

**CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y RADIOMÉTRICA DE UNA SECCIÓN
DEL EOCENO EN EL SUBSUELO DEL LAGO DE MARACAIBO.
CUENCA DE MARACAIBO, ESTADO ZULIA**

INGENIERO GEÓLOGO MANUEL SERRANO ALVAREZ

**TRABAJO DE TESIS DE MAESTRÍA PRESENTADO A LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE MAGISTER SCIENTIARUM EN CIENCIAS
GEOLÓGICAS**

CARACAS, MAYO 2003

© MANUEL SERRANO ALVAREZ. 2003

Hecho el depósito de ley

Depósito Legal N°. Ift487200355119

I. ÍNDICE

	Página
RESUMEN	I
1. INTRODUCCIÓN	1-1
1.1. OBJETIVOS Y ALCANCES	1-1
1.1.1 Objetivos específicos	1-1
1.2. ÁREA DE ESTUDIO	1-2
1.3. METODOLOGÍA DE TRABAJO	1-4
1.3.1. Criterios de selección	1-4
1.3.2. Metodología y equipos analíticos utilizados	1-5
1.3.2.1. Análisis químicos	1-5
1.3.2.2. Radiometría	1-6
2. MARCO TEÓRICO	2-1
2.1. GEOQUÍMICA DE ROCAS SEDIMENTARIAS	2-1
2.1.1. Introducción	2-1
2.1.2. Composición química de las rocas sedimentarias	2-2
2.2. QUIMIOESTRATIGRAFÍA	2-7
2.2.1. Importancia	2-7
2.2.2. Antecedentes	2-8
2.2.3. Clasificación Litológica	2-12
2.3. Fluorescencia de Rayos X	2-15
2.4. Radioactividad en las rocas sedimentarias	2-17
2.4.1. Introducción	2-17
2.4.2. Contenido de U y Th en rocas sedimentarias	2-18
2.5. Significado geológico de los elementos químicos y sus combinaciones	2-22
ANÁLISIS ESTADÍSTICO	3-1
3.1. ESTADÍSTICA UNIVARIABLE	3-1
3.1.1. Diagramas de caja (Box Plots)	3-1
3.1.2. Diagramas de dispersión	

	Página
3.2. ESTADÍSTICA MULTIVARIABLE	3-3
3.2.1. Análisis de agrupaciones	3-3
3.2.2. Funciones discriminantes	3-6
4. GEOLOGÍA REGIONAL	4-1
4.1 MARCO TECTÓNICO Y ESTRATIGRÁFICO REGIONAL	4-1
Sedimentación Cretácica	4-1
Sedimentación Terciaria	4-7
4.2. NOMENCLATURA ESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN MISOA	4-13
4.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL	4-15
5. GEOLOGÍA LOCAL	5-1
5.1. ESTRATIGRAFÍA	5-1
5.2. ASOCIACIONES DE FACIES	5-6
5.3. ESTRUCTURA	5-13
6. CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA Y RADIOMÉTRICA	6-1
6.1. DEFINICIÓN ESTRATIGRÁFICA	6-1
6.1.1. Introducción	6-1
6.1.2. El uso del análisis químico y radiométrico en la definición de marcadores e intervalos estratigráficos	6-2
6.1.2.1 Introducción	6-2
6.1.2.2. Marcadores estratigráficos	6-3
6.1.2.3. Intervalos estratigráficos	6-19
6.1.3. Variabilidad composicional	6-38
6.1.3.1. Diagramas de dispersión	6-39
6.1.3.2. Diagramas de caja	6-51
6.1.3.3 Diagramas Ternarios	6-64
6.1.3.4. Clasificación litológica	6-69
6.1.4 Funciones discriminantes	6-77

	Página
6.1.4.1. Funciones discriminantes en la diferenciación de ambientes de sedimentación e intervalos estratigráficos (composición química y radiométrica)	6-78
7. CALIDAD DE ROCA	7-1
7.1. POROSIDAD	7-1
7.2. PERMEABILIDAD	7- 4
7.3. ARCILLOSIDAD	7-7
8. CONCLUSIONES	8-1
9. RECOMENDACIONES	9-1
10. BIBLIOGRAFÍA	10-1

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1. Ubicación regional del área estudiada	1-3
Figura 1.2. Mapa de ubicación del área LL453, y de los pozos con núcleos.	1-4
Figura 1.3. Espectro gamma mostrando las ventanas de medición del Exploranium.	1-7
Figura 2.1. Campos composicionales de la clasificación litológica de Herron (1988).	2-14
Figura 2.2. Ejemplo del espectro obtenido al analizar una muestra de roca.	2-17
Figura 3.1. Elementos de los diagramas de caja.	3-2
Figura 3.2. Dendograma del pozo LL773, generado con el programa NCSS 2000.	3-5
Figura 3.3. Dendograma del pozo LL773, generado con el programa MVSP.	3-6
Figura 3.4. Gráfico de clasificación por ambientes generado con el modulo de funciones discriminantes del paquete NCSS.	3-8
Figura 4.1. Paleogeografía del occidente de Venezuela durante el Jurásico.	4-2
Figura 4.2. Cuadro de correlación cronoestratigráfica regional.	4-3
Figura 4.3. Fragmento de roca volcánica en una arenisca de la Formación Río Negro.	4-4
Figura 4.4. Paleogeografía del occidente de Venezuela durante el Albiense.	4-5
Figura 4.5. Patrón de migración de la cuenca antepaís desde el Paleoceno hasta el Eoceno Medio.	4-9
Figura 4.6. Registro del pozo BA2100, mostrando los dos ciclos sedimentarios de origen tectónico desarrollados en la Formación Misoa.	4-11
Figura 4.7. Columna estratigráfica del Lago de Maracaibo, mostrando la nomenclatura usada en la descripción de la Formación Misoa.	4-14
Figura 4.8. Estilos estructurales actuales en el subsuelo del Lago de Maracaibo	4-17
Figura 5.1. Mapa base del área estudiada con ubicación de pozos con núcleos.	5-2
Figura 5.2. Estratigrafía del intervalo B-7-X / B-8-X.	5-4
Figura 5.3. Distribución del intervalo 5, el cual desaparece en dirección sureste.	5-5
Figura 5.4. Principales cementos autigénicos observados en los canales distributarios.	5-8

	Página
Figura 5.5. Grano de feldespato parcialmente alterado.	5-9
Figura 5.6. Intervalo heterolítico predominantemente arenoso.	5-6
Figura 5.7. Mapa estructural del área LL453.	5-14
Figura 6.1. Determinación de superficies de erosión para el pozo LL773.	6-5
Figura 6.2. Determinación de superficies de erosión para el pozo LL806.	6-7
Figura 6.3. Determinación de superficies de erosión para el pozo LL832.	6-7
Figura 6.4. Determinación de superficies de erosión para el pozo LL850.	6-8
Figura 6.5. Determinación de superficies de erosión para el pozo LL869.	6-8
Figura 6.6. Determinación de superficies de erosión para el pozo LL965.	6-9
Figura 6.7. Determinación de superficies de erosión para el pozo LL967.	6-10
Figura 6.8. Determinación de superficies de erosión para el pozo LL3045.	6-11
Figura 6.9. Perfil radiométrico para el pozo LL773.	6-15
Figura 6.10. Perfil radiométrico para el pozo LL806.	6-16
Figura 6.11. Perfil radiométrico para el pozo LL832.	6-16
Figura 6.12. Perfil radiométrico para el pozo LL850.	6-17
Figura 6.13. Perfil radiométrico para el pozo LL869.	6-17
Figura 6.14. Perfil radiométrico para el pozo LL965.	6-18
Figura 6.15. Perfil radiométrico para el pozo LL967.	6-18
Figura 6.16. Perfil radiométrico para el pozo LL3045.	6-19
Figura 6.17. Dendograma para el pozo LL773 elaborado con el programa MVSP.	6-21
Figura 6.18. Dendogramas para el pozo LL967 elaborado con el programa MVSP.	6-22
Figura 6.19. Dendogramas para el pozo LL3045 elaborado con el programa MVSP.	6-23
Figura 6.20. Dendograma para el pozo LL945 elaborado con el programa MVSP.	6-25
Figura 6.21. Dendograma para el pozo LL850 elaborado con el programa MVSP.	6-25
Figura 6.22. Dendograma para el pozo LL869 elaborado con el programa MVSP.	6-26
Figura 6.23. Dendograma para el pozo LL806 elaborado con el programa MVSP.	6-27
Figura 6.24. Dendograma para el pozo LL965 elaborado con el programa MVSP.	6-28
Figura 6.25. Dendograma para el pozo LL832 elaborado con el programa MVSP.	6-34
Figura 6.26. Superficie erosiva definida por la ichnofacies de <i>Glossifungites</i> .	6-35

	Página
Figura 6.27. Etapas en la formación de una superficie de <i>Glossifungites</i> .	6-36
Figura 6.28. Grano de feldespato parcialmente alterado.	6-46
Figura 6.29. Minerales ricos en Titanio identificados con el EDX.	6-46
Figura 6.30A. Diagramas de caja como elemento diferenciador de ambientes.	6-51
Figuras 6.30 B y C. Diagramas de caja como elemento diferenciador de ambientes.	6-52
Figura 6.31. Arenisca calcárea asociada a ambientes de bahías interdistributarias, con clastos y hojuelas de arcilla. Pozo LL3045 (6209').	6-55
Figuras 6.32 A y B. Diagramas de caja de las variables radiométricas en la diferenciación de ambientes sedimentarios.	6-57
Figuras 6.33 A y B. Diagramas de caja de las variables químicas en la diferenciación de intervalos estratigráficos.	6-59
Figuras 6.33 C. Diagramas de caja de las variables químicas en la diferenciación de intervalos estratigráficos.	6-60
Figuras 6.34 A y B. Diagramas de caja de las variables radiométricas en la diferenciación de intervalos estratigráficos.	6-61
Figura 6.35. Diagramas ternarios para el sistema $Al_2O_3/Fe_2O_3/K_2O$.	6-67
Figura 6.36. Diagramas ternarios para el sistema $Al_2O_3/Fe_2O_3/K_2O$. Aplicado al ambiente de marismas.	6-68
Figura 6.37. Clasificación litológica para el intervalo 1.	6-69
Figura 6.38. Clasificación litológica para el intervalo 2.	6-70
Figura 6.39. Clasificación litológica para el intervalo 3.	6-70
Figura 6.40. Clasificación litológica para el intervalo 4.	6-71
Figura 6.41. Clasificación litológica para el intervalo 5.	6-71
Figura 6.42. Clasificación litológica para el intervalo 6.	6-72
Figura 6.43. Clasificación litológica para el intervalo 7.	6-72
Figura 6.44. Clasificación litológica para el intervalo 8.	6-73
Figura 6.45. Clasificación litológica para el intervalo 9.	6-73

	Página
Figura 6.46. Discriminación de ambientes e intervalos estratigráficos en los pozos LL3045 y LL773.	6-79
Figura 6.47. Discriminación de ambientes e intervalos estratigráficos en los pozos LL806 y LL832.	6-80
Figura 6.48. Discriminación de ambientes e intervalos estratigráficos en los pozos LL850 y LL965.	6-80
Figura 6.49. Discriminación de ambientes e intervalos estratigráficos en los pozos LL967 y LL869.	6-81
Figura 6.50. Discriminación de ambientes e intervalos estratigráficos en los pozos LL3045 y LL773.	6-83
Figura 6.51. Discriminación de ambientes e intervalos estratigráficos en los pozos LL806 y LL832.	6-84
Figura 6.52. Discriminación de ambientes e intervalos estratigráficos en los pozos LL850 y LL965.	6-84
Figura 6.53. Discriminación de ambientes e intervalos estratigráficos en los pozos LL967 y LL869.	6-85
Figura 6.54. Discriminación química y radiométrica de ambientes e intervalos estratigráficos en el pozo LL945.	6-85
Figura 6.55. Discriminación de ambientes en los pozos LL3045, LL773, LL832, y LL850.	6-88
Figura 6.56. Discriminación de ambientes para los pozos LL806, LL945, LL965, y LL967.	6-89
Figura 6.57. (a) Discriminación de ambientes para el pozo LL869. (b) discriminación de ambientes usando todos los pozos y excluyendo el LL832 el cual no posee descripción sedimentológica.	6-90
Figura 6.58. Clasificación de cada una de las muestras disponibles del pozo LL832, usando las funciones discriminantes obtenidas con la clasificación mostrada en la figura 6.57.b y las ecuaciones de la tabla 6.15.	6-94
Figura 6.59. Discriminación de intervalos en los pozos LL3045, LL773, LL806 y LL832.	6-96

	Página
Figura 6.60. Discriminación de intervalos en los pozos LL850, LL945, LL965 y LL967.	6-96
Figura 6.61. Discriminación de intervalos en el pozo LL869.	6-97
Figura 6.62. Discriminación de intervalos estratigráficos 1, 2, 3, y 4 por pozo.	6-98
Figura 6.63. Discriminación de intervalos estratigráficos 5, 6, 7, y 8 por pozo.	6-99
Figura 6.64. Discriminación del intervalo 9 por pozo.	6-99
Figura 7.1. Triángulo de estabilidad mineralógica de las areniscas de acuerdo a su composición detrital.	7-2
Figura 7.2. Distribución de porosidades por intervalo.	7-3
Figura 7.3. Porosidad secundaria por disolución de granos y matriz.	7- 4
Figura 7.4. Gráficos compuestos para los pozos LL967 y LL806, en donde se compara índice de madurez textural y la permeabilidad de los intervalos.	7-6
Figura 7.5. Gráficos compuestos para los pozos LL850 y LL773, en donde se compara el índice de madurez textural y la permeabilidad de los intervalos.	7-7
Figura 7.6. Registro compuesto donde se compara la respuesta radiométrica con el índice de madurez textural en el pozo LL832.	7-8
Figura 7.7. Registro compuesto donde se compara la respuesta radiométrica con el índice de madurez textural.	7-9
Figura 7.8. Registro compuesto en donde se puede observar la correlación entre el perfil radiométrico y el químico y como estos reflejan la variabilidad vertical de litologías presentes en el pozo.	7-10

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 2.1. Composición química promedio de las rocas sedimentarias (% en peso).	2-3
Tabla 2.2. Comparación entre la composición química de arenas de ríos modernos con la composición promedio de areniscas propuesta por CLARKE (1924) publicada por MASON (1958).	2-4
Tabla 2.3. Comparación entre la composición química de arenas de ríos modernos, de un sistema fluvial antiguo, de canales distributarios y barras de desembocadura antiguas.	2-5
Tabla 2.4. Contenido de U y Th en rocas sedimentarias.	
Tabla 5.1. Contenido de minerales de arcilla en % en peso en muestras de los intervalos indicados, determinados por DRX. Datos de CORELAB (1996).	5-12
Tabla 6.1. Valores del coeficiente de correlación “r” obtenidos en el pozo LL773.	6-39
Tabla 6.2. Valores del coeficiente de correlación “r” obtenidos en el pozo LL806.	6-40
Tabla 6.3. Valores del coeficiente de correlación “r” obtenidos en el pozo LL832.	6-40
Tabla 6.4. Valores del coeficiente de correlación “r” obtenidos en el pozo LL850.	6-41
Tabla 6.5. Valores del coeficiente de correlación “r” obtenidos en el pozo LL869.	6-41
Tabla 6.6. Valores del coeficiente de correlación “r” obtenidos en el pozo LL965.	6-42
Tabla 6.7. Valores del coeficiente de correlación “r” obtenidos en el pozo LL967.	6-42
Tabla 6.8. Valores del coeficiente de correlación “r” obtenidos en el pozo LL3045.	6-43
Tabla. 6.9. Valores críticos para el coeficiente de correlación “r”. Según SNEDECOR (1964).	6-43
Tabla. 6.10. Tabla resumen de valores de “r” obtenidos de las tablas anteriores.	6-44
Tabla 6.11. Relación entre “r” y profundidad para la correlación K ₂ O y Al ₂ O ₃ .	6-50
Tabla 6.12. Clasificación de las areniscas analizadas químicamente en este estudio.	6-75
Tabla 6.13. Porcentaje de aciertos usando diferentes combinaciones de variables en la discriminación de ambientes sedimentarios por pozo.	6-91
Tabla 6.14. Porcentaje de aciertos usando diferentes combinaciones de variables en la discriminación intervalos estratigráficos por pozo.	6-91

Tabla 6.16. Funciones discriminantes para diferenciar ambientes en el
área LL453.

