

01179



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**AREAS DE PROVENIENCIA DE LOS CLASTICOS
DEL MIOCENO MEDIO Y SUPERIOR DE LA
CUENCA DE VERACRUZ**

T E S I S

PRESENTADA POR

HILDA CLARISA GUTIERREZ PAREDES

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN INGENIERIA

(EXPLORACION DE RECURSOS ENERGETICOS DEL SUBSUELO)



DIRIGIDA POR:

DR. MARIO RUIZ CASTELLANOS

Ciudad Universitaria, Mayo de 2005

m345102



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

Quiero expresar mi agradecimiento a todas las personas que de forma directa e indirecta colaboraron en la realización de este trabajo:

Al Dr. Horacio L. Sessarego por su valiosa asesoría y motivación.

Al Dr. Mario Ruiz Castellanos por su dirección y asesoría

Al Dr. Jaime Barceló Duarte por la revisión y apoyo brindado durante el desarrollo del trabajo.

De igual manera a los señores sinodales, Dr. Gustavo Murillo Muñeton, Dr. Ricardo Padilla y Sánchez, M. en C. Noel Holguín Quiñones, por el tiempo dedicado a la revisión de este trabajo así como por sus acertadas observaciones.

Al M en I. Francisco Sánchez de Tagle y M. en I. José García Esparza por la revisión del trabajo

Al Ing. Víctor Valdivieso Ramos, al Ing. Arturo Soto Cuervo y al Ing. Renato Vázquez Benítez por las facilidades prestadas para elaboración de dicho trabajo.

A los integrantes de los grupos de Interpretación de los Campos Playuela, Cocuite y Vistoso por sus valiosas contribuciones.

Al M. en I. Adán E. Oviedo Pérez por la autorización del uso de la información

Sinceramente

Hilda Clarisa Gutiérrez Paredes

DEDICATORIAS

A mi pequeña **Aitana Itzel** por llenar cada instante de mi vida con su ternura y amor

A mis padres **Maria Antonieta** y **José Amado** por su amor y apoyo incondicional

A Juliana, Antonio y Christian por su apoyo y comprensión

A Iván, Joanna, Erick, Josué y Alan por su ternura

A mis tías Alicia, Hortensia, Rosa, Teresa y Patricia por su apoyo y amor

A mis primos Claudia, Margarita, Jonathan y Carlos y a mis tíos Arturo, Perla, Carlos y Víctor.

A todos ustedes gracias por estar a mi lado siempre y motivarme cada día a ser mejor

ÍNDICE

RESUMEN

NOMECLATURA

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1. – INTRODUCCIÓN	1
Objetivo	2
Ubicación del área de estudio	3
CAPÍTULO 2. – METODOLOGÍA DE TRABAJO	
2.1 Análisis Estratigráfico	4
2.2 Análisis Petrográfico	4
2.3 Análisis Geoquímico	6
CAPÍTULO 3. - MARCO TECTÓNICO Y SEDIMENTARIO DE LA CUENCA DE VERACRUZ	
3.1 Marco Tectónico	8
3.3 Marco Sedimentario	9
3.4 Vulcanismo	12
CAPÍTULO 4.- DEFINICIONES DE ÁREAS DE PROVENIENCIA	
4.1 Diagramas de Dickinson y Suczek	17
4.1.1 Proveniencia de Bloques continentales	18
4.1.1.1 Cratón Interior	19
4.1.1.2 Basamento elevado	19
4.1.2 Proveniencia de arcos magmáticos	19
4.1.2.1 Arcos no disectados	19
4.1.2.2 Arcos disectados	20
4.1.3 Proveniencia de Orógenos reciclados	20
4.1.3.1 Complejos de subducción	20
4.1.3.2 Orógenos de colisión	20
5.1.3.3 Levantamientos del antepaís	21
4.2. Diagramas de Ingersoll	21
4.3. Método Geoquímico	23
4.3.1 Clasificación de Bathia y Crook (1983)	24

CAPÍTULO 5.- ANTECEDENTES ESTRATIGRÁFICOS	27
CAPÍTULO 6. - ANÁLISIS PETROGRÁFICO DE LAS SECUENCIAS LS-MS-6.98 Y LS-MM- 11.7	29
CAPÍTULO 7.- ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LAS SECUENCIAS LS-MS-6.98 Y LS-MM-11-7	42
CAPÍTULO 8.- PROVENIENCIA DE LAS ARENAS DE LOS CAMPOS PLAYUELA; COCUITE Y VISTOSO	
8.1 Proveniencia con base en el análisis petrográfico	46
8.1.1 Secuencia LS-MS -6.98	44
8.1.2 Secuencia LS-MM-11.7	51
8.2 Proveniencia con base en el análisis geoquímica	54
CONCLUSIONES	60
BIBLIOGRAFIA	62

RESUMEN

En este trabajo se determinó la proveniencia de los siliciclásticos del Mioceno Superior y Medio de la Cuenca de Veracruz, de dos de las principales secuencias productoras de hidrocarburos en los Campos Cocuite, Playuela y Vistoso; el método utilizado para determinar la procedencia se fundamenta en 2 tipos de análisis; el petrográfico que basa la proveniencia en las proporciones relativas de los diferentes tipos de granos detríticos de las areniscas, y el geoquímico en la composición química de los principales elementos de las rocas determinan la proveniencia. En este trabajo se considera a la tectónica de placas como factor clave entre las áreas de proveniencia y la cuenca.

El trabajo se realizó con 60 muestras de núcleos, de 11 pozos de los campos Cocuite, Playuela y Vistoso, con una edad de LS-MS-6.98 ma. y LS-MM 11.7 ma.

Con el análisis petrográfico se determinó que las areniscas de la secuencia LS-MS-6.98 en los campos Playuela, Cocuite y Vistoso son principalmente litarenitas y litarenitas feldespáticas. Las areniscas de la secuencia LS-MM 11.7. en los campos Playuela y Cocuite son feldsarenitas líticas y litarenitas feldespáticas.

Ambos métodos indican que las arenas de la secuencia LS- MS-6.98 en los campos Vistoso y Playuela, provienen de una mezcla de **arco magmático y margen de rift continental**, siendo la principal fuente de aporte la **Provincia Alcalina del Este de México**, aunque también pudo haber influencia del vulcanismo de Anegada y Los Tuxtles. Las arenas de la secuencia LS-MM-11.7 en el Campo Playuela, provienen de una mezcla de **arcos disectados** y de **orógenos reciclados**, y para el Campo Cocuite proviene principalmente de un **arco disectado**. La fuente de aporte de las arenas de la secuencia LS-MM-11.7 fue la **Provincia Magmática Alcalina del Este de México**.

Los constituyentes carbonatos de ambas secuencias tienen como fuente litológica de aporte el frente tectónico sepultado de la Sierra Madre Oriental.

NOMECLATURA

Qm = Cuarzo monocristalino

Qp = Cuarzo policristalino

Fk = Feldespatos potásicos

Fp = Plagioclasas

Lv = Líticos volcánicos

Lm = Líticos metamórficos

Lc = Líticos carbonatados

Ls = Fragmentos líticos sedimentarios

QLF = Diagrama ternario cuarzo, fragmentos líticos y feldespatos

QmFLt = Diagrama ternario cuarzo monocristalino, feldespatos y líticos totales

QpLvLsm = Diagrama ternario cuarzo policristalino, líticos volcánicos-metasedimentarios, líticos sedimentarios-metasedimentarios

LmLvLs = Diagrama ternario líticos metamórficos, líticos volcánicos y líticos sedimentarios

Lign = Líticos ígneos

Lp = Líticos plutónicos

Ltraq = Líticos de traquitas

Lbas = Líticos de basaltos

Lrio/Dac = Líticos de riolitas y dacitas

Ltoba = Líticos de tobas

SiO₂ = Óxido de Sílice

TiO₂ = Óxido de Titanio

Al₂O₃ = Óxido de Aluminio

Fe₂O₃ = Oxído de Hierro

MnO = Óxido de Manganeseo

MgO = Óxido de Magnesio

CaO = Óxido de Calcio

Na₂O = Óxido de Sodio

K₂O = Óxido de Potasio

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de ubicación de la Cuenca de Veracruz	3
Figura 2 Pozos muestreados para el análisis petrográfico y geoquímica	5
Figura 3 Mapa de ubicación de las provincias geológicas en la Cuenca de Veracruz	8
Figura 4 Principales eventos sedimentarios y tectónicos	11
Figura 5 Vulcanismo en el área de estudio	12
Figura 5 Diagrama discriminativo SiO ₂ vs Na ₂ O + KO ₂	14
Figura 7 Diagrama de clasificación TAS correspondiente a las rocas de las Fases III y V del Complejo volcánico de los Tuxtlas	15
Figura 8 Modelo esquemático que muestra la distribución y fuente de los magmas correspondientes al sistema Alto de Anegada-Los Tuxtlas	16
Figura 9 Diagramas de Dickinson et al a) QFL y b) QmFLt	18
Figura 10 Diagramas de Ingersoll a) LmLvLs y b) QpLvLsm	22
Figura 11 Gráfica que ilustra el tamaño del grano	23
Figura 12 Secuencia del modelo estratigráfico integral	27
Figura 13 Secuencias identificadas en los Campos Playuela, Cocuite y Vistoso	28
Figura 14 Arenita lítica Pozo Playuela-101 (Secuencia LS-MS-6.9)	30
Figura 15 Arenita lítica Pozo Cocuite-412 (Secuencia LS-MM-11.7)	30
Figura 16 Clasificación de Folk 1971 para las areniscas del Mioceno Superior y Medio	31
Figura 17 Litarenita Pozo Vistoso-1 (Secuencia LS-MS-6.9)	33
Figura 18 Litarenita Pozo Playuela-1 (Secuencia LS-MM-11.7)	34
Figura 19 Litarenita Pozo Carilo-1 (Secuencia LS-MS-6.9)	35
Figura 20 Litarenita Pozo Cocuite-402 (Secuencia LS-MM-11.7)	
Figura 21 Diagrama de profundidad vs. líticos totales normalizados	36
Figura 22 Variedades y porcentajes relativos de líticos de la secuencia LS-MS-6.98	37
Figura 23 Variedades y porcentajes relativos de líticos de la secuencia LS-MM-11-.7	37
Figura 24 Porcentajes promedio de cemento rojo y arcilla por pozo en las areniscas de la secuencia LS-MS-6.98	39
Figura 25 Porcentajes promedio de cemento rojo y arcilla por pozo en las areniscas de la secuencia LS-MM-11.7	39
Figura 26 Distribución porcentual de contenido de cemento y matriz en la profundidad	40

Figura 27a y b) a) Diagrama QFL y b) Diagrama QmFLt	47
Figura 28 a y b Diagramas de Ingersoll	49
Figura 29 Mapa de Proveniencia de la Secuencia LS-MS-6.98	50
Figura 30 Diagramas de Ingersoll para la Secuencia LS-MM-11.7	52
Figura 31 Mapa de proveniencia para la Secuencia LS-MM-11.7	53
Figura 32. Diagrama discriminativo SiO ₂ vs Na ₂ O + KO ₂ de las secuencias LS-MS-6.98 y LS- MM-11.7	54
Figura 33 Gráfica K ₂ O/Na ₂ O vs SiO ₂	55
Figura 34. Gráfica TiO ₂ vs Fe ₂ O ₃ + MgO	56
Figura 35 Gráfica Al ₂ O ₃ vs SiO ₂	56
Figura 36 Gráfica CaO vs SiO ₂	57
Figura 37 Gráfica Al ₂ O ₃ /SiO ₂ vs Fe ₂ O ₃ + MgO	57
Figura 38 Gráfica Al ₂ O ₃ / (Ca+Na ₂ O) vs Fe ₂ O ₃ +MgO	58
Figura 39. Diagrama discriminativo SiO ₂ vs K ₂ O	59

LISTA DE TABLAS

6.1 Resumen de los datos modales de las areniscas	32
7.1 Base de datos geoquímicos de la secuencia LS-MS-6.98	42
7.2 Base de datos geoquímicos de la secuencia LS-MM-11.7	43

ANEXOS

- Anexo 1.- Tabla de datos para petrografía sin normalizar
- Anexo 2.- Tabla de datos para petrografía normalizados
- Anexo 3.- Base de datos geoquímicos

CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN

Los estudios de proveniencia en sedimentos terrígenos son importantes debido a que la composición de las areniscas es fuertemente influenciada por el carácter de la proveniencia sedimentaria, así como de la naturaleza de los procesos sedimentarios que ocurren en la cuenca de depositación y el tipo de rutas de dispersión. Estas relaciones entre proveniencia y cuenca son importantes para la exploración de hidrocarburos, ya que la estructura de composiciones detríticas contrastantes responden de manera diferente a la diagénesis y por lo tanto hay diferentes tendencias de reducción de la porosidad con la profundidad de sepultamiento.

En la Cuenca de Veracruz los campos productores tradicionales de gas eran el Campo Novillero y el Campo Cocuite. El primero es productor en conglomerados del Mioceno Inferior y el segundo en arenas del Plioceno Inferior, Mioceno Superior y Medio. En los últimos años se han descubierto nuevos yacimientos de gas en arenas del Mioceno Superior en los campos Playuela y Vistoso, estos descubrimientos y el desarrollo en la explotación de esos campos, son el motivo de este estudio de proveniencia de clásticos.

Con este trabajo se aportan datos que determinan las áreas de proveniencia de las arenas de las secuencias productoras del Mioceno Superior y Medio para los campos petroleros Cocuite, Playuela y Vistoso. Para esto se usaron dos métodos de investigación: el método petrográfico y el método geoquímico. El método petrográfico, utiliza las clasificaciones de Dickinson, Ingersoll and Suczek, (1979) y en el método geoquímico las de Roser y Korsch (1986) y Bathia (1983).

El estudio petrográfico determinó que los principales constituyentes líticos de las muestras de los campos Playuela y Vistoso son principalmente fragmentos líticos volcánicos (basaltos y traquitas). La secuencia LS- MS-6.98 en el Campo Vistoso y en el Campo Playuela provienen de una mezcla de sedimentos originados en un arco magmático y en un margen de rift continental, donde la principal fuente de aporte es la Provincia Alcalina del Este y el centro volcánico de Anegada.

La secuencia LS-MM-11.7 presenta mayor cantidad de líticos de origen carbonatado que la anterior, los constituyentes ígneos más importantes son los líticos plutónicos. Los resultados de los análisis geoquímicos y petrográficos para esta secuencia determinaron que las areniscas provienen tanto de orog nos reciclados como de arcos magmáticos, siendo las fuentes de aporte el Frente Tectónico Sepultado y la Provincia Alcalina del Este.

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es determinar las áreas de aporte y fuentes litológicas de los terrígenos para dos de las principales secuencias productoras de hidrocarburos en el Mioceno Medio y Superior, en los campos Cocuite, Vistoso y Playuela. Este trabajo empleo análisis petrográficos y geoquímicos, para con ello aportar datos a los modelos tectónicos y sedimentarios y de la Cuenca Terciaria de Veracruz.

1.1 Ubicación del Área de Estudio

La Cuenca de Veracruz se ubica en la parte sur-central del Estado de Veracruz, México dentro del polígono enmarcado entre 17°20" y 19°30" de latitud norte y de 94 ° 30 " a 96° 40 " de longitud oeste y tiene un área aproximada de 30,000 km². La cuenca es limitada al norte por el Alto de Santa Ana; al oeste y suroeste por la Sierra Madre Oriental; al sur por la Sierra de Chiapas, la Mixtequita y el Complejo Metámorfico Sierra de Juárez y al sureste por la Cuenca Salina del Istmo y al oriente por el Alto de Anegada y el centro volcánico de los Tuxtlas (Figura 1).



Figura.-1 Mapa de ubicación de la Cuenca de Veracruz

CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA DE TRABAJO

El método utilizado para determinar la procedencia de las arenas se fundamentó principalmente en dos tipos de análisis el petrográfico y el geoquímico. Sin embargo fue necesario establecer un marco estratigráfico para las muestras que se emplearon.

2.1 Análisis estratigráfico

En el área de los campos Playuela-Cocuile-Vistoso se realizó un modelo estratigráfico integral del Mioceno Superior y del Mioceno Medio. Esto con el fin de establecer con precisión la edad de las arenas de las secuencias LS-MS-6.98 (Límite de secuencia del Mioceno Superior 6.98 m.a) y LS-MM-11.7 (Límite de secuencia del Mioceno Medio 11.7 m.a.) que se estudiaron, para esto fue necesario establecer el marco estratigráfico secuencial del Mioceno.

El modelo estratigráfico se obtuvo de la información bioestratigráfica de los pozos del Campo Playuela además de la información de modelos estratigráficos propuestos en el Campo Cocuile (PEMEX-AGI, 1999 y PEMEX-BEG, 2001). El análisis secuencial se integró a partir de los registros geofísicos de pozos y de la interpretación de los límites de secuencias y las superficies de máxima inundación en las líneas sísmicas.

2.2 Análisis Petrográfico

Para determinar las áreas de procedencia a partir del análisis petrográfico se seleccionaron los núcleos de 11 pozos de los campos Playuela, Cocuile y Vistoso (Fig. 2). Los análisis fueron realizados en laboratorios de Corelab, del resultado de los análisis se tomaron los datos modales del conteo de puntos, con el fin de identificar el porcentaje de los constituyentes de la muestra. Este procedimiento consiste en la identificación de 300 puntos equidistantes entre si, en una red cuadrada utilizado una contadora automática y una unidad de registro de doce canales. En cada uno de los 300 puntos indicados el componente de la roca (arenas, matriz, cemento y porosidad)

Con los resultados se construyó una base de datos con la siguiente información: nombre del pozo, profundidad, edad, cantidades de cuarzo monocristalino (Qm), cuarzo policristalino (Qp), pedernal (chert); feldespatos potásicos (Fk), plagioclasas (Fp), líticos volcánicos (Lv), líticos metamórficos (Lm), líticos de carbonatos (Lc) y sedimentarios (Ls) los líticos magmáticos se separaron en líticos plutónicos, traquita, latita, basalto, andesita, riolita/dacita y toba/vidrio. Los líticos carbonatados incluyen fragmentos de calizas y dolomías.

Posteriormente, para hacer el estudio de procedencia, se seleccionaron 60 muestras provenientes de los núcleos de 11 pozos (6 del Campo Playuela, 3 de Cocuite y 2 de Vistoso, Figura 2) La selección de las muestras se realizó por edad, considerando las que pertenecían a las secuencias LS-MS-6.9 y LS-MM- 11.7 del Mioceno Superior y Mioceno Medio respectivamente. Las dos secuencias se eligieron por ser dos de las principales productoras de hidrocarburos en la Cuenca de Veracruz (Anexo 1).

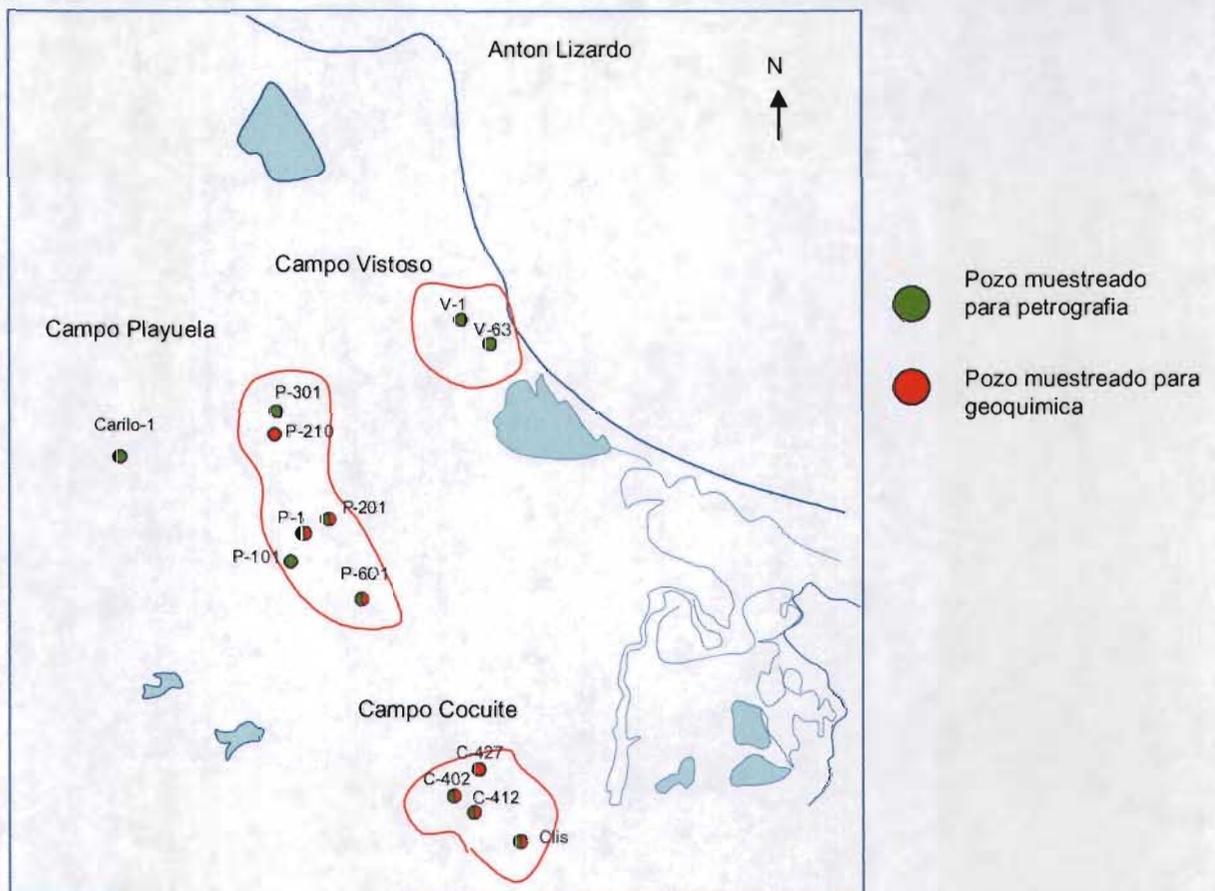


Figura. 2.- Pozos muestreados para el análisis petrográfico y geoquímico

De las muestras seleccionadas por edad, se descartaron las que tuvieran un alto porcentaje de matriz (areniscas sucias), ya que las arcillas pueden ser clastos arrancados, esto implica que no puede determinarse la fuente de aporte por tener posibilidades de origen intracuencial (Zuffa, 1985). Además se consideró el tamaño del grano, que puede influenciar la dependencia de la composición de la roca, sobre todo en los diagramas ternarios (Zuffa, *op. cit.* y Dickinson, *et al.* 1983). Realizada la selección, los datos porcentuales de cuarzo, feldespatos y líticos se normalizaron al 100 %. Para la clasificación de las areniscas se utilizó la clasificación de Folk, *et al.* (1971), que discrimina las variedades de areniscas arcósicas y líticas (Anexos 2).

Con la base de datos se construyeron los diagramas ternarios QLF y QmFLt (Dickinson y Suczek, 1979) y los diagramas QpLvLsm y LmLvLs (Ingersoll y Suczek 1979). Estos diagramas de discriminación son los que se usaron para determinar las áreas de proveniencia. Estos diagramas despliegan proporciones recalculadas de datos que permiten interpretar variaciones en la composición de las areniscas. El gráfico QFL agrupa todos los granos de cuarzo juntos, lo que enfatiza la estabilidad del grano y por consiguiente el intemperismo, relieve de proveniencia y mecanismo de transporte de la roca fuente. En el gráfico QmFLt se grafican los fragmentos líticos juntos.

En este trabajo también se utilizaron los diagramas QpLvLsm y LmLvLs. Este tipo de diagramas son útiles para diferenciar arenas derivadas de cinturones de sutura tectónica, arcos magmáticos y márgenes de rift continental. El primero distingue la procedencia de sedimentos derivados de una sola fuente; mientras que el segundo es usado para identificar sedimentos derivados de áreas regionalmente homogéneas con ambientes tectónicos mas definidos.

2.3 Análisis Geoquímico

Para determinar las áreas de proveniencia a partir del análisis geoquímico se seleccionaron 27 muestras tomadas de 4 pozos del Campo Playuela, 4 del campo Cocuite y 1 del campo Vistoso (Figura 2).

Se analizaron los elementos mayores utilizando un espectrómetro automático de fluorescencia de rayos gamma y siguiendo el método de Norris y Hutton (1969), todos los análisis se repitieron tres veces. El FeO fue determinado por el método de Tritanio usando la técnica de Peck (1964). El óxido ferrico fue calculado por la diferencia del contenido total de hierro medido por la fluorescencia de rayos X.

De estas muestras en el laboratorio se determinó el porcentaje del contenido de los siguientes compuestos SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO, MnO, MgO, CaO, Na_2O , K_2O , P_2O_5 , S, H_2O , CO_2 . Se construyó una base de datos, se normalizaron estos valores al 100% libre de volátiles, se calcularon las relaciones $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{OSiO}_2$ y se construyeron gráficos (Anexo 3).

