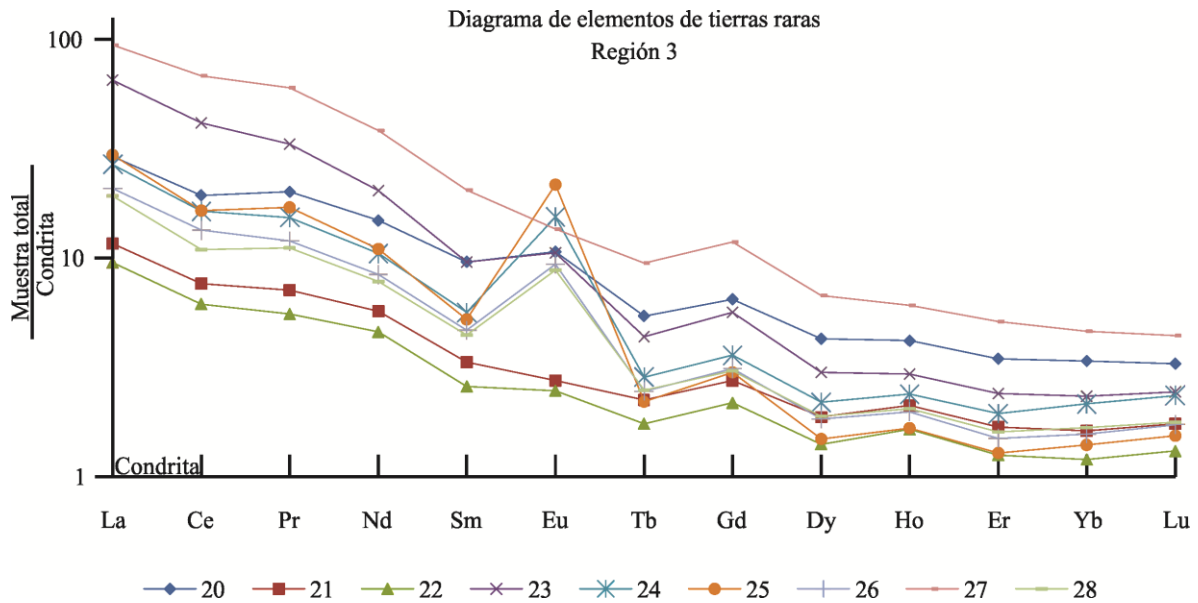


Figura 30. Diagrama de elementos de tierras raras normalizado con respecto a condrita de Nakamura (1974), pertenecientes a la Región 1 de la península de Baja California.

La concentración de elementos de tierras raras en base a su concentración, se encuentra dominada de mayor a menor por el Ce con una concentración promedio 19.2 ppm, en un rango 5.34 ppm a 59 ppm.

Siendo fuertemente afectados estos valores por la presencia de cuarzo, el cual tiene efecto de dilución de las tierras raras en el análisis geoquímico (Rollinson, 1993). Siendo un caso particular la playa 27 la cual sus valores son coolineales con la normalización, que probablemente concuerda con la presencia de fragmentos de roca plutónica registradas en el conteo modal debido a la presencia de fragmentos de rocas graníticas más evolucionadas lo que provoca esta relación.

La normalización con respecto a la condrita de Nakamura (1974), indica un enriquecimiento de elementos de tierras raras ligeras con la presencia de una notable anomalía positiva de europio, que de acuerdo con Cullers y Graf (1984) pueden indicar una fuente félsica-intermedia de emplazamiento profundo, que en esta región concuerda con una petrografía en la que se cuenta con una gran cantidad de fragmentos de roca de origen plutónico y que en este caso particular concuerda también con la presencia de anomalías positivas de Gd que indica fuentes félsicas. En el caso de las muestras con valores de tierras raras ligeras muy cercanas a la condrita cuyas tendencias concuerdan con rocas de tipo volcánico, estas han sufrido un efecto de dilución en la concentración de tierras raras debido a la alta concentración de CaO de origen biogénica.

Región 4

Elementos mayores

La región 4 de la península de Baja California corresponde fisiográficamente con las provincias fisiográficas de Llano de La Magdalena y Desierto de San Sebastián Vizcaíno (INEGI, 1983), en esta región los sedimentos muestran un carácter geoquímico muy acorde con los valores promedio de la corteza continental superior de Taylor y McLennan (1985) los cuales se pueden observar en la figura 31, siendo el cuarzo, feldespatos y fragmentos de roca los componentes petrográficos de mayor abundancia.

La concentración de elementos mayores se encuentra muy bien homogenizada a lo largo de esta sección litoral, siendo el SiO_2 el óxido mayor más abundante con un promedio de 68.4 wt% (en un rango de 54.2 wt% a 78.1 wt%), seguido del Al_2O_3 (promedio 12.1 wt%, rango 6.79-16.2 wt%) y CaO (promedio 9.98 wt%, rango 3.97-34.4 wt%), en cantidades menores se presenta el Na_2O (promedio 2.38 wt%, rango 1.46-3.25 wt%) y Fe_2O_3 (Promedio 2.64, rango 0.63-8.15 wt%) y el P_2O_5 (promedio 1.87 wt%, rango 0.14-6.85 wt%).

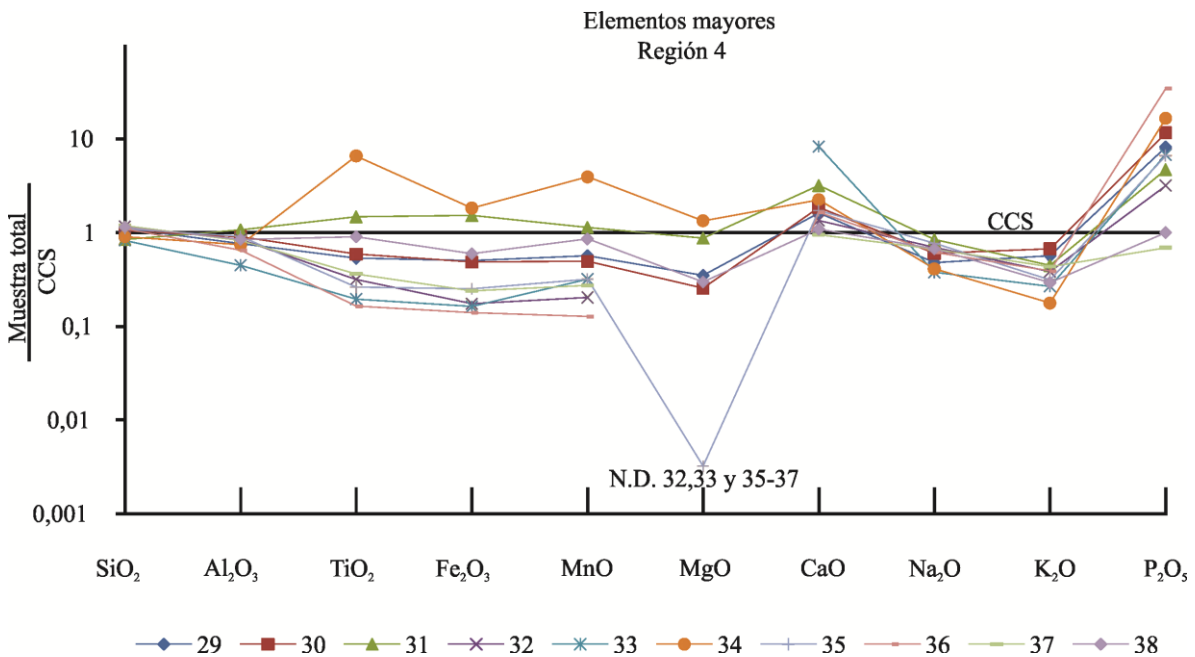


Figura 31. Diagrama de elementos mayores perteneciente a la Región 4 de la península de Baja California. CCS= corteza continental superior, ND= no detectado.

Los óxidos mayores K_2O (promedio 1.33 wt%, rango 0.6-2.27 wt%), MgO (promedio 0.68 wt%), TiO_2 (promedio 0.57%) y MnO (promedio 0.06 wt%) son los óxidos mayores de menor concentración en la mayoría de las muestras de playa, a excepción de las playas 31 y

34 que presentan mayor concentración de TiO_2 , MnO y Fe_2O_3 debido a la mayor concentración de minerales pesados registrados en el conteo modal. A su vez en esta región, de acuerdo con el conteo modal, se presenta una amplia y variada distribución de material biogénico a lo largo de la margen litoral lo cual explica los valores positivos fuera por encima de la normalización de CaO y P_2O_5 de acuerdo a Lowenstam y Weiner (1989), posiblemente existiendo una anomalía positiva más amplia de P_2O_5 debido a la existencia de depósitos minerales de fosforita a lo largo de la zona continental (SGM, 2016), lo cual podría estar viéndose reflejado en los depósitos de playa de la margen litoral de esta región.

Elementos traza

Dentro de esta región se encuentra una concentración de elementos traza por debajo de la normalización con respecto a la corteza continental superior de Taylor y McLennan (1985). Siendo sus tendencias ligeramente homogéneas a lo largo de la margen litoral de las playas muestreadas, teniendo que el estroncio y el bario son los elementos traza más abundantes, ambos con una concentración promedio de 503 ppm en un rango de 305-1172 ppm y 272-753 ppm respectivamente (Figura 32).

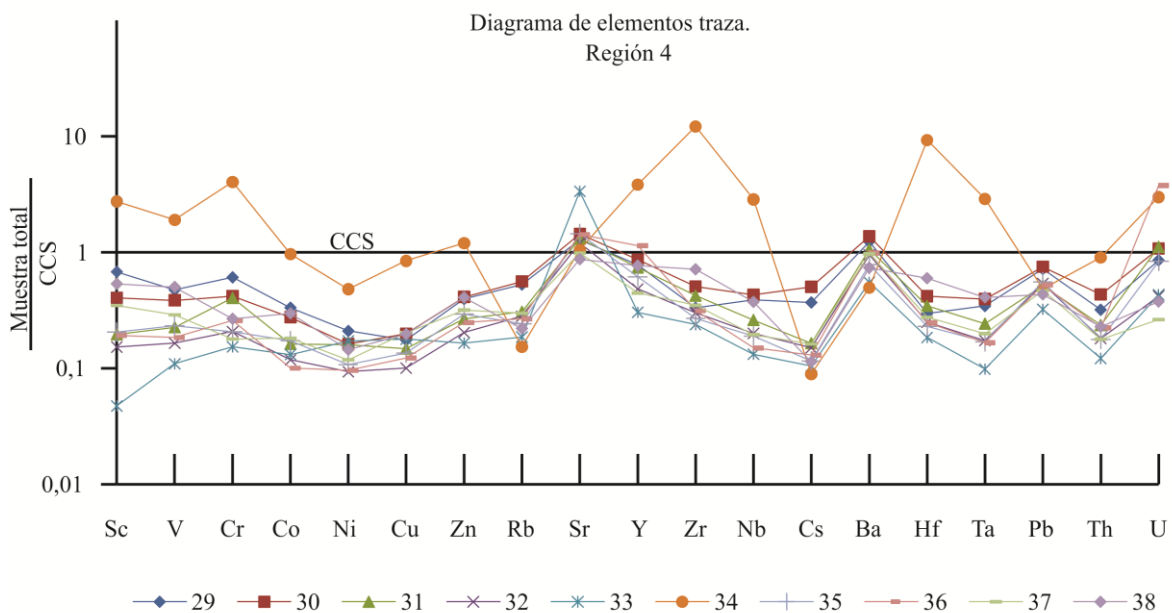


Figura 32. Diagrama de elementos traza perteneciente a la Región 4 de la península de Baja California. CCS= corteza continental superior.

Siendo el Zr con un promedio de 296 ppm (rango 45.1-2306 ppm) el tercer elemento con mayor abundancia promedio debido a la presencia de altas concentraciones de este elemento en la muestra 34, muestra que cuenta con una abundancia del 67% de minerales pesados, y que a su vez presenta las máximas concentraciones de elementos traza con respecto a la corteza continental superior.

Elementos como el Sc, V, Cr, son elementos que cuentan con coeficientes de partición con afinidad química por minerales como; olivinos, piroxenos y magnetita, minerales clasificados como pesados en el presente estudio. Elementos traza como el Y y Nb son elementos normalmente incompatible y comúnmente asociados a hornblenda y granates. Los elementos Zr y Hf se encuentran como componentes del mineral circón, presentando el Hf un alto coeficiente de partición asociado con este mineral (Rollinson, 1993). Anomalías positivas de Uranio, son posiblemente explicadas debido a que el U, tiene un coeficiente de partición favorable por la ilmenita y zircón (Rollinson, 1993), pudiendo ocurrir como resultado de procesos deutéricos e hidrotermales asociados con el emplazamiento de rocas volcánicas e intrusivas félsicas (Mielke, 1979).

Tierras Raras

De manera general la concentración promedio de los elementos de tierras raras se encuentran por debajo de la normalización (Figura 33) en base a la corteza continental superior (CCS) de Taylor y McLennan (1985). Es posible encontrar una baja concentración de los elementos de tierras raras a excepción de la presencia de una ligera anomalía de europio positiva en todas las muestras y la presencia de una alta concentración de todos los elementos de tierras raras por arriba de la normalización en la muestra de playa 34, siendo el Eu con un promedio de 1.17 ppm en un rango de 0.43 ppm a 3.27 ppm el elemento de mayor concentración.

