



Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología

Universidad Nacional Autónoma de México



**ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO DE ARENAS DE PLAYA
DEL ESTADO DE GUERRERO, MÉXICO.**

T E S I S

que para obtener el grado académico de

Maestro en Ciencias
(Geología Marina)

P r e s e n t a

ING. LUIS ALONSO ALVARADO HERNÁNDEZ

Director de tesis: DR. ARTURO CARRANZA EDWARDS

Comité tutorial: DRA. ELENA CENTENO GARCÍA
DR. JUAN JOSÉ KASPER ZUBILLAGA
DRA. MARÍA TERESA RAMÍREZ HERRERA
DR. ARMSTRONG ALTRIN SAM JOHN SELVAMONY

México, D.F. 2011



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.

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México la oportunidad de formar parte de esta institución cuya historia y prestigio nos llena de orgullo a todos los mexicanos, agradezco el privilegio de pertenecer a esta comunidad y correspondo con este trabajo con la firme convicción de colaborar responsable y éticamente con la sociedad.

Agradezco a mi tutor Dr. Arturo Carranza Edwards por permitirme participar en el Proyecto 111 del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología: “Sedimentología de playas de México”, de igual forma su invaluable apoyo para la realización de esta tesis, por su entusiasmo, compromiso, el tiempo y recursos invertidos.

Al comité tutorial integrado por la Dra. Elena Centeno García, la Dra. María Teresa Ramírez Herrera, el Dr. Juan José Kasper Zubillaga y el Dr. Armstrong Altrin Sam John Selvamony, agradezco su valiosa colaboración y la orientación que recibí de su parte para la realización de esta tesis.

A las autoridades del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, encabezados por la directora Dra. Ma. T. Leticia Rosales Hoz y el secretario académico Dr. Frank Raúl Gío Argáez, agradezco las facilidades prestadas y el apoyo proporcionado permitiéndome hacer uso de las instalaciones, material y equipo durante mi estancia en dicha institución.

Agradezco al Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM coordinado por la Dra. Gloria Vilaclara Fatjó, la M. en C. Diana Juárez Bustos, la Mtra. Chantal G. Ruiz Guerrero, Guadalupe Godoy Medina y Gabriela Almaraz Mejía, por el continuo apoyo y los estímulos para realizar mis estudios de maestría.

Al Laboratorio de Sedimentología del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología correspondo con un agradecimiento por las facilidades otorgadas para la realización de los estudios granulométricos y petrográficos, el apoyo recibido por parte de Adriana Vega y Ricardo Martínez, así como al M. en C. Eduardo Morales de la Garza por su participación activa y los comentarios que permitieron mejorar este trabajo.

Al Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X del Instituto de Geología de la UNAM, al Quím. Rufino Lozano Santa Cruz y la Quím. Patricia Girón García por las facilidades otorgadas para la realización de los estudios de fluorescencia de rayos X para la determinación de elementos mayores y traza.

Al Laboratorio ICP-MS (espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo) del Instituto de Geofísica de la UNAM, a la Dra. Ofelia Morton Bermea y la M. en C. Elizabeth Hernández Álvarez por las facilidades otorgadas para la realización de los estudios para la obtención de los elementos de la serie lantánidos (REE).

Al Laboratorio de Química del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, a la QFB. Susana Santiago Pérez y al M. en C. Omar Celis Hernández, agradezco su colaboración al permitirme hacer uso de las instalaciones y equipo para la molienda de muestras.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología agradezco la otorgación de la beca y servicios de salud durante el periodo de 2009-2010.

Agradezco a mis compañeras del posgrado, Mayumi Cabrera, Ana Marín y Marlene Olivares, por el continuo enriquecimiento de ideas y su colaboración especial, de igual forma a mis compañeros y compañeras Mario Islas, Nubia H. Ferreira, Joaquín R. Martínez y Circe González por su apoyo y colaboración con el intercambio de conocimientos.

INDICE

	PÁGINA
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
ANTECEDENTES	4
HIPOTESIS Y OBJETIVOS	7
Objetivo general	7
Objetivos particulares	7
Hipótesis	7
ÁREA DE ESTUDIO	8
Clima	9
Dinámica costera	11
Unidades litológicas	12
Sismicidad	15
MATERIALES Y MÉTODOS	17
Muestreo	17
Análisis fisiográfico y de cuencas	19
Análisis granulométrico	19
Petrografía	20
Geoquímica de elementos mayores y traza	21
Tierras Raras	22
ANÁLISIS DE RELIEVE Y LITOLOGIA	23
Región Ixtapa-Zihuatanejo	24
Región Coyuquilla- Petatlán	26
Región Atoyac- Coyuca	28
Región Papagayo- Nexpa	31
ANÁLISIS TEXTURAL DE ARENAS DE PLAYA	34
Tracción, saltación y suspensión de las arenas	40
PETROGRAFÍA	45
GEOQUÍMICA	52
Elementos mayores	52
Elementos traza	60
Tierras Raras	64
CONCLUSIONES	70
BIBLIOGRAFÍA	73
ANEXOS	80

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Área de estudio.	8
Figura 2. Climas en el área de estudio, simbología en Tabla 1 (modificado de García, 1998).	9
Figura 3. Dirección dominante de corrientes marinas superficiales en el cuadrante 16.2-18.2 N, 100.2- 98.2 O. (modificado de Bonjean y Lagerloef, 2002).	12
Figura 4. Litología generalizada del área de estudio tomada de las cartas escala 1:250 000 del Servicio Geológico Mexicano (Campa-Uranga <i>et al.</i> , 1998; Rivera-Carranza <i>et al.</i> , 1999; Montiel-Escobar <i>et al.</i> , 2000; Cruz-López <i>et al.</i> , 2000; Barrios-Rodríguez <i>et al.</i> , 2002).	13
Figura 5. Brecha Sísmica de Guerrero (tomado de Kostoglodov y Pacheco, 1999).	16
Figura 6.- Terminología del perfil de playa (tomado de Carranza-Edwards y Caso-Chávez, 2009).	17
Figura 7.- Ubicación de los sitios de muestreo de playas y ríos.	17
Figura 8. Microscopio petrográfico utilizado.	20
Figura 9. Ilustración del procedimiento para el conteo de minerales en lámina delgada.	21
Figura 10. Cuencas La Unión, Ixtapa, sistemas de microcuencas costeras y secciones topográficas A-A' y B-B'.	24
Figura 11. Unidades litológicas de la región Ixtapa-Zihuatanejo (modificado de Rivera-Carranza <i>et al.</i> ; 1999, Montiel-Escobar <i>et al.</i> , 2000; Barrios-Rodríguez <i>et al.</i> , 2002).	25
Figura 12. Cuencas San Jerónimo y Petatlán, Coyuquilla, Rio Grande, Nuxco, El Porvenir y Arroyo de Jalachuco y secciones topográficas A2-A2', B2-B2' y C2-C2'.	26
Figura 13. Unidades litológicas. Región Coyuquilla-Petatlán (modificado de Rivera-Carranza <i>et al.</i> , 1999).	27
Figura 14. Cuencas Tecpan-Rio Frio, Atoyac, Tepetixtla, Sabana, Coyuca y Miltla y secciones topográficas A3-A3' y B3-B3'.	28
Figura 15. Sección a lo largo de los ríos Atoyac y Tecpan.	29
Figura 16. Unidades litológicas. Región Atoyac-Coyuca (modificado de Rivera-Carranza <i>et al.</i> , 1999; Cruz-López <i>et al.</i> , 2000).	30

Figura 17. Cuencas Papagayo-Omitan-Azul, Marquelia-San Luis, Nexpa, Copala, Jalapa, Agua Zarca y San Marcos, La Estancia y secciones topográficas A4-A4', B4-B4' y C4-C4'.	32
Figura 18. Unidades litológicas. Región Papagayo-Nexpa (modificado de Campa-Uranga <i>et al.</i> , 1998; Cruz-López <i>et al.</i> , 2000).	33
Figura 19. Tamaño medio de grano y desviación gráfica inclusiva: a) Total de las muestras, b) excluyendo la muestra 8	36
Figura 20. Variación espacial de los parámetros texturales. a) Tamaño de grano ($Mz\phi$); b) Desviación estándar gráfica inclusiva ($\sigma\phi$); c) Grado de asimetría (Ski); d) Curtosis gráfica (Kg).	38
Figura 21. Ejemplo de gráfica de distribución normal estándar y poblaciones en suspensión y saltación (Visher, 1969). Las gráficas correspondientes a todas las muestras aparecen en el Anexo A.	41
Figura 22. Microfotografías de algunos componentes: a) Lítico metamórfico (muestra 12 s); b) Lítico plutónico compuesto por piroxenos y plagioclasa (muestra 7s); c) Mirmekita (intercrecimiento de cuarzo y feldespato) probablemente derivado de una roca plutónica (muestra 7s); d) Fragmento de roca volcánica (muestra 1s).	45
Figura 23. Variación espacial de la composición mineral de las arenas de playa, líneas punteadas representan los valores de la media y desviación estándar, la simbología de los puntos como en la figura 20.	48
Figura 24. Diagrama de clasificación de Folk (1974) para muestras de Guerrero. 1) Cuarzoarenita; 2) Subfeldsarenita; 3) Sublitarenita; 4) Feldsarenita; 5) Feldsarenita lítica; 6) Litarenita félsica; 7) Litarenita. Ct: Cuarzo total, Ft: Feldespato total, Lt: Líticos totales.	50
Figura 25. Relación potasio:sodio contra silicio:aluminio (como en Armstrong-Altrin, 2009), para muestras de arena de playa y muestras de río, se muestran el promedio de algunas rocas graníticas (PRG) y de algunas rocas metamórficas (PRM) que afloran en las cuencas del área de estudio (Talavera-Mendoza y Guerrero-Suástegui, 2000, Hernández-Pineda, 2006; Hernández-Pineda, 2009; Pérez-Gutiérrez <i>et al.</i> , 2009; Martini <i>et al.</i> , 2010).	55
Figura 26. Diagrama de clasificación química para muestras de Guerrero según Herron (1988): 1. Arena de hierro, 2. Grauvaca, 3. Litarenita, 4. Arcosa, 5. Subarcosa, 6. Sublitarenita, 7. Cuarzoarenita, 8. Lutita de hierro, 9. Lutita. a) Gráfica de resultados; b) Ampliación con etiquetas de puntos de muestreo.	57
Figura 27. Diagrama de discriminación de ambiente tectónico (Bhatia, 1983). 1. Margen pasivo, 2. Arco continental, 3. Margen activo, 4 Arco de islas. a) Gráfica de resultados; b) Ampliación con etiquetas de puntos de muestreo. Funciones discriminantes en el anexo B.	59
Figura 28. Diagrama de procedencia (Roser y Korsch, 1988); 1. Procedencia sedimentaria cuarzosa, 2. Ígnea félsica, 3. Ígnea intermedia, 4. Ígnea máfica. Funciones discriminantes en el anexo B.	60

Figura 29. Variación de elementos traza de arenas de Guerrero en la subzona de mesoplaya, normalizados con los valores de la corteza continental superior (UCC) según Taylor y McLennan (1985).	63
Figura 30. Patrón de elementos de la serie lantánidos (tierras raras) Normalizado a la condrita (McDonough y Sun, 1995). a) muestras con anomalías negativas de europio; b) muestras con anomalías positivas de europio y muestra 5 sin anomalía de europio; c) muestras sin anomalía de europio; d) muestras sin relación aparente con el resto de las playas.	65
Figura 31. Análisis clúster (método de Ward distancias City-block (Manhattan)).	66
Figura 32. Correlaciones entre hierro- titanio, vanadio- titanio, rubidio- potasio y silicio- aluminio, para sedimentos de arena de playa de Guerrero.	69

INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Resumen y simbología de Climas en la región circundante al área de estudio (Tomado de García, 1998).	10
Tabla 2. Localización de playas muestreadas.	18
Tabla 3. Localización de puntos de muestreo de ríos.	19
Tabla 4. Límites de detección de elementos mayores y traza del equipo empleado (Siemens SRS 3000).	22
Tabla 5. Parámetros texturales de los sedimentos obtenidos aplicando las formulas propuestas por Folk (1974).	34
Tabla 6. Resultados de análisis gráfico y analítico de las curvas de distribución normal estándar. Poblaciones en transporte por tracción, saltación y suspensión (Visher, 1969).	42
Tabla 7. Resultados (%) del conteo modal mineralógico y petrográfico.	46
Tabla 8. Resultados (%) del análisis geoquímico de elementos mayoritarios para las arenas de playa del estado de Guerrero (en porcentaje).	53
Tabla 9. Resultados (%) del análisis geoquímico de elementos mayores para muestras de rio del estado de Guerrero.	54
Tabla 10. Resultados (ppm) del análisis geoquímico de elementos traza para las arenas de playa del estado de Guerrero.	61
Tabla 11. Resultados (ppm) del análisis geoquímico de elementos traza para muestras de río del estado de Guerrero.	62
Tabla 12. Tierras raras (ppm) en los sedimentos de mesoplaya.	64

RESUMEN

En este trabajo se analizan 39 muestras de arenas recientes de playas para 13 localidades del estado de Guerrero, una para cada sub-zona de playa: infraplaya, mesoplaya y supraplaya. Se consideran las principales características del relieve y la litología de las regiones hidrográficas asociadas, las que están constituidas por vertientes escarpadas de la Sierra Madre del Sur con algunas colinas hacia la planicie costera. En los sedimentos predominan arenas medias, moderadamente clasificadas, simétricas y mesocúrticas; compuestas principalmente por fragmentos de cuarzo, feldespatos potásicos, plagioclasas, líticos plutónicos y metamórficos, con algunas muestras ricas en minerales pesados. Los elementos mayores muestran un enriquecimiento en sílice y deficiencia de aluminio, lo que parece deberse, aparte de la litología del área fuente, a las condiciones de alta energía para la mayor parte de las localidades. La relación potasio:sodio revela la influencia de rocas ácidas. Los diagramas de discriminación de ambiente tectónico y procedencia separan en dos grupos a las arenas, uno con características de margen activo y el otro de margen pasivo. En mesoplaya se observaron valores altos de Nb, Cr y Co, y en infraplaya concentraciones bajas de Sr, Ba, V, Cr, Ni y Zn, mientras que en supraplaya no se observó alguna tendencia en particular. El análisis estadístico destaca las correlaciones positivas entre vanadio y titanio, hierro y titanio, rubidio y potasio, bario y potasio, las cuales dependen de su composición petrográfica. El patrón de tierras raras para los sedimentos de mesoplaya permite asociarlos en tres grupos en función de las anomalías de europio. Se pudieron establecer regiones litorales: 1) la región occidental donde la composición de las arenas indica que la roca fuente es una combinación de rocas intrusivas ácidas y básicas y el tamaño de grano tiende a ser fino, 2) la región central, donde la procedencia coincide con la composición de la roca fuente, ya que abundan afloramientos de rocas graníticas y 3) la región oriental donde las rocas metamórficas son la principal fuente de sedimentos que se refleja también en su composición petrográfica y en partículas de tamaño fino. Del presente estudio se concluye que las arenas de playa pueden utilizarse para realizar reconstrucciones de la composición de la roca fuente.

Palabras claves: Sedimentos, playas, estado de Guerrero, Pacífico sur mexicano, procedencia, texturas, petrología, geoquímica.

INTRODUCCIÓN

El ambiente costero es de gran interés por la importancia de los procesos geológicos, que ahí tienen lugar. Diversos autores han estudiado las variaciones de características texturales y composicionales de sedimentos de la zona costera (Carranza-Edwards, 2001; Carranza-Edwards *et al.*, 2001; Kasper-Zubillaga y Carranza-Edwards, 2005; Kasper-Zubillaga, 2007; Kasper-Zubillaga y Zolezzi-Ruiz, 2007; Carranza-Edwards *et al.*, 2009), los cuales pueden contribuir a la interpretación de ambientes deposicionales del pasado.

La interacción entre el mar y el continente involucra fenómenos que han llamado la atención de las personas, desde el bañista que disfruta del sol y la playa, hasta el científico que estudia las relaciones más abstractas entre los procesos océano-tierra. En la zona costera hay importantes interacciones entre océano y continente, ya que el mar se ve influenciado por el continente y viceversa. En dicha zona existen diversos procesos (físicos, químicos, biológicos, geológicos, atmosféricos, *etc.*) cuyo alcance resulta variable en el tiempo y en el espacio.

Uno de los ambientes de la zona costera es el de playa el cual también es altamente variable al igual que sus límites. Se trata de una franja a lo largo de la línea de costa de material no consolidado (Komar, 1976), que cambia en función de diversos factores ambientales, como el clima, las corrientes de agua superficial y el nivel del mar, condiciones espaciales como el relieve, ambiente tectónico y ubicación geográfica, también existen condiciones temporales en escala de horas, días, meses o unidades de tiempo geológico que modifican el litoral. Además existen diferencias morfológicas evidentes en las líneas de costa, que pueden verse como acantilados de pendientes muy abruptas o como playas con aspecto más suave, pueden desarrollar deltas, islas de barrera, manglares, estuarios, marismas, lagunas costeras, dunas, *etc.*, una amplia variedad de formas se generan cuando se encuentra el océano con el continente.

La morfología de las costas está estrechamente relacionada con los procesos de erosión, transporte y depósito de sedimentos; el oleaje continuo desgasta las rocas que se encuentran en la línea de costa y las corrientes litorales se encargan de distribuir los sedimentos procedentes de descargas fluviales, la composición es un reflejo exacto de la

fuelle de la cual proceden, los sedimentos se depositan en la costa debido principalmente a los procesos de transporte desde la roca que los ha generado, de igual forma, el tamaño de grano es el reflejo directo de la energía que actúa durante el transporte y en el lugar donde se depositan (Davis y Fitzgerald, 2004).

México cuenta con más de 11,000 km de costas y se ubica dentro de los primeros 15 países a nivel mundial por su extensión litoral. La costa del pacífico tiene un desarrollo de más de 7 700 km de costa frontal, compuesta en un 70 % por sedimentos arenosos y cerca del 30 % de litoral rocoso (Ortiz-Pérez y De la Lanza-Espino 2006).

La importancia de estudiar las características composicionales de sedimentos en ambientes recientes es que brinda información acerca de una parte fundamental en el ciclo geológico, permite la comprensión de los fenómenos asociados con la erosión, transporte y depósito, sus relaciones con factores como la tectónica activa, el clima el relieve, la dinámica del ambiente costero y las implicaciones científicas, ambientales y económicas que esto representa.

ANTECEDENTES

Las regiones costeras en el mundo, han sido estudiadas ampliamente, muchos autores han propuesto clasificaciones para su estudio, Inman y Nordstrom (1971) proponen una clasificación según grandes efectos de tectónica de placas, agrupándolas en tres categorías principales: costas de choque, costas de eje de arrastre y costas de mares marginales. Shepard (1973) propone una clasificación genética y geomorfológica extensa y detallada que es muy usada, a partir de dos clases principales: costas primarias y costas secundarias.

Las costas mexicanas han sido clasificadas por Carranza-Edwards *et al.* (1975), estableció nueve unidades morfo-tectónicas continentales costeras combinando la clasificación de Inman y Nordstrom (1971) y la de Shepard (1973). Ortiz-Pérez y Espinosa-Rodríguez (1991), proponen una clasificación geomorfológica para el litoral mexicano con cinco categorías: costas erosivas (costa rocosa), costas abrasivas-acumulativas (costa mixta), costas acumulativas (playas bajas arenosas), costas acumulativas (costas potamogénicas y de marismas) y costas biogénicas. Dentro de los análisis geomorfológicos, existe información regional en torno a las costas del pacífico mexicano, Ortiz-Pérez y De la Lanza-Espino (2006), han regionalizado las costas de México desde el punto de vista geomorfológico y morfoestructural.

Las playas del litoral mexicano se han descrito por Carranza-Edwards (2001), quien analiza las interacciones entre el tamaño de grano y clasificación de arenas de la playa y su relación con el ancho de la llanura costera en 274 localidades distribuidas a lo largo de las costas mexicanas, en el Pacífico, Golfo de México y Caribe. Las arenas más finas y mejor clasificadas, se asocian con una mayor llanura costera.

Carranza-Edwards *et al.* (2001), analizaron 29 localidades de playa en el Pacífico mexicano, con énfasis en la relación existente entre la concentración de minerales pesados y las variaciones en metales y elementos de tierras raras. Encontraron que el contenido más alto de minerales pesados se asocia más con un clima húmedo que con un clima árido, los elementos Zn, Hf, Th, Ni, y Cr son los que más se asocian con minerales pesados.

Las costas pertenecientes al Mar de Cortés y la península de Baja California se han descrito en ambientes de playa y dunas (Kasper-Zubillaga y Zolezzi-Ruiz, 2007; Kasper-Zubillaga *et al.*, 2007; Kasper-Zubillaga *et al.*, 2008 a; Kasper-Zubillaga *et al.*, 2008 b; Kasper-Zubillaga, 2009), se ha observado una relación de los parámetros texturales con la morfología de las costas, principalmente a las pendientes de las playas y la amplitud de la llanura costera. Los minerales pesados y su relación con elementos de la serie lantánidos (tierras raras) son mecanismos que han permitido establecer la procedencia de los sedimentos arenosos.

Las playas del Pacífico sur de México se han descrito en los estados de Colima, Oaxaca, Chiapas, y en algunos puntos muy específicos del estado de Guerrero. En el estado de Chiapas, las playas en general están constituidas por arenas medias, moderadamente bien clasificadas a moderadamente clasificadas, simétricas a asimétricas hacia tamaños finos y mesocúrticas a platicúrticas. La zona mesolitoral tiene la particularidad a que las muestras sean mejor clasificadas y simétricas (Carranza-Edwards, 1986).

En el estado de Oaxaca, los sedimentos que predominan son arenas medias, moderadamente bien clasificadas, simétricas y mesocúrticas, con variación de estos parámetros en cada sub-zona litoral, están constituidas principalmente de felsarenitas submaduras, en algunas fracciones existe una concentración importante de hierro y titanio, en forma de magnetita e ilmenita (Carranza-Edwards *et al.*, 1988). En Colima, los sedimentos que predominan son arenas medias, bien clasificadas simétricas y mesocúrticas, su composición es producto de la influencia de granitoides en la cuenca del río Cihuatlán y de rocas volcánicas intermedias a básicas en las cuencas de Armería y Coahuayana (Carranza-Edwards *et al.*, 2009).

Los parámetros texturales, composición mineralógica y química de playas del estado de Guerrero están documentados en los estudios de las cuencas de La Tigra y Petatlán (Rosales-Hoz y Carranza-Edwards, 1995), un análisis extenso de la geoquímica y relieve de estas cuencas estima la procedencia de arenas con condiciones topográficas y climáticas afines, pero con diferencias litológicas en el área fuente.

La procedencia de sedimentos arenosos en playas de Acapulco se ha estimado usando la petrografía y geoquímica de elementos mayores, traza y de tierras raras (Armstrong-

Altrin, 2009). En general, los sedimentos muestran evidencias que sugieren que su origen está relacionado con rocas félsicas e intermedias.

Un estudio sedimentológico detallado de la plataforma continental somera del estado de Guerrero fue realizado por Carranza Edwards *et al.* (1985), analizando sedimentos superficiales, colectados a bordo del B/O "El Puma", durante la Campaña Oceanográfica ATLAS II. Caracterizaron la fracción arenosa de los sedimentos compuesta principalmente por cuarzos, micas, material biogénico, feldespatos. Fragmentos de roca, anfíboles, piroxenos, materia orgánica, magnetita, ilmenita y zircón se encontraron en menor proporción.

Ramírez-Herrera *et al.* (2007), estudiaron la laguna de Mitla analizando cambios en el nivel del mar con base en el registro sedimentario y geoquímico de núcleos y su relación con grandes terremotos y posibles tsunamis.

Las cuencas hidrográficas de los ríos Papagayo y Sabana han sido descritas a detalle desde el punto de vista morfo-estructural por Hernández-Santana y Ortiz-Pérez (2005). Se describen diversos tipos como morfoestructuras masivas, morfoestructuras de bloques, morfoestructuras caóticas etc.

En el estado de Guerrero, cabe destacar, los estudios morfotectónicos regionales realizados por Ramírez-Herrera y Urrutia-Fucugauchi (1999) y Ramírez-Herrera *et al.* (2010), quienes hacen uso de mapas topográficos, morfológicos, geológicos, y batimétricos, para relacionar la morfología de la costa sur de México con la actividad tectónica de la zona de subducción. Las evidencias geomorfológicas han permitido inferir que existe un levantamiento local y regional a lo largo de la costa del Jalisco, Michoacán, Guerrero y parte de Oaxaca. Hernández-Santana *et al.* (1996), realizaron un estudio geotectónico de la Sierra madre del Sur, con un enfoque geomorfológico regional considerando el límite entre la placa oceánica de Cocos y la placa continental de Norteamérica.

HIPOTESIS Y OBJETIVOS

Hipótesis

Los parámetros texturales, mineralógicos y geoquímicos sirven para entender el grado de influencia de las rocas madre, clima, relieve y ambiente de depósito de los sedimentos litorales.

Objetivo general

El objetivo general de este trabajo es investigar sedimentos del ambiente de playa del estado de Guerrero y su relación con características fisiográficas y litológicas de terrenos continentales adyacentes, mediante análisis textural, mineral y geoquímico, para contribuir al conocimiento de esta zona costera que es tectónicamente activa.

Objetivos particulares

- 1) Analizar la fisiografía y litología de las cuencas que aportan los sedimentos en las playas, para entender su posible influencia en este ambiente.
- 2) Estudiar muestras de sedimento de playa, para determinar sus parámetros texturales, para entender su relación con las condiciones de energía del ambiente de depósito.
- 3) Determinar la petrografía de los sedimentos de playa para definir su posible vínculo con áreas de procedencia.
- 4) Analizar la composición química de muestras de los sedimentos de playa, a través del uso de elementos mayores, traza y tierras raras que sirvan para entender fuentes de procedencia.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio abarca el litoral del estado de Guerrero, de este a oeste, desde la playa de Marquelia hasta Bahía El Potosí, queda comprendida dentro del polígono limitado por las longitudes 101.5° W – 98.5° W y las latitudes 16.0° N – 18° N (Fig. 1). Se encuentra situada en la Provincia Fisiográfica Sierra Madre del Sur, en la subprovincia conocida como Costas del Sur, que se extiende a lo largo de la línea de costa.

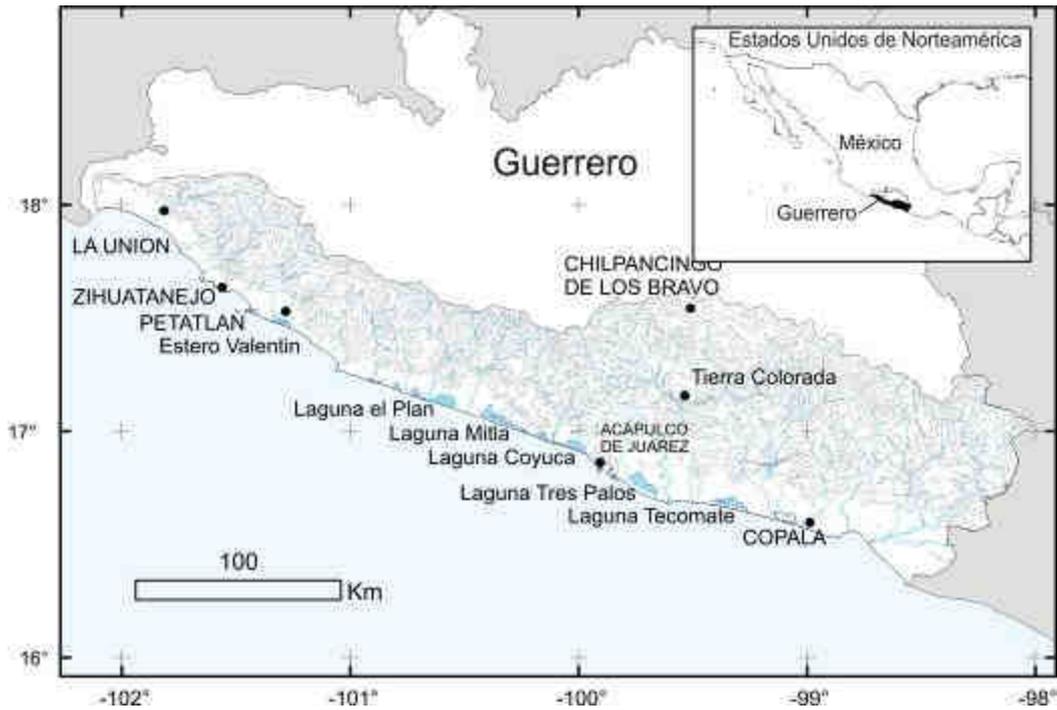


Figura 1. Área de estudio.

Las planicies deltaicas y aluviales, estuarios y deltas, bancos de arena, bermas y las líneas de playa abandonadas definen el paisaje de la costa en la zona de Guerrero, combinadas con acantilados escarpados y rocosos (Ramírez Herrera y Urrutia Fucugauchi, 1999). A lo largo del litoral en el área de estudio, se identifican sistemas lagunares importantes como la Laguna de Coyuca, Tres Palos, Mitla, Nuxco y Tecomate, clasificadas como plataformas de barrera interna, con depresiones inundadas en los márgenes internos del borde continental, rodeadas de superficies terrígenas en sus márgenes internos y protegidas del mar por barreras arenosas producidas por corrientes y olas.

La antigüedad de la formación de las barreras se ha datado con base en el establecimiento del nivel del agua actual, dentro de los últimos 5 mil años. Los ejes de orientación de

la laguna son paralelos a la costa. Batimétricamente son muy someros, excepto en los canales erosionados, modificados principalmente por procesos litorales como actividad de huracanes o vientos. De acuerdo con Lankford (1977) estas son lagunas costera típicas.

Clima

Los rangos de la altitud y coordenadas geográficas en el estado de Guerrero generan amplia gama de variedades climáticas. La Sierra Madre del Sur, la Depresión del Balsas y la zona costera influyen en la distribución de franjas climáticas (García, 1998). Pueden distinguirse de forma general los siguientes tipos de clima dominantes en la región: templado subhúmedo, templado húmedo y semicálido subhúmedo en las partes más altas; clima semicálido húmedo en las laderas; cálido-subhúmedo en la región de las planicies costeras. Los climas se representan en la figura 2 y tabla 1.

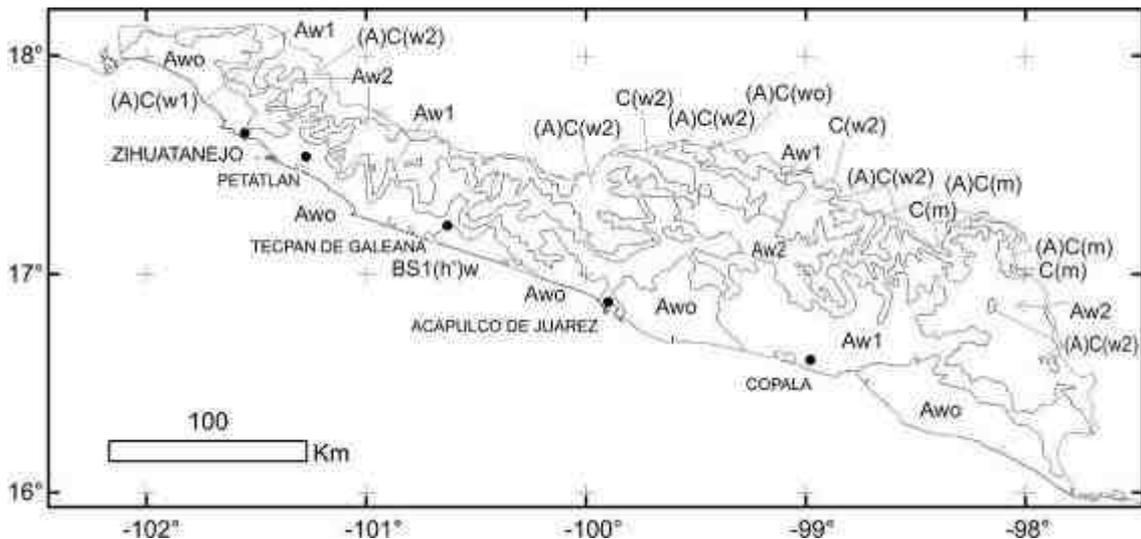


Figura 2. Climas en el área de estudio, simbología en Tabla 1 (modificado de García, 1998).

Tabla 1. Resumen y simbología de Climas en el área de estudio (Tomado de García, 1998).

Clima	Descripción
(A)C(m)	Semicálido húmedo, TMA de 18°C, TMF menor de 18°C, TMC mayor de 22°C., Lluvias de verano, PMS mayor de 40 mm; PLI del 5% al 10.2% del total anual.
(A)C(w1)	Semicálido subhúmedo, TMA mayor de 18°C, TMF menor de 18°C, TMC mayor de 22°C., PMS menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55 y PLI del 5% al 10.2% anual.
(A)C(w2)	Semicálido subhúmedo, TMA mayor de 18°C, TMF menor de 18°C, TMC mayor de 22°C., PMS menor a 40 mm; lluvias de verano con índice P/T mayor de 55 y PLI del 5% al 10.2% del total anual.
(A)C(wo)	Semicálido subhúmedo, TMA mayor de 18°C, TMF menor de 18°C, TMC de 22°C., PMS de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T menor de 43.2, y PLI del 5% al 10.2% del total anual.
Aw1	Cálido subhúmedo, TMA mayor de 22°C y TMF mayor de 18°C., PMS menor de 60 mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55.3 y PLI del 5% al 10.2% del total anual.
Aw2	Cálido subhúmedo, TMA mayor de 22°C y TMF mayor de 18°C., PMS entre 0 y 60 mm; lluvias de verano con índice P/T mayor de 55.3 y PLI del 5% al 10.2% del total anual.
Awo	Cálido subhúmedo, TMA mayor de 22°C y TMF mayor de 18°C., PMS entre 0 y 60 mm; lluvias de verano con índice P/T menor de 43.2 y PLI del 5% al 10.2% del total anual.
BS1(h')w	Semiárido cálido, TMA mayor de 22°C, TMF mayor de 18°C., Lluvias de verano y PLI del 5% al 10.2% del total anual.
C(m)	Templado, húmedo, TMA entre 12°C y 18°C, TMF entre -3°C y 18°C y TMC bajo 22°C, PMS menor de 40 mm; lluvias de verano y PLI del 5% al 10.2% del total anual.
C(w1)	Templado, subhúmedo, TMA entre 12°C y 18°C, TMF entre -3°C y 18°C y TMC bajo 22°C., PMS menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55 y PLI del 5% al 10.2% del total anual.
C(w2)	Templado, subhúmedo, TMA entre 12°C y 18°C, TMF entre -3°C y 18°C y TMC bajo 22°C., PMS menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T mayor de 55 y PLI del 5 al 10.2% del total anual.

TMA: temperatura media anual; TMF: temperatura del mes más frío; TMC: temperatura del mes más caliente; PMS: Precipitación en el mes más seco; PLI: porcentaje de lluvia invernal.

La variación de las regiones climáticas a lo largo del área de estudio puede dividirse en dos zonas, tomando como referencia la bahía de Acapulco, al noroeste franjas estrechas donde domina el clima cálido subhúmedo en las regiones costeras y el clima semicálido subhúmedo en las regiones montañosas; al sureste domina el clima cálido subhúmedo en una región más amplia en las regiones costeras y en las montañas el clima es más variado llegando incluso a ser templado. En la porción central del área de estudio se presenta una zona donde el clima es semiárido cálido.

Dinámica costera

La principal fuente de energía de las aguas costeras de Guerrero proviene de las aguas tropicales Ecuatoriales del Océano Pacífico, de acuerdo con Ortiz-Pérez y De la Lanza-Espino (2006) este litoral se encuentra en una región que se distingue por un oleaje de alta energía del orden de dos a tres metros de altura, de origen distante, a unos 3 000 y 4 000 km al interior del Océano Pacífico, el amplio espacio por donde circula el viento sobre la superficie del mar genera períodos de longitud de onda que oscilan entre los 12 y los 15 s⁻¹.