6-92 y 6-93

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I. DATOS GEOQUÍMICOS Y RADIOMÉTRICOS

Anexo II. PERFILES GEOQUÍMICOS Y SECCIÓN ESTRATIGRÁFICA

Anexo III. DATOS DE PERMEABILIDAD Y POROSIDAD

Anexo IV. FUNCIONES DISCRIMINANTES

I. RESUMEN

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y RADIOMÉTRICA DE UNA SECCIÓN DEL EOCENO EN EL SUBSUELO DEL LAGO DE MARACAIBO, CUENCA DE MARACAIBO, ESTADO ZULIA

MANUEL SERRANO ALVAREZ

Se evaluó el potencial de la geoquímica de elementos mayoritarios y la radiometría en la definición estratigráfica de una sección del subsuelo de la Formación Misoa de edad Eoceno.

Los métodos analíticos usados en esta evaluación, fueron: el de fluorescencia de rayos X por energía dispersiva y la espectrometría de rayos gamma. Se analizaron 311 muestras obtenidas en 9 pozos con núcleos distribuidos en toda el área estudiada; en estas se determinó la concentración de los elementos químicos mayoritarios (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , CaO , K_2O , MgO , Fe_2O_3) y del V; además se midió la radioactividad natural en 8 ventanas del espectro gamma (γ_{total} , γF1 , $\gamma^{40}\text{K}$, γF2 , $\gamma^{214}\text{Bi}$, γF3 , $\gamma^{208}\text{Tl}$, y γF4).

Mediante el uso de herramientas estadísticas en el procesamiento de datos y con la elaboración de perfiles químicos y radiométricos, se identificaron en la sección estudiada, 9 intervalos estratigráficos con características químicas y radiométricas que los permiten diferenciar uno del otro, separados por superficies de inundación de extensión regional claramente distintivas.

Utilizando los índices $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$, se lograron identificar la presencia de superficies de erosión en los distintos pozos analizados; sólo el contacto erosivo entre B-6-X y B-7-X es el que presenta extensión regional, las otras son de carácter local en muchos casos debidas a la migración lateral de canales distributarios o de marea.

Se demostró en este trabajo el potencial que existe al combinar la geoquímica de elementos mayoritarios con variables radiométricas y el procesamiento estadístico de estos datos en la definición estratigráfica de un área, en donde se pueden diferenciar por sus características químicas y radiométricas los distintos ambientes sedimentarios presentes en una sección estratigráfica así como los distintos intervalos en los que esta se puede dividir, y que reflejan los distintos pulsos sedimentarios que ocurrieron en la cuenca.

Combinando las variaciones verticales del índice de madurez textural ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$), con valores de γ_{total} , y de permeabilidad obtenidos en los núcleos muestreados, se estableció gráficamente la relación existente entre estas variables y la calidad de las areniscas como almacenadoras y productoras de hidrocarburos.

Al no disponerse en un momento dado de suficiente información para la evaluación de una formación productora de hidrocarburos en un área dada; se puede determinar su potencial de producción utilizando la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y γ_{total} tal como se describe en el texto, para eso se debe de tener una caracterización química y radiométrica previa del área que permita hacer las calibraciones de estos parámetros con la calidad de roca yacimiento.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVOS Y ALCANCES

El objetivo principal de este trabajo, fue el de evaluar el potencial del uso de la geoquímica de componentes mayoritarios y la radiometría en la definición estratigráfica de un área, además de los otros usos que se le pudiera dar a esta combinación de herramientas en el análisis de una sección sedimentaria conocida; esto con el fin de desarrollar una metodología de análisis que pueda ser aplicada a secciones sedimentarias menos conocidas y con una disponibilidad de muestras mucho menor.

Esta evaluación se llevo a cabo caracterizando geoquímicamente y radiométricamente una sección del subsuelo de edad Eoceno medio – superior, abarcando los miembros B-6-X, B-7-X y B-8-X de la Formación Misoa en el área de producción de hidrocarburos LL453, ubicada en el campo Lagunillas del lago de Maracaibo. En esta área, se disponía de nueve pozos con núcleos que cubrían toda la sección estudiada, lo que permitía una buena caracterización geoquímica y radiométrica de esta.

1.1.1 Objetivos específicos

Este trabajo se enmarca dentro del macro proyecto: CONICIT Agenda Petróleo 97-003547 titulado “Caracterización química y radiométrica de secciones estratigráficas como herramienta de correlación geológica” y cuya finalidad, es el de caracterizar geoquímicamente y por espectrometría gamma, distintas secciones de unidades estratigráficas distribuidas por todo el país.

Los objetivos propuestos y alcanzados en este trabajo, se ajustan a la temática principal del proyecto CONICIT, siendo estos los siguientes;

- Determinar las características químicas y radiométricas del contacto entre B-6-X y B-7-X.

- A partir de los datos químicos obtenidos en este estudio, establecer la posibilidad de diferenciar unidades estratigráficas entre sí.
- Con los datos geoquímicos, identificar si existen variaciones químicas verticales en cada pozo que permitan establecer correlaciones estratigráficas entre cada uno de ellos.
- Identificar discontinuidades estratigráficas utilizando la información geoquímica y radiométrica.
- Definir marcadores geoquímicos que tengan distribución regional.
- Dar un significado geológico a las distintas relaciones existentes entre los componentes químicos.
- Clasificar los distintos tipos litológicos muestreados en cada pozo con la información geoquímica disponible y tratar de establecer la relación entre tipo litológico y capacidad de la roca para producir hidrocarburos.
- Con la información radiométrica y química, derivar funciones discriminantes que permitan diferenciar unidades estratigráficas y ambientes de sedimentación.

1.2. ÁREA DE ESTUDIO

La zona estudiada se ubica en el Campo Lagunillas en el área de producción LL453, en el subsuelo del lago de Maracaibo, Estado Zulia. Figuras 1.1 y 1.2.

El área LL453 es limitada al norte por una falla normal de buzamiento norte que la separa del área LL370, hacia el sur y sureste su límite es definido por un contacto regional de agua - petróleo; hacia el noroeste esta truncada por la discordancia del Eoceno (figura 1.2), en esta zona se ubican los nueve pozos con núcleos en los intervalos B-6-X, B-7-X, y B-8-X que fueron utilizados en este estudio (figura 1.2).

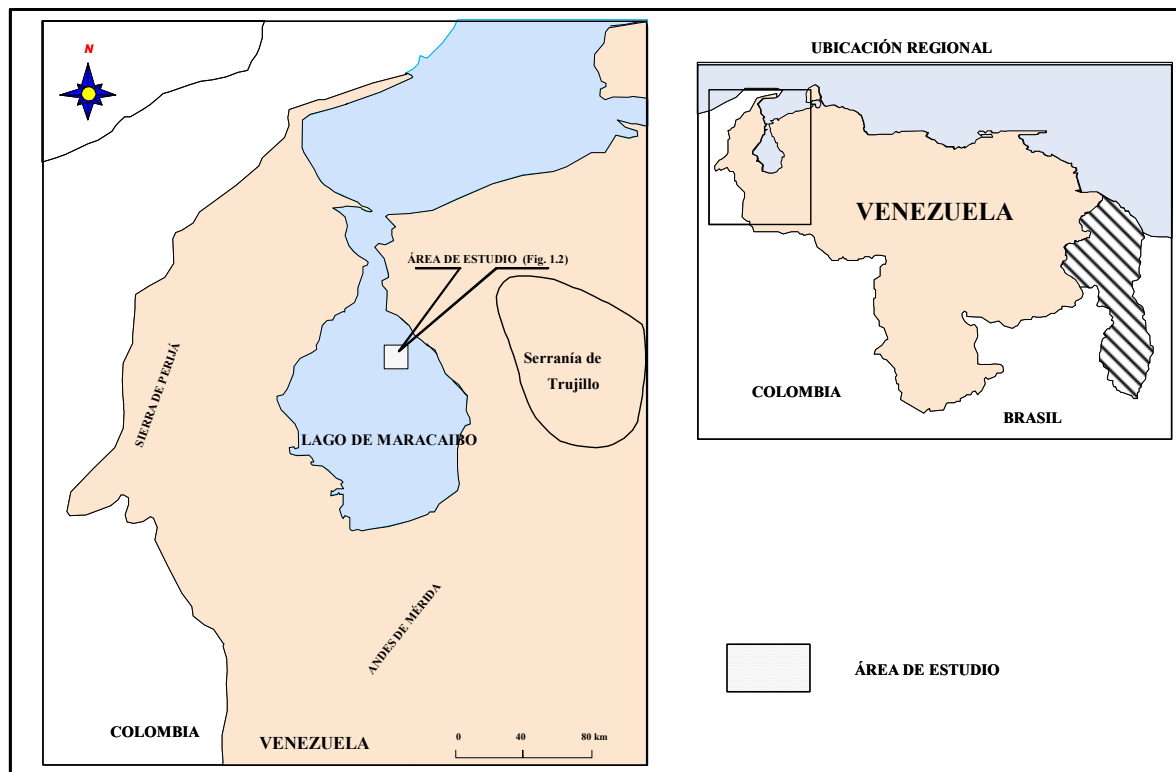


Figura 1.1. Ubicación regional del área estudiada.

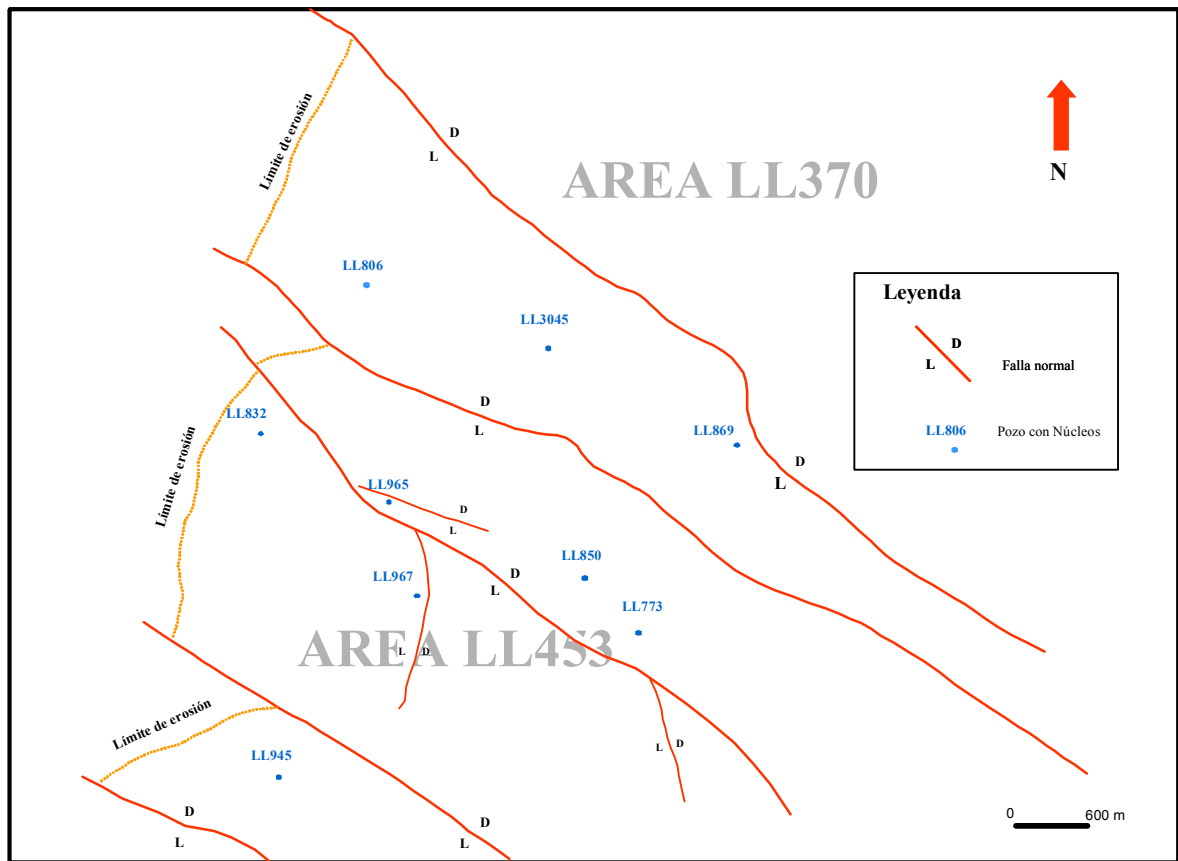


Figura 1.2. Ubicación del área LL453, mostrando sus límites y los pozos con núcleos.

1.3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

1.3.1. Criterios de selección

Como se deseaba evaluar el potencial de la geoquímica de componentes mayoritarios y la radiometría en un área del subsuelo, se establecieron algunas pautas previas necesarias en la escogencia de la zona a estudiar y estas incluían:

- Disponibilidad de suficientes pozos con núcleos en un mismo intervalo estratigráfico.
- Que estos pozos estuvieran distribuidos en toda la zona estudiada, lo que pudiera garantizar diferencias químicas y radiométricas laterales por efecto de los procesos de dispersión sedimentaria.

- Disponibilidad de descripción sedimentológica de los núcleos y de análisis convencionales de estos (porosidad y permeabilidad).
- El área a estudiar debe tener una sección bien definida desde el punto de vista estratigráfico, para así poder establecer diferencias o similitudes al correlacionar una sección por los métodos convencionales conocidos y al usar la concentración de óxidos mayoritarios y comportamiento radiométrico.

Es por los criterios arriba mencionados que se selecciono para este estudio el área LL453 en donde se disponían de nueve núcleos en una sección estratigráfica bien conocida (figura 1.2).

La sección estudiada incluye la parte basal de B-6-X, B-7-X, y B-8-X, de los cuales se disponían de suficientes núcleos.

1.3.2. Metodología y equipos analíticos utilizados

1.3.2.1. Análisis químicos

En el análisis químico, se utilizo el método de fluorescencia de rayos X por dispersión de energía, para lo cual se uso el equipo fabricado por la compañía Phillips cuya denominación comercial es MiniPal[®] modelo PW4025/00. Con este se pueden analizar hasta 12 muestras en un tiempo de 48 minutos y viene equipado con una computadora dotada de todos los programas necesarios para el procesamiento y almacenamiento de la información que se obtiene del MiniPal. El procedimiento para la calibración de este equipo, así como otras especificaciones técnicas, son descritas en detalle por MARTÍNEZ & CAMPOSANO (2000).

En este estudio se uso el MiniPal[®] en la determinación de la concentración de los siguientes componentes expresados en % en peso de sus óxidos mas comunes: Al₂O₃, SiO₂, CaO, K₂O, TiO₂, MnO, Fe₂O₃, MgO y V en ppm.

Las muestras a ser analizadas en este equipo, fueron previamente pulverizadas, y la cantidad necesaria para el análisis no fue mayor de 6 g.

La densidad de muestras tomadas en los núcleos para el análisis químico fue de una muestra cada 1,5 m como promedio. Durante el muestreo, se escogieron aquellas litologías que fueran mas bien de grano fino y estas incluían areniscas, lutitas e intervalos heterolíticos; esto es debido a que al tener estas rocas una uniformidad granulométrica, es más fácilmente que estas posean una distribución química más homogénea.

Tales distribuciones tienden a mantenerse por grandes distancias, lo que las hace muy útiles en correlaciones intracuenca. (PEARCE *et al.* 1999).

1.3.2.2. Radiometría

El equipo utilizado en la medición de las radiaciones gamma (γ) liberadas en la unidad de tiempo en las muestras analizadas en este estudio, fue un escintilómetro portátil marca Exploranium modelo GR-256; en el cual se registraba y analizaba el espectro gamma. El mismo consta de un cristal de destello de ioduro de sodio activado con talio [NaI (Tl)], debidamente protegido dentro de un cilindro de plomo con paredes de 5 cm. de espesor; consta además de un tubo fotomultiplicador capaz de detectar impulsos muy débiles de energía y convertirlos en impulsos eléctricos que luego podrán ser detectados por el registrador de equipo en forma de impulsos por segundo o cuentas por segundo (cps). El cristal de destello y el fotomultiplicador, están aislados del medio ambiente a través de una cápsula de plomo en donde se introducen las muestras a analizar.

El Exploranium, a diferencia de otros equipos, permite seleccionar ocho ventanas con un ancho de canal deseado y ubicarlas en cualquier lugar del espectro, lo que permite establecer regiones de interés y separarlas del resto de los canales de detección que este equipo es capaz de medir del espectro gamma. (MARTÍNEZ & CAMPOSANO (2000).

Para el análisis radiométrico de las muestras de este estudio, se seleccionaron dentro del espectro de radiación gamma ocho ventanas de energía restringidos identificadas como:

$\gamma F1$, γK^{40} , $\gamma F2$, γBi^{214} , $\gamma F3$, γTi^{208} , $\gamma F4$ y una ultima ventana que registra las γ_{totales} de la muestra medida. Figura 1.3 y tablas del anexo I.

Debido a la naturaleza de las radiaciones gamma, la respuesta de sus mediciones obedece a un decaimiento exponencial, por lo que a un Δt de medición mayor, mayor es el número de cuentas por segundo registrada o γ gamma. (MARTÍNEZ & CAMPOSANO *op cit.*).