En este análisis se siguieron las metodologías propuestas por Maynard *et al.* (1982), Bathia (1983b) y Roser y Korsch (1986 y 1988). La ventaja del método sobre el análisis petrográfico es que el tamaño del grano no influye, por lo que se puede aplicar tanto en areniscas como lutitas. El análisis geoquímico sugiere además que varios tipos de areniscas pueden distinguirse por su contenido SiO_2 y la relación $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, como la clasificación tectónica propuesta por Roser y Korsch (1986 y 1988). Esta clasificación refleja las composiciones de las rocas en las áreas de aporte, sin embargo es ambigua en sedimentos depositados en cuencas relacionadas a límites de placas activas, ya que sus fuentes de aporte pueden corresponder tanto a márgenes continentales como a arcos magmáticos o arcos de islas.

CAPÍTULO 3 MARCO TECTÓNICO Y SEDIMENTARIO DE LA CUENCA DE VERACRUZ

3.1 Marco Tectónico

El Marco tectónico de la región presenta dos provincias geológicas, la occidental conocida como Plataforma de Córdoba y la oriental como Cuenca Terciaria de Veracruz. La Plataforma de Córdoba tiene una columna sedimentaria compuesta de rocas carbonatadas de plataforma con mas de 6000 m de espesor, dispuestas en una serie de pliegues cabalgantes; mientras que la Cuenca Terciaria de Veracruz es una depresión rellena de sedimentos terrígenos que en la base tiene rocas cretácicas (Figura 3).



Figura 3 Mapa de ubicación de las provincias geológicas en la Cuenca de Veracruz

La falla transformante del Este de México con dirección NNW-SSE permitió el desplazamiento del bloque de Yucatán hacia el sureste, lo que provocó la apertura de cuencas en el Golfo de México durante el Jurásico Tardío-Cretácico Temprano. En la región de Veracruz esta falla dextral segmentó el basamento granodiorítico y desplazó el bloque oriental hacia el sureste dejando una depresión en la cual se generaron facies de talud y cuenca. En el bloque occidental se desarrollan plataformas carbonatadas en la mayor parte del Cretácico. El basamento en el área descansa sobre una corteza continental delgada afectada por intrusiones ígneas (PEMEX-IMP-Amoco, 1995).

Posteriormente, durante el Eoceno tiene su origen la Sierra Madre Oriental cuando los carbonatos de la Plataforma de Córdoba fueron afectados por esfuerzos compresionales de bajo ángulo. Estos originaron un estilo estructural de pliegues asimétricos orientados de norte a sur con vergencia al oriente, con un arreglo cabalgado e imbricado. Este arreglo en el área se conoce como Cinturón Plegado de Zongólica y cabalga sobre sedimentos terrígenos terciarios de la Cuenca Terciaria de Veracruz.

La Cuenca Terciaria de Veracruz esta formada por pliegues asimétricos con ejes orientados NW-SE con vergencia al SW y al NE a lo largo de un alineamiento norte-sur (Novillero-Víbora-Chachalacas). Los pliegues muestran fallas de alto ángulo casi verticales y en los sinclinales se tienen estratos de crecimiento que se acuñan contra los altos de los anticlinales. Los esfuerzos compresionales que deformaron la columna terciaria iniciaron en el Mioceno Temprano y actuaron en forma continua durante el Mioceno Tardío plegando y levantando los sedimentos que al mismo tiempo se depositaban y deformaban.

3.3 Marco Sedimentario

La columna sedimentaria en el norte y occidente de la Cuenca de Veracruz esta constituida por rocas carbonatadas del Cretácico Inferior y Medio que descansan discordantes sobre un basamento de rocas granodioríticas de edad Permo-Carbonífero. En la porción oriental, correlaciones estratigráficas regionales indican que rocas del Cretácico Inferior descansan sobre rocas arcillo-calcáreas del Jurásico Superior (Fm. Tepexilotla).

Durante el Cretácico se identifica una evolución de plataforma interna carbonatada, las series suprayacentes son traslapes evolutivos que representan la progresión de la Orogenia Larámide (Fig. 4).

La Cuenca Terciaria de Veracruz, comenzó a formarse en el Paleoceno con el depósito de lutitas marinas (Fm. Velasco, parte inferior y media). En el Eoceno el depósito de sedimentos fue principalmente arcilloso de ambientes de plataforma, y corresponden a la parte alta de las Fms. Velasco, Aragón y Guayabal. Los cañones submarinos provenientes del oeste de la Plataforma de Tuxpan (elemento emergido durante el Paleoceno y Eoceno) se rellenaron con sedimentos clásticos finos turbidíticos (Fm. Chicontepec). Para el Eoceno Tardío y Medio se tuvieron en la cuenca, aportes de sedimentos terrígenos de grano grueso derivados de los últimos episodios de la Orogenia Larámide. La discordancia del Eoceno Medio es la evidencia de estos episodios orogénicos (Mossman y Viniegra, 1976; Cruz Helu, et al., 1977).

Los clásticos del Eoceno Superior y Medio sobreyacen discordantemente a sedimentos del Cretácico y Eoceno Inferior. Los sedimentos gruesos del Eoceno son de la Fm. Tantoyuca y están mejor desarrollados en el flanco oeste de la Cuenca de Veracruz y gradúan al este a lutitas marinas (Fm. Chapopote). Para el Oligoceno en el oeste se depositan clásticos gruesos (Fm. La Laja) que cambian hacia el este a lutitas marinas (Fms. Chapopote y Horcones). En el Mioceno Temprano, cuñas clásticas progradantes cubren la cuenca provocando la formación de fallas de crecimiento. Las rocas del Mioceno Inferior cubren por onlap hacia el oeste sobre el erosionado cabalgamiento del Cretácico y Terciario Inferior. El Mioceno y Plioceno están representados por una gruesa secuencia de clásticos terrígenos. Los sedimentos clásticos Cuaternarios están presentes en la Sierra Madre Oriental a lo largo de la costa y costa afuera.

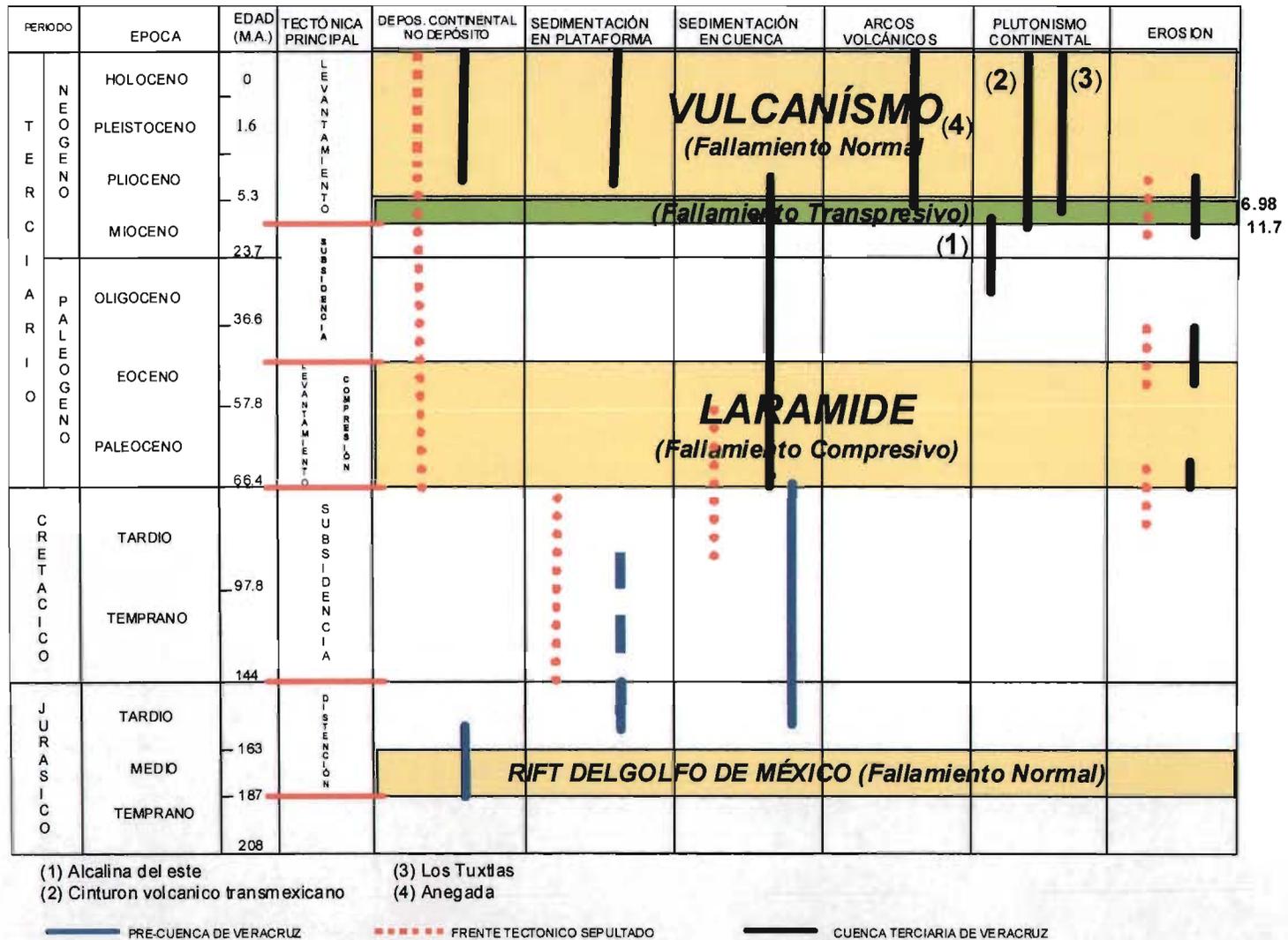


Figura 4 Principales eventos tectónicos y sedimentarios de la Cuenca de Veracruz

3.3. Vulcanismo

El magmatismo terciario en la Planicie Costera del Golfo de México desde el sur de Tamaulipas hasta el centro del Estado de Veracruz ha sido estudiado por varios autores, estos distinguen dos grandes provincias magmáticas: el Cinturón Volcánico Transmexicano y la Provincia Alcalina del Este de México. (Fig.5) Cantagrel y Robin (1979) mencionan que el Cinturón Volcánico Transmexicano consiste principalmente rocas andesíticas del Mioceno y Cuaternario; mientras que en la Provincia Alcalina del Este de México consiste de rocas volcánicas de tipo nefelítico subsaturadas y alcalinas sobresaturadas que parecen tener una edad del Oligoceno al Cuaternario. Esos autores indican que la zona andesítica en el Cinturón Volcánico Transmexicano ha tenido varios períodos de actividad volcánica desde el Mioceno Temprano, donde la mayor actividad parece haber ocurrido de 20 a 15 ma. y de 9 a 6 ma. Las edades de 3.0 ma. se concentran en la parte sur del cinturón volcánico (Fig.5).

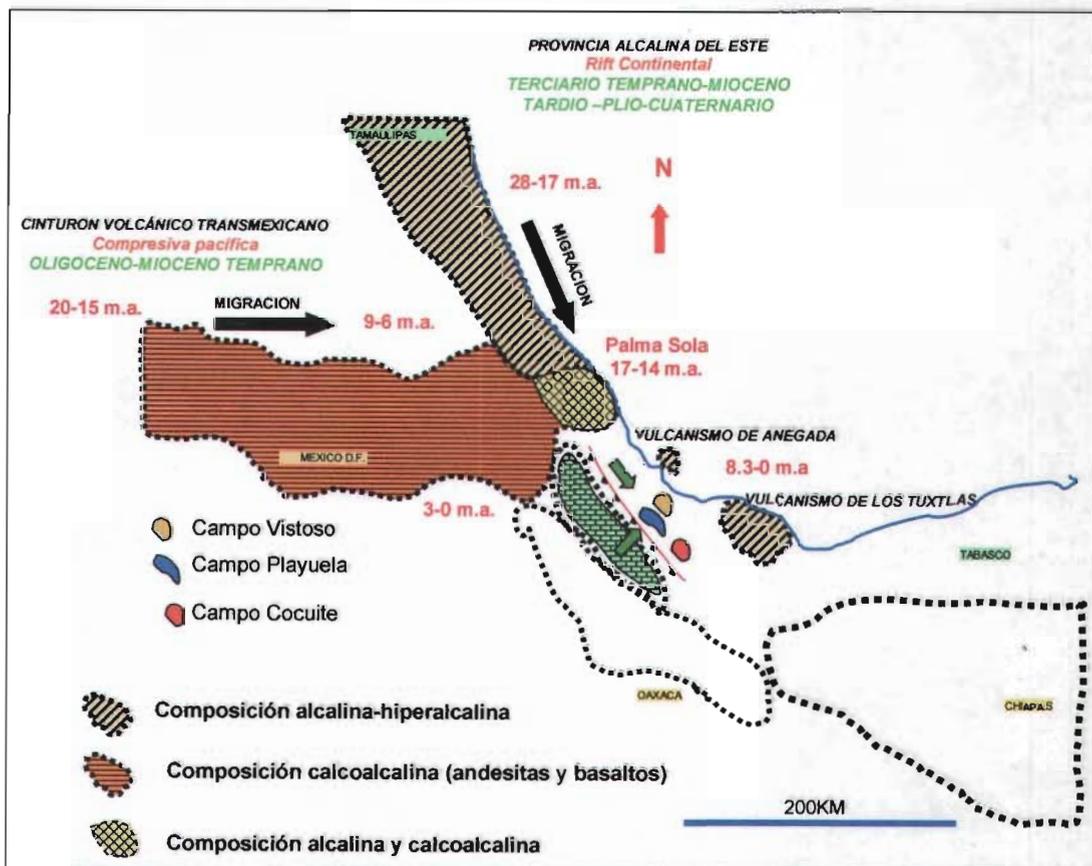


Figura 5.- Vulcanismo en el área de estudio

De acuerdo a Robin y Cantagrel (1979) en la Provincia Alcalina del Este de México, el vulcanismo ocurrió en varios episodios desde el Oligoceno Tardío hasta el Reciente. Esta actividad volcánica se extiende desde Tamaulipas hasta la región de Veracruz; la tendencia norte-sur presenta sitios con magmatismo alcalino e hiperalcalino, típico de zonas de rift continental; en contraste con el cinturón volcánico transmexicano donde el magmatismo se presenta como asociaciones calcoalcalinas (andesitas silíceas, riolitas y en menor cantidad microdioritas). Otras lavas antiguas calcoalcalinas han sido reconocidas al término de la margen oriental del cinturón transmexicano en el Macizo de Palma Sola.

Los períodos de magmatismo alcalino y de magmatismo andesítico ocurren de manera independiente, mientras que el andesítico tiene una dirección preferencial oeste-este, la dirección del alcalino es norte-sur con migración en el mismo sentido. La actividad volcánica del Neógeno, estuvo ligada a eventos tectónicos compresivos (generados a lo largo de la costa del Pacífico) y a movimientos distensionales asociados con la apertura del Golfo de México (Robin y Cantagrel, 1979).

Otros autores estudiaron el magmatismo alcalino en Tamaulipas (Murillo y Torres, 1984; en Jacobo et al, 1990) asignándole una edad del Mioceno Tardío al Pleistoceno. Al norte de Veracruz, Ruiz Sainz (1978; en Jacobo et al, 1990) reportó una edad del Mioceno (11 ma.) en rocas ígneas intrusivas hipabisales que afloran en el poblado de Las Minas. En esa región, López y Torres (1984; en Jacobo et al, 1990) analizaron, plutones isotópicamente y obtuvieron una edad de 11 ma. Las edades obtenidas en el laboratorio del IMP (1988-1989) de las rocas hipabisales cortadas por los pozos Plan de las Hayas-1 (N-1) y Chachalacas-1 (N-1) son de 3.98 m.a. (Plioceno Temprano) y 7.3 m.a. (Mioceno), mas jóvenes que las anteriores.

La principal actividad volcánica en la Cuenca de Veracruz ocurre durante el Plioceno y Cuaternario, esta actividad ocurre a lo largo del cinturón volcánico transmexicano y al sur en Los Tuxtlas (Jacobó, 1997).

Al norte, la Cuenca de Veracruz esta cubierta por material volcánico perteneciente al Cinturón Volcánico Transmexicano. Las manifestaciones volcánicas son principalmente piroclásticos de caída y de flujo, asociadas a las erupciones del Pico de Orizaba y al Cofre de Perote, donde también se presentan coladas de basaltos y andesitas. López I. (1992), menciona que la edad del vulcanismo orogénico calcoalcalino del Cinturón Volcánico Transmexicano varía de 7 ma. al Reciente y la edad del vulcanismo alcalino varía de 5 ma. al Reciente.

Otra actividad magmática que tiene relación con la Cuenca de Veracruz es la que ocurre en la región de Los Tuxtlas. De acuerdo a datos geocronológicos, geoquímicos y petrográficos obtenidos por Jacobo (1997) este complejo volcánico es heterogéneo y está constituido por rocas de afinidad calcoalcalina y alcalina en el que se han podido diferenciar 5 fases magmáticas que varían en edad de 8.3 m.a al Reciente. El vulcanismo de Los Tuxtlas tiene productos poco evolucionados que caracterizan a los productos lávicos de la primera, tercera y quinta fase. En los productos de la primera fase se observan altos contenidos de Mg y O, además contienen abundantes nódulos ultramáficos y megacrístales de olivino y piroxenos. Los productos más primitivos son rocas alcalinas sódicas subsaturadas. Las lavas de la segunda y cuarta fase están formadas por basaltos transicionales y por andesitas basálticas (Fig. 6 y Fig. 7).

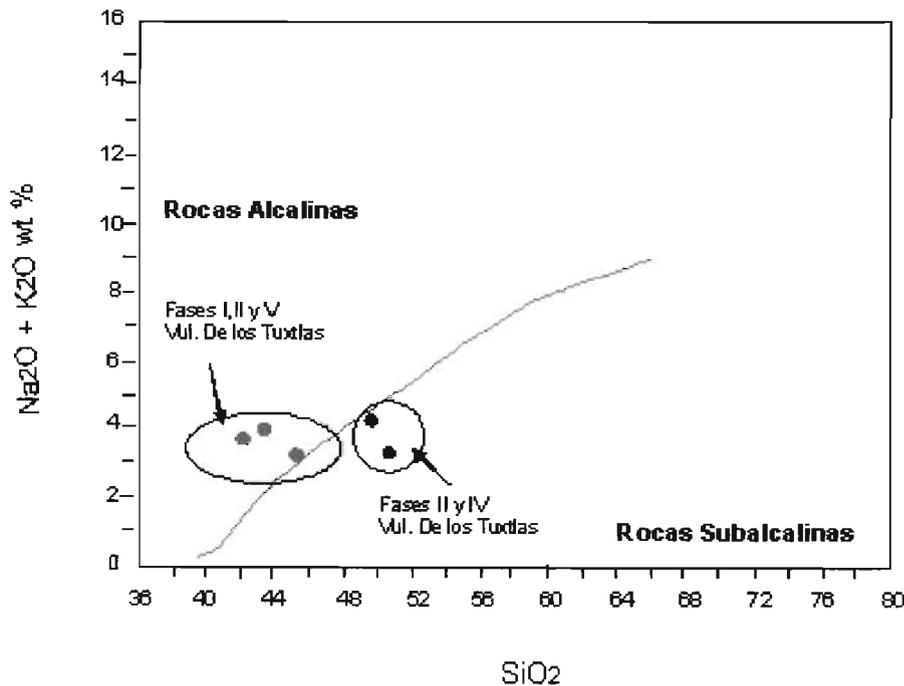


Figura. 6.- Diagrama SiO_2 vs $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ de las rocas volcánicas de los Tuxtlas. Se observa que el vulcanismo lo conforman rocas alcalinas y subalcalinas. (Tomado de Jacobo, 1997).

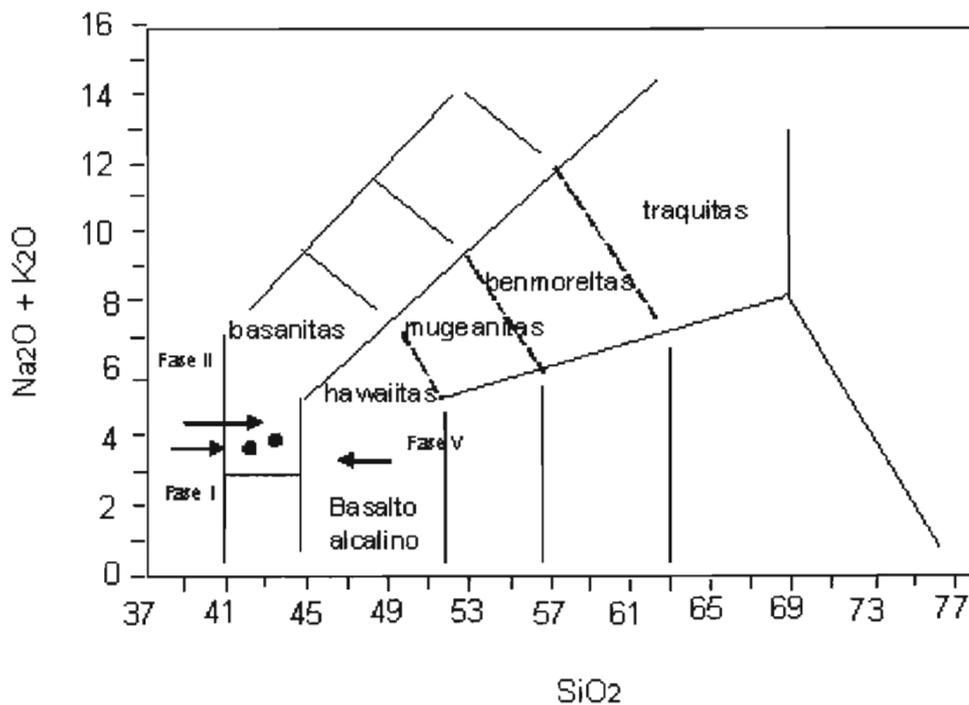
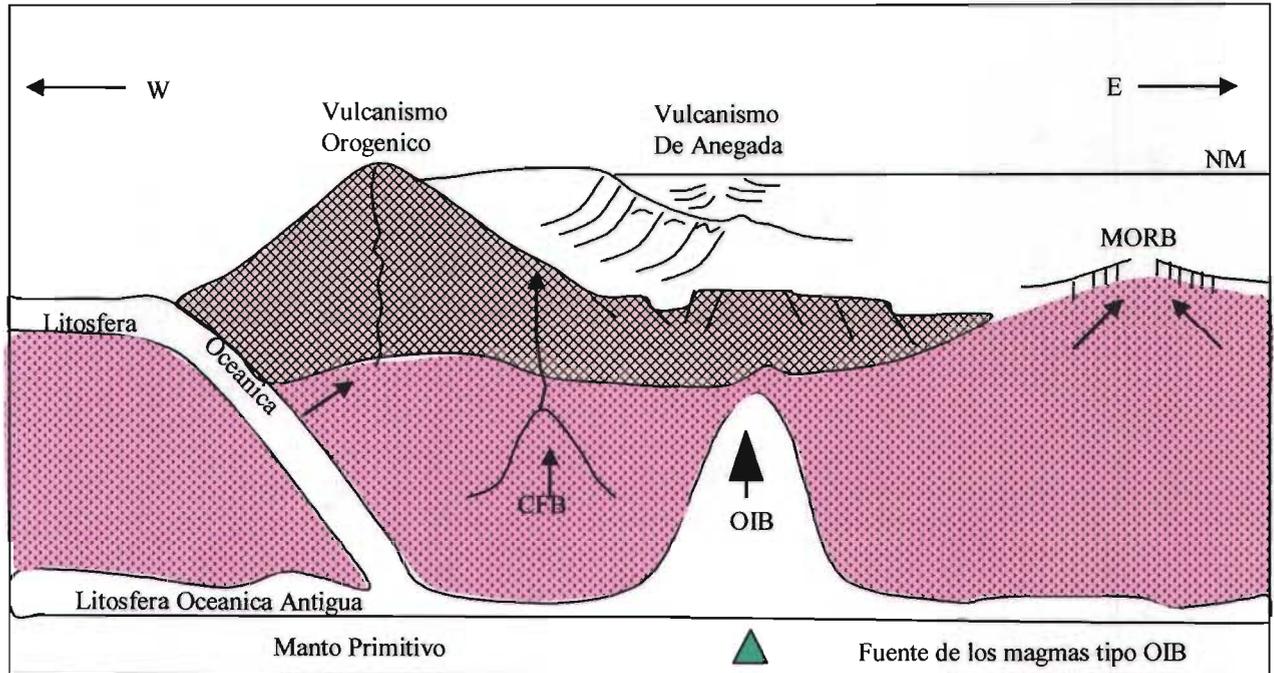


Figura.7.- Diagrama de clasificación TAS (alcálisis total vs sílice) correspondiente a las rocas de las fases I, III y V del Complejo Volcánico de los Tuxtles. (Tomado de Jacobo, 1997).