Según Bonjean y Lagerloef (2002) la superficie oceánica cercana a las costas guerrerenses (con datos de OSCAR -Tropical Ocean Surface Currents-) presenta una dirección dominante hacia el norte, con pequeñas componentes que se derivan hacia el este u oeste como se observa en la roseta de velocidades de corrientes marinas entre 1992 y 2008 en la figura 3.

De acuerdo con el Atlas Nacional de México (Fernández-Eguiarte *et al.*, 1990 a y 1990 b) en verano predominan los movimientos superficiales de agua hacia el Noroeste, mientras que en invierno la dirección cambia hacia el Sureste pero con menor intensidad y estabilidad. Aunque no se presentan datos acerca de las corrientes litorales, los datos de la dirección de las corrientes marinas sugieren que estas pueden darse principalmente hacia el Norte.

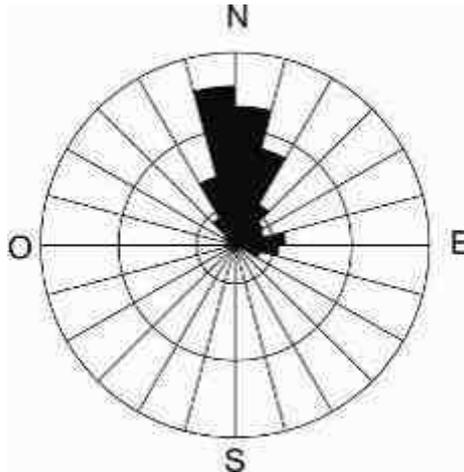


Figura 3. Dirección dominante de corrientes marinas superficiales en el cuadrante 16.2-18.2 N, 100.2-98.2 O. (modificado de Bonjean y Lagerloef, 2002).

Unidades litológicas

La geología regional en el área de estudio (Fig. 4) es compleja. Parece ser que dominan dos grupos: i) Rocas pertenecientes al complejo Xolapa: corresponden con el basamento del terreno tectonoestratigráfico Xolapa, ha sido estudiado e interpretado como un arco magmático alóctono deformado, de edad Jurásico-Cretácico, constituido por gneisses cuarzo-feldespático y gneisses pelíticos, anfibolitas, pegmatitas, migmatitas y algunos horizontes de mármol y ii) Cuerpos intrusivos graníticos y granodioríticos (Corona *et al.*, 2006).

Además de estas unidades que dominan la mayor parte de la región, se observan afloramientos aislados de rocas sedimentarias en secuencias de areniscas y calizas y finalmente un grupo de rocas volcánicas de tipo andesita que afloran en una porción de la parte noroeste de la zona de estudio.

En la sección noroeste del área de estudio las rocas que afloran pertenecen al subterreno tectonoestratigráfico Zihuatanejo, perteneciente al terreno compuesto Guerrero (Campa y Coney, 1983; Centeno-García *et al.*, 2008).

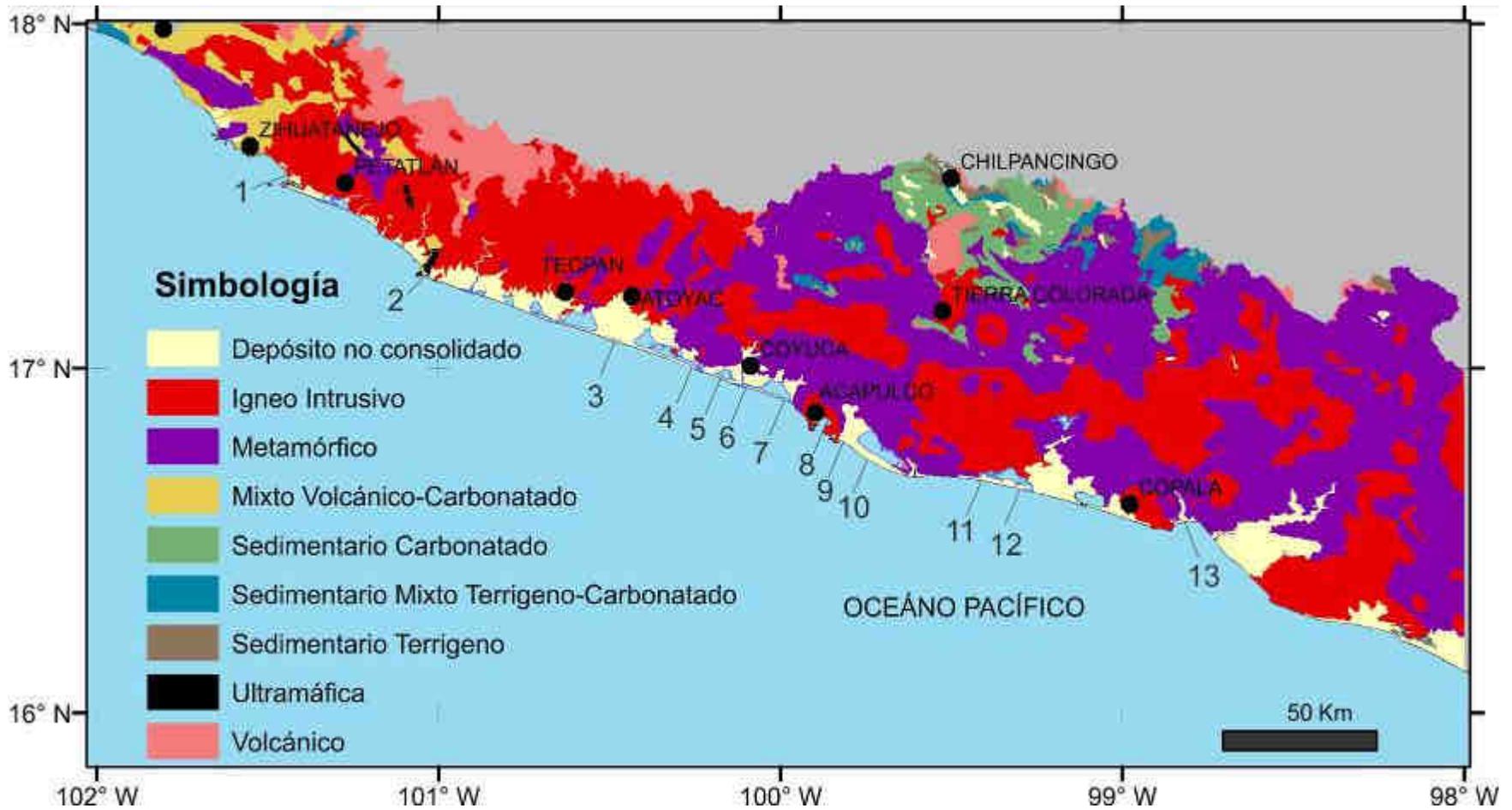


Figura 4. Litología generalizada del área de estudio tomada de las cartas escala 1:250 000 del Servicio Geológico Mexicano (Campa-Uranga *et al.*, 1998; Rivera-Carranza *et al.*, 1999; Montiel-Escobar *et al.*, 2000; Cruz-López *et al.*, 2000; Barrios-Rodríguez *et al.*, 2002). Los números representan las playas estudiadas.

De acuerdo con Vidal-Serratos (1991) esta región está constituida por rocas volcano-sedimentarias pertenecientes a la Formación Camalotito y la Formación Zihuatanejo, el gneis cuarzo feldespático Ximalcota, las rocas básicas y ultrabásicas metamorfoseadas pertenecientes al Litodema Papanoa y los sedimentos de tipo flysch metamorfoseados en asociación con rocas volcánicas y metamórficas del Complejo Las Ollas y la Formación Lagunillas.

Según Talavera-Mendoza y Guerrero-Suastegui (2000) la Secuencia Zihuatanejo está conformada por una serie de rocas sedimentarias y volcánicas sin deformación que incluye dacitas y andesitas en la base, intercaladas con laminaciones de turbiditas volcanoclásticas y hacia la cima ignimbritas ácidas y tobas de caída. El complejo Las Ollas se compone de bloques de calizas, cuarcita, pedernal, tobas, basaltos almohadillados, anfibolita, gabro y rocas ultramáficas parcial o totalmente serpentinizadas.

Estudios recientes sugieren la existencia de un conjunto de rocas sedimentarias, volcánicas y volcanoclásticas de origen continental a marino somero intrusionadas por granitoides nombrado conjunto la Unión-Zihuatanejo cuyas características las diferencian del Terreno Guerrero (Martini *et al.*, 2010). De acuerdo con Matini *et al.*, (2010) la descripción de las rocas que afloran el noroeste del área de estudio incluye los siguientes grupos:

a) Flujos de lava de composición basáltica a dacítica, con intercalaciones de brecha volcánica, y conglomerado volcánico en conjunto con las rocas intrusivas principalmente ácidas (graníticas y granodioríticas) y en menor grado básicas e intermedias que conforman la asociación El Camalote.

b) Conglomerados de origen continental, areniscas y lutitas con tobas intercaladas pertenecientes a la formación La Unión, junto con volcarenitas de origen marino somero y conglomerados, intercaladas con flujos de lava andesítica, brechas volcánicas y tobas de la formación Zihuatanejo (asociación La Unión-Zihuatanejo).

c) La asociación Playa Hermosa compuesta por caliza masiva, lutita calcárea y brechas calcáreas, con abundantes rudistas, gasterópodos, bivalvos y corales de la formación Ixtapa, volcarenitas marinas someras y conglomerado, al que suprayacen flujos escasos de lava andesítica que integran la formación Playa Hermosa y areniscas ricas de cuarzo,

conglomerado con cantos redondeados de metagranito deformado, cuarcita, gneis, anfíbolita y esquisto de la formación Posquelite.

d) La arenisca deformada rica en cuarzo, pizarra, y escasos metaconglomerados, cortados por varios diques de arena pertenecientes a la formación Lagunillas.

e) Las rocas del complejo Las Ollas que consiste de esquistos deformados de anfíbolita y actinolita, cuarcita y filita, bloques discretos de basalto almohadillado, bandas de gabro, anfíbolita y rocas ultramáficas con cuarcita que se encuentran total o parcialmente serpentizadas.

Por otra parte en el área de estudio afloran mayoritariamente las rocas pertenecientes al complejo Xolapa, de forma general, Las descripciones del complejo Xolapa (SGM, 1999) indican que consiste de una secuencia potente de rocas metasedimentarias y metaígneas con metamorfismo de intensidad variada, las unidades litológicas principales comprenden ortogneises, granitoides, enjambres pegmatíticos, cuerpos intrusivos graníticos y granodioríticos, diques de diabasa y anfíbolita, intrusiones de gabro, paragneises, mármoles y esquistos de muscovita.

Sismicidad

La interacción entre las placas de Norte América y la placa de Cocos, genera una gran cantidad de sismos en la Costa Suroccidental del Pacífico mexicano. Esta costa abarca desde Cabo Corrientes al norte hasta la localidad de Mazunte cerca de Puerto Ángel en Oaxaca; la línea de costa sigue un rumbo generalizado NW-SE. Engloba la totalidad de la línea de costa de los estados de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero y parte de Oaxaca (Ortiz-Pérez y de la Lanza-Espino, 2006).

Dentro de esta región se encuentra localizada la zona costera adyacente a la brecha sísmica de Guerrero (Fig. 5), localizada entre los paralelos 16.7° y 17.5° N y los meridianos 99.5° y 101.5° W (Franco-Sánchez, 2002), la razón por la cual se le ha llamado así a esta región se debe a que una brecha sísmica es un segmento donde hay un contacto entre placas tectónicas en el cual no se ha producido un sismo de magnitud considerable (mayor que 7 grados en la escala de Richter) en un lapso de tiempo relativamente grande (Gutiérrez-Martínez *et al.*, 2001). El último evento con estas características registra-

do en esta sección de la corteza terrestre se produjo en 1911. Este comportamiento anómalo en la actividad sísmica despierta mucho interés.

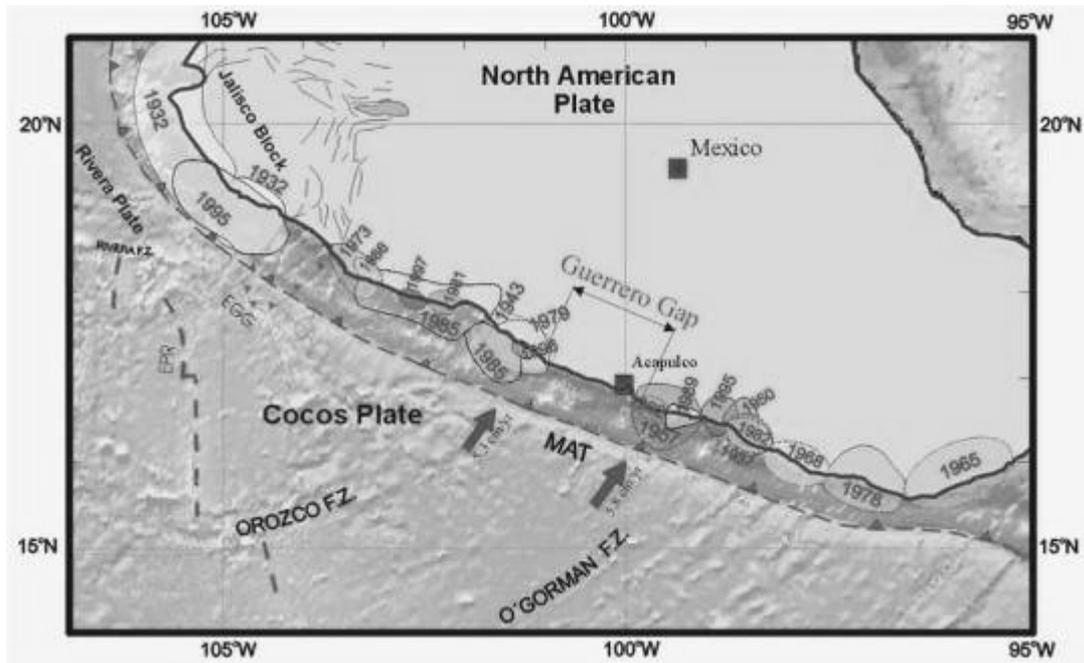


Figura 5. Brecha Sísmica de Guerrero (tomado de Kostoglodov y Pacheco, 1999).

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo

Dentro del proyecto de *Sedimentología de Playas de México*, del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, se tomaron 39 muestras correspondientes con sedimentos de playa en 13 localidades del litoral del estado de Guerrero. En cada sitio se colectaron tres muestras correspondientes con los subambientes de infraplaya, mesoplaya y supraplaya según la clasificación propuesta por Carranza y Caso (1994), ilustrada en la figura 6.

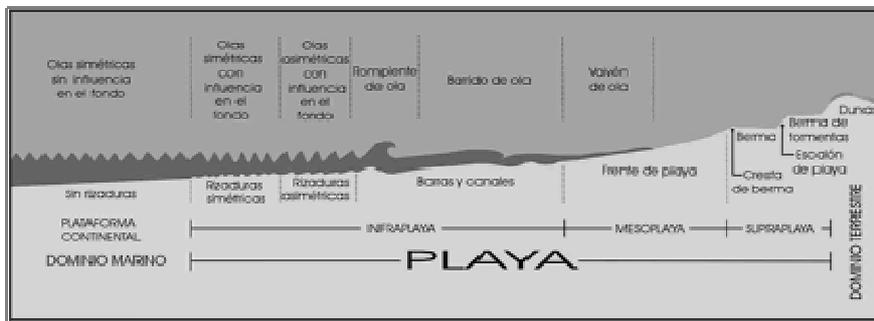


Figura 6.- Terminología del perfil de playa (tomado de Carranza-Edwards y Caso-Chávez, 2009).

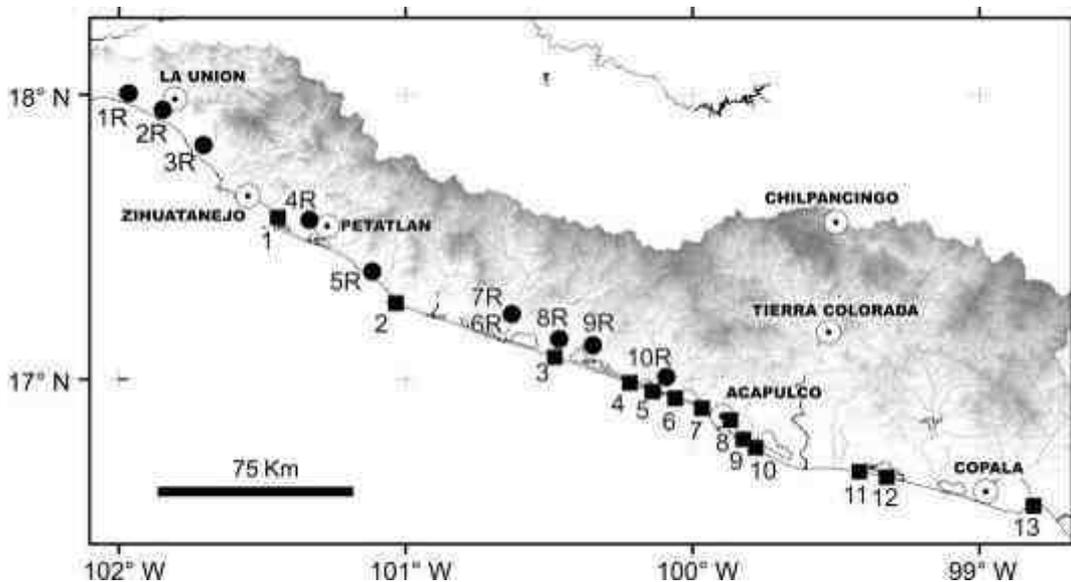


Figura 7.- Ubicación de los sitios de muestreo de playas y ríos.

Los puntos de muestreo se distribuyeron a lo largo de la zona de estudio (Tabla 2), además se tomaron muestras de sedimento en ríos (Tabla 3), que se utilizaron como parámetro de comparación en lo que se refiere a la química de elementos mayores y traza. Las localidades se ubican en la figura 7.

Tabla 2. Localización de playas muestreadas.

Playa	L. N.	L. O.	Nombre de la playa	Tipo de litoral
1	17.268	-101.035	Los Farallones	Litoral arenoso
2	17.078	-100.481	Papanao, Gro.	Litoral arenoso cercano a litoral rocoso
3	16.988	-100.219	Paraíso Escondido, Gro.	Litoral arenoso en la desembocadura del río San Jerónimo
4	16.957	-100.140	Costa de Plata, Gro.	Litoral arenoso
5	16.934	-100.061	El Carrizal, Gro.	Litoral arenoso
6	16.899	-99.968	La Barra de Coyuca, Gro.	Litoral arenoso
7	16.860	-99.883	Pie de la Cuesta, Gro.	Litoral arenoso cercano a litoral rocoso
8	16.857	-99.869	Condesa, Gro.	Bahía encerrada por litoral rocoso
9	16.790	-99.823	El Revolcadero (W), Gro.	Litoral arenoso cercano a litoral rocoso
10	16.760	-99.780	El Revolcadero (E), Gro.	Litoral arenoso
11	16.676	-99.419	Playa Hermosa, Gro.	Litoral arenoso
12	16.656	-99.323	Barra Vieja, Gro.	Litoral arenoso
13	16.556	-98.811	Marquelia, Gro.	Litoral arenoso en la desembocadura del río Marquelia

Tabla 3. Localización de puntos de muestreo de ríos.

Mta.	L. N.	L. O.	Nombre del río.
1R	-101.96	18.00	RIO FELICIANO
2R	-101.84	17.94	LA UNION
3R	-101.70	17.82	LAGUNILLAS
4R	-101.33	17.56	SAN JERONIMITO
5R	-101.11	17.37	ARROYO SECO
6R	-100.63	17.23	TECPAN 1
7R	-100.63	17.23	TECPAN 2
8R	-100.46	17.14	SAN JERONIMO
9R	-100.34	17.11	RIO CACAHTLA
10R	-100.09	17.00	COYUCA

Análisis fisiográfico y de cuencas

Se llevó a cabo un reconocimiento del relieve y cuencas a partir del modelo de elevación digital de INEGI (2009). Las cuencas se delimitaron en Arc Gis y se compararon con las cuencas delimitadas por CNA (1998), se elaboraron secciones paralelas y perpendiculares a la línea de costa por región, se referenció la litología de las cartas escala 1:250000 del SGM (Campa-Uranga *et al.*, 1998; Rivera-Carranza *et al.*; 1999, Montiel-Escobar *et al.*, 2000; Cruz-López *et al.*, 2000; Barrios-Rodríguez *et al.*, 2002).

Análisis granulométrico

El análisis granulométrico se realizó de la siguiente forma:

- a) Haciendo uso del equipo analizador de partículas láser (Beckman Coulter modelo LS 230), para la fracción de tamaño menor que 2 mm (-1ϕ), se usó una cantidad aproximada a 2 gramos por muestra, el equipo analiza los patrones de difracción que se crean cuando los granos atraviesan el haz de luz láser emitido por el equipo (Kasper-Zubillaga y Carranza-Edwards 2005). Los resultados se transforman de micrómetros a unidades phi, se calcula el porcentaje fraccionario y el porcentaje acumulativo.

- b) Tamizado de la fracción gruesa (mayor que 2 mm), como fue el caso de las muestras 8i, 8m y 8s, para las cuales se usaron tamices a cada cuarto de unidad ϕ , desde -2.25ϕ hasta -1ϕ , para las muestras 10i, 10m y 13m solo se obtuvo el porcentaje de gravas.

Los parámetros texturales obtenidos fueron: tamaño medio de grano ($Mz\phi$), grado de clasificación ($\sigma_1\phi$), grado de asimetría (Sk_I) y kurtosis (K_G), de acuerdo a las formulas propuestas por Folk (1974).

Petrografía

El estudio petrográfico de las muestras involucra la descripción general de los componentes minerales observados en láminas delgadas y el análisis modal mineralógico. Se realizó en microscopio óptico de polarización o microscopio petrográfico (Fig. 8).

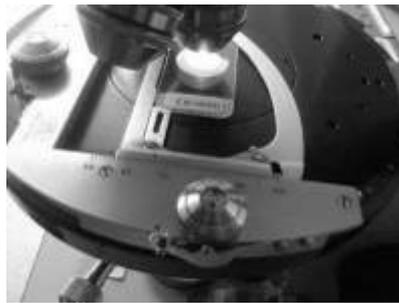


Figura 8. Microscopio petrográfico utilizado.

En la descripción de la lámina delgada, se observan las principales fracciones minerales, el tamaño de grano, el estado de alteración, el contenido de minerales pesados y opacos, etc.

Para el análisis mineralógico modal se utilizó el conteo tradicional de Franzinelli y Potter (1983) con trescientos puntos y nueve campos: a) cuarzo monocristalino (Cm), b) cuarzo policristalino (Cp), c) feldespato potásico (Fk), d) plagioclasa (Fp), e) fragmentos de rocas plutónicas (Lp), f) fragmentos de rocas volcánicas (Lv), g) fragmentos de rocas metamórficas (Lm), h) fragmentos de rocas sedimentarias (Ls) incluyéndose el pedernal y i) minerales pesados (MP).

El procedimiento para el conteo de minerales es recorrer la lámina delgada a lo largo de una línea imaginaria identificando cada grano para incluirlo en uno de los 9 campos descritos arriba, una vez finalizada una línea, se procede a recorrer otra línea paralela a la anterior que no intercepte fragmentos ya contados. Se recorren las líneas necesarias hasta alcanzar 300 puntos contados. En el caso de fragmentos muy gruesos se cuenta toda la lámina. El método se ilustra de forma esquemática en la figura 9.

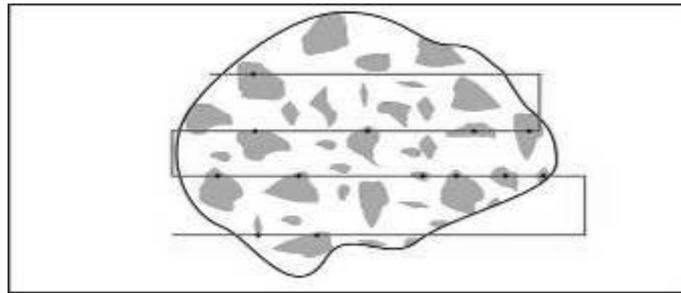


Figura 9. Ilustración del procedimiento para el conteo de minerales en lámina delgada.

Geoquímica de elementos mayores y traza

La geoquímica de elementos traza y mayores en arenas de playa, se realizó mediante el análisis de fluorescencia de rayos X. Se usaron trece muestras correspondientes al subambiente de mesoplaya para cada localidad. El análisis fue realizado con las muestras en base seca (muestra seca a 110 °C por 2 h). La pérdida por calcinación (PXC) se determinó pesando 1g de muestra y calcinando a 950°C por 1 hora. Se usó un espectrómetro secuencial de rayos X (Siemens SRS 3000) equipado con tubo de rodio y ventana de berilio de 125 micras. Los errores estimados en las determinaciones son menores que 1 % en elementos mayores y menores que 4 % en elementos traza. Los límites de detección se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Límites de detección de elementos mayores y traza del equipo empleado (Siemens SRS 3000).

Elemento Traza	Límite inferior de detección en ppm	Elemento Mayor	Límite inferior de detección en %
Rb	2.0	Si	0.050
Sr	1.0	Ti	0.004
Ba	11.0	Al	0.018
Y	0.5	Fe	0.006
Zr	0.5	Mn	0.004
Nb	0.7	Mg	0.015
V	5.0	Ca	0.040
Cr	2.0	Na	0.030
Co	3.0	K	0.050
Ni	0.5	P	0.004
Cu	0.7		
Zn	1.5		
Th	5.0		
Pb	3.0		

Tierras Raras

El análisis de elementos de la serie lantánidos se realizó usando un espectrómetro de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS) modelo PQ3. Las muestras fueron molidas usando mortero y pistilo de ágata, hasta alcanzar un tamaño que pasara la malla 200, posteriormente se hicieron 3 digestiones en ácido fluorhídrico, sulfhídrico y clorhídrico a distintas proporciones, hasta obtener la masa gelatinosa que fue diluida en una solución de indio al 10 %, para calibrar se usó la muestra de referencia JG-2 (polvo de granito del servicio geológico japonés) y se repitieron dos muestras al azar como control.

ANÁLISIS DE RELIEVE Y LITOLOGIA

La evolución del paisaje costero en zonas de márgenes activos es parte de un ciclo donde la tectónica de placas y los procesos de erosión modelan el terreno, las formas del relieve y los grados de erosión, los cuales contienen información de los procesos de sedimentación que tienen lugar. El intemperismo y transporte de los sedimentos está controlado por el relieve y el clima, que junto con las condiciones del ambiente de depósito y composición de la roca fuente definen la textura y la composición de los sedimentos.

En este capítulo se analizan las principales características del relieve y la litología. El relieve está dominado por las montañas de la Sierra Madre del Sur que superan los 2000 m de altura, y en algunas zonas los 3000 m, la mayoría las cuencas hidrográficas están delimitadas parcialmente por el parteaguas formado por las zonas altas de la Sierra. De forma general se observa que la fisiografía del terreno está constituida por las laderas escarpadas meridionales de la Sierra Madre del Sur, una serie de colinas que interrumpen la vertiente general y la planicie costera.

El litoral del estado de Guerrero varía en función de sus características morfológicas, se observan litorales rocosos y litorales arenosos que en ocasiones están asociados a planicies costeras muy restringidas y en otras son amplias, la presencia de lagunas costeras y la formación de barras arenosas son muy comunes.

De acuerdo con Ramírez-Herrera y Urrutia-Fucugauchi (1999) existen evidencias geomorfológicas en la zona costera del litoral del Estado de Guerrero como terrazas marinas, terrazas aluviales y marcas de antiguos niveles de marea que permiten inferir un levantamiento de la corteza continental y que se hace más evidente en la zona de Ixtapa-Zihuatanejo.

El entorno del litoral guerrerense, la fisiografía de las cuencas hidrográficas y las unidades litológicas se describen a continuación en 4 regiones.

Región Ixtapa-Zihuatanejo

Esta región se conforma por las cuencas exorreicas del río La Unión con desembocadura al mar que forma un pequeño delta y la cuenca del río Ixtapa con desembocadura al mar que forma una micro barra arenosa limitada por el litoral rocoso. Se agrupan las microcuencas adyacentes a la línea de costa en tres sistemas, Río Feliciano con otros, Lagunillas con otros y Zihuatanejo.

Una elevación de más de 2000 m cercana a la línea de costa (aproximadamente 25 km) separa tres cuencas, La Unión, Ixtapa y el sistema Lagunillas.

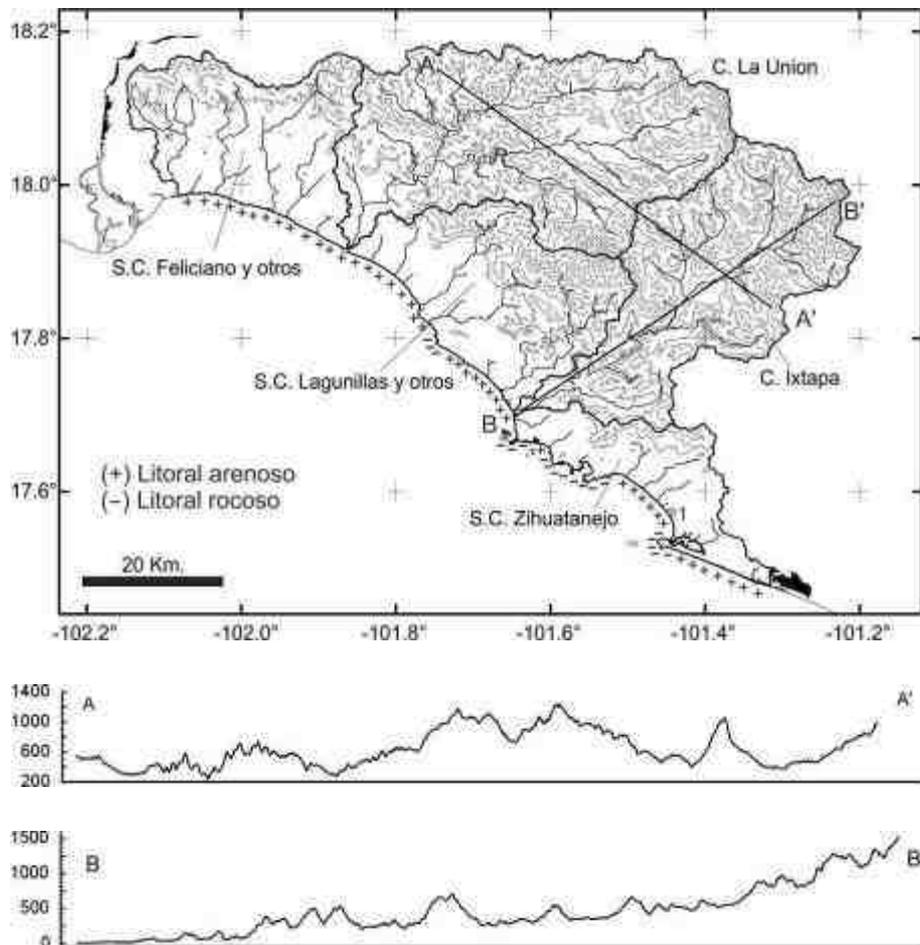


Figura 10. Cuencas La Unión, Ixtapa, sistemas de microcuencas costeras y secciones topográficas A-A' y B-B'.

Los cauces correspondientes con la cuenca del río La Unión se observan más simétricos si se comparan con los del río Ixtapa, donde se observa más asimetría a lo largo de la sección A-A' (Fig. 10), también se observan fuertes cambios en el relieve. El perfil muestra una zona de llanura costera restringida, el relieve cambia a lo largo del mismo, alternándose entre zonas montañosas y regiones de bajo relieve. Se observa que amplitud de la planicie costera es variable, siendo amplia en la región del río Feliciano y más restringida cerca del río Ixtapa.

De acuerdo con las cartas escala 1:25000 del SGM (Rivera-Carranza *et al.*, 1999, Montiel-Escobar *et al.*, 2000; Barrios-Rodríguez *et al.*, 2002). Las principales unidades litológicas que afloran en esta región están constituidas por cuerpos ígneos intrusivos (granito-granodiorita), rocas volcánicas (dacita-riolita) y mezclas de andesitas y calizas. También hay afloramientos de rocas meta-sedimentarias y algunos afloramientos de rocas sedimentarias carbonatadas y sedimentarias mixtas (Fig. 11). Cerca de la línea de costa, los materiales no consolidados tales como depósitos aluviales, litorales y lagunas se encuentran muy restringidos, dominando el material rocoso.

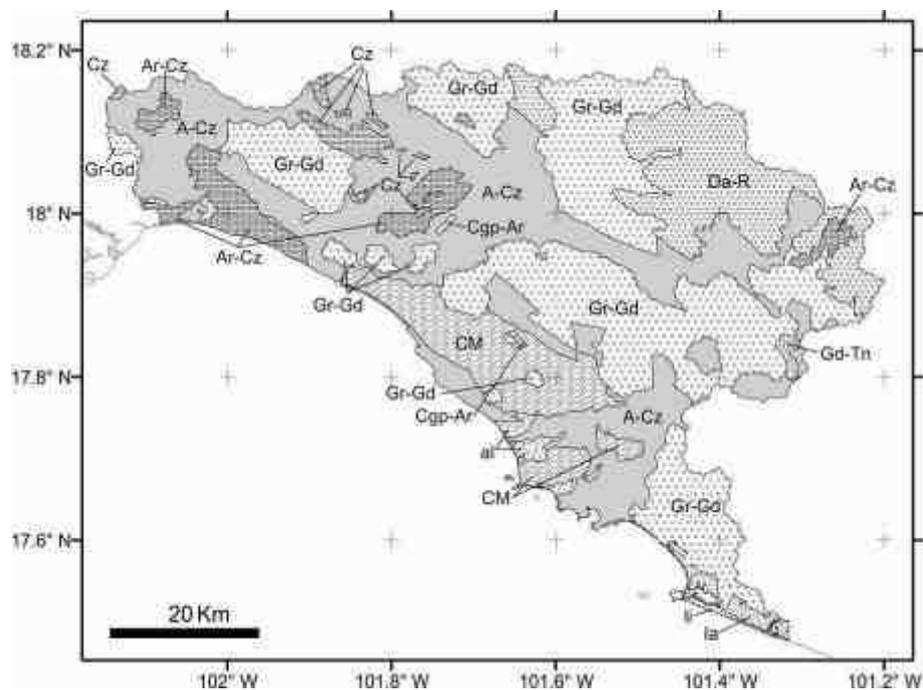


Figura 11. Unidades litológicas de la región Ixtapa-Zihuatanejo (modificado de Rivera-Carranza *et al.*; 1999, Montiel-Escobar *et al.*, 2000; Barrios-Rodríguez *et al.*, 2002).

Región Cuyuquilla - Petatlán

Comprende tres cuencas exorreicas correspondientes con los cauces de los ríos San Jerónimo y Petatlán, Cuyuquilla y el Río Grande y tres grupos de cuencas exorreicas donde se han agrupado microcuencas de arroyos menores, como se muestra en la figura 12.