Para un uso mas eficiente del equipo MARTÍNEZ & CAMPOSANO (2000) determinaron la cantidad optima de muestra en donde a partir de esta se estabilizaban los valores de cuentas por segundo (cps), siendo la misma de unos 150 g de muestra para un tiempo de medición de 480 segundos. En el análisis de las muestras de este trabajo se siguieron las recomendaciones propuestas por MARTÍNEZ & CAMPOSANO (*op cit.*).

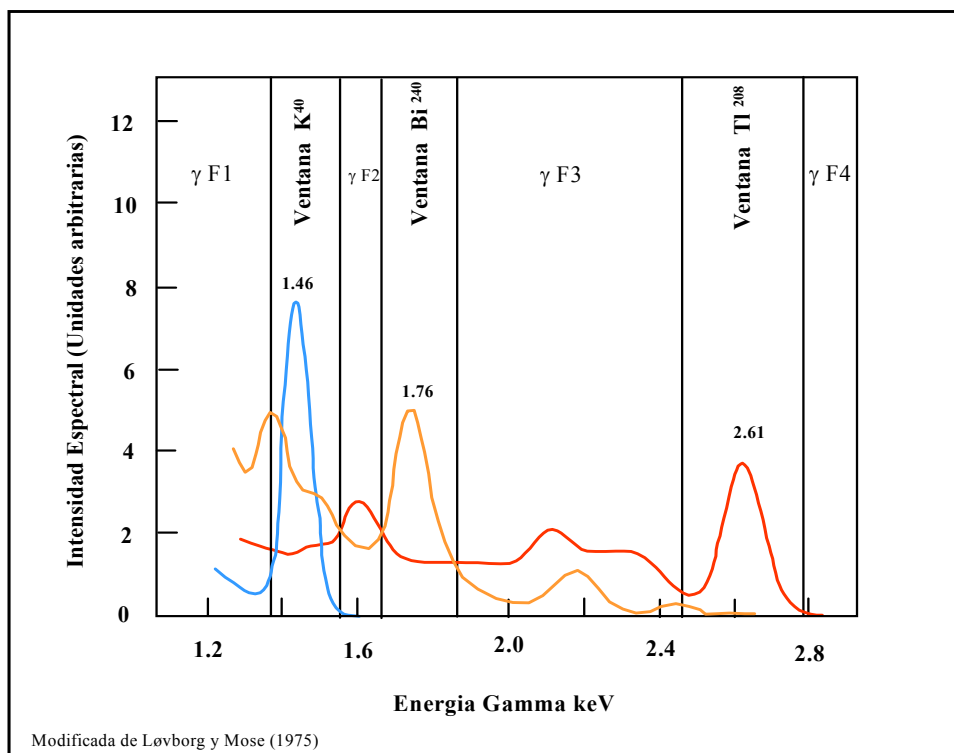


Figura 1.3. Espectro gamma donde se muestran las ventanas de medición del Exploranium.

1.4. AGRADECIMIENTOS

El suscrito desea expresar su agradecimiento a la Escuela de Geología de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, por la formación humanística y profesional que obtuve durante mis felices años de estudiante en esta institución.

Al profesor Dr. Franco Urbani, guía académico de este trabajo; por su orientación durante la formulación y desarrollo de este proyecto así como sus valiosos consejos que llevaron a feliz termino esta investigación.

A los técnicos encargados del laboratorio de procesamiento y análisis de muestras: Luis Camposano, Ivan Baritto, e Ivan Arias, que a pesar de sus obligaciones académicas y las del mismo laboratorio, me cedieron parte de su tiempo para entrenarme en el manejo de los equipos de procesamiento y análisis químico y radiométrico de las muestras.

A la profesora Dra. Celia Bejarano por sus valiosa sugerencias y correcciones a la versión previa de este informe.

A la Msc. María Salazar por permitir que usara parte de mi tiempo dedicado al proyecto que ella en ese momento lideraba en PDVSA, para el análisis químico y radiométrico de las muestras de este trabajo.

A la Msc. Angela Rojas y a los Ing. María Alejandra Rojas, Coral Campos y al Br. Deiby Gómez, por su apoyo logístico y valiosos aportes a esta investigación.

Y especialmente a mi esposa Georgia, y mis hijos Manuel Eduardo y Luis Alejandro, por su paciencia y ayuda al momento de mecanografiar parte de este trabajo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. GEOQUÍMICA DE ROCAS SEDIMENTARIAS

2.1.1. Introducción

Los factores que controlan la geoquímica de las rocas sedimentarias, incluyen: composición de la fuente sedimentaria, meteorización química, selección hidráulica, diagénesis, metamorfismo y alteración hidrotermal. Estos factores son parcialmente dependientes de la fisiografía del área donde se desarrolla el sistema depositacional y del marco tectónico en donde estos procesos se producen (BHATIA 1983).

Los constituyentes originales de la corteza como lo son los minerales de las rocas ígneas, han sido formados bajo condiciones de altas temperaturas y algunas veces altas presiones lo que los hace inestables bajo las condiciones en que se forman las rocas sedimentarias. De los minerales más comunes de las rocas ígneas, sólo el cuarzo es el más resistente a los procesos de meteorización. El resto de los minerales tienden a alterarse, por la acción del oxígeno, ácido carbónico, y el agua; originando nuevos minerales estables a las condiciones en que los procesos sedimentarios son activados (MASON 1958).

Las rocas alteradas son rápidamente disgregadas y sus constituyentes son transportados por el viento, el agua o el hielo y redepositados como sedimentos o permaneciendo en solución, la composición química de estas futuras rocas sedimentarias va a ser tan diversificada como las mismas rocas originales de las cuales se derivan los sedimentos; sólo que esta diversificación opera en la superficie de la tierra y no a profundidad.

Las rocas sedimentarias pueden ser divididas en dos grupos dependiendo si estas son constituidas por minerales o partículas de rocas preexistentes o si ellas son precipitadas a partir de soluciones acuosas. Esta división no es completamente cierta, debido a que las rocas clásticas pueden contener cementos minerales originados por precipitación química, mientras que las rocas de origen químico pueden contener componentes detríticos (FAURE 1998).

La composición química en ambos grupos puede ser modificada por procesos de intercambio iónico independientemente de si son de origen detrítico o químico.

2.1.2. Composición química de las rocas sedimentarias

La composición química de las rocas sedimentarias, es extremadamente variable en relación a la de las rocas ígneas. Esta composición es el reflejo de las variables endógenas y exógenas que actúan antes y durante la depositación de estos. Luego de que los sedimentos han sido depositados son sometidos a procesos de soterramiento que lo someten a temperaturas que se incrementan con la profundidad y activan todos los procesos post depositacionales en donde se operan transformaciones mineralógicas por la reacción de los minerales de la roca con los fluidos intersticiales que se mueven a través del sistema poral, que transportan iones de un lugar a otro.

El tiempo de residencia de estos sedimentos en una profundidad dada es un factor importante en la transformación mineralógica y química de estos. El producto final es una roca sedimentaria donde su composición química puede ser diferente a la de los sedimentos antes de su depositación.

Considerando la composición en términos de óxidos, encontraremos que el SiO_2 excede el 99% en algunas areniscas; el Al_2O_3 puede alcanzar hasta 70 % en la bauxita; el Fe_2O_3 puede ser mayor del 75 % en algunas limolitas, el FeO puede llegar a alcanzar hasta 60 % en la siderita, MgO hasta 20 % en dolomitas; y CaO hasta 60 % en calizas puras. Estas fuertes variaciones composicionales hacen que determinar la composición promedio de las rocas sedimentarias no sea tarea fácil (MASON 1958).

CLARKE (1924), citado por MASON (1958) estima la composición promedio de las rocas sedimentarias comunes (lutitas, areniscas y calizas) analizando mezclas de muchas muestras individuales. Estimando las cantidades relativas de estas rocas calculo la composición promedio de las rocas sedimentarias, esta las compara con la composición promedio de las rocas ígneas. Tabla 2.1.

POTTER (1978) compara la composición química promedio de las areniscas propuesta por CLARKE; con las muestras de arenas de 53 ríos recientes; notando que en general los porcentajes en los óxidos es menor en las areniscas antiguas que en las modernas, sólo hay un incremento en el contenido de CaO , MgO y K_2O elementos estos que juegan un papel importante en los procesos diagenéticos a la que los sedimentos son sometidos (tabla 2.2).

ÓXIDO	ROCAS ÍGNEAS	LUTITAS	ARENISCAS	CALIZAS
SiO ₂	59,14	58,10	78,33	5,19
TiO ₂	1,05	0,65	0,25	0,06
Al ₂ O ₃	15,34	15,40	4,77	0,81
Fe ₂ O ₃	6,88	6,47	1,37	0,5
MgO	3,49	2,44	1,16	7,89
CaO	5,08	3,11	5,50	42,57
Na ₂ O	3,84	1,30	0,45	0,05
K ₂ O	3,13	3,42	1,31	0,33
H ₂ O	1,15	5,00	1,63	0,77
P ₂ O ₅	0,30	0,17	0,08	0,04
CO ₂	0,10	2,63	5,03	41,54
SO ₃	-----	0,64	0,07	0,05
BaO	0,06	0,05	0,05	-----
C	-----	0,80	-----	-----

Tabla 2.1. Composición química promedio de las rocas sedimentarias (% en peso). Según CLARKE (1924) publicada por MASON (1958)

Sin embargo, esta comparación puede no ser equivalentes ya que la composición química de las areniscas antiguas de CLARKE usadas por POTTER (1978); no discrimina el ambiente en que estas se depositaron, factor que puede agregarle cierta variabilidad a la composición química.

En la tabla 2.3, se comparan las muestras de ríos recientes de la tabla 2.2 con las de un sistema fluvial antiguo como el descrito en este estudio y que corresponde al Miembro B-6-X de la Formación Misoa; se comparan además con las areniscas de los canales distributarios y barras de desembocadura del Miembro B-7-X

ÓXIDO	ARENAS 53 RIOS ACTUAL.*	ARENISCAS ANTIGUAS
SiO ₂	80,15	78,33
TiO ₂	0,42	0,25
Al ₂ O ₃	6,43	4,77
Fe ₂ O ₃	2,47	1,37
MgO	0,85	1,16
CaO	3,32	5,50
Na ₂ O	1,19	0,45
K ₂ O	1,20	1,31
H ₂ O	0,92	1,63
P ₂ O ₅	0,06	0,08
CO ₂	2,10	5,03
SO ₃	0,02	0,07
BaO	-----	0,05
C	-----	-----

Tabla 2.2. Comparación entre la composición química de arenas de ríos modernos con la composición promedio de areniscas propuesta por CLARKE (1924) publicada por MASON (1958).

*Datos tomados de POTTER (1978).

ÓXIDO	RIOS RECIENTES*	B-6-X	CANALES (Cd)	BARRAS (Bd)
SiO ₂	80,15	83,91	74,65	71,3
TiO ₂	0,42	0,32	0,46	0,34
Al ₂ O ₃	6,43	3,92	7,27	7,3
Fe ₂ O ₃	2,47	0,78	2,13	1,41
MgO	0,85	0,49	0,34	0,38
CaO	3,32	0,19	0,52	0,21
Na ₂ O	1,19	-----	-----	-----
K ₂ O	1,20	0,13	0,65	0,29
MnO	0,05	0,01	0,03	0,02
P ₂ O ₅	0,06	-----	-----	-----
V(ppm)	-----	23	23	19

Tabla 2.3. Comparación entre la composición química de arenas de ríos modernos, de un sistema fluvial antiguo, de canales distributarios y barras de desembocadura antiguas.

*Datos tomados de POTTER (1978).

Nótese que en este caso donde se comparan la composición química de sedimentos recientes con la de rocas sedimentarias de edad Eoceno, el tipo de ambiente en donde estas areniscas se desarrollan aparentemente, juega un papel importante en su composición. Al comparar los resultados obtenidos en los ríos recientes con los del sistema fluvial de B-6-X, se notara que en los óxidos comunes hay algunas diferencias químicas; en especial en el contenido de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ y CaO. En este caso la energía de transporte del sistema fluvial parece marcar la diferencia en cuanto al SiO₂ y Al₂O₃ respecto a los sedimentos recientes; en cuanto al contenido de CaO y Fe₂O₃, sus concentraciones son menores a las encontradas en los sedimentos recientes e inclusive mucho menor a la composición promedio de las areniscas propuesta por CLARKE (1924) y mostrada en las tablas 2.1 y 2.2.

Al comparar las areniscas de B-6-X con las de los canales distributarios y las barras de desembocadura, la mayor diferencia es dada por el contenido de SiO₂ y Al₂O₃, reflejo de una menor energía en estos ambientes con respecto al sistema fluvial de B-6-X.

Las areniscas analizadas tanto por CLARKE (1924) como por POTTER(1978) fueron muestreadas en superficie, por lo que puede esperarse en estas algún cambio mineralógico o químico inducido por procesos de meteorización, mientras que las analizadas en este trabajo son rocas del subsuelo protegidas de estos procesos exogénicos, los factores de cambio que han actuado sobre estas son los inducidos por las reacciones diagenéticas que actúan de acuerdo al umbral de temperatura y carga sedimentaria a la que estas rocas han sido sometidas.

Establecer generalidades acerca de una composición promedio para las rocas sedimentarias, siempre va a ser un problema a resolver por la cantidad de factores que pueden influenciar sobre esta. Las comparaciones composicionales se deben hacer sobre rocas con un origen común, una edad similar y que hayan sido sometidas a los mismos factores de cambio, las diferencias que surgen de estas correlaciones son las que permitirán diferenciar una unidad de otra y que serán la base de la estratigrafía química o quimioestratigrafía.

2.2. QUIMIOESTRATIGRAFÍA

2.2.1. Importancia

La quimioestratigrafía describe las diferencias y similitudes químicas existentes entre estratos y/o unidades estratigráficas que permitan diferenciarla de sus adyacentes; esto implica la caracterización química y correlación de estratos usando ya sea elementos mayoritarios y/o trazas. Esta técnica es muy útil cuando se estudia secciones con un pobre control bioestratigráfico; en secuencias de sedimentos estériles, las diferencias sutiles en la composición química, proveen el único medio de refinar divisiones litoestratigráficas (PEARCE & JARVIS 1995). Las secuencias son divididas en unidades con características geoquímicas diagnósticas que en muchas secuencias siliciclásticas son controladas principalmente por la composición de la fuente sedimentaria. Estas características, o “huellas” permiten la definición y correlación de unidades sedimentarias en amplias áreas (PEARCE & JARVIS *op cit.*)

Sin embargo, la correlación geoquímica es una herramienta estratigráfica valida si una asociación de rocas desconocidas puede ser comparada con una asociación estratigráfica conocida (WINCHESTER & MAX 1996).

Es importante señalar que la composición química total, no puede ser la única base para establecer correlaciones laterales. En el caso de las areniscas, muchas de estas pueden ser diferentes, sin embargo pueden tener una composición química similar sin estar estratigráficamente relacionadas (EHRENBERG & SIRING 1992).

JORGENSEN (1986) aplica esta técnica en el estudio de una secuencia carbonática, analizando muestras de canal obtenidas de pozos de la subcuenca Danish del Mar del Norte. Establece el significado estratigráfico de los eventos geoquímicos registrados en la secuencia y reflejados en las curvas elementales como máximos, mínimos y deflexiones en estas; los define como marcadores quimioestratigráficos de primer y segundo orden. Los marcadores de primer orden reflejan eventos geoquímicos caracterizados por mas de un elemento o una significativa deflexión en una curva elemental, los marcadores de segundo orden, los define un elemento o fluctuaciones menos significativas en las curvas elementales.

En base al enriquecimiento de elementos y al desarrollo de tendencias persistentes reconocidas en estos perfiles geoquímicos, se definen las unidades quimioestratigráficas (PEARCE *et al.* 1999).

Los perfiles geoquímicos son contruidos a partir del análisis de muestras de canal y núcleos. Cuando estos se construyen a partir de datos de núcleos, estos siempre tienden a ser erráticos, los perfiles son también influenciados por el espaciamento de las muestras (PEARCE *op cit.*).

La quimioestratigrafía ha probado ser una herramienta importante en la documentación de cambios paleoambientales a escala global, debido a que la “huellas” geoquímicas dependen mas de las características químicas de los océanos que de las condiciones locales prevalecientes en una cuenca de depositación. Por ejemplo las variaciones estratigráficas sistemáticas en la composición elemental y relaciones elementales en carbonatos, sobre todo en el contenido de CaO, Sr y MgO proveen la evidencia de cambios en la geoquímica de los océanos y que afectan la mineralogía de los carbonatos (JARVIS *com. pers.*).

Mientras que las variaciones en el contenido de MnO, TiO₂, y Zr pueden permitir el reconocimiento de límites de secuencia y definir secuencias depositacionales en carbonatos pelágicos (JARVIS *com. pers.*).