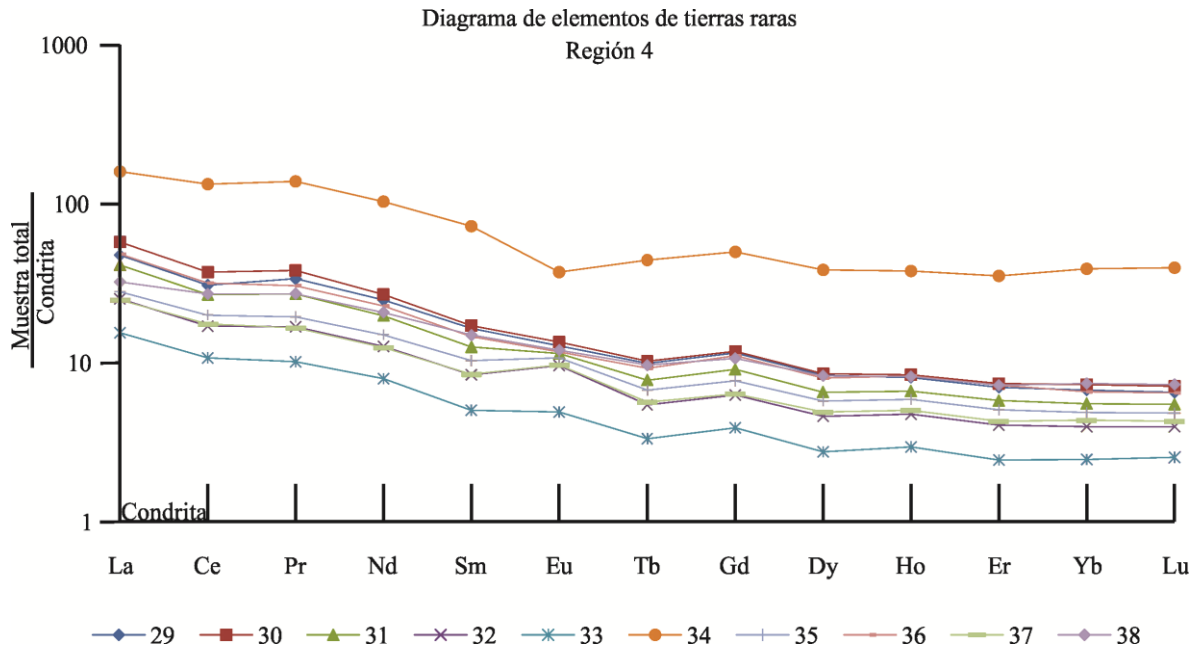


Figura 33. Diagrama de elementos de tierras raras normalizado con respecto a condrita de Nakamura (1974), pertenecientes a la Región 4 de la península de Baja California.

El descenso en la concentración de tierras raras probablemente sea debido a las altas concentraciones de SiO_2 , cuarzo y fragmentos de rocas volcánicas y metamórficas, en este último caso, principalmente meta-areniscas, ortocuarzitas y esquisto aunado al empobrecimiento de minerales máficos y tierras raras pesadas, siendo en este caso fuertemente afectados estos valores por la presencia de cuarzo, el cual tiene efecto de dilución de las tierras raras en el análisis geoquímico (Rollinson, 1993).

En la región 4 la normalización con respecto a condrita de Nakamura (1974), indica un enriquecimiento de elementos de tierras raras ligeras que de acuerdo con Cullers y Graf (1984) pueden indicar una roca fuente de composición félsica que en este caso se pueden observar ligeras anomalías de Eu que pudieran indicar un enriquecimiento de plagioclasas, que pueden derivar tanto de rocas intrusivas de composición félsica como de rocas volcánicas de composición intermedia-acida (Lipman, 1987), lo cual concuerda con la petrografía del área de estudio.

Región 5

Elementos mayores

Esta región de la península de Baja California corresponde fisiográficamente con la porción occidental de la provincia fisiográfica de Sierras de Baja California Norte (INEGI, 1983), en esta región los sedimentos muestran un carácter geoquímico con una tendencia en dos grupos geoquímicos principales en cuanto a la concentración de sus óxidos mayores. El primero de ellos con una alta concentración en las playas 39 y 42 a la 46 de Fe_2O_3 el cual tiene un promedio en toda la región de 6.69 % y una variación desde 1.01-19.8 wt%, TiO_2 (promedio 1.46 wt%, rango 0.11-6.08 wt%) y MnO (promedio 0.14 wt%, rango 0.002-0.44) teniendo estos óxidos mayores concentraciones por encima de la normalización con respecto a la corteza continental superior de Taylor y McLennan (1985) (Figura 34), y encontrándose el resto de las arenas de playa, por debajo de los valores de la corteza continental superior en cuanto a estos 3 óxidos mayores.

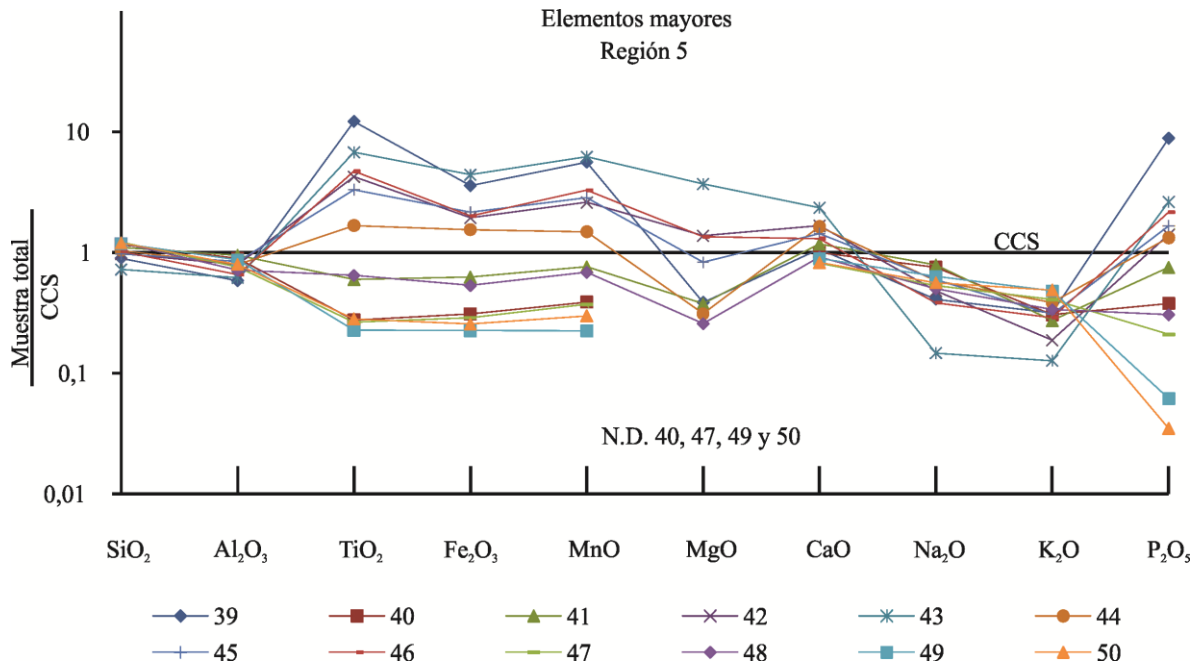


Figura 34. Diagrama de elementos mayores de pertenecientes a la Región 5 de la península de Baja California. CCS= corteza continental superior, ND= no detectado.

De manera general las arenas de playa presentan en sus principales óxidos mayores una concentración geoquímica en la que el SiO_2 es el óxido mayor más abundante, con una concentración promedio de 69.7 wt% (en un rango de 47.6wt% a 80.1wt%), seguido del Al_2O_3 (promedio 11.7wt%, rango 8.83-14.4wt%) y CaO (promedio 5.26wt%, rango 3.42-9.81wt%), los óxidos mayores que siguen a estos en abundancia y en mucha menor

proporción son; el Na₂O (promedio 2.06 wt%, rango 0.57-3.06wt%), MgO (promedio 1.57 wt%), K₂O (promedio 1.1 wt%, rango 0.43-1.66 wt%). Por último el P₂O₅ (promedio 0.33wt%, rango 0.01-1.77 wt%). Siendo los óxidos mayores de las playas 39 y 42 a la 46 correspondientes al TiO₂, MnO y Fe₂O₃ los que presentan una mayor concentración química debido a la presencia de minerales pesados registrados en el conteo modal.

Elementos traza

Es de importancia notar la alta concentración de elementos traza en esta región (Figura 35), en lo que respecta a los elementos Zr (promedio 722 ppm, rango 45.4 ppm - 5916 ppm) y Hf (promedio 17.7, rango 1.19-143 ppm) siendo los elementos traza de mayor concentración en las muestras 39 y 42 a 46.

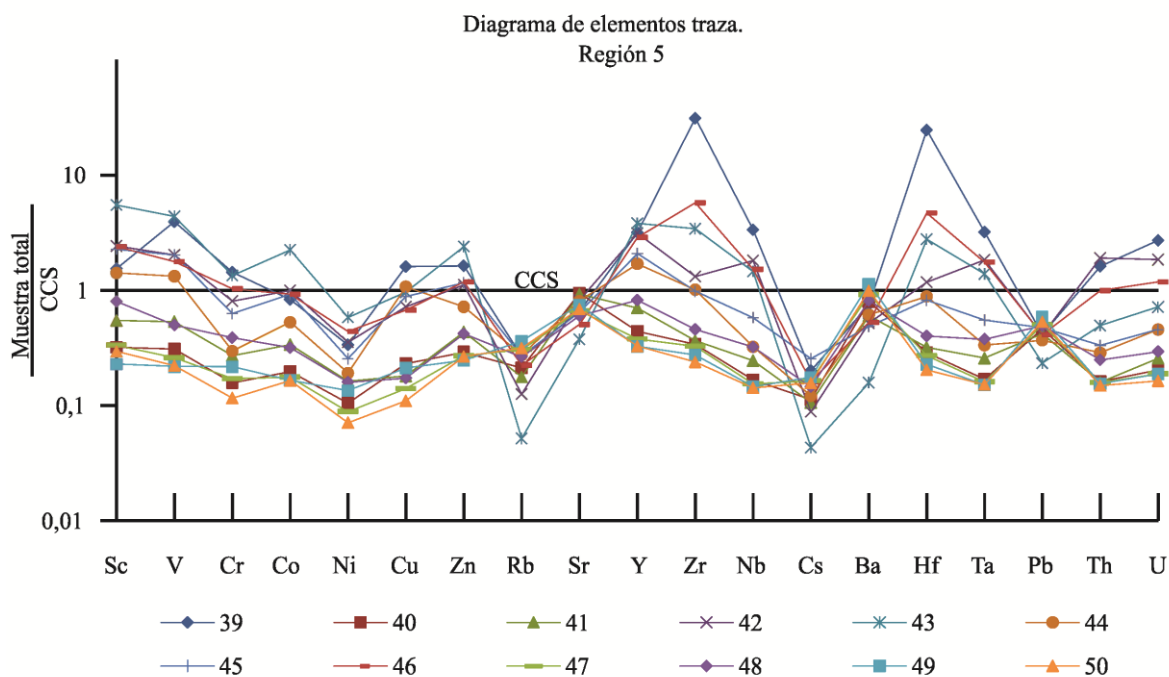


Figura 35. Diagrama de elementos traza pertenecientes a la Región 5 de la península de Baja California. CCS= corteza continental superior.

El Zr forma mineral de circón y puede substituir al Ti en la ilmenita y rutilo, presentándose trazas de estos elementos en clinopiroxenos, granate, anfíboles y micas. El Zr y Hf son elementos químicos que de acuerdo con Hynes (1980) presentan semejante radio iónico, teniendo un comportamiento químico similar estando presentes en el mineral circón. En esta serie de playas, también se encuentra la presencia por arriba de la normalización, el elemento Ta (promedio 0.86 ppm, rango 0.15- 3.2 ppm), siendo los minerales que hospedan

este elemento en rocas ígneas, el piroxeno, anfíbol, ilmenita, esfena y biotita, siendo los minerales esfena y magnetita los minerales con mayor contenido de Ta (Sitnin, 1966).

En los sedimentos de playa de las muestras 39 a y 42 a 46 se encuentran elementos traza distintos a los anteriormente citados, que también se presentan por arriba de la normalización, siendo estos en orden de abundancia el V (promedio 156 ppm, rango 23.4-468 ppm), Zn (promedio 60 ppm, rango 17.5-170 ppm), Cr (promedio 48.6 ppm, rango 9.86-122 ppm), Sc (promedio 20.75 ppm, rango 3.13-74.7 ppm), Cu (promedio 14.5 ppm, rango 2.74-40.2 ppm), y Co (promedio 11.1 ppm, rango 2.8-38 ppm), Y (promedio 36.2 ppm, rango 7.19-84.1 ppm), Nb (promedio 10.2 ppm, rango 1.72-40.2 ppm), U (promedio 2.02 ppm, rango 0.46-7.59 ppm), Th (promedio 5.95, rango 1.6-20.4 ppm).

Las arenas de playa correspondientes a las muestras 39 y 42 a 46 concuerdan con la porción noroeste del Grupo 1 de las arenas estudiadas por Carranza-Edwards *et al.*, (2001) sobre la procedencia de arenas grises de playa del Oeste de México, encontrando bajas concentraciones de cuarzo y feldespato, así como altas concentraciones de minerales pesados y presencia de elementos de tierras raras.