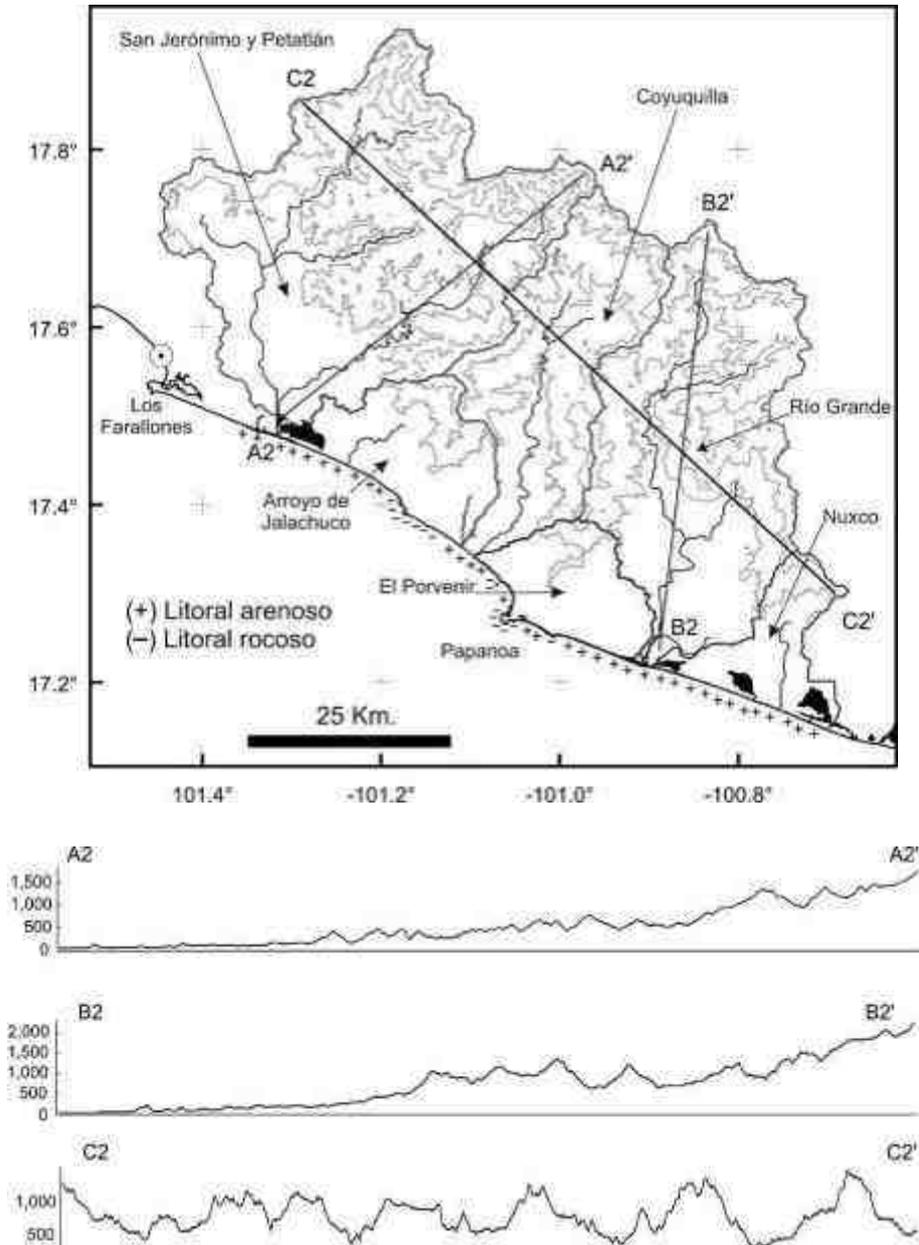


Figura 12. Cuencas San Jerónimo y Petatlán, Cuyuquilla, Río Grande, Nuxco, El Porvenir y Arroyo de Jalachuco y secciones topográficas A2-A2', B2-B2' y C2-C2'.

El terreno se muestra en general escarpado, con elevaciones que superan los mil metros de altura sobre el nivel del mar. Los cauces son en general asimétricos y no muestran una dirección de asimetría preferente. Las secciones perpendiculares a las líneas de costa muestran diferencias con relación a las planicies costeras y la forma de las vertientes. El litoral cambia de arenoso a rocoso a lo largo de la línea de costa, en esta zona es muy común encontrar elevaciones importantes cerca de Petatlán.

En esta región afloran rocas de tipo ígneo intrusivo en las zonas bajas y volcánicas en las partes altas de las cuencas (Fig. 13). Las principales unidades litológicas (SGM, 1999) incluyen granitos-granodioritas, dacita-riolita, andesitas y metasedimentarias esencialmente; otras unidades involucradas incluyen rocas máficas y ultramáficas asociadas al complejo Las Ollas que aflora a lo largo de la costa, en los alrededores de Papanaoa, y que pertenece al terreno tectono-estratigráfico Zihuatanejo (Centeno-García *et al.*, 2008).

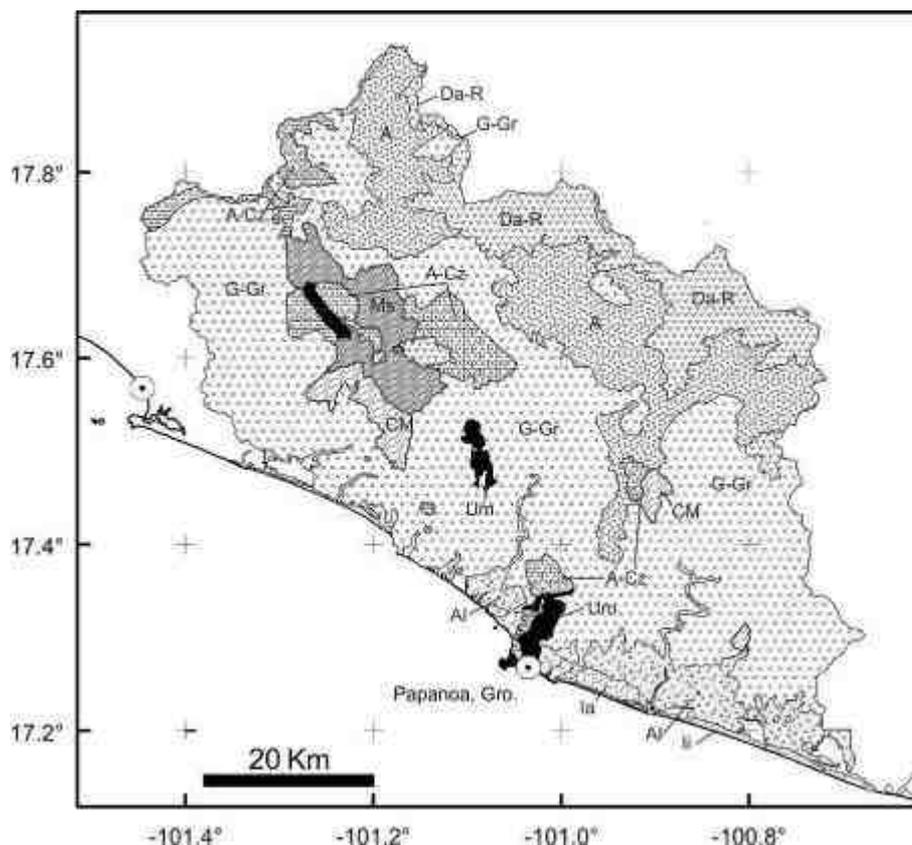


Figura 13. Unidades litológicas. Región Coyoquilla - Petatlán (modificado de Rivera-Carranza *et al.*, 1999).

Región Atoyac - Coyuca

Comprende la región central del estado de Guerrero y las cuencas exorreicas de los ríos Tecpan-Río Frio, Atoyac, Tepetixtla, Sabana, Laguna de Tres Palos, Coyuca y Mitla.

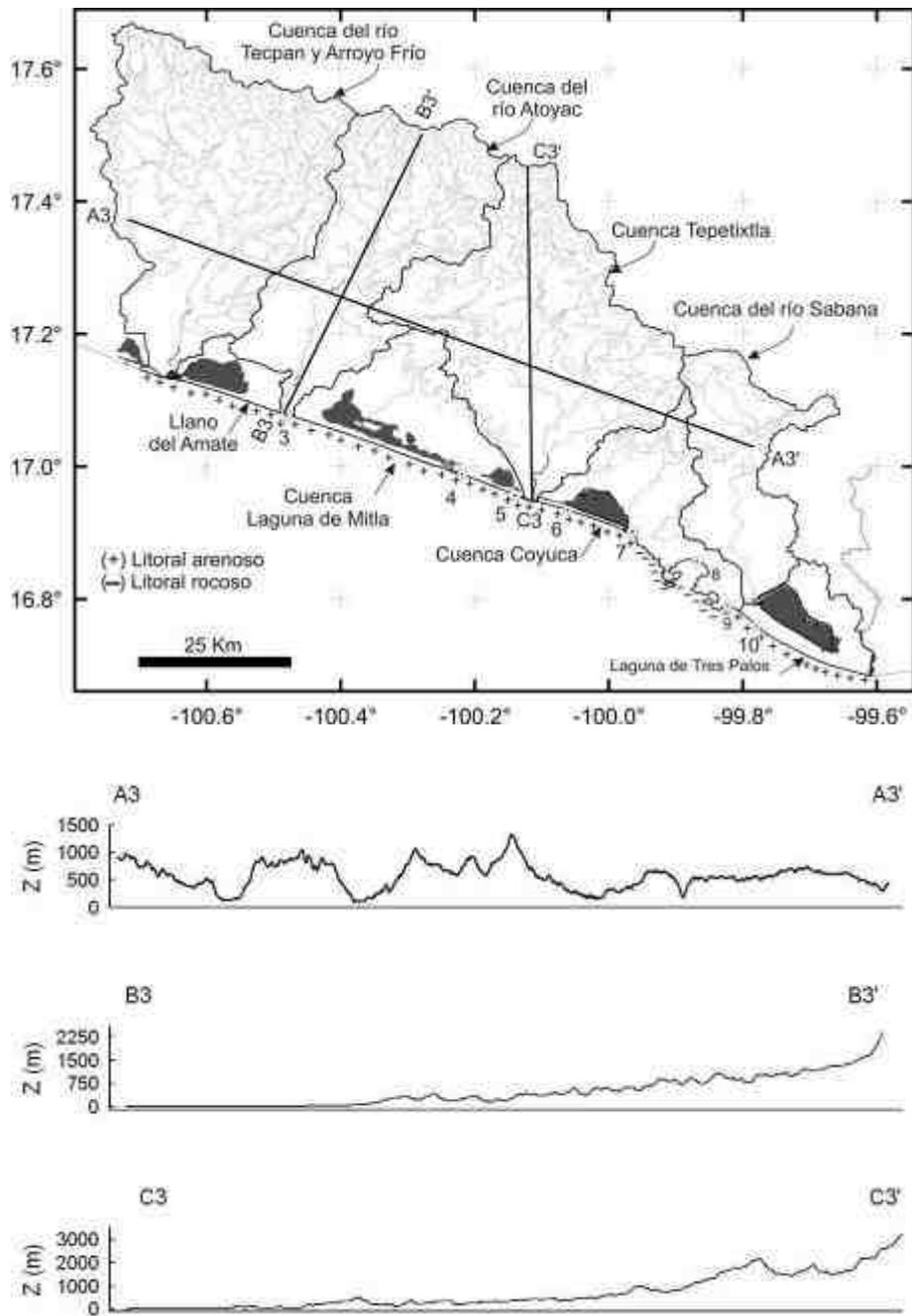


Figura 14. Cuencas Tecpan-Río Frio, Atoyac, Tepetixtla, Sabana, Coyuca y Mitla y secciones topográficas A3-A3' y B3-B3'.

El terreno se muestra en general escarpado, con una variación importante de noroeste a sureste, descendiendo la altitud y el terreno se vuelve más suave, las elevaciones que alcanzan más de mil metros descienden a quinientos metros. Los cauces de los ríos Tecpan-Río Frio, Atoyac y Tepetitla se muestran asimétricos sin dirección de asimetría preferente (Fig. 14). Las vertientes se muestran relativamente uniformes y las planicies costeras son más amplias que en las regiones de Coyuquilla-Petatlán e Ixtapa-Zihuatanejo.

El litoral es en general arenoso y se caracteriza por ser uniforme, recto en casi toda la región excluyendo el litoral rocoso de la Bahía de Acapulco. Otra característica importante es el desarrollo de barras arenosas y lagunas costeras.

Dos sistemas fluviales se destacan por su extensión y su posible influencia en los sedimentos de playa que se depositan en esta región: el río Tecpan y el Atoyac. El perfil del río Tecpan está caracterizado por un ascenso gradual en la elevación y que se vuelve más prominente conforme se acerca al principio del cauce, a diferencia del río Atoyac donde este ascenso se ve interrumpido por un escalón. También puede observarse una diferencia en la amplitud de la planicie costera (Fig. 15).

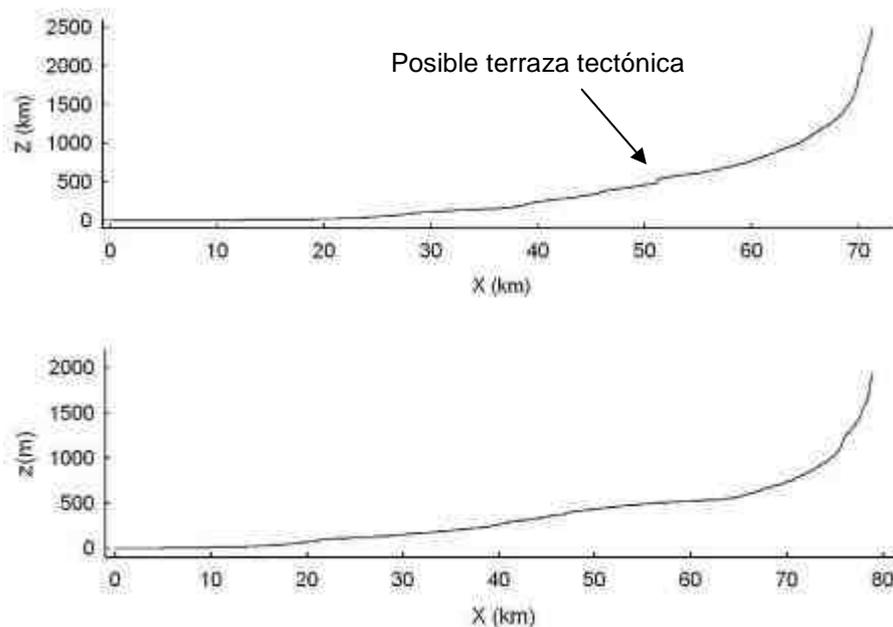


Figura 15. Sección a lo largo de los ríos Atoyac y Tecpan.

El río Atoyac fluye a lo largo de una amplia planicie costera que contrasta con otras regiones dentro del área de estudio, la presencia de una evidente discontinuidad en el perfil del río puede ser indicio de una terraza de origen tectónico. Cabe recordar que en esta región se encuentra una zona de quietud sísmica, de modo que existe una diferencia tectónica en la región, reflejada en la morfología de las cuencas.

Existen evidencias de que durante el Holoceno tardío ha existido subsidencia de la porción central en el estado de Guerrero (Ramirez-Herrera *et al.*, 2007, 2009, 2011), tales como los registros estratigráficos en las lagunas de Mitla y Coyuca y evidencias arqueológicas y morfológicas de la costa. En investigaciones recientes se ha observado y medido incluso la tasa de subsidencia en esta región (Kostoglodov *et al.*, 2001).

Las unidades litológicas que afloran en esta región son ígneas intrusivas (granito-granodiorita) y metamórficas pertenecientes al complejo Xolapa. La geología de esta área (Fig. 16) ha sido poco estudiada y se puede decir que en la región Tierra Colorada-Acapulco dominan los cuerpos intrusivos ácidos y rocas metamórficas (ortogneis y paragneis).

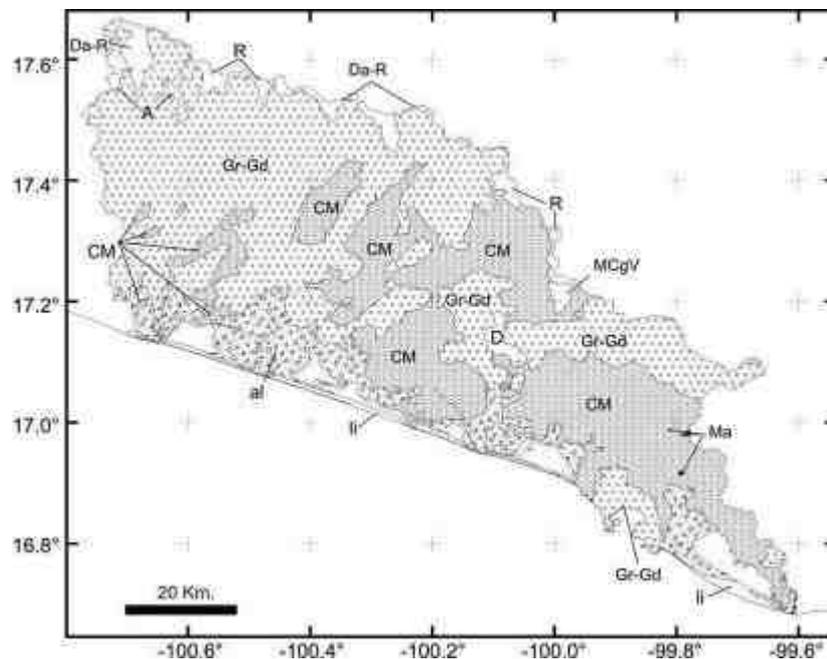


Figura 16. Unidades litológicas. Región Atoyac-Coyuca (modificado de Rivera-Carranza *et al.*, 1999; Cruz-López *et al.*, 2000).

Región Papagayo-Nexpa

Comprende las cuencas exorreicas de los ríos Papagayo-Omitan-Azul, Marquelia-San Luis, Agua Zarca, Copala, Nexpa, Arrollo Jalapa y San Marcos-La Estancia. El relieve está dominado por lomeríos en las zonas bajas y terrenos escarpados hacia las zonas altas que definen los parteaguas de las cuencas.

La sección A4-A4' paralela a la línea de costa aproximadamente a 30 km muestra la amplitud y geometría simétrica de las cuencas, las elevaciones van de muy pocos metros hasta 500 m (Fig. 17), un rasgo topográfico sobresale cerca de los mil metros de altura y corresponde con el parteaguas entre las cuencas del Nexpa y San Marcos-La Estancia. En la sección B4-B4' se observa una vertiente relativamente uniforme y la planicie costera restringida a diferencia de la vertiente a lo largo de la sección C4-C4' que se ve interrumpida por una cadena montañosa dentro de la cuenca de los ríos Papagayo-Omitan-Azul y una planicie costera menos restringida. Esta región contrasta con las regiones anteriores, la cuenca del río Papagayo es la más grande de toda el área de estudio, la distancia desde la línea de costa hasta el parteaguas en las montañas de la Sierra Madre del Sur es mayor que en las tres regiones analizadas con anterioridad, cerca a la línea de costa es común encontrar un relieve suave

El litoral en general es arenoso, recto en dirección NW-SE, la homogeneidad se ve alterada por un rasgo litoral en la zona sureste en la región de la Bahía Dulce, este rasgo está asociado con la fractura sobre el lecho submarino en el Cañón Quetzala. Otra característica importante es el desarrollo de barras arenosas y lagunas costeras como la Laguna Chautengo y Tecomate.

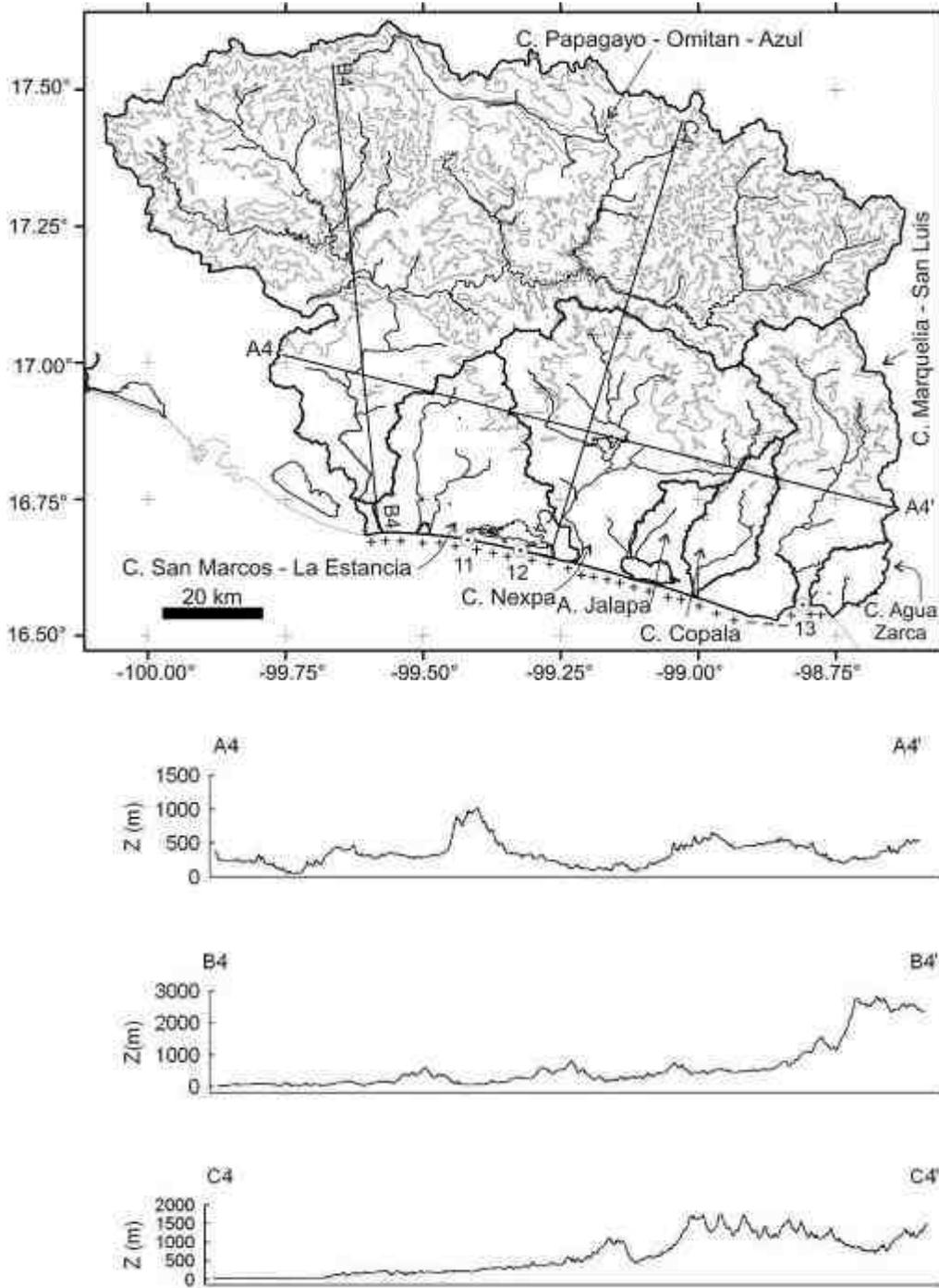


Figura 17. Cuencas Papagayo-Omitan-Azul, Marquelia-San Luis, Nexpa, Copala, Jalapa, Agua Zarca y San Marcos, La Estancia y secciones topográficas A4-A4', B4-B4' y C4-C4'.

Las principales unidades litológicas que afloran en esta región son de tipo ígneo intrusivo granito-granodiorita y de tipo metamórfico pertenecientes al complejo Xolapa (Fig. 18), la cuenca de los ríos Papagayo-Omitán-Azul abarca una área extensa y a lo largo de ella afloran rocas de composición variable, principalmente rocas metamórficas, sedimentarias terrígenas, carbonatadas y mixtas, volcánicas e intrusivas ácidas.

Hacia el norte de esta región dominan las rocas sedimentarias de diversas clases, el complejo Xolapa desaparece gradualmente y comienza el complejo Acatlán. No obstante esta diversidad litológica, cabe señalar que el río Papagayo está represado, hay una distancia de 50 kilómetros en línea recta de la desembocadura en la costa hasta la cortina de la presa La Venta. El río Nexpa también está represado, la presa Revolución Mexicana se ubica a 22 kilómetros de la línea de costa. Ambas presas limitan el aporte de sedimentos desde las partes altas de las cuencas hasta la zona litoral.

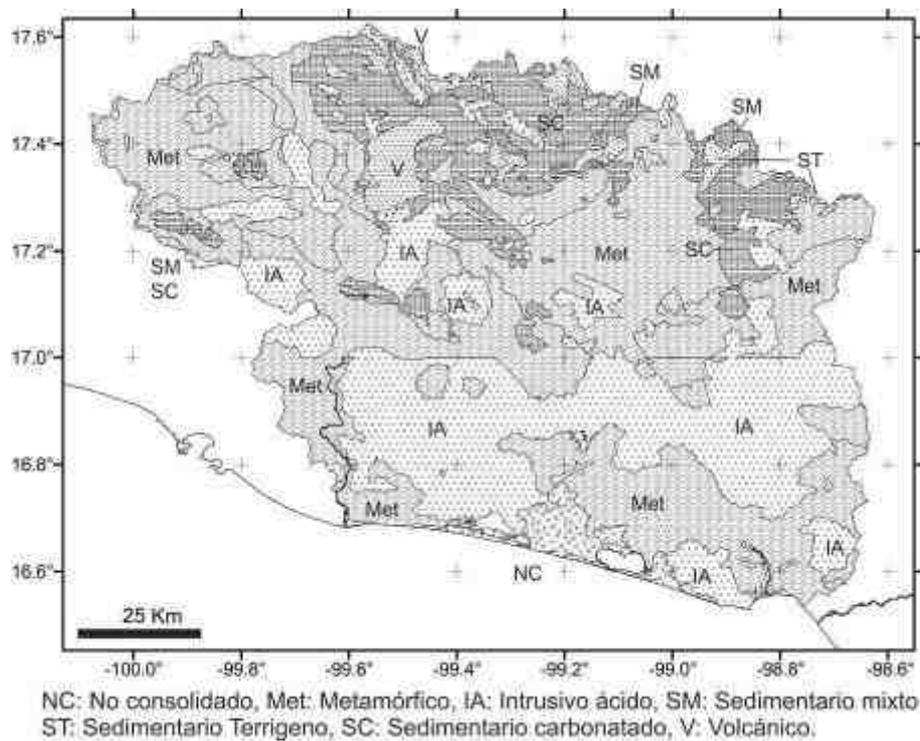


Figura 18. Unidades litológicas. Región Papagayo-Nexpa (modificado de Campa-Uranga *et al.*, 1998; Cruz-López *et al.*, 2000).

ANÁLISIS TEXTURAL DE ARENAS DE PLAYA

El análisis de la textura de los sedimentos se realizó en 39 muestras correspondientes con las 13 localidades especificadas en el área de estudio. Los resultados se ilustran en la tabla 5. El tamaño medio de grano varía en un rango de -0.770ϕ a 2.506ϕ , correspondiente con arena muy gruesa y arena fina respectivamente, el promedio para todas las muestras es 1.331ϕ que corresponde con arena media.

Tabla 5. Parámetros texturales de los sedimentos obtenidos aplicando las formulas propuestas por Folk (1974).

Mta.	Mz (ϕ)	$\sigma_I(\phi)$	Sk _I	K _G	Mta.	Mz (ϕ)	$\sigma_I(\phi)$	Sk _I	K _G
1i	1.713	0.605	-0.081	0.976	8i	-0.770	0.590	-0.126	0.907
1m	1.998	0.479	0.024	0.993	8m	0.331	0.397	0.209	0.945
1s	1.753	0.499	0.029	1.009	8s	-0.490	0.424	-0.002	1.426
2i	2.317	0.470	-0.009	1.017	9i	2.421	0.637	-0.191	1.130
2m	2.506	0.481	0.080	1.047	9m	2.384	0.492	-0.012	1.012
2s	2.378	0.460	0.032	1.008	9s	2.249	0.463	0.001	0.997
3i	0.586	0.666	0.035	0.978	10i	2.137	0.720	-0.186	0.992
3m	1.202	0.733	-0.020	1.020	10m	2.305	0.558	-0.124	1.242
3s	1.186	0.715	-0.058	1.058	10s	2.358	0.449	0.010	1.003
4i	0.680	0.683	0.033	0.940	11i	2.295	0.513	-0.019	1.015
4m	1.132	0.631	-0.071	1.015	11m	2.429	0.444	0.000	1.000
4s	0.841	0.698	-0.048	0.950	11s	2.172	0.464	0.008	0.981
5i	0.704	0.634	0.013	0.961	12i	1.113	0.714	-0.145	1.001
5m	1.286	0.595	-0.113	1.097	12m	1.542	0.477	-0.019	1.010
5s	1.152	0.657	-0.056	1.037	12s	0.948	0.571	-0.043	1.018
6i	0.378	0.709	0.110	0.940	13i	1.019	0.798	0.046	0.949
6m	0.903	0.635	-0.030	0.992	13m	0.779	0.923	0.034	0.885
6s	0.790	0.642	0.013	0.980	13s	0.864	0.733	-0.002	0.995
7i	0.493	0.665	0.042	0.945	Prom.	1.331	0.593	-0.018	1.013
7m	1.184	0.548	-0.065	1.032	D.E.	0.839	0.119	0.077	0.091
7s	0.646	0.556	-0.015	0.991	Max.	2.506	0.923	0.209	1.426
					Min.	-0.770	0.397	-0.191	0.885

n = 39.

De acuerdo con Carranza-Edwards (2001), las playas del Pacífico sur mexicano tienen un tamaño de grano promedio de 1.624ϕ , que es un valor muy cercano al promedio de las playas del estado de Guerrero. Las playas de Papanoa (2), El revolcadero (9 y 10) y

Playa hermosa (11), son más finas que los promedios; en Costa de Plata (4), Barra de Coyuca (6), Pie de la Cuesta (7), Condesa (8) y Marquelia (13), el tamaño medio de grano tiende a ser más grueso.

El tamaño de grano se asocia con la energía en el ambiente de depósito, se espera que las fracciones gruesas estén presentes en ambientes de mayor energía ya que para una mayor energía hay una mayor capacidad de arrastre de sedimentos gruesos y un menor depósito de sedimentos finos, no obstante, existen playas expuestas directamente al oleaje como El Revolcadero y Playa Hermosa que están compuestas de arenas finas y el caso de la playa Condesa compuesta por arenas gruesas y muy gruesas, que en apariencia está protegida del oleaje continuo dentro de una bahía, pero recibe mucha energía procedente de la acción de las olas.

Se puede decir que el tamaño de grano no está vinculado solo con la energía en el ambiente de depósito, sino que también son importantes: la distancia que existe entre la roca fuente, la presencia o ausencia de transporte litoral y la naturaleza litológica de las cuencas adyacentes. Algo similar sucede en playas del Golfo de California, en las que se ha asociado la distribución de los tamaños de grano grueso con la erosión de riscos y rocas dentro de una planicie costera estrecha y con la incapacidad de las corrientes litorales para suministrar tamaños más finos (Kasper-Zubillaga *et al.*, 2007).

De acuerdo con los resultados de la desviación estándar gráfica inclusiva (σ_I), la mayoría de las muestras y el promedio general son moderadamente bien clasificadas, otro grupo importante de muestras están bien clasificadas y un grupo menor están moderadamente clasificadas, el rango va de 0.424 a 0.923 ϕ , y el promedio es 0.593 ϕ .

Las playas del sur del Pacífico mexicano en promedio son moderadamente bien clasificadas, $\sigma_I = 0.653 \phi$ (Carranza-Edwards 2001). En Pie de la Cuesta (7), Barra de Coyuca (6), El Carrizal (5) y Costa de Plata (4) los valores se mantienen muy uniformes y cercanos a los promedios, en la playa de Papanoa (2) las arenas están mejor clasificadas y en Marquelia (13) es moderadamente clasificada, el resto de las playas varía según la subzona litoral.

Las diferencias en el grado de clasificación de las arenas puede ser atribuida principalmente a la mezcla de distintos procesos físicos como son las variaciones en la energía

de las corrientes litorales y del oleaje que generan flujos laminares o turbulentos (Carranza-Edwards *et al*, 2001; Kasper-Zubillaga *et al.*, 2006; Carranza-Edwards *et al*, 2009).

La asimetría y la curtosis gráfica son muy constantes, los resultados permiten clasificar a la gran mayoría de las muestras como simétricas y mesocúrticas. El rango de variación de la asimetría gráfica va de -0.191 a 0.209 y el promedio es de -0.018, la curtosis varía entre 0.885 y 1.426 y el promedio es 1.013.

El tamaño medio de grano y desviación gráfica inclusiva son parámetros que frecuentemente se relacionan inversamente en sedimentos arenosos de playas del pacífico mexicano (Carranza-Edwards *et al*, 2001; Carranza-Edwards *et al*, 2009) a menor tamaño mejor clasificación; sin embargo, los valores obtenidos no reflejan esa relación cuando se hace una regresión lineal (Fig. 19a), los datos correspondientes con el punto de muestreo 8 (condesa) se alejan bastante de la tendencia gráfica de los demás puntos, pues tienen un tamaño de grano mayor, pero el grado de clasificación es bueno, incluso las muestras 8m y 8s son las que están mejor clasificadas.

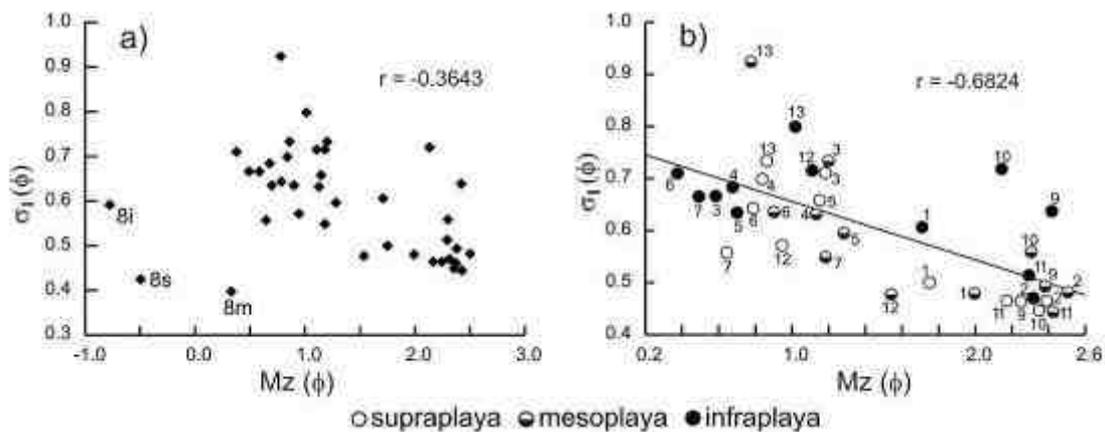


Figura 19. Tamaño medio de grano y desviación gráfica inclusiva: a) total de las muestras, b) excluyendo la muestra 8.

Esta playa está próxima a la roca fuente que está constituida solo por granitos y al encontrarse dentro de una bahía posiblemente no recibe influencia de sedimentos acarreados por el transporte litoral, lo que la hace diferente al resto de las playas muestreadas, De forma tal que, si se excluyen los valores de tamaño de grano y desviación gráfica in-

clusiva de esta muestra y se hace una nueva regresión lineal, el coeficiente r se vuelve significativo (Fig. 19b).

Aparentemente cuando se reduce el número de variables que afectan la textura de los sedimentos se obtienen resultados más uniformes, se puede suponer entonces que, los resultados más cercanos a la tendencia lineal comparten variables en común como pueden ser condiciones de depósito y transporte similares; los valores más alejados de la recta pueden tener otras condiciones o bien otras variables se hacen más significativas.

A lo largo de la costa, los parámetros texturales tienen una variación espacial importante, de igual forma, se observan variaciones entre los grupos poblacionales correspondientes a las sub-zonas de infraplaya, mesoplaya y supraplaya. En general hay una tendencia ascendente en el tamaño de grano promedio del sedimento desde la playa de Papanoa (2) hasta la playa de Condesa (8), pues se observa un quiebre en la distribución en este lugar. En la playa de El revolcadero (9) encontramos arenas finas que contrastan con playa de Condesa (8), aunque la distancia entre ambos puntos es relativamente corta, enseguida vuelve a presentarse la tendencia ascendente hasta la playa de Marquelia (13) (Fig. 20a).

Se observa también que desde la playa de Farallones (1) hasta Condesa (8) hay una distribución uniforme en el tamaño de grano, sedimentos más gruesos en infraplaya y más finos en supraplaya. De la playa de El Revolcadero (9) a la playa de Marquelia (13) se rompe la uniformidad en la distribución.