AL GAILANI (1980) demuestra la importancia del uso de la concentración elemental expresada como sus óxidos más comunes en la caracterización e identificación de hiatos y discordancias.

Como se observa la quimioestratigrafía puede ayudar a resolver problemas estratigráficos en áreas donde no se dispone de otras herramientas de definición, también puede ser usada en conjunto con otras técnicas, obteniendo así una definición estratigráfica de alta resolución. La aplicabilidad de esta herramienta ha sido exitosa en muchas cuencas del mundo, tal como se resumirá en el aparte siguiente.

2.2.2. Antecedentes

En la literatura geológica podremos encontrar muchos trabajos publicados sobre el uso de la quimioestratigrafía como una herramienta de definición estratigráfica y paleoclimática; variados son los métodos de análisis, uno muy usado debido a su economía y con bajas complicaciones al momento de preparar las muestras para el análisis, es el de fluorescencia de Rayos X (FRX), método usado en el análisis químico de las muestras de este trabajo.

Algunos de los artículos publicados en la literatura, en donde se utiliza este método de análisis y cuyos resultados fueron utilizados para resolver problemas estratigráficos se reseñaran a continuación como una muestra del potencial que tiene esta técnica en la definición estratigráfica:

AL-GAILANI (1980), identifica la presencia de discordancias en secciones estratigráficas del subsuelo en 7 pozos ubicados en Inglaterra e Irak, abarcando estas edades que van desde el Pérmico al Paleoceno. Esto lo hizo por medio de un análisis semi cualitativo de fluorescencia de rayos X, en muestras de núcleos de estos pozos; reporta 8 elementos expresados como concentraciones de sus óxidos e incluyen: Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, Na y P. Estudia las tendencias diagenéticas y similitudes en el comportamiento de los óxidos en las cercanías de las discordancias. Las variaciones químicas observadas en estas, reflejan cambios mineralógicos y diagenéticos como consecuencia de la exposición de estas paleosuperficies, lo que permite identificarlas como tales.

BATHIA (1983) determina el ambiente tectónico y la fuente sedimentaria para las areniscas de la secuencia turbidítica Paleozoica de Australia Oriental. En su trabajo analiza 69 muestras representativas de estas areniscas y determina en ellas la concentración de óxidos mayoritarios y elementos trazas mediante el uso de fluorescencia de rayos X.

Mediante el uso de funciones discriminantes, ubica cada una de las areniscas estudiadas en su ambiente tectónico de origen. Las funciones que caracterizan a cada ambiente tectónico fueron determinadas a partir de datos composicionales publicados de areniscas derivadas de ambientes tectónicos conocidos. Concluye que areniscas derivadas de arcos de islas oceánicas, son similares en composición a las andesitas o a la composición promedio de la corteza.

La composición promedio de areniscas derivadas de márgenes continentales activos, son caracterizadas por cantidades similares de K_2O y Na_2O y la composición química total es similar a la del basamento cristalino de la corteza continental superior. Mientras que en márgenes pasivos, las areniscas son caracterizadas por una alta abundancia de SiO_2 y una baja concentración de Na_2O , CaO y TiO_2 .

JORGENSEN (1986) utiliza la quimioestratigrafía como una herramienta de correlación estratigráfica en la sub cuenca de Danish del Mar del Norte, en una secuencia carbonática de edad Cretácico Tardío y Terciario Inferior. Los análisis químicos fueron realizados en ripios recuperados de 6 pozos del área.

Los elementos que usó fueron: Mg, Sr, Ca, Mn, y Zn, graficando los valores de concentración de cada uno de estos, contra la profundidad, logro establecer que eventos estratigráficamente importantes se reflejan en los datos como cambios significativos en las tendencia de los valores; lo que define marcadores quimioestratigráficos de primer y segundo orden.

A pesar de que la secuencia es litológicamente muy monótona, variaciones importantes en las litofacies, son reflejadas en alguno de los elementos usados en el estudio, ya definan estos marcadores de primer o segundo orden, estos cambios además coinciden con las divisiones bioestratigráficas establecidas en el área. Todas estas variaciones fueron identificadas en cada uno de los pozos analizados lo que permitió establecer una correlación entre ellos. Los resultados obtenidos demuestran la aplicabilidad de esta herramienta en el análisis estratigráfico del subsuelo en una secuencia que en registros de pozos luce homogénea y difícil de correlacionar.

EHRENBERG & SIRING (1990) sostienen ser los primeros en utilizar la composición química total de areniscas para la correlación estratigráfica entre pozos y usar análisis discriminante para este propósito. Originalmente esta técnica fue utilizada para la identificación de ambientes tectónicos y fuente de sedimentos de las areniscas. Su trabajo fue realizado en la correlación de dos pozos con núcleos en el campo Statfjord Nord del Mar del Norte; para ello determinaron la concentración de SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O y P_2O_5 mediante la técnica de fluorescencia de rayos X. Determinaron también la concentración de U y Th mediante la técnica de activación neutrónica.

Recomiendan que en el análisis de funciones discriminantes, se deban eliminar aquellos valores anómalos a veces registrados en la concentración de algún óxido, debido a que este puede producir resultados erróneos. Consideran que cuando se tratan de datos de composición química total, las relaciones elementales tienden a ser comúnmente discriminadores más eficientes que la abundancia de los mismos elementos considerados independientemente.

PEARCE & JARVIS (1995) estudiaron la turbiditas Cuaternarias del plano abisal de Madeira en el Atlántico nororiental, con la utilización de muestras de 160 núcleos recuperados del fondo oceánico; realizaron un análisis quimioestratigráfico de alta resolución en donde 22 elementos fueron determinados entre mayoritarios y trazas, combinando la distribución espacial de estos con datos lito y bioestratigráficos, e integrados con isótopos estables de oxígeno, lograron diferencial tres grupos de turbiditas y en cada uno de ellos a su vez identificaron subgrupos que pueden ser diferenciados entre ellos y seguidos a través de la llanura abisal por mas de 500 km; al establecer tendencias geoquímicas verticales y horizontales dentro de las capas, documentaron la evolución sedimentológica de los flujos de sedimentos lo que les permitió establecer las paleovías de dispersión sedimentaria.

PEARCE *et al.* (1999) aplicaron la quimioestratigrafía en la definición estratigráfica de una secuencia de edad Carbonífera en el oeste de Inglaterra. Analizaron muestras de núcleos de 2 pozos y de afloramientos; en la correlación usaron 19 elementos entre mayoritarios y trazas. Esta secuencia es ampliamente conocida en la zona por ser una unidad productora de petróleo, por lo que se dispone de suficiente datos sedimentológicos para corroborar la correlación geoquímica.

Basados en las variaciones verticales y en el desarrollo de tendencias reconocidas en los perfiles geoquímicos, dividen el intervalo estudiado en unidades quimioestratigráficas. Los límites de estas unidades coinciden ampliamente con los límites de las unidades litoestratigráficas, demostrando así la aplicabilidad de esta técnica en la correlación del subsuelo o subsuelo-superficie.

En Venezuela, esta técnica ha sido poco usada, sin embargo los pocos trabajos publicados demuestran el potencial de esta en la definición estratigráfica y correlación en un área. Uno de los primeros en publicar resultados obtenidos aplicando este método fue BRICEÑO *et al.* (1996), y BRICEÑO & CANELÓN (2000); en ambos trabajos caracterizan las quimiofacies en rocas Cretácicas del área sur del estado Táchira, en donde estudian la Formación La Luna y el Miembro La Morita de la Formación Navay.

Mediante la espectroscopia de emisión de plasma (ICP) y fluorescencia de rayos X, determinan la concentración de 31 elementos entre trazas y óxidos mayoritarios. Mediante técnicas estadísticas de análisis multivariantes y análisis factorial, establece discontinuidades

químicas lo que le permite definir químfiofacies en las unidades analizadas, para así establecer correlaciones entre varios afloramientos.

ERLICH *et al.* (2000) combinan datos de geoquímica orgánica e inorgánica (elementos trazas y mayoritarios), establecen las condiciones paleoclimáticas prevalecientes desde el Albiense hasta el Maastrichtiense en Venezuela occidental. Identifican cuatro eventos depositacionales de carácter regional o cambios oceanográficos globales tales como: hundimiento de la plataforma carbonática de la Formación Maraca durante el Albiense - Cenomaniense, hundimiento de la plataforma carbonática del Miembro Guayacán en el Cenomaniense - Turoniense, inicio de la sedimentación del Miembro Tres Esquinas durante el Santoniense - Campaniense y la rápida progradación del sistema deltaico de las formaciones Colón/Molino/Burgüita en el Campaniense tardío hasta el Maastrichtiense.

Todos los trabajos publicados reseñados arriba, demuestran la potenciabilidad y la aplicabilidad de esta técnica en la definición estratigráfica de un área. En el presente trabajo se han seguido las pautas propuestas por algunos de estos autores y se han aplicado en el área estudiada tal como se podrá constatar mas adelante.

2.2.3. Clasificación Litológica

En la literatura existen muchos esquemas de clasificación para las areniscas. En PETTIJOHN *et al.* (1973), se revisan veinte de los más conocidos. En muchos de éstos los parámetros frecuentemente usados son: el cuarzo, feldespatos, fragmentos de roca y matriz, en estos esquemas es necesario realizar un análisis petrográfico detallado donde la experiencia del analista juega un papel importante. Sin embargo, existen otros esquemas como el propuesto por PETTIJOHN *et al.* (1973), en donde se usan relaciones entre elementos químicos tales como $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ y $\text{Na}_2 / \text{K}_2\text{O}$.

La relación de $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ separan areniscas ricas en sílice tal como las cuarzo arenitas de areniscas intermedias ricas en aluminio. La relación $\text{Na}_2\text{O} / \text{K}_2\text{O}$ ha sido utilizada para diferenciar grauwas de las arcosas (PETTIJOHN *et al. op. cit.*). Pero esta relación no permite distinguir los fragmentos de roca, de los feldespatos, pilar fundamental en muchos esquemas de clasificación;

por ejemplo una arcosa con abundante albita puede tener una alta relación $\text{Na}_2/\text{K}_2\text{O}$ y clasificarla incorrectamente como una litarenita.

HERRON (1988) describe un nuevo esquema donde los parámetros químicos primarios son las relaciones $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$. El uso de la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, es seguida por muchos de los esquemas de clasificación geoquímica previamente definidos en la literatura, este permite diferenciar areniscas ricas en cuarzo y areniscas con contenidos bajos o altos en arcillas. Las wacas, las areniscas feldespáticas y líticas tienen relaciones intermedias. Este índice fue definido por PETTIJONH *et al.* (1973) como un indicador de madurez textural.

La relación de hierro total expresado como Fe_2O_3 al K_2O es efectiva para diferenciar fragmentos líticos de los feldespatos en una amplia variedad de areniscas (HERRON *op cit.*).

La relación $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$, se puede definir como un indicador de estabilidad mineralógica. Como regla general, asociaciones mineralógicas estables tienen una baja relación de $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$; aquellas asociaciones mineralógicas localizadas más cerca de la fuente sedimentaria y conteniendo abundantes fragmentos líticos, tienen altas relaciones de $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$. Únicamente en cuarzo arenitas muy maduras, conteniendo poco hierro o potasio; esta relación mostrará valores casi nulos.

HERRON combinó estas dos relaciones en un diagrama bidimensional, como el de la figura 2.1, en donde establece los distintos campos composicionales para los seis grupos principales de areniscas según el esquema convencional y geoquímica propuesto por PETTIJOHN *et al.* (1973) y agrega tres categorías adicionales no presentes en el esquema de clasificación geoquímica de este autor, estos nuevos campos permiten diferenciar las lutitas de las wacas por la baja relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. Muestras con altas relaciones $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ (>4) son clasificadas como ricas en hierro o ferruginosas, y en base a su relación de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, estas las puede separar en areniscas ferruginosas o lutitas ferruginosas (que pueden contener abundante pirita y/o siderita).

HERRON (1988) compara su esquema y el de PETTIJOHN *et al.* (*op. cit.*), aplicándolo a 86 muestras de areniscas clasificadas petrográficamente, y 34 muestras de lutitas; obteniendo un 85% de aciertos contra un 35% usando el esquema de PETTIJOHN, este esquema de clasificación litológica se utilizó en este estudio por adaptarse a los parámetros químicos determinados en las muestras analizadas.

Este esquema de clasificación fue diseñado para datos obtenidos a través de registros geoquímicos tomados en pozos petrolíferos, en donde se pueden clasificar cientos de metros de secuencias clásticas de manera continua. Tal caracterización puede ser útil en correlaciones pozo a pozo, en la interpretación de ambientes depositacionales, en la evaluación de la calidad de la roca yacimiento, y en el análisis del marco tectónico.

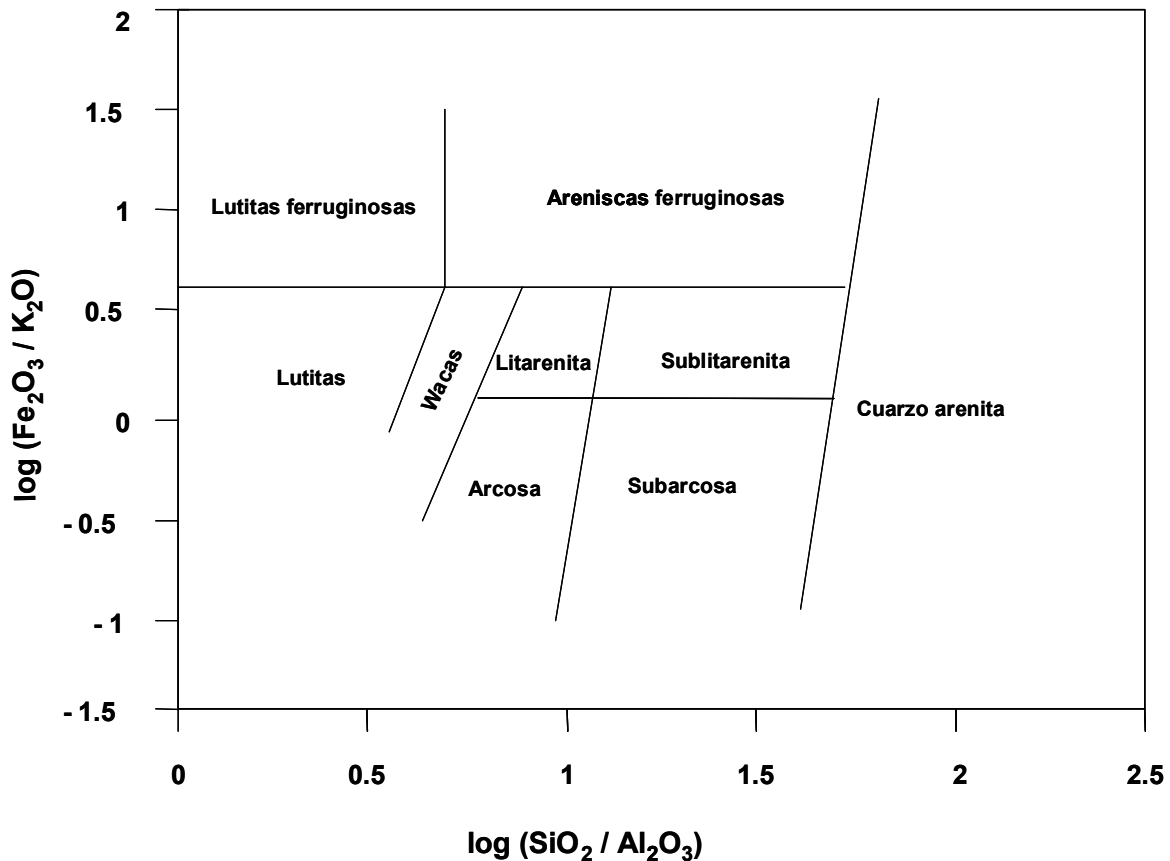


Figura 2.1. Campos composicionales definidos por HERRON (1988) en su clasificación litológica .

2.3. Fluorescencia de Rayos X

La técnica analítica utilizada en este estudio fue el de fluorescencia de rayos X para la determinación de la concentración de los distintos elementos presentes en las rocas analizadas.

Para entender como funciona la fluorescencia de rayos X, debemos conocer primero la naturaleza de los rayos X.

Los rayos X son radiaciones electromagnéticas cuya longitud de onda varía entre 100 Å y 0,02 Å aproximadamente ($1\text{Å} = 10^{-8}\text{ cm}$) cuanto menor es la longitud de la onda de los rayos X, mayores son su energía y poder de penetración. Los rayos de mayor longitud de onda, cercanas a la banda ultravioleta del espectro electromagnético, se conocen como rayos X blandos; los de menor longitud de onda, que están más próximos a la zona de rayos gamma o incluso se solapan con ésta, se denominan rayos X duros. Tanto la luz visible como la de los rayos X se producen a raíz de las transiciones de los electrones de una órbita a otra. La luz visible corresponde a transiciones de electrones externos y los rayos X a transiciones de electrones internos.