En segunda instancia se encuentran los elementos que no presenta un incremento en su concentración con respecto a su normalización, estos elementos; Rb (promedio 26.6 ppm, rango 5.83-40.5 ppm), Pb (promedio 7.53 ppm, rango 3.97-10 ppm), Ni (promedio 10.6 ppm, rango 3.13-25.7 ppm), elementos traza que se presentan en bajas concentraciones en todos los sedimentos de playa de esta región con respecto a CCS de Taylor y McLennan (1985).

Es de notar la presencia de anomalías positivas en los elementos como el Sc, V, Cr, los cuales son elementos con coeficientes de partición con afinidad por minerales pesados como olivinos, piroxenos y magnetita, minerales clasificados como pesados en el presente estudio. Elementos traza como el Y y Nb son elementos normalmente incompatible y comúnmente asociados a hornblenda y granates. Los elementos Zr y Hf se encuentran como componentes del mineral circón, presentando el Hf un alto coeficiente de partición asociado con este mineral (Rollinson, 1993).

Anomalías positivas de Uranio, pueden ser explicadas debido a que el U, puede presentarse en minerales accesorios como zircón, granate, pudiendo ocurrir como resultado de procesos deutéricos e hidrotermales asociados con el emplazamiento de rocas volcánicas e intrusivas félsicas (Mielke, 1979).

Por último cabe destacar que las muestras de arenas de playa con concentraciones por debajo de la normalización son las playas 40, 41, y 47 a la 50, siendo estas las de mayor contenido de SiO₂ la cual abarca desde el 72.6 al 80.1 wt%, siendo a su vez las arenas de playa con mayor cantidad de cuarzo y menor cantidad de minerales pesados.

Tierras raras

En esta región es de resaltar la presencia de altas concentraciones de elementos de tierra raras en las muestras de playa; 39, 42 a la 46 con la presencia de una anomalía negativa de europio. Presentando de acuerdo a la figura 36 una tendencia plana y enriquecida elementos de tierras raras pesadas, de acuerdo con la normalización a condrita de Nakamura (1974).

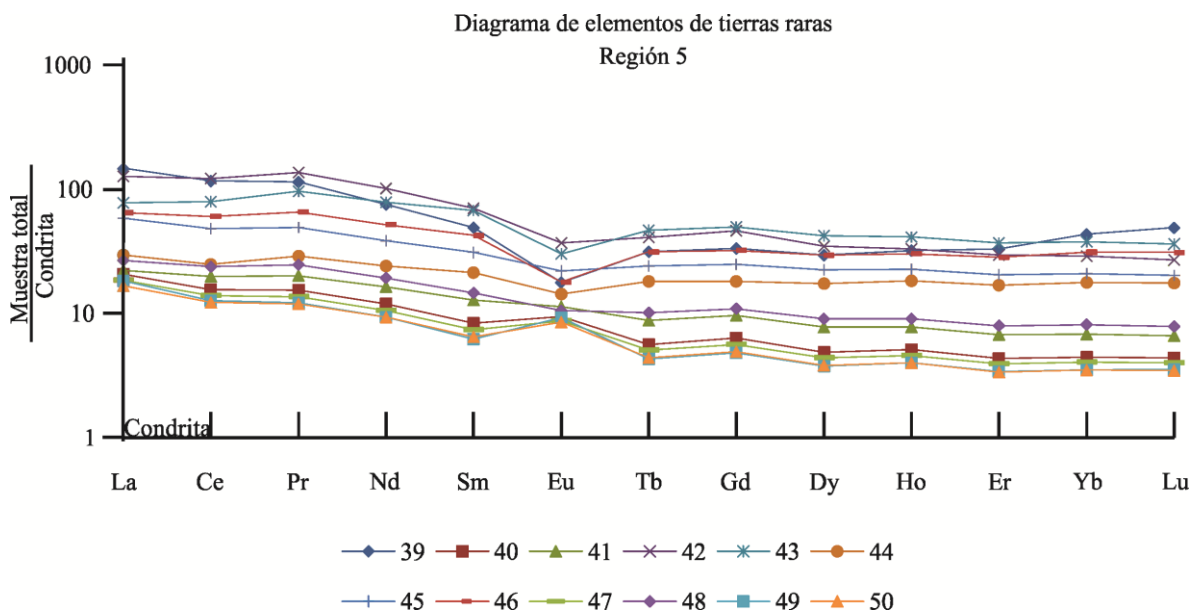


Figura 36. Diagrama de elementos de tierras raras normalizado con respecto a condrita de Nakamura (1974), pertenecientes a la Región 1 de la península de Baja California.

Por otro lado las muestras de playa 40, 41 y 47 a la 50 presentan una baja concentración de todos los elementos de tierras raras y una clara anomalía positiva de europio con respecto a la normalización, lo que posiblemente sea debido a las altas concentraciones de cuarzo, el cual tiene un efecto de dilución de las tierras raras en el análisis geoquímico (Rollinson 1993), esto, aunado al empobrecimiento de minerales pesados que podrían contener fracciones de tierras raras pesadas.

En esta región la roca fuente de la cual provienen los sedimentos de acuerdo con Cullers y Graf (1984), en donde relaciones altas de tierras raras ligeras sobre las tierras raras pesadas con presencia de anomalías positivas de europio pueden indicar una fuente de composición félsica-intermedia de emplazamiento profundo, mientras que estas mismas relaciones de tierras raras pero con anomalías negativas de europio puede indicar una fuente volcánica de composición félsica-intermedia.

5.3. Uso de diversos parámetros sedimentológicos en muestra total para su aplicación en análisis de ambientes de playa

Composición Geoquímica

Para poder definir la composición de los sedimentos de playa en las distintas regiones fueron trazados los puntos de muestreo en dos diagramas que permiten definir la composición de los sedimentos. El primero de estos, pertenece al diagrama de (Roser y Korsch, 1988), el cual se realiza a partir de dos funciones discriminantes generadas a partir del contenido de óxidos mayores. En este diagrama es posible observar que la gran mayoría de muestras se encuentran dentro de una composición félsica e intermedia, concordante con la geología regional del área de estudio, siendo la excepción las muestras pertenecientes a la región 2, las cuales mediante este diagrama se encuentran dentro de muestras de una composición cuarzosa (Figura 38).

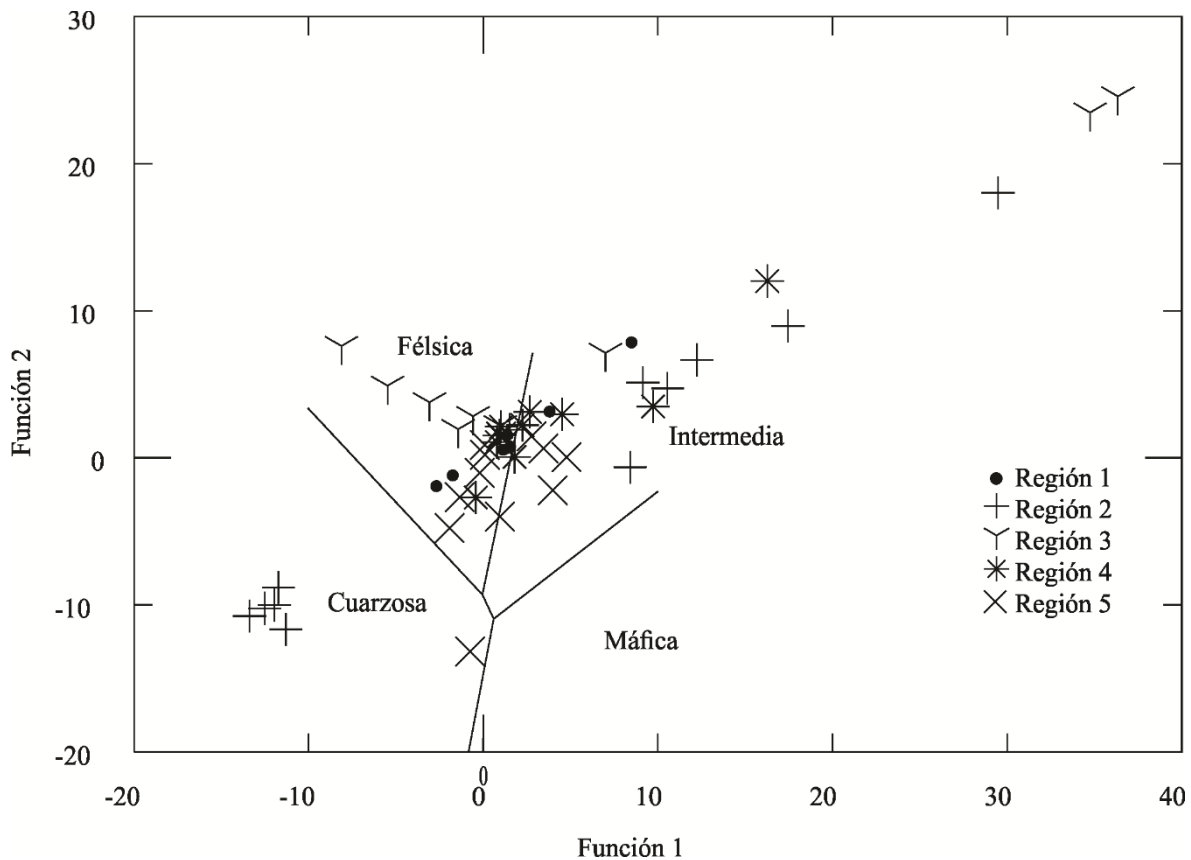


Figura 37. Diagrama de función discriminante para los sedimentos de playa de la península de Baja California (Roser y Korsch, 1988).

Función discriminante 1 = $(-1.773 \cdot \text{TiO}_2) + (0.607 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3) + (0.760 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3) + (-.500 \cdot \text{MgO}) + (0.616 \cdot \text{CaO}) + (0.509 \cdot \text{Na}_2\text{O}) + (-1.224 \cdot \text{K}_2\text{O}) + (-9.090)$.

Función discriminante 2 = $(0.445 \cdot \text{TiO}_2) + (0.070 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3) + (-0.250 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3) + (-1.142 \cdot \text{MgO}) + (0.438 \cdot \text{CaO}) + (1.475 \cdot \text{Na}_2\text{O}) + (1.426 \cdot \text{K}_2\text{O}) + (-6.861)$.

Esta última región discrepa de la clasificación obtenida mediante este diagrama, el cual implica una región cuarzosa sedimentaria, pero debido a que las muestras de esta región se encuentran petrográficamente dominadas por fragmentos de roca volcánica y una presencia abundante de material biogénico, concordante con la geología de esta región, la cual se encuentra dominada por la provincia de la Sierra de la Giganta, y en donde se tiene que el diagrama es fuertemente afectado por la presencia de material biogénico.

El diagrama propuesto por Hayashi *et al.*, (1997) indica de forma más acorde con los sedimentos de la zona de estudio, ya que debido a que el diagrama se basa en el TiO_2 y el elemento traza zirconio, ya que el Ti y el Zr son elementos inmóviles durante el intemperismo, y de acuerdo con el autor la relación de abundancia entre estos elementos puede ser un indicador de la roca fuente (Figura 39).

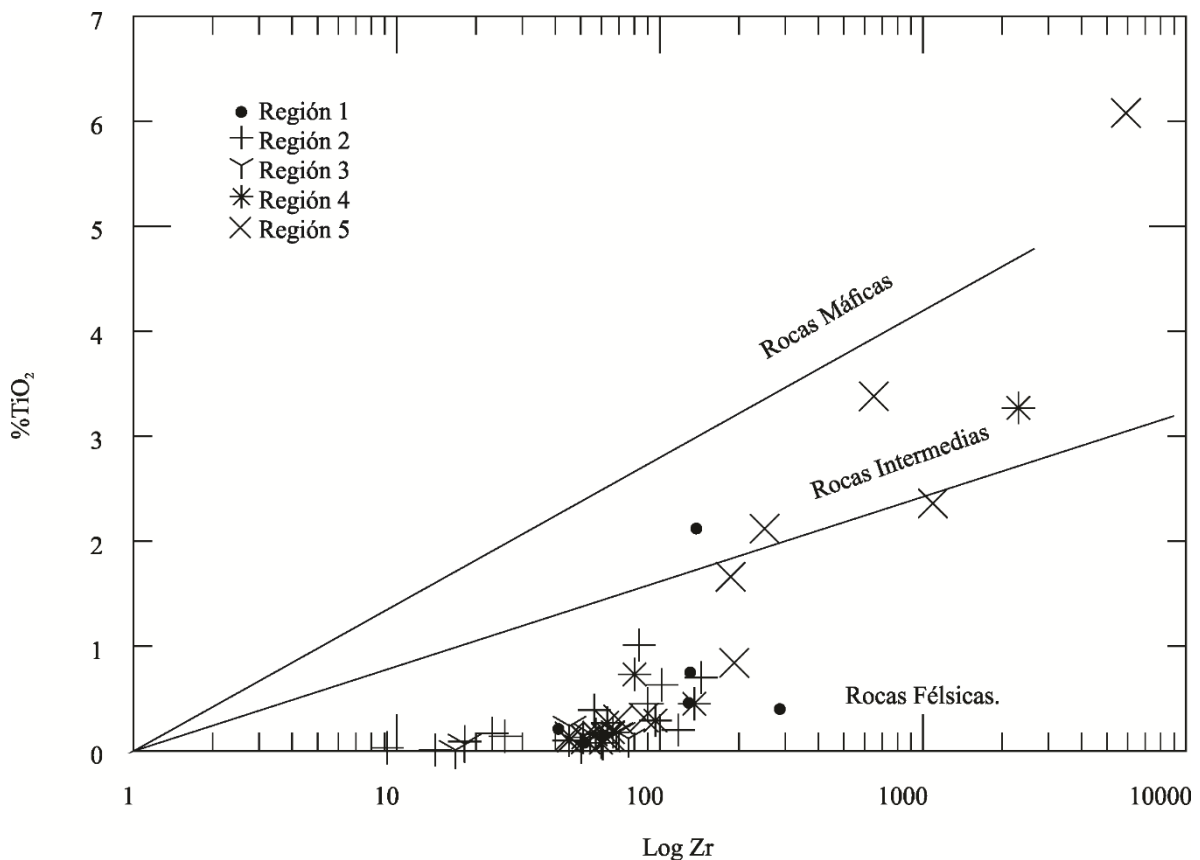


Figura 38. Diagrama de Hayashi *et al.*, (1997) composición de la roca fuente de arenas de playa de la península de Baja California.