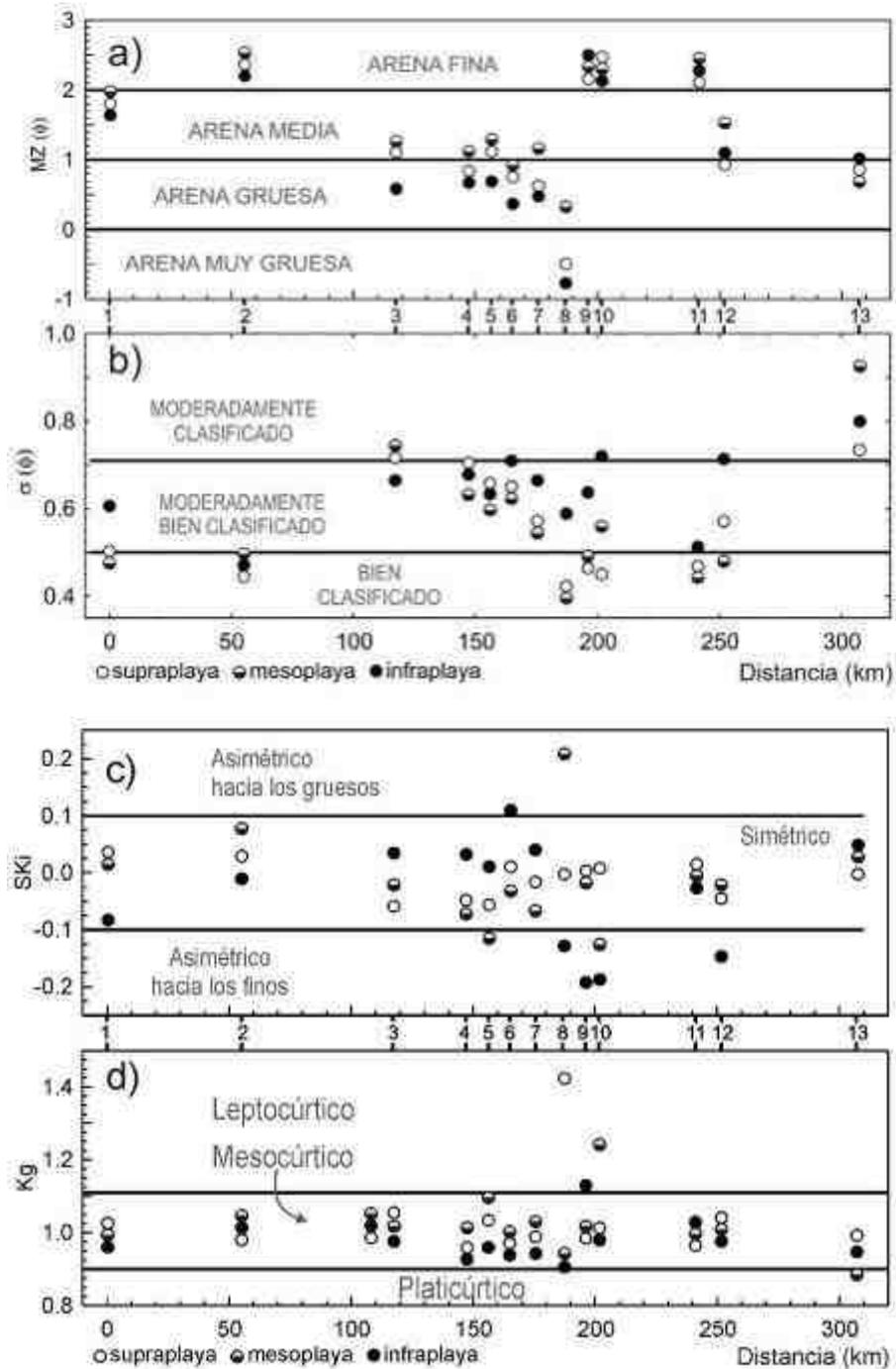


Figura 20. Variación espacial de los parámetros texturales. a) Tamaño de grano ($Mz\phi$); b) Desviación estándar gráfica inclusiva ($\sigma_I\phi$); c) Grado de asimetría (Ski); d) Curtosis gráfica (Kg).

De las descripciones realizadas se pueden destacar los resultados de los parámetros texturales de arenas de playa como en la Condesa (8), cuyo tamaño de grano grueso y su buena clasificación se pueden explicar porque existe una distancia mucho más corta

desde la roca fuente suministradora de los sedimentos y alta energía del oleaje en el ambiente de depósito, siendo responsables de que las arenas estén bien clasificadas y moderadamente bien clasificadas.

Las playas compuestas por arenas finas parecen estar influenciadas por el transporte litoral, sin embargo, el caso de las playas de Papanoa (2) y el Revolcadero (9), se encuentran muy cerca de litorales rocosos, esta característica de la morfología del litoral puede ofrecer protección contra el ataque directo de las olas y por ello se favorece el depósito de sedimentos más finos, esto apoyado con los resultados del grado de clasificación que es bueno en ambos casos.

En las playas El Revolcadero (10) y Playa Hermosa (11) los tamaños finos de arena pueden deberse a las características del relieve de las cuencas que aportan los sedimentos, el relieve es más suave cercano a la línea de costa. En la playa de Los Farrallones (2) el tamaño de grano tiende a ser fino y la clasificación buena, sin embargo, aquí puede deberse a la poca o nula influencia de las descargas fluviales, poca energía del oleaje, a causa de la protección que ofrecen los litorales rocosos cercanos al transporte litoral dominante.

Las playas ubicadas en la región central desde Paraíso Escondido (3) hasta Pie de la Cuesta (7) comparten características similares en relación con sus parámetros texturales, las condiciones que predominan aquí son la influencia de las descargas fluviales procedentes de sistemas importantes como los ríos Atoyac y Coyuca. La morfología del litoral es muy homogénea, posiblemente las condiciones de oleaje y transporte litoral son semejantes, ya que se trata de playas expuestas al continuo oleaje. Las arenas de la playa de Paraíso Escondido (3) están moderadamente clasificadas en las subzonas mesoplaya y supraplaya a diferencia de las demás playas de esta porción de litoral que son moderadamente bien clasificadas, esta ligera variación puede deberse a la influencia de las descargas procedentes del río Atoyac.

En Marquelia (13), las playas tienen la peor clasificación, debido posiblemente a la influencia del río Marquelia y condiciones de oleaje con flujo turbulento debido a la cercanía del cañón submarino de Quetzala. La playa de Barra Vieja (12) se encuentra muy cerca de Playa Hermosa (11) pero tienen diferencias en tamaño de grano siendo más

finos los que se encuentran en Playa Hermosa (11) por encontrarse en el extremo occidental de la barra de laguna de Tecomate, habiendo sufrido un mayor transporte litoral.

La predominancia de arenas medias, moderadamente bien clasificadas, simétricas y mesocúrticas es común en las playas del sur de México, como también se observa en el litoral oaxaqueño y chiapaneco (Carranza-Edwards, 1986; Carranza-Edwards *et al.*, 1988) y considerando que estos litorales forman parte de un mismo margen activo afectado por oleaje generado desde grandes distancias de la costa lo que le imprime características similares.

Tracción, saltación y suspensión de las arenas

A partir de los porcentajes acumulativos para los distintos tamaños de grano expresados en unidades ϕ , se vaciaron los datos en una grafica de distribución normal estándar, los datos se transformaron haciendo uso de la función inversa de la distribución normal estándar, si la población fuera una distribución normal el gráfico obtenido sería una línea recta, de acuerdo con Visher (1969) los porcentajes de material en tracción, saltación y suspensión pueden estimarse agrupando poblaciones que se ajustan a rectas que mejor los representan, en lugar de trazar una sola recta para toda la población, los materiales finos son típicamente transportados por suspensión (menores que 0.1 mm, 3.3 en unidades ϕ), las arenas se transportan por saltación y las arenas muy gruesas y gravas pueden ser transportadas por tracción.

Se representaron los puntos y posteriormente se agruparon las poblaciones para ajustarlas a la mejor recta que los representa empleando la regresión lineal por mínimos cuadrados, la proyección de las intersecciones entre estas rectas se proyectan al eje de porcentaje acumulativo para obtener los porcentajes, como se indica en la Figura 21. Los resultados completos se muestran en el Anexo A.

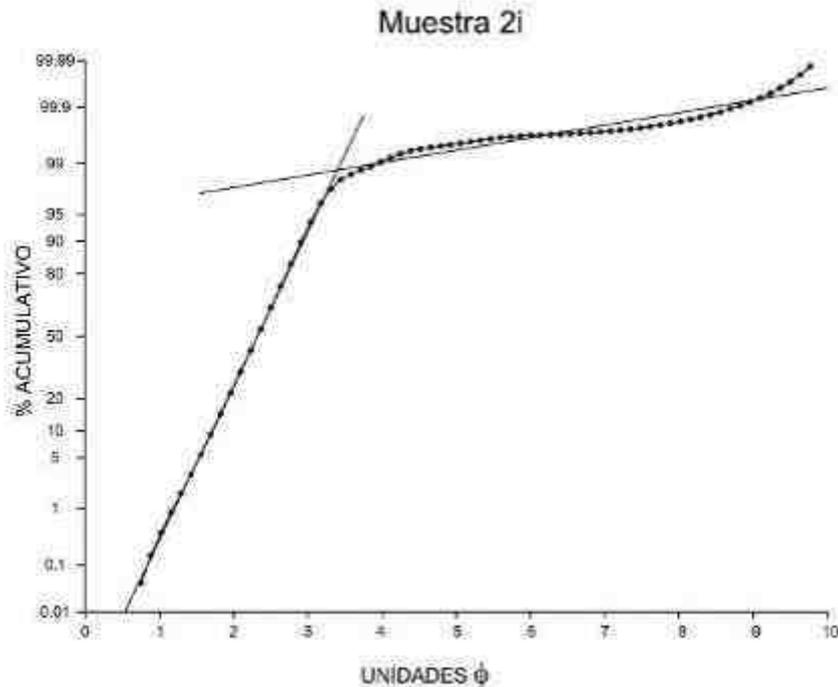


Figura 21. Ejemplo de gráfica de distribución normal estándar y poblaciones en suspensión y saltación (Visher, 1969). Las gráficas correspondientes a todas las muestras aparecen en el Anexo A.

Los resultados de diferentes poblaciones de transporte (Tabla 6), muestran un claro dominio de la población en saltación, e incluso cada muestra tiene uno o dos grupos que suman más del 90 % de sedimentos transportados por este mecanismo, con excepción de la muestra 8s (supraplaya Condesa) que suma menos del 90 %.

El transporte por tracción varía entre 0 y 12 %, en algunas playas no se detectó población transportada por este mecanismo, tratándose de arenas finas, mientras que la población máxima en tracción (12 %) se presenta en la muestra 8s (supraplaya Condesa) donde el tamaño de grano es de arena muy gruesa.

En el caso de las muestras 8i, 8m y 8s (playa Condesa) los tamaños de grano son arenas gruesas y muy gruesas, debido posiblemente a que el transporte por tracción sea más significativo que el obtenido.

Se observa que existe menos del 2 % de transporte en suspensión. Es importante tener cuidado con los grupos poblacionales, considerando que los sedimentos más finos que 3.3ϕ , tienen mayor probabilidad de ser transportados en suspensión (Visher, 1969), en

las playas estudiadas se presenta el transporte por suspensión desde 2ϕ y en ocasiones abarca una amplia gama de tamaños que pueden llegar hasta 10ϕ .

En el ambiente de playa es común encontrar dos poblaciones en saltación y una población en tracción significativamente menor que las poblaciones en saltación. (Visher, 1969; Reineck y Singh, 1980); no obstante, en las playas estudiadas no siempre se aprecia una población en tracción y frecuentemente se observa solo una población en saltación, lo cual podría implicar que no existen fuertes diferencias entre el oleaje de flujo y reflujo. En el caso de la playa Condesa (8) se presenta mayor transporte por tracción, debido a la fuerza de la corriente de flujo y reflujo, asociada con la intensidad del oleaje, puesto que las corrientes litorales carecen de influencia significativa dentro de la bahía.

Tabla 6. Resultados de análisis gráfico y analítico de las curvas de distribución normal estándar. Poblaciones en transporte por tracción, saltación y suspensión (Visher, 1969).

Mta.	Trac. (%)	Salt.1 (%)	Salt.2 (%)	Susp. (%)	Mta.	Trac. (%)	Salt.1 (%)	Salt.2 (%)	Susp. (%)
1i	0.35	33.84	64.93	0.88	7s	1.59	97.32	0.00	1.09
1m	2.48	96.42	0.00	1.10	8i	4.10	95.04	0.00	0.86
1s	0.67	98.25	0.00	1.08	8m	4.73	28.47	65.61	1.19
2i	0.00	98.75	0.00	1.25	8s	12.08	86.19	0.00	1.73
2m	3.08	95.92	0.00	0.99	9i	2.70	27.78	67.67	1.85
2s	0.00	98.85	0.00	1.15	9m	0.57	97.83	0.00	1.60
3i	4.67	94.47	0.00	0.86	9s	0.00	99.16	0.00	0.84
3m	2.80	96.81	0.00	0.40	10i	7.90	32.57	57.93	1.60
3s	2.46	18.28	78.39	0.88	10m	5.18	93.43	0.00	1.39
4i	3.68	95.60	0.00	0.72	10s	0.00	99.10	0.00	0.90
4m	1.49	37.87	59.91	0.73	11i	1.53	97.18	0.00	1.30
4s	2.63	96.57	0.00	0.79	11m	0.00	98.36	0.00	1.64
5i	2.13	96.96	0.00	0.91	11s	1.92	97.45	0.00	0.63
5m	0.83	14.86	83.09	1.23	12i	2.58	44.50	51.89	1.03
5s	1.29	26.93	71.17	0.62	12m	4.57	94.73	0.00	0.70
6i	8.41	31.34	59.96	0.29	12s	0.73	98.11	0.00	1.16
6m	1.12	97.97	0.00	0.91	13i	5.21	94.05	0.00	0.75
6s	1.99	97.06	0.00	0.95	13m	10.02	89.64	0.00	0.34
7i	8.32	90.91	0.00	0.77	13s	2.66	96.48	0.00	0.86
7m	0.79	21.62	76.19	1.40					

Mta.= Muestra; Trac. = Tracción; Salt = Saltación; Susp. = Suspensión.

Se puede decir que los sedimentos de las playas del estado de Guerrero se caracterizan por tener un tamaño de grano promedio de arena media, moderadamente bien clasificados, simétricos y mesocúrticos, esta predominancia se ha observado en otros litorales cercanos, particularmente en el estado de Chiapas y el estado de Oaxaca.

Apoyados en las diferencias evidentes en torno a las características morfológicas de las costas, unidades litológicas de las cuencas y variación climática, la naturaleza de los parámetros texturales del litoral Guerrerense puede deberse principalmente a las condiciones del oleaje y relieve de las cuencas.

Los parámetros texturales se asocian en general con la energía en el ambiente de depósito y con la distancia desde la roca fuente. Los sedimentos gruesos se relacionan con playas expuestas al oleaje intenso y fuerte relieve de las cuencas. La presencia de sedimentos finos se da en playas cercanas a litorales rocosos que ofrecen cierta protección contra la energía del oleaje, en otras playas los sedimentos finos parecen asociarse con el relieve suave de las cuencas de donde provienen.

Los parámetros texturales no tienen una distribución uniforme a lo largo del litoral, desde la playa de los Farallones (1) hasta Acapulco (8) los sedimentos más gruesos se presentan en la infraplaya y los más finos en supraplaya; sin embargo, desde la playa del Revolcadero (9) hasta la desembocadura del Río Marquelia no hay un patrón uniforme de distribución, ya que tanto tamaños finos como gruesos se presentan en infraplaya, mesoplaya o supraplaya. Una posible explicación es que existe una diferencia en las condiciones de transporte y depósito y la morfología de las costas, ya que varias de las playas donde la distribución del tamaño de grano es uniforme en las tres subzonas (infraplaya, mesoplaya y supraplaya) se da en un litoral de morfología regular.

La interacción entre procesos físicos de distinta naturaleza, como son las variaciones en la energía de las corrientes litorales, el oleaje y los vientos, generan flujos laminares o turbulentos, que posiblemente influyen en las diferencias en el grado de clasificación de las arenas, la influencia de sedimentos procedentes de descargas fluviales también puede alterar el grado de clasificación de las arenas, la diferencia en el grado de clasificación más evidente se encuentra en playa Marquelia (13), donde los procesos físicos se combinan, los sedimentos deben estar influenciados por la descarga del río Marquelia y

puede existir una dinámica turbulenta en las corrientes marinas superficiales debido a la presencia del cañón submarino de Quetzala.

La playa Condesa (8), dentro de la bahía de Acapulco, es significativamente distinta a las demás, pues el tamaño de grano es de arenas gruesas y muy gruesas, moderadamente bien clasificadas a bien clasificadas, la morfología de la costa permite inferir que el transporte litoral es muy restringido y que la fuente de procedencia de los clastos es cercana al lugar donde se depositan, más cercana que en otras playas dentro del área de estudio. Como se ve, el tamaño de grano de las arenas no está solo en función de la energía del ambiente de depósito, sino también de la distancia a la que se encuentre la roca fuente.

El transporte de los clastos se lleva principalmente a cabo por saltación, en porcentajes mayores que 90 %. En el caso de las muestras de la playa Condesa (8), el transporte por tracción es muy significativo. Esto implica que puede existir flujo turbulento durante este proceso. En general se puede decir que las playas del estado de Guerrero están muy influenciadas por la acción del oleaje.

PETROGRAFÍA

Los granos observados al microscopio óptico de polarización se agruparon en nueve campos como se describe en el capítulo de metodología. Los fragmentos de roca metamórfica incluyen esquistos, gneises, meta-sedimentarias y meta-volcánicas. Los líticos plutónicos están constituidos por agregados cristalinos de cuarzo, feldespato potásico y plagioclasas, lo que indica que son en su mayoría derivados de rocas graníticas o granodioríticas, lo que los hace consistentes con las rocas que dominan el continente, aunque en otros casos se encontraron líticos asociados con magmatismo básico e incluso ultra-básico evidenciado por la presencia de piroxenitas (Fig. 22). En la tabla 7 se presentan los resultados del conteo modal mineralógico para los campos seleccionados.

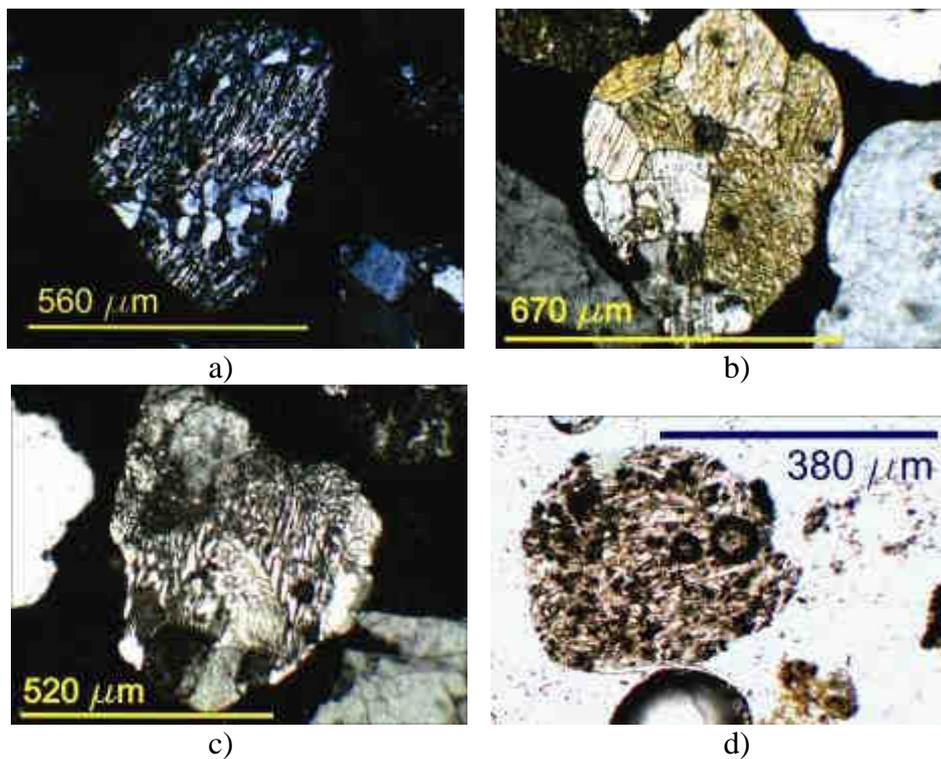


Figura 22. Microfotografías de algunos componentes: a) Lítico metamórfico (muestra 12 s); b) Lítico plutónico compuesto por piroxenos y plagioclasa (muestra 7s); c) Mirmekita (intercrecimiento de cuarzo y feldespato) probablemente derivado de una roca plutónica (muestra 7s); d) Fragmento de roca volcánica (muestra 1s).

Tabla 7. Resultados (%) del conteo modal mineralógico y petrográfico.

Mta.	Cm	Cp	Fp	Fp	Lp	Lm	Ls	Lv	MP
1i	26.21	2.07	7.93	29.31	19.66	5.17	0.34	3.45	5.86
1m	31.23	3.32	12.62	11.63	3.99	7.31	1.00	0.33	28.57
1s	21.77	2.04	8.16	22.11	12.59	10.88	0.00	0.68	21.77
2i	38.13	3.34	3.34	28.09	10.03	3.68	0.00	0.33	13.04
2m	32.33	0.67	5.33	15.33	2.00	5.33	0.67	0.67	37.67
2s	31.33	1.33	4.00	25.33	10.33	4.67	0.00	0.00	23.00
3i	25.00	8.67	11.33	12.67	27.67	11.33	0.00	0.33	3.00
3m	33.00	5.05	7.07	18.86	7.41	5.72	0.00	1.35	21.55
3s	28.00	5.33	6.67	23.33	16.00	5.67	0.00	0.67	14.33
4i	37.33	11.00	12.33	19.00	11.33	2.33	0.00	0.67	6.00
4m	32.41	10.00	8.62	20.34	16.90	6.55	0.00	0.00	5.17
4s	30.56	6.64	11.30	17.61	25.91	3.32	0.33	0.66	3.65
5i	30.90	6.98	11.30	18.60	26.91	3.65	0.00	0.66	1.00
5m	31.33	5.67	6.33	23.00	21.00	5.33	0.33	0.33	6.67
5s	36.61	4.72	9.84	19.69	9.06	6.69	1.18	0.39	11.81
6i	29.33	10.67	18.67	17.67	8.33	10.33	0.00	0.00	5.00
6m	34.45	9.36	11.71	15.38	17.06	9.36	0.67	0.00	2.01
6s	30.56	7.97	7.97	16.28	21.26	7.64	0.33	0.00	7.97
7i	37.00	10.33	9.33	21.33	13.00	4.67	0.33	1.67	2.33
7m	32.00	3.00	14.00	18.67	23.33	6.00	0.00	0.33	2.67
7s	29.00	9.00	10.33	16.00	27.00	8.00	0.00	0.00	0.67
8i	40.86	1.61	18.82	1.08	36.02	1.61	0.00	0.00	0.00
8m	46.67	1.00	20.00	4.00	28.33	0.00	0.00	0.00	0.00
8s	37.68	1.45	15.94	1.93	43.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9i	23.33	8.33	5.00	19.67	10.00	16.33	0.00	0.33	17.00
9m	32.77	8.11	4.05	16.55	5.07	24.66	0.68	0.34	7.77
9s	24.25	9.63	3.32	15.61	10.96	19.27	0.66	1.99	14.29
10i	23.83	13.76	1.34	14.77	7.05	22.82	0.67	0.00	15.77
10m	31.63	12.59	2.72	8.16	8.16	17.01	4.08	0.34	15.31
10s	21.40	9.36	5.35	11.71	4.68	27.09	0.00	0.00	20.40
11i	24.41	6.78	2.37	13.90	8.14	29.49	0.34	0.00	14.58
11m	27.61	12.12	1.35	8.42	6.06	29.63	1.01	0.00	13.80
11s	23.57	8.42	4.71	10.10	4.38	35.35	2.36	0.00	11.11
12i	20.60	14.62	6.64	9.97	14.29	27.24	0.33	0.66	5.65
12m	21.67	15.33	3.33	13.00	6.00	32.67	0.00	0.00	8.00
12s	24.16	12.08	6.04	7.72	5.03	39.60	0.34	0.67	4.36
13i	34.67	10.67	10.67	18.00	6.00	3.67	0.00	0.00	16.33
13m	30.33	13.33	6.00	13.33	4.67	16.00	0.00	0.00	16.33
13s	31.33	9.33	3.00	16.33	15.33	7.67	0.00	0.00	17.00
Prom.	30.40	7.60	8.30	15.73	14.61	12.76	0.48	0.50	11.20
D.E.	5.90	4.16	4.86	6.40	9.71	10.85	0.77	0.68	8.66
Max	46.67	15.33	20.00	29.31	43.00	39.6	4.08	3.45	37.67
Min	20.6	0.67	1.34	1.08	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00

n = 39

Los cuarzos monocristalinos (Cm) se observan en la mayoría de las muestras como cristales muy limpios y con frecuencia se hallan inclusiones de zircón. El cuarzo policristalino (Cp) se encontró, en ocasiones, rodeado de moscovita, lo que constituye un fragmento de roca metamórfica. El porcentaje de cuarzo policristalino (Cp) se correlaciona positivamente con los líticos metamórficos (Lm) (Anexo C).

Existe una gran dispersión entre los resultados obtenidos debido a la variación del contenido de minerales pesados (MP) y las diferencias en el tamaño de grano y clasificación de los sedimentos. El porcentaje de cuarzo monocristalino (Cm) resultó en promedio cercano a 30 %; y la variación más importante se da en la playa condesa (8) ubicada en la bahía de Acapulco, donde la arena de mesoplaya tiene cerca de 50 % de Cm.

Las playas Farallones (1) y Papanoa (2) (Fig. 23) se caracterizan por un bajo contenido de cuarzo policristalino (Cp) y un mayor contenido de plagioclasas (Fp) pero con variaciones importantes entre los sub ambientes de infra, meso y supraplaya. En ambos casos los minerales pesados (MP) resultaron abundantes en supraplaya y mesoplaya.

Las playas Costa de Plata (4), El Carrizal (5), La Barra de Coyuca (6) y Pie de la Cuesta (7) pertenecientes a la región central de la costa guerrerense (Atoyac-Coyuca), donde el litoral es arenoso desde Papanoa hasta Acapulco y la distancia entre los puntos de muestreo es relativamente corta. Comparten similitudes casi en todos los campos de conteo (Fig. 23). Las arenas de estas playas reflejan diversos orígenes: granítico, grano-diorítico y en menor grado de rocas metamórficas, siendo esto consistente con la litología del área suministro.

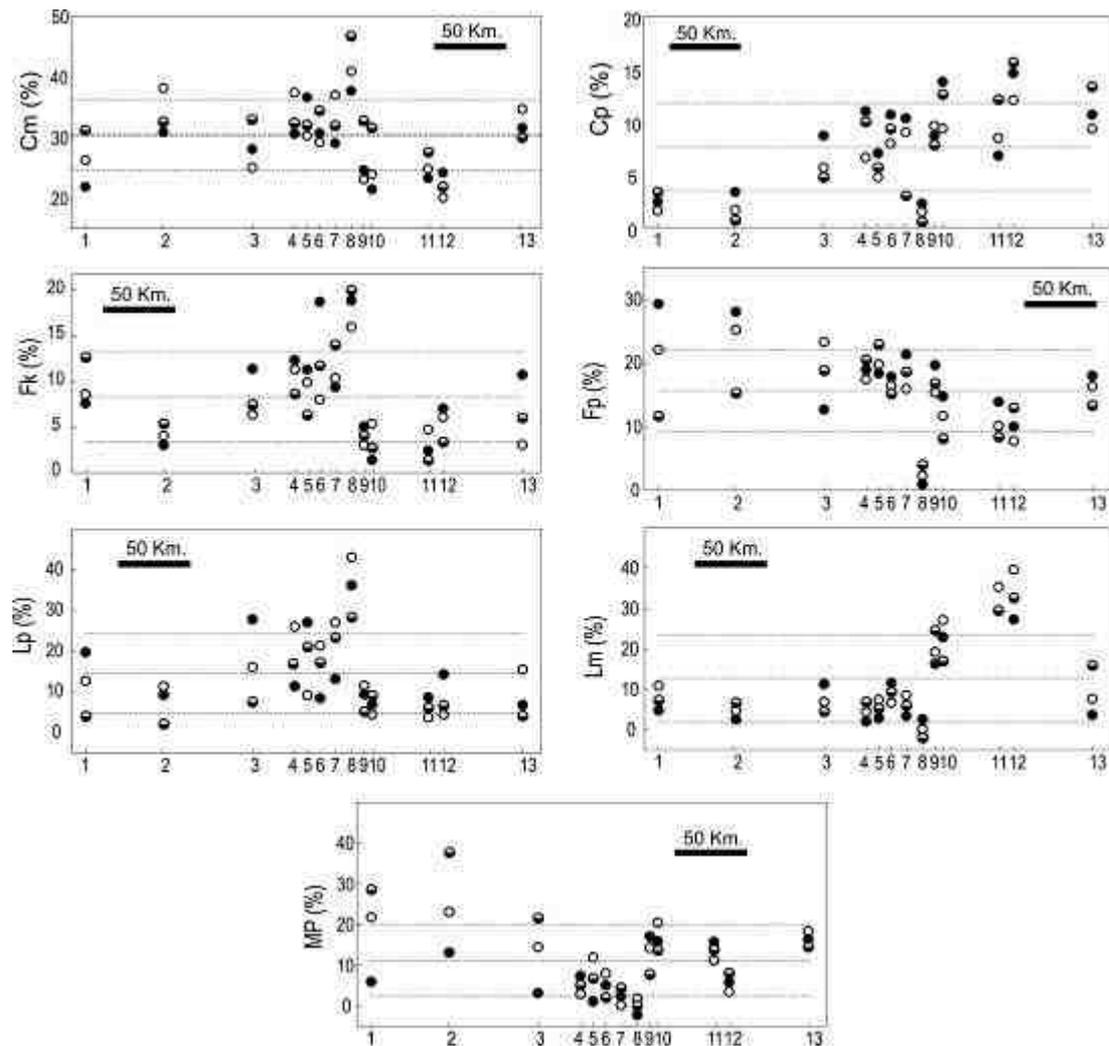


Figura 23. Variación espacial de la composición mineral de las arenas de playa, líneas punteadas representan los valores de la media y desviación estándar, la simbología de los puntos como en la figura 20.

Los sedimentos de las playas 9 a 12 pueden agruparse por su alto contenido de cuarzo policristalino y clastos de origen metamórfico, mientras que las arenas de las playas Paraíso Escondido (3), Condesa (8) y Marquelia (13) reflejan una composición que no se agrupa con ninguna de las otras muestras. Así, la muestra 3 tiene cierta afinidad con el grupo de playas 4 a 7 por la relación de distancia, pero contrasta en cuanto a la variación de minerales pesados y su bajo contenido de feldespatos potásicos (Fk), esto último se puede explicar por la influencia del factor climático (Fig. 2, Tabla 1) el cual al ser cálido subhúmedo produce intemperismo químico en los feldespatos.

La playa de Marquelia (13) guarda similitud por Cp y litología en la cuenca con el grupo de muestras 9 a 12; sin embargo, su contenido de Lm es menor, posiblemente por diferencias en los procesos dinámicos costeros, ya que aquí la presencia del Cañón Quetzala inhibe el transporte litoral hacia el oeste.

La playa 8 (Condesa) se localiza dentro de la bahía de Acapulco, donde las condiciones de depósito contrastan con los demás puntos de muestreo por tres razones principales: 1) la roca fuente está muy cerca de la playa, 2) la roca suministro es de composición granítica y aparentemente no existe influencia de otras rocas, 3) se encuentra en una bahía semi-cerrada, en una zona donde existe mucha influencia del oleaje por la reflexión del tren de ondas pero con transporte litoral restringido por las condiciones morfológicas de la bahía. Los clastos en esta región son de tres tipos principalmente, cuarzo monocristalino, líticos plutónicos y feldespatos alcalinos, considerando que también son las muestras donde se tiene el mayor tamaño de grano, todas las variables mencionadas son consistentes y explican el contraste con relación a las demás muestras.

Los minerales pesados, principalmente de tipo inestable o moderadamente estables (Kasper-Zubillaga *et al.*, 2008 a), están presentes en mayor grado en playas donde el tamaño de grano tiende a ser más fino, como en Farallones (1), Papanoa (2), el Revolcadero (9 y 10) y Playa Hermosa (11). En Paraíso Escondido (3) los minerales pesados se distribuyen de forma muy irregular en las subzonas de infraplaya, mesoplaya y supraplaya, esto puede deberse a las descargas del río Atoyac, que parece tener mucha influencia en estos sedimentos.

El diagrama de clasificación de Folk (1974), agrupa el contenido de cuarzo total, feldespato total y líticos totales, muestra la proporción en que se encuentran estas fracciones (Fig. 24), se observa que la mayoría de las muestras corresponden a la clasificación de litarenita feldespática y feldsarenita lítica, la variación con relación al cuarzo total es desde Qt54-Ft34-Lt12 hasta Qt30-Ft40-Lt30: con relación al feldespato total desde Qt30-Ft40-Lt30 hasta Qt46-Ft11-Lt43 y con relación a los líticos totales desde Qt38-Ft14-Lt48 hasta Qt54-Ft34-Lt12.

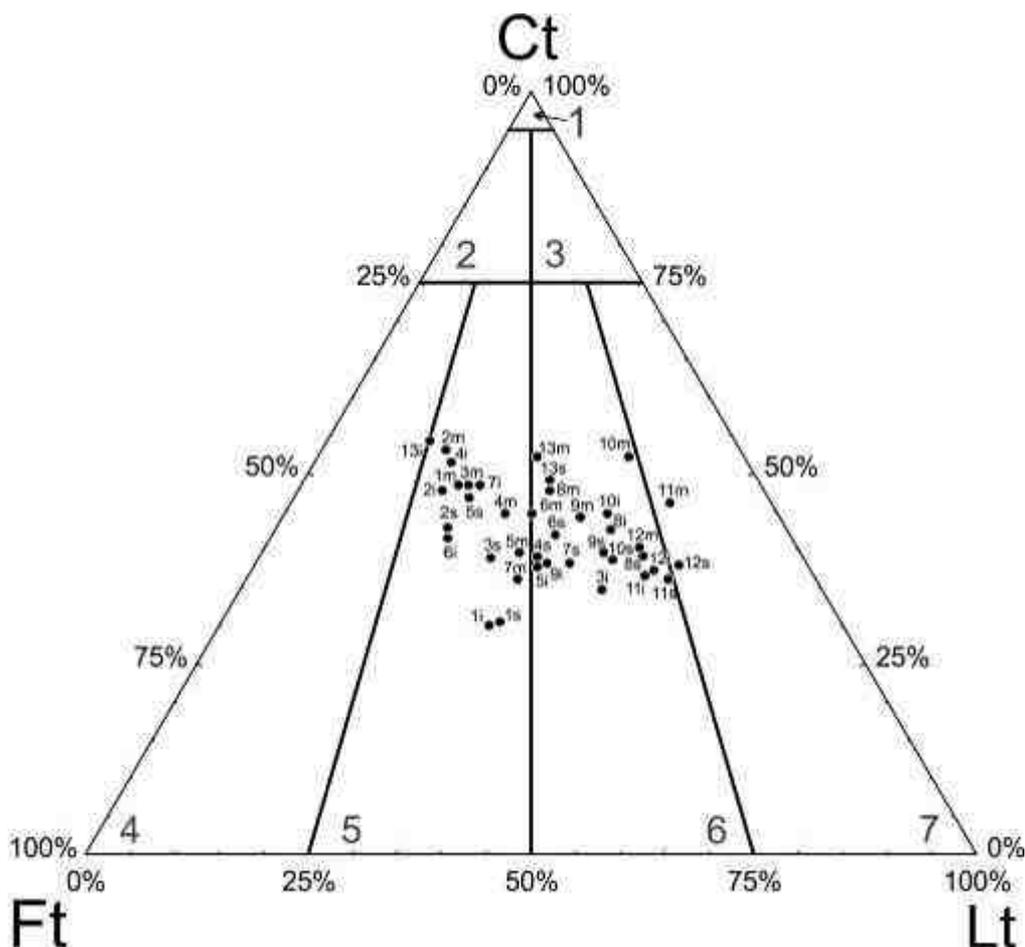


Figura 24. Diagrama de clasificación de Folk (1974) para muestras de Guerrero. 1) Cuarzoarenita; 2) Subfeldsarenita; 3) Sublitarenita; 4) Feldsarenita; 5) Feldsarenita lítica; 6) Litarenita félsica; 7) Litarenita. Ct: Cuarzo total, Ft: Feldespato total, Lt: Líticos totales.