Los rayos X son producidos por el frenado (efecto bremsstrahlung) o deflexión de electrones libres que atraviesan un campo eléctrico intenso. Los rayos gamma, cuyos efectos son similares a los de los rayos X se producen por transiciones de energía en el interior de los núcleos excitados.

Los rayos X se generan de tres maneras:

- Bombardeando un blanco con electrones de alta velocidad. Gran parte de la energía cinética de los electrones se transforman en calor; y alrededor de un 2% de estos choques se convertirán en radiación electromagnética de rayos X, que se produce al desplazar electrones de un nivel energético a otro.

- Bombardeando un blanco con un haz primario de rayos X, este excita los electrones presentes en las cercanías del núcleo del átomo. Este emite fotones de rayos X secundarios fluorescentes, característico de cada uno de los elementos presentes en el blanco.

- Al desintegrarse algunos isótopos radiactivos; en este proceso se pueden generar rayos X.

Unas de las aplicaciones más importantes de los rayos X es el de determinar los componentes químicos presentes en una muestra, y una de las técnicas usadas para tal fin es la fluorescencia.

Como se mencionó anteriormente una muestra bombardeada con un haz primario de rayos X, emite fotones de rayos X secundarios, característicos de cada uno de los elementos químicos presentes en la muestra. Esta emisión de fotones es adquirida por un detector de Si (Li) de alta resolución y un sistema de procesamiento electrónico para su posterior tratamiento informático.

El resultado de la excitación y desexcitación de los átomos presentes en un sólido es un espectro de dispersión de energía, donde aparecen simultáneamente todas las transiciones asociadas a los elementos químicos presentes. Analizando la posición de los picos máximos de intensidad. (Figura 2.2), se identifican los elementos presentes (análisis cualitativo) deconvolucionando e integrando cada uno de los perfiles elementales, se obtienen las proporciones másicas de los elementos (análisis semi-cuantitativo) y añadiendo un elemento patrón de concentración conocida, se obtiene la cuantificación absoluta de dichos elementos (análisis cuantitativo).

El análisis de las muestras de este estudio fue realizado mediante un análisis cuantitativo de estas, para lo que usaron patrones de composición conocida para la calibración del equipo usado en el análisis. Los detalles de la calibración del equipo utilizado, como fue el MiniPal[®] se encuentran explicados en MARTÍNEZ & CAMPOSANO (2000).

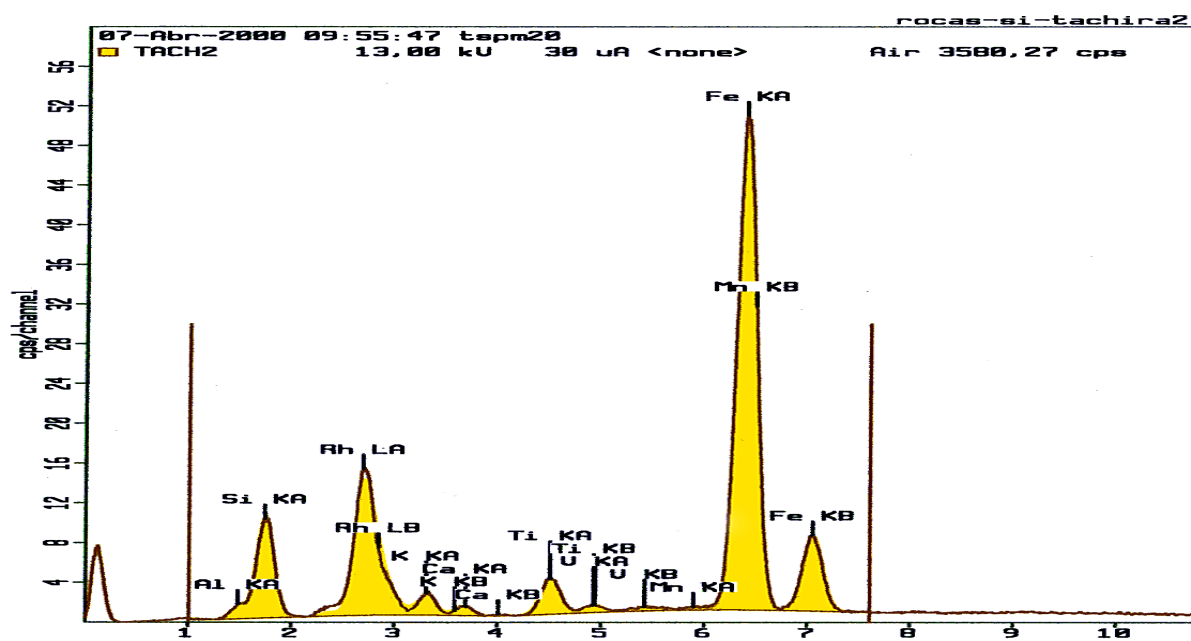


Figura 2.2. Ejemplo del espectro obtenido al analizar una muestra. En el eje X, la energía expresada en Kev, y en el eje Y la intensidad de la radiación en cps. Grafico tomado de MARTÍNEZ & CAMPOSANO (2000)

2.4. Radioactividad en las rocas sedimentarias.

2.4.1. Introducción

La radioactividad, es la desintegración espontánea de núcleos atómicos mediante la emisión de partículas subatómicas denominadas partículas alfa y partículas beta, y de radiaciones electromagnéticas como rayos X y rayos gamma. Una partícula alfa, (un núcleo de Helio con carga doble) está formada por dos protones y dos neutrones, por lo que sólo puede ser emitida por el núcleo de un átomo.

Cuando un núcleo pierde una partícula alfa se forma un nuevo núcleo, más liviano que el original en cuanto a unidades de masa (la masa del neutrón y el protón son de una unidad aproximadamente). Cuando un átomo del isótopo ^{238}U emite una partícula alfa, se transforma en un átomo de otro elemento (^{234}U) Las partículas beta son simplemente electrones, la emisión beta se produce a través de la transformación de un neutrón en un protón lo que implica un aumento de la carga nuclear (o número atómico) en una unidad. Las emisiones alfa y beta suelen ir

asociadas con la emisión gamma. Los rayos gamma no poseen carga ni masa, por lo tanto la emisión de rayos gamma por parte de un núcleo no conlleva cambios en su estructura, sino simplemente la pérdida de una determinada cantidad de energía radiante. Con la emisión de estos rayos, el núcleo compensa el estado inestable que sigue a los procesos alfa y beta. La determinación de estas radiaciones gamma emitidas por los núcleos de isótopos radiactivos se aplica en geología:

- En la prospección y búsqueda de yacimientos de minerales radiactivos.
- Como herramienta auxiliar en el cartografiado de unidades estratigráficas.
- En la prospección de minerales no radiactivos que estén íntimamente asociados con minerales radiactivos.
- En la determinación litológica indirecta en pozos para petróleo y agua.
- En la identificación de superficies de inundación, discordancias, hiatos, horizontes guías y como una herramienta de identificación preliminar de ambientes sedimentarios en el subsuelo a través de registros continuos de rayos gamma.

Esta propiedad de las rocas fue utilizada en este trabajo como una herramienta de definición estratigráfica complementaria.

2.4.2. Contenido de U y Th en rocas sedimentarias

La radioactividad natural de las rocas sedimentarias, proviene principalmente de la desintegración de los isótopos del ^{40}K , y de las series secundarias derivadas del ^{238}U y ^{232}Th como lo son el ^{214}Bi y el ^{208}Tl respectivamente; por lo que esta radioactividad dependerá de la concentración de estos elementos en las rocas analizadas.

El contenido de ^{40}K esta asociado básicamente a la presencia de feldespatos y micas en las rocas sedimentarias y a los productos derivados de su meteorización; mientras que la concentración del ^{214}Bi y el ^{208}Tl , dependerán de la distribución de los isótopos ^{238}U y ^{232}Th en la roca sedimentaria.

Una fuente importante de información acerca de la distribución de estos elementos en las secuencias sedimentarias, proviene de los miles de registros espectrales tomados en pozos para

hidrocarburos. Estos registran de manera continua la variabilidad en el contenido de ^{40}K , ^{238}U y ^{232}Th en las distintas unidades estratigráficas penetradas por estos a través de la contribución de cada uno de estos elementos a la totalidad de las radiaciones gamma emitidas por estas unidades.

ADAMS & WEAVER (1958) hacen una recopilación en la literatura y datos propios de las concentraciones de U y Th en rocas sedimentarias las cuales se resumen en la tabla 2.4.

Como se observa, las mayores concentraciones de estos elementos ocurren básicamente en rocas lutáceas, esto básicamente sucede por que las lutitas están constituidas por minerales de arcillas que tienen una estructura cristalina abierta, caracterizada por uniones débiles que facilita la inclusión de estos elementos (WOOD *et al.* 1974).

La gran cantidad de uniones iónicas rotas y de posiciones iónicas libres, permite una alta capacidad de intercambio iónico lo que facilita la inclusión de estos elementos en la estructura cristalina de las arcillas incluyendo el ^{40}K . Estos elementos son absorbidos de las aguas mineralizadas que actúan en los procesos de meteorización y que transportan estos radioelementos en solución.

El U extraído de las rocas ígneas durante los procesos de meteorización, es oxidado transportado como uranil; una forma muy soluble de este elemento. El Th no puede ser oxidado bajo estas condiciones geológicas a su estado hexavalente para formar un ion análogo al uranil.

Generalmente el Th es llevado en solución y rápidamente absorbido o precipitado como hidrolisato debido a su inusual alto potencial iónico del ion tetravalente (AHRENS *et al.* 1959).

No todo el U en rocas ígneas es oxidado y lixiviado durante la meteorización. Algo de U y Th pueden permanecer en minerales químicamente estables tales como: circón, monacita, y cuarzo.

La separación parcial del U y Th durante los procesos de erosión y meteorización es el resultado según AHRENS *et al.* (1959) de tres procesos:

- Remoción del material en solución. El U como ion uranil, es disuelto y removido acompañado con muy poco Th.
- Disolución del material, seguido por su fijación en las arcillas y otros hidrolisatos secundarios. Esencialmente todo el Th transportado en solución puede ser incluido en estos materiales.
- Transporte mecánico de minerales resistentes tales como: circón, monacita, y cuarzo que

fueron formados bajo condiciones ígneas; pero que tienen suficiente estabilidad química y mecánica para mantener su identidad en los sedimentos. Estos minerales llevan con ellos U y Th que se concentraron en estos durante su formación.

Las cantidades relativas de U y Th afectadas por cada uno de los procesos anteriores, determina la distribución de estos elementos en las rocas sedimentarias.

RANKAMA & SAHANA(1952) describen la ocurrencia de U en muchos organismos, estableciendo que la presencia de este elemento juega una importante función fisiológica en estos; así el U es concentrado en muchos organismos marinos y terrestres debido a procesos biológicos, esto coincide con lo reportado en literatura en cuanto al enriquecimiento de este elemento en algunas secuencias de carbón, en las lutitas negras cretácicas ricas en materia orgánica (black shales), y en algunas areniscas saturadas con asfalto.

La característica más importante de la bioquímica del U es su enriquecimiento en rocas sedimentarias por la acción de procesos biológicos. Adicionalmente, el U muy frecuentemente es asociado al V.

Tal como se ha mencionado anteriormente la radioactividad natural de las rocas sedimentarias proviene principalmente de la desintegración natural de los isótopos ^{40}K y de los isótopos secundarios derivados del ^{230}U y ^{232}Th como lo son el ^{214}Bi y el ^{208}Tl respectivamente, la radioactividad dependerá de la concentración y de la energía emitida por estos en la unidad de tiempo. Como ejemplo un gr de ^{40}K emite un promedio de 3,4 fotones por segundo con una energía de 1,46 Mev (Mega electrón voltio). En cambio el ^{208}Tl y el ^{214}Bi en cantidades de un gr, producirán 12000 y 26000 rayos gamma por segundo respectivamente, con un espectro de energía de 0,5 Mev como promedio (WOOD *et al.* 1974).

	Th (ppm)		U (ppm)		Nº Muestras
	Promedio	Rango	Promedio	Rango	
Rocas Clásticas:					
Lutitas comunes	12	2 - 47	3,7	1 - 13	4847
Lutitas negras	----	2,8 - 28	----	1,4 - 80	350
Cuarzo arenitas	1,7	0,7 - 2	0,45	0,2 - 0,6	18
Rocas Residuales:					
Bauxitas	42	8 - 132	8	3 - 27	26
Bentonitas	24	6 - 44	5	1 - 21	69
Rocas Precipitadas:					
Carbonatos	1,7	0,1 - 7	2,2	0,1 - 9	6045
Halita	----	0,4 - 0,5	----	0,1 - 0,2	3
Anhidrita	----	0,15	----	0,1	1
Fosfatos	----	3,9	----	245	1
Ftanita	----	0,1 - 1,6	----	1,9 - 3,3	2

Tabla 2.4. Contenido de U y Th en rocas sedimentarias. Datos tomados de ADAMS & WEAVER (1958).

DYPVYK & ERIKSEN (1983) obtienen empíricamente una formula donde conectan la actividad gamma natural en rocas sedimentarias con la cantidad de U, Th y K considerando la actividad en cpm/kg (cuentas por minuto en un kg de muestra), la formula derivada por estos autores es:

$$\text{Actividad gamma natural} = 0,06U \text{ (ppm)} + 0,06Th \text{ (ppm)} + 0,24K \text{ (\%)}.$$

Aplicando esta ecuación a 108 datos publicados en la literatura, DYPVYK & ERIKSEN (*op cit.*) evalúan la contribución de estos isótopos a la radioactividad natural de las rocas sedimentarias; concluyen que el U y sus series secundarias contribuyen con 10 - 20% de la radiación gamma total, si la concentración usual de este elemento (1- 4 ppm) se incrementa a unos 144 ppm, el incremento de su aporte a la radiación total cambia a 80 %.

El Th y sus series secundarias contribuyen en general con un 40 - 50 % a la radiación total.

El ^{40}K generalmente contribuye con un 35 a 45 % a la actividad gamma total.

2.5. Significado geológico de los elementos químicos y sus combinaciones

En este apartado se explica brevemente el significado geológico de las variaciones en la concentración en los elementos mayoritarios usados en este trabajo según las interpretaciones dadas por diferentes autores en la literatura, así como algunas de sus relaciones.

Una de las aplicaciones mas importantes del análisis de estas variaciones composicionales, es en la determinación de discordancias. Las fluctuaciones en concentración de los óxidos mayoritarios en las discordancias, son reflejo de las variaciones mineralógicas y diagenéticas como resultado de la exposición de estas paleosuperficies a la meteorización y desintegración seguido por soterramiento; resultando en el desarrollo de nuevas combinaciones de fábricas y de composición mineralógica (AL-GAILANI 1980).

SiO₂

En presencia de discordancias, un decrecimiento en la concentración de SiO₂ es marcado por la presencia de horizontes ferruginosos de meteorización. Se espera que el SiO₂ se incremente con la profundidad como resultado del incremento de la silicificación debido a la expulsión del Si⁺⁴ por efecto de la compactación y diagénesis de las arcillas durante la ilitización de la esmectita (AL-GAILANI *op cit.*). En este proceso el SiO₂ es transportado hacia los intervalos arenosos adyacentes a las lutitas donde precipita como sobrecrecimientos de cuarzo (WINTSCH & KVALE 1994)

Al₂O₃

En el tope de las discordancias (especialmente en donde hay areniscas) esta es marcada por un decrecimiento en el porcentaje del Al₂O₃, seguido por un incremento de aluminosilicatos en las capas inferiores; también puede existir un incremento en la concentración de Al₂O₃ donde horizontes ferruginosos producto de procesos de meteorización se forman (AL-GAILANI 1980).

WINTSCH & KVALE (1994) señalan que el TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ y el SiO₂ son los componentes mayoritarios menos solubles en las rocas sedimentarias, por lo que su contenido en estas es

asociado a la composición química de los minerales que la constituyen. En base a esta propiedad, el Al_2O_3 y el TiO_2 van a mostrar una baja redistribución por efectos diagenéticos, por lo que su concentración va a depender de la proporción de estos en los componentes mineralógicos de la fracción clástica de los sedimentos.

BELLANCA *et al.* (1999) consideran que la concentración de estos óxidos son un buen indicador del influjo detrítico. Señalan que en gráficos de dispersión, los óxidos que tengan una correlación lineal con cualquiera de estos elementos, son derivados de una fase detrítica; mientras que aquellos en que esta correlación no se establezca indican o sugieren que su distribución es dominada por factores diferentes al influjo detrítico.