En este caso particular, el diagrama puede detectar el efecto de segregación mineral producido por la fragmentación de las rocas por distintos procesos de transporte como lo pueden ser procesos eólicos y marinos así como la detección de concentraciones de minerales pesados que pueden tener una mayor relación de Ti dentro de la muestra de sedimentos y de esta manera acercarse a zonas que indican una fuente más máfica de

acuerdo con el diagrama, pero en ejemplificando de forma eficiente la composición de las arenas de playa.

Clasificación geoquímica

Por medio de la geoquímica de elementos mayores obtenida y descrita anteriormente, se trazaron las concentraciones de cada playa en base al diagrama de Herron (1988), utilizado en petrografía sedimentaria, el cual es un diagrama ampliamente utilizado en trabajos de sedimentología de playas, esto con el fin de determinar mediante el análisis geoquímico, la composición sedimentaria de la muestra colectada. En el caso de las muestras de playa de la península de Baja California, las arenas de playa se encuentran, de acuerdo con este diagrama, dentro de una composición que caracteriza a las arcosas, wackas y lutitas de hierro. Todas denominaciones que caracterizan rocas sedimentarias que varían en cuanto a su composición, petrografía, mineralogía y contenido variable de material biogénico, y principalmente en que todas las denominaciones encontradas dentro del presente diagrama cuentan con una matriz que permite en distintos grados la consolidación de una roca. Dicha matriz cuenta con una respuesta geoquímica que determina en su conjunto la composición de la roca total (Figura 40).

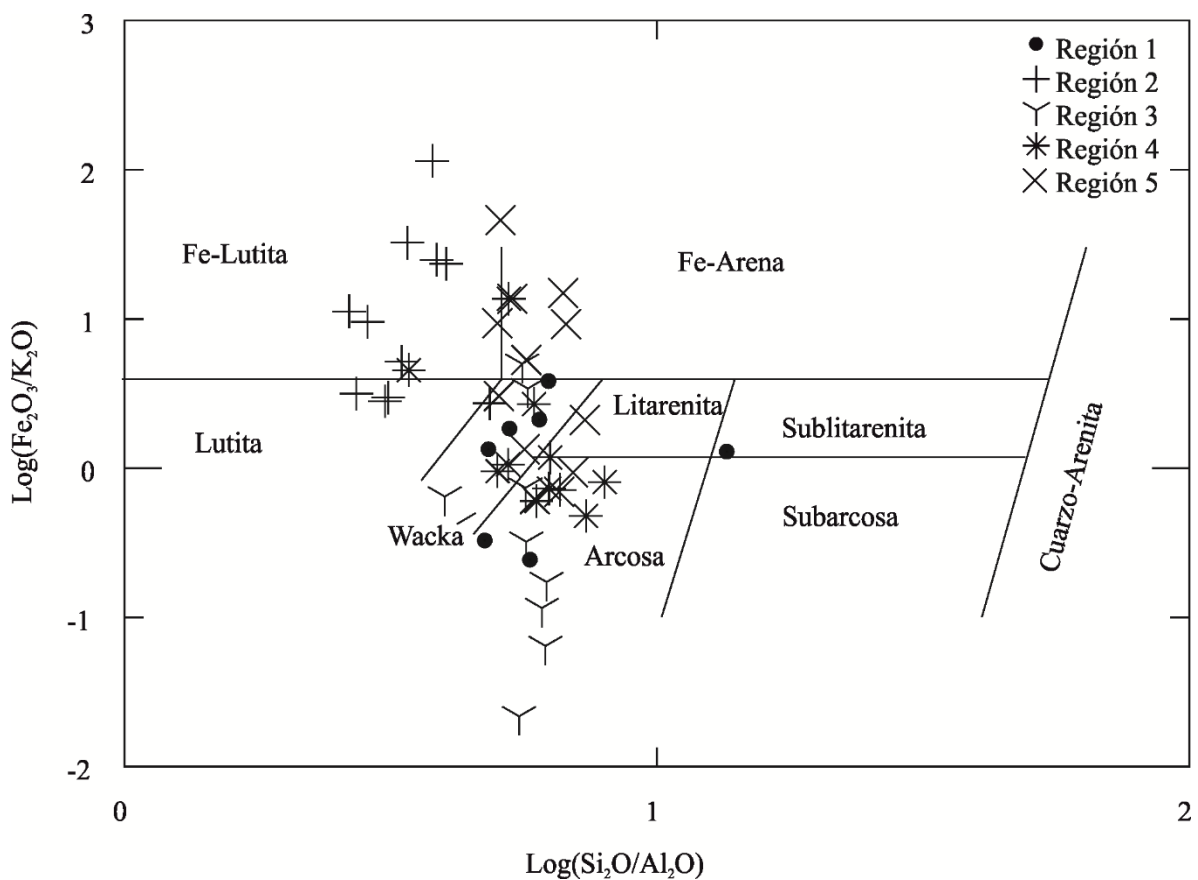


Figura 39. Clasificación geoquímica de arenas de playa de la península de Baja California en base al diagrama propuesto por Herron (1988),

Este diagrama se determina la clasificación geoquímica de la muestra, con base en base óxidos mayores, con lo cual en dicho diagrama no se tienen controles de otros parámetros de importancia, tales como los texturales o los petrográficos, los cuales no son aplicables al estudio de sedimentos de playa en regiones que no cuentan con las características de sedimentación, sepultamiento y efectos diagenéticos semejantes a las formaciones geológicas para lo cual fue creado el diagrama.

Tal es el caso de las muestras de la región 1 y 4 las cuales en base al diagrama de Herron (1988), se encuentran dentro de la clasificación de las wackas en el caso de la muestra 1 y wackas y arcosas en la muestra 4, pero las cuales a diferencia de estas clasificaciones, las muestras texturalmente son arenas de grano fino y bien seleccionadas, sin la presencia de matriz y sin consolidar. Por ello no conviene aplicar diagramas creados para rocas en sedimentos de ambientes modernos no consolidados.

En el caso de los sedimentos de playa de la región 2 estos se encuentran de manera general dentro de la definición de lutita siendo estas clasificadas como lutitas y lutitas de hierro, y a diferencia, en cambio en esta región los sedimentos indican la presencia de arena gruesa que va de mal a pobremente seleccionada y con una gran presencia de material biogénico.

Por último las regiones 3 y 5 encajan dentro de la descripción petrográfica definida por Herron (1988), con excepción de que no hay presencia de una matriz o litificación de la muestra.

Ambiente Tectónico

Por otra parte con el fin de determinar el posible marco tectónico de cada región identificada dentro de la península de Baja California, se trazaron las distintas localidades de muestreo dentro del diagrama propuesto por Bhatia y Crook (1986) en el cual, se puede observar que las muestras de playa se encuentran dentro de los tres ambientes tectónicos propuestos en el diagrama utilizado. Es de observar que aproximadamente el 50% de las localidades se encuentran dentro del margen continental pasivo y el resto en proporciones semejantes, distribuidos dentro del margen continental activo y el arco de islas oceánico. Es de importancia notar que los sedimentos de playa de este trabajo, pertenecientes a las regiones 1 y 4, son las regiones que cuentan con una distribución dentro de los tres ambientes tectónicos representados en este diagrama, siendo la 3 la que cuenta con mayor definición, siendo esta encontrada dentro de un margen continental pasivo. Por último las regiones 2 y 5 son las que con mayor frecuencia en este muestreo, se encuentran dentro de los ambientes tectónicos pertenecientes a arcos de islas oceánicas y margen continental activo (Figura 41).

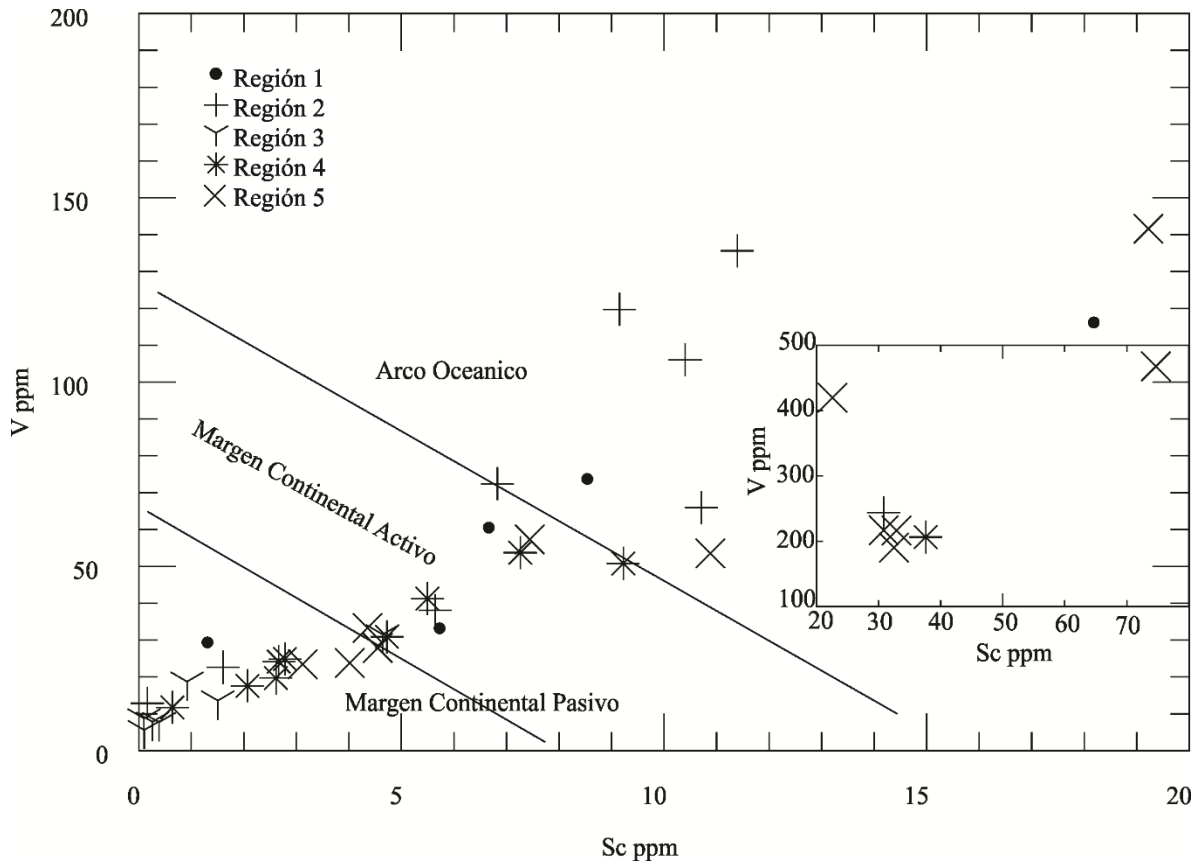


Figura 40. Diagrama Sc-V después de Bhatia y Crook (1986) indicando el tipo de margen continental en el que se encuentran los sedimentos de la península de Baja California.

El diagrama, propuesto por Roser y Korsch (1986) muestra que la configuración de puntos de muestreo se desplaza con mayor relevancia hacia la zona de margen continental pasivo (Figura 42), en donde se encuentran englobadas las regiones 1, 3 y 4, siendo las regiones 2 y 5 las que se encuentran asociadas en mayor medida a los ambientes tectónicos de arco de islas oceánicas y margen continental activo respectivamente. Es importante notar que estas regiones cuentan con la mayor concentración de fragmentos de rocas volcánicas en base al conteo modal.

De acuerdo con lo anteriormente mencionado la mayoría de las regiones de la península de Baja California tienen una respuesta geoquímica relacionada con zonas tectónicamente activas. En el caso del área de estudio Atwater (1970) define esta península como una colisión de tipo arco-continental, lo que indica que los sedimentos muestreados cuentan con una respuesta geoquímica de un evento geológico antiguo, ya que Klitgord y Mammerickx (1982) indican que los procesos de subducción en la península de Baja California tuvieron fin aproximadamente hace 9 millones de años.