Por otra parte, el centro volcánico submarino del Alto de Aneгада también se relaciona con la actividad magmática que ocurre en la cuenca, las rocas aquí son de tipo alcalino.

Las rocas de afinidad calcoalcalina de Los Tuxtles es posible que estén asociadas a la Provincia del Cinturón Volcánico Transmexicano. Las volcánicos de afinidad alcalina tanto en los Tuxtles como en el Alto de Aneгада, están ligados a magmas de proveniencia sublitosférica asociados a una reactivación de las fallas transformantes del antiguo sistema de rift que dio origen al Golfo de México. Esto se sustentó al analizar las rocas cortadas por los pozos Aneгада 1 y Aneгада 2, que indican que del Mioceno Tardío al Reciente ocurrieron una serie de efusiones magmáticas cuya fuente se encontró en el manto. Este magmatismo se llevó a cabo a través de diques y volcanes que en esta área están asociados a dos fallas dextrales orientadas NW-SE y a fallas de extensión casi perpendiculares a estas (Jacobo, 1997). Esta asociación indica que las fallas laterales son el producto de zonas de debilidad o bien que el magma intrusionó a la zona de fallas y de esta manera las estructuras volcánicas se deforman conforme el desplazamiento continúa (Fig.8).

Jacobo (*op.cit.*) concluye que el vulcanismo de Los Tuxtlas y de Anegada representa un levantamiento térmico con raíces en el manto, que se emplazó en una zona cortical que fue levantada y atenuada durante el Eoceno Medio–Mioceno Medio, sobre el antiguo levantamiento periférico. Este levantamiento térmico está relacionado a la expansión de una cuenca post arco.



MORB= Basaltos de Cordilleras mes oceánicas
OIB = Basaltos de islas oceánicas
CFB = Basaltos de flujos continentales

Figura 8.- Modelo esquemático que muestra la distribución y fuente de los magmas correspondientes al sistema Alto de Anegada-Los Tuxtlas (Tomado de Jacobo, 1997).

CAPITULO 4. DEFINICIONES DE ÁREAS DE PROVENIENCIA

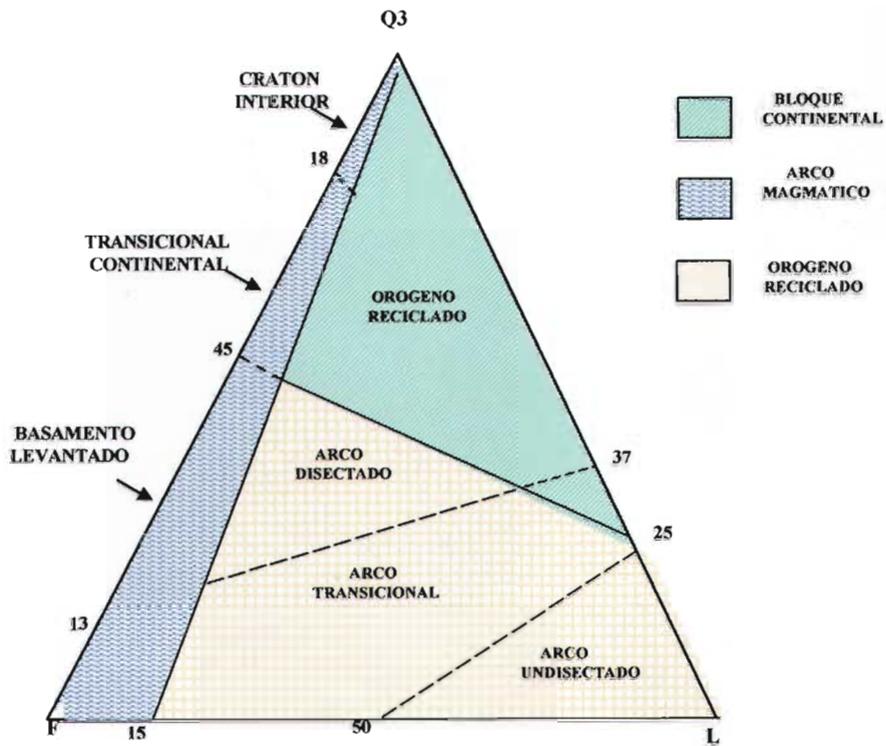
Debido a que los términos y las clasificaciones usadas en el presente estudio no son utilizadas en forma cotidiana, se consideró conveniente explicar brevemente las mismas. De esta manera, este capítulo discute las definiciones de las clasificaciones usadas en el análisis petrográfico y en el análisis geoquímico.

4.1 Diagramas de Dickinson y Suczek

Estos diagramas se basan en que la composición de las areniscas refleja los diferentes tipos de proveniencia que dependen principalmente del ambiente tectónico (Dickinson y Suczek, 1979 y Dickinson et al 1983). Los principales elementos tectónicos son:

- 1) **Bloques continentales:** Las fuentes de aporte son plataformas o bloques de basamento fallados.
- 2) **Arcos magmáticos:** Son arcos de islas en orógenos activos o márgenes continentales activas.
- 3) **Orógeno reciclado:** Las fuentes de aporte son secuencias deformadas y levantadas en zonas de subducción, a lo largo de orógenos de colisión o en cinturones cabalgados y plegados de una cuenca de antepaís.

Los diagramas triangulares que gráficán los resultados del conteo de puntos para identificar la proveniencia de las areniscas pueden ser subdivididos en diferentes campos que son característicos. Asimismo, se reconocen subdivisiones dentro de estos tres grupos principales, los cuáles se describen a continuación (Figura 9).



a)

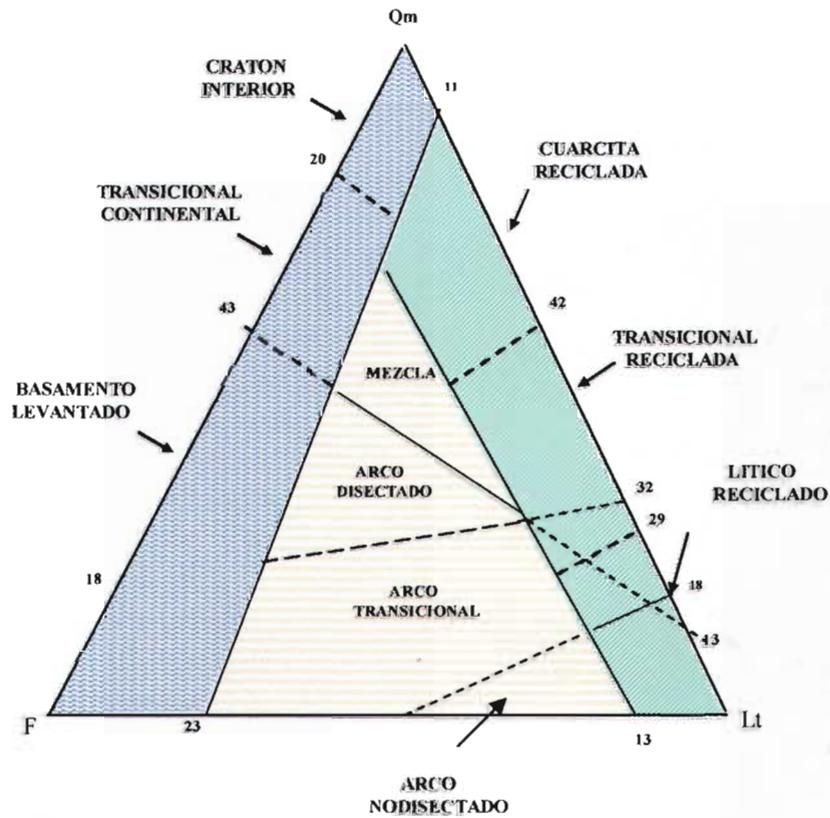


Figura. 9.- Diagramas de Dickinson, et al. (1983) para áreas de proveniencia a) QFL y b) Qm, F, Lt

4.1.1 Proveniencia de bloques continentales

4.1.1.1.- Cratón Interior. Se incluyen las arenas derivadas de áreas de cratones que son depositadas en las plataformas o a lo largo de márgenes continentales de rift en ambientes de plataforma y talud, y en secuencias ofiolíticas que provienen de la apertura de cuencas oceánicas adyacentes. Las arenas típicas son arenas ricas en cuarzo con menor cantidad de feldespatos. Los altos contenidos de cuarzo y las altas relaciones de feldespatos potásicos y plagioclasas reflejan el intenso intemperismo en cratones con bajo relieve y transporte prolongado.

4.1.1.2.- Basamento elevado. Las arenas provienen de basamentos continentales levantados y limitados por fallas, y se acumulan en cuencas conectadas sin mucho transporte. Estas cuencas incluyen cinturones de rift incipientes, zonas de ruptura por fallas transformes en bloques continentales y zonas de tectonismo de fallas laterales en zonas dentro del continente. En zonas de alto relieve y rápida erosión hay principalmente arenas cuarzo-feldespáticas (carácter arcósico). Muchas arenas líticas reflejan la derivación parcial de la cubierta sedimentaria o metamórfica que enmascara los gneisses y granitos del basamento del cratón.

4.1.2 Proveniencia de arcos magmáticos

Los detritos erosionados forman un amplio espectro de tipos de arena, incluyendo líticos ricos en escombros volcanoclásticos en un extremo y detritos cuarzo-feldespáticos de origen plutónico en el otro.

4.1.2.1 Arcos no disectados: Son escombros volcanoclásticos llevados de tierras altas volcanogénicas a lo largo de arcos de islas activos y en algunas márgenes continentales, donde las cadenas de arcos volcánicos han sufrido únicamente erosión. Los lugares de depositación incluyen trincheras y cuencas de pre-arco en el lado frontal del arco, mares marginales atrás del arco y cuencas locales en el cinturón volcánico. Los constituyentes característicos son granos de plagioclasas y fragmentos líticos volcánicos.

4.1.2.2 Arcos disectados. Muchos arcos magmáticos maduros son erosionados, especialmente aquellos a lo largo de márgenes continentales. Los detritos son derivados de una mezcla de origen volcánico y plutónico dentro de las cuencas de pre-arco y post-arco. Las composiciones de las arenas son complejas, pero menos líticas que las de escombros vulcanoclásticos. Los feldespatos potásicos y las plagioclasas son frecuentes y están presentes en proporciones significantes. Los fragmentos líticos son abundantes, el cuarzo plutónico es común con inclusiones que denotan su origen volcánico. El vulcanismo de arco continúa en arcos magmáticos maduros. En un arco plutónico la cubierta volcánica y el núcleo batolítico sirven conjuntamente como fuentes de aporte.

4.1.3 Proveniencia de orógenos reciclados

Los orógenos reciclados son terrenos levantados de estratos plegados y afallados donde los detritos reciclados de origen sedimentario y metasedimentario son abundantes. Se subdividen en complejos de subducción de sedimentos oceánicos deformados y lavas, orógenos de colisión formados a lo largo de suturas de la corteza entre bloques continentales separados y levantamientos del antepaís, asociados con cinturones cabalgados y plegados.

4.1.3.1 Complejos de subducción. Están compuestos de material ofiolítico deformado y de otros materiales oceánicos que forman un alto estructural a lo largo de una pendiente de trincheras, entre el eje de la trincheras y la cadena volcánica dentro de un sistema arco-trincheras. Los sedimentos derivados de los terrenos levantados pueden ser alimentados hacia el arco dentro de las cuencas de pre-arco o en la trincheras, donde nuevamente comienzan a incorporarse al complejo de subducción. Aquí hay abundancia de granos de pedernal, los cuales exceden la combinación de granos de feldespato y cuarzo.

4.1.3.2 Orógenos de colisión. Son formados por colisión de la corteza continental. Están constituidos de napas y de franjas cabalgadas de rocas sedimentarias y metasedimentarias que representan las secuencias presentes a lo largo de márgenes continentales precedentes antes de su yuxtaposición a lo largo del cinturón suturado. Fuentes subordinadas asociadas incluyen melanges ofiolíticos a lo largo de la sutura del cinturón y terrenos plutónicos estructuralmente dislocados de bloques de basamento de arcos magmáticos involucrados en la colisión continental.

Las arenas típicas procedentes de los orógenos de colisión están compuestas de materiales sedimentarios con contenidos intermedios de cuarzo, una alta relación cuarzo-feldespato y abundantes fragmentos líticos sedimentarios y metasedimentarios. Las areniscas con altos contenidos de feldespatos probablemente contienen contribuciones significantes de terrenos ígneos levantados adyacentes a las suturas de la corteza.

4.1.3.3 Levantamientos del antepaís. Cinturones cabalgados y plegados del antepaís forman tierras altas de las cuales los sedimentos son llevados directamente dentro de cuencas de antepaís y las cuales también reciben sedimentos de áreas positivas más allá del cratón. Algunas arenas cuarzosas se asemejan a conjuntos que provienen de bloques continentales, mientras que arenas ricas en pedernal son indistinguibles de otras arenas reciclables de orógenos de colisión.

4.2 Diagramas de Ingersoll

Los diagramas de Ingersoll (1979) QpLvLm fueron introducidos por Graham, *et al.* (1976) como un indicador útil de proveniencia. Este gráfico es designado como QpLvLsm para evitar la confusión de la terminología con el gráfico (LmLvLs). Graham (*op cit*) intentaron en su categoría incluir granos líticos volcánicos (Lv) y metavolcánicos (Lm) y líticos sedimentarios - metasedimentarios (Ls). (Fig. 10).

Ambos diagramas QpLvLsm y LmLvLs son útiles para diferenciar arenas derivadas de cinturones de sutura, arcos magmáticos y márgenes de rift continental. También ayudan a distinguir la proveniencia de sedimentos del tamaño de las arenas rápidamente depositados y derivados de fuentes sencillas. La gráfica LmLvLs muestra sedimentos que son rápidamente depositados y derivados de áreas regionalmente homogéneas con ambientes tectónicos definidos.

Las diferencias fundamentales expresadas por los diagramas son:

- 1) Arcos magmáticos constituidos de líticos volcánicos de grano fino con cantidades menores de material metasedimentario de grano fino.
- 2) Los cinturones de sutura tiene abundantes sedimentos volcánicos, que provienen de terrenos sedimentarios levantados, así como de terrenos con gneisses de grado alto.

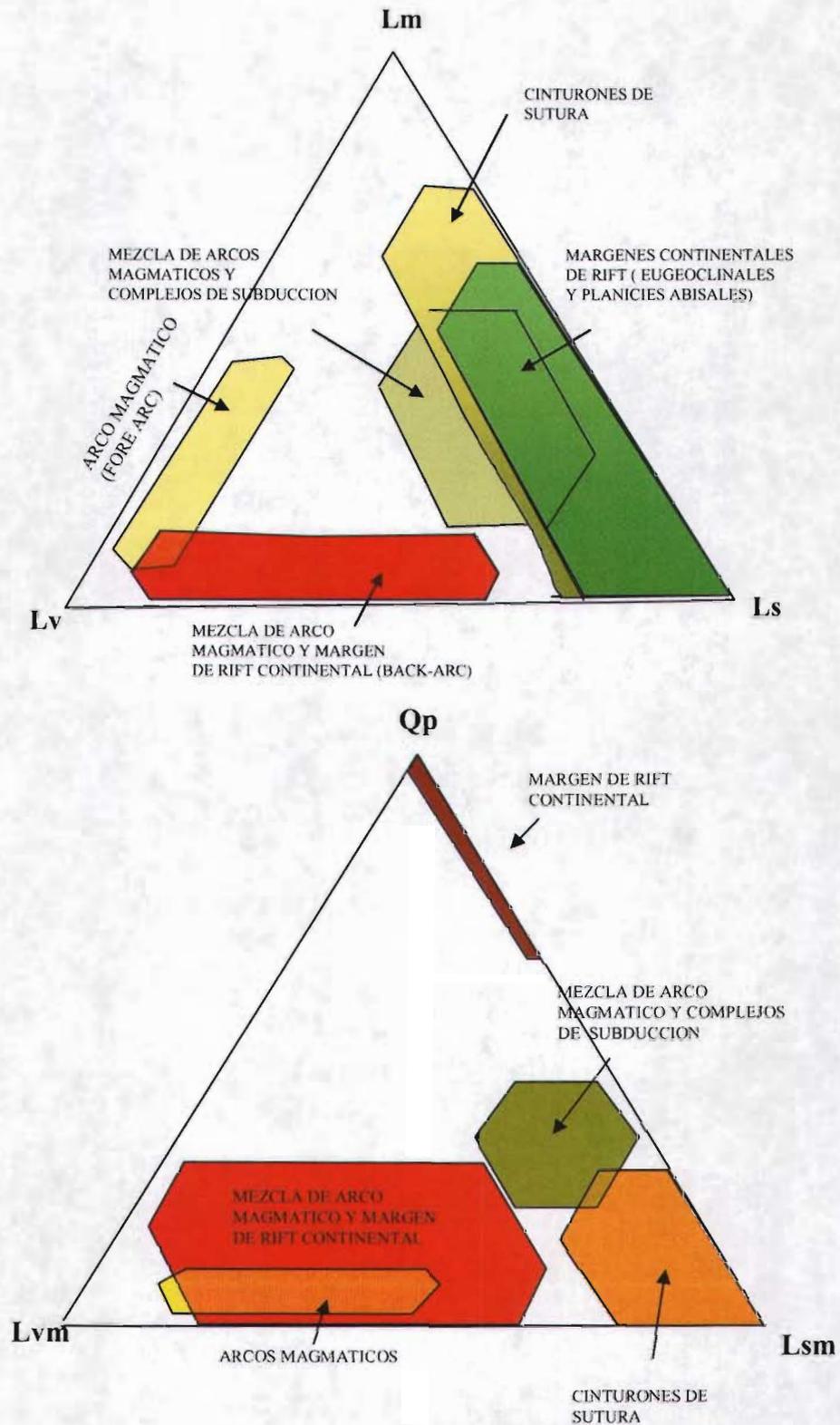


Figura. 10.- Diagramas de Ingersoll, et al. (1979) para discriminar áreas de proveniencia a) LmLvLs y b) QpLvmLsm

4.3 Método Geoquímico

El método petrográfico restringe su aplicación sólo a areniscas, mientras que el método geoquímico se utiliza tanto en lutitas como en areniscas. La geoquímica de las rocas sedimentarias refleja predominantemente la naturaleza y proporción de sus componentes detríticos y de aquí su proveniencia. La combinación de ambos métodos es una herramienta muy útil para determinar la proveniencia y por consiguiente el ambiente tectónico.

Rowe (1980) y Roser (1983) encontraron que las composiciones químicas y modales de arenas de grano fino y lutitas tienen una dependencia continua con el tamaño del grano. El cuarzo, los feldespatos y los fragmentos líticos declinan en abundancia mientras que la matriz modal y filosilicatos correspondientes aumentan en la transición de areniscas a lutitas, lo que afecta fuertemente la composición química. El contenido de SiO_2 y Na_2O disminuye regularmente de areniscas a lutitas y el K_2O aumenta. Estos cambios causan una declinación progresiva en $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ con incremento en SiO_2 (Fig. 11).

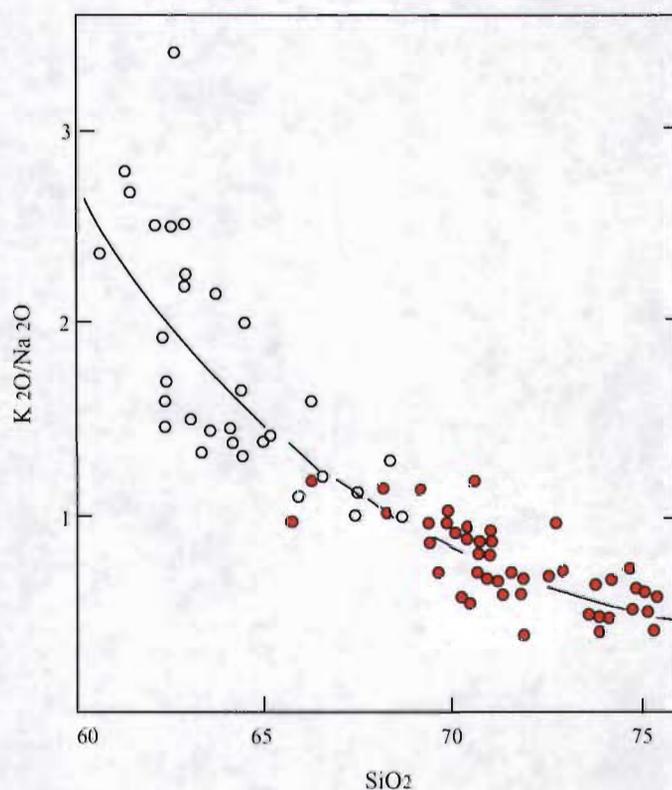


Fig. 11.-. Gráfica que ilustra el tamaño del grano en función de la composición química (Tomado de Rowe, 1980 y Roser, 1983) . Los círculos en rojo son areniscas y en blanco lutitas.

En la gráfica anterior se observa que el valor de SiO_2 aumenta de 60 a 75% cuando se pasa de lutita a arenisca y la relación $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ tiene un valor de 3 en lutitas y menor a 0.4 en areniscas. Lo más importante de esta gráfica es la variación sistemática en la relación $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ y SiO_2 , lo que sugiere que la química de las areniscas de grano fino podría ser tan distintiva como sus arenas acompañantes. Los valores de SiO_2 , K_2O y Na_2O se grafican en diagramas binarios, en los cuales se indican como influye el tamaño del grano, y por otro lado establecen el ambiente tectónico y composición de las rocas en el área de aporte. Para la clasificación de Bathia (1983b) las principales relaciones a determinar son $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$, TiO_2 , $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ y $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})$. Otros elementos útiles para determinar la proveniencia son el Fe y el Ti debido a su baja movilidad y a sus bajos tiempos de residencia en el agua de mar.

La relación $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ indica el enriquecimiento de areniscas. La relación $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ mide el contenido de feldespato potásico y la mica contra el contenido de plagioclasa en la roca, y la relación $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})$ muestra como se pasa de los elementos más inmóviles a lo más móviles. En general hay una disminución en el $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$, TiO_2 , $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ ($\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O}$) cuando los ambientes tectónicos cambian de arcos de islas oceánicas a márgenes continentales activos a márgenes de tipo pasivo.

4.3.1 Clasificación de Bathia y Crook

Esta clasificación reconoce 4 tipos principales:

- 1) **Arcos de islas oceánicas:** Estas están adyacentes a arcos de islas oceánicas o arcos de islas parcialmente formados en corteza continental delgada y son llamados arcos migratorios o estacionarios. Los sedimentos son principalmente derivados de arcos calcoalcalinos o toleíticos. Las areniscas están caracterizadas por una alta abundancia de $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ (8-14 %), TiO_2 (0.8-1.4) y bajos valores en las relaciones $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ (0.24-0.33) y $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ (0.2-0.4).
- 2) **Arcos continentales de islas.** Cuencas sedimentarias adyacentes a los arcos de islas formadas en una corteza continental bien desarrollada o en márgenes continentales. Los sedimentos son depositados en cuencas intra-arco, pre-arco y post-arco y son derivadas principalmente de rocas volcánicas félsicas.

- 3) Las cuencas post-arco formadas del lado continental del arco de isla se incluyen en este ambiente. Pueden distinguirse de los anteriores por sus bajos valores en la relación $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ (5-8 %) y TiO_2 (0.5-0.7%) y valores altos en las relaciones $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ (0.15-0.22) y $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ (0.4-0.8).
- 4) **Márgenes continentales activos.** Estas cuencas son desarrolladas en/o adyacentes a una corteza continental gruesa compuesta de rocas de cinturones plegados más antiguos. Los sedimentos son derivados de gneisses, granitos y sedimentos volcánicos síliceos de basamento levantado. Las areniscas están caracterizadas por valores bajos en la relación $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ (2-5 %) y TiO_2 (0.25-0.45 %) y la relación $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ aproximadamente de 1.
- 5) **Márgenes pasivos.** Son márgenes de rift tipo Atlántico, cuencas de océano remanente adyacentes a la colisión de orógenos y márgenes convergentes inactivas o extintas. Los sedimentos son altamente maduros y son derivados de rocas sedimentarias y metamórficas más antiguas que fueron recicladas de plataformas u orógenos reciclados. Las areniscas que provienen de este tipo de ambientes son generalmente enriquecidas en SiO_2 y valores mínimos en Na_2O , CaO y TiO_2 , lo que sugieren su naturaleza madura y altamente reciclada.

Los arcos de márgenes continentales activas (**ACM**) son sedimentos que tienen cuarzo intermedio derivado de márgenes continentales activos o adyacentes a límites de placas activas. Esta categoría incluye complejos de márgenes con material derivado de arcos magmáticos de márgenes continentales y depositados en una variedad de cuencas (trinchera, pre-arco, intra-arco y post-arco) y material derivado de arcos levantados asociados con fallas de deslizamiento a rumbo.