De acuerdo con esta clasificación se observa una distribución equitativa entre cuarzo feldespato y líticos, las playas El Revolcadero W (10), Playa Hermosa (11) y Barra Vieja (12) tienden a acercarse más al polo de los fragmentos líticos, esto se debe a la influencia importante de los líticos metamórficos que afloran en la región. Las tres playas mencionadas se ubican en una zona de relieve suave y presentan una menor cantidad de feldespatos que en otras playas.

Se observa que las arenas del estado de Guerrero son feldsarenitas líticas y litarenitas félsicas de acuerdo con la clasificación de Folk (1974) y se componen principalmente de cuarzo monocristalino, policristalino, feldespatos alcalinos, plagioclasas, líticos metamórficos, plutónicos y minerales pesados. Las rocas de las cuales se derivan estos clastos son principalmente rocas ígneas intrusivas ácidas y rocas metamórficas.

Las playas se agrupan en función de su contenido mineral, así, los Farallones (1) y Papanoa (2) se caracterizan por tener un bajo contenido de cuarzo policristalino y mayor contenido de plagioclasas, cuyo origen puede estar relacionado con mezclas de rocas intrusivas, volcánicas y metamórficas, y los minerales pesados se pueden asociar con las unidades litológicas constituidas principalmente por rocas sedimentarias, volcánicas y volcanoclásticas, granitoides y rocas ultra básicas.

La influencia de rocas ígneas ácidas es más evidente en las playas 3-8, desde Paraíso escondido hasta Condesa (8). Las playas 9-12 se enriquecen de líticos metamórficos y la playa de Marquelia (13) muestra una composición mixta entre rocas plutónicas ácidas y metamórficas. Los sedimentos de estas playas deben tener su origen en rocas muy cercanas a la línea de costa, puesto que no hay presencia importante de líticos volcánicos o sedimentarios, que afloran en las partes altas de las cuencas hidrográficas correspondientes.

La playa Paraíso Escondido (3), en la desembocadura del río San Jerónimo ó Atoyac, está constituida por sedimentos derivados de rocas intrusivas ácidas, metamórficas y volcánicas en menor grado. La presencia de clastos de este tipo, explica la presencia de cuarzo policristalino y minerales pesados. Es posible que el transporte sea poco selectivo desde la roca fuente y que la abrasión de los clastos de feldespatos por los procesos costeros no sea tan efectiva, lo que se ha supuesto como una respuesta natural a las características del relieve, lo que explicaría que se observen abundantes líticos, feldespatos y cuarzo totales.

GEOQUÍMICA

Elementos mayores

Los resultados del análisis geoquímico de elementos mayores para las arenas de playa se presentan en la tabla 8, además, se incluye el análisis de sedimentos de río en la tabla 9 con el fin de incorporar información adicional.

Los elementos mayores de las arenas de playa del estado de Guerrero muestran que su composición es ácida, pues el contenido de sílice tiene valores entre 66.41 % y 85.3 % , con un valor promedio de 78.17 %. La distribución del sílice es homogénea, dado que los valores bajos se asocian con muestras cercanas a Zihuatanejo y los valores altos se encuentran en playa Condesa (8). Los sedimentos de los ríos muestran una composición similar, con un promedio 74.84 % de SiO₂ (tabla 7). Si se hace una comparación con muestras de rocas graníticas se observa que los valores de sílice son muy similares; sin embargo, se distingue una mayor concentración en las arenas de playa, los sedimentos muestran un enriquecimiento mayor en las muestras 4 a 8 y 12 -13 y en la muestra 1 un ligero empobrecimiento.

El contenido de aluminio de las muestras de playa varía entre 6.82% y 11.51%, el promedio es de 9.32 %, estos valores indican un empobrecimiento si se relaciona con el promedio (11.74 %) para las muestras de río y los valores típicos de las rocas graníticas (12.1 a 12.53 %) para el valor de referencia JG-2 (Ando, 1984) y 13.6-14.2 en granitos del intrusivo Acapulco (Hernández-Pineda, 2006). La variación espacial del aluminio es mínima, sin embargo, se puede observar que los valores más altos se hallan en la muestra correspondiente a playa Los Farallones (1) y el contenido menor se encuentra en playa Barra Vieja (12).

La relación silicio/aluminio para las arenas de playa en promedio es mayor que para las muestras de río, y aún mayor para el promedio de las rocas graníticas y metamórficas que afloran en las cuencas del área de estudio (Talavera-Mendoza y Guerrero-Suástegui, 2000, Hernández-Pineda, 2006; Hernández-Pineda, 2009; Pérez-Gutiérrez *et al.*, 2009; Martini *et al.*, 2010). Este es el efecto que tiene el enriquecimiento de sílice y empobrecimiento del aluminio en las muestras de playa, con relación a los datos reportados en literatura para rocas continentales.

Tabla 8. Resultados (%) del análisis geoquímico de elementos mayores para las arenas de playa del estado de Guerrero.

Mta.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3t}	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	PXC	SUMA
1i	73.77	0.19	11.51	1.90	0.03	0.87	2.99	3.08	2.92	0.01	2.39	99.66
1m	66.41	1.77	10.47	7.85	0.16	2.17	5.18	2.35	1.84	0.11	1.57	99.87
1s	70.17	0.80	10.53	5.08	0.10	1.92	4.35	2.48	2.19	0.06	1.86	99.73
2i	74.38	0.41	10.59	3.04	0.05	1.25	2.81	3.15	2.30	0.22	1.51	99.70
2m	75.43	0.51	10.17	3.61	0.06	1.58	3.34	3.00	1.90	0.08	0.60	100.27
2s	72.86	0.71	9.88	4.80	0.08	1.56	3.30	3.14	2.00	0.07	1.46	99.86
3i	77.24	0.35	10.17	2.48	0.04	0.93	1.59	2.73	3.40	0.00	0.94	99.79
3m	73.21	0.91	10.08	5.64	0.08	1.32	2.27	2.57	2.87	0.07	0.85	99.88
3s	75.70	0.62	9.94	4.19	0.06	1.08	1.91	2.50	3.10	0.00	0.79	99.87
4i	79.45	0.12	9.74	1.07	0.02	0.70	1.07	2.60	3.58	0.00	1.10	99.34
4m	79.03	0.16	10.54	1.21	0.02	0.74	1.26	2.61	3.58	0.05	0.86	100.07
4s	79.91	0.14	9.80	1.21	0.02	0.70	1.17	2.40	3.54	0.00	0.97	99.77
5i	80.04	0.12	9.71	1.07	0.02	0.64	1.06	2.52	3.68	0.00	1.09	99.91
5m	76.64	0.37	9.91	2.11	0.05	1.12	1.68	2.49	2.92	0.05	1.93	99.27
5s	79.54	0.42	8.93	2.21	0.04	0.96	1.46	2.12	3.05	0.05	0.88	99.66
6i	79.57	0.14	9.73	1.09	0.02	0.60	1.03	2.54	3.73	0.05	1.21	99.71
6m	79.17	0.17	9.91	1.16	0.03	0.69	1.14	2.42	3.38	0.05	1.47	99.57
6s	79.71	0.38	9.01	1.86	0.04	0.85	1.35	2.12	3.12	0.04	1.40	99.88
7i	80.97	0.09	9.21	0.79	0.01	0.61	1.00	2.37	3.65	0.00	1.18	99.88
7m	79.48	0.10	9.57	0.76	0.03	0.57	1.00	2.48	3.53	0.04	2.01	99.56
7s	80.92	0.15	9.01	1.42	0.03	0.88	1.34	2.12	2.93	0.08	0.81	99.67
8i	83.97	0.02	8.03	0.30	0.01	0.22	0.49	1.97	4.10	0.00	0.71	99.81
8m	84.75	0.04	7.54	0.38	0.00	0.33	0.63	2.05	3.63	0.02	0.76	100.12
8s	85.30	0.02	7.45	0.30	0.00	0.25	0.47	1.8	3.75	0.05	0.54	99.94
9i	76.66	0.46	9.30	3.35	0.05	1.15	1.56	1.94	2.41	0.08	3.00	99.96
9m	76.59	0.39	9.66	2.70	0.03	1.03	1.23	2.46	2.44	0.07	2.95	99.55
9s	77.28	0.49	8.84	3.67	0.05	1.16	1.63	1.60	2.03	0.08	2.58	99.42
10i	77.69	0.32	9.14	2.44	0.03	0.90	1.67	1.93	2.57	0.07	2.86	99.63
10m	76.64	0.38	9.79	2.72	0.04	1.06	1.26	2.32	2.39	0.07	2.90	99.57
10s	75.37	0.71	8.95	4.81	0.06	1.34	2.01	1.52	2.02	0.10	2.93	99.82
11i	76.52	0.38	10.17	2.91	0.04	1.05	1.17	2.09	2.52	0.03	2.63	99.51
11m	76.63	0.42	9.67	2.99	0.05	1.14	1.33	2.04	2.23	0.07	3.00	99.57
11s	78.50	0.41	9.22	3.13	0.04	1.05	1.22	1.60	2.28	0.09	2.48	100.03
12i	82.84	0.24	7.54	2.04	0.03	0.65	0.82	1.92	2.15	0.06	1.47	99.76
12m	83.61	0.30	7.02	2.38	0.03	0.78	0.94	1.69	1.68	0.06	1.40	99.87
12s	83.99	0.33	6.82	2.67	0.04	0.74	0.91	1.33	1.62	0.02	1.27	99.74
13i	77.31	0.52	9.50	3.49	0.05	0.79	1.44	2.17	2.73	0.10	1.12	99.22
13m	80.56	0.44	8.29	2.91	0.05	0.74	1.46	1.86	2.44	0.05	1.00	99.81
13s	80.91	0.45	7.99	3.08	0.06	1.00	1.59	1.60	2.23	0.03	0.75	99.68
Prom.	78.17	0.38	9.32	2.59	0.04	0.95	1.64	2.25	2.78	0.05	1.57	
D.E.	3.93	0.31	1.06	1.61	0.03	0.40	1.00	0.45	0.68	0.04	0.80	
Max.	85.30	1.77	11.51	7.85	0.16	2.17	5.18	3.15	4.10	0.22	3.00	
Min.	66.41	0.02	6.82	0.30	0.00	0.22	0.47	1.33	1.62	0.00	0.54	

n = 39

Tabla 9. Resultados (%) del análisis geoquímico de elementos mayores para muestras de río del estado de Guerrero.

Mta.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3t}	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	PXC	SUMA
1R	73.73	0.33	11.52	3.14	0.06	0.75	2.63	2.63	3.05	0.06	1.09	98.98
2R	70.52	0.52	12.71	4.58	0.06	1.16	3.15	2.89	2.51	0.11	1.54	99.76
3R	68.12	0.98	12.47	6.93	0.10	2.30	3.68	2.40	2.08	0.10	1.37	100.51
4R	78.01	0.29	10.66	2.75	0.05	0.90	1.73	2.39	2.99	0.06	0.84	100.66
5R	77.38	0.17	12.38	1.05	0.03	0.46	1.42	3.24	3.62	0.02	0.48	100.25
6R	72.25	0.31	13.07	2.43	0.04	0.88	1.85	3.35	3.78	0.07	0.92	98.96
7R	73.13	0.38	12.95	2.72	0.05	0.96	1.64	3.26	3.81	0.08	1.02	100.01
8R	78.55	0.20	11.13	1.72	0.03	0.71	1.44	2.55	3.65	0.05	0.72	100.76
9R	75.81	0.33	10.59	3.46	0.06	1.30	3.02	2.36	2.11	0.06	0.60	99.69
10R	80.88	0.18	9.89	1.70	0.03	0.65	1.14	2.02	3.50	0.05	0.66	100.71
Prom.	74.84	0.37	11.74	3.05	0.05	1.01	2.17	2.71	3.11	0.07	0.92	-
D.E.	3.98	0.24	1.13	1.69	0.02	0.51	0.88	0.45	0.67	0.03	0.34	-
Max.	80.88	0.98	13.07	6.93	0.10	2.30	3.68	3.35	3.81	0.11	1.54	-
Min.	68.12	0.17	9.89	1.05	0.03	0.46	1.14	2.02	2.08	0.02	0.48	-

n = 39

En promedio para las muestras de playa, el potasio (2.78%) es mayor que el sodio (2.25%), sucede en la mayoría de las muestras, excepto en Los Farallones y Papanoa, en promedio la relación potasio-sodio es de 1.26 para las playas; de igual forma en las muestras de los ríos el potasio (3.11%) es mayor que el sodio (2.71%), aunque, la media de ambos valores es ligeramente mayor que en las muestras de arena, en los ríos La Unión, Lagunillas y Cacahitla los valores del sodio superan ligeramente a los de potasio, en promedio la relación potasio-sodio es de 1.15 para los ríos.

Generalmente las rocas graníticas que afloran en las cuencas de estudio muestran valores similares entre sodio y potasio, en pocos casos el sodio llega a ser ligeramente mayor (Hernández-Pineda, 2006; Hernández-Pineda, 2009; Pérez-Gutiérrez *et al.*, 2009; Martini *et al.*, 2010), y en las granodioritas y rocas básicas es más común encontrar mayor contenido de sodio (Talavera-Mendoza y Guerrero-Suástegui, 2000, Hernández-

Pineda, 2006; Hernández-Pineda, 2009; Pérez-Gutiérrez *et al.*, 2009; Martini *et al.*, 2010).

La figura 25 muestra la relación entre los cocientes potasio:sodio contra silicio:aluminio (Armstrong-Altrin, 2009) como una medida del grado de acidez de los sedimentos en función del enriquecimiento de sílice y potasio contra el empobrecimiento de aluminio y sodio, las muestras 1 y 2 serían menos acidas que la muestra 8 por ejemplo.

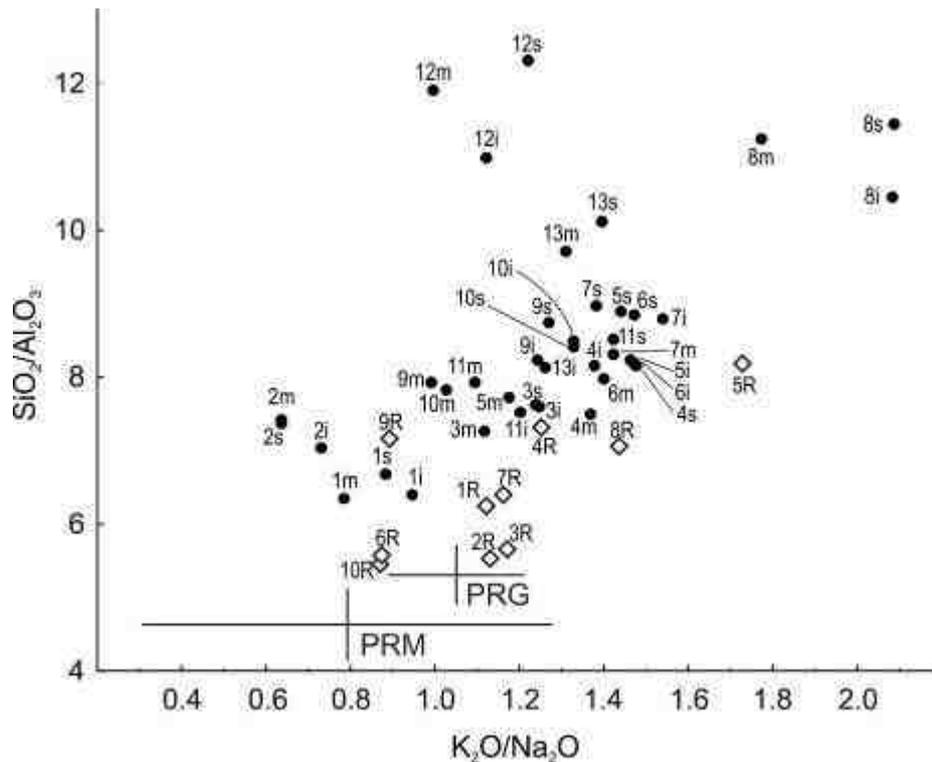


Figura 25. Relación potasio:sodio contra silicio:aluminio (como en Armstrong-Altrin, 2009), para muestras de arena de playa y muestras de río, se muestran el promedio de algunas rocas graníticas (PRG) y de algunas rocas metamórficas (PRM) que afloran en las cuencas del área de estudio (Talavera-Mendoza y Guerrero-Suástegui, 2000, Hernández-Pineda, 2006; Hernández-Pineda, 2009; Pérez-Gutiérrez *et al.*, 2009; Martini *et al.*, 2010).

El titanio se encuentra en minerales como la ilmenita y el rutilo, su abundancia se relaciona con la presencia de ilmenita en rocas ígneas extrusivas básicas y metamórficas, no obstante, las rocas graníticas pueden contener pequeñas cantidades de rutilo (Kasper-Zubillaga *et al.*, 2008 a), que influye en la concentración de titanio que suele ser menor que 0.1%.

En la región se han reportado valores de titanio para rocas graníticas y metamórficas menores que 1% y solo algunas rocas básicas llegan a sobrepasar ligeramente esta concentración; sin embargo, algunas arenas de playa en la república mexicana suelen enriquecerse en titanio (Carranza-Edwards *et al.*, 2001). Las arenas de playa estudiadas no exceden de 1%, excepto la muestra de mesoplaya de Los Farallones, la menor concentración se da en la playa de la Condesa (8).

El hierro y magnesio se encuentran en proporciones variables a lo largo de las muestras de playa, las rocas graníticas que se usan como comparativos, no exceden 3% de contenido de hierro y no sobrepasan el 1% de magnesio, el contenido de hierro y magnesio es mas elevado en las rocas metamórficas. En los puntos de muestreo 1, 2 y 3 se observan los valores donde el hierro y el magnesio tienen una mayor concentración, los sedimentos de los ríos La Unión y Lagunillas son los que muestran un mayor contenido de hierro y magnesio. Los valores de MnO y P₂O₅ se encuentran en proporciones bajas y no se observan anomalías, el calcio se encuentra en mayor concentración en los puntos de muestreo 1 y 2.

De acuerdo con la clasificación química propuesta por Herron (1988), la mayoría de las muestras se distribuyen en dos campos: litarenita y arcosa (Fig. 26). Las arenas de infra, meso y supraplaya en Costa de Plata (4), El Carrizal (5), La Barra de Coyuca (6) y Pie de la Cuesta (7) se clasifican como arcosas al igual que 7 muestras de río y las infraplayas de Los Farallones (1), Paraíso Escondido (3), El Revolcadero W (10) y Barra Vieja (12); las arenas de la Condesa (8) corresponden con el campo subarcosas, los sedimentos de los ríos La Unión y Lagunillas y la muestra de supraplaya de Los Farallones (1s) se clasifican como grauvacas y la muestra de mesoplaya de Los Farallones (1m) como arena de hierro, el resto se ubica dentro del campo litarenita.

La relación Fe₂O₃/K₂O muestra que hay dos grupos de valores, uno con afinidad al hierro y otro al potasio, las muestras 4-8 tienen más afinidad potásica y las muestras 1-3, 9-13 tienen mayor relación con el hierro.

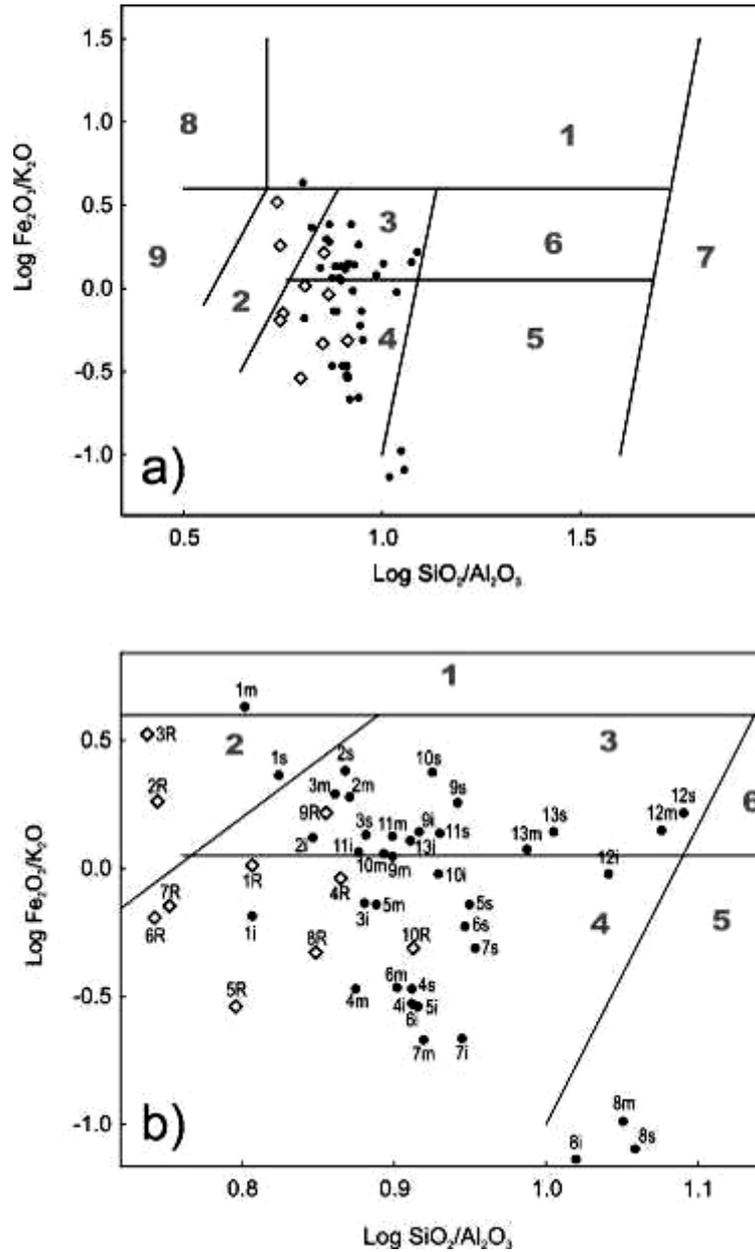


Figura 26. Diagrama de clasificación química para muestras de Guerrero según Herron (1988): 1. Arena de hierro, 2. Grauvaca, 3. Litarenita, 4. Arcosa, 5. Subarcosa, 6. Sublitarenita, 7. Cuarzoarenita, 8. Lutita de hierro, 9. Lutita. a) Grafica de resultados; b) Ampliación con etiquetas de puntos de muestreo.

El diagrama de discriminación de ambientes tectónicos (Bhatia, 1983) muestra una dispersión importante (Fig. 27), no obstante, se observa que los sedimentos se dividen en 2 tipos principales: a) muestras que se asocian con un margen pasivo, donde se encuentran las muestras de las localidades 2 y 9-13, b) muestras que se asocian con un margen con-

continental activo, que son las playas de los puntos 4-8; además, las muestras correspondientes con los sitios de muestreo 1 y 3 se dividen entre los campos de margen continental activo y pasivo y los ríos muestran una asociación más afín a un margen continental activo.

El diagrama de funciones discriminantes para inferir procedencia con elementos mayores (Roser y Korsch, 1988) también muestra una dispersión importante (Fig. 28), hay muestras que se asocian con una procedencia sedimentaria cuarzosa, particularmente las playas marcadas con los números 8-13 y las muestras de supraplaya 5-7, el resto se asocia con una procedencia ígnea, principalmente félsica, con excepción de las muestras de playa 1s y 1m y las muestras de río 10R y 6R cuya procedencia de acuerdo al diagrama es de rocas ígneas intermedias.

Estos diagramas tratan de establecer diferencias entre las playas estudiadas y su posible relación con algunos de los ríos. Se observa que las playas 9-12 tienden a aglomerarse en el diagrama ocupando siempre un mismo campo y se puede decir que no guardan relación con las muestras de río, ya que estas no se acercan en los diagramas a los campos que ocupan las playas 9-12, esto se debe a que las muestras de río se ubican en la región de las playas 1-7, y que además han sufrido menos retrabajo que las muestras de playa. Las playas 1-3 se observan dispersas en ambos diagramas, aunque son más afines a la procedencia ígnea félsica-intermedia, esta dispersión tal vez se podría explicar por la mezcla de distintas litologías en los sedimentos.

Estos diagramas discriminantes parecen no aplicarse a las condiciones actuales del muestreo de sedimentos litorales dentro de un arco continental moderno (Figs. 27 y 28).

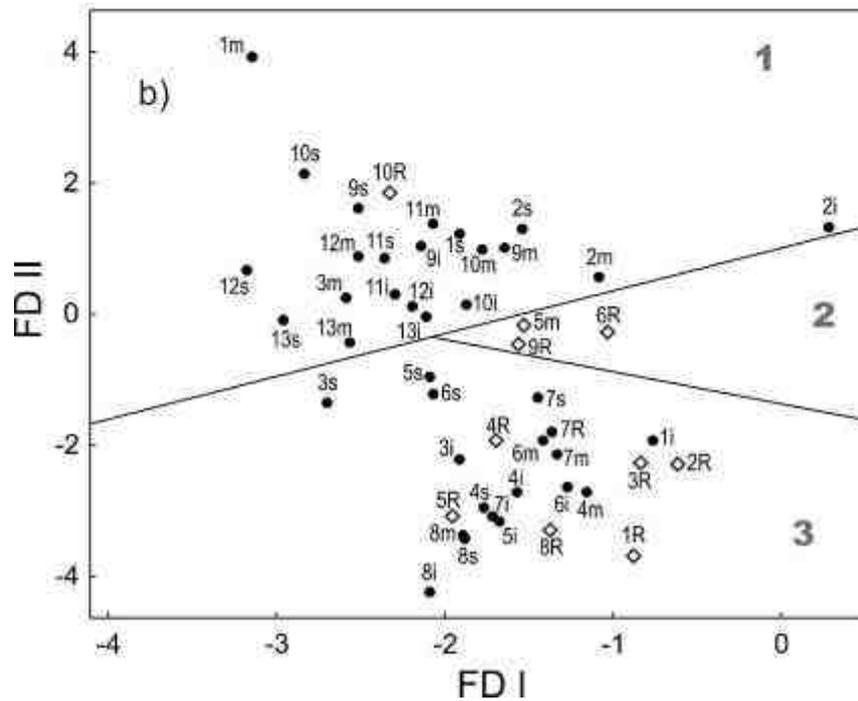
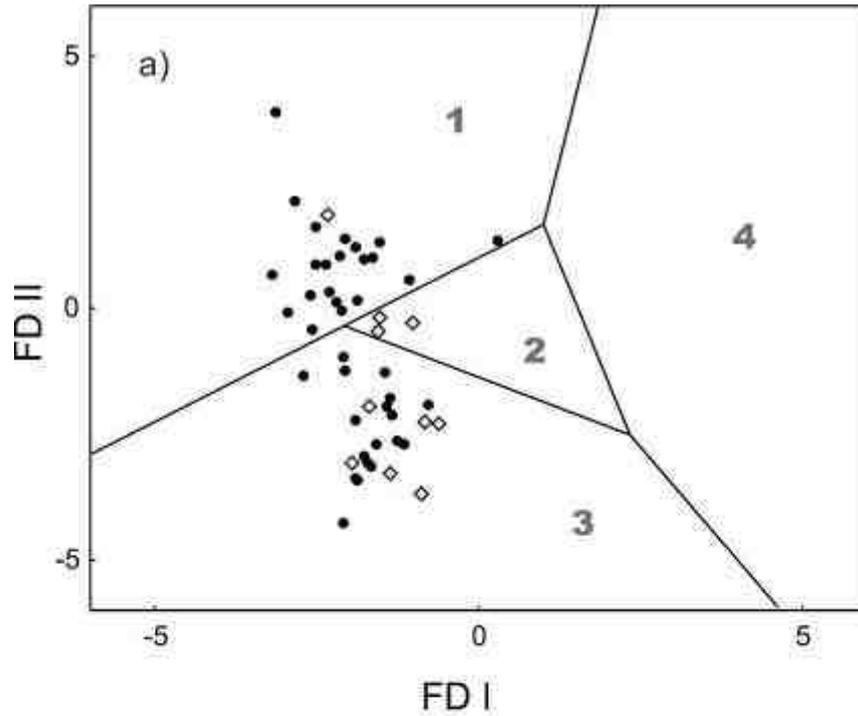


Figura 27. Diagrama de discriminación de ambiente tectónico (Bhatia, 1983). 1. Margen pasivo, 2. Arco continental, 3. Margen activo, 4 Arco de islas. a) Grafica de resultados; b) Ampliación con etiquetas de puntos de muestreo. Funciones discriminantes en el anexo B.

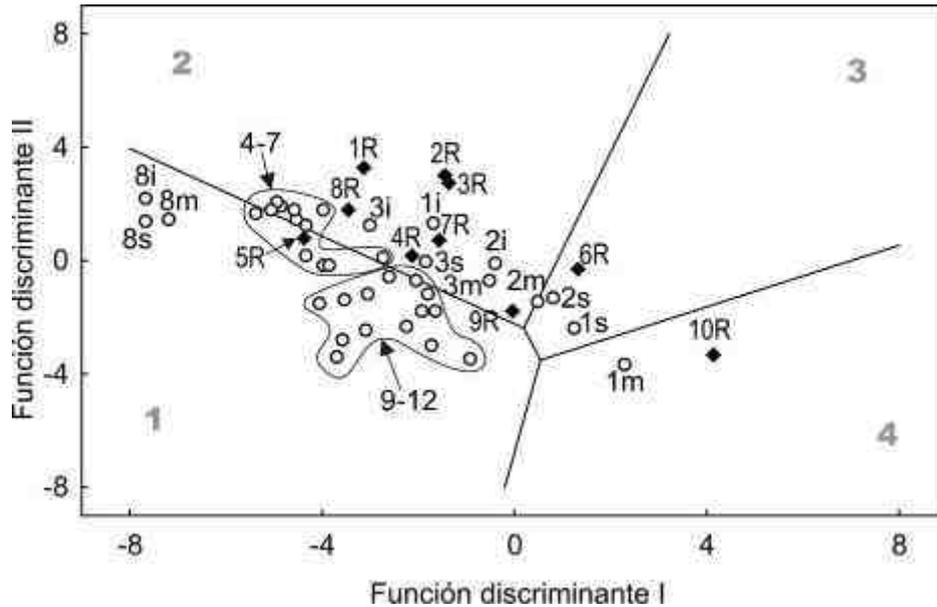


Figura 28. Diagrama de procedencia (Roser y Korsch, 1988); 1. Proce-
dencia sedimentaria cuarzosa, 2. Ígnea félsica, 3. Ígnea intermedia, 4.
Ígnea máfica. Funciones discriminantes en el anexo B.

Elementos traza

La variación de los elementos traza es muy significativa según se observa en la tabla 10. Existe una diferencia importante entre los resultados de las muestras que corresponden con las mesoplayas, notable en el enriquecimiento de cobalto, itrio y niobio. Los elementos traza también se observan muy variables en los datos reportados en la literatura para muestras de roca en áreas cercanas a los puntos de muestreo. (Talavera-Mendoza y Guerrero-Suástegui, 2000, Hernández-Pineda, 2006; Hernández-Pineda, 2009; Pérez-Gutiérrez *et al.*, 2009; Martini *et al.*, 2010).

En promedio los valores de rubidio, itrio, zircón, vanadio, níquel, cobre, zinc, torio y plomo son similares entre muestras de playa y río (tablas 10 y 11), el estroncio y el bario son elementos que se observan ligeramente más altos en las muestras de río y los valores de niobio, cromo y cobalto son mayores en las muestras de playa.

Tabla 10. Resultados (ppm) del análisis geoquímico de elementos traza para las arenas de playa del estado de Guerrero.

Mta.	Rb	Sr	Ba	Y	Zr	Nb	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Th	Pb
1i	87	276	698	20	93	1	60	18	23	13	26	25	3	4
1m	83	359	541	70	257	39	163	92	120	42	23	95	4	7
1s	60	277	537	24	140	7	117	63	19	17	26	43	4	9
2i	67	236	526	23	142	3	83	72	29	21	44	36	5	7
2m	89	281	507	56	140	25	79	80	112	45	30	57	4	<5
2s	56	240	467	26	236	7	128	100	29	23	24	34	5	5
3i	133	237	668	31	120	4	34	21	30	14	23	34	4	9
3m	137	262	609	52	273	30	135	122	71	25	16	58	9	8
3s	107	231	603	27	189	7	99	78	19	13	17	37	6	10
4i	129	205	679	24	87	1	19	11	17	11	33	21	2	17
4m	161	233	710	36	87	15	19	55	44	14	12	23	<3	12
4s	132	207	697	26	91	2	55	24	20	10	18	21	3	13
5i	126	193	696	24	83	1	57	10	17	10	18	16	2	13
5m	179	242	634	67	105	41	49	78	101	28	16	45	7	11
5s	111	194	592	29	128	5	72	16	25	14	19	28	6	10
6i	137	194	710	27	91	1	3	69	24	13	20	18	5	12
6m	185	215	709	50	86	31	25	14	78	18	14	32	3	10
6s	114	198	604	28	116	4	69	14	24	11	27	30	9	15
7i	135	186	687	27	83	1	19	8	26	12	32	21	2	12
7m	180	202	738	45	77	29	14	81	70	17	11	9	2	12
7s	110	191	583	25	94	2	36	103	26	14	20	22	3	9
8i	148	68	409	25	50	<1	<3	<3	25	8	27	7	2	7
8m	151	177	598	68	179	35	59	46	100	26	23	51	16	9
8s	125	63	327	21	49	<1	34	78	19	9	25	5	2	6
9i	103	147	552	30	142	7	123	81	24	23	41	67	4	13
9m	158	109	622	55	84	23	60	154	120	46	30	92	5	10
9s	78	133	489	22	131	7	120	44	12	19	46	61	5	13
10i	111	165	578	28	108	5	28	27	26	20	25	53	5	12
10m	146	144	599	50	101	19	57	45	79	35	27	81	5	10
10s	81	137	498	29	201	11	79	49	18	24	24	67	7	13
11i	98	144	537	23	136	6	36	44	12	19	24	51	5	14
11m	136	150	572	49	112	23	65	100	71	35	26	85	6	12
11s	97	119	558	29	115	6	116	31	28	24	28	64	5	12
12i	75	116	466	16	91	3	28	25	7	13	24	33	3	12
12m	108	134	457	44	98	22	43	41	84	33	30	65	4	10
12s	69	107	433	22	106	5	50	21	24	20	26	42	6	10
13i	111	168	586	42	248	10	83	22	34	16	35	44	21	12
13m	152	174	600	68	180	34	57	50	100	29	20	52	15	9
13s	87	141	518	38	170	9	22	24	31	17	35	43	17	11
Prom.	116.7	186.0	579.3	35.8	128.7	12.4	61.5	51.6	44.6	20.5	25.3	42.8	5.7	10.4
D.E.	34.0	62.1	95.0	15.4	55.4	12.4	39.6	35.9	34.3	9.9	8.0	23.0	4.4	2.8
Max.	185	359	738	70	273	41	163	154	120	46	46	95	21	17
Min.	56	63	327	16	49	<1	<3	<3	7	8	11	5	2	4

Tabla 11. Resultados (ppm) del análisis geoquímico de elementos traza para muestras de río del estado de Guerrero.

Mta.	Rb	Sr	Ba	Y	Zr	Nb	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Th	Pb
1R	94	183	655	27	84	3	67	19	34	14	25	30	3	12
2R	90	263	645	30	146	4	110	26	31	20	32	55	5	7
3R	67	216	552	28	135	8	189	62	28	27	40	68	5	5
4R	103	168	865	30	105	2	50	19	39	20	30	43	4	6
5R	95	242	1041	19	78	3	17	12	12	8	13	19	3	13
6R	151	317	760	38	144	6	47	37	31	18	27	47	5	14
7R	149	294	794	34	130	5	52	23	29	16	26	49	7	16
8R	158	237	702	36	101	2	39	12	37	15	23	30	5	10
9R	73	246	626	34	99	3	71	18	47	19	31	47	10	8
10R	143	187	692	36	96	2	20	11	37	15	25	29	6	11
Prom.	112.3	235.3	733.2	31.2	111.8	3.8	66.2	23.9	32.5	17.2	27.2	41.7	5.3	10.2
D.E.	34.5	48.3	140.4	5.7	24.9	2.0	50.7	15.5	9.1	5.0	7.0	14.6	2.1	3.6
Max.	158	317	1041	38	146	8	189	62	47	27	40	68	10	16
Min.	67	168	552	19	78	2	17	11	12	8	13	19	3	5

La variación de cada elemento traza individual a lo largo de los puntos de muestreo playas y ríos se presenta en forma grafica en el anexo D. Con los datos de elementos traza se realizaron diagramas de normalización usando como parámetros los valores promedio de la corteza continental superior (Taylor y McLennan, 1985). Los resultados arrojaron una anomalía evidente en los valores de cobalto (Fig. 29).