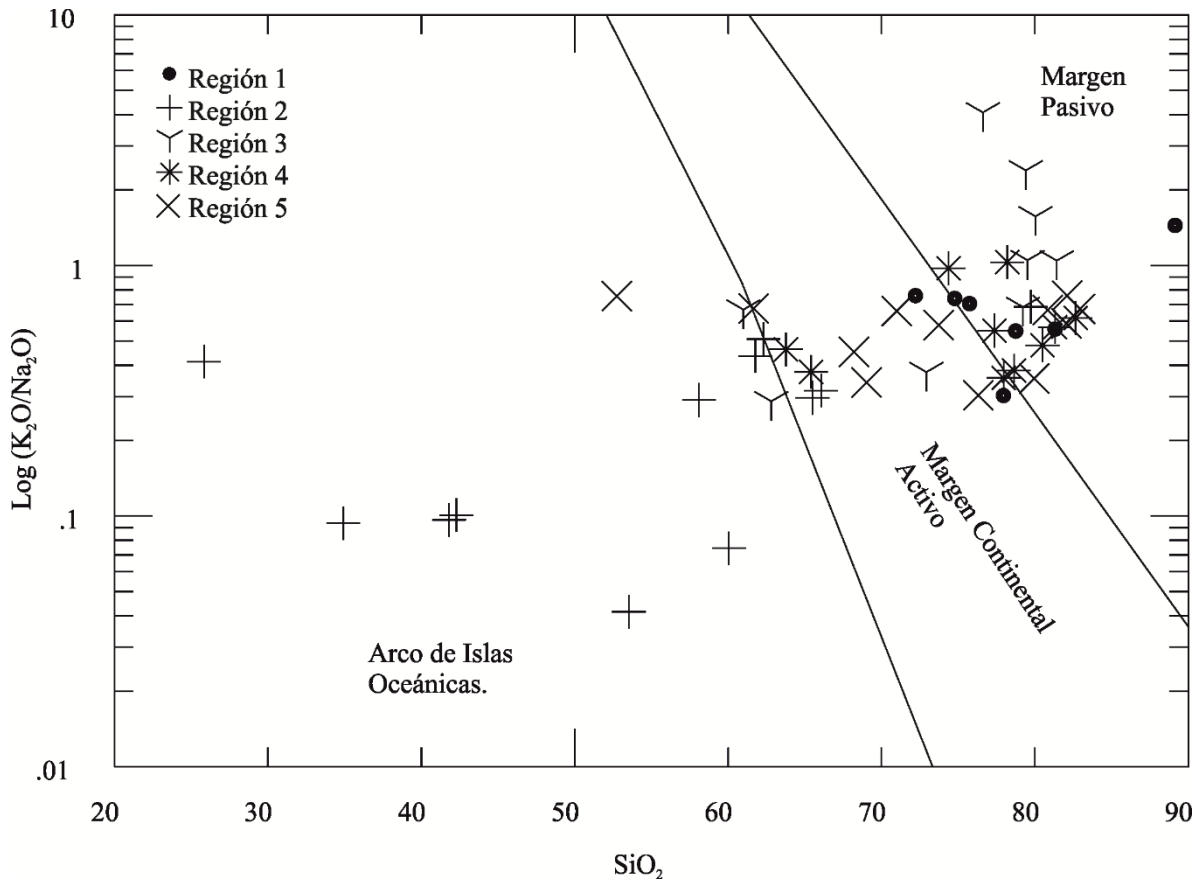


Figura 41. Diagrama propuesto por Roser y Korsch (1986) que indica el tipo de margen continental en el que se encuentran los sedimentos de playa de la península de Baja California.

Por lo que los eventos que ha sufrido la península de Baja California a lo largo de 9 millones de años han pasado prácticamente inadvertidos, debido principalmente a la geología que predomina en la región y que en el caso de las encontradas dentro de los márgenes activos y arco oceánico es debido a la presencia de fragmentos de roca de origen volcánico, las cuales determinan junto con la mineralogía la señal geoquímica que determina el ambiente tectónico. En el caso de la región 3, esta si demuestra la señal de una margen pasiva, debido a que se trata de la presencia de una geología y sedimentos con parentesco plutónico, en donde la simple presencia de afloramientos de este tipo de rocas indican el levantamiento o "exhumación" y denudación del material geológico que yacía sobre estas rocas de tipo intrusivo.

Diagrama de clasificación de arenas de playa de la península de Baja California

Con lo anteriormente descrito, se propone el diagrama de clasificación de arenas de playa de la península de Baja California (Figura 43), construido a partir de la concentración total de los elementos utilizados en el diagrama, el cual nos permite definir con mejor certeza los sedimentos de la península de Baja California, esto acorde a las características texturales, petrografía y parámetros geoquímicos de las muestras de playa estudiadas, en donde es posible observar correlaciones entre estos factores, definiendo con mayor exactitud las características que rigen cada región. Es de importancia notar que este diagrama nos muestra 3 campos en base a su textura, petrografía y geoquímica, en los cuales las 5 regiones pueden ser encasilladas. Este diagrama en conjunto con el mapa de la figura 44, nos indica algunas relaciones de importancia en cada región sugerida en este estudio, en el caso de las muestras de playa encontradas en el campo 1 del diagrama, encontramos sedimentos que consisten de arena gruesa moderadamente bien seleccionada con presencia de material de origen ígneo plutónico, presencia de fragmentos de roca y cuarzo, principalmente encontrándose ante procesos de oleaje y corrientes oceánicas de baja intensidad, tal como es mostrado en la cartografía.

En el caso del campo 2 de este diagrama, es notable que se presenta la mayor concentración de muestras de sedimento de playa, incluyendo en este a las regiones 1, 4 y 5, siendo estas principalmente, arena fina a media, de moderadamente a bien seleccionada, pudiéndose encontrar distintas composiciones de acuerdo a su petrografía. Estas 3 regiones se ven fuertemente influenciadas por procesos oceánicos de alta intensidad, en el caso de la región 1, esta se ve influenciada por la desembocadura del río Colorado, y por la corriente del Golfo de California, la cual presenta una circulación antihoraria en verano y horaria en invierno, siendo las regiones 4 y 5 sujetas a la influencia de corrientes y oleaje del Océano Pacífico. Estos procesos oceánicos permiten el retroceso o erosión de la línea de costa.

El campo 3 de este diagrama implica muestras de sedimento de playa de grano grueso de pobremente clasifica, con gran cantidad de material biogénico e influencia de material terrígeno de origen volcánico, muestras que en su mayoría pertenecen a la región 2 de este estudio. Las cuales geográficamente se muestran en la porción sur de la península de Baja California, en donde existen procesos de avance de la línea de costa ya que en estos puntos se cuenta con playas protegidas tanto de corrientes de alta intensidad y oleaje del Golfo de California.

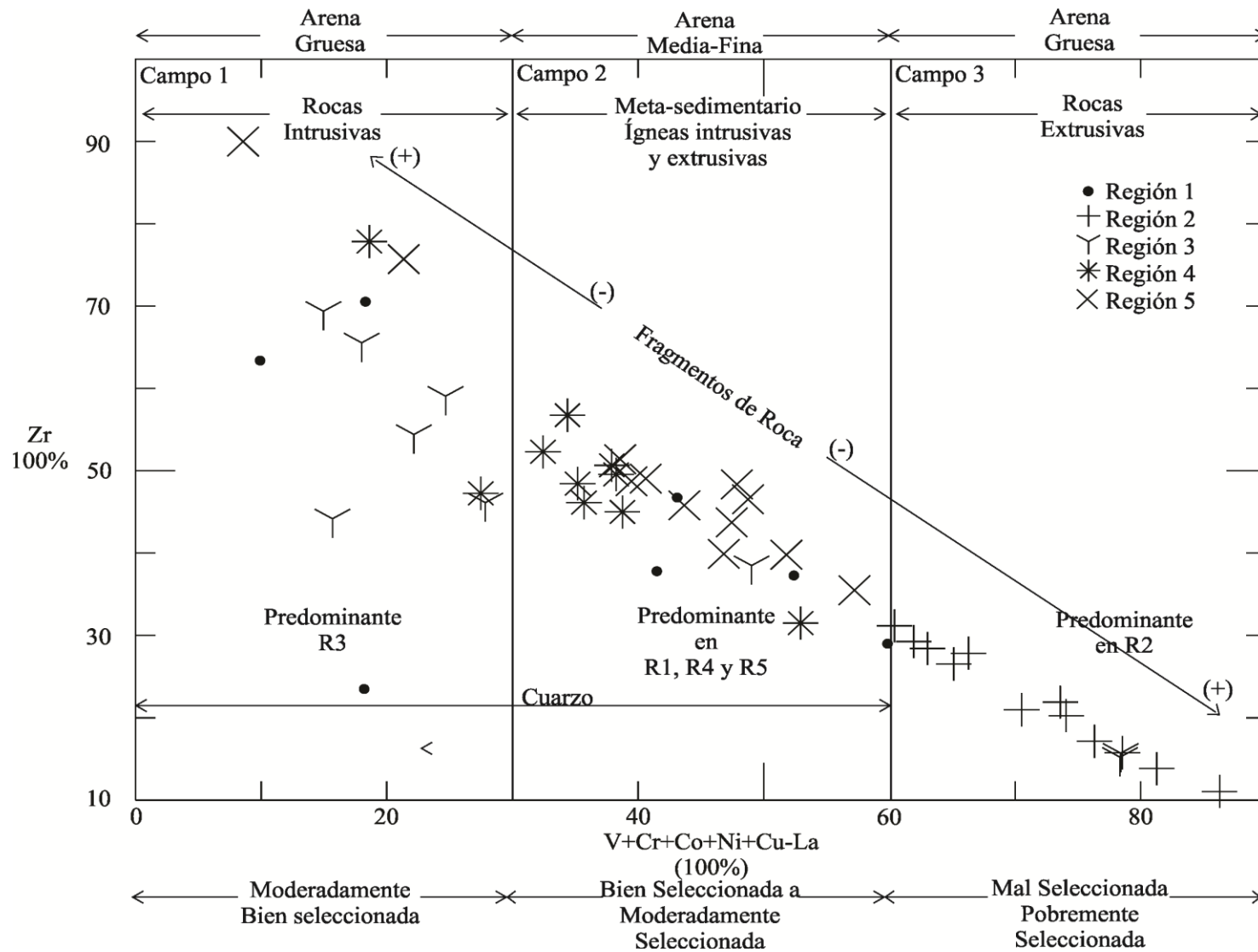


Figura 42. Diagrama de clasificación propuesto para arenas de playa de la península de Baja California.

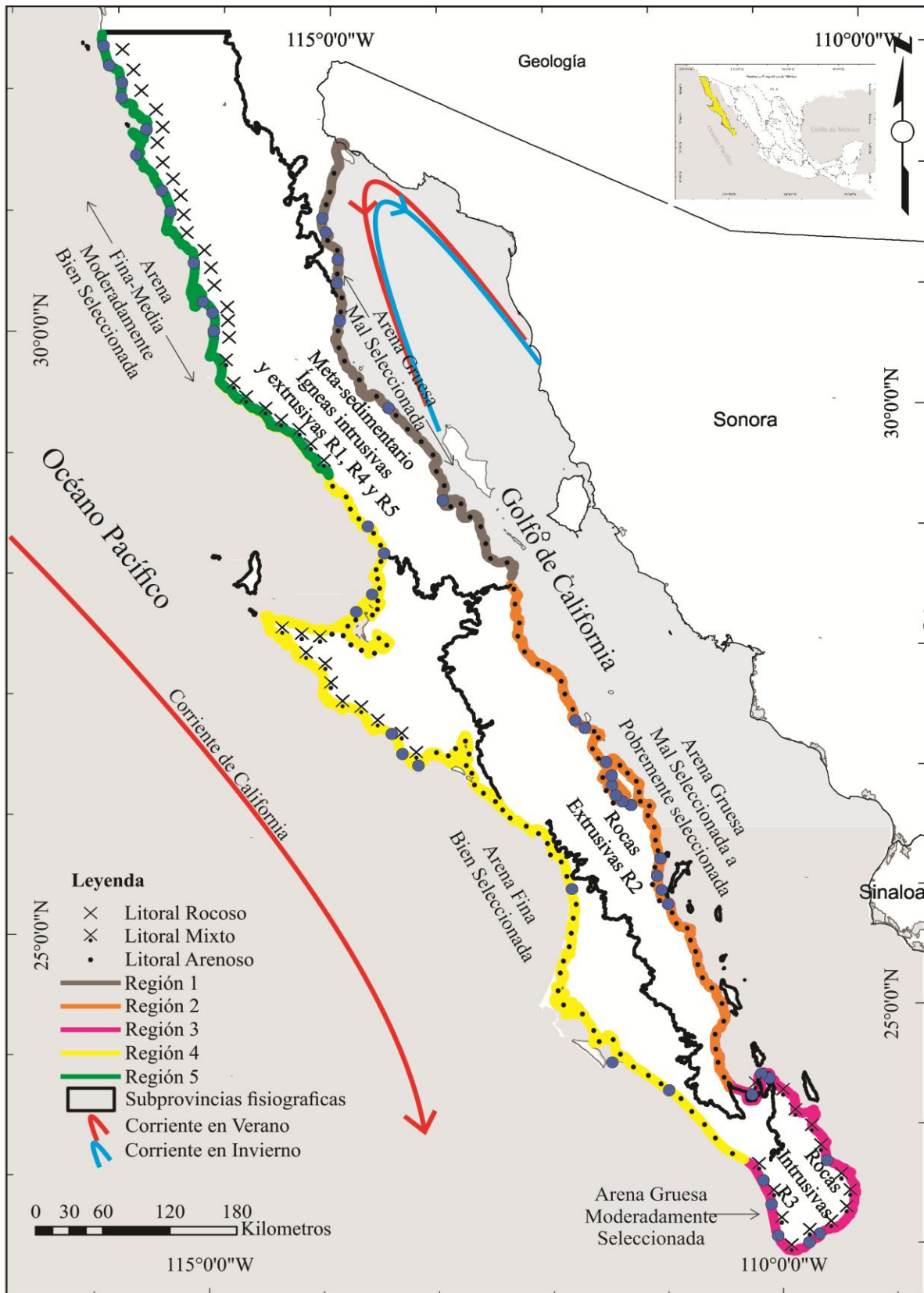


Figura 43. Mapa de regiones de depósito y composición de sedimentos de la península de Baja California.