Otros diagramas como los de tipo Harker muestran también las variaciones en la geoquímica de las areniscas, en estos se observa que la cantidad de SiO_2 aumenta y TiO_2 , Al_2O_3 , FeO , MnO , MgO , CaO y Na_2O disminuyen y puede deberse al incremento en la madurez mineralógica debido al aumento en el contenido de cuarzo y a la disminución de los granos detríticos inestables. Si hay un aumento en el contenido de K_2O se debe al incremento de feldespato potásico y entonces disminuye hacia feldespatos altamente maduros. Si baja el contenido de SiO_2 (58) K_2O (81.5) y aumenta FeO , TiO_2 y MgO , Na_2O y CaO su composición es similar a la andesita promedio.

Si es aun menor en TiO_2 , MgO , CaO y Na_2O tienen una composición similar a la dacita promedio o granodiorita. Si son ricas en SiO_2 y K_2O pobres en Na_2O y CaO se grafican alrededor del granito pero son ligeramente menores en abundancia absoluta de CaO y Na_2O debido al bajo contenido de feldespato.

CAPÍTULO 5. - ANTECEDENTES ESTRATIGRÁFICOS

Para elaborar el modelo estratigráfico, se efectuó la recopilación y revisión de la información bioestratigráfica de los pozos perforados en el Campo Playuela y se utilizó la información de modelos estratigráficos del área del Campo Cocuite (PEMEX-AGI, 1999 y PEMEX-BEG, 2002). Después se hizo un análisis secuencial a partir de los registros geofísicos de pozos, que se basó en los datos bioestratigráficos (edades) y el patrón de apilamiento vertical deducido de la forma del registro y de la información litológica. Las superficies de máxima inundación (MSI) se identificaron con las curvas de abundancia y diversidad faunística de los pozos Playuela-1 (Cuevas, 2002) y Playuela-601 (Padilla, 2003).

Después de identificar en los registros geofísicos los límites de secuencias (LS) y las superficies de máxima inundación (MSI), se efectuó la identificación e interpretación de estos en las líneas sísmicas. Finalmente se realizó la calibración pozo-sísmica de los límites de secuencias considerando también el modelo estructural propuesto (PEMEX-Schlumberger, 2003).

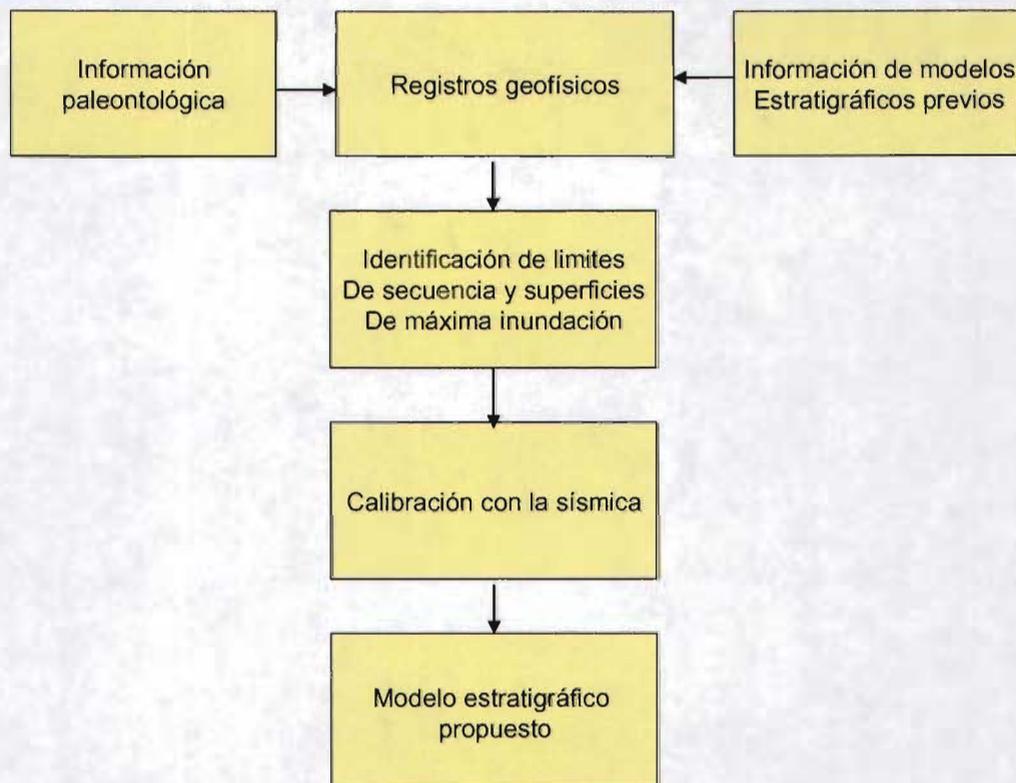


Figura. 12 Secuencia del modelo estratigráfico integral

Se definieron doce unidades genéticamente relacionadas, además de los principales límites de secuencias (LS) y las superficies de máxima inundación (SMII). Las muestras que se utilizaron en este estudio se ubicaron en este marco estratigráfico (Fig. 13).

En este trabajo se conoce como LS-MS-6.9 a la secuencia dentro del Mioceno Superior que puede corresponder al límite de secuencia LS-6.9 y LS-MM-11.7 a la secuencia dentro del Mioceno Medio que corresponde al límite de secuencia LS-11.7 m.a.

SECUENCIAS DEPOSITACIONALES

EDAD	LIMITE DE LA	NOMBRE DE LA	POZOS MUESTREADOS		
	SEC. DEPOSITACIONAL	UNIDAD	PLAYUELA	COCUITE	VISTOSO
RECIENTE					
PLIOCENO	MSI_PI_04_20	PI-R-4			
	MSI_PI_05_00	PI-5			
	LS_MS_05_73	MS-PI-5.7			
MIOCENO SUPERIOR	MSI_MS_06_00	MS-6			
	LS_MS_6_98	MS-6.9	101,201,210,301 Carilo ¹	427	1, 63
	MSI_MS_07_08	MS-7			
	LS_MS_09_26	MS-9			
	MSI_MM_11_20	MS-11.2			
MIOCENO MEDIO	LS_MM_11_7	MM-11.7	1, 601	402, 412, Clis	
MIOCENO INFERIOR	LS_MI_16_38	MM-16			
	LS_MI_17_34	MI-17			
	LS_OL_24_36	MI-24			
OLIGOCENO					

MM-16 * Potenciales Horizontes Productores



Límite de Secuencia (LS)

Máxima Superficie de Inundación (MSI)



Secuencias objetivo

Figura. 13.- Secuencias identificadas en los Campos Playuela, Cocuite y Vistoso (Modificado de PEMEX-Schlumberguer, 2003)

CAPÍTULO 6. ANÁLISIS PETROGRÁFICO DE LAS SECUENCIAS LS-MS-6.9 Y LS-MM-11.7

Los estudios de proveniencia se basan principalmente en las proporciones relativas de diferentes tipos de granos detríticos de las areniscas y sirven como guía para determinar la naturaleza de las rocas fuentes, por lo que su composición refleja el carácter de la proveniencia (Dickinson *et al.*, 1980). Las relaciones clave entre la proveniencia y la cuenca son gobernadas por la tectónica de placas, la cual controla la distribución de los diferentes tipos de roca, sin embargo es importante mencionar que la composición final de las areniscas puede estar afectada por otros factores tales como el clima y el ambiente depositacional (Dickinson *et al.*, 1980).

Para este capítulo se analizaron los informes de los núcleos convencionales y de pared realizados en los laboratorios de Corelab, los resultados del análisis se mencionan a continuación:

Las areniscas del Mioceno Superior (MS-6.9) tienen un tamaño promedio de grano de 0.17 mm (grano fino), con un mínimo de 0.07 mm. En las arenas del Mioceno Medio (MM-11.7) el tamaño promedio medido en tapones es de 0.20 mm, aunque se han observado en muestras de mano arenas de granulometría gruesa (Anexos 3 y 4). La selección es de moderada a buena en las arenas de la secuencia LS-MS-6.9 y los clastos tienen en general una redondez que varía de subangulosa a subredondeada. Las areniscas de la secuencia LS-MM-11.7 tienen una selección de moderada a pobre y los clastos son subangulosos.

Las areniscas de las secuencias LS-MS-6.9 y LS-MM-11.7 de los Campos Playuela, Cocuite y Vistoso se muestran en las figuras siguientes:

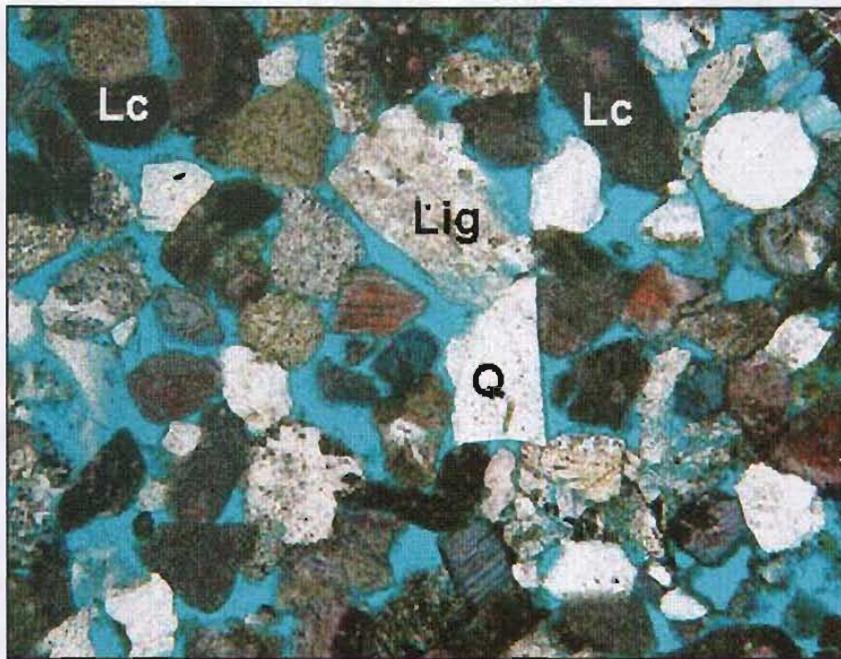


Figura 14.- Litarenita de grano medio, moderadamente clasificada con detritos subangulares a subredondeados con clastos predominantes de cuarzo (Q), fragmentos de rocas calcáreas (Lc) e ígneas (Lig). Secuencia LS-MS-6.98 Pozo Playuela- 101 (Tomada de Informe Playuela-101, 2003)

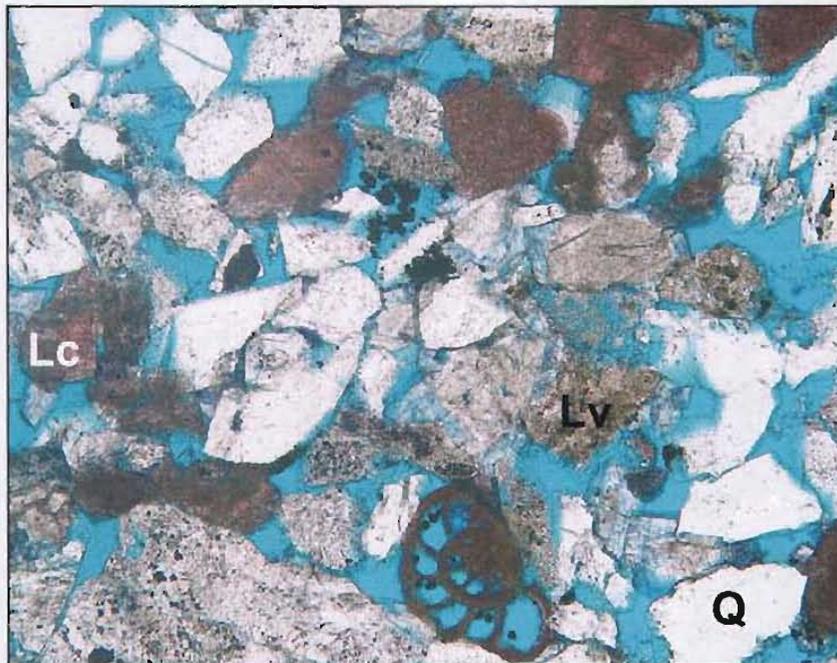


Figura 15- Litarenita de grano medio moderadamente clasificada, con clastos predominantes de cuarzo (Q), fragmentos de rocas calcáreas (Lc) y volcánicas (Lv). Pozo Cocuite- 412, secuencia LS-MM-11.7 (Tomada de Informe Cocuite 412, 2001)

La clasificación de Folk (1971) indica que las areniscas en el área de los campos Playuela, Cocuite y Vistoso son principalmente litarenitas y litarenitas feldespáticas para la secuencia LS-MS-6.9 y en los campos Playuela y Cocuite es feldsarenita litica y litarenita feldespática para la secuencia LS-MM 11.7. (Fig. 16).

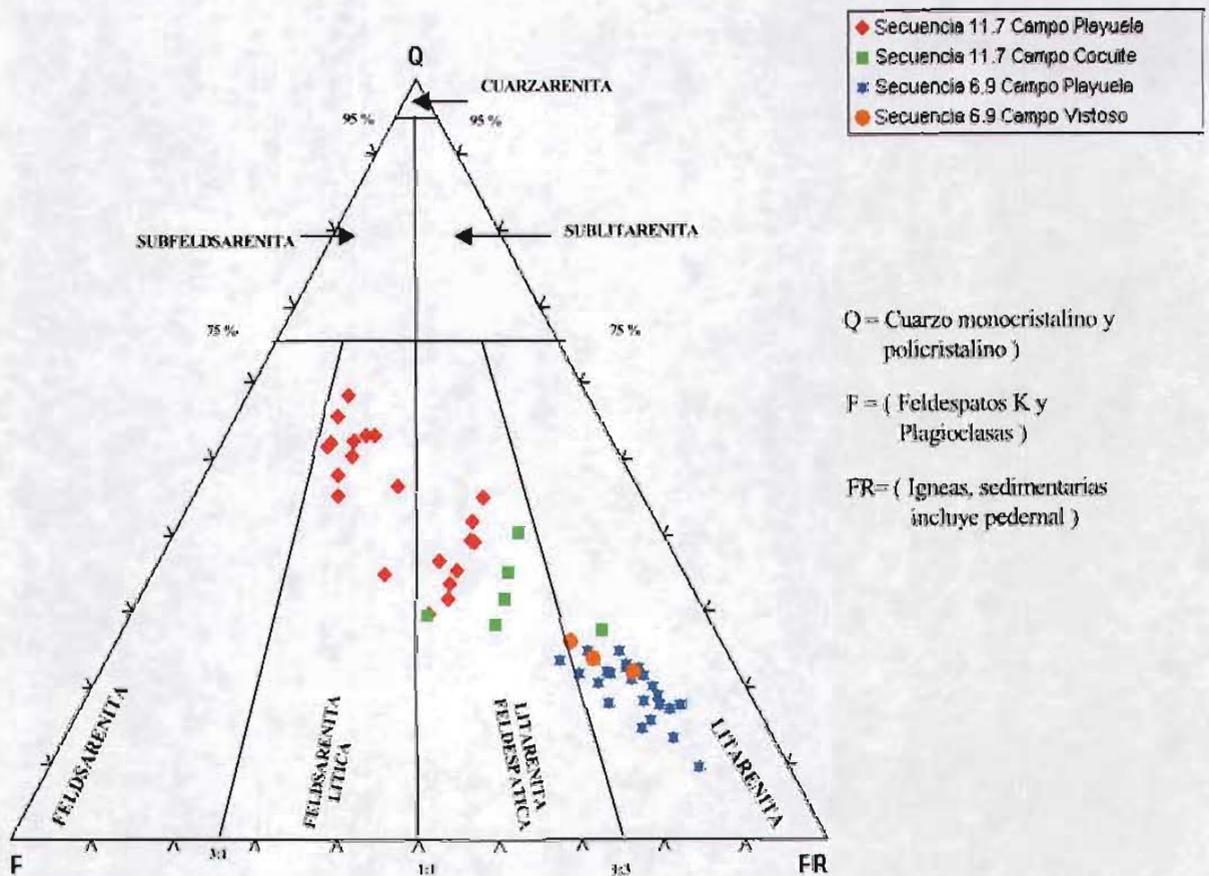


Figura. 16. Clasificación de las areniscas del Mioceno Superior y Medio en los Campos Playuela, Cocuite y Vistoso de acuerdo al esquema de Folk. (1971).

La composición detrítica de las areniscas del Mioceno Superior (MS-6.9) y Medio (MM-11.7) se muestra en la Tabla 6.1.

CAMPO	EDAD	No	Qm	Qp	P	F	Lt	Lv	Lm	Lc	Ls
Playuela	MS-6.9	26	5-14	.3-7	4-9.7	1.7-4.3	37-62	40-55	0.3-1	6.6-21	0.3-1
Vistoso	MS-6.9	7	11-20	0.3-3.3	4-10.7	0-1.7	34-48	40-49	1-3	9-16	0.7-1.3
Playuela	MM-11.7	22	15-31	5-15	9-19	2-8.7	19-45	15-22	1-7.3	2-14	0-1.7
Cocuite	MM-11.7	9	5-26	2-7	7-18	0-6	31-60	6-35	0.7-11	4-24	0-1

Tabla 6.1 Resumen de los datos modales de las areniscas

Las diferencias composicionales entre las areniscas del Mioceno Superior (MS-6.9) y Mioceno Medio (MM-11.7) son la cantidad relativa de la fracción detrítica (clastos) y la mayor cantidad de cemento carbonatado en la unidad superior.

Los granos líticos más comunes observados en láminas delgadas de los pozos de los Campos Cocuite, Playuela y Vistoso son:

Cuarzo.- Representado por las variedades, que en orden de abundancia son: monocristalino (Qm), policristalino (Qp) y pedernal (Chert). El incremento en la cantidad de cuarzo en la unidad inferior MM-11.7 esta acompañado por un menor contenido en la matriz y un ligero incremento en la porosidad y permeabilidad, así mismo en esta unidad los granos de cuarzo monocristalino son más abundantes que otros tipos de cuarzo. Los granos de cuarzo policristalino son menos abundantes y pueden ser de origen ígneo o metamórfico (Figura 17)

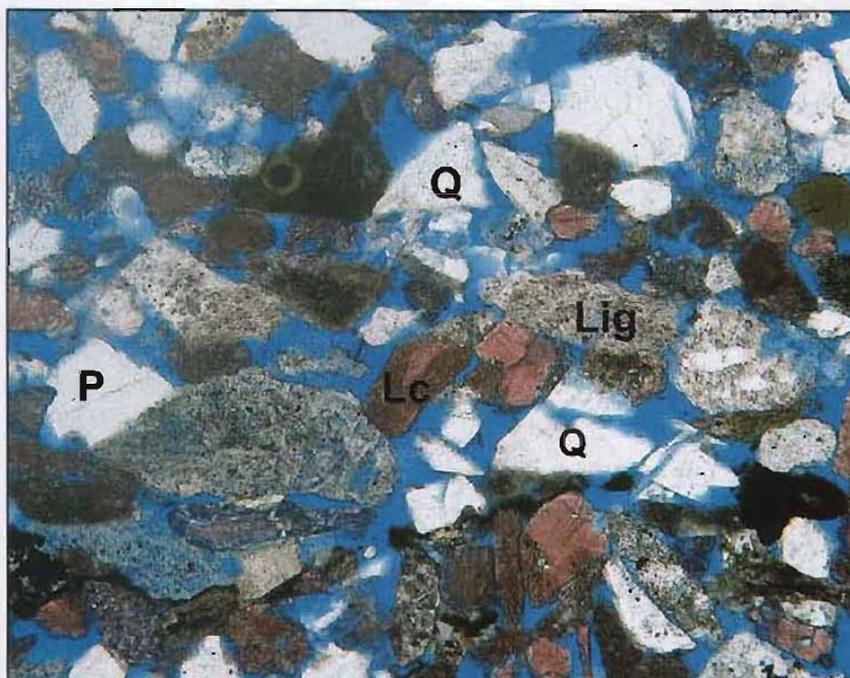


Figura 17.- Litarenita de grano fino, moderadamente clasificada, con clastos predominantes de cuarzo monocristalino (Q), plagioclasa (P), fragmentos de rocas calcáreas (Lc) e ígneas (Lig). Secuencia LS-MS-6.98, Pozo Vistoso-1. (Tomada de Informe Vistoso-1, 2003)

Feldespatos.-Dentro de los feldespatos en ambas secuencias, la plagioclasa (Fp) predomina sobre el feldespato potásico (Fk), con una relación aproximada de 2:1. (Tabla 6.1) Los feldespatos de la unidad MS-6.9 están comúnmente vacuolizados, seritizados y parcialmente disueltos (Figura 18).

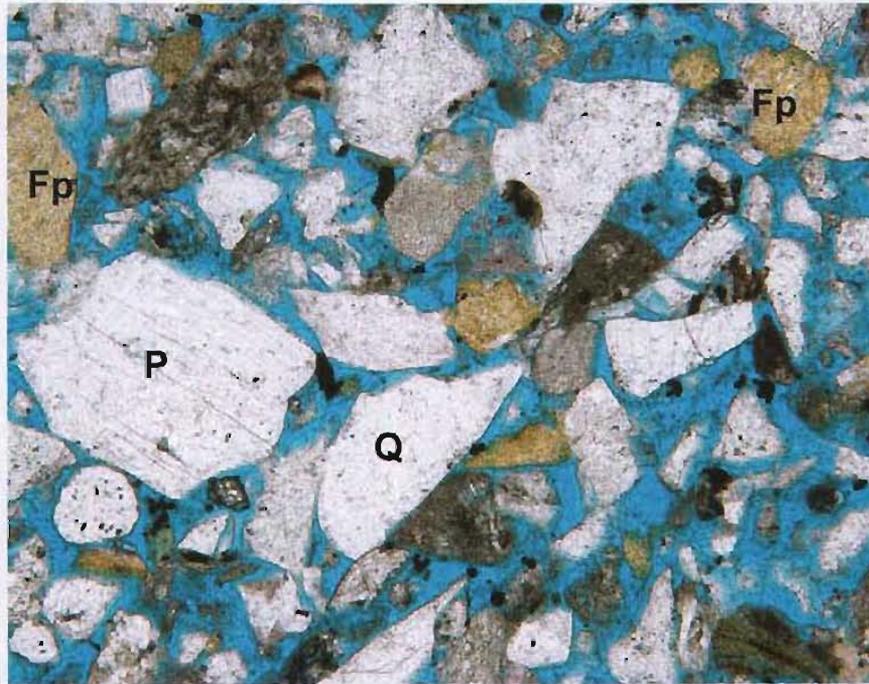


Figura 18.- Arenisca de grano medio a fino, moderadamente clasificada con fragmentos clásticos predominantes de cuarzo (Q), feldespatos potásicos (Fp) y plagioclasas (P). Secuencia LS-MM-11.7, pozo Playuela-1. (Tomada de Informe Playuela-1, 2000)

Plagioclasas.- El tipo de plagioclasas más comunes para la unidad MM-11.7 es la albita, las plagioclasas reportadas son fenocristales dentro de fragmentos ígneos. Muchas de las plagioclasas han sufrido de leve a extensa alteración y disolución lo que resulta en la formación de pequeños poros intragranulares. El feldespato potásico contiene feldespatos sin maclas (Figura 19).

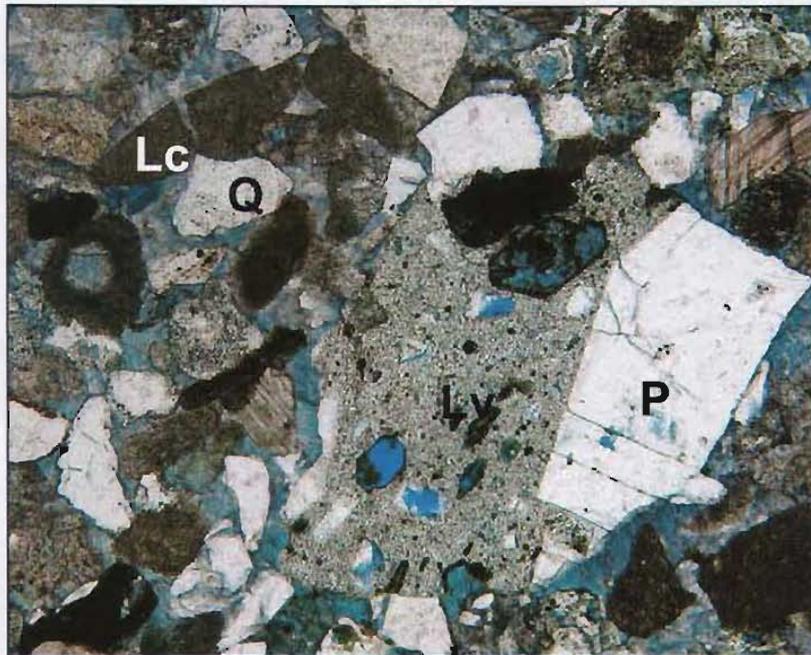


Figura 19.- Arenita Lítica de grano medio, moderadamente clasificada, con clastos predominantes de plagioclasas (P), cuarzo (Q), fragmentos de rocas calcáreas (Lc) y volcánicas (Lv). Secuencia LS-MS-6.98, pozo Carilo-1. (Tomada de Informe Carilo-1, 2003)

Líticos.- Entre los componentes líticos predominan los de rocas ígneas (Lv), tanto plutónicas como volcánicas y rocas carbonatadas (Lc). En mucha menor proporción están presentes líticos sedimentarios (Ls) y líticos metamórficos (Lm). El incremento de líticos totales en las areniscas del Mioceno Superior (MS-6.9) sugiere un mayor aporte de detritos de regiones de arcos magmáticos (Figuras 20,21 ,22y 23).