Para el contenido de rubidio de las muestras de playa los valores más bajos están presentes en las playas Los Farallones (1) y Papanoa (2), particularmente en las muestras de supraplaya. Generalmente, el rubidio resultó más bajo en supraplaya que en meso o infraplaya, de forma análoga en mesoplaya se presentan los valores más altos. Las playas 3-8 tienen valores cercanos o por encima del promedio de la corteza continental (Taylor y McLennan, 1985), las muestras 9s, 10s, 11s y 12s tienen un contenido menor de rubidio que las muestras de supraplaya 3s-8s.

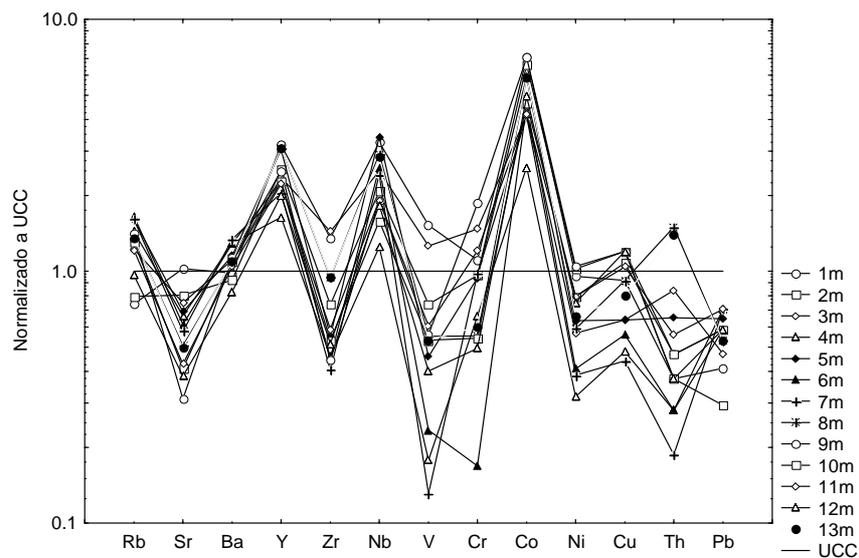


Figura 29. Variación de elementos traza de arenas de Guerrero en la subzona de mesoplaya, normalizados con los valores de la corteza continental superior (UCC) según Taylor y McLennan (1985).

El bario tiene un comportamiento similar y en playa Condesa (8) existe una anomalía que arroja valores bajos de este elemento en infraplaya y supraplaya posiblemente por bajo contenido de feldespatos de potasio. Se considera que los feldespatos son los principales contenedores de bario y rubidio en rocas sedimentarias terrígenas (Veizer, 1978; Nagarajan *et al.*, 2007), por lo que los resultados son consistentes con el conteo modal mineralógico.

La anomalía de rubidio en la supraplaya Condesa (8s) es difícil de explicar, puesto que esta playa está constituida por sedimentos derivados de rocas graníticas y sería de esperar un contenido alto de rubidio, sin embargo se ha supuesto un déficit de feldespato potásico en los granitos que dan origen a las arenas en esta playa. Igualmente, las arenas de la bahía de Acapulco muestran otras anomalías con respecto a la corteza continental superior y en promedio, los valores de Sr, Ba, V, Cr, Ni y Zn son menores en esta playa, sobre todo en las muestras de infraplaya.

El circonio es un elemento que sufre poca alteración desde la roca fuente hasta su depósito en el ambiente de playa comparado con los datos reportados en la literatura (Talavera-Mendoza y Guerrero-Suástegui, 2000; Hernández-Pineda, 2006; Hernández-Pineda, 2009; Pérez-Gutiérrez *et al.*, 2009; Martini *et al.*, 2010). Existe un empobrecimiento

en algunas playas, ya que los valores típicos para rocas graníticas y metamórficas en muestras continentales oscilan en promedio entre 100 y 200 ppm, pero en general el promedio (128.7 ppm) para las playas no está lejos de los rangos para areniscas (McLennan and Murray 1999), el cual es varía entre 160 y 220 ppm, por lo que el promedio para las muestras de arena estudiadas solo estaría ligeramente por debajo.

Los resultados de elementos traza reflejan la dispersión que sufren desde su origen en la roca fuente hasta su depósito en la playa, no se observa relación aparente entre los datos reportados en la literatura para muestras continentales y las arenas de playa que permita establecer su fuente de procedencia. Esto puede deberse a la presencia de distintos tipos de roca en las cuencas, sin embargo, existe una aparente sensibilidad a los cambios en el ambiente de depósito, particularmente en las subzonas de infraplaya, mesoplaya y supraplaya.

Tierras raras

Los resultados del análisis de tierras raras se muestran en la tabla 12 y los patrones normalizados para la condrita en la figura 30.

Tabla 12. Tierras raras (ppm) en los sedimentos de mesoplaya.

	1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m	8m	9m	10m	11m	12m	13m
La	37.77	55.29	26.33	8.12	15.03	8.21	10.34	3.51	14.90	14.07	15.38	12.61	43.92
Ce	60.31	93.44	41.33	11.87	26.51	14.15	17.24	5.32	28.57	25.47	28.90	22.12	71.01
Pr	7.83	12.51	5.55	1.60	3.55	1.92	2.32	0.80	3.87	3.45	3.92	3.04	9.74
Nd	33.21	51.46	22.76	6.53	14.60	7.79	9.49	2.93	15.73	14.03	15.92	12.18	39.11
Sm	5.64	8.15	3.85	1.51	2.90	1.68	1.94	0.83	3.01	2.73	3.02	2.39	5.22
Eu	1.27	1.52	0.87	0.66	0.77	0.62	0.65	0.30	0.80	0.74	0.79	0.64	0.80
Gd	4.64	6.61	2.85	1.04	2.21	1.21	1.43	0.60	2.08	1.93	2.19	1.82	3.79
Tb	0.73	1.00	0.41	0.16	0.34	0.18	0.22	0.10	0.29	0.27	0.31	0.26	0.50
Dy	4.42	5.98	2.33	0.96	1.94	1.04	1.24	0.63	1.59	1.48	1.70	1.49	2.57
Ho	0.96	1.28	0.48	0.20	0.40	0.21	0.25	0.14	0.32	0.30	0.34	0.31	0.49
Er	2.31	3.11	1.13	0.47	0.94	0.49	0.60	0.34	0.78	0.73	0.83	0.74	1.14
Tm	0.35	0.46	0.16	0.07	0.14	0.07	0.09	0.05	0.11	0.11	0.12	0.11	0.16
Yb	2.40	3.17	1.11	0.48	0.92	0.49	0.58	0.37	0.79	0.75	0.86	0.73	1.06
Lu	0.39	0.52	0.18	0.08	0.15	0.08	0.09	0.06	0.13	0.12	0.14	0.12	0.17

n = 13

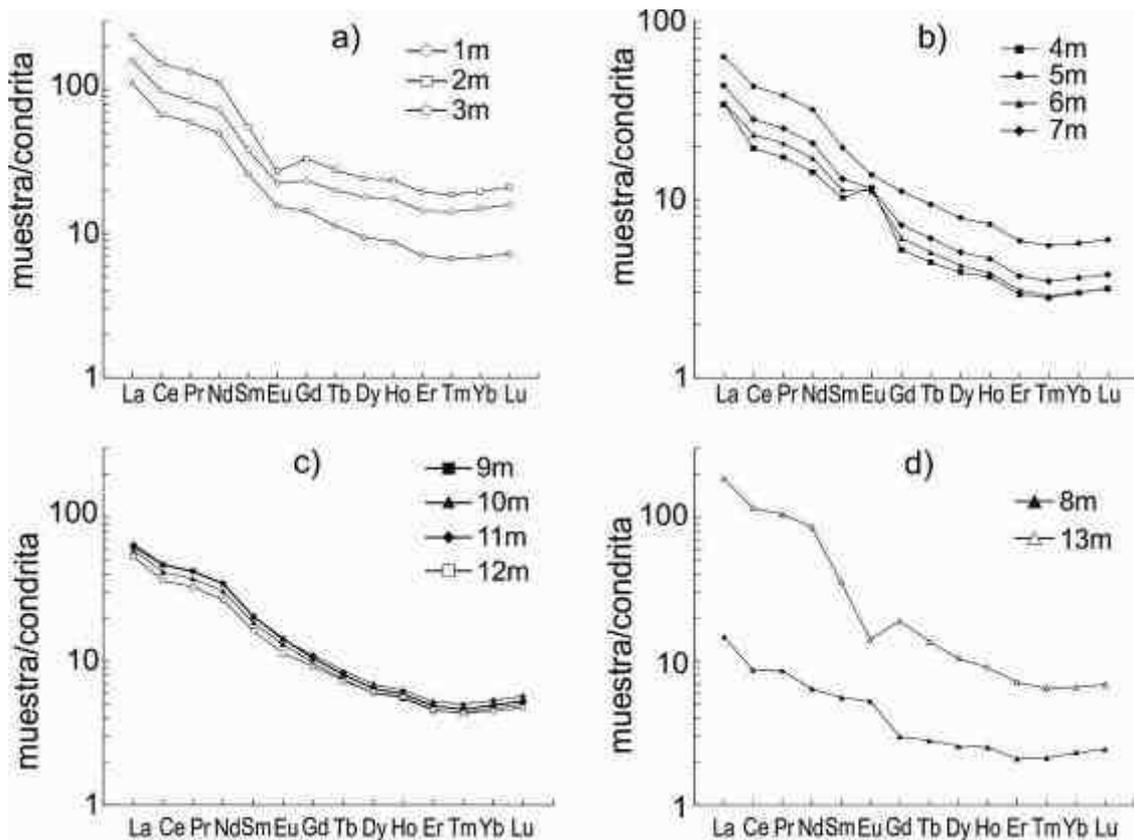


Figura 30. Patrón de elementos de la serie lantánidos (tierras raras) Normalizado a la condrita (McDonough y Sun, 1995). a) muestras con anomalías negativas de europio; b) muestras con anomalías positivas de europio y muestra 5 sin anomalía de europio; c) muestras sin anomalía de europio; d) muestras sin relación aparente con el resto de las playas.

El patrón de tierras raras para los sedimentos de mesoplaya permite asociarlos en tres grupos en función de las anomalías de europio. Las muestras 5m, 9m-12m, no muestran anomalías, espacialmente las muestras 9m-12m tienen relación de cercanía y comparten quizá un mismo origen composicional ya que su patrón es también similar.

Las muestras 1m-3m y 13m tienen anomalía negativa de europio, asociadas con la presencia de plagioclasas y la presencia de sedimentos derivados de una combinación de fuentes félsicas y máficas (Kasper-Zubillaga *et al.*, 2008 b), de estos, las muestras 1m y 2m por relación de distancia y similitud en el patrón, parecen compartir un origen composicional semejante.

Las muestras 4m, 6m-8m tienen anomalía positiva de europio, posiblemente asociada con la presencia de granodioritas (Kasper-Zubillaga *et al.*, 2008 b), cuyo patrón es similar, con excepción de la muestra 8m. Estas muestras se encuentran muy cercanas unas de otras, por lo que posiblemente están emparentadas con la misma roca fuente. Las muestras 8m y 13m son significativamente distintas al resto.

Los sedimentos de cada playa y río pueden asociarse utilizando técnicas de análisis estadístico multivariado, como el análisis clúster que básicamente es una técnica de agrupación de una serie de valores vectoriales de acuerdo con un criterio de cercanía.

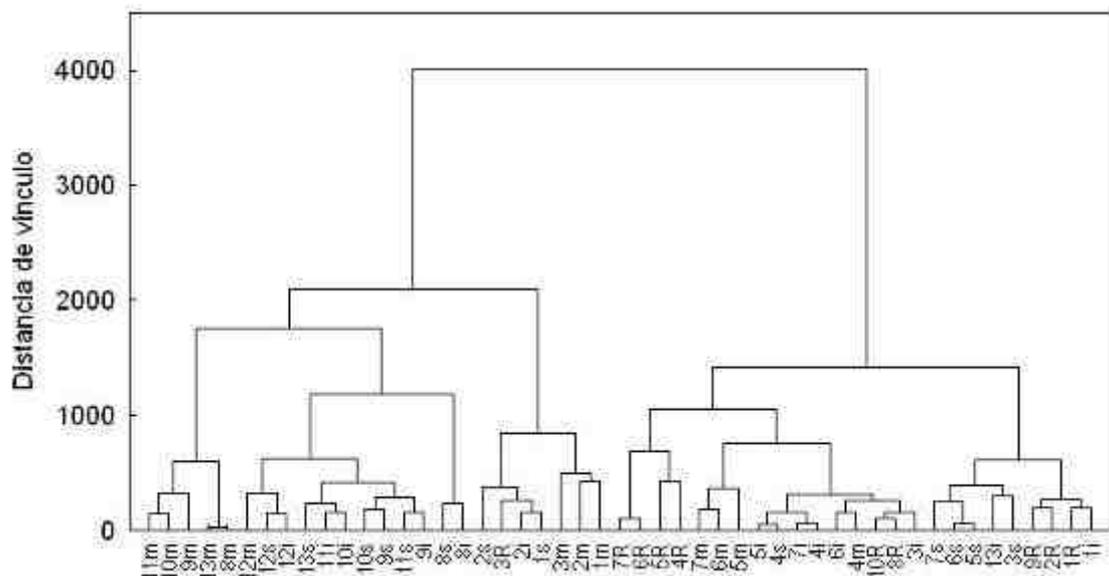


Figura 31. Análisis clúster (método de Ward distancias City-block (Manhattan)).

De acuerdo con el análisis clúster (Fig. 31), existen dos grupos principales de muestras tomando en consideración los valores de elementos traza y mayoritarios. Las playas 9 a 12 se incluyen totalmente en un grupo y las playas 4 a 7 en otro, las playas 1 a 3 no se definen claramente ni se separan en un grupo particular.

En síntesis los resultados de la geoquímica de las arenas del estado de Guerrero revelan una composición ácida consistente con las rocas graníticas que afloran en el continente, existe una tendencia hacia el enriquecimiento del sílice y el empobrecimiento del aluminio, la selectividad del ambiente de playa favorece la conservación del sílice en principalmente debido al cuarzo y la degradación del aluminio contenido en feldespatos. La

selectividad atribuida a los procesos de transporte de los sedimentos no es efectiva, debido a los resultados obtenidos en el conteo modal mineralógico. Esto puede explicarse por la morfología del relieve, pues los sedimentos proceden de fuentes muy cercanas a la costa y por ello su transporte no es tan largo como para disgregar los fragmentos de roca a nivel de constituyentes minerales. No obstante su composición química es más parecida a la de los afloramientos graníticos.

Los elementos traza se presentan con variaciones que no permiten establecer una asociación clara entre playas ni relaciones de procedencia claras, sin embargo, la distribución de estos elementos ha sido la única herramienta que permite establecer diferencias entre las subzonas litorales de infraplaya, mesoplaya y supraplaya, de forma tal que las mesoplayas se enriquecen de cobalto, itrio y niobio y las supraplayas se empobrecen de rubidio.

Espacialmente, se pueden establecer los siguientes grupos de playas que comparten características químicas similares:

a) Las playas 4-7, en la región central del área de estudio, se caracterizan por su afinidad potásica, se agrupan en el campo subarcosa en el diagrama de Herron (1998), y en el campo de margen continental activo de Bathia (1983) y de procedencia ígnea félsica de Roser y Korsch (1988), los contenidos de bario y rubidio son similares con excepción de la playa El Carrizal (5) y comparten características genéticas de acuerdo al patrón de tierras raras, como se refleja en el análisis clúster.

b) Las playas 9-12, en la región oriental del área de estudio, se caracterizan por su afinidad férrica, se agrupan en el campo arcosa en el diagrama de Herron (1998), se ubican en el campo de margen continental pasivo de Bathia (1983) y procedencia sedimentaria cuarzosa de Roser y Korsch (1988), comparten características genéticas de acuerdo al patrón de tierras raras, su analogía se refleja en el análisis clúster.

c) Las playas 1 y 2, en la región occidental del área de estudio, tienen diferencias y se comportan de forma anómala con relación a las demás, sin embargo pueden compartir un mismo origen genético de acuerdo con el patrón de tierras raras y se agrupan en el diagrama de clúster con excepción de la infraplaya de la muestra 1 (Los Farallones).

d) Las playas 3, 8, 13, no pueden agruparse con las anteriores, ni entre sí, como se ve en el análisis clúster, también se ha observado que estas muestras contrastan de las demás considerando sus parámetros texturales y su composición modal.

Los parámetros texturales, petrografía, elementos mayores y traza se integran en una matriz de correlación de Pearson, obteniéndose algunas correlaciones significativas entre diversas variables (Anexo C). Se destacan las correlaciones positivas que se esperaban fueran significativas: vanadio-titanio, hierro- titanio, rubidio- potasio (Fig. 32), el feldespato alcalino y el potasio, las plagioclasas con el sodio, los líticos metamórficos con el cuarzo policristalino, los minerales pesados relacionándose con hierro, titanio, vanadio, magnesio, manganeso, níquel, etc.

Dichas correlaciones son importantes, porque existe una variación en la concentración de minerales pesados a lo largo de la línea de costa. De esta forma, la composición química de hierro, titanio y vanadio se relaciona con los minerales pesados. El contenido de cuarzo policristalino se debe principalmente a la influencia de las rocas metamórficas que están presentes en toda la región según se ha hecho evidente.

El contenido de cuarzo monocristalino tiene una correlación significativa positiva con el potasio y el feldespato potásico. Esto puede deberse a la relación que guarda el cuarzo con los feldespatos potásicos en las rocas ácidas.

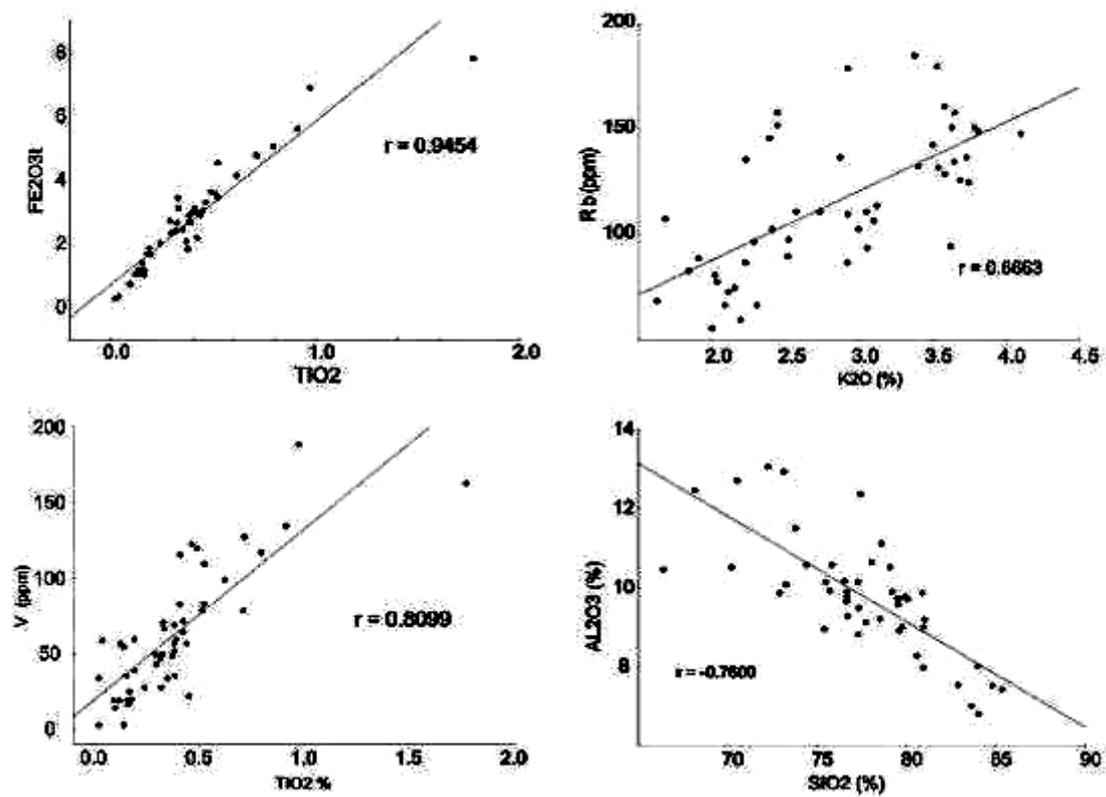


Figura 32. Correlaciones entre hierro-titanio, vanadio-titanio, rubidio-potasio y silicio-aluminio, para arenas de playa de Guerrero.

CONCLUSIONES

Relieve de las regiones hidrográficas

- El relieve de la región costera del estado de Guerrero es muy variable y por ello, los litorales de este estado alternan con frecuencia entre rocosos y arenosos.
- Las secciones longitudinales paralelas a la línea de costa presentan un relieve sumamente irregular, el cual tiende a ser más irregular, hacia el oeste que hacia el este.
- Las secciones transversales analizadas permiten observar que las llanuras costeras mejor desarrolladas en orden de importancia son: 1) Papagayo-Nexpa, 2) Atoyac-Coyuca, 3) Coyuquilla-Petatlán y 4) la menos desarrollada corresponde con Ixtapa-Zihuatanejo, lo cual podría estar reflejando diferencias de carácter tectónico.
- El relieve es mayor y menos lluvioso en la porción occidental del estado de Guerrero que en la oriental.

Análisis Textural

- Las playas del estado de Guerrero presentan una dominancia por tamaños de partículas de arena gruesa y media, moderadamente bien clasificada, simétrica y mesocúrtica, similar a la observada para los litorales de Oaxaca y Chiapas, con los cuales comparten características similares en cuanto al relieve de la zona costera, oleaje y litología.
- El principal modo de transporte para las arenas de playa es el de saltación. La tracción y la suspensión presentan valores muy bajos. Esto concuerda con las poblaciones definidas previamente por Visher para este ambiente de depósito, en el cual el flujo turbulento tiende a ser mayor.
- La mayor abundancia de partículas finas se observó para playas de barrera a lo largo de las cuales el desgaste de partículas es mayor y en el caso de arenas gruesas el ambiente de depósito está influenciado por la cercanía de litoral roco-

so, el cual parece influir también en una clasificación más pobre; en tanto que para partículas finas la clasificación resultaba mejor.

Petrografía

- Las arenas del estado de Guerrero son feldsarenitas líticas y litarenitas feldespáticas de acuerdo con la clasificación de Folk y se componen principalmente de cuarzo monocristalino, policristalino, feldspatos potásicos, plagioclasas, líticos metamórficos, plutónicos y minerales pesados.
- El cuarzo policristalino se correlaciona con la presencia de líticos metamórficos
- En mayor o menor grado estuvieron presentes los líticos de rocas plutónicas principalmente ácidas, lo cual refleja la litología del área fuente. No obstante, cabe decir que la región más occidental presenta una mayor abundancia de minerales pesados, mientras que en el extremo oriental hay una mayor influencia de líticos metamórficos, lo que corresponde con extensos afloramientos de rocas metamórficas.

Geoquímica

- Los diagramas discriminantes elaborados a partir de elementos mayores no parecen ser de utilidad ya que los sedimentos litorales analizados pertenecen a un arco continental, lo cual no es evidente en dichos diagramas.
- La concentración de sílice observada en las arenas resulta enriquecida en el ambiente de playa, no tanto por su procedencia, como por la concentración debida a la energía del oleaje.
- Cuando el área de procedencia es granítica la relación potasio:sodio se incrementa, mientras que en el caso de Papanoa, dicha relación se invierte debido a la influencia de rocas básicas presentes en la cuencas correspondiente.
- Mediante los elementos traza se encontró que las arenas de mesoplaya están enriquecidas en cobalto, itrio y niobio tal vez alojado en sedimentos más ricos en micas, en tanto que los sedimentos de supraplaya tienden a ser pobres en rubidio

posiblemente debido a sedimentos más finos en los cuales el contenido de líticos plutónicos es menor.

- El contenido de tierras raras permite agrupar los sedimentos litorales en tres grandes conjuntos, controlados posiblemente por el relieve y la litología de las diversas regiones hidrográficas.
- Los sedimentos del ambiente de playa del estado de Guerrero están controlados en su granulometría, petrología y geoquímica por el relieve, el clima, la litología del área fuente y las condiciones de energía en el propio ambiente de depósito. Esto hace que los parámetros estudiados no tengan una respuesta sencilla en lo que se refiere a tectónica y procedencia, como sucede con los diagramas discriminantes.

BIBLIOGRAFÍA

- Ando, A., 1984, New silicate rock reference materials issued from the Geological Survey of Japan, 1984: *Geochemical Journal*, 18, 215-216.
- 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.
- Barrios-Rodríguez, F., Bastida-Jimenez, R. y Rosales-Franco, E., 2002, Carta Geológico-Minera Lázaro Cardénas E13-6-9, Mich., Col., Gro., Jal. Esc. 1:250,000: Pachuca, Hidalgo, México, Servicio Geológico Mexicano (SGM), 1 mapa.
- Bhatia M.R., 1983, Plate tectonics and geochemical composition of sandstones: *Journal of Geology*, 91, 611-627.
- Bonjean, F. and Lagerloef, G.S.E., 2002, Diagnostic Model and Analysis of the Surface Currents in the Tropical Pacific Ocean: *Journal of Physical Oceanography*, 32, 2938-2954.
- Campa, M.F. and Coney, P.J., 1983, Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico: *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20, 1040-1051.
- Campa-Uranga, M. F., García-Díaz, J. L., Bustamante-García, J., Torreblanca-Castro, T. J., Aguilera-Martínez, M. A. y Vergara-Martínez, A., 1998, Carta Geológico-Minera Chilpancingo E14-8, Guerrero, Oaxaca, Puebla, Esc. 1:250,000, Pachuca, Hidalgo, México, Servicio Geológico Mexicano (SGM), 1 mapa.
- Carranza-Edwards, A., Gutiérrez-Estrada, M. y Rodríguez-Torres, R., 1975, Unidades morfo-tectónicas continentales de las costas mexicanas: *Anales Centro Ciencias del Mar y Limnología*. Universidad Nacional Autónoma de México, 2, 81-88.
- Carranza-Edwards, A., Marquez-García A., y Morales de la Garza, E. A., 1985, Estudio de sedimentos de la plataforma continental del estado de Guerrero y su importancia dentro de los recursos minerales del mar: *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, Contribución 465, 241-262.
- Carranza-Edwards, A., 1986, Estudio sedimentológico de playas del estado de Chiapas, México: *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, Universidad Nacional Autónoma de México, 13(1), 331-343.
- Carranza-Edwards, A., Rosales-Hoz, L. y Lozano-Santa Cruz, R., 1988, Estudio sedimentológico de playas del estado de Oaxaca, México: *Anales del Instituto de*

- Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, 15(2), 23-38.
- Carranza-Edwards, A. y Caso Chávez, M., 1994, Zonificación del perfil de playa: *Geo-UNAM*, 2(2), 26-32.
- Carranza-Edwards, A., 2001, Grain Size and Sorting in Modern Beach Sands: *Journal of Coastal Research*, 17(1), 38-52.
- Carranza-Edwards, A., Centeno-García, E., Rosales-Hoz, L. and Lozano-Santa Cruz, R., 2001, Provenance of beach gray sands from western México: *Journal of South American Earth Sciences*, 14, 291-305.
- Carranza-Edwards, A., Rosales-Hoz, L., Urrutia-Fucugauchi, J., Sandoval-Fortanel, A., Morales de la Garza, E. A. and Lozano-Santa Cruz, R., 2005, Geochemical distribution pattern of sediments in an active continental shelf in Southern Mexico: *Continental Shelf Research*, 25, 521–537.
- Carranza-Edwards, A., Kasper-Zubillaga, J. J., Rosales-Hoz, L., Morales de la Garza, E. A. and Lozano-Santa Cruz, R., 2009, Beach sand composition and provenance in a sector of the southwestern Mexican Pacific: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 26(2), 433-447.
- Carranza-Edwards, A., 2011, Causas y consecuencias de la erosión de playas, *en* Gío-Argaez, F. R. y Rosales-Hoz (eds.) *Interacciones en el Planeta Tierra: México D. F.*, ICMYL UNAM, 29-38.
- Centeno-García E., Guerrero-Suastegui M., and Talavera-Mendoza O., 2008, The Guerrero Composite Terrane of western Mexico: collision and subsequent rifting in a supra-subduction zone, *in* Amy Draut, Peter Clift, and Dave Scholl (eds.), *Formation and applications of the sedimentary record in arc collision zones*, GSA Special Paper 436: Boulder Colorado, GSA Books Science, 279-308.
- Corona, P., Poli, S. and Bigioggero. B., 2006, Syn-deformational Migmatites and Magmatic-arc Metamorphism in the Xolapa Complex, Southern Mexico: *Journal of Metamorphic geology*, 24, 169-191.
- Comisión Nacional del Agua (CNA), 1998, *Regiones Hidrológicas de México*, Escala 1:1 000 000: México, 1 Mapa.

- Cruz-López, D., Sánchez-Andraca, H. R. y Lemus-Bustos, O., 2000, Carta Geológico-Minera Acapulco E14-11, Guerrero, Oaxaca, Esc. 1:250,000: Pachuca, Hidalgo, México, Servicio Geológico Mexicano (SGM), 1 mapa.
- Davis, R. A. Jr. and Fitzgerald, D. M. 2004. *Beaches and Coasts*: Oxford, UK., Blackwell Science Ltd, 419 pp.
- Fernández-Eguiarte, A., Gallegos-García, A. y Zavala-Hidalgo, J., 1990 a. Oceanografía Física 1. Masas de agua y mareas de los mares mexicanos: *en* Atlas Nacional de México, Tomo II, IV. Naturaleza, 9. Oceanografía: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, 1 mapa.
- Fernández-Eguiarte, A., Gallegos-García, A. y Zavala-Hidalgo, J. 1990 b. Oceanografía Física 2. Aspectos regionales de los mares mexicanos: *en* Atlas Nacional de México, Tomo II, IV. Naturaleza, 9. Oceanografía: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, 1 mapa.
- Folk, R. R., 1974, *Petrology of sedimentary rocks*: Austin, Texas, Heemphill publishing company, 182 pp.
- Franco-Sánchez, S.I., 2002, estudio de la deformación intersísmica en la brecha de Guerrero: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Tesis de Maestría, 77 pp.
- Franzinelli, E. and Potter, P.E., 1983, Petrology, chemistry and texture of modern river sands, Amazon River System: *Journal of Geology*, 91, 23-29.
- García, E. - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 1998. Climas (clasificación de Koppen, modificado por García). Escala 1:1000000. México. Datos vectoriales.
- Gutiérrez-Martínez, C, Santoyo G., M. A., Quaas-Weppen, R., Ordaz-Schroeder, M, Guevara-Ortíz, E., Muriá-Vilá, D. y Krishna-Singh, S., 2001, Sismos, Serie Fascículos: México, Centro nacional de Prevención de Desastres, Secretaría de Gobernación, 36 pp.
- Hernandez-Pineda, G. A., 2006. Geoquímica y geocronología de granitoides en el área de Tierra Colorada, Guerrero: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Tesis Licenciatura, 84 pp.

- Hernandez-Pineda, G. A., 2009. Caracterización geoquímica del intrusivo de Acapulco, estado de Guerrero: petrogénesis e implicaciones tectónicas: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Tesis de Maestría, 79 pp.
- Hernández-Santana, J. R., Ortiz-Pérez, M. A., y Zamorano-Orozco, J. J., 1996. Regionalización morfoestructural de la Sierra Madre del Sur, México: Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, 31, 45–67.
- Hernández-Santana, J. R. y Ortiz-Pérez, M. A., 2005. Análisis morfoestructural de las cuencas hidrográficas de los ríos Sabana y Papagayo (tercio medio-inferior), estado de Guerrero, México: Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, 56, 7-25.
- Herron M. M., 1988. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data: *Journal of Sedimentary Research*; 58(5), 820-829.
- Inman, D. L. and Nordstrom, C. E., 1971, On the tectonic and morphologic classification of coasts: *Journal of Geology*, 79 (1), 1-21.
- INEGI, 2009. Continuo de Elevaciones Mexicano. Instituto Nacional de Geografía Estadística e Informática México, (en línea): <<http://mapserver.inegi.org.mx/DescargaMDEWeb/?s=geo&c=977>>, consulta: 10 de abril de 2010.
- Kasper-Zubillaga, J. J. and 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., Ortiz-Zamora, G., Dickinson, W. W., Urrutia-Fucugauchi, J., and Soler-Arechalde, A. M., 2006. Textural and compositional controls on modern beach and dune sands, New Zealand: *Earth Surface Processes and Landforms*. 32(3), 366-389.
- Kasper-Zubillaga J. J. and Zolezzi-Ruiz H., 2007, Grain size, mineralogical and geochemical studies of coastal and inland dune sands from the El Vizcaino Desert, B.C. México: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 24 (3), 423-438
- Kasper-Zubillaga, J. J., Carranza-Edwards, A. y Morales De la Garza, E., 2007, 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.