6. Conclusiones

Con base en los sedimentos de playa analizados, se sugiere la clasificación de 5 regiones con características de sedimentación semejantes, dominados por la geología local, el relieve y clima, parámetros que definen las características petrográficas, texturales y geoquímicas que diferencian una región de otra.

La región 1, cuenta con una planicie estrecha perteneciente a Sierras de Baja California Norte con una geología constituida por rocas de emplazamiento profundo y un clima desértico, en donde los sedimentos son arenas gruesas mal clasificadas, principalmente feldarenitas y litarenitas feldespáticas guardando relación petrográfica con los afloramientos de roca de esta sub-provincia geológica, donde los patrones de tierras raras, indican posibles fuentes de aporte de sedimentos rocas ígneas de emplazamiento profundo. En esta región la descripción petrográfica y geoquímica de elementos mayores, traza y tierras raras indica la presencia de un posible enriquecimiento de mineral de titanomagnetita en la playa 4.

En la región 2 se cuenta con una planicie estrecha perteneciente a la sub-provincia fisiográfica de Sierra de la Giganta la cual se compone de rocas ígneas supra-corticales, en donde el clima desértico predomina al igual que en el resto de la península. Los sedimentos encontrados son litarenitas con textura de grano grueso y de mal a pobremente seleccionadas, constituidas de fragmentos de roca volcánica. La geoquímica de CaO y P₂O₅ así como el elemento el Sr evidencian la abundancia de material biogénico. La geoquímica de tierras raras se encuentra posiblemente asociada con rocas de composición intermedia, siendo abundantes en la región las rocas andesíticas y dacíticas.

La región 3 cuenta con una planicie costera estrecha dominada por la subprovincia fisiográfica de bloque Los Cabos en donde predomina una geología de rocas de emplazamiento profundo y de nuevo un clima desértico. Los sedimentos son sublitenitas de grano grueso moderadamente seleccionadas. Los patrones de tierras raras, indican fuentes de aporte de sedimentos que proceden de rocas ígneas de emplazamiento profundo. Tanto la petrografía y geoquímica de elementos mayores, (K₂O) y elementos traza (Ba) reflejan la abundancia de feldespato potásico.

La región 4 se encuentra influenciada por la presencia de las subprovincias fisiográficas de Llanos de la Magdalena y Desierto de San Sebastián Vizcaíno, así como la presencia del clima desértico. Los sedimentos están compuestos por arena fina bien seleccionada en donde predomina la feldarenita lítica y litarenita feldespática y es posible apreciar la presencia de fragmentos de roca sedimentaria, ígneas plutónicas y extrusivas, así como rocas metamórficas. La geoquímica de elementos mayores indica una abundancia de P₂O₅ que posiblemente se encuentre correlacionada con eventos de surgencias y yacimientos de fosforitas a lo largo de la porción continental de esta región. La geoquímica de tierras raras

indica una composición félsica de los sedimentos, siendo difícil determinar su procedencia debido a la mezcla de distintas fuentes de aporte a lo largo de esta margen litoral.

La región 5 se encuentra influenciada fisiográfica y geológicamente por la Sierra de San Pedro Mártir, la cual consiste de rocas ígneas y metamórficas de emplazamiento profundo, teniendo la presencia de un clima desértico. En esta región la sedimentación encontrada consiste de arena media a fina moderadamente bien seleccionada en donde predomina la feldarenita lítica. La petrografía y geoquímica de elementos mayores tales como el TiO_2 , Fe_2O , MnO y MgO , así como la presencia de los elementos traza Sc, V, Cr, Co, Zr y Hf, indican una abundancia de minerales pesados, tales como la titano-magnetita, hornblenda y zircón. La geoquímica de tierras raras se encuentra posiblemente asociada con una procedencia félsica correspondiente a rocas ígneas de emplazamiento profundo y supracorticales debido al incremento de elementos de tierras raras ligeras encontrándose que los procesos de selección de los sedimentos debido al oleaje permite la concentración de minerales pesados que permiten la abundancia de elementos de tierras raras pesadas.

Debido a que los diagramas utilizados en este trabajo proceden de estudios principalmente aplicados a petrografía sedimentaria, deben ser tomados con precaución, ya que las características con las que cuentan los sedimentos de playa recientes, son distintas a las características de sedimentación, sepultamiento, efectos diagenéticos y posible metamorfismo de los sedimentos que componen las rocas sedimentarias y que constituyen las unidades y formaciones geológicas en base a la cuales fue creado el diagrama. Es de importancia mencionar que a su vez diagramas que intentan interpretar la posible roca fuente, a partir de la geoquímica de arenas se ven fuertemente afectadas por la presencia de CaO de origen biogénico, lo cual modifica la relación geoquímica de los óxidos mayores en muestra total. Siendo más certera su procedencia, con base en la relación de los elementos traza.

Se propone un diagrama de clasificación de arenas de playa de la península de Baja California que nos muestra 3 campos en base a sus características texturales, petrografía y parámetros geoquímicos de las 5 regiones en que pueden ser encasilladas, como se ve en el diagrama de clasificación propuesto en esta tesis para arenas de playa de la península de Baja California, en el cual se consideran tamaño y clasificación, para muestras que tienden a presentar una composición intermedia-máfica (Sc, V, Cr, Co, Ni y Cu) y félsica (Zr), así como características petrográficas, siempre de muestra total.

Bibliografía.

Alvarez Jr, M. (1961). Provincias fisiográficas de la República Mexicana. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 24(2), 5-20.

Armstrong-Altrin, J. S. (2009). Provenance of sands from Cazonos, Acapulco, and Bahía Kino beaches, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 26(3), 764-782.

Armstrong-Altrin, J. S., Lee, Y. I., Verma, S. P., & Ramasamy, S. (2004). Geochemistry of sandstones from the upper Miocene Kudankulam Formation, southern India: Implications for provenance, weathering, and tectonic setting. *Journal of sedimentary Research*, 74(2), 285-297.

Armstrong-Altrin, J. S., Nagarajan, R., Lee, Y. I., Zubillaga, J. J. K., & Saldaña, L. P. C. (2014). Geochemistry of sands along the San Nicolás and San Carlos beaches, Gulf of California, Mexico: implications for provenance and tectonic setting. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 23(5), 533-558.

Arreguín-Rodríguez, G. D. J., & Schwennicke, T. (2013). Estratigrafía de la margen occidental de la cuenca San José del Cabo, Baja California Sur. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 65(3), 481-496.

Atwater, T. (1970). Implications of plate tectonics for the Cenozoic tectonic evolution of western North America. *Geological Society of America Bulletin*, 81(12), 3513-3536.

Bhatia, M. R., & Crook, K. A. (1986). Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contributions to mineralogy and petrology*, 92(2), 181-193.

Camacho-Valdéz, V., Murillo-Jiménez, J. M., Nava-Sánchez, E. H., & Turrent-Thompson, C. (2008). Dune and beach morphodynamics at Cabo Falso, Baja California Sur, Mexico: response to natural, Hurricane Juliette (2001) and anthropogenic influence. *Journal of coastal Research*, 553-560.

Carranza-Edwards, A., Bocanegra-García, G., Rosales-Hoz, L., & de Pablo Galán, L. (1998a). Beach sands from Baja California Peninsula, Mexico. *Sedimentary Geology*, 119(3), 263-274.

Carranza-Edwards, A., Centeno-García, E., Rosales-Hoz, L., & Lozano-Santa Cruz, R. (2001). Provenance of beach gray sands from western Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 14(3), 291-305.

Carranza-Edwards, A., Rosales-Hoz, L., & Santiago-Pérez, S. (1994). Provenance memories and maturity of holocene sands in northwest Mexico. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 31(10), 1550-1556.

Carranza-Edwards, A., Rosales-Hoz, L., y Lozano-Santa Cruz, R. (1988b). Estudio de metales en arenas de playa de San Antonio del Mar, Baja California, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol, Univ. Nal. Autón. México*, 15, 215-222.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), (2012) Atlas del agua en México 2012 CONAGUA, 2012, Comisión Nacional del Agua. Programa Hídrico Regional Visión 2030., 2012, Región Hidrológico-Administrativa I Península de Baja California

Cullers, R. L., & Graf, J. L. (1984). Rare earth elements in igneous rocks of the continental crust: intermediate and silicic rocks—ore petrogenesis. In *Developments in geochemistry* (Vol. 2, pp. 275-316). Elsevier.

Decker, J. y Helmold, K. P. (1985): The effect of grain size on detrital modes: A test of the Gazzi-Dickinson point-counting method. *Discussion. J. Sed. Petrology*, 55: 617- 618.

Demant, A., & Robin, C. (1975). Las fases del vulcanismo en México: una síntesis en relación con la evolución geodinámica desde el Cretácico. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, (1), 4.

Fedo, C. M., Nesbitt, H. W., & Young, G. M. (1995). Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology*, 23(10), 921-924.

Feng, Jin-Liang. (2011). Trace elements in ferromanganese concretions, gibbsite spots, and the surrounding terra rossa overlying dolomite: Their mobilization, redistribution and fractionation. *Journal of Geochemical Exploration*. 108. 99-111. 10.1016/j.gexplo.2010.10.010.

Folk, R. L. (1974). *Petrography of sedimentary rocks*. Univ. Texas, Hemphill, Austin, Tex, 182.

Franzinelli, E., & Potter, P. E. (1983). Petrology, chemistry, and texture of modern river sands, Amazon River system. *The Journal of Geology*, 91(1), 23-39.

Franzinelli, E., & Potter, P. E. (1983). Petrology, chemistry, and texture of modern river sands, Amazon River system. *The Journal of Geology*, 91(1), 23-39.

García, E. (1964). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la Rep. Mexicana): México, D. F., Univ. Nal. Auton. México, *Inst. Geografía*, 35.

- Gómez, J. J. A., & Venzor, J. A. P. (1987). Estudio geológico de Punta Coyotes, Baja California Sur. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 7(1), 1-21.
- Gómez, J. J. A., & Venzor, J. A. P. (1988). Estudio geológico de Punta Coyotes, Baja California Sur. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 7(1), 1-21.
- González-Yajimovich, O., Perez-Soto, J. L., Avila-Serrano, G. E., & Meldahl, K. (2010). Sediment transport trends in Bahía Concepción, Baja California Sur, Mexico, based on textural parameters and heavy mineral concentrations. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 62(2).
- Griffiths, R.C. (1963). Studies of oceanic fronts in the mouth of the Gulf of California, an area of tuna migrations. *F.A.O. Fish. Rep.* 6(3):1583-1609
- Haury IR, Venrick E, Fey CL, McGowan JA, Niiler PP. (1993). The Ensenada Front: July 1985. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.* 34: 69–88
- Hayashi, K. I., Fujisawa, H., Holland, H. D., & Ohmoto, H. (1997). Geochemistry of ~ 1.9 Ga sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61(19), 4115-4137.
- Herron, M. M. (1988). Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of Sedimentary Research*, 58(5).
- Honda, M., & Shimizu, H. (1998). Geochemical, mineralogical and sedimentological studies on the Taklimakan Desert sands. *Sedimentology*, 45(6), 1125-1143.
- Hubp, J. L. (1990). El relieve de la República Mexicana. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 9(1), 82.
- Hynes, A. (1980). Carbonatization and mobility of Ti, Y, and Zr in Ascot Formation metabasalts, SE Quebec. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 75(1), 79-87.
- Ingersoll, R. V. (1978). Petrofacies and petrologic evolution of the Late Cretaceous fore-arc basin, northern and central California. *The Journal of Geology*, 86(3), 335-352.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), (1983). *Geología de la República Mexicana: México, Secretaría de Programación y Presupuesto*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 82 p.
- Kasper-Zubillaga, J. J., & Carranza-Edwards, A. (2005). Grain size discrimination between sands of desert and coastal dunes from northwestern Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 22(3), 383-390.

- Kasper-Zubillaga, J. J., & Faustinos-Morales, R. (2007a). Scanning electron microscopy analysis of quartz grains in desert and coastal dune sands (Altar Desert, NW Mexico). *Ciencias Marinas*, 33(1), 11-22.
- Kasper-Zubillaga, J. J., & Zolezzi-Ruiz, H. (2007). Grain size, mineralogical and geochemical studies of coastal and inland dune sands from El Vizcaíno Desert, Baja California Peninsula, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 24(3), 423-438.
- Kasper-Zubillaga, J. J., Carranza-Edwards, A., & Morales De la Garza, E. (2007b). Caracterización textural de la arena de playa del Golfo de California, México: Implicaciones para los procesos costeros y el relieve. *Ciencias marinas*, 33(1), 83-94.
- Klitgord, K. D., & Mammerickx, J. (1982). Northern East Pacific Rise: magnetic anomaly and bathymetric framework. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 87(B8), 6725-6750.
- Komar, P.D. (1976). *Beach Processes and sedimentation*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J.
- Krumbein, W. C., & Sloss, L. L. (1963). Properties of sedimentary rocks. *Stratigraphy and Sedimentation*, 106-113.
- Lipman, P. W. (1987). Rare-earth-element compositions of Cenozoic volcanic rocks in the southern Rocky Mountains and adjacent areas (No. 1668). USGPO,.
- Lizárraga-Arciniega, J. R., Martínez-Díaz-de-León, A., Torres-Navarrete, C. R., & Galindo-Bect, L. A. (2008). Respuesta multianual de la playa en la costa de Rosarito, Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 34(4), 513-521.
- Lowenstam, H. A., & Weiner, S. (1989). *On biomineralization*. Oxford University Press on Demand.
- Macdonald, R., Upton, B. G. J., & Thomas, J. E. (1973). Potassium-and fluorine-rich hydrous phase coexisting with peralkaline granite in South Greenland. *Earth and Planetary Science Letters*, 18(2), 217-222.
- Manilla, A. (2007). Sediment sources of beach sand from the southern coast of the Baja California peninsula, Mexico—Fourier grain-shape analysis. *Geological Society of America Special Papers*, 420, 297-318.
- Mielke, J. E. (1979). Composition of the Earth's crust and distribution of the elements. Review of research on modern problems in geochemistry: UNESCO Report, Paris, 13-37.