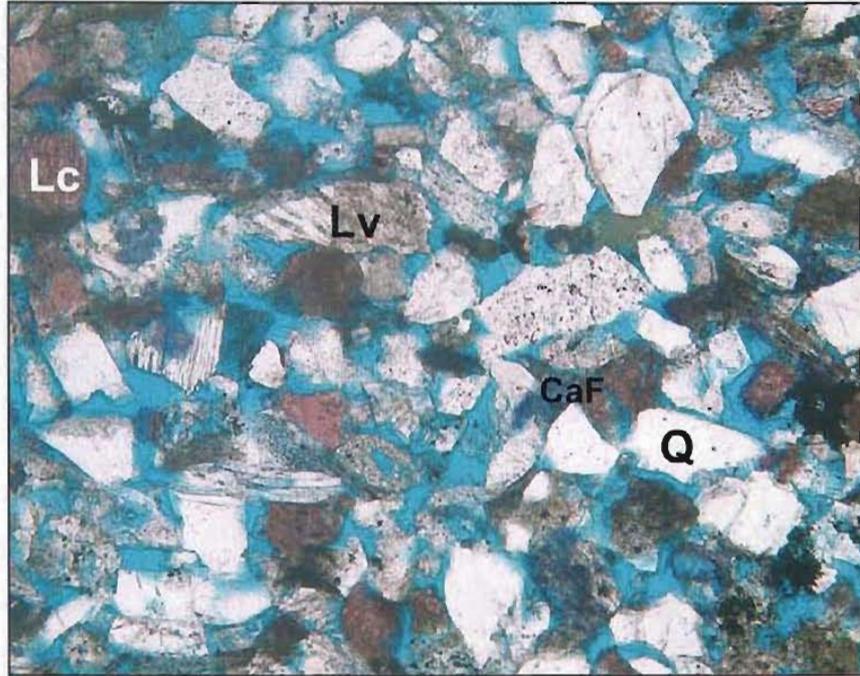


Figura 20.- Litarenita de grano medio, moderadamente clasificada, con clastos predominantes de cuarzo (Q), fragmentos de rocas calcáreas (Lc) y volcánicas (Lv). Principales cementos calcita (CaF) y dolomita ferrosa. Secuencia LS-MM-11.7, pozo Cocuite-402 (Tomada de Informe Cocuite-402, 2000)

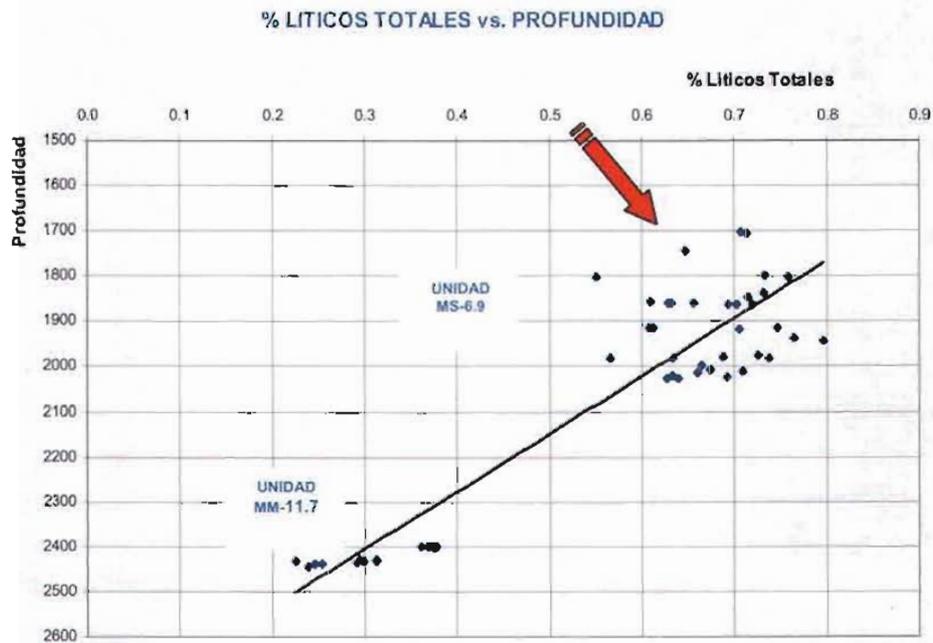


Fig. 21 Porcentaje de fragmentos líticos totales vs profundidad en areniscas del Campo Playuela (Tomada PEMEX-Schlumberguer, 2003)

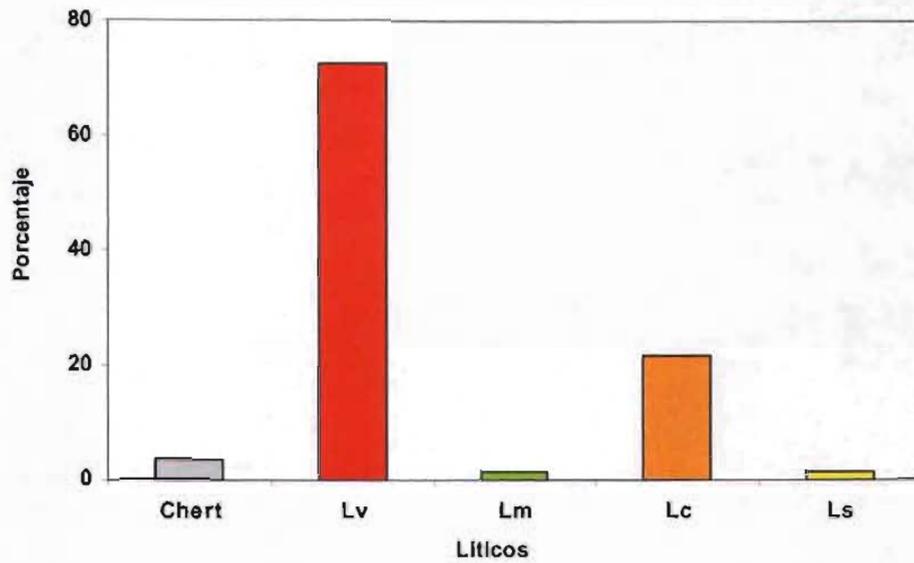


Figura 22.- Variedades y porcentajes de fragmentos líticos en las arenas de la secuencia LS-MS-6.98 Campos Playuela-Vistoso

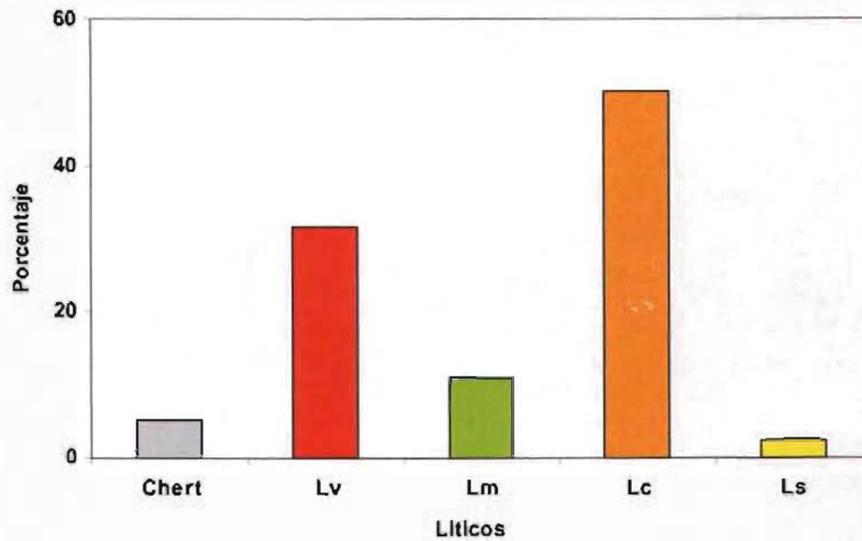


Figura. 23.- Variedades y porcentajes relativos de líticos presentes en las turbiditas del Mioceno Medio (11.7). Nótese el incremento de líticos volcánicos totales en la primera unidad, comparado a un mayor porcentaje de líticos carbonatados (Lc) y metamórficos (Lm) en las arenas MM 11.7 de los Campos Playuela-Cocuile.

Las areniscas del Mioceno Medio (MM-11.7) presentan un predominio de fragmentos de rocas carbonatadas y metamórficas, sugiriendo que se derivaron principalmente de orógenos reciclados (Dickinson y Suczek, 1979). La mayoría de los fragmentos más pequeños de caliza son de mudstone carbonatado; algunos fragmentos de ellos contienen fragmentos de fósiles o porciones de probables granos aloquímicos.

Los fragmentos líticos presentes en cantidades menores incluyen: fragmentos metamórficos que son principalmente de filitas a cuarcita, fragmentos de rocas arcillosas. Los últimos están presentes en cantidades moderadas y posiblemente representan clastos desprendidos de una superficie cercana al sitio de depósito y redepositados con otros granos detríticos; alternativamente algunos de ellos pueden representar granos ígneos alterados. También se tienen algunos granos de pedernal que pudieron haberse originado en un área carbonatada, ya que algunos de estos granos contienen cristales de calcita inalterada.

Accesorios.- Los granos accesorios más comunes en la secuencia MS-6.9 incluyen: micas (biotita, clorita y muscovita), minerales pesados (circón, turmalina, esfena y rutilo) y materia orgánica (fragmentos de plantas). Los más comunes son las micas. En algunas muestras hay presente glauconita (mineral rico en K), frecuentemente asociado con pellets fecales y típicamente indica un ambiente marino reductor. Para el caso de la secuencia LS-MM-11.7 los granos accesorios principales incluyen micas, materia orgánica y fragmentos fosilíferos.

Matriz y cemento.- Dickinson (1970) determinó que la matriz y el cemento están en función de la diagénesis y aun cuando en este trabajo se excluyeron areniscas con un porcentaje mayor del 20% de arcillas, la matriz y el cemento forman parte importante de la composición total de las areniscas como se observa en las muestras del Campo Playuela (Figuras 24 y 25), donde el porcentaje total de matriz (detrítica y autigénica) varía desde escasa (menos del 5%) a moderadamente abundante (más del 15%), especialmente en las areniscas del Mioceno Superior (MS-6.9). La matriz detrítica está compuesta por abundante protomatriz (cuarzo, feldespatos, micas y arcillas detríticas) y epimatriz, compuesta por laminillas de arcillas. La abundancia de matriz y cemento se encuentra en las areniscas de la unidad MS-6.9.

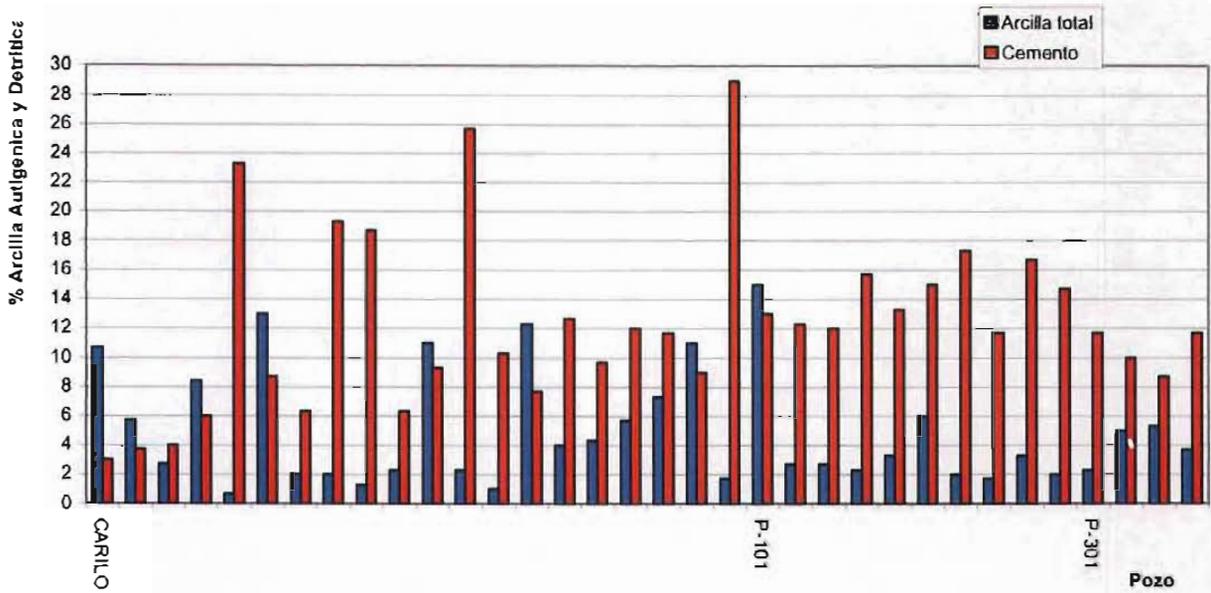


Figura 24.- Porcentaje promedio de cemento y arcilla por pozo en las areniscas del Mioceno Superior (MS-6.98) del campo Playuela (Tomada de PEMEX-Schlumberguer, 2003).

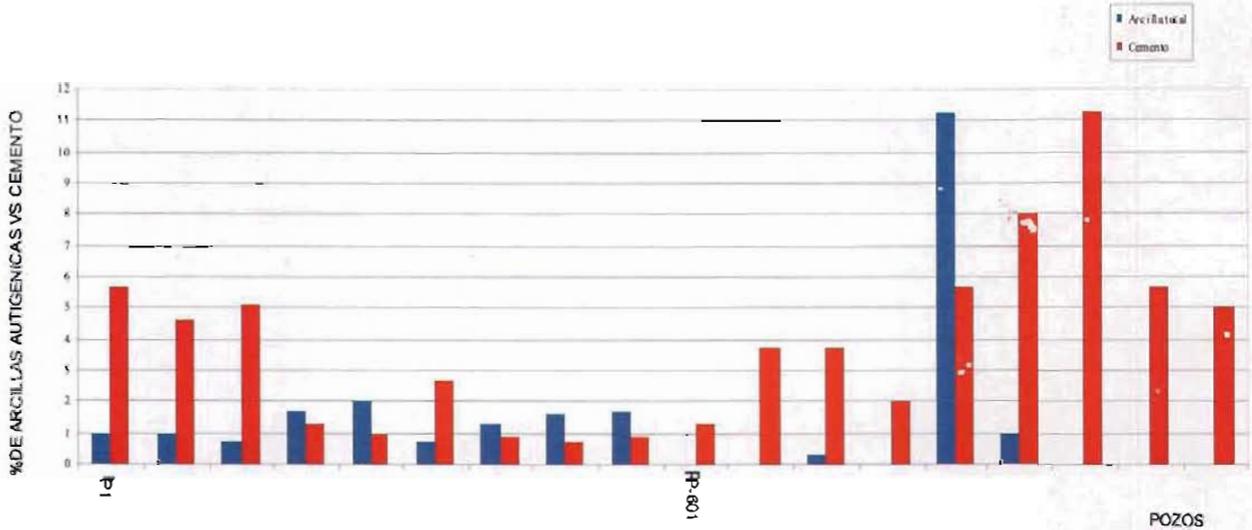


Figura. 25.- Porcentajes promedio de cemento y arcilla por pozo en las areniscas del Mioceno Medio (MM-11.7) del campo Playuela. Nótese la mayor abundancia de matriz y cemento para las areniscas de la unidad MS-6.9. (Tomada de PEMEX-Schlumberguer, 2003).

El cemento esta constituido de calcita y calcita-dolomítica y en menor grado por pequeños cristales euhedrales de siderita que aparecen recubriendo granos de cuarzo y feldspatos para la secuencia LS-MM-11.7.

El cemento se encuentra en mayor proporción que la matriz, variando en un promedio de 12% con un máximo de 29% en la Unidad MS-6.9, y decrece a un promedio de 4% y un máximo de 11% en la Unidad Inferior MM-11.7 (Figuras 26 y 27). Las areniscas de la unidad MS-6.9 tienen un incremento en el contenido de cemento conforme aumenta la profundidad, al mismo tiempo se observa un decrecimiento de la matriz (Fig.26). El gradual decrecimiento de la porosidad y permeabilidad con la profundidad se correlaciona con el aumento relativo en el cemento.

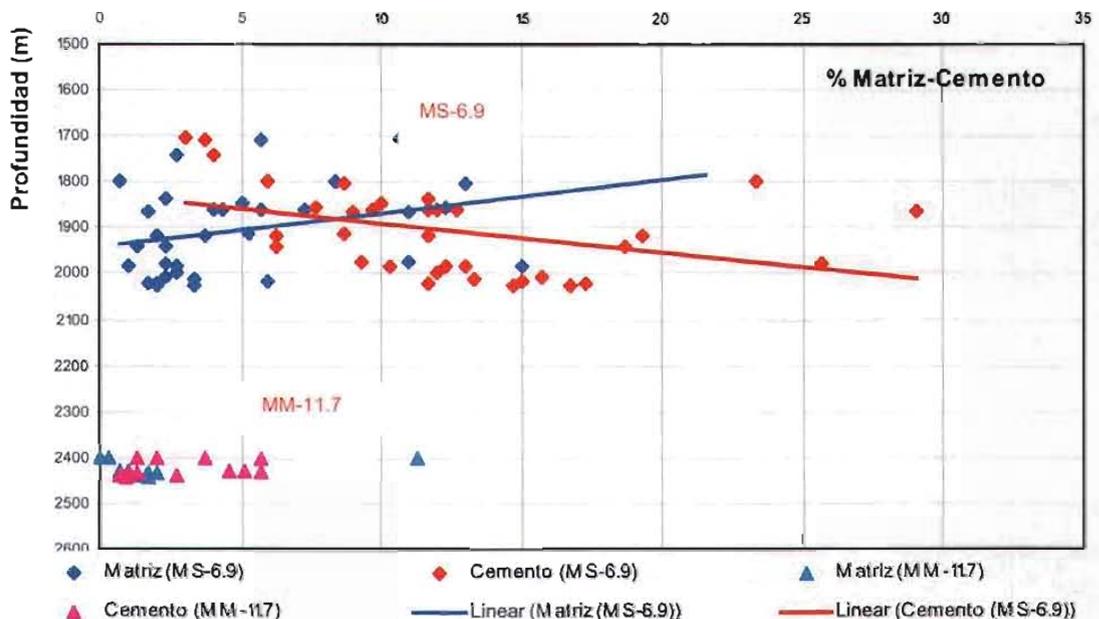


Figura 26.- Distribución porcentual del contenido de cemento y matriz con la profundidad en las areniscas de este estudio. Note el incremento de cemento con la profundidad en las areniscas de la secuencia LS-MS-6.9 (Tomada de PEMEX-Schlumberguer, 2003)

Para la secuencia LS-MS-6.9 las areniscas varían de poco a bien cementadas; los principales cementos son recubrimientos de granos de esmectita rica en hierro y magnesio y calcita ferrosa rellenando poros. Las muestras contienen cantidades menores de analcima, clinptilolita, sobrecrecimientos de cuarzo, sobrecrecimientos de feldspatos, clorita, pirita y óxidos de titanio.

**CAPÍTULO 7. – ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LAS SECUENCIAS LS-MS-6.9 Y
LS-MM-11.7**

Para este trabajo se analizaron geoquímicamente 27 muestras de núcleos de 8 pozos de los campos Playuela, Cocuite y Vistoso. Para la selección de estas muestras fueron consideradas lutitas y areniscas para la secuencia LS-MS-6.98 y lutitas, limolitas y areniscas para la secuencia LS-MS-11.7. A cada muestra se le determino el porcentaje de los siguientes óxidos mayores Anexo 3. Las siguientes tablas resumen los valores máximos y mínimos para cada secuencia:

Secuencia LS-MS-6.9

Oxidos Mayores	Lutitas	Areniscas
Al ₂ O ₃	9.22-13.35	7.07-7.41
CaO	16.63-22.61	16.60-26.46
Fe ₂ O ₃	4.06-6.14	2.71-3.17
K ₂ O	1.97-2.52	1.36-1.80
MgO	1.64-3.22	1.12-1.54
MnO	0.05-0.07	0.05-0.08
Na ₂ O	1.54-2.32	1.93-2.24
P ₂ O ₅	0.13-0.16	0.10-0.11
SO ₃	1.030-1.830	0.660-1.120
SiO ₂	52.37-58.12	56.98-66.59
TiO ₂	0.31-0.48	0.25-0.35

Tabla 7.1 Base de datos geoquímicos de la secuencia LS-MS-6.98

Secuencia LS-MM-11.7

Compuestos	Lutitas	Limolitas	Areniscas
Al_2O_3	11.19-14.77	8.40-12.60	7.27-10.91
CaO	10.68-23.56	9.81-22.61	5.96-14.06
Fe_2O_3	4.53-6.67	3.37-5.07	1.66-3.43
K_2O	2.25-3.12	1.67-2.52	1.63-2.15
MgO	2.43-3.41	1.57-2.53	0.78-1.38
MnO	0.04-0.07	0.07-0.07	0.02-0.08
Na_2O	1.55-2.77	2.13-2.64	2.09-3.22
P_2O_5	0.13-0.16	0.11-0.16	0.07-0.13
SO_3	0.720-3.130	0.490-1.450	0.320-1.320
SiO_2	48.20-63.93	56.40-65.97	67.53-75.95
TiO_2	0.43-0.54	0.31-0.49	0.21-0.41

Tabla 7.2 Base de datos geoquímicos de la secuencia LS-MM-11.7

Al_2O_3 .- Los valores en las lutitas son mayores en la secuencia LS-MM-11.7 que en la secuencia LS-MS-6.98; en las areniscas son similares en ambas secuencias, sin embargo los valores en la secuencia LS-MM-11.7 presentan mayores rangos. Las limolitas solo fueron analizadas en la secuencia LS-MM.11.7 obteniendo valores mas bajos que las lutitas y mayores que en las areniscas. Los valores mayores se tienen en las lutitas.

CaO .- Los valores en las lutitas y areniscas en la secuencia LS-MS-6.98 son muy similares; en la secuencia LS-MM-11.7 los valores de este compuesto son menores en las areniscas, y va aumentando conforme se pasa de limolitas a lutitas donde se tienen los mayores valores, sin embargo los valores en la secuencia LS-MM-11.7 son menores que en la secuencia LS-MS-6.98.

Fe_2O_3 .- Los valores en las lutitas en la secuencia LS-MS-6.98 son muy similares con los de la secuencia LS-MM-11.7, en las areniscas los valores son mas cerrados en la secuencia LS-MS-6.98, los valores de este compuesto son menores en las areniscas, y va aumentando conforme se pasa de limolitas a lutitas donde se tienen los mayores valores.

K_2O .- Los valores en las lutitas en la secuencia LS-MS-6.98 son muy similares con los de la secuencia LS-MM-11.7, en las areniscas los valores son mas cerrados en la secuencia

LS-MS-6.98, los valores de este compuesto son menores en las areniscas, y va aumentando conforme se pasa de limolitas a lutitas donde se tienen los mayores valores.

MgO.- Los valores en las lutitas en la secuencia LS-MS-6.98 son menores con los de la secuencia LS-MM-11.7, en las areniscas los valores en la secuencia LS-MS-6.98 son mayores que los de la secuencia LS-MM-11.7. En ambas secuencias los valores son mayores en las lutitas que en las areniscas, los valores de las limonitas son muy similares a los de las areniscas.

MnO.- Los valores en las lutitas y en las areniscas en ambas secuencias son muy similares, sin embargo en la secuencia LS-MM-11.7 en las areniscas el rango es más amplio. En las limolitas los valores se mantienen constantes.

Na₂O.- Los valores en las lutitas son similares en ambas secuencias, para las areniscas los valores son mayores en la secuencia LS-MM-11.7. Los valores en las areniscas en ambas secuencias son mayores que el de las lutitas; en las limolitas los valores son mayores que las lutitas y menores que en las areniscas, estas fueron analizadas solo en la secuencia LS-MM.11.7.

P₂O₅.- Los valores en las lutitas son los mismos en ambas secuencias, los valores de las areniscas son mayores en la secuencia LS-MM-11.7 que en la secuencia LS-MS-6.98; los valores de las areniscas son menores y va aumentando su rango conforme se pasa de lutita a limonita.

SO₃.- Los valores en las lutitas son mayores en la secuencia LS-MM-11.7 y presentan rangos mas amplios. Los valores en las areniscas tienen un rango mas amplio en la secuencia LS-MM-11.7; en las limolitas los valores son menores que las lutitas y mayores que en las areniscas, estas fueron analizadas solo en la secuencia LS-MM.11.7.