Se han establecido diferentes relaciones, comparando las concentraciones de algunos elementos con el Al_2O_3 , la mas conocida es la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ definida por PETTIJOHN *et al.* (1973) como un índice de elasticidad o madurez textural. Esta relación permite diferenciar entre areniscas ricas en cuarzo (cuarzoarenitas) de aquellas areniscas intermedias ricas en Al_2O_3 (wacas). Este índice ha sido utilizado en algunas clasificaciones químicas de areniscas como un parámetro dentro del esquema de clasificación en especial en la clasificaciones de HERRON (1988) y PETTIJOHN *et al.* (1973).

Ha sido usado también como una herramienta en el análisis de procesos de paleometeorización. El Al_2O_3 , se concentra a expensas del SiO_2 y otros elementos como Na_2O , K_2O y CaO . Si la relación es muy baja, implica un alto contenido de Al_2O_3 indicativo de un proceso de meteorización intenso.

La relación $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ fue descrita por WINTSCH & KVALE (1994) como un índice de homogeneidad química, y fue usada por estos autores para identificar secciones que tenían una composición química uniforme al momento de la sedimentación. Variaciones verticales en esta relación refleja cambios en la fuente de sedimentación o cambio de la fuente sedimentaria.

Otro índice citado por YARINCIK & MURRAY (2000) en donde la concentración del Al_2O_3 juega un papel importante en su definición, es la relación $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$. Según estos autores un decrecimiento en esta relación sugiere un incremento relativo en la concentración de caolinita.

En algunos casos el enriquecimiento por caolinita en algunas secciones sedimentarias viene dado por la presencia de discordancias o superficies de erosión. La formación de caolinita a partir de la alteración del feldespato potásico, albita, clorita, illita y moscovita, requiere de abundante H^+

el cual es proporcionado por el influjo de aguas meteóricas a través de las discordancias reaccionando estas con los minerales presentes en la roca, para formar otros nuevos. Este fenómeno fue documentado en el yacimiento B-6-X.10 del área LL370, donde parte de la sección es truncada por la superficie de erosión del Eoceno. Los pozos más cercanos a la zona truncada, mostraban mayor contenido de caolinita en su mineralogía de arcillas; mientras que la proporción de este mineral disminuía drásticamente mientras más lejos estuviera el pozo de la zona truncada. (GHOSH *et al.* 1989). Esta misma relación de la caolinita con las discordancias es también señalada por AL- GAILIANI (1980).

HOWER *et al.* (1986) sugiere que existe una fuerte relación entre la edad geológica de una secuencia sedimentaria y la mineralogía de sus arcillas. Las lutitas jóvenes y sedimentos argiláceos recientes son relativamente enriquecidos en caolinita, mientras que lutitas más antiguas son pobres en este mineral pero son enriquecidos en illita y clorita. En concordancia con su mineralogía, hay un cambio en la composición química; las lutitas más jóvenes son enriquecidas en CaO, MgO, Na₂O y SiO₂ mientras que lutitas más antiguas son ligeramente enriquecidas en K₂O.

K₂O

La presencia de este óxido es un buen indicador de minerales detríticos tales como feldespatos potásicos, moscovita, illita autigénica y caolinita. La concentración de K₂O en el tope de discordancias refleja el incremento de la alteración de los feldespatos y la consiguiente formación de caolinita (AL- GAILIANI *op cit.* 1980).

El K₂O es el único componente químico consistentemente agregado a las arcillas con un incremento de la profundidad; es el proceso de ilitización de la esmectita el responsable de este fenómeno. Para lo que se requiere que el K⁺ sea introducido a través de los fluidos intersticiales en la estructura de la esmectita. Esta suposición viene dada por la caída en la concentración del K⁺ en estos fluidos (WINTSCH & KVALE 1994).

Tanto el K₂O como el Al₂O₃ necesarios para esta transformación provienen de la descomposición de los feldespatos y micas. El sílice liberado de estos minerales puede formar cuarzo dentro de la misma lutita o precipitar en otras rocas adyacentes a estas (HOWER *et al.* 1986).

EHRENBBER & SVANA (2001) interpretan el contenido del K_2O como un índice simple del contenido de aluminosilicatos (arcillas, micas, feldespatos) aunque no todos los aluminosilicatos son ricos en K_2O .

CaO

Este es un buen indicador de la presencia de cemento carbonático así como la presencia de feldespatos ricos en Ca (plagioclasas) en las areniscas. BOLES & FRANKS (1979) señalan que el CaO, MgO y el FeO liberados durante la ilitización de la esmectita son transferidos de las rocas lutáceas a las areniscas adyacentes, donde estos precipitan como cementos carbonáticos.

MgO

La presencia de MgO en rocas sedimentarias, es una evidencia de la presencia de dolomita en estas; junto con el CaO los carbonatos derivados de estos elementos resultan de la inundación marina de paleosuperficies y la introducción de soluciones alcalinas con el incremento de la relación Mg^{+2}/Ca^{+2} de cerca de 10 a 50. Esto induce en un cambio del pH de 7,5 a 8,2 lo que permite la precipitación de calcita o dolomita dependiendo de la relación MgO/CaO (AL-GAILANI 1981).

MnO

Según RANKANA & SAHAMA (1952) las condiciones más favorables para la precipitación del MnO incluyen ambientes con un alto potencial de oxidación y la presencia de pequeñas cantidades de $CaCO_3$ indicativo de un relativo alto pH en sedimentos carbonáticos. El MnO puede ser enriquecido con respecto al Fe_2O_3 ; la causa de este incremento es la sustitución del Ca^{+2} por Mn^{+2} en la estructura de la calcita, que resulta más fácil que la sustitución del Ca^{+2} por Fe^{+2} .

Debido a la propiedad del MnO en precipitar en condiciones oxidantes, algunos autores sugieren que este está asociado a ambientes someros. En ambientes pelágicos donde más bien es común el $MnCO_3$, su fijación es atribuible a la actividad biológica.

Fe₂O₃

AL-GAILANI (1980) señala que hay un incremento en el Fe₂O₃ en las cercanías de las discordancias y paleosuelos, esto es debido a que el potencial de oxidación se incrementa en las discordancias. Al momento de su depositación, los lodos siliciclásticos y las lutitas contienen un 5 % en peso de Fe, este elemento se encuentra en su forma oxidada Fe⁺³ o Fe₂O₃ mientras que en las lutitas antiguas este se encuentra en su forma reducida Fe⁺². En la mayoría de los siliciclásticos, la reducción del Fe es un proceso importante durante la diagénesis de soterramiento.

Durante la meteorización el Fe⁺³ (férrico) y el Al₂O₃ se acumulan en relación a otros elementos comunes debido a la extrema insolubilidad de sus óxidos e hidróxidos. En ambientes marinos, la sedimentación propicia una mezcla reactiva del O₂ disuelto, sulfato (SO₄⁻²), Fe⁺³ y materia orgánica mediante las reacciones de oxido reducción de origen bacterias. El Fe⁺³ es reducido a Fe⁺² (ferroso) más soluble, el SO₄⁻² a sulfuros (H₂S, HS⁻ o S⁻²) el O₂ es reducido a agua y la materia orgánica es oxidada a bicarbonato (HCO₃⁻). Las reacciones de y entre los productos solubles de esas reacciones son responsables de la precipitación de sulfuros y minerales carbonáticos componentes importantes en las rocas lutáceas (RANKANA & SAHAMA 1952).

HERRON (1988) define un índice de estabilidad mineralógica con la relación Fe₂O₃/K₂O. En condiciones de baja temperatura y presión característicos de los ambientes sedimentarios, los minerales más estables son el feldespato potásico, la moscovita, y el cuarzo, los dos primeros ricos en K₂O y los tres bajos en Fe₂O₃. Por otro lado los minerales menos estables comúnmente ocurren en los fragmentos líticos de las rocas sedimentarias y tienden a ser ricos en Fe₂O₃ y MgO.

Como regla general propuesta por HERRON, las asociaciones de minerales menos estables que normalmente se ubican cerca de la fuente sedimentaria y conteniendo estas abundantes fragmentos líticos; tienen una relación Fe₂O₃/K₂O alta. Únicamente en rocas texturalmente muy maduras como lo son las cuarzoarenitas con muy bajo contenido de Fe₂O₃ y K₂O la relación llega a ser casi nula.

Vanadio (V)

RANKANA & SAHAMA (1952) Señalan que aunque en las rocas ígneas no se encuentran minerales de V, este puede llegar a ser concentrado en rocas sedimentarias originando varios minerales independientes.

El V es encontrado en numerosas plantas, que toman este del suelo donde crecen, también es frecuente como un micro constituyente de animales terrestres, este metal promueve la oxidación de los lípidos de estos organismos. Ciertos animales marinos son ampliamente conocidos por concentrar altas cantidades de V extrayéndolo del agua del mar, algunos de estos organismos tienen V en su sangre como un componente esencial, cuando estos mueren, el V puede concentrarse en los lodos marinos.

El V muestra una fuerte afinidad con el petróleo, según MASON (1958) este pudo haber migrado con el petróleo asociado a sus componentes orgánicos. El V se caracteriza por el hecho de que este es soluble en ambientes altamente reductores.

Durante la meteorización de rocas ígneas, el V es incorporado a los minerales de arcilla que se forman durante este proceso. Este permanece allí mientras estos minerales no sean alterados. Sin embargo los perfiles de meteorización en climas húmedos son pobres en este metal, una pequeña cantidad de este elemento parece ser extraída de las arcillas por ácidos húmicos.

El enriquecimiento del V en los sedimentos, es durante el transporte de estos, normalmente con una baja cantidad de V, puede ser concentrado en condiciones reductoras, usualmente en presencia de HS^- , que lo hace precipitar de los sedimentos como V_2S_5 especialmente en lutitas bituminosas, asfaltos y rocas similares (RANKANA & SAHAMA *op cit.*).

Este enriquecimiento esta íntimamente asociado a la cantidad de materia orgánica presente en la roca.

YARINCIK & MURRAY (2000) establecen que la distribución de los elementos mayoritarios como el Fe_2O_3 y MnO en conjunto con aquellos metales trazas sensibles a las condiciones reductoras del medio como lo es el V, Mo, y Cd son una herramienta poderosa para relacionar la variabilidad ambiental a escala global y local. Señalan que las relaciones $\text{V}/\text{Al}_2\text{O}_3$ y $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ proporciona una pista de las condiciones anóxicas de un ambiente; valores elevados en la relación $\text{V}/\text{Al}_2\text{O}_3$ refleja condiciones anóxicas, mientras que un incremento en la relación $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ indica condiciones oxidantes.

3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El manejo e interpretación de la gran cantidad de datos disponibles en este trabajo, hace necesario el uso de herramientas estadísticas para el análisis, como lo son los métodos estadísticos univariantes y multivariantes.

3.1. ESTADÍSTICA UNIVARIANTE

Los métodos univariantes utilizados en el análisis de los datos incluyeron medidas de tendencia central tales como: media, y mediana; medidas de variabilidad tales como: varianza, y desviación estándar. Estos están descritos con gran detalle en DAVIS (1986); se usaron también diagramas de caja (box plots) y diagramas de dispersión.

3.1.1. Diagramas de caja (Box Plots)

Es una representación gráfica, mediante un rectángulo de ancho arbitrario, en donde se muestra la dispersión de los datos, su mediana, y la presencia de valores anómalos.

La base y el tope del rectángulo representan los percentiles 25 y 75 respectivamente, la longitud de este, es el rango intercuartil (RIQ). El área del rectángulo incluye el 50% de los datos; el RIQ es en sí una medida de dispersión de los datos. La línea horizontal dibujada dentro del rectángulo es la mediana o percentil 50, siendo este el valor medio de una distribución.

En la figura 3.1 se muestran los elementos de un diagrama de caja, el cual incluye además, los valores adyacentes y los anómalos. El valor adyacente superior, es la mayor observación que es igual o menor que el percentil 75 más 1,5 veces el RIQ. El valor adyacente más bajo corresponde a la observación más pequeña que es mayor o igual al percentil 25 menos 1,5 veces el RIQ. Son valores anómalos aquellos que están por debajo o encima de los valores adyacentes en una relación de 3RIQ (anómalos suaves); si exceden de este valor se consideran anómalos severos.

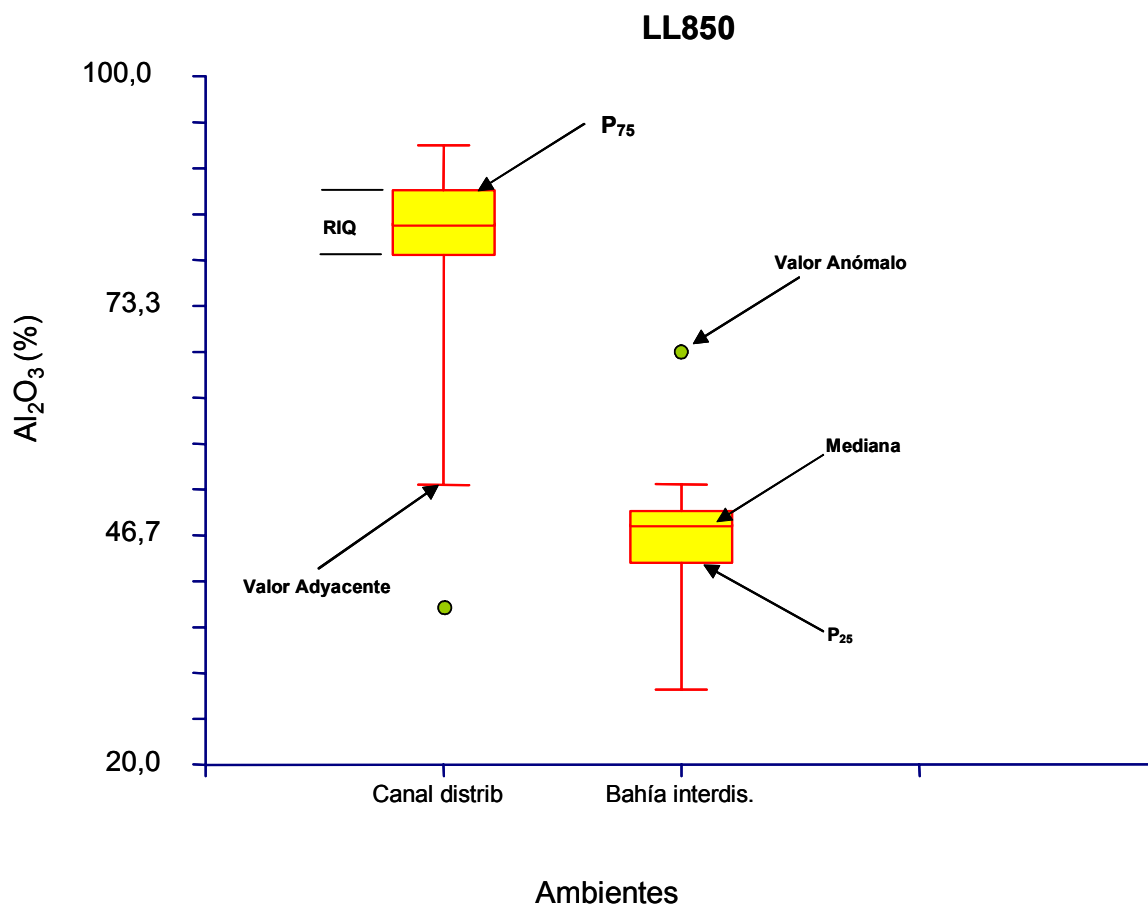


Figura 3.1. Elementos de los diagramas de caja.

Esta técnica fue utilizada en este estudio para analizar el comportamiento de cada variable química y la variabilidad composicional de cada uno de los intervalos en que fue dividida la secuencia sedimentaria. Estos fueron utilizados como herramienta exploratoria inicial de los datos.

3.1.2. Diagramas de dispersión

Estos diagramas describen la interrelación entre dos variables, proporcionando una imagen visual del tipo de relación involucrada y sugiere el tipo de ecuación que mejor se ajusta a los datos. La finalidad de estos es establecer patrones de correlación.

En este estudio, permitió establecer la dependencia entre variables químicas, las cuales a su vez en algunos casos, es controlada por factores sedimentológicos.

Para estimar el grado de relación entre las variables, de manera que estas no estén influenciadas por las unidades de las variables, se usó el coeficiente de correlación “r”, el cual es

la relación de la covarianza de dos variables, entre el producto de sus desviaciones estándar (DAVIS 1986), tal como se indica en la siguiente ecuación:

$$r = \frac{COV_{jk}}{S_j * S_k}$$

Variando este coeficiente entre 1 y -1. Una correlación igual a 1 indica una relación directa entre dos variables, una correlación igual a -1, indica que una variable cambia inversamente en relación a la otra.