- Mina, U. F. (1957). Bosquejo geológico del territorio sur de la Baja California. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 9(3), 139-267.
- Mori, L., A. Gomez-Tuena, P. Schaaf, and G.F. Solis, (2009). Lithospheric Removal as a Trigger for Flood Basalt Magmatism in the Trans-Mexican Volcanic Belt. *Journal of Petrology* 50 (11):2157-2186.
- Murillo-Jiménez, J. M., Full, W., Nava-Sanchez, E. H., Camacho-Valdéz, V., & León-Manilla, A. (2007). Sediment sources of beach sand from the southern coast of the Baja California peninsula, Mexico—Fourier grain-shape analysis. *Geological Society of America Special Papers*, 420, 297-318.
- Murillo-Jiménez, J. M., Full, W., Nava-Sánchez, E. H., Camacho-Valdéz, V., & León-Nava, S., & Cruz-Orozco, R. (1989). Origen y evolución geomorfológica de la Laguna de La Paz, BCS, México. *Inv. Mar. CICIMAR*. 4 (1), 49-58.
- Nakamura, N. (1974). Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38(5), 757-775.
- Navarro, E., Daesslé, L. W., Camacho, V. F., Ortiz, M. C., & Gutiérrez, E. A. (2006). La geoquímica de Fe, Ti y Al como indicadora de la sedimentación volcanoclástica en la laguna costera de San Quintín, Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 32(2), 205-217.
- Nesbitt, H. W., & Young, G. M. (1982). Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 299(5885), 715-717.
- Nyakairu, G. W., & Koeberl, C. (2001). Mineralogical and chemical composition and distribution of rare earth elements in clay-rich sediments from central Uganda. *Geochemical Journal*, 35(1), 13-28.
- Ojeda-García, A. C (2016). Geología y magnetometría de las rocas máficas y ultramáficas en la sierra El Arco, Baja California, México, Tesis, Ensenada, Baja California, México, CICESE
- Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L. M., & Roldán-Quintana, J. (1992). Carta geológica de la República Mexicana. Consejo de Recursos Minerales y en el Instituto de Geología de la UNAM.
- Pérez Villegas, Graciela (1990). Atlas Nacional de México. Energía del viento dominante, UNAM-Instituto de Geografía. Carta VI I.I, México.
- Prowatke, S., & Klemme, S. (2005). Effect of melt composition on the partitioning of trace elements between titanite and silicate melt. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 69(3), 695-709.

Puchelt, H. (1972). Barium. Handbook of Geochemistry (Wedepohl, KH et al., eds.), 56B1–56O2.

Rodríguez-Meza, G. D. (2005). Caracterización geoquímica por componentes mayores y elementos traza de sedimentos de los ambientes marinos costeros adyacentes a la península de Baja California (Doctoral dissertation, Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas).

Rodríguez-Meza, G. D., Shumilin, E., Sapozhnikov, D., Méndez-Rodríguez, L., & Acosta-Vargas, B. (2009). Evaluación geoquímica de elementos mayoritarios y oligoelementos en los sedimentos de Bahía Concepción (BCS, México). Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 61(1), 57-72.

Rodríguez-Revelo, N., Rendón Márquez, G., Espejel, I., Jiménez Orocio, O., & Martínez Vázquez, M. L. (2014). Análisis de proveniencia de las arenas del complejo de dunas parabólicas El Socorro, Baja California, México, mediante una caracterización mineralógica y granulométrica. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 66(2), 355-363.

Rollinson, H. R. (1993). Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. 352p.

Roser, B. P., & Korsch, R. J. (1986). Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio. The Journal of geology, 94(5), 635-650.

Roser, B. P., & Korsch, R. J. (1988). Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. Chemical geology, 67(1-2), 119-139.

Sánchez, A., Choumiline, E., Estela López-Ortiz, B., Aguíñiga, S., Sánchez-Vargas, L., Romero-Guadarrama, A., & Rodríguez-Meza, D. (2010). Patrón de transporte de sedimento en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México, inferido del análisis de tendencias granulométricas. Latin american journal of aquatic research, 38(2), 167-177.

Schaaf, P., Böhnell, H., & Pérez-Venzor, J. A. (2000). Pre-Miocene palaeogeography of the Los Cabos Block, Baja California Sur: geochronological and palaeomagnetic constraints. Tectonophysics, 318(1), 53-69.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), (2016), <http://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-servicios-tecnicos/datos-viales/2016/>

Secretaria de Economía (SE), (2013), Perfil de mercado de la fosforita, Dirección General de Desarrollo Minero.

Servicio Geológico Mexicano (SGM), (1997a), Carta geológico–minera Guerrero Negro (G11-3), escala 1:50,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.

Servicio Geológico Mexicano (SGM), (1997b), Carta geológico–minera Santa Rosalía (G12-1), escala 1:50,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.

Servicio Geológico Mexicano (SGM), (1998a), Carta geológico–minera Isla San Esteban (H12-10), escala 1:50,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.

Servicio Geológico Mexicano (SGM), (1998b), Carta geológico–minera San Isidro (G12-4), escala 1:50,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.

Servicio Geológico Mexicano (SGM), (1999a), Carta geológico–minera (H11-3), escala 1:50,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.

Servicio Geológico Mexicano (SGM), (1999b), Carta geológico–minera La Paz (G12-10-11), escala 1:50,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.

Servicio Geológico Mexicano (SGM), (2000a), Carta geológico–minera Lázaro Cárdenas (H11-5-6), escala 1:50,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.

Servicio Geológico Mexicano (SGM), (2000b), Carta geológico–minera Villa Constitución (G12-7-8), escala 1:50,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.

Servicio Geológico Mexicano (SGM), (2002a), Carta geológico–minera Punta San Antonio (H11-9), escala 1:50,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.

Servicio Geológico Mexicano (SGM), (2002b), Carta geológico–minera Isla Ángel de la Guarda (H12-7), escala 1:50,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.

Servicio Geológico Mexicano (SGM), (2002c), Carta geológico–minera Isla Cedros (H11-12), escala 1:50,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.

Servicio Geológico Mexicano (SGM), (2002d), Carta geológico–minera Loreto (G12-5), escala 1:50,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.

Servicio Geológico Mexicano (SGM), (2002e), Carta geológico–minera San José del Cabo (F12-2-3-5-6), escala 1:50,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.

Servicio Geológico Mexicano (SGM), (2003), Carta geológico–minera Ensenada (H11-2), escala 1:50,000: Pachuca, México, Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 1 mapa.

Sitnin, A. (1966). Tantalum and Niobium concentration in granitoid micas of USSR. *Geochemistry International USSR*, 3(5), 843.

Taylor, S. R., & McLennan, S. M. (1985). The continental crust: its composition and evolution.

Terry, R. D., & Chilingar, G. V. (1955). Comparison charts for visual estimation of percentage composition. *Journal of Sediment Petrology*, 25, 229-234.

Tiepolo, M., Oberti, R., & Vannucci, R. (2002). Trace-element incorporation in titanite: constraints from experimentally determined solid/liquid partition coefficients. *Chemical Geology*, 191(1), 105-119.

Viacheslav, M. 2004. Modelación numérica de la circulación cuasi-estacionaria en el norte del Golfo de California. *GEOS*, Vol. 24, No. 2. México

Wedepohl, K.H., 1978. *Handbook of geochemistry*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.

Anexo 1: Conteo petrográfico

| Región | | T | B | LV | LS | LP | LM | Qm | Qp | Fk | Fp | RF | Ped | Mica | MP |
|--------|------|-------|------|-------|------|-------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|
| 1 | Prom | 94.9 | 5.1 | 32.7 | 16.9 | 30.0 | 20.4 | 38.0 | 2.6 | 0.8 | 23.4 | 28.0 | 0.7 | 1.9 | 4.7 |
| | Desv | 5.3 | 5.3 | 32.2 | 10.0 | 22.7 | 32.5 | 17.2 | 3.3 | 0.6 | 11.0 | 29.1 | 1.5 | 3.4 | 4.4 |
| | Máx | 100.0 | 14.0 | 85.1 | 28.6 | 64.7 | 68.0 | 54.7 | 8.0 | 1.7 | 37.3 | 90.5 | 4.0 | 9.4 | 11.7 |
| | Mín | 86.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.1 | 0.0 | 5.7 | 0.0 | 0.0 | 2.4 | 7.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2 | Prom | 78.4 | 21.6 | 82.2 | 8.3 | 1.3 | 0.0 | 20.9 | 0.1 | 0.1 | 15.4 | 57.8 | 0.1 | 0.0 | 5.6 |
| | Desv | 21.6 | 21.6 | 27.5 | 9.2 | 2.1 | 0.0 | 20.8 | 0.2 | 0.2 | 16.9 | 24.5 | 0.1 | 0.0 | 5.8 |
| | Máx | 100.0 | 65.0 | 100.0 | 26.0 | 7.0 | 0.0 | 60.4 | 0.7 | 0.7 | 50.0 | 98.0 | 0.4 | 0.0 | 19.3 |
| | Mín | 35.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 21.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3 | Prom | 79.6 | 20.4 | 14.2 | 15.2 | 68.5 | 2.0 | 40.0 | 0.1 | 15.0 | 21.1 | 22.2 | 0.2 | 0.3 | 1.3 |
| | Desv | 35.1 | 35.1 | 23.1 | 28.6 | 44.5 | 2.6 | 29.2 | 0.3 | 10.5 | 11.6 | 12.2 | 0.4 | 0.7 | 2.0 |
| | Máx | 100.0 | 84.0 | 61.4 | 73.3 | 100.0 | 6.3 | 94.6 | 1.0 | 24.0 | 35.0 | 39.0 | 1.0 | 2.0 | 5.3 |
| | Mín | 16.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 12.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 2.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 4 | Prom | 86.4 | 13.6 | 26.3 | 36.3 | 6.4 | 31.0 | 42.6 | 0.1 | 1.2 | 17.2 | 23.4 | 0.0 | 0.0 | 15.4 |
| | Desv | 18.3 | 18.3 | 27.7 | 21.7 | 7.9 | 19.3 | 14.2 | 0.1 | 0.7 | 7.7 | 18.6 | 0.1 | 0.0 | 20.2 |
| | Máx | 100.0 | 62.0 | 72.0 | 62.8 | 25.8 | 74.2 | 60.7 | 0.3 | 2.0 | 27.0 | 70.9 | 0.3 | 0.0 | 67.3 |
| | Mín | 38.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 12.0 | 18.4 | 0.0 | 0.0 | 7.0 | 3.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5 | Prom | 98.8 | 1.2 | 58.9 | 20.2 | 4.9 | 16.0 | 35.4 | 0.6 | 0.4 | 20.4 | 21.1 | 0.3 | 0.7 | 21.2 |
| | Desv | 3.5 | 3.5 | 28.2 | 12.0 | 6.2 | 26.7 | 17.8 | 0.6 | 0.5 | 7.8 | 16.9 | 0.5 | 0.7 | 27.0 |
| | Máx | 100.0 | 12.0 | 92.7 | 43.2 | 18.1 | 82.8 | 52.7 | 2.0 | 1.3 | 33.7 | 64.0 | 1.3 | 2.0 | 84.7 |
| | Mín | 88.0 | 0.0 | 4.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7.3 | 2.7 | 0.0 | 0.0 | 0.7 |

T=terrígeno, B=biogénico, LV=lítico volcánico, LS=lítico sedimentario, LM=lítico metamórfico, QM=cuarzo monocristalino, QP=cuarzo policristalino, Fk=feldespatos potásico, Fp=feldespatos plagioclasa, RF=Fragmento de Roca, Ped=pedernal, MP=mineral pesado, Prom=promedio, Desv=desviación estándar, Max=máximo, Min=mínimo