SiO₂.- Los valores son mayores en las areniscas en ambas secuencias, sin embargo en la secuencia LS-MM-11.7 son mayores que en la secuencia LS-MS-6.98; en las limolitas los valores tienen un rango corto pero mayores que en las lutitas y menores que en las areniscas, estas fueron analizadas solo en la secuencia LS-MM.11.7

TiO₂. Los valores en las lutitas son mayores que en las areniscas en ambas secuencias; los valores en las lutitas y en las areniscas son mayores en la secuencia LS-MM-11.7; en las limolitas los valores son menores que las lutitas y mayores que en las areniscas, estas fueron analizadas solo en la secuencia LS-MM.11.7.

Las relaciones siguientes se emplearon en los diferentes gráficos que sirvieron para la interpretación de la proveniencia de las arenas de los campos Playuela, Cocuite y Vistoso.

K_2O/Na_2O , F_2O_3+MnO , Al_2O_3/SiO_2 , $AlO_3/(Na_2O+CaO)$, Fe_2O_3+MgO , SiO_2/Al_2O_3 y Na_2O+K_2O .

Las diferencias geoquímicas entre las secuencias es la siguiente:

En las lutitas la mayoría de los valores son mayores en la secuencia LS-MM-11.7 que en la secuencia más joven LS-MS-6.98.

En las areniscas la mayoría de los valores son mayores en la secuencia LS-MM-11.7 que en la secuencia más joven LS-MS-6.98, con excepción de CaO y MgO que son mayores en la secuencia más joven.

Las diferencias entre los compuestos de las secuencias aunque son mínimos se nota que son mayores en la secuencia más antigua.

CAPITULO 8.- PROVENIENCIA DE LAS ARENAS DE LOS CAMPOS PLAYUELA, COCUITE Y VISTOSO

8.1 Proveniencia con base en el análisis petrográfico

8.1.1.- Secuencia LS- MS-6.9

Las arenas de la secuencia LS-MS-6.9 en los campos Playuela y Vistoso proviene principalmente de arcos magmáticos. Esto se sustenta con los resultados obtenidos de los diagramas ternarios QFL y QmFLt (Dickinson et al, 1979) y de los QpLvLsm y LmLvLs. (Ingersoll et al 1979). Observando los diagramas se obtienen algunas diferencias, por ejemplo las muestras del Campo Vistoso caen en una zona de **arco disectado**, mientras que en Playuela es un **arco transicional** (Figura 27). Esto indica que hay una mayor estabilidad en los granos que provienen del Campo Vistoso que podría deberse a que las muestras presentan mayores cantidades de cuarzo monocristalino

(Tabla 6.1). Si comparamos con las muestras de Playuela, estos detritos sugieren que son derivados de una mezcla de origen volcánico y plutónico de **arcos magmáticos** más maduros. En Playuela las muestras indican que hubo una exposición local o intermitente de plutones. Las muestras del campo Playuela y Vistoso son principalmente fragmentos líticos volcánicos (basaltos y traquitas; Anexos 1y 2).

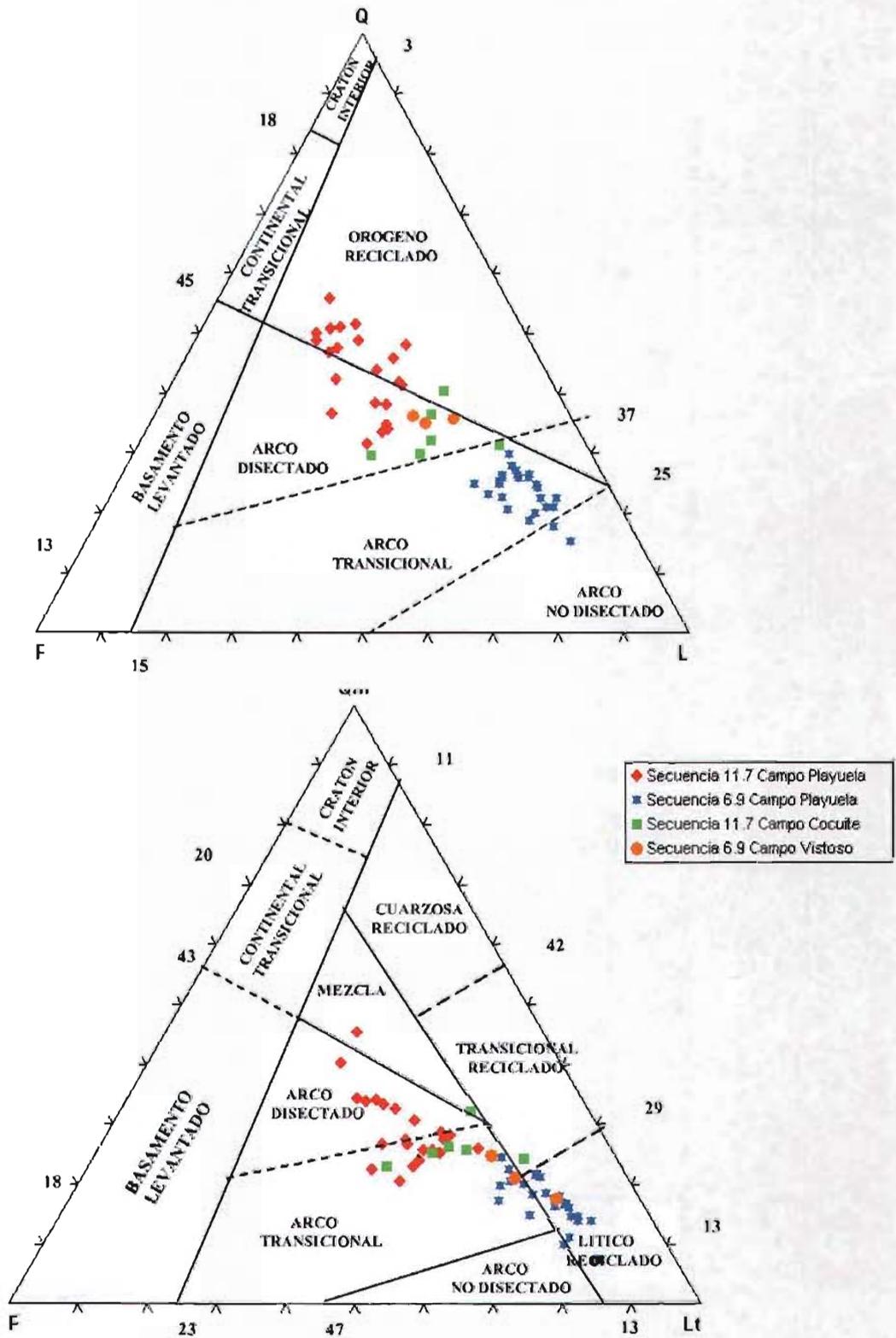
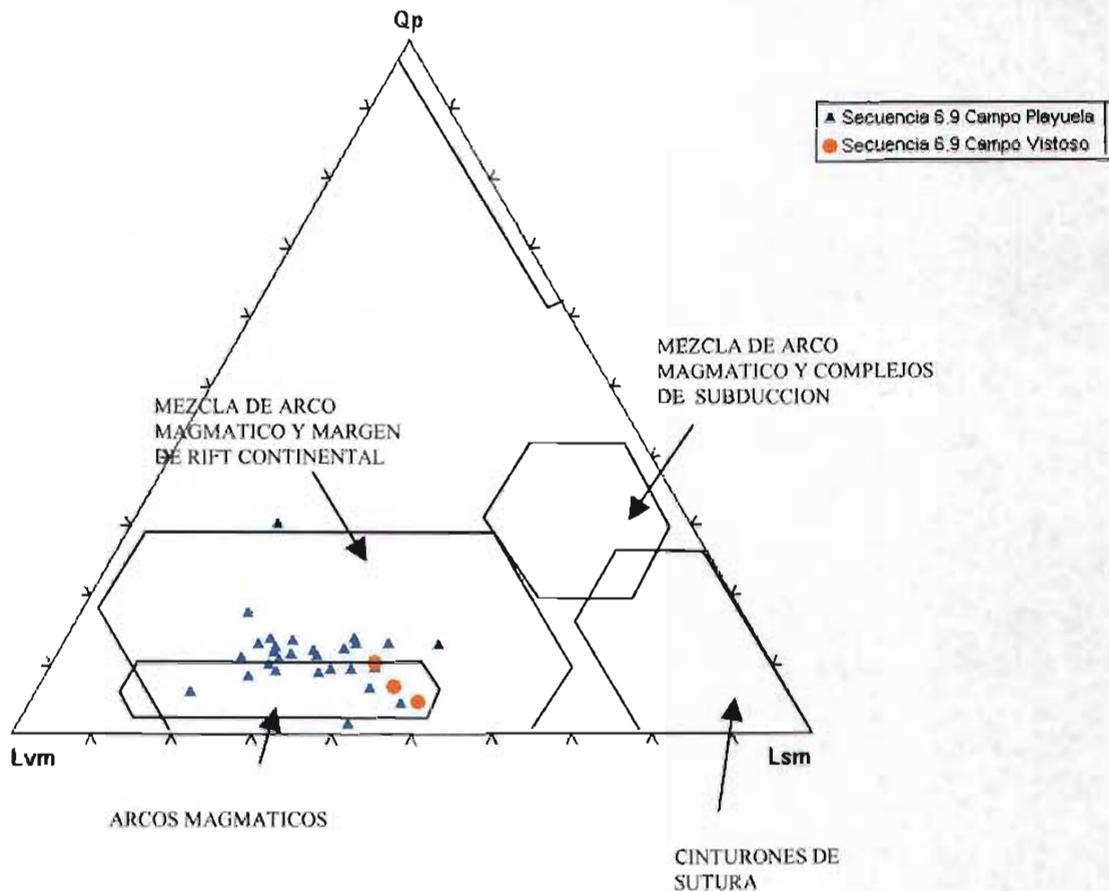


Figura 27 a) Diagrama QFL, Q= Cuarzo monocristalino, policristalino y pedernal, donde F = feldespato potásico y plagioclasa, L= Lítico totales excepto pedernal, y b) QmFLt . donde Qm= Cuarzo monocristalino, F= feldespatos potásicos y pedernal, Lt= Lítico totales incluyendo pedernal. Ambos diagramas indican la proveniencia de las secuencias LS-MS 6.98 y LS-MM-11.7.

En el gráfico QmFLt (figura 27) las muestras de Vistoso caen en el área de arco transicional y para el Campo Playuela esta entre líticos reciclados y arco transicional. Estas diferencias con respecto al gráfico anterior se deben a que aquí son considerados todos los líticos (incluye cuarzo policristalino).

Los gráficos QpLvLsm (27a) y LmLvLs (28b) parecen definir mejor la proveniencia de la secuencia LS-MS-6.9 ya que se observa una casi nula dispersión de los datos. Esto indica que los sedimentos son derivados de áreas tectónicas bien definidas, debido a que la mayoría de los constituyentes líticos son de tipo volcánico (Figura 27a, 28b y Tabla 6.1).



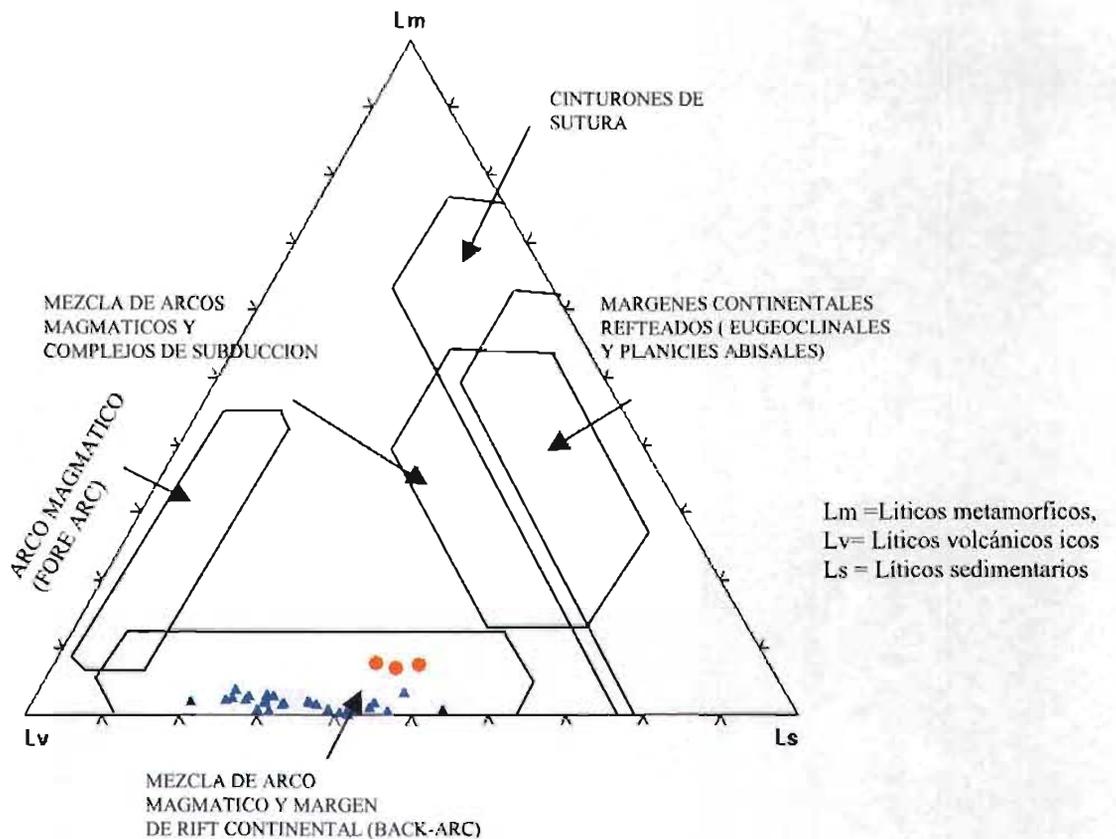


Figura 28.- Diagramas de Ingersoll a) QpLvLmLs y b) LmLvLs

La información obtenida del gráfico QpLvLmLs (Figura 28a) indica que las arenas de la secuencia MS-6.98 en el Campo Vistoso y en el Campo Playuela provienen de una mezcla de **arco magmático y margen de rift continental** o bien solo de **arcos magmáticos**. Con base en esto se puede concluir que la principal fuente de aporte para las arenas de la secuencia MS-6.98 es la **provincia alcalina del Este**, ya que ésta presenta un magmatismo alcalino típico de zonas de rift continental y se asocia a movimientos distensionales del Golfo de México. La fuente de aporte también está relacionada con el vulcanismo reportado para el evento magmático de Anegada y los Tuxtles en el que también se tiene asociado un magmatismo de tipo alcalino (Fig. 29).

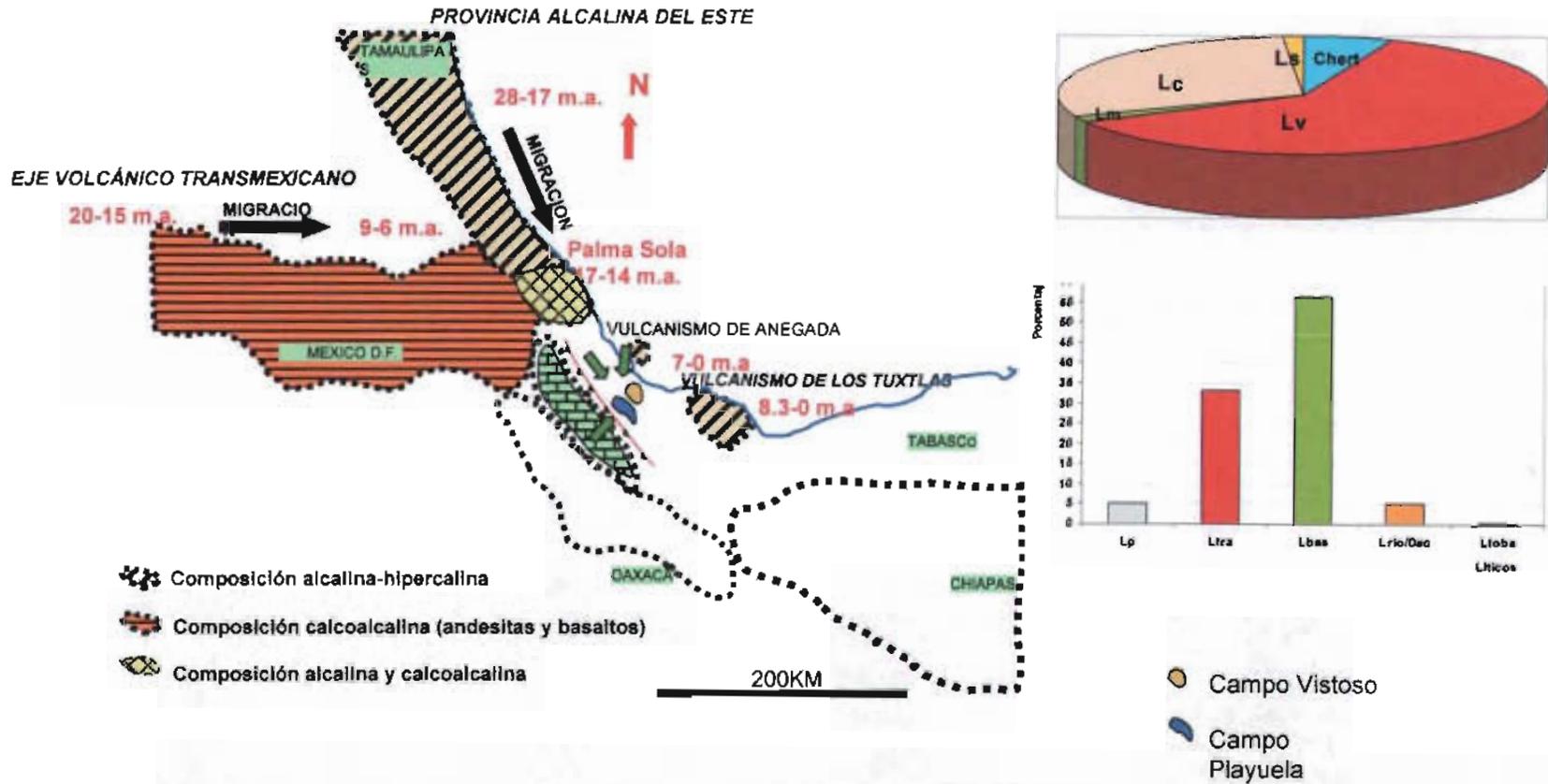


Figura 29.- Mapa de proveniencia de la secuencia LS-MS-6.98

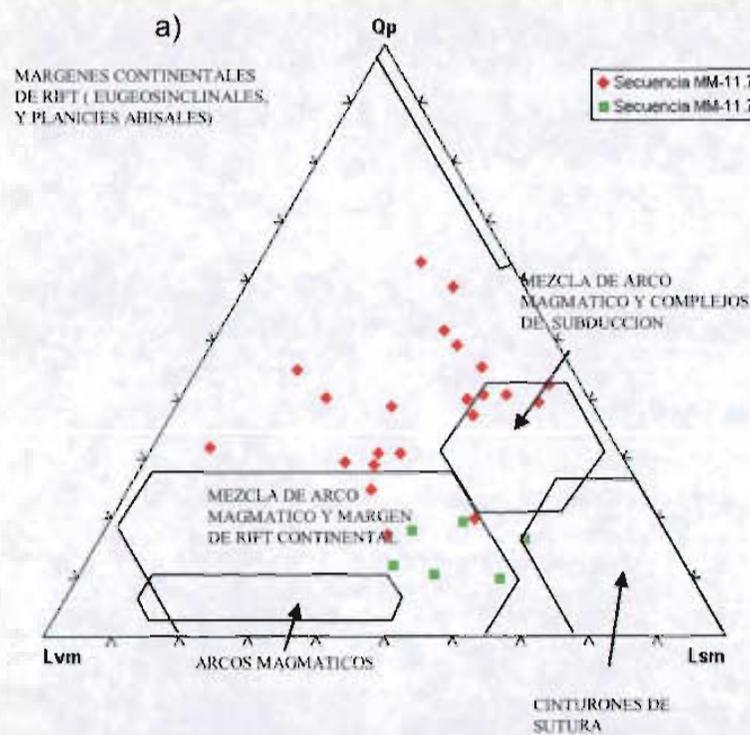
8.1.2 Secuencia LS- MM-11.7

Las arenas de la secuencia MM-11.7 presentan mayor dispersión que las arenas de la secuencia anterior. Esto se debe al gran contenido de cuarzo policristalino. Los resultados obtenidos del diagrama QFL, indican que se tiene una mezcla de **arcos disectados** y otro que proviene de **orógenos reciclados**, mientras que para el Campo Cocuite provienen principalmente de un **arco disectado** (Figuras 26a y 27b). La gráfica QFL enfatiza la madurez mineralógica de los sedimentos.

En el modelo sedimentológico para este tiempo, la principal fuente de aporte de sedimentos proviene del occidente, donde se ubica el frente tectónico y otra del noroeste que se asocia con el vulcanismo alcalino de la parte norte. El gráfico QmFLt (Figura 27b) indica que las arenas de Cocuite y las de Playuela provienen de un **arco magmático transicional y disectado** atribuyéndose la dispersión de los datos a la presencia del cuarzo policristalino.

La Información del gráfico QpLvmlsm (Figura 30a) indica que las arenas de la secuencia MM-11.7 en el Campo Cocuite proviene de una mezcla de **arco magmático y margen de rift contional** y la del Campo Playuela proviene de la misma fuente de aporte, aunque esto no se observa claramente debido a que la clasificación de estas areniscas cae en los campos de las feldsarenitas líticas y en el de las litarenitas feldespáticas que tienen un amplio rango de composición mineralógica. Esta secuencia presenta mayor cantidad de líticos de origen carbonatado que la anterior (Tabla 6.1).

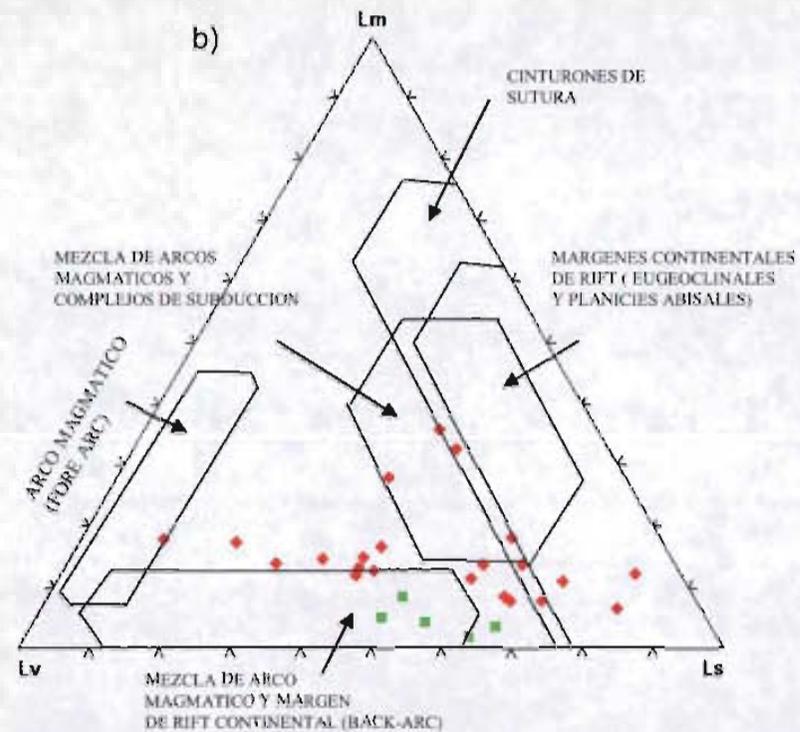
Con base a lo anterior se concluye, que la principal fuente de aporte para la secuencia LS-MM-11.7 es la **Provincia Magmática Alcalina del Este de México**, ya que este es un magmatismo típico de zonas de rift continental asociado a movimientos distensionales del Golfo de México. Como fuente de aporte participó también el frente tectónico de la Sierra Madre Oriental (Figura 31).