3.2. ESTADÍSTICA MULTIVARIABLE

Los datos multivariantes, son aquellos en que para cada observación o muestra, existen más de dos variables. El análisis de datos geológicos involucra, en general métodos multivariantes. Los usados en este trabajo incluyen únicamente: análisis de agrupaciones y funciones discriminantes ambos demostraron su aplicabilidad en el estudio estratigráfico de una sección. Ambos métodos se describirán brevemente a continuación:

3.2.1. Análisis de agrupaciones

En un proceso de clasificación, el objetivo es el de colocar objetos dentro de grupos más o menos homogéneos de manera que las relaciones existentes entre estos pueda ser revelada. De allí surge el concepto de análisis de agrupaciones, el cual describe a un conjunto de técnicas numéricas cuyo principal objetivo es el de separar una población de datos en grupos discretos.

Dichos grupos se basan en las características de los objetos y se espera que la agrupación tenga alguna clase de significado con la investigación que se lleve a cabo con estos datos.

El método más usado y el que se uso en este trabajo es el de agrupaciones jerárquicas, en donde las relaciones entre los elementos se expresa como un dendogramas o diagrama de árbol (figura 3.2).

En esta técnica las observaciones más similares se agrupan, luego dos agrupaciones que sean parecidas son unidas para formar una nueva agrupación. Este proceso es interactivo hasta que de una matriz de datos de dimensión $n \times n$, se reduzca a una matriz de 2×2 (DAVIS 1986).

Los niveles de similitud en que las observaciones son agrupadas, es usado para construir los dendogramas. La similitud entre objetos viene dada por el coeficiente de correlación (r) y la distancia Euclidiana entre estos (DAVIS 1986).

En el análisis de agrupaciones se han desarrollado muchos algoritmos, sin embargo, no hay uno que sea el mejor; ya que diferentes algoritmos aplicados a un mismo conjunto de datos, no necesariamente producen los mismos resultados, por lo que en el uso de estas herramientas hay un fuerte componente de subjetividad en el análisis, y es el analista el que debe juzgar cual es el que mejor se adapta a sus datos (BRYAN 2000). Sin embargo DAVIS (*op cit.*), sugiere usar el algoritmo de promedaje simple o grupos de pares ponderados, debido a que este tiende a producir coeficientes de correlación más altos, el cual se interpreta como una baja distorsión en los dendogramas; otras características importantes son citadas en DAVIS (1986: 507).

En este estudio se uso el algoritmo recomendado por DAVIS a través del programa de análisis estadístico NCSS 2000. La figura 3.2 muestra un dendograma generado con dicho programa para el pozo LL773, en el que se pueden separar al menos 7 poblaciones de datos que guardan cierta similitud entre ellos, pero sin algún significado estratigráfico. Cada fila listada en el gráfico, representa la composición química de una muestra tomada en dicho pozo a una profundidad dada, la más somera es la muestra de la fila 3 y así sucesivamente; como puede observarse se agrupan como similares muestras que químicamente se parecen pero que desde el punto de vista litológico y estratigráfico no están relacionadas. Lo que hace que esta herramienta no sea de utilidad (bajo este concepto) en la definición estratigráfica.

El programa MVSP (KOVACH 1993), realiza las agrupaciones tomando en cuenta la posición de las muestras, en nuestro caso la profundidad de estas. Este fue usado en el análisis de la información química para cada pozo de este estudio. En los dendogramas generados se pueden fácilmente diferenciar los distintos intervalos estratigráficos en que se subdividió la secuencia sedimentaria estudiada (figura 5.2). Lo que hace que este programa sea una herramienta exploratoria muy importante en la definición estratigráfica previa de un área determinada, y como elemento de verificación cuando estas correlaciones ya existan. La figura 3.3 muestra un dendograma generado para el pozo LL773, en donde se pueden observar que las distintas agrupaciones en que el programa separa los datos, coinciden con intervalos estratigráficos definidos en la sección Eocena estudiada.

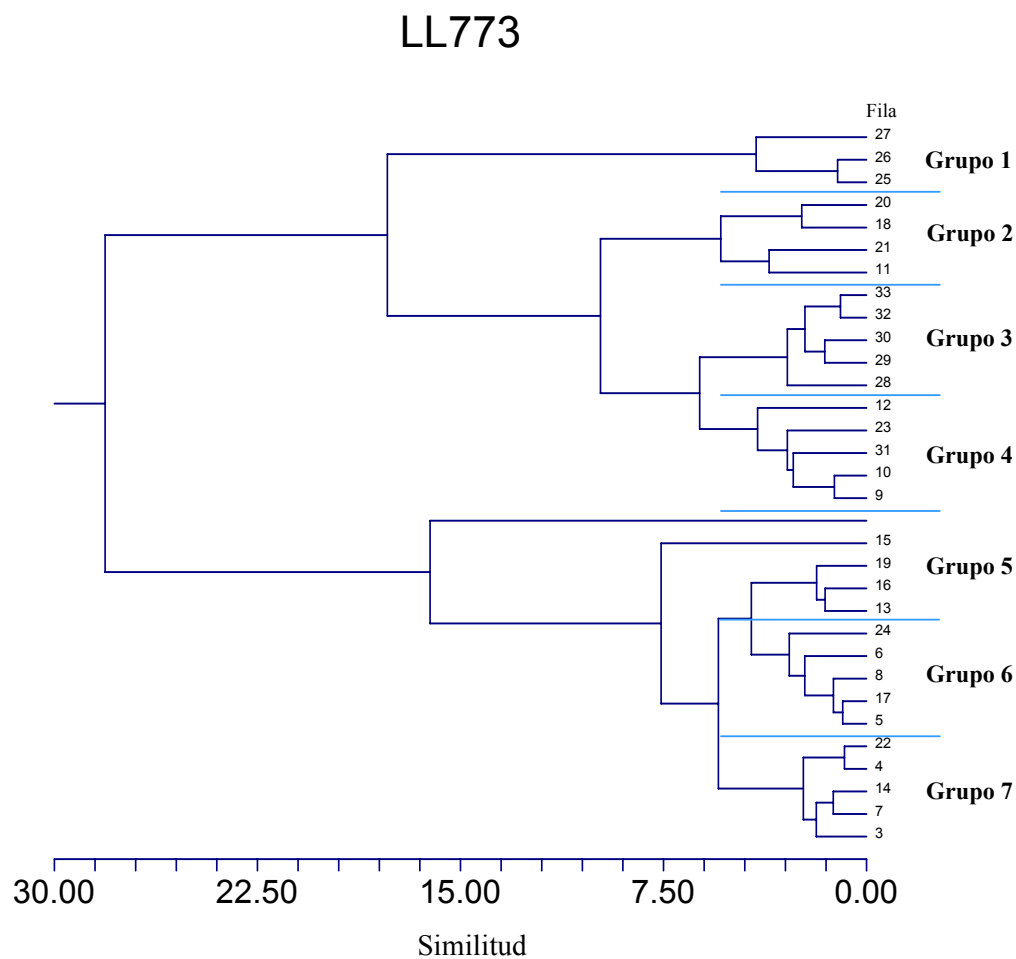


Figura 3.2. Dendrograma para el pozo LL773, generado con el programa NCSS 2000

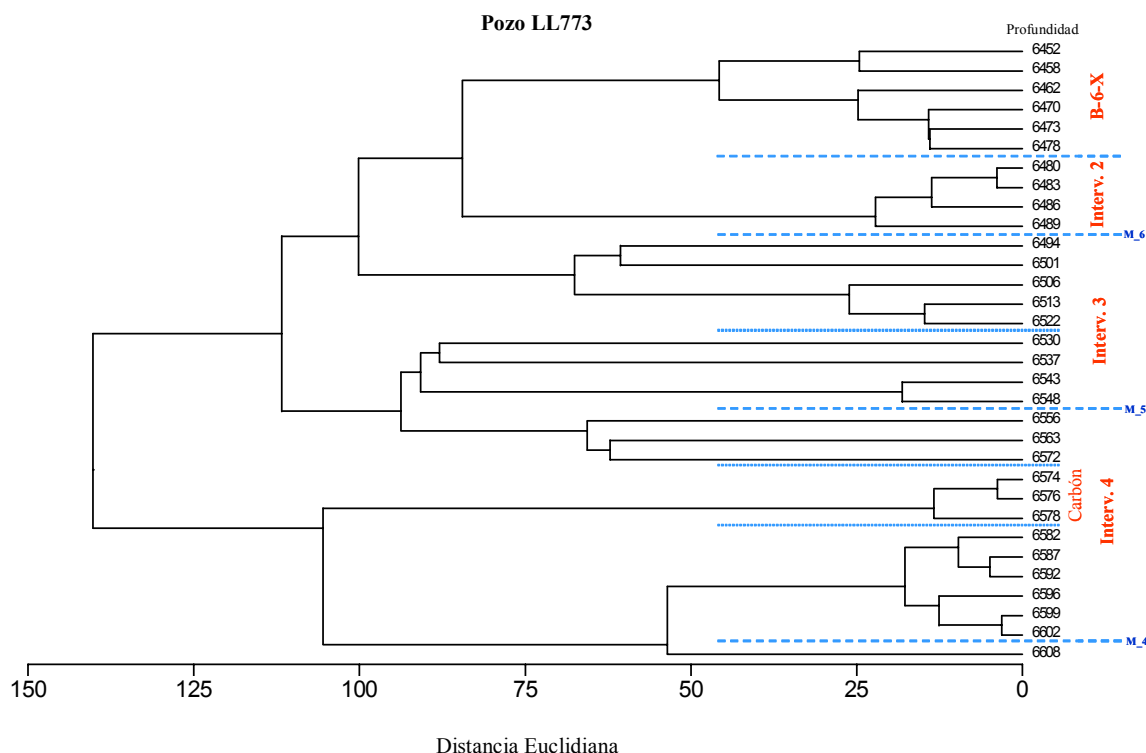


Figura 3.3. Dendrograma para el pozo LL773, generado con el programa MVSP.

3.2.2. Funciones discriminantes

Uno de los procedimientos multivariantes más usados en las geociencias, es el de las funciones discriminantes (DAVIS 1986); estas proveen un enlace adicional entre la estadística univariante y la multivariante. Su objetivo principal es el de separar dos o más individuos dando las medidas de algunas variables de estos, generando así una serie de ecuaciones predictivas que permitan clasificar nuevos individuos dentro de los grupos definidos. (DAVIS 1986, BRYAN, 2000).

Los datos de entrada para las funciones discriminantes, no necesitan estar normalizados previo al análisis. Esto es por que el resultado de las funciones discriminantes, no es afectado en algún modo por el escalamiento de las variables individuales.

En este método se generan funciones para las variables $X_1, X_2, \dots, X_n$ que de algún modo separe m grupos tan bien como sea posible. La aproximación más simple involucra una combinación lineal de X variables tal como:

$$Z = \lambda_1 X_1 + \lambda_2 X_2 + \dots + \lambda_p X_p.$$

Los grupos pueden ser separados usando Z, si el valor promedio cambia considerablemente de un grupo a otro, con los valores dentro de un grupo siendo constantes.

Las funciones discriminantes $Z_1, Z_2, \dots, Z_s$, son combinaciones lineales de las variables originales de tal modo que Z_1 refleja las diferencias entre los grupos tanto como sea posible; Z_2 refleja las diferencias entre los grupos no reflejadas en la función Z_1 ; Z_3 refleja las diferencias entre los grupos no reflejadas ni por Z_1 ni por Z_2 . Se espera que las primeras funciones sean lo suficientemente efectivas para reflejar la mayoría de las diferencias entre los grupos. En particular, si una o dos funciones son necesarias para este propósito, entonces una sencilla representación gráfica de la relación entre los diferentes grupos es posible establecer, graficando los valores de esas funciones para las muestras de datos individuales (BRYAN 2000)

Los coeficientes que acompañan las ecuaciones discriminantes, son calculados resolviendo la ecuación con la siguiente notación:

$[S_p^2] \cdot [\lambda] = D$; donde $[S_p^2]$ es una matriz de dimensiones $m \times m$ de varianzas y covarianzas de las m variables.

Los coeficientes de la ecuación son representados por un vector columna de lambdas (λ) desconocidas, donde:

$\lambda = [(S_p^2)^{-1} \cdot D]$ donde $D_j = A_j - B_j$. Siendo A_j el promedio de la variable j en el grupo A (DAVIS 1986). El número de funciones discriminantes que permitirá diferenciar n grupos; será siempre n-1 funciones; y una condición es establecer a priori el numero de grupos que se quieren diferenciar en un conjunto de datos (DAVIS *op cit.*).

En este estudio se usaron las funciones discriminantes para discriminar ambientes e intervalos estratigráficos en base a su comportamiento químico y radiométrico, y para discriminar los ambientes presentes en los núcleos del pozo LL832, basados en ecuaciones que caracterizan los ambientes conocidos y presentes en el resto de los pozos usados en este trabajo (véase capítulo 6).

Para la aplicación de esta técnica se uso el programa estadístico NCSS, en donde se calculan, las diferentes combinaciones lineales de las variables de entrada (datos químicos y radiométricos), que reflejen las diferencias existentes entre los grupos que se desean discriminar; el programa indica que tan eficiente es el proceso de discriminación, así como gráficos de discriminación tal como el que se muestra en la figura 3.4; al igual que las funciones discriminantes del anexo V.

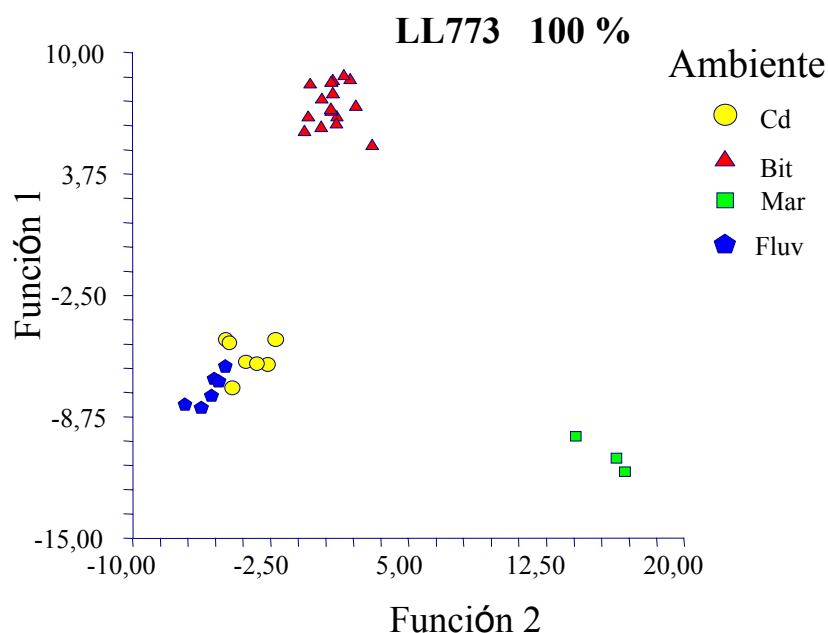


Figura 3.4. Gráfico de clasificación por ambientes generado con el programa de funciones discriminantes del paquete NCSS.

Cd: Canal distributario; Bit: Bahía interdistributaria; Mar: Marisma; Fluv: Fluvial.