Anexo 2: Análisis Geoquímico

Elementos mayores (% en peso)

| Región | | %SiO ₂ | %Al ₂ O ₃ | %TiO ₂ | %Fe ₂ O ₃ | %MnO | %MgO | %CaO | %Na ₂ O | %K ₂ O | %P ₂ O ₅ |
|--------|------|-------------------|---------------------------------|-------------------|---------------------------------|------|------|------|--------------------|-------------------|--------------------------------|
| 1 | Prom | 73.2 | 12.1 | 0.6 | 2.3 | 0.1 | 0.7 | 7.0 | 2.3 | 1.5 | 0.3 |
| | Desv | 7.9 | 2.9 | 0.7 | 1.7 | 0.0 | 0.7 | 5.2 | 0.9 | 0.4 | 0.2 |
| | Máx | 84.5 | 15.6 | 2.1 | 5.0 | 0.1 | 1.9 | 18.7 | 3.6 | 2.2 | 0.7 |
| | Mín | 58.7 | 6.2 | 0.1 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 4.2 | 0.8 | 1.1 | 0.1 |
| 2 | Prom | 33.5 | 9.9 | 0.3 | 2.8 | 0.0 | 2.5 | 46.0 | 1.8 | 0.7 | 2.4 |
| | Desv | 24.9 | 7.4 | 0.3 | 2.6 | 0.0 | 1.3 | 33.8 | 1.5 | 0.7 | 1.4 |
| | Máx | 74.6 | 19.9 | 1.0 | 8.5 | 0.1 | 4.8 | 90.0 | 3.9 | 2.0 | 4.2 |
| | Mín | 2.6 | 0.5 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 6.4 | 0.2 | 0.0 | 0.6 |
| 3 | Prom | 62.7 | 11.3 | 0.1 | 0.7 | 0.0 | 0.5 | 19.0 | 2.1 | 2.8 | 0.8 |
| | Desv | 26.8 | 5.0 | 0.1 | 0.4 | 0.0 | 1.0 | 31.5 | 1.3 | 2.3 | 1.5 |
| | Máx | 79.4 | 16.7 | 0.2 | 1.4 | 0.0 | 2.2 | 76.1 | 4.6 | 7.2 | 3.6 |
| | Mín | 14.6 | 2.5 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 1.4 | 0.2 | 0.1 | 0.0 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| 4 | Prom | 68.4 | 12.1 | 0.6 | 2.6 | 0.1 | 0.7 | 10.0 | 2.4 | 1.3 | 1.9 |
| | Desv | 8.8 | 2.5 | 1.0 | 2.7 | 0.1 | 1.0 | 9.0 | 0.6 | 0.5 | 2.0 |
| | Máx | 78.1 | 16.2 | 3.3 | 8.1 | 0.3 | 2.9 | 34.4 | 3.3 | 2.3 | 6.8 |
| | Min | 54.2 | 6.8 | 0.1 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | 4.0 | 1.5 | 0.6 | 0.1 |
| 5 | Prom | 69.7 | 11.7 | 1.5 | 6.7 | 0.1 | 1.6 | 5.3 | 2.1 | 1.1 | 0.3 |
| | Desv | 9.9 | 1.7 | 1.8 | 6.3 | 0.1 | 2.3 | 1.9 | 0.7 | 0.4 | 0.5 |
| | Máx | 80.1 | 14.4 | 6.1 | 19.8 | 0.4 | 8.1 | 9.8 | 3.1 | 1.7 | 1.8 |
| | Min | 47.6 | 8.8 | 0.1 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 3.4 | 0.6 | 0.4 | 0.0 |

Prom=promedio, Desv=desviación estándar, Max=máximo, Min=mínimo

Elementos de tierras raras ($\mu\text{g/g}$)

| Región | | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Tb | Gd | Dy | Ho | Er | Yb | Lu |
|--------|------|-------|-------|------|-------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|
| 1 | Prom | 39.7 | 85.1 | 11.4 | 42.8 | 8.4 | 1.6 | 1.0 | 6.8 | 5.1 | 0.9 | 2.5 | 2.2 | 0.3 |
| | Desv | 58.8 | 133.2 | 18.4 | 68.6 | 13.3 | 1.6 | 1.4 | 10.2 | 7.1 | 1.2 | 3.2 | 2.7 | 0.3 |
| | Máx | 170.8 | 383.0 | 52.5 | 196.5 | 38.2 | 5.1 | 4.1 | 29.5 | 20.8 | 3.5 | 9.4 | 8.0 | 1.1 |
| | Min | 5.6 | 10.3 | 1.2 | 5.0 | 1.0 | 0.4 | 0.1 | 0.9 | 0.6 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 0.1 |
| 2 | Prom | 8.7 | 16.9 | 2.2 | 9.1 | 1.9 | 0.6 | 0.2 | 1.8 | 1.4 | 0.3 | 0.8 | 0.7 | 0.1 |
| | Desv | 7.1 | 13.5 | 1.8 | 7.2 | 1.5 | 0.5 | 0.2 | 1.4 | 1.2 | 0.2 | 0.6 | 0.6 | 0.1 |
| | Máx | 19.5 | 38.3 | 5.1 | 19.9 | 4.0 | 1.3 | 0.6 | 3.8 | 3.4 | 0.7 | 1.8 | 1.7 | 0.2 |
| | Min | 0.8 | 2.1 | 0.2 | 1.2 | 0.2 | 0.1 | 0.0 | 0.3 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.0 |
| 3 | Prom | 11.2 | 19.2 | 2.3 | 8.5 | 1.5 | 0.8 | 0.2 | 1.3 | 0.9 | 0.2 | 0.5 | 0.5 | 0.1 |
| | Desv | 9.2 | 17.4 | 2.0 | 6.6 | 1.1 | 0.5 | 0.1 | 0.8 | 0.6 | 0.1 | 0.3 | 0.2 | 0.0 |
| | Máx | 31.1 | 59.0 | 7.0 | 24.2 | 4.2 | 1.7 | 0.5 | 3.3 | 2.3 | 0.4 | 1.1 | 1.0 | 0.2 |
| | Min | 3.1 | 5.3 | 0.6 | 2.9 | 0.5 | 0.2 | 0.1 | 0.6 | 0.5 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 0.0 |
| 4 | Prom | 15.8 | 30.5 | 4.2 | 16.8 | 3.7 | 1.0 | 0.5 | 3.5 | 3.3 | 0.7 | 1.9 | 1.9 | 0.3 |
| | Desv | 13.6 | 30.6 | 4.3 | 17.4 | 4.0 | 0.7 | 0.6 | 3.7 | 3.5 | 0.7 | 2.1 | 2.4 | 0.4 |
| | Máx | 52.7 | 115.3 | 16.1 | 65.0 | 14.7 | 2.9 | 2.1 | 13.8 | 13.2 | 2.7 | 7.9 | 8.6 | 1.3 |
| | Min | 5.1 | 9.3 | 1.2 | 5.0 | 1.0 | 0.4 | 0.2 | 1.1 | 0.9 | 0.2 | 0.6 | 0.5 | 0.1 |
| 5 | Prom | 17.2 | 39.7 | 5.7 | 23.5 | 5.7 | 0.8 | 0.9 | 5.7 | 6.0 | 1.3 | 3.6 | 3.9 | 0.6 |
| | Desv | 14.7 | 35.0 | 5.1 | 20.3 | 4.8 | 0.2 | 0.7 | 4.5 | 4.7 | 1.0 | 2.9 | 3.2 | 0.5 |
| | Máx | 48.4 | 105.5 | 15.8 | 64.1 | 14.3 | 1.4 | 2.2 | 13.7 | 14.4 | 2.9 | 8.3 | 9.6 | 1.7 |
| | Min | 5.5 | 10.6 | 1.4 | 5.9 | 1.3 | 0.7 | 0.2 | 1.3 | 1.3 | 0.3 | 0.8 | 0.8 | 0.1 |

Prom=promedio, Desv=desviación estándar, Max=máximo, Min=mínimo

Elementos traza ($\mu\text{g/g}$)

| Región | | Sc | V | Cr | Co | Ni | Cu | Zn | Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Cs | Ba | Hf | Ta | Pb | Th | U |
|--------|------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|------|-----|--------|-------|-----|------|------|------|
| 1 | Prom | 5.8 | 47.0 | 36.1 | 4.6 | 10.4 | 42.2 | 44.9 | 37.6 | 427.0 | 26.6 | 119.5 | 14.5 | 1.2 | 720.2 | 3.0 | 1.5 | 16.4 | 10.5 | 2.4 |
| | Desv | 6.4 | 39.2 | 29.0 | 3.3 | 7.5 | 43.8 | 27.5 | 14.4 | 112.6 | 34.9 | 83.9 | 22.4 | 0.4 | 145.1 | 2.0 | 2.6 | 7.3 | 15.2 | 3.0 |
| | Máx | 18.2 | 116.2 | 82.4 | 9.5 | 22.8 | 129.3 | 85.8 | 59.3 | 602.3 | 102.7 | 285.5 | 64.4 | 1.7 | 940.8 | 6.3 | 7.2 | 29.9 | 44.3 | 9.1 |
| | Mín | 0.0 | 7.3 | 4.9 | 1.1 | 2.5 | 4.0 | 14.4 | 21.1 | 300.4 | 3.0 | 41.1 | 1.7 | 0.7 | 490.0 | 1.0 | 0.2 | 6.5 | 1.8 | 0.6 |
| 2 | Prom | 7.2 | 69.2 | 36.6 | 8.1 | 18.2 | 51.5 | 37.7 | 13.3 | 2009.0 | 8.5 | 57.5 | 3.1 | 0.4 | 321.8 | 1.3 | 0.2 | 10.5 | 1.1 | 1.3 |
| | Desv | 8.7 | 72.3 | 32.9 | 5.8 | 6.9 | 47.0 | 25.2 | 11.4 | 935.5 | 6.5 | 47.8 | 3.0 | 0.4 | 266.1 | 1.2 | 0.2 | 7.8 | 0.9 | 0.3 |
| | Máx | 30.8 | 243.7 | 111.0 | 22.1 | 32.7 | 135.4 | 73.5 | 32.1 | 3252.6 | 20.0 | 143.7 | 8.6 | 1.3 | 700.6 | 3.3 | 0.5 | 24.3 | 2.6 | 1.9 |
| | Mín | 0.0 | 2.6 | 5.7 | 1.8 | 12.3 | 2.7 | 7.0 | 1.9 | 894.8 | 1.4 | 7.6 | 0.2 | 0.0 | 21.2 | 0.1 | 0.0 | 1.1 | 0.2 | 0.8 |
| 3 | Prom | 0.9 | 11.2 | 8.2 | 1.8 | 4.3 | 29.2 | 19.0 | 67.8 | 931.5 | 5.3 | 51.1 | 1.8 | 1.2 | 1372.2 | 1.3 | 0.2 | 21.4 | 3.2 | 1.0 |
| | Desv | 1.5 | 9.1 | 4.9 | 0.8 | 3.8 | 26.9 | 5.5 | 44.1 | 1064.5 | 2.7 | 21.4 | 1.1 | 0.6 | 1415.8 | 0.6 | 0.1 | 10.1 | 2.6 | 0.5 |
| | Máx | 4.6 | 31.5 | 16.4 | 3.0 | 10.8 | 66.5 | 28.9 | 132.7 | 2952.8 | 11.0 | 76.0 | 3.7 | 2.4 | 4617.9 | 1.9 | 0.4 | 39.2 | 8.4 | 2.1 |
| | Mín | 0.0 | 2.2 | 3.0 | 0.7 | 1.2 | 3.4 | 12.7 | 8.4 | 184.2 | 2.7 | 16.7 | 0.7 | 0.3 | 109.8 | 0.3 | 0.0 | 7.8 | 0.7 | 0.5 |
| 4 | Prom | 7.5 | 47.8 | 57.2 | 4.7 | 7.7 | 5.7 | 27.7 | 34.0 | 502.5 | 21.9 | 296.0 | 6.2 | 0.9 | 502.6 | 7.0 | 0.5 | 9.0 | 3.2 | 3.4 |
| | Desv | 10.8 | 56.4 | 100.9 | 4.3 | 5.0 | 5.5 | 21.1 | 15.2 | 245.4 | 22.5 | 706.6 | 9.9 | 0.6 | 153.3 | 16.5 | 0.8 | 2.1 | 2.4 | 3.3 |
| | Máx | 37.3 | 203.2 | 342.5 | 16.4 | 21.2 | 21.1 | 85.2 | 62.6 | 1171.9 | 84.1 | 2305.7 | 34.3 | 2.3 | 753.0 | 53.8 | 2.9 | 12.7 | 9.6 | 10.6 |
| | Mín | 0.6 | 11.7 | 13.0 | 1.7 | 4.1 | 2.5 | 11.7 | 17.1 | 305.0 | 6.7 | 45.1 | 1.6 | 0.4 | 272.4 | 1.1 | 0.1 | 5.5 | 1.3 | 0.7 |
| 5 | Prom | 20.5 | 156.0 | 48.6 | 11.1 | 10.6 | 14.5 | 60.0 | 26.6 | 245.0 | 36.2 | 722.4 | 10.2 | 0.7 | 381.2 | 17.7 | 0.9 | 7.5 | 5.9 | 2.0 |
| | Desv | 20.7 | 154.6 | 40.3 | 10.2 | 7.0 | 12.1 | 47.9 | 9.7 | 57.6 | 29.0 | 1665.5 | 12.0 | 0.3 | 145.1 | 40.1 | 1.0 | 1.5 | 6.6 | 2.2 |
| | Máx | 74.7 | 467.6 | 122.1 | 38.0 | 25.7 | 40.2 | 170.0 | 40.5 | 331.0 | 84.1 | 5916.1 | 40.2 | 1.2 | 623.6 | 142.6 | 3.2 | 10.0 | 20.4 | 7.6 |
| | Mín | 3.1 | 23.4 | 9.9 | 2.8 | 3.1 | 2.7 | 17.5 | 5.8 | 132.1 | 7.2 | 45.4 | 1.7 | 0.2 | 87.2 | 1.2 | 0.2 | 4.0 | 1.6 | 0.5 |

Prom=promedio, Desv=desviación estándar, Max=máximo, Min=mínimo