Qp= Cuarzo policristalino

Lvm = Granos volcánicos hipavisales y Metavolcánicos afaníticos

Lsm = granos sedimentarios y metasedimentarios afaníticos



Lm= Granos metamorficos afaníticos

Lv = Granos volcánicos hipavisales afaníticos

Ls = Granos sedimentarios afaníticos policristalino y pedernal

Figura 30 Diagramas de Ingersoll a) QpLvLsm y b) LmLvLs para la secuencia LS –MM 11.78

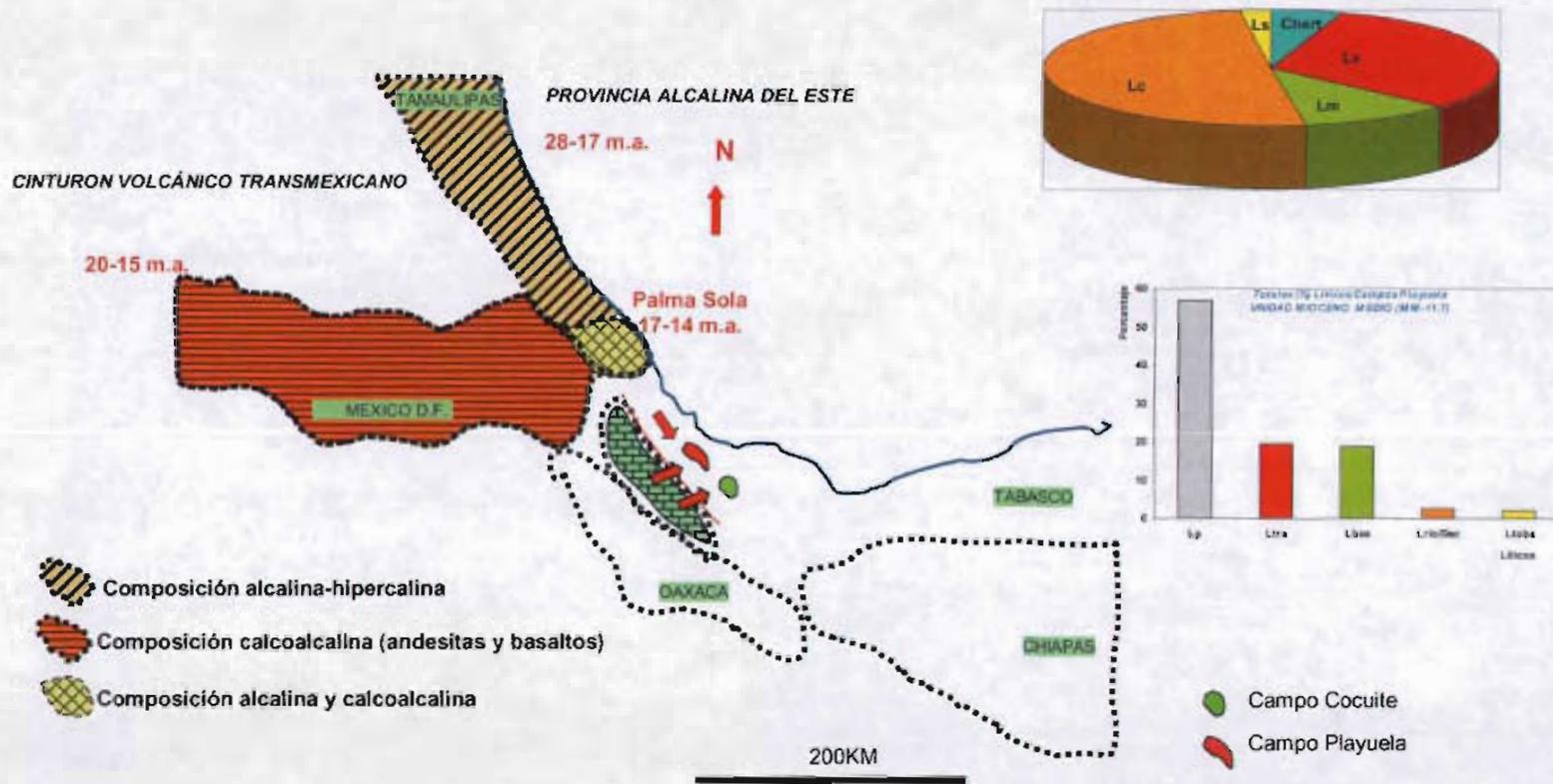


Fig 31 Mapa de proveniencia de las areniscas de la secuencia LS-MM-11.7

8.2 Proveniencia de las areniscas de las secuencias LS-MS 6.9 y LS-MM-11.7 con base en el análisis geoquímico

La composición química de areniscas de las secuencias LS-MS 6.9 y LS MM-11.7 sugiere que están relacionadas a un vulcanismo de tipo subalcalino. La gráfica de la figura 32 ilustra eso.

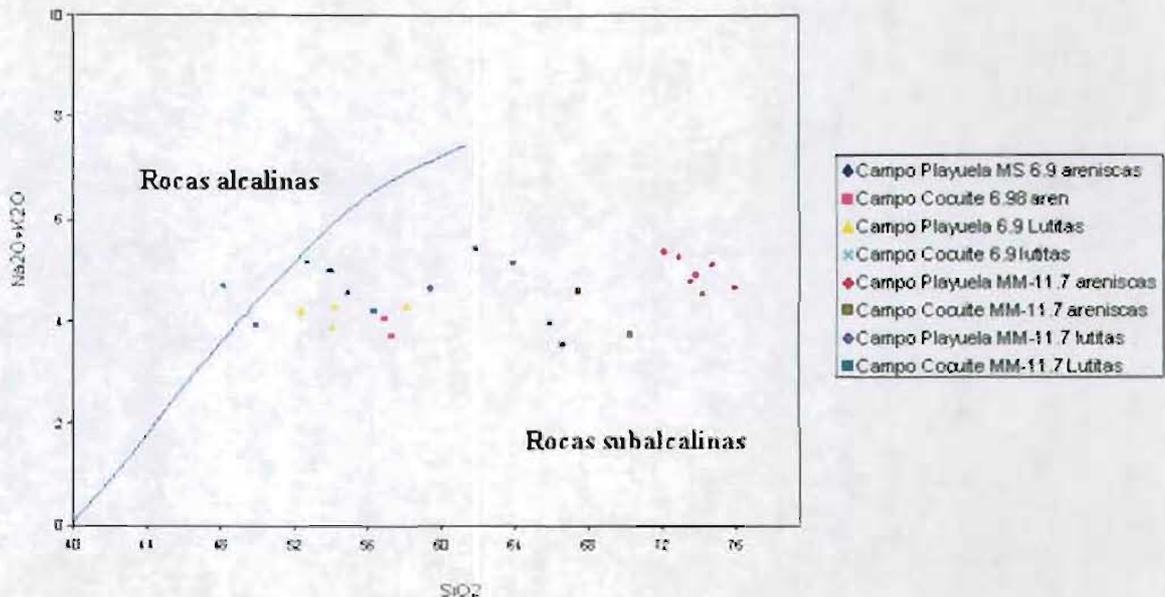


Figura 32.- Los análisis químicos de las areniscas de las secuencias LS-MS-6.98 y LS-MM-11.7 indican que son rocas de composición subalcalina.

El valor del SiO_2 está en un rango de 48-76 % y menos de 1 en la relación de $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ con valores menores a 1 en areniscas.

La relación $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ vs SiO_2 es lo más útil para determinar la proveniencia. La gráfica de la Fig 7.2 indica según la clasificación de Crook (1974) que estas rocas son una mezcla y son típicas de **márgenes continentales activos**, ya que son sedimentos con cantidades de cuarzo intermedio. Los valores de las lutitas tanto en las unidades MS-6.9 y MM-11.7 incluyen un rango valores de 48-65% de SiO_2 y .96-1.68 de $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, para las areniscas también en ambas unidades el rango de valores para el SiO_2 es de 66-75% y .59-.95 de $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$.

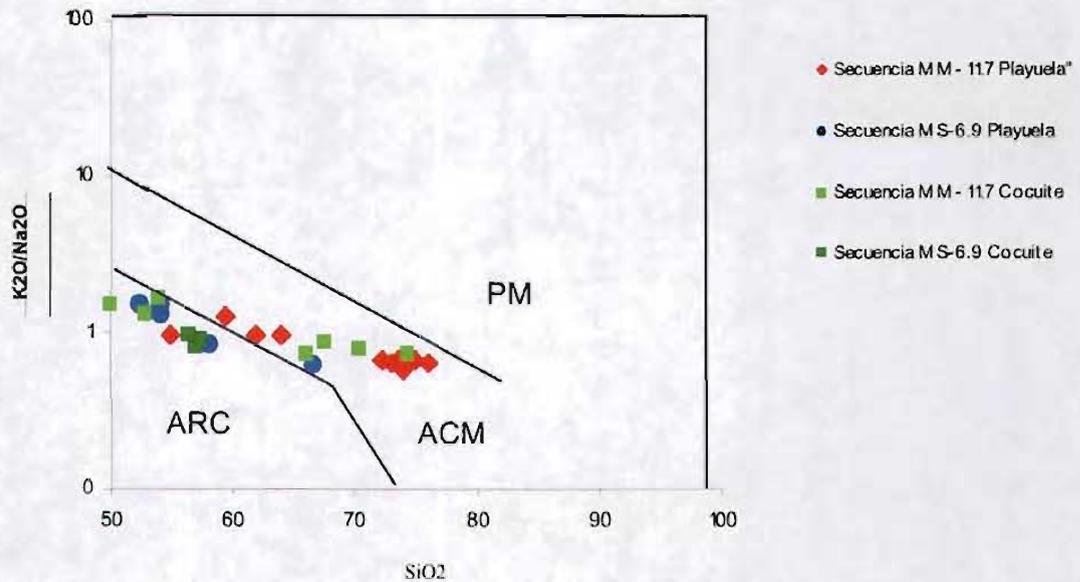


Figura 33.- Los análisis químicos de las muestras de las secuencias en la gráfica K_2O/Na_2O vs. SiO_2 muestran que son derivadas de ACM

Roser y Korsch (1986) utilizaron la gráfica (K_2O/Na_2O) vs SiO_2 (Fig 7.2) y en base a los valores para las areniscas en ambas unidades se determinó que provienen de ACM (Márgenes Continentales Activas) que son cuencas relacionadas a subducción, cuencas continentales de colisión y cuencas pullapart asociadas con zonas de fallas de deslizamiento a rumbo.

Otros diagramas que se usan para determinar la procedencia de areniscas, son los propuestos por Harker y se basan en la clasificación propuesta por Bathia y Crook, 1983. (Figuras 34-37.)

Los análisis químicos de las muestras en el círculo indican que las muestras en ambas secuencias provienen de márgenes continentales activos.

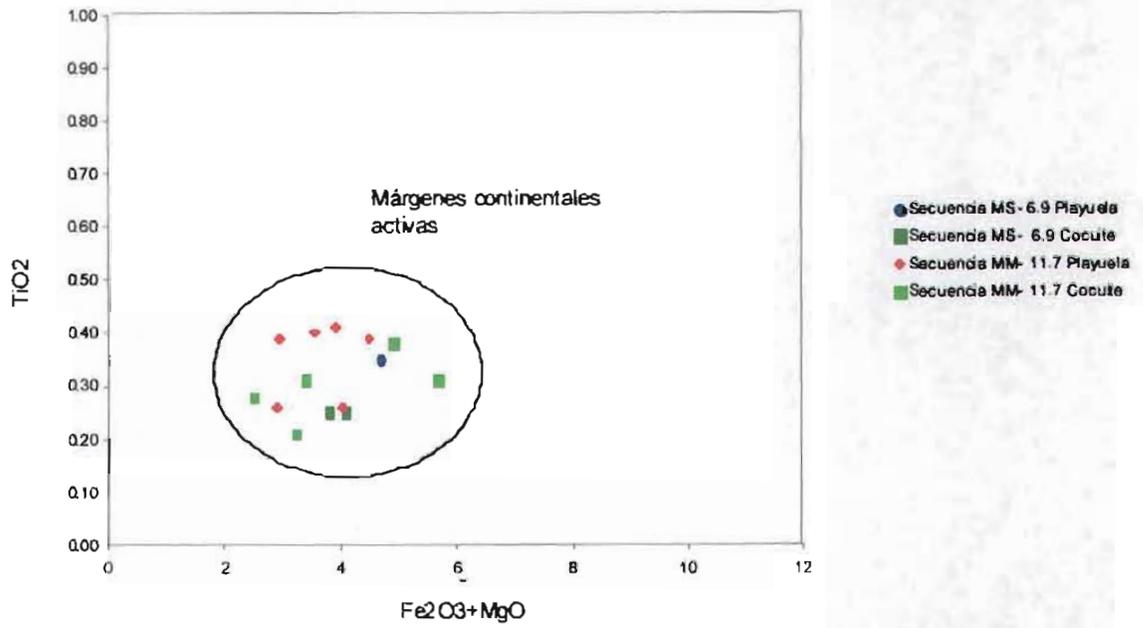


Figura 34.- Gráfica TiO_2 vs $Fe_2O_3 + MgO$

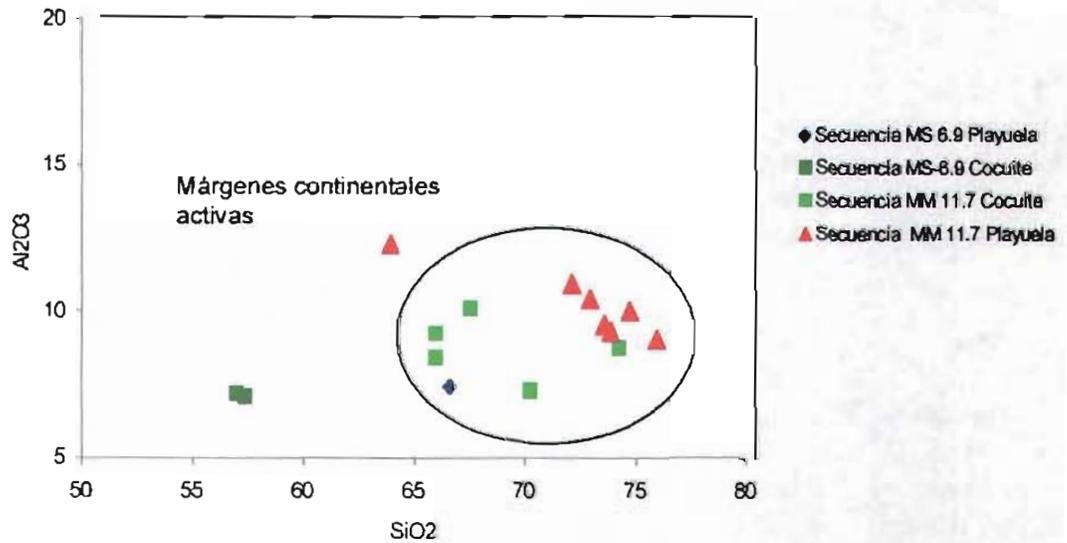


Figura 35.- Gráfica Al_2O_3 vs SiO_2

Los análisis químicos de las areniscas de las secuencias LS-MS-6.98 y LS-MM-11.7 dentro del círculo muestran los valores de SiO_2 que en promedio son de 70% y de Al_2O_3 de 10%, lo que indica el enriquecimiento de cuarzo en las areniscas depositadas en márgenes continentales activos.

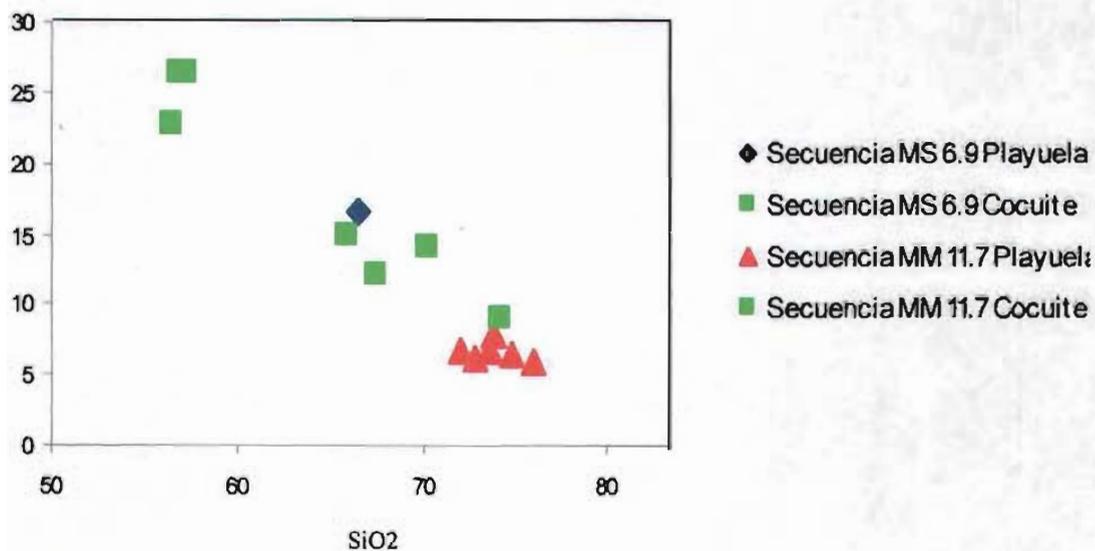


Figura 36.- La gráfica CaO vs SiO_2 de lutitas y areniscas analizadas indica que el area de proveniencia fueron márgenes continentales activos.

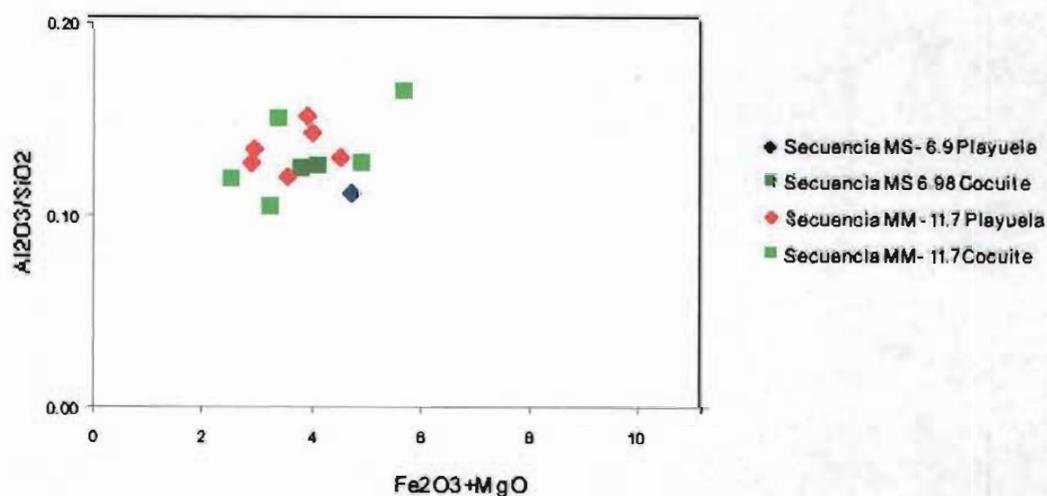


Figura 37.- Los análisis químicos de las muestras de las gráficas $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ vs $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ indican que las muestras provienen de márgenes continentales activos.

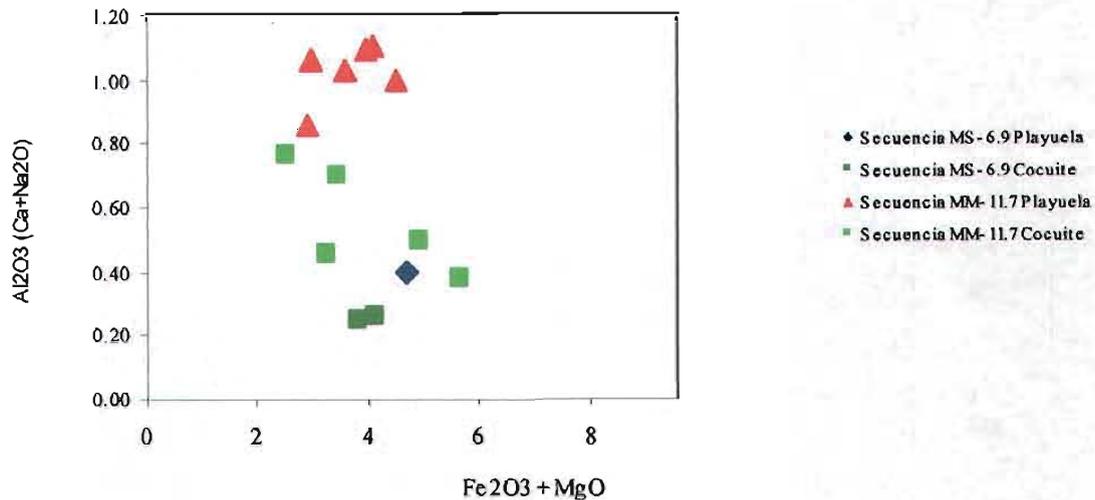


Figura 38.- Los análisis químicos de las muestras en la gráfica $Al_2O_3 / (Ca+Na_2O)$ vs Fe_2O_3+MgO indican que las muestras provienen de márgenes continentales activas.

Las areniscas de las unidades MS-6.9 y MM-11.7 tanto en el Campo Cocuite y Playuela provienen de márgenes continentales activas y representan ambientes tectónicos que se deducen de las gráficas anteriores. Esto es de acuerdo a los valores que tienen las areniscas en la clasificación de Bathia (1983b). Los valores de la relación $Fe_2O_3 + MgO$ (2-5%), los valores de TiO_2 (0.2-.4%) y los valores de Al_2O_3/SiO_2 (0.1-0.2%) y un valor alto en la relación K_2O/Na_2O (0.96-1.2%), indican que estas areniscas son derivadas de rocas volcánicas síliceas, y que son producto predominantemente de un basamento levantado. Además reflejan la composición de una corteza continental por su alto contenido de SiO_2 (66-75%) y K_2O (1.36-2.15%) .

La gráfica 38. indica que las areniscas de la secuencia LS-MM-11.7 son más ricas en SiO_2 que la secuencia LS-MS-6.98 en los Campos Cocuite y Playuela. La relación Al_2O_3 vs SiO_2 muestra resultados similares a los del análisis petrográfico (capítulo 6).

Los valores altos de CaO (5-15 %) en las areniscas de la secuencia LS-MS-6.9 y LS-MM-11.7 del Campo Playuela y en las areniscas del Campo Cocuite contienen más de 20% del CaO que es biogénico, esto sugiere que estas rocas son derivadas del frente tectónico sepultado. (Figura 36)

La gráfica K_2O/SiO_2 (Figura 39) indica que las lutitas de la unidad MM-11.7 tienen mayor contenido de feldespatos potásicos, micas y disminuyen hacia una madurez de feldespatos, en este caso los valores menores los tienen las areniscas de la unidad MS-6.98.

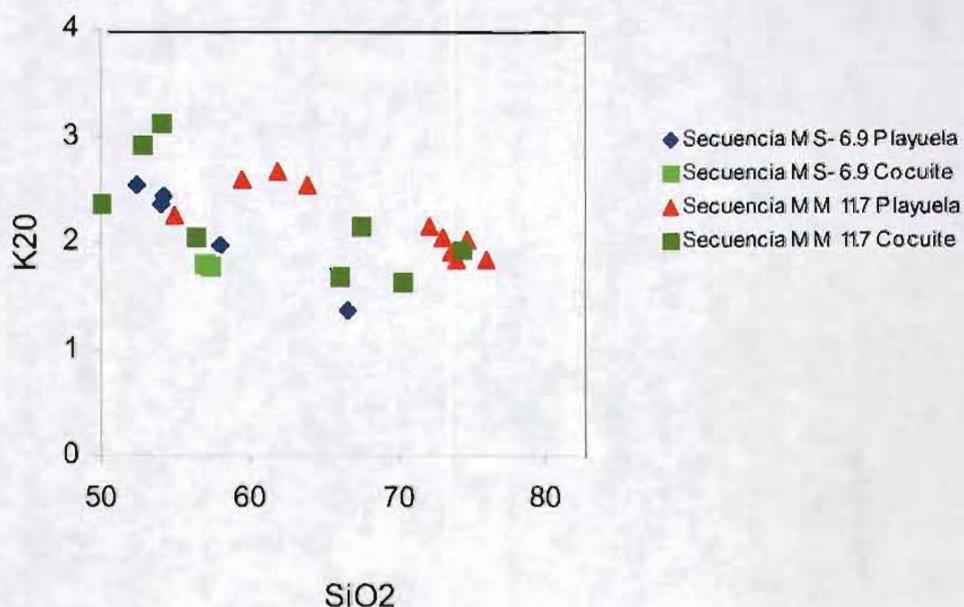


Figura 39.- Los análisis químicos de las muestras en la gráfica K_2O vs SiO_2 indican que las muestras provienen de márgenes continentales activas, además de que los valores de feldespatos potásicos son mayores en la secuencia LS-MM-11.7.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

CONCLUSIONES

- 1.- Los estudios de proveniencia ayudan en el análisis y selección de las características mineralógicas y petrofísicas de las rocas; Los yacimientos se encuentran en arenas que provienen de áreas bien definidas.
- 2.- La composición química de las lutitas y las areniscas de las secuencias LS-MS- 6.9 y LS MM-11.7 sugiere que están relacionadas a un vulcanismo de tipo alcalino, lo que descarta una proveniencia del Cinturón Volcánico Transmexicano.
- 3.- Las areniscas de las unidades MS-6.9 y MM-11.7 en los Campos Cocuite, Playuela y Vistoso provienen de ambientes tectónicos de márgenes continentales activas.
- 4.- Los valores altos de CaO (5-15 %) en las areniscas de la secuencia LS-MS-6.9 y LS-MM-11.7 del Campo Playuela y en las areniscas del Campo Cocuite (mas del 20%) donde el CaO es biogénico y sugiere que otra fuente de aporte importante fué el frente tectónico sepultado.
- 5.- Las arenas de la secuencia LS- MS-6.9 en los campos Vistoso y Playuela provienen de una mezcla de **arco mágnatico y margen de rift continental** se puede concluir que la principal fuente de aporte para la secuencia LS-MS-6.98 fue la **Provincia Alcalina del Este de México**. Esta secuencia puede también estar relacionada con el vulcanismo reportado para el evento magmático de Anegada y los Tuxtlas, y de composición alcalina.
- 6.- Los resultados obtenidos del diagrama QFL de Dickinson, indican que en la secuencia LS-MM-11.7 las arenas provienen de una mezcla de **arcos disectados** y de **orógenos reciclados**, mientras que para el Campo Cocuite proviene principalmente de un **arco disectado**.
- 7.- En el modelo sedimentológico para este tiempo la principal fuente de aporte proviene del occidente, donde se ubica el Frente Tectónico sepultado y otra del noroeste que se asocia con el vulcanismo alcalino de la parte norte. El gráfico QmFLt indica que tanto las arenas del campo Cocuite como las del campo Playuela provienen de un **arco magmático, transicional y disectado**.