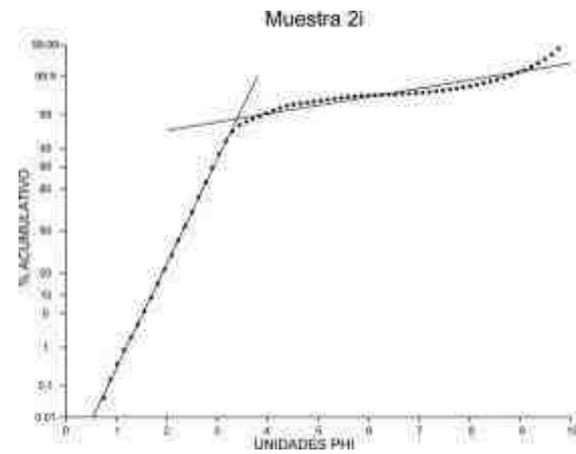
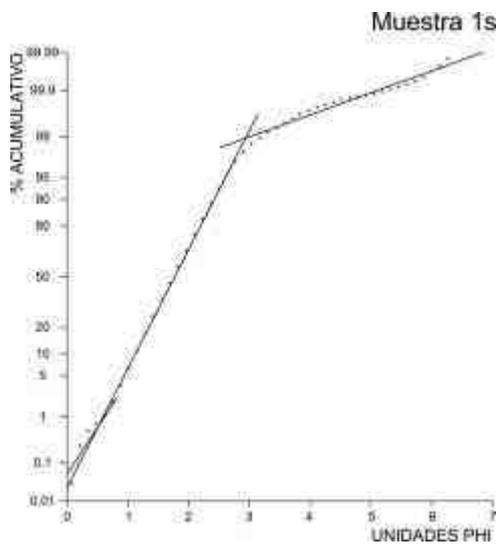
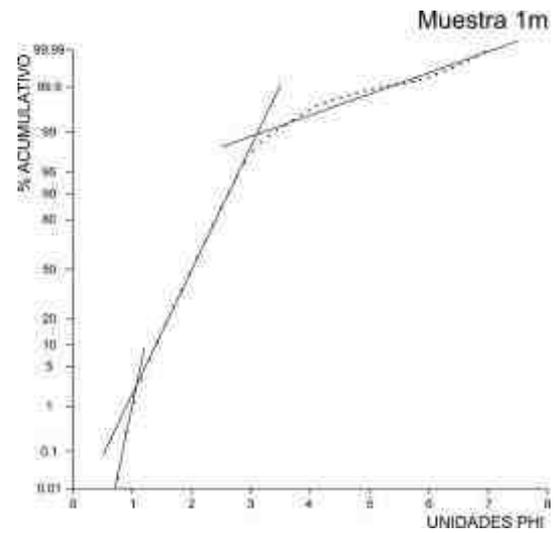
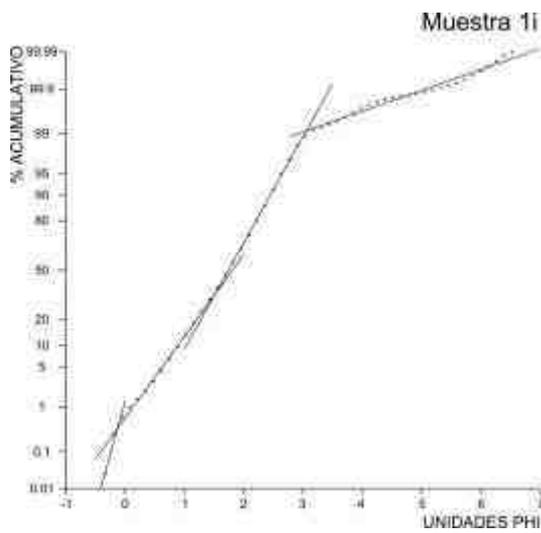
- Kasper-Zubillaga J. J., Carranza Edwards A. and Morton-Bermea O., 2008 a. Heavy minerals and rare earth elements in coastal and inland dune sands of El Vizcaino Desert, Baja California Peninsula, Mexico: *Marine Georesources and Geotechnology*, 26, 172-188.
- Kasper-Zubillaga J. J., Acevedo-Vargas, B. and Morton-Bermea O. and Ortiz-Zamora, G. 2008 b, Rare earth elements of the Altar Desert dune and coastal sands, northwestern México: *Chemie Der Erde-Geochemistry*, 68, 45-59.
- Kasper-Zubillaga, J. J., 2009, Roundness in quartz grains from inland and coastal dune sands, Altar Desert, Sonora, Mexico: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 61(1), 1-12.
- Komar, P. D., 1976, *Beach processes and sedimentation*: New Jersey, Prentice Hall, 429 pp.
- Kostoglodov, V. y Pacheco, J. F., 1999, Cien Años de Sismicidad en México (en línea): México, Instituto de Geofísica. UNAM, <<http://usuarios.geofisica.unam.mx/vladimir/sismos/100a%F1os.html>>, consulta: 10 febrero de 2011.
- Kostoglodov, V., Valenzuela, R.W., Gorbato, A., Mimiaga, J., Franco, S.I., Alvarado, J.A., and Pelaéz, R., 2001, Deformation in the Guerrero seismic gap, Mexico, from leveling observations: *Journal of Geodesy*, 75(1), 19–32.
- Lankford, R.R. 1977. Coastal lagoons of Mexico: Their origin and classification, *in* Wiley, M. (ed.), *Estuarine Processes*: New York, Academic Press, 2, 182-215.
- Martini, M., Ferrari, L., López-Martínez, M. and Valencia, V., 2010. Stratigraphic redefinition of the Zihuatanejo area, southwestern Mexico: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 27(3), 412-430.
- Mclennan, S.M. and Murray, R.W., 1999, *Geochemistry of sediments*: *in* Marshall, C.P. and Fairbridge, R.W. (eds.), *Encyclopedia of Geochemistry*: Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 282–292.
- McDonough W. F. and Sun S., 1995. The composition of the Earth: *Chemical Geology*, 120, 223–253.
- Montiel-Escobar, J. E., Segura de la Teja, M. A., Estrada-Rodarte, G., Cruz-López, D. E. y Rosales-Franco, E., 2000, Carta Geológico-Minera Ciudad Altamirano E14-4, Michoacán, Guerrero y Edo de Mex. Esc. 1:250,000: Pachuca, Hidalgo, México. Servicio Geológico Mexicano (SGM), 1 mapa.

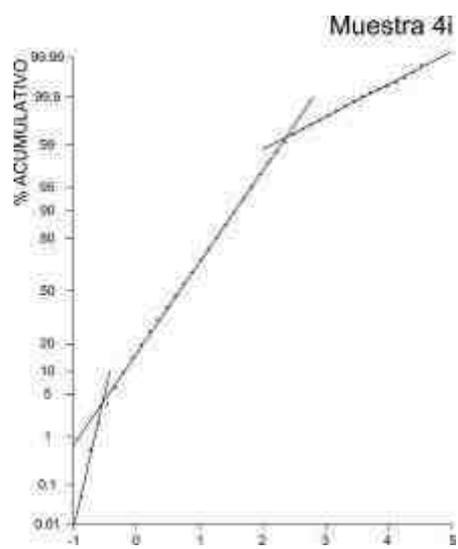
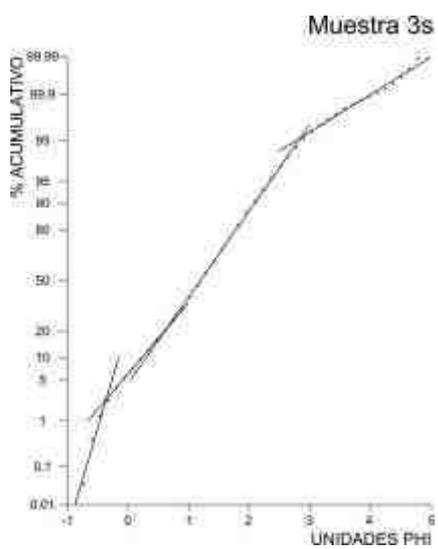
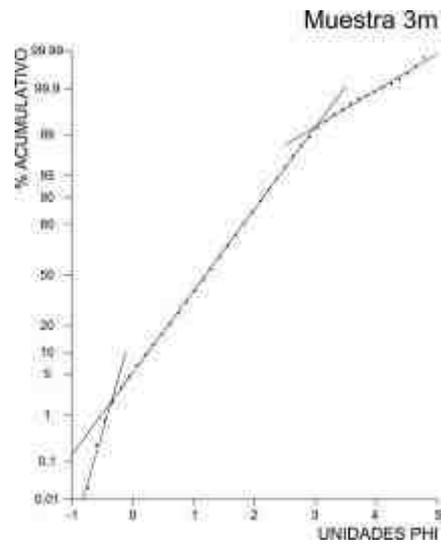
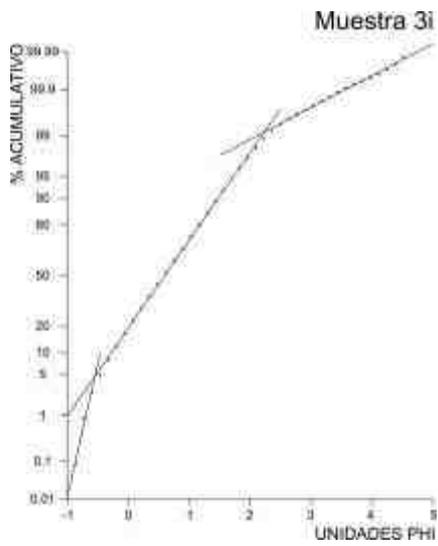
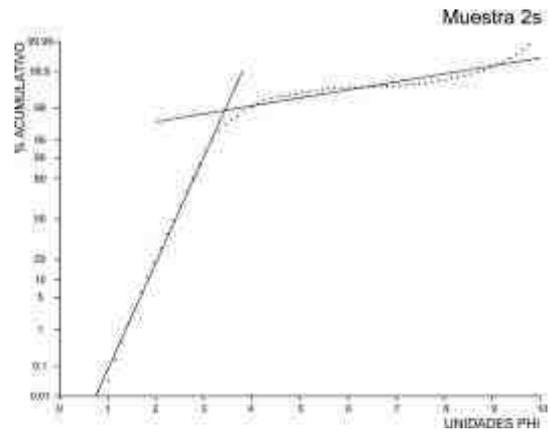
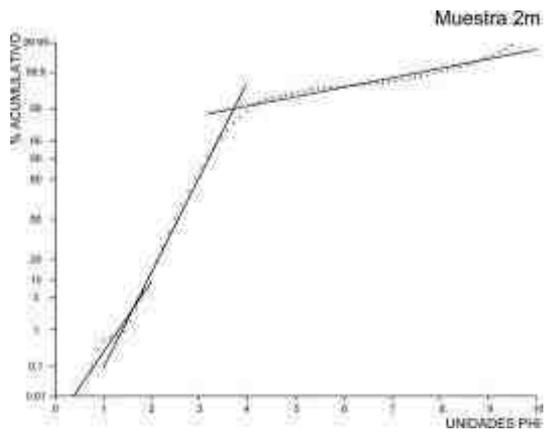
- Nagarajan, R., Armstrong-Altrin, J.S., Nagendra, R., Madhavaraju, J. and Moutte, J., 2007, Petrography and Geochemistry of Terrigenous Sedimentary Rocks in the Neoproterozoic Rabanpalli Formation, Bhima Basin, Southern India: Implications for Paleoweathering Conditions, Provenance and Source Rock Composition: *Journal Geological Society of India*, 70, 297-312.
- Ortiz-Pérez, M.A. y Espinosa-Rodríguez, L.M., 1991, Clasificación Geomorfológica de las Costas de México: *Geografía y desarrollo*. 2(6). 2-9.
- Ortiz-Pérez, M.A. y De la Lanza-Espino, G., 2006, Diferenciación del espacio costero de México: un inventario regional, *en Geografía para el siglo XXI, Serie Textos Universitarios: México*, Instituto de Geografía, 138 pp.
- Pérez-Gutiérrez, R., Solari, L. A., Gómez-Tuena, A., and Martens, U., 2009, Mesozoic geologic evolution of the Xolapa migmatitic complex north of Acapulco, southern Mexico: implications for paleogeographic reconstructions: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 26(1), 201-221.
- Ramírez-Herrera, M.T., and Urrutia-Fucugauchi, J., 1999, Morphotectonic zones along the coast of the Pacific continental margin, southern Mexico: *Geomorphology*, 28, 237–250.
- Ramírez-Herrera M. T., Cundy A., Kostoglodov, V., Carranza-Edwards, A., Morales de la Garza, E. and Metcalfe, S., 2007, The Sedimentary record of late-Holocene relative sea-level change and tectonic deformation from the Guerrero Seismic Gap, Mexican Pacific Coast: *Holocene*, 17(8), 1211–1220.
- Ramírez-Herrera, M.T., Cundy, A., Kostoglodov, V., and Ortiz, M., 2009, Late Holocene tectonic land-level changes and tsunamis at Mitla lagoon, Guerrero, México: *Geofísica Internacional*, 48(2), 195–209.
- Ramírez-Herrera M. T., Kostoglodov, V. and Urrutia-Fucugauchi, J., 2011 (en prensa). Overview of recent coastal tectonic deformation in the Mexican subduction zone: *Pure and Applied Geophysics*.
- Reineck, H.E. and Singh, I.B., 1980. *Depositional Sedimentary Environments*: New York, Springer, 2nd ed., 549 pp.
- Rivera-Carranza, E., Aguilera-Martínez, M.A. y Vergara-Martínez, A., 1999, Carta Geológico-Minera Zihuatanejo E14-7-10, Guerrero, Esc. 1:250,000: Pachuca, Hidalgo, México, Servicio Geológico Mexicano (SGM), 1 mapa.

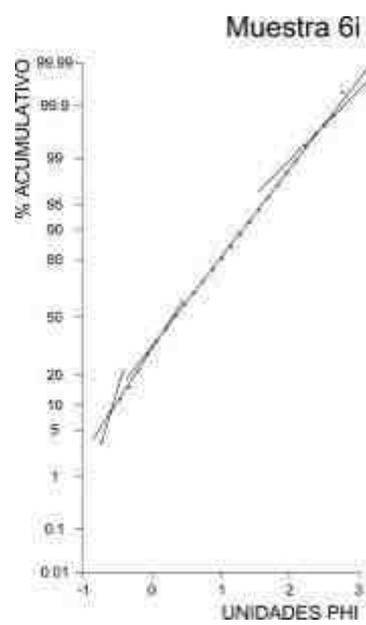
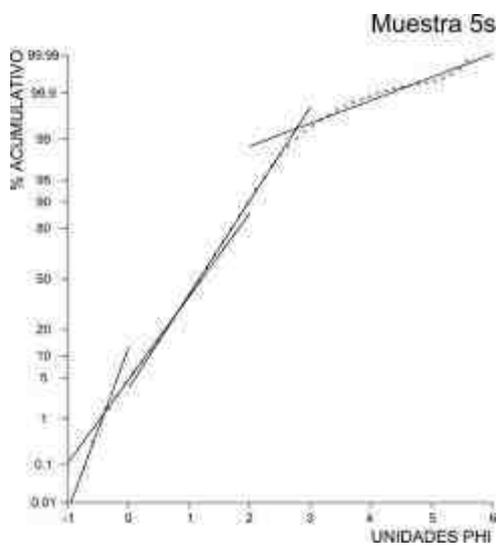
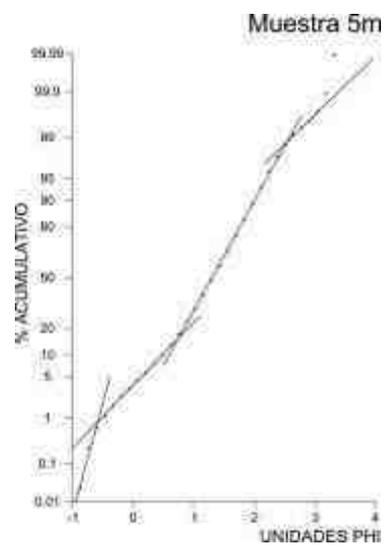
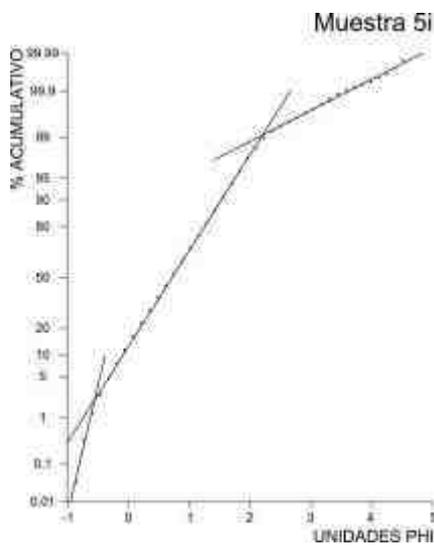
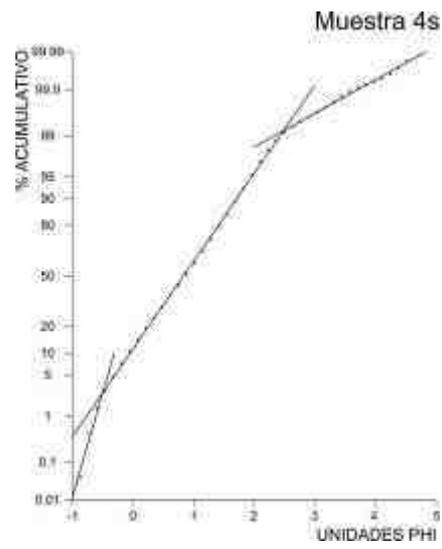
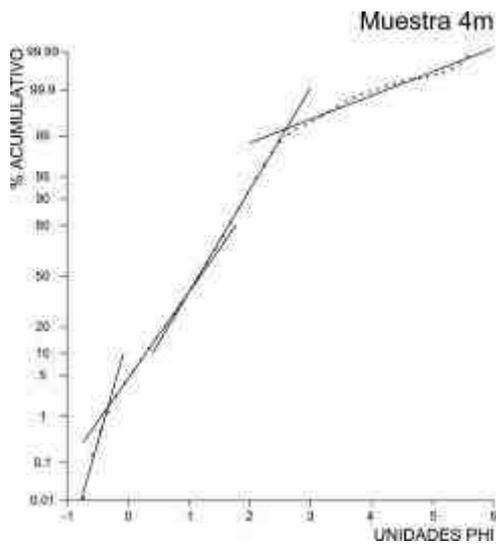
- Rosales-Hoz, L. and Carranza-Edwards, A., 1995. Geochemistry of two Mexican tropical basins in an active margin and their influence on littoral sediments: *Journal of South American Earth Sciences*, 8(2), 221-228.
- Roser, B.P. and Korsch, R.J., 1988, Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data: *Chemical Geology*, 67, 119-139.
- Sánchez-Zavala J.L. y Centeno-García, E., 2000, Sedimentos terrígenos de grano fino Técnicas y aplicaciones del estudio de los sedimentos terrígenos de grano fino: procedencia y tectónica (en línea), México, Instituto de Geología, UNAM, <http://www.geologia.unam.mx/igl/index.php?option=com_content&view=article&id=94:centenoge-sedimentos&catid=118:centenoge&Itemid=76>, consulta: 2 abril 2010.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 1999, Monografía Geológico-Minera del Estado de Guerrero: Pachuca, Hidalgo, México, Servicio Geológico Mexicano (SGM), 262 pp.
- Shepard, F. P., 1967, *Submarine Geology*: Nueva York, Harper and Row, 517 pp.
- Talavera-Mendoza, O. and Guerrero-Suástegui, M., 2000, Geochemistry and isotopic composition of the Guerrero Terrane (western Mexico): implications for the tectono-magmatic evolution of southwestern North America during the Late Mesozoic: *Journal of South American Earth Sciences*, 13, 297-324.
- Taylor, S.R. and McLennan, S.M., 1985, *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*: Oxford, Blackwell Scientific Publications, 312 p.
- Veizer, J., 1978, Secular variations in the composition of sedimentary carbonate rocks II. Fe, Mn, Ca, Mg, Si and minor constituents: *Precambrian Research*, 6, 381-413.
- Vidal-Serratos, R., 1991, Estratigrafía y tectónica de la región de Zihuatanejo, Estado de Guerrero, Sierra Madre del Sur: Convención sobre la evolución geológica de México, Primer Congreso Mexicano de Mineralogía, Pachuca, Hidalgo, México, Memorias, 231-233.
- Visher, G. S., 1969, Grain size Distributions and depositional processes: *Journal of Sedimentary Petrology*, 39(3), 1074-1106.

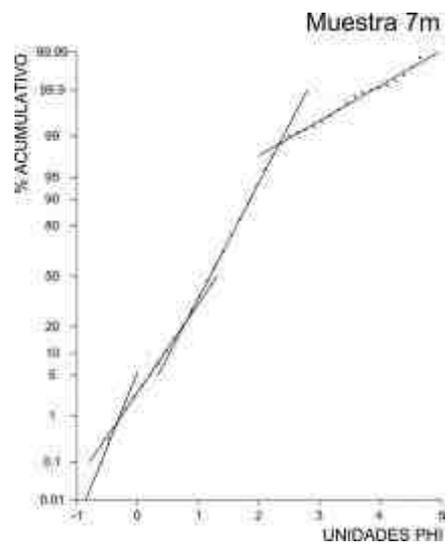
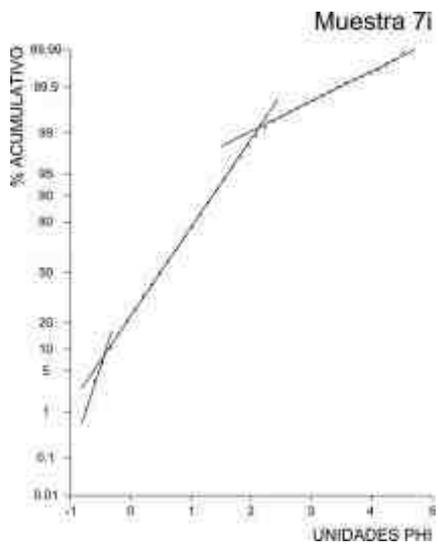
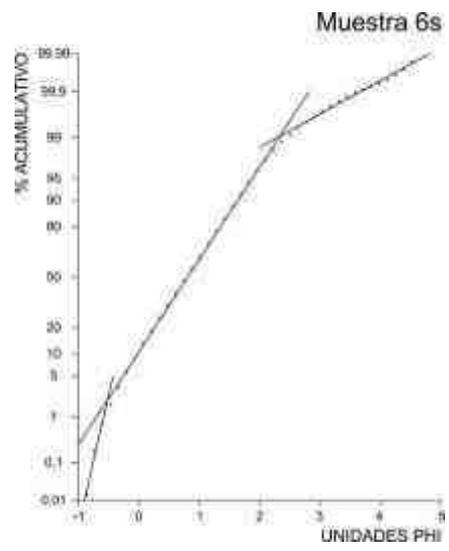
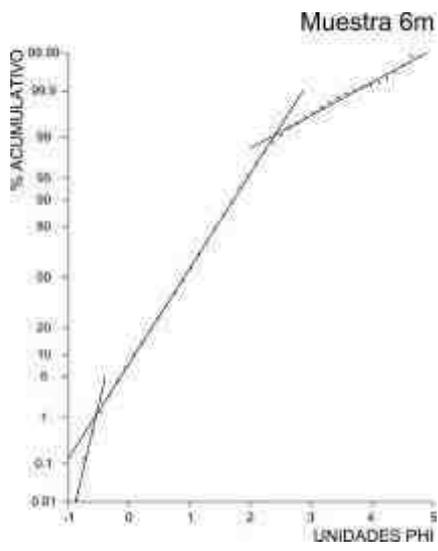
ANEXOS

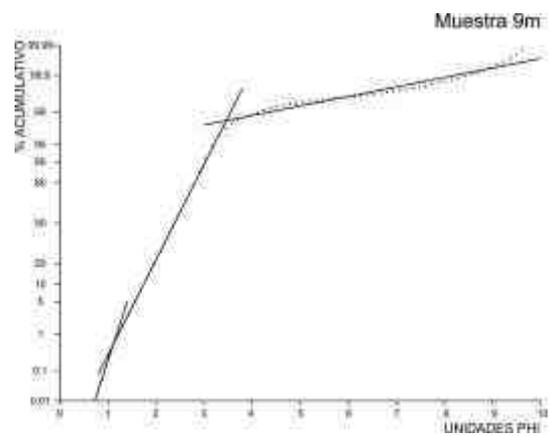
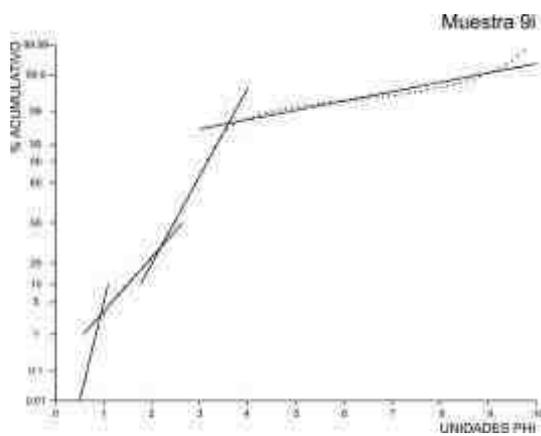
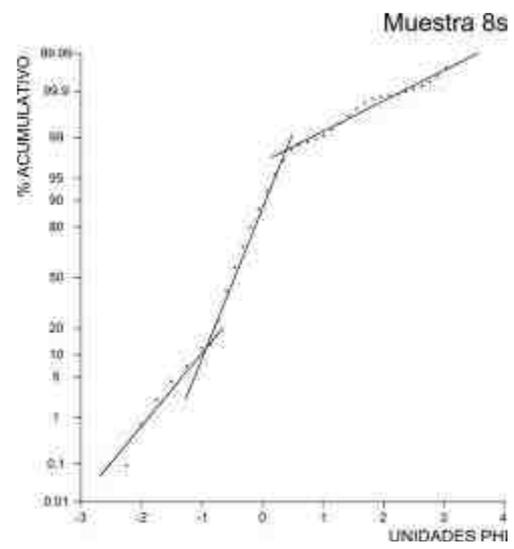
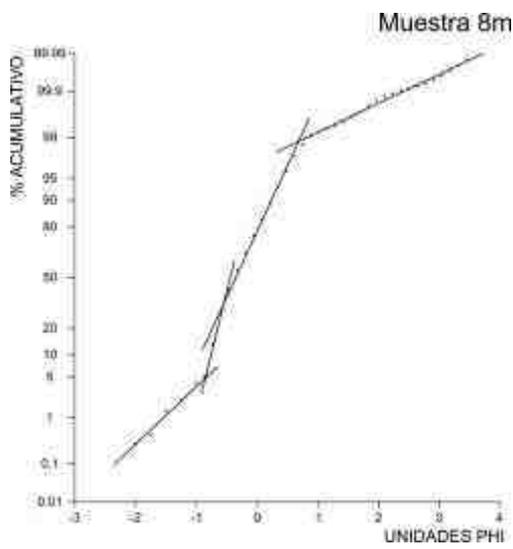
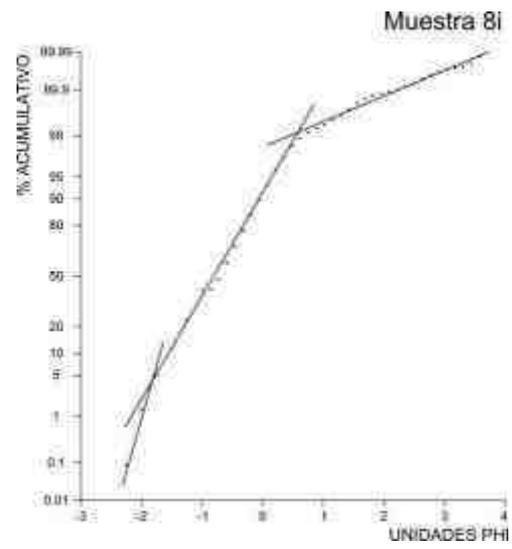
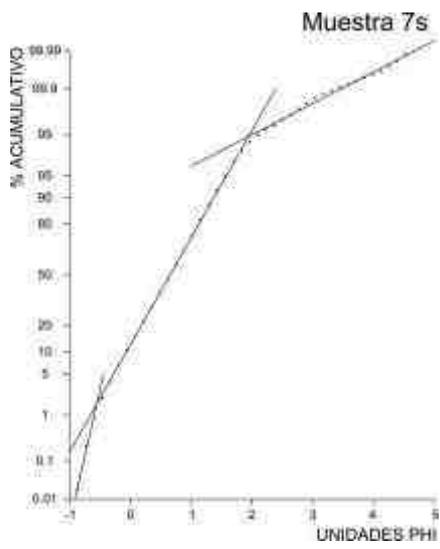
ANEXO A. Gráficas de distribución normal estándar y líneas ajustadas a poblaciones en saltación y suspensión (Visher, 1969) para 39 muestras de arena de playa del estado de Guerrero.

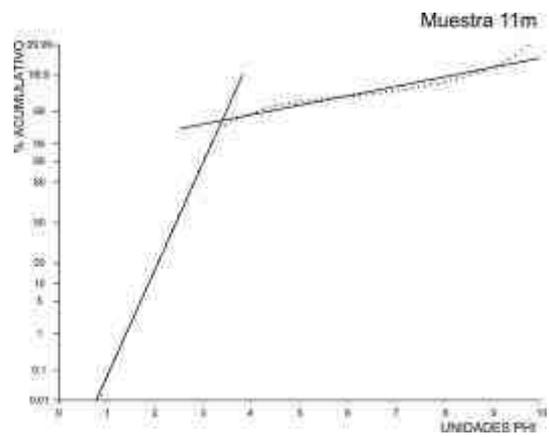
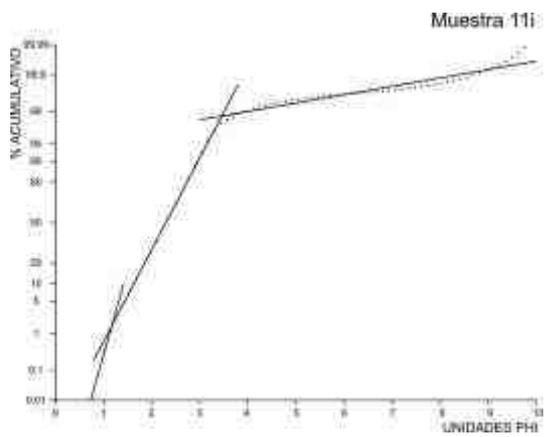
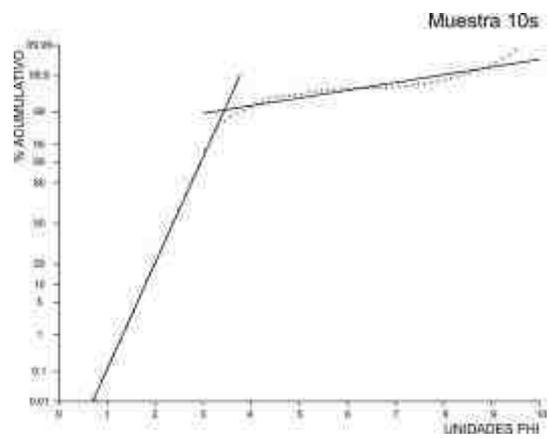
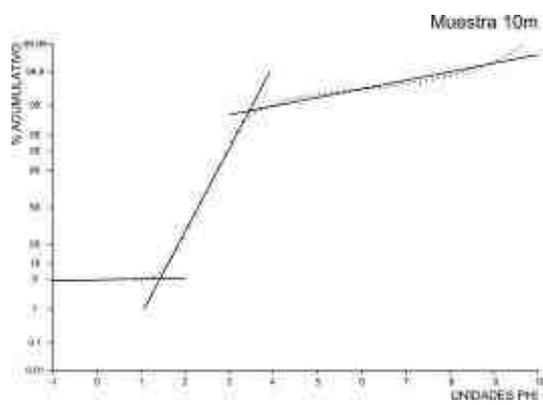
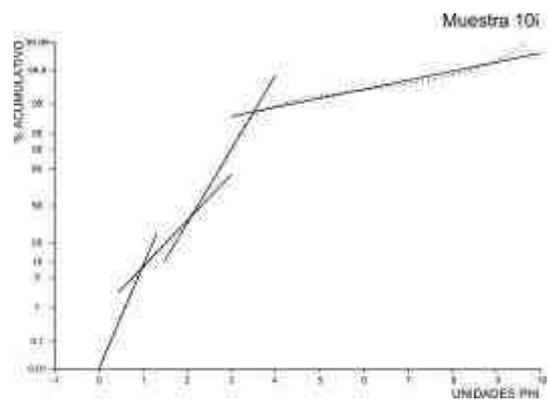
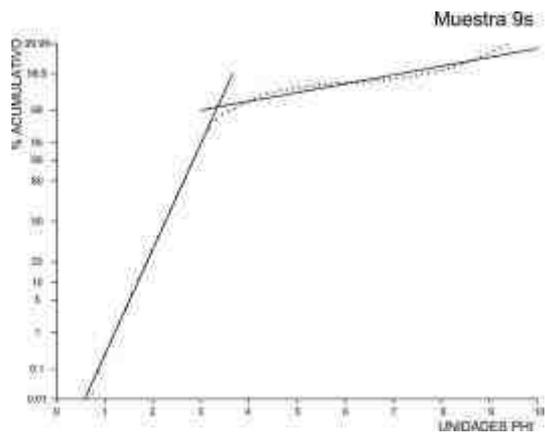


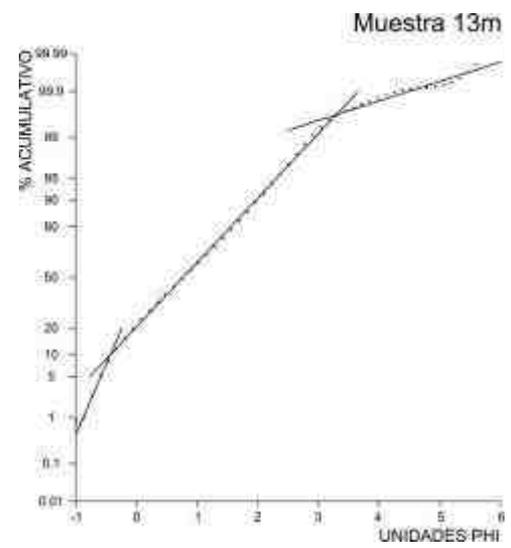
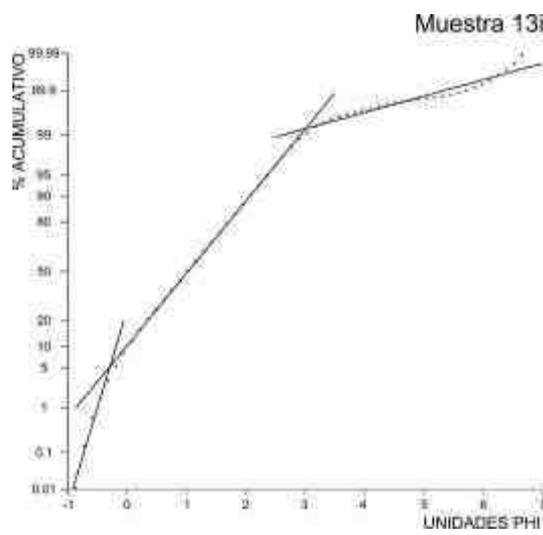
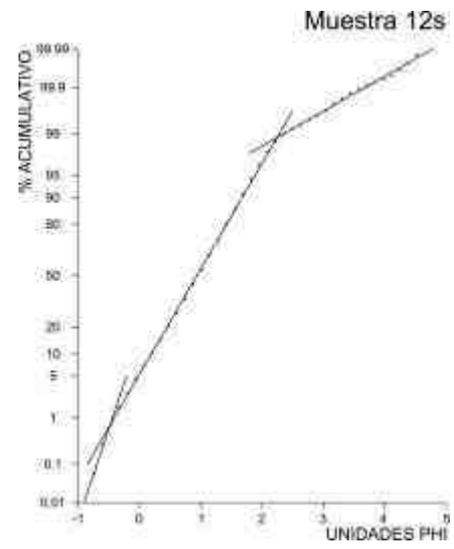
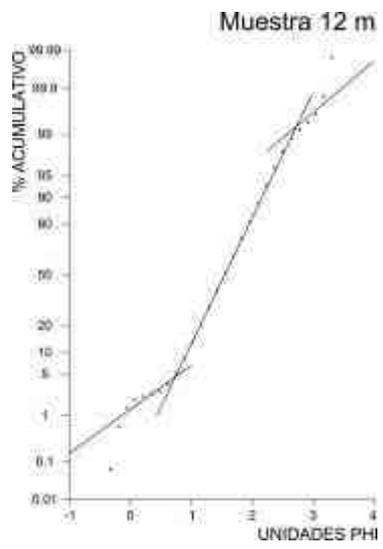
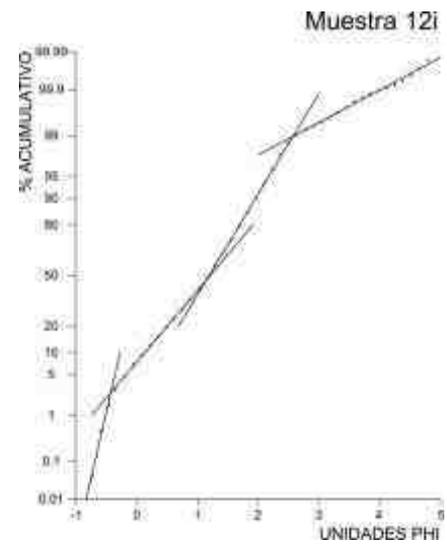
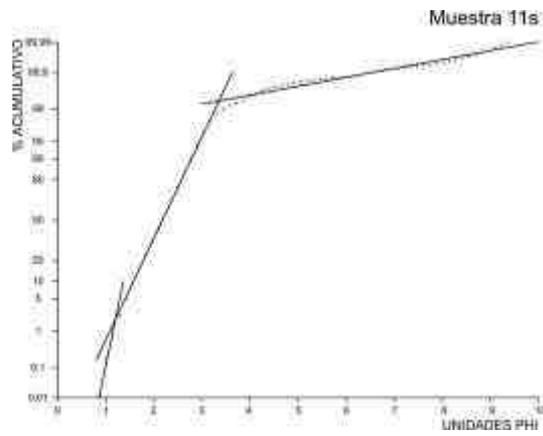


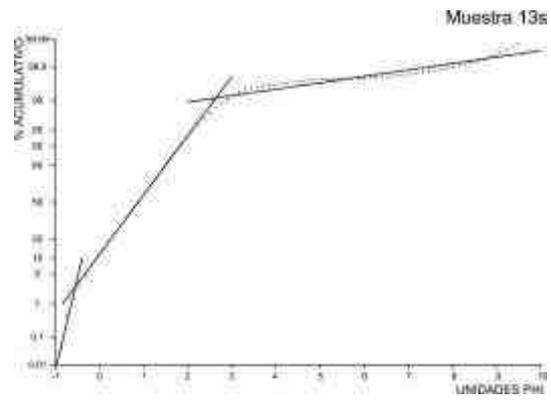












Anexo B. Funciones discriminantes.

Bhatia, 1983

$$\text{Función discriminante 1} = (- 0.0447 * \text{SiO}_2) + (- 0.972 * \text{TiO}_2) + (0.008 * \text{Al}_2\text{O}_3) + (- 0.267 * \text{Fe}_2\text{O}_3) + (0.208 * \text{FeO}) + (- 3.082 * \text{MnO}) + (0.140 * \text{MgO}) + (0.195 * \text{CaO}) + (0.719 * \text{Na}_2\text{O}) + (- 0.032 * \text{K}_2\text{O}) + (7.510 * \text{P}_2\text{O}_5) + 0.303$$

$$\text{Función discriminante 2} = (- 0.421 * \text{SiO}_2) + (1.988 * \text{TiO}_2) + (- 0.526 * \text{Al}_2\text{O}_3) + (- 0.551 * \text{Fe}_2\text{O}_3) + (-1.610 * \text{FeO}) + (2.720 * \text{MnO}) + (0.881 * \text{MgO}) + (- 0.907 * \text{CaO}) + (- 0.177 * \text{Na}_2\text{O}) + (- 1.840 * \text{K}_2\text{O}) + (7.244 * \text{P}_2\text{O}_5) + 43.57$$

Roser y Korsch, 1988

$$\text{Función discriminante 1} = (-1.773 * \text{TiO}_2) + (0.607 * \text{Al}_2\text{O}_3) + (0.760 * \text{Fe}_2\text{O}_3) + (- 1.500 * \text{MgO}) + (0.616 * \text{CaO}) + (0.509 * \text{Na}_2\text{O}) + (-1.224 * \text{K}_2\text{O}) + (-9.090)$$

$$\text{Función discriminante 2} = (0.445 * \text{TiO}_2) + (0.070 * \text{Al}_2\text{O}_3) + (-0.250 * \text{Fe}_2\text{O}_3) + (- 1.142 * \text{MgO}) + (0.438 * \text{CaO}) + (0.1475 * \text{Na}_2\text{O}) + (-1.426 * \text{K}_2\text{O}) + (-6.861)$$

ANEXO C. Tablas de correlaciones de Pearson entre variables granulométricas, petrográficas y geoquímicas.

Tabla B1. Correlaciones de Pearson. Elementos mayoritarios contra variables granulométricas, petrográficas y geoquímicas.

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3t}	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	PXC
SiO ₂	1.00	-0.80	-0.78	-0.80	-0.83	-0.89	-0.88	-0.49	0.40	-0.41	-0.37
TiO ₂	-0.80	1.00	0.30	0.96	0.98	0.87	0.80	0.06	-0.59	0.41	0.17
Al ₂ O ₃	-0.78	0.30	1.00	0.30	0.36	0.50	0.57	0.78	0.10	0.16	0.23
Fe ₂ O _{3t}	-0.80	0.96	0.30	1.00	0.95	0.90	0.79	0.04	-0.71	0.45	0.25
MnO	-0.83	0.98	0.36	0.95	1.00	0.91	0.86	0.13	-0.60	0.42	0.15
MgO	-0.89	0.87	0.50	0.90	0.91	1.00	0.89	0.25	-0.67	0.48	0.31
CaO	-0.88	0.80	0.57	0.79	0.86	0.89	1.00	0.45	-0.48	0.40	0.09
Na ₂ O	-0.49	0.06	0.78	0.04	0.13	0.25	0.45	1.00	0.26	0.06	-0.17
K ₂ O	0.40	-0.59	0.10	-0.71	-0.60	-0.67	-0.48	0.26	1.00	-0.52	-0.43
P ₂ O ₅	-0.41	0.41	0.16	0.45	0.42	0.48	0.40	0.06	-0.52	1.00	0.30
PXC	-0.37	0.17	0.23	0.25	0.15	0.31	0.09	-0.17	-0.43	0.30	1.00
Rb	0.33	-0.44	0.04	-0.55	-0.47	-0.52	-0.52	0.10	0.65	-0.34	-0.10
Sr	-0.71	0.51	0.72	0.43	0.58	0.59	0.76	0.71	-0.02	0.11	-0.19
Ba	-0.15	-0.21	0.57	-0.27	-0.17	-0.13	-0.07	0.48	0.50	-0.29	0.02
Y	-0.19	0.34	0.05	0.23	0.29	0.21	0.18	0.06	-0.13	0.13	0.00
Zr	-0.57	0.77	0.17	0.80	0.73	0.60	0.56	0.07	-0.42	0.34	-0.06
Nb	-0.22	0.36	0.05	0.27	0.33	0.25	0.21	0.04	-0.19	0.17	0.07
V	-0.69	0.79	0.28	0.83	0.77	0.76	0.68	0.08	-0.54	0.45	0.22
Cr	-0.42	0.39	0.24	0.42	0.38	0.45	0.33	0.25	-0.27	0.44	0.20
Co	-0.19	0.29	0.06	0.20	0.25	0.23	0.21	0.15	-0.19	0.18	0.04
Ni	-0.40	0.50	0.08	0.51	0.46	0.54	0.38	0.03	-0.62	0.43	0.38
Cu	-0.06	0.08	-0.14	0.17	0.08	0.17	0.10	-0.18	-0.41	0.40	0.27
Zn	-0.47	0.62	0.06	0.66	0.54	0.60	0.34	-0.23	-0.71	0.43	0.59
Th	0.06	0.17	-0.24	0.19	0.14	-0.01	-0.04	-0.26	-0.17	0.11	-0.16
Pb	0.23	-0.23	-0.10	-0.22	-0.25	-0.23	-0.47	-0.38	0.15	-0.20	0.27
Cm	0.25	-0.25	-0.03	-0.39	-0.28	-0.36	-0.19	0.30	0.58	-0.07	-0.53
Qp	0.31	-0.16	-0.33	-0.10	-0.20	-0.22	-0.44	-0.48	-0.23	-0.02	0.25
Fk	0.34	-0.29	-0.11	-0.46	-0.31	-0.49	-0.22	0.12	0.75	-0.37	-0.56
Fp	-0.50	0.13	0.65	0.19	0.23	0.35	0.42	0.64	-0.02	0.15	0.03
Lp	0.46	-0.52	-0.17	-0.62	-0.50	-0.57	-0.37	0.06	0.72	-0.44	-0.44
Lm	0.08	0.09	-0.33	0.21	0.05	0.12	-0.17	-0.59	-0.64	0.16	0.59
Ls	-0.15	0.13	0.11	0.12	0.10	0.18	0.01	-0.11	-0.25	0.16	0.44
Lv	-0.24	0.01	0.32	0.06	0.03	0.09	0.24	0.28	0.00	-0.19	0.10
Mp	-0.70	0.78	0.30	0.84	0.79	0.83	0.73	0.13	-0.68	0.46	0.20
Mz (φ)	-0.65	0.50	0.41	0.62	0.51	0.72	0.50	0.12	-0.74	0.55	0.73
σ _I (φ)	0.14	-0.11	0.02	-0.12	-0.10	-0.27	-0.20	0.02	0.28	-0.31	-0.32
Sk _I	0.01	0.08	-0.02	0.04	0.06	0.05	0.12	0.13	0.08	-0.02	-0.38
K _G	0.04	-0.01	-0.10	-0.01	-0.02	0.02	-0.05	-0.07	-0.05	0.16	0.12

n= 39

Tabla B2. Correlaciones de Pearson. Elementos traza contra variables granulométricas, petrográficas y geoquímicas.

	Rb	Sr	Ba	Y	Zr	Nb	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Th	Pb
SiO ₂	0.33	-0.71	-0.15	-0.19	-0.57	-0.22	-0.69	-0.42	-0.19	-0.40	-0.06	-0.47	0.06	0.23
TiO ₂	-0.44	0.51	-0.21	0.34	0.77	0.36	0.79	0.39	0.29	0.50	0.08	0.62	0.17	-0.23
Al ₂ O ₃	0.04	0.72	0.57	0.05	0.17	0.05	0.28	0.24	0.06	0.08	-0.14	0.06	-0.24	-0.10
Fe ₂ O _{3t}	-0.55	0.43	-0.27	0.23	0.80	0.27	0.83	0.42	0.20	0.51	0.17	0.66	0.19	-0.22
MnO	-0.47	0.58	-0.17	0.29	0.73	0.33	0.77	0.38	0.25	0.46	0.08	0.54	0.14	-0.25
MgO	-0.52	0.59	-0.13	0.21	0.60	0.25	0.76	0.45	0.23	0.54	0.17	0.60	-0.01	-0.23
CaO	-0.52	0.76	-0.07	0.18	0.56	0.21	0.68	0.33	0.21	0.38	0.10	0.34	-0.04	-0.47
Na ₂ O	0.10	0.71	0.48	0.06	0.07	0.04	0.08	0.25	0.15	0.03	-0.18	-0.23	-0.26	-0.38
K ₂ O	0.65	-0.02	0.50	-0.13	-0.42	-0.19	-0.54	-0.27	-0.19	-0.62	-0.41	-0.71	-0.17	0.15
P ₂ O ₅	-0.34	0.11	-0.29	0.13	0.34	0.17	0.45	0.44	0.18	0.43	0.40	0.43	0.11	-0.20
PXC	-0.10	-0.19	0.02	0.00	-0.06	0.07	0.22	0.20	0.04	0.38	0.27	0.59	-0.16	0.27
Rb	1.00	-0.08	0.56	0.49	-0.36	0.46	-0.50	0.04	0.45	0.01	-0.51	-0.16	-0.01	0.19
Sr	-0.08	1.00	0.46	0.29	0.42	0.31	0.39	0.20	0.27	0.15	-0.27	0.03	-0.07	-0.29
Ba	0.56	0.46	1.00	0.18	-0.13	0.14	-0.23	-0.09	0.13	-0.15	-0.42	-0.19	-0.06	0.33
Y	0.49	0.29	0.18	1.00	0.35	0.95	0.17	0.39	0.95	0.73	-0.24	0.53	0.41	-0.20
Zr	-0.36	0.42	-0.13	0.35	1.00	0.34	0.71	0.30	0.20	0.32	0.07	0.44	0.59	-0.20
Nb	0.46	0.31	0.14	0.95	0.34	1.00	0.21	0.43	0.91	0.70	-0.32	0.51	0.29	-0.19
V	-0.50	0.39	-0.23	0.17	0.71	0.21	1.00	0.40	0.14	0.40	0.25	0.55	0.14	-0.24
Cr	0.04	0.20	-0.09	0.39	0.30	0.43	0.40	1.00	0.47	0.58	-0.09	0.43	-0.04	-0.32
Co	0.45	0.27	0.13	0.95	0.20	0.91	0.14	0.47	1.00	0.82	-0.20	0.54	0.21	-0.32
Ni	0.01	0.15	-0.15	0.73	0.32	0.70	0.40	0.58	0.82	1.00	0.13	0.86	0.14	-0.27
Cu	-0.51	-0.27	-0.42	-0.24	0.07	-0.32	0.25	-0.09	-0.20	0.13	1.00	0.30	0.15	0.06
Zn	-0.16	0.03	-0.19	0.53	0.44	0.51	0.55	0.43	0.54	0.86	0.30	1.00	0.24	-0.01
Th	-0.01	-0.07	-0.06	0.41	0.59	0.29	0.14	-0.04	0.21	0.14	0.15	0.24	1.00	0.04
Pb	0.19	-0.29	0.33	-0.20	-0.20	-0.19	-0.24	-0.32	-0.32	-0.27	0.06	-0.01	0.04	1.00
Cm	0.46	0.07	0.14	0.32	-0.01	0.20	-0.20	-0.01	0.28	-0.08	-0.07	-0.32	0.20	-0.21
Qp	0.10	-0.39	0.10	-0.05	-0.17	-0.08	-0.31	-0.26	-0.09	0.02	0.11	0.23	0.11	0.58
Fk	0.40	0.07	0.21	0.03	-0.19	-0.02	-0.31	-0.18	-0.01	-0.42	-0.35	-0.57	-0.06	-0.09
Fp	-0.16	0.61	0.49	-0.16	0.19	-0.12	0.22	0.13	-0.15	-0.14	0.02	-0.18	-0.07	-0.01
Lp	0.34	-0.15	0.02	-0.22	-0.45	-0.22	-0.41	-0.20	-0.24	-0.59	-0.28	-0.68	-0.21	-0.13
Lm	-0.26	-0.47	-0.31	-0.08	-0.09	0.00	0.05	0.02	-0.02	0.35	0.16	0.54	-0.06	0.28
Ls	0.06	-0.11	0.02	0.19	-0.10	0.13	0.16	-0.05	0.22	0.39	0.06	0.47	-0.10	0.02
Lv	-0.21	0.28	0.21	-0.24	-0.05	-0.18	0.18	-0.13	-0.17	-0.14	0.19	-0.09	-0.24	-0.20
Mp	-0.50	0.40	-0.27	0.28	0.69	0.27	0.67	0.35	0.27	0.58	0.25	0.59	0.23	-0.24
Mz(ϕ)	-0.41	0.21	-0.06	0.12	0.32	0.19	0.56	0.39	0.20	0.63	0.32	0.72	-0.06	0.00
$\sigma_1(\phi)$	0.24	0.08	0.41	-0.02	0.09	-0.11	-0.26	-0.34	-0.17	-0.37	-0.20	-0.29	0.32	0.26
Sk _I	-0.04	0.21	0.08	0.25	0.30	0.15	0.10	0.07	0.21	0.13	0.04	0.01	0.36	-0.09
K _G	0.01	-0.21	-0.38	-0.04	-0.17	0.01	0.08	0.30	0.02	0.10	0.03	0.05	-0.22	-0.22

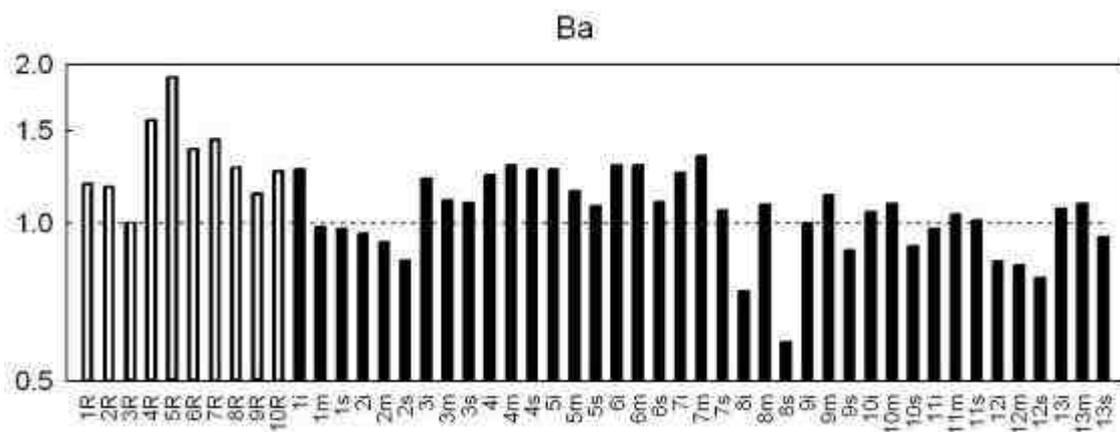
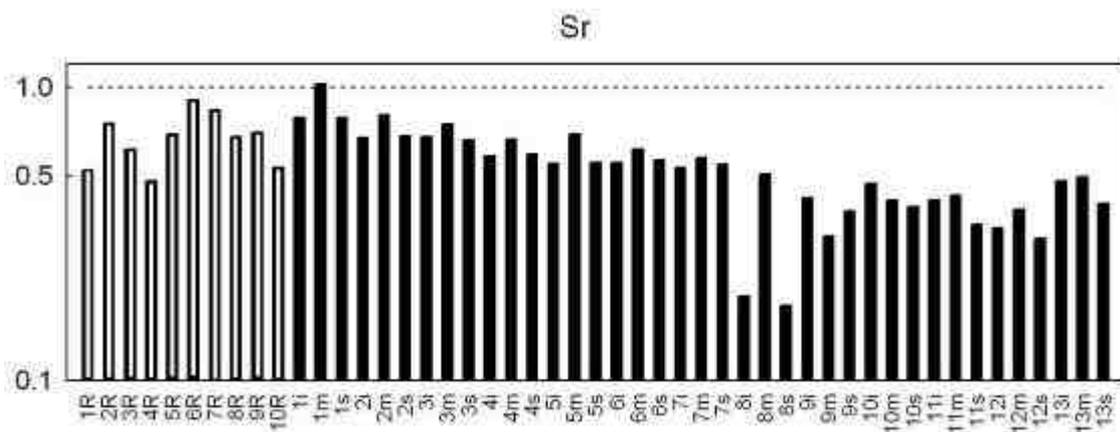
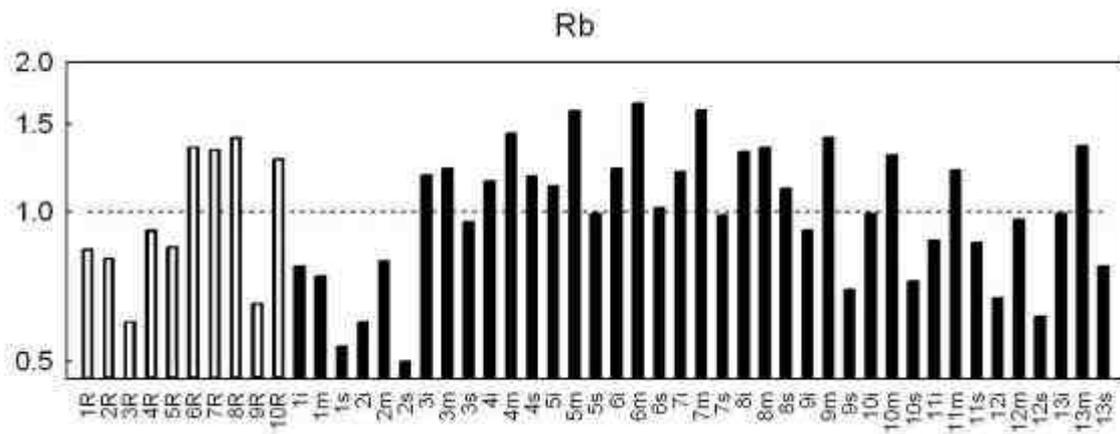
n= 39

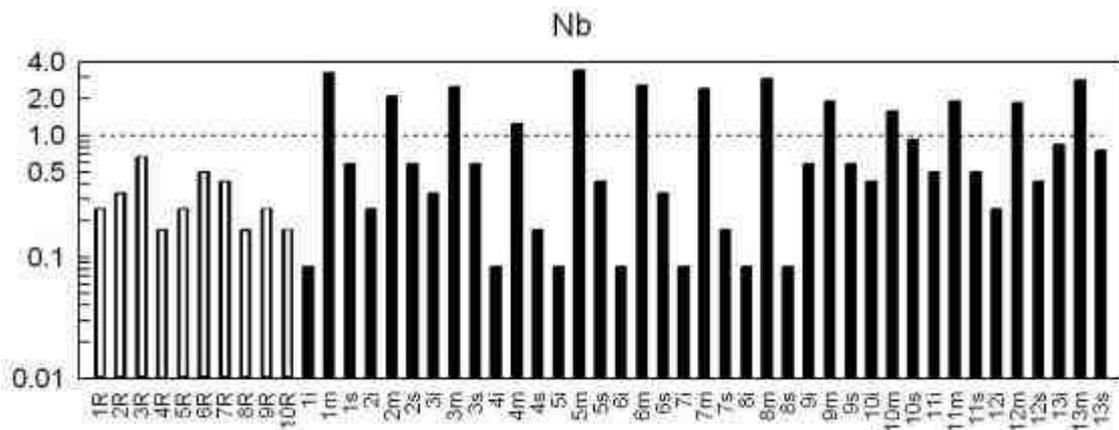
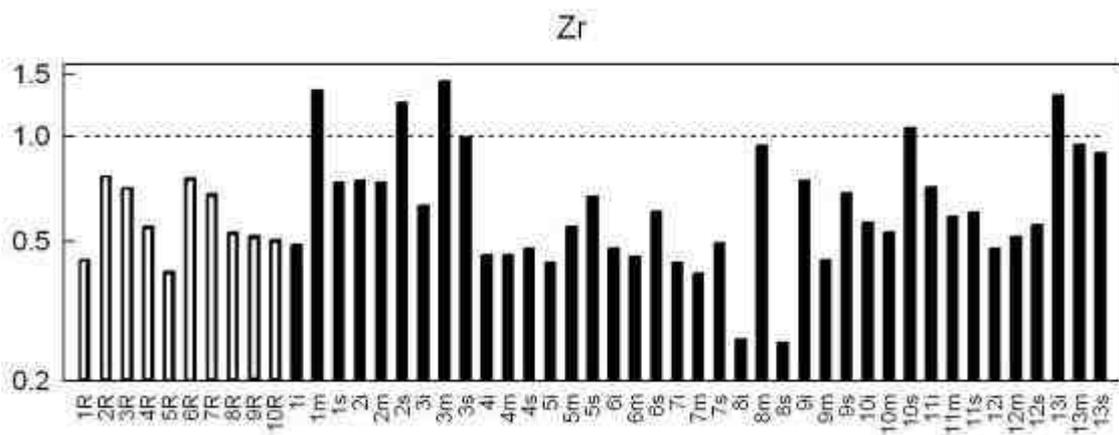
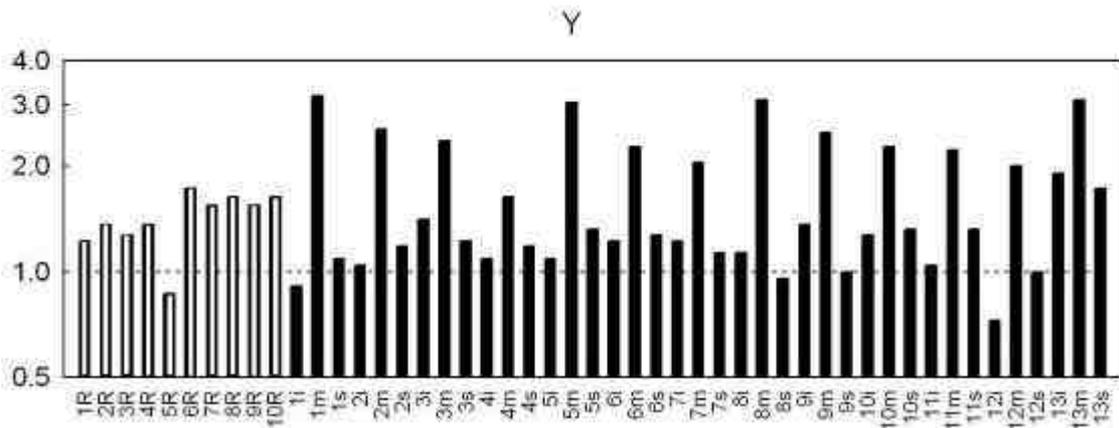
Tabla B3. Correlaciones de Pearson. Parámetros texturales y petrográficos contra variables granulométricas, petrográficas y geoquímicas.

	Cm	Qp	Fk	Fp	Lp	Lm	Ls	Lv	MP	Mz ϕ	$\sigma_1\phi$	Sk _I	K _G
SiO ₂	0.25	0.31	0.34	-0.50	0.46	0.08	-0.15	-0.24	-0.70	-0.65	0.14	0.01	0.04
TiO ₂	-0.25	-0.16	-0.29	0.13	-0.52	0.09	0.13	0.01	0.78	0.50	-0.11	0.08	-0.01
Al ₂ O ₃	-0.03	-0.33	-0.11	0.65	-0.17	-0.33	0.11	0.32	0.30	0.41	0.02	-0.02	-0.10
Fe ₂ O _{3t}	-0.39	-0.10	-0.46	0.19	-0.62	0.21	0.12	0.06	0.84	0.62	-0.12	0.04	-0.01
MnO	-0.28	-0.20	-0.31	0.23	-0.50	0.05	0.10	0.03	0.79	0.51	-0.10	0.06	-0.02
MgO	-0.36	-0.22	-0.49	0.35	-0.57	0.12	0.18	0.09	0.83	0.72	-0.27	0.05	0.02
CaO	-0.19	-0.44	-0.22	0.42	-0.37	-0.17	0.01	0.24	0.73	0.50	-0.20	0.12	-0.05
Na ₂ O	0.30	-0.48	0.12	0.64	0.06	-0.59	-0.11	0.28	0.13	0.12	0.02	0.13	-0.07
K ₂ O	0.58	-0.23	0.75	-0.02	0.72	-0.64	-0.25	0.00	-0.68	-0.74	0.28	0.08	-0.05
P ₂ O ₅	-0.07	-0.02	-0.37	0.15	-0.44	0.16	0.16	-0.19	0.46	0.55	-0.31	-0.02	0.16
PXC	-0.53	0.25	-0.56	0.03	-0.44	0.59	0.44	0.10	0.20	0.73	-0.32	-0.38	0.12
Rb	0.46	0.10	0.40	-0.16	0.34	-0.26	0.06	-0.21	-0.50	-0.41	0.24	-0.04	0.01
Sr	0.07	-0.39	0.07	0.61	-0.15	-0.47	-0.11	0.28	0.40	0.21	0.08	0.21	-0.21
Ba	0.14	0.10	0.21	0.49	0.02	-0.31	0.02	0.21	-0.27	-0.06	0.41	0.08	-0.38
Y	0.32	-0.05	0.03	-0.16	-0.22	-0.08	0.19	-0.24	0.28	0.12	-0.02	0.25	-0.04
Zr	-0.01	-0.17	-0.19	0.19	-0.45	-0.09	-0.10	-0.05	0.69	0.32	0.09	0.30	-0.17
Nb	0.20	-0.08	-0.02	-0.12	-0.22	0.00	0.13	-0.18	0.27	0.19	-0.11	0.15	0.01
V	-0.20	-0.31	-0.31	0.22	-0.41	0.05	0.16	0.18	0.67	0.56	-0.26	0.10	0.08
Cr	-0.01	-0.26	-0.18	0.13	-0.20	0.02	-0.05	-0.13	0.35	0.39	-0.34	0.07	0.30
Co	0.28	-0.09	-0.01	-0.15	-0.24	-0.02	0.22	-0.17	0.27	0.20	-0.17	0.21	0.02
Ni	-0.08	0.02	-0.42	-0.14	-0.59	0.35	0.39	-0.14	0.58	0.63	-0.37	0.13	0.10
Cu	-0.07	0.11	-0.35	0.02	-0.28	0.16	0.06	0.19	0.25	0.32	-0.20	0.04	0.03
Zn	-0.32	0.23	-0.57	-0.18	-0.68	0.54	0.47	-0.09	0.59	0.72	-0.29	0.01	0.05
Th	0.20	0.11	-0.06	-0.07	-0.21	-0.06	-0.10	-0.24	0.23	-0.06	0.32	0.36	-0.22
Pb	-0.21	0.58	-0.09	-0.01	-0.13	0.28	0.02	-0.20	-0.24	0.00	0.26	-0.09	-0.22
Cm	1.00	-0.44	0.58	-0.08	0.39	-0.71	-0.08	-0.13	-0.25	-0.49	-0.01	0.36	0.01
Qp	-0.44	1.00	-0.37	-0.16	-0.39	0.60	0.18	-0.17	-0.15	0.07	0.41	-0.23	-0.18
Fk	0.58	-0.37	1.00	-0.26	0.62	-0.58	-0.31	-0.09	-0.50	-0.78	0.06	0.36	-0.10
Fp	-0.08	-0.16	-0.26	1.00	-0.22	-0.33	-0.26	0.41	0.19	0.31	0.25	-0.08	-0.20
Lp	0.39	-0.39	0.62	-0.22	1.00	-0.55	-0.31	-0.02	-0.67	-0.72	-0.05	-0.03	0.23
Lm	-0.71	0.60	-0.58	-0.33	-0.55	1.00	0.31	-0.14	0.10	0.47	-0.19	-0.22	-0.03
Ls	-0.08	0.18	-0.31	-0.26	-0.31	0.31	1.00	0.00	0.17	0.39	-0.19	-0.21	0.30
Lv	-0.13	-0.17	-0.09	0.41	-0.02	-0.14	0.00	1.00	-0.01	0.10	0.06	-0.09	-0.08
Mp	-0.25	-0.15	-0.50	0.19	-0.67	0.10	0.17	-0.01	1.00	0.67	-0.08	0.07	0.04
Mz(ϕ)	-0.49	0.07	-0.78	0.31	-0.72	0.47	0.39	0.10	0.67	1.00	-0.36	-0.17	0.07
$\sigma_1(\phi)$	-0.01	0.41	0.06	0.25	-0.05	-0.19	-0.19	0.06	-0.08	-0.36	1.00	-0.22	-0.34
Sk _I	0.36	-0.23	0.36	-0.08	-0.03	-0.22	-0.21	-0.09	0.07	-0.17	-0.22	1.00	-0.29
K _G	0.01	-0.18	-0.10	-0.20	0.23	-0.03	0.30	-0.08	0.04	0.07	-0.34	-0.29	1.00

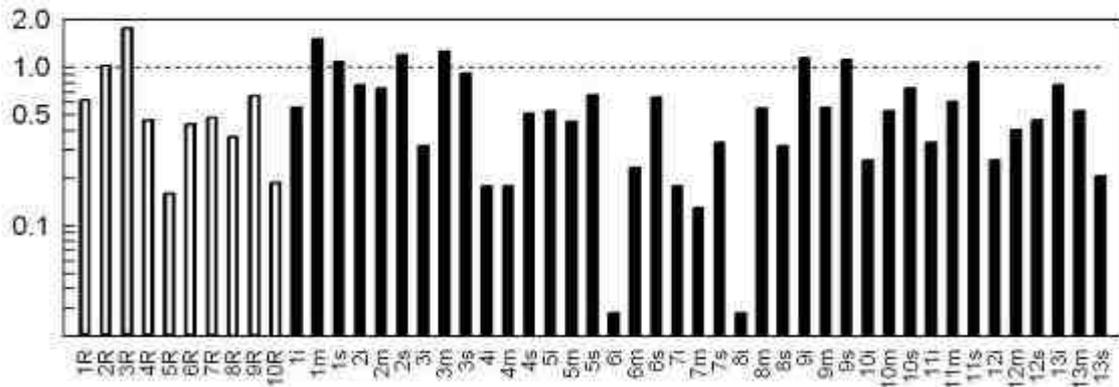
n = 39.

Anexo D. Variación de elementos traza a lo largo de los puntos de muestreo playas y ríos.

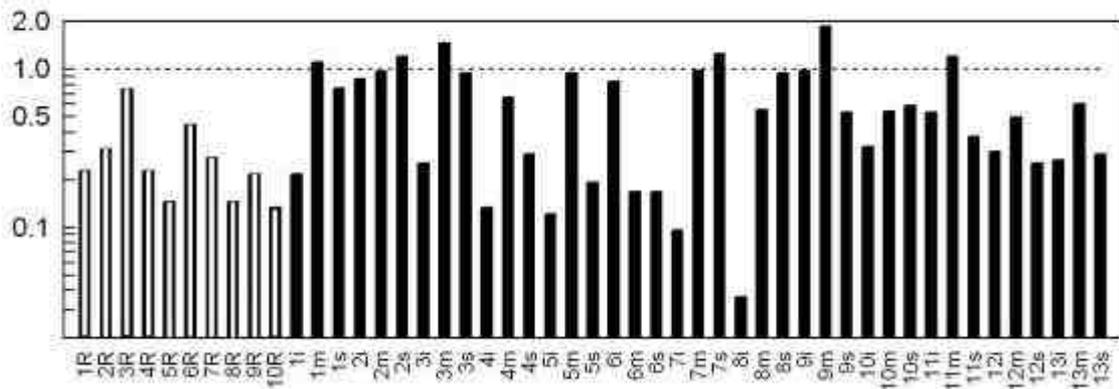




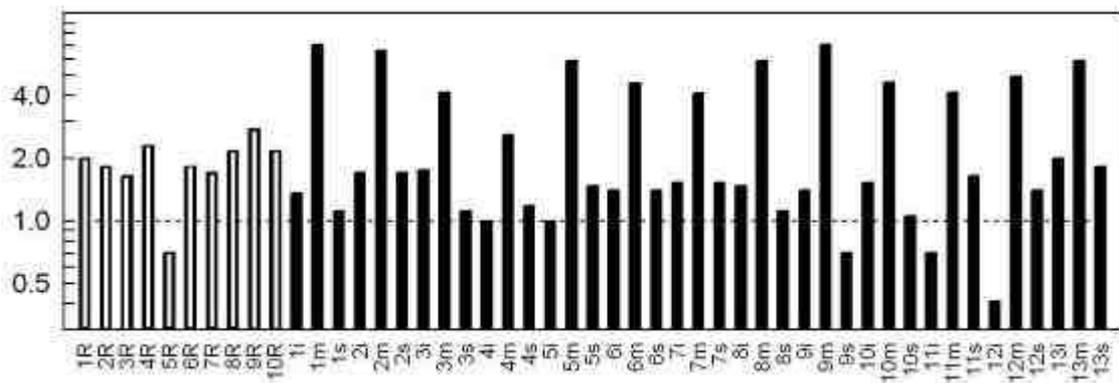
V



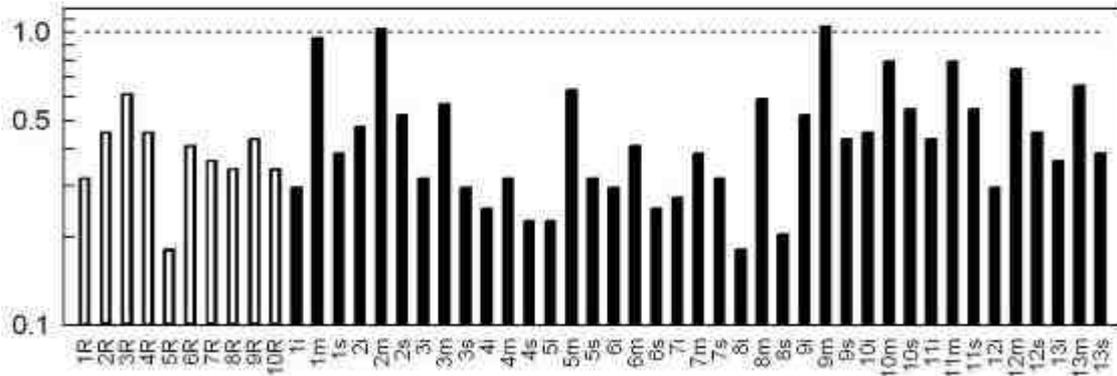
Cr



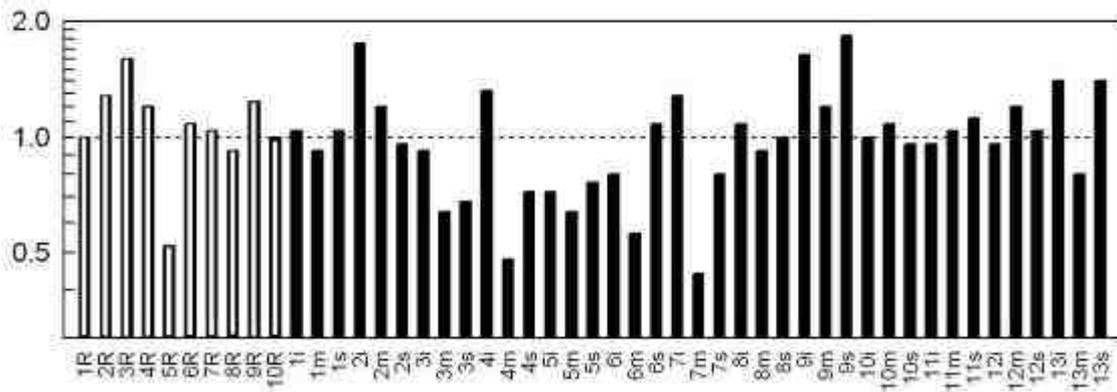
Co



Ni



Cu



Zn