8.- La fuente de aporte de las arenas de la secuencia LS-MM-11.7 fue la **Provincia Mágmatca Alcalina del Este de México**. Como fuente de aporte participa también el frente tectónico de la Sierra Madre Oriental.

9. - En la exploración de hidrocarburos este tipo de estudios son importantes ya que al conocer la composición detritica de las areniscas se puede predecir como responden las areniscas a la diagénesis y por lo tanto a las diferentes tendencias de reducción de la porosidad con la profundidad de sepultamiento.

BIBLIOGRAFIA

Bathia M.R. 1983a; "Rare Earth element geochemistry and sedimentary provinces: a study from Tasman Geosyncline, Australia" *Chem. Geol.*, v. 33, p. 115-125.

Bathia M.R, 1983b; "Plate Tectonics and Geochemical Composition of Sandstones, The Journal of Geology, v. 91, p. 611-627.

Bernal H. P., 2003; " Estudio Paleontológico de los núcleos del Pozo Blanco-2 con Nannoplanton calcáreo" Informe Técnico Interno PEMEX Exploración y Producción

Campa M. F y P.V Coney, 1983; "Tectonostratigraphic Terranes and Mineral Resource Distribution in Mexico", *Can Jour Earth Sci*, v. 20 p.1040-1051.

Cantagrel M, y C.Robin, 1979, " K-Ar Dating on eastern mexican volcanic rocks-relations between the andesitic and the alkaline provinces ", *Journal of Vulcanology and Geothermal Research*, v.5, p.99-114.

Cuevas M., 2001; "Estudio Paleontológico del pozo Playuela-1 ",Informe Técnico Interno PEMEX Exploración y Producción

Cuevas M., 2002; "Estudio Paleontológico de los pozos Playuela-201,601", Informe Técnico Interno PEMEX Exploración y Producción

Cruz Helu P and Verdugo R, 1977; "Origin and Distribution of Tertiary Conglomerates, Veracruz Basin, Mexico; *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin* v.61, p.207-226.

Dickinson, W.R., y Snyder, W. S., 1978; "Plate tectonics of the Laramide Orogeny"; *Geological Society of America Memoir* 151, p. 355-366

Dickinson W y Suczek C, 1979 "Plate Tectonics and Sandstone Compositions"; *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v.63, No.12 p. 2164-2182.

Dickinson, W.R., y Valloni Renzo, 1980; "Plate Settings and Provenance of Sands in Modern Ocean Basins; *Geology*, v.8, p. 82-86.

Dickinson W. et al 1983; " Provenance of North American Phanerozoic Sandstones" in relation to Tectonic Setting" . *Geological Society of America Bulletin* v. 94 p 222-235.

Dickinson W.R,1985; "Interpreting Provenance Relations from detrital modes of sandstones. In: Zuffa G.G (ed) provenance of arenites; NATO-ASI Series 148. D. Reidel Dordrecht, 333-361.

Freeland, G.L., y Dietz, R. S., 1971; "Plate Tectonic Evolution of Caribbean Gulf of Mexico Region"; *Nature*,. v.232, No. 5305, p. 20-23.

Galloway W, Ganey P et al, 2000; "Cenozoic Depositional History of the Gulf of Mexico Basin", *AAPG Bulletin*, v.84 n11, p.1743-1774.

Graham, S.A., Dickinson, W. R, e Ingersoll R.V, 1975; "Himalayan- Bengal Model for flysch dispersal in the Appalachian-Ouachita System"; *Geological Society of America Bulletin*, v.86, p.273-286.

Graham, S.A., Ingersoll, R.V., y Dickinson, W.R., 1976; "Common Provenance for lithic grains in Carboniferous Sandstones from Ouachita Mountains and Black Warrior Basin *Journal of Sedimentary Petrology*, v.46, p.620-632.

Ingersoll R y Suczek C, 1979; "Petrology and Provenance of Neogene sand from Nicobar and Bengal Fans", DSDP sites 211 and 218, *The Society of Economic Paleontologist and Mineralogists*, v.49, p,1217-1223..

Ingersoll, R.V., Bullard. T.F., Ford, R.L., Grimm, J.P., Pickle, J.D., y Sares, S.W., 1984; "The effectc of grain size on detritical modes: a test of the Gazzi-Dickinson point- counting method"; *Jour. Sed. Petrology*. v.54, p.103-116.

Jacobo A, y Navarrete R.O, 1990; "Investigación del Basamento Cristalino en las Cuencas de Veracruz, Papaloapan y Zongolica", Informe interno Instituto Mexicano del Petroleo.

Jacobo A., 1997; "Studio Geologico y Petrologico del Massicio Vulcanico i los Tuxtlas".
Dottorato I Ricerca, Università degli study Pisa

Lopez, I. M, 1992; "Petrologic and Geocronologic study of the Sierra de Chiconqiac State
of Veracruz, Mexico", Msc. Dissertation, University of Tulane Loussiana

Masson, P, 1951; " Bosquejo Geológico de la Cuenca de Veracruz, México", P.R.I.G
1123, IG-49, Informe Técnico Interno PEMEX Exploración y Producción

Meneses de Gyves J, 1953; "Condiciones estratigráficas de los sedimentos terciarios en
la Cuenca de Veracruz" Bol. AMGP, v.5, p.105-112.

Moore, G.W., y del Castillo, L, 1974; "Tectonic Evolution of the southern Gulf of Mexico";
Geological Society of America Bulletin, v.85, p. 607-618.

Mossman R.W, y F. Viniegra, 1976; "Complex Fault Structures in the Veracruz Province
of Mexico"; AAPG Bulletin, v. 60, p.379-388.

Norrish K. and Hutton J.T., 1969 " An achúrate X-ray spectrographic method for de
analysis of a wide range of geological samples: Geochim. Cosmochim. Acta, v.33 p.431-
454.

Olivas, M.R, 1953; Influencia del Macizo de Teziutlán sobre los sedimentos Mesozoicos y
terciarios y posibilidades petroleras de estos"; Bol. AMGP, v.5, p.167-176.

Padilla R. S, 2003; "Tabla de Secuencias Biocronoestratigáficas para la Cuenca Terciaria
de Veracruz ", Informe Técnico Interno PEMEX Exploración y Producción

Peck L. C.,1964 " Systematic análisis of silicates: U.S.Geolog. Surv.Bull.1170, 89p.

PEMEX-IMP-AMOCO, 1995; "Estudio del Cinturón Plegado y Cabalgado de Zongólica y
de la Cuenca Terciaria de Veracruz", Informe Técnico Interno PEMEX Exploración y
Producción

PEMEX-AGI, 1999 "Generación de Prospectos Campos Cocuite-Novillero-Mirador-Veinte.
Informe Técnico Interno PEMEX Exploración y Producción

PEMEX- SCHULMBERGER, 2003; "Estudio de Caracterización de la Secuencia LS-MS-6.98 Campo Playuela"; Informe Técnico Interno PEMEX Exploración y Producción

PEMEX-BEG, 2001, "Study of evaluation of Tertiary Plays of the central and Sotheastern Mexico Basins" , Informe Técnico Interno PEMEX Exploración y Producción

PEMEX-CORELAB, 2002; "Informe final de Petrografía del Pozo Cocuite-402", Informe Técnico Interno PEMEX Exploración y Producción

PEMEX-CORELAB, 2001; "Informe final de Petrografía del Pozo Playuela-1" Informe Técnico Interno PEMEX Exploración y Producción

PEMEX-CORELAB, 2002; "Informe final de Petrografía del Pozo Cocuite-412" Informe Técnico Interno PEMEX Exploración y Producción

PEMEX-CORELAB, 2002; "Informe final de Petrografía del Pozo Clis-1" Informe Técnico Interno PEMEX Exploración y Producción

PEMEX-CORELAB, 2002; "Informe final de Petrografía del Pozo Playuela-601" Informe Técnico Interno PEMEX Exploración y Producción

PEMEX-CORELAB, 2002; "Informe final de Petrografía del Pozo Playuela-101" Informe Técnico Interno PEMEX Exploración y Producción

PEMEX-CORELAB, 2002; "Informe final de Petrografía del Pozo Playuela-201" Informe Técnico Interno PEMEX Exploración y Producción

PEMEX-CORELAB, 2002; "Informe final de Petrografía del Pozo Playuela-301" Informe Técnico Interno PEMEX Exploración y Producción

PEMEX-CORELAB, 2002; "Informe final de Petrografía del Pozo Carilo-1" Informe Técnico Interno PEMEX Exploración y Producción

PEMEX-CORELAB, 2003; "Informe final de Petrografía del Pozo Vistoso-1" Informe Técnico Interno PEMEX Exploración y Producción

PEMEX-CORELAB, 2003; "Informe final de Petrografía del Pozo Vistoso-63"
Informe Técnico Interno PEMEX Exploración y Producción

Pindell, J.L. and Dewey, J.F. 1988; "Permo-Triassic reconstruction of western Pangea and the Evolution of the Gulf of Mexico/Caribbean region"; *Tectonics*, v.1, p. 79-211.

Pirrie D, 1991; "Controls on the Petrographic Evolution of an active margin sedimentary sequence: the Larsen Basin, Antarctica."; *Geological Society Special Publication No 57* p. 231-249.

Rivera S., Martínez M., Flores F., 2003; "Secuencia de Relleno de Canales del Mioceno Medio Tardío en el Campo Cocuite". Informe final pozo Cocuite 419. Informe Técnico Interno PEMEX Exploración y Producción

Roser B y Korsch J, 1986, " Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio, *The Journal of Geology*, v,94,p,635'650.

Salvador A, 1991;" The Gulf of México Basin"; *Geological Society of America*, p.389-444.

Schawab.F.L, 1975; "Framerwork mineralogy and chemical composition of continental margin- type sandstones"; *Geology*. v.3, p. 487-490.

Taylor. S.R., 1979; "Chemical Composition and evolution of continental crust: the rare earth element evidence", i Mc Ellinney, M.W, ed., *The Earth: its Origin Structure and Evolution*: New York Academic Press, p.353-376.

Valloni. R J.B, 1981; " Detrital modes of recent deep sea and their relation to tectonic setting: a first approximation". *Sedimentology*, v. 28, p 75-83.

Van Siclen, D.C, 1984; "Early Opening of initially-closed Gulf of Mexico and Central North Atlantic Ocean" *Gulf coast Association of geological Societies Transactions*, v.34, p. 265-275.

Viniegra, OF, 1950.; "Breve análisis geológico de la Llamada Cuenca de Veracruz: Bol AMGP v.2, p.281-290.

Viniegra, O.F, 1965; "Geología del Macizo de Teziutlán y de la Cuenca Cenozoica de Veracruz"; Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol., v.17, p. 101-163.

Zuffa G. 1985; "Optical Analyses of Arenites: Influence of Methodology on Compositional Results"; by Reidel Publishing Company, p.165-189.

Zuffa G,1991; "On the Use of Turbidite Arenites in Provenance Studies: Critical Remarks"; Geological Society Special Publication No.57 p. 23-29.

BASE DE DATOS GEOQUIMICA VALORES NORMALIZADOS

POZO	MUESTRA	EDAD	LITOLOGIA	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	SiO ₂	TiO ₂	NORMALIZADOS	K ₂ O/Na ₂ O	F ₂ O ₃ +MnO	Al ₂ O ₃ /SiO ₂	Al ₂ O ₃ /(Na ₂ O+CaO)	Fe ₂ O ₃ +MgO	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Na ₂ O+K ₂ O
play-201		MS-6.98	arenisca	7.41	16.60	3.17	1.36	1.54	0.05	2.18	0.10	0.660	66.59	0.35	100.0	0.62	4.71	0.11	0.39	4.71	13.50	3.54
coc-427		MS-6.98	arenisca	7.17	26.22	2.91	1.80	1.21	0.08	2.24	0.11	1.030	56.98	0.25	100.0	0.80	4.12	0.13	0.25	4.12	13.95	4.04
coc-427		MS-6.98	arenisca	7.07	26.46	2.71	1.77	1.12	0.08	1.93	0.11	1.120	57.37	0.25	100.0	0.92	3.83	0.12	0.25	3.83	14.14	3.70
play201		MS-6.98	lutita	10.76	16.63	5.27	1.97	3.22	0.05	2.32	0.15	1.030	58.12	0.47	100.0	0.85	8.49	0.19	0.57	8.49	9.29	4.29
play210		MS-6.98	lutita	13.35	17.88	6.14	2.35	2.38	0.05	1.54	0.15	1.610	54.09	0.48	100.0	1.53	8.52	0.25	0.69	8.52	7.49	3.89
play210		MS-6.98	lutita	13.04	19.42	5.94	2.52	2.50	0.06	1.69	0.16	1.830	52.37	0.47	100.0	1.49	8.44	0.25	0.62	8.44	7.67	4.21
play210		MS-6.98	lutita	13.03	18.14	5.68	2.44	2.44	0.05	1.84	0.15	1.520	54.22	0.48	100.0	1.33	8.12	0.24	0.65	8.12	7.67	4.28
coc427		MS-6.98	lutita	9.22	22.61	4.06	2.06	1.64	0.07	2.13	0.13	1.380	56.40	0.31	100.0	0.97	5.70	0.16	0.37	5.70	10.85	4.19
play601		MM-11.7	arenisca	9.30	7.76	2.01	1.82	0.90	0.04	3.10	0.08	0.870	73.86	0.26	100.0	0.59	2.91	0.13	0.88	2.91	10.75	4.92
play601		MM-11.7	arenisca	10.39	6.24	3.05	2.06	0.99	0.08	3.21	0.13	0.650	72.93	0.26	100.0	0.64	4.04	0.14	1.10	4.04	9.62	5.27
play1		MM-11.7	arenisca	10.91	6.77	2.98	2.15	0.95	0.05	3.22	0.11	0.350	72.10	0.41	100.0	0.67	3.93	0.15	1.09	3.93	9.17	5.37
play-1		MM-11.7	arenisca	9.98	6.31	2.16	2.03	0.78	0.04	3.09	0.10	0.390	74.72	0.39	100.0	0.66	2.94	0.13	1.06	2.94	10.02	5.12
play-1		MM-11.7	arenisca	9.52	6.69	3.43	1.90	1.08	0.07	2.90	0.11	0.350	73.57	0.39	100.0	0.66	4.51	0.13	0.99	4.51	10.51	4.80
play-1		MM-11.7	arenisca	9.03	5.96	2.72	1.82	0.83	0.04	2.84	0.09	0.320	75.95	0.40	100.0	0.64	3.55	0.12	1.03	3.55	11.07	4.66
coc402		MM-11.7	arenisca	10.07	12.14	2.42	2.15	1.01	0.03	2.43	0.08	1.320	67.53	0.31	99.5	0.88	3.43	0.15	0.69	3.43	9.88	4.58
clis-1		MM-11.7	arenisca	8.72	8.86	1.66	1.93	0.86	0.02	2.61	0.07	0.750	74.23	0.28	100.0	0.74	2.52	0.12	0.76	2.52	11.47	4.54
coc-412		MM-11.7	arenisca	7.27	14.06	1.89	1.63	1.38	0.04	2.09	0.07	1.130	70.25	0.21	100.0	0.78	3.27	0.10	0.45	3.27	13.76	3.72
play601		MM-11.7	lutita	12.60	13.97	4.78	2.59	2.71	0.05	2.06	0.14	1.240	59.44	0.43	100.0	1.26	7.49	0.21	0.79	7.49	7.94	4.65
play1		MM-11.17	lutita	13.52	10.68	4.53	2.67	2.50	0.07	2.77	0.16	0.720	61.89	0.51	100.0	0.96	7.03	0.22	1.01	7.03	7.40	5.44
play1		MM-11.7	lutita	11.58	19.24	4.62	2.25	2.84	0.05	2.32	0.13	1.540	54.92	0.50	100.0	0.97	7.46	0.21	0.54	7.46	8.63	4.57
play1		MM-11.7	lutita	12.73	23.56	4.84	2.32	2.43	0.06	2.38	0.16	2.330	48.20	0.45	99.5	0.97	7.27	0.26	0.49	7.27	7.81	4.70
play1		MM-11.7	limolita	12.28	9.81	5.07	2.52	2.53	0.07	2.64	0.16	0.490	63.93	0.49	100.0	0.95	7.60	0.19	0.99	7.60	8.14	5.16
coc402		MM-11.7	lutita	13.68	17.47	5.92	2.91	2.91	0.07	2.24	0.16	1.370	52.73	0.54	100.0	1.30	8.83	0.26	0.69	8.83	7.31	5.15
clis		MM-11.7	lutita	14.77	13.97	6.67	3.12	3.41	0.05	1.86	0.14	1.430	54.03	0.54	100.0	1.68	10.08	0.27	0.93	10.08	6.77	4.98
coc412		MM-11.7	lutita	11.19	23.33	5.30	2.36	2.50	0.04	1.55	0.14	3.130	50.01	0.45	100.0	1.52	7.80	0.22	0.45	7.80	8.94	3.91
coc412		MM-11.7	limolita	8.40	14.73	3.37	1.67	1.57	0.07	2.28	0.11	1.450	65.97	0.38	100.0	0.73	4.94	0.13	0.49	4.94	11.90	3.95
coc412		MM-11.7	limolita	9.22	22.61	4.06	2.06	1.64	0.07	2.13	0.13	1.380	56.40	0.31	100.0	0.97	5.70	0.16	0.37	5.70	10.85	4.19

BASE DE DATOS DICKINSON

POZO	EDAD	Q	Ftotal	L	Qm	Ftotal	Lt	Fk	Fp	Qp	
Playuela-1	Mioceno Medio (1)	48.7	26.2	25.1	30.7	26.2	44.7	9.8	16.4	16.4	
	Mioceno Medio (1)	51.4	25.3	23.3	25.1	25.3	53.9	8.3	17.0	22	
	Mioceno Medio (1)	42.5	32.8	24.7	26.6	32.8	42.7	13.8	19.0	13.8	
	Mioceno Medio (1)	46.8	31.7	21.5	33.7	31.7	38.5	9.8	21.9	9.2	
	Mioceno Medio (1)	47.5	30.0	22.5	34.0	30.0	37.1	10.0	20.0	12.4	
	Mioceno Medio (1)	51.0	27.9	21.1	32.5	27.9	42.0	10.4	17.5	16.1	
	Mioceno Medio (1)	48.8	32.7	18.5	34.3	32.7	33.5	8.6	24.1	14	
	Mioceno Medio (1)	50.0	32.1	17.9	40.1	32.1	28.8	10.9	21.2	8.9	
	Mioceno Medio (1)	56.0	27.1	16.9	45.3	27.1	29.1	9.7	17.4	9.2	
	Mioceno Medio (1)	50.8	29.4	19.8	33.3	29.4	39.0	9.6	19.8	15.8	
Playuela-601	Mioceno Medio (1)	43.8	26.0	30.2	25.7	26.0	50.6	8.8	17.2	15.8	
	Mioceno Medio (1)	45.9	22.3	31.8	28.1	22.3	53.6	5.2	17.1	13.8	
	Mioceno Medio (1)	41.4	23.4	35.2	28.7	23.4	50.0	6.1	17.3	10.6	
	Mioceno Medio (1)	34.1	29.1	36.8	27.4	29.1	43.9	5.1	24.0	6.3	
	Mioceno Medio (1)	38.1	27.3	34.6	25.7	27.3	49.5	5.3	22.0	9.9	
	Mioceno Medio (1)	41.9	23.6	34.5	27.4	23.6	51.4	6.4	17.2	12.1	
	Mioceno Medio (1)	34.7	29.1	36.2	26.7	29.1	45.2	2.8	26.3	7	
	Mioceno Medio (1)	33.6	30.2	36.2	23.0	30.2	48.5	7.6	22.6	8.9	
	Mioceno Medio (1)	36.7	36.4	26.9	22.5	36.4	42.9	12.0	24.4	12.4	
	Mioceno Medio (1)	31.6	33.5	34.9	20.4	33.5	47.8	9.5	24.0	9.5	
Playuela-101	Mioceno Medio (1)	38.4	28.8	32.5	24.0	28.8	48.8	6.1	22.7	12.8	
	Mioceno Medio (1)	48.0	19.3	32.7	25.9	19.3	57.7	5.3	14.0	19.2	
			961.7		390.0		641.1		755.1		181.1
									443.1		276.1
	Playuela-201	Mioceno Sup (6.9)	24.9	20.6	54.4	17.3	20.6	63.1	6.5	14.1	6.5
		Mioceno Sup (6.9)	26.5	13.2	60.3	18.6	13.2	73.4	4.8	8.4	2.7
		Mioceno Sup (6.9)	28.3	11.4	62.3	16.6	11.4	76.6	4.1	7.3	5.1
		Mioceno Sup (6.9)	28.0	11.6	62.4	18.0	11.6	73.6	3.7	7.9	4.8
		Mioceno Sup (6.9)	29.8	12.8	57.4	21.3	12.8	70.7	4.3	8.5	3.68
		Mioceno Sup (6.9)	24.6	11.2	64.2	16.0	11.2	77.1	3.7	7.5	4.3
Mioceno Sup (6.9)		26.0	15.8	58.2	20.1	15.8	67.9	6.0	9.8	2.1	
Mioceno Sup (6.9)		26.5	15.4	58.1	18.2	15.4	70.9	5.5	9.9	3.8	
Playuela-301	Mioceno Superior	25.0	16.6	58.4	24.5	16.6	58.9	5.5	11.1	0.5	
	Mioceno Superior	25.5	16.5	58.0	22.6	16.5	62.6	3.4	13.1	1.2	
	Mioceno Superior	27.9	13.2	58.9	21.6	13.2	70.4	2.7	10.5	1.06	
	Mioceno Superior	27.2	12.9	59.9	21.6	12.9	69.3	2.7	10.2	1.35	
	Mioceno Superior	26.0	13.1	60.9	16.3	13.1	78.2	2.8	10.3	2.1	
	Mioceno Superior	22.5	11.6	65.9	14.5	11.6	78.7	2.0	9.6	3.2	
	Mioceno Superior	24.3	11.0	64.7	13.9	11.0	80.3	2.3	8.7	5.2	
Playuela-301	Mioceno Superior	20.9	10.5	68.6	14.6	10.5	78.5	4.2	6.3	2.7	
	Mioceno Superior	21.0	11.4	67.6	16.8	11.4	74.9	2.0	9.4	1.1	
	Mioceno Superior	22.7	17.4	59.9	20.4	17.4	64.1	4.5	12.9	0.4	
	Mioceno Superior	23.2	16.2	57.7	19.8	19.2	62.3	7.3	11.9	2.2	
Carilo-1	Mioceno Superior	17.7	11.9	70.4	7.2	11.9	85.0	3.7	8.2	6.4	
	Mioceno Superior	20.1	13.6	66.3	11.1	13.6	79.6	2.5	11.1	4.7	
	Mioceno Superior	15.3	10.7	74.0	7.4	10.7	87.4	3.8	6.9	2.4	
		476.7		392.2		352.9		585.8		78.0	
								187.4		53.99	
Cocuite-402	Mioceno Medio (1)	29.6	33.9	36.4	23.0	33.9	43.0	9.5	24.4	6.6	
Cocuite-412	Mioceno Medio (1)	32.1	23.5	44.4	26.2	23.5	50.7	5.4	18.1	5	
	Mioceno Medio (1)	36.6	21.3	42.1	25.6	21.3	54.5	5.7	15.6	10	
	Mioceno Medio (1)	31.3	13.6	55.1	24.2	13.6	65.9	2.5	11.1	3	
	Mioceno Medio (1)	29.9	26.3	43.8	25.2	26.3	50.0	7.3	19.0	3	
	Mioceno Medio (1)	40.4	17.4	42.2	32.1	17.4	50.6	2.7	14.7	8	