4. GEOLOGÍA REGIONAL

4.1 MARCO TECTÓNICO Y ESTRATIGRÁFICO REGIONAL

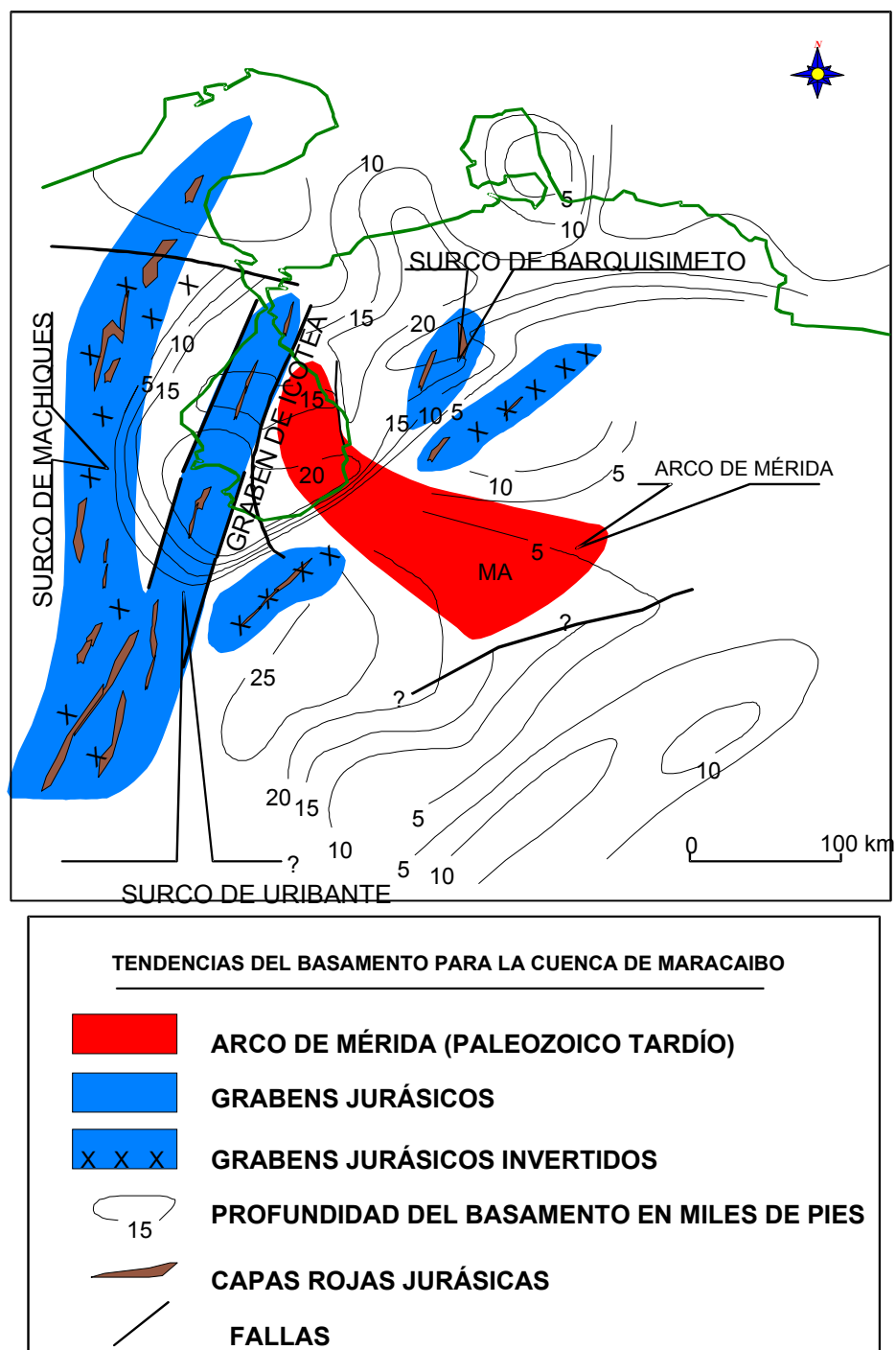
La sedimentación en la cuenca de Maracaibo se inicia durante el Jurásico con el relleno de grábenes originados durante la etapa de rifting que dio origen a la ruptura de Pangea (el supercontinente que reunía las masas continentales de América, Europa y África actuales), este proceso produjo varias estructuraciones importantes que posteriormente influyeron en la evolución de las cuencas sedimentarias venezolanas (YORIS & OSTOS 1997). En la Venezuela continental, la apertura del protocaribe indujo al desarrollo de valles de extensión o grábenes de dirección noreste (figura 4.1) donde se incluyen los de Apure, Mantecal y Espino, así como los de los Andes, Perijá y el del Lago de Maracaibo (YORIS & OSTOS *op cit.*).

Estos grábenes fueron rellenados en el Jurásico por secuencias continentales tipo “capas rojas”, rocas volcánicas, así como eventuales calizas de invasiones marinas. En la cuenca de Maracaibo, esta secuencia Jurásica es representada por el Grupo La Gé, Formaciones Tinacoa, Macoita, y La Quinta. Figura 4.2

Estas unidades ocurren principalmente en la Sierra de Perijá, al oeste del Lago de Maracaibo y al noreste y suroeste de los Andes de Mérida.

Sedimentación Cretácica.

La secuencia cretácica fue depositada sobre una plataforma tectónicamente estable. En el cretácico temprano, una transgresión marina inunda todos los terrenos emergidos para esa época, quedando bajo las aguas el escudo de Guayana. Los depósitos básales de esta transgresión están representados por la Formación Río Negro de edad Barremiense. Esta consiste de areniscas de grano grueso y conglomerados polimícticos depositados en ambientes aluviales y fluviales, los componentes detríticos de estos conglomerados van desde granos redondeados de cuarzo y otros minerales, hasta fragmentos de roca de origen sedimentario, ígneo, metamórfico y principalmente fragmentos de origen volcánico (figura 4.3), estos así como los de rocas sedimentaria probablemente son derivados de la Formación La Quinta.



LUGO (1991)

Figura 4.1. Paleogeografía del occidente de Venezuela durante el Jurásico

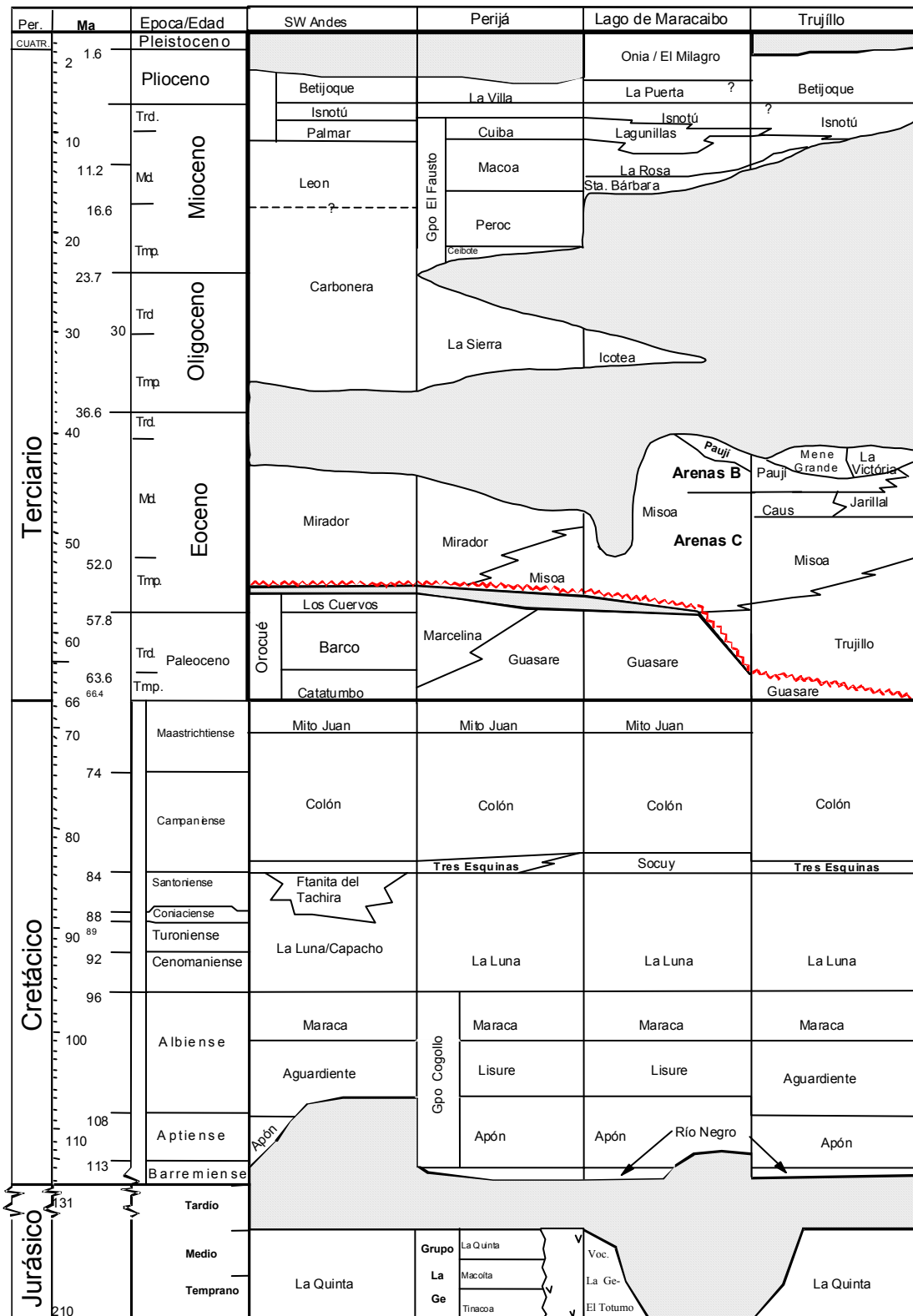


Figura 4.2. Cuadro de correlación cronoestratigráfica regional.

Modificado de LUGO(1991)



Figura 4.3. Fragmento de roca volcánica en una arenisca de la Formación Río Negro.
Pozo VLA722 (14552')

La sedimentación de esta unidad fue controlada por el sistema de fallas de los grábenes Jurásicos, tal como se evidencia por los espesores de la Formación Río Negro, los cuáles varían desde más de 2000 m en el surco de Machiques, hasta algunos pocos metros en el Flanco Norandino y en el lago de Maracaibo (YORIS & OSTOS 1997).

Posteriormente, una estabilización de la subsidencia dio lugar a la formación de un extenso mar epicontinental transgresivo en el occidente de Venezuela donde se depositó el Grupo Cogollo YORIS & OSTOS (*op cit.*).

El inicio de la sedimentación carbonática en el área del lago de Maracaibo y Perijá es marcada por la Formación Apón (Aptiense - Albiense) (figura 4.2), ésta es una secuencia de lutitas y limolitas negras fosilíferas (Miembro Tibú) consideradas por BARTOK *et al.* (1981) como sedimentos de un ambiente restringido de aguas marinas llanas y de baja energía. A finales del Aptiense se deposita una secuencia de lutitas delgadas dolomíticas que constituyen el Miembro Guaimaros, el cual se extiende sobre una gran parte de la plataforma de Maracaibo y del frente andino (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980).

Simultáneamente una notable subsidencia en la parte central del surco de Machiques produce una secuencia sedimentaria constituida por lutitas calcáreas, laminares y oscuras denominada Miembro Machiques. A comienzos del Albiense la depositación de las calizas plataformales del Miembro Piché de la Formación Apón representa la reanudación de una circulación normal marina en la parte occidental de la cuenca, mientras que hacia el sureste se deposita la Formación Aguardiente como una interdigitación de arenas y lutitas con calizas grises. Figura 4.4.

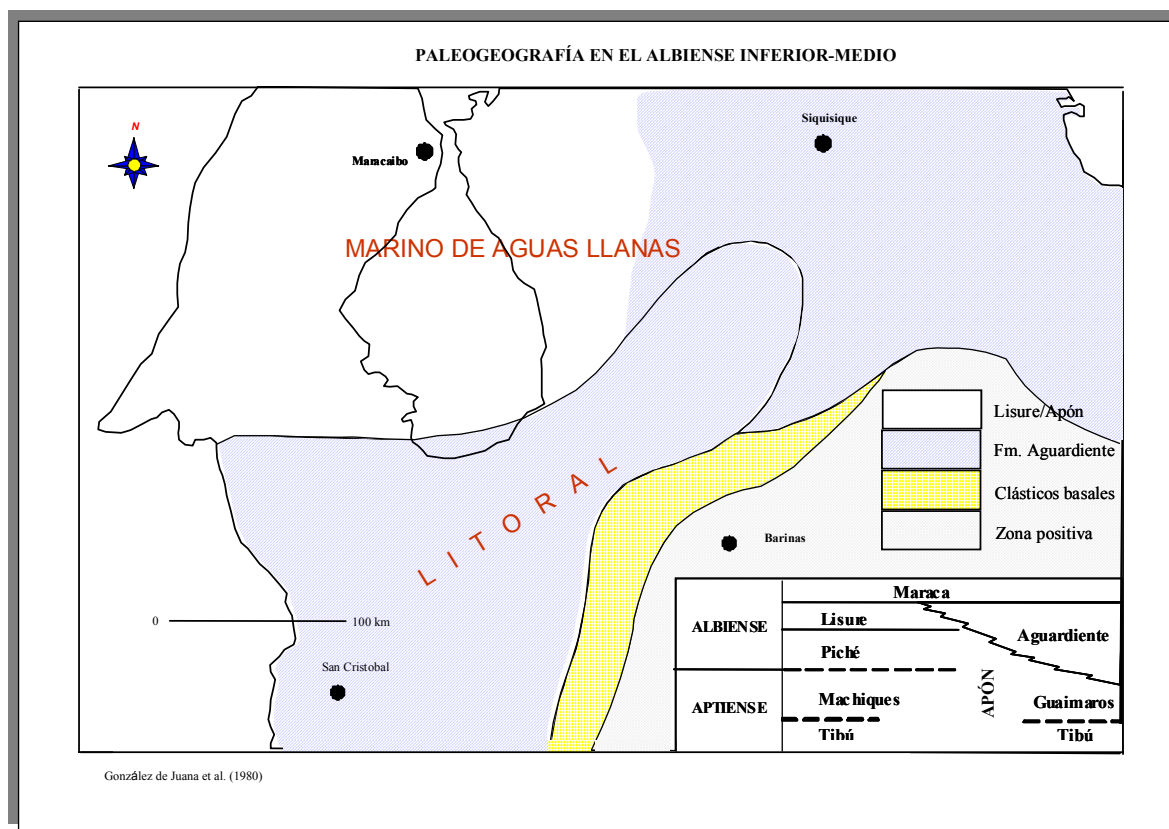


Figura 4.4. Paleogeografía del occidente de Venezuela durante el Albiense inferior - medio
Tomado de GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980).

Durante el Albiense medio-inferior se deposita la Formación Lisure (figura 4.2) representada por areniscas glauconíticas y calizas coquinoideas producto de una ligera subsidencia en el surco de Machiques (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980) Esta formación se extiende en el subsuelo de la plataforma de Maracaibo, pero más hacia el norte aumenta su contenido de rocas carbonáticas. Hacia el sur, Lisure grada a la Formación Aguardiente de la cual es equivalente lateral parcial (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980).

En el Albiense medio las aguas continúan avanzando hacia el sur invadiendo las cuenca de Barinas, flanqueando y cubriendo el arco de Mérida durante el Albiense superior (figura 4.4).

Es en este periodo que las condiciones de sedimentación se estabilizan, dando origen a un delgado y extenso intervalo de calizas fosilíferas que constituye la Formación Maraca (figura 4.2) GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980).

La transgresión iniciada en el Cenomaniense alcanza su máximo pico en el Turoniense coincidiendo con el pulso mundial transgresivo de Cretácico Tardío, responsable de la sedimentación de calizas, lutitas, y fanitas ricas en materia orgánica tanto en América como en Europa (YORIS & OSTOS 1997). Estas rocas en el occidente de Venezuela, específicamente en la Cuenca de Maracaibo se conoce como Formación La Luna (figura 4.2). Toda la literatura sobre esta, coinciden en el carácter euxínico de los sedimentos que constituyen esta unidad (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980, MACERALLI & DE VRIES 1987, BOESI & GODDARD 1988, MENDEZ 1990).

Sin embargo su paleoprofundidad es materia de discusión; BOESI & GODDARD (1988) sugieren una profundidad de sedimentación de al menos 1000 m por debajo del nivel del mar, por otro lado MENDEZ (1990) indica una profundidad máxima de 50 m en base al carácter del contacto entre esta unidad y la Formación Maraca. Este contacto transicional no soporta un cambio abrupto en la profundidad del agua. Para resolver el problema de la anoxia de los sedimentos de La Luna, MENDEZ (*op cit.*) sugiere que durante el pico de la transgresión del Cenomaniense-Turoniense existían corrientes de surgencia vertical desde la parte más profunda del talud externo hacia la plataforma más somera; así las condiciones anóxicas que prevalecieron en las aguas más profundas se pudieron extender a aguas más someras.

Los espesores de esta formación varían entre 100 y 300 m con tendencia a aumentar de norte a sur. Las capas de cenizas volcánicas en la base de esta formación sugieren la presencia de un arco volcánico Pacífico al oeste del lago de Maracaibo (PARNAUD *et al.* 1995).

Durante el Campaniense (figura 4.2) se depositan las calizas micríticas del Miembro Socuy de la Formación Colón; localmente en los Andes de Mérida una secuencia de 1 a 3 m de espesor de calizas glauconitizadas y fosfatizadas constituyen el Miembro Tres Esquinas de la Formación Colón. GHOSH (1984) interpreta este miembro como una sección condensada.

Los miembros Socuy y Tres Esquinas de la Formación Colón separan la secuencia transgresiva subyacente de una secuencia regresiva suprayacente marina a marina somera conocida como Formación Colón.

La Formación Colón básicamente está constituida por una espesa sección lutítica que puede alcanzar hasta 1000 m de espesor en el área del Lago de Maracaibo.

La sedimentación de esta formación fue rellenando la cuenca hasta el Maastrichtiense Superior durante el cual aparecen intervalos arenosos, que en algunas partes de la cuenca se conocen con el nombre de Formación Mito Juan y que contienen faunas indicativas de escasa profundidad (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980). El contacto entre ambas Formaciones suele ser gradacional, con intervalos lutíticos que se hacen gradualmente más arenosos.

Sedimentación Terciaria.

A finales del Cretácico y comienzos del Paleoceno, Venezuela occidental sufre el efecto de la colisión de la Placa Nazca (océano Pacífico) y el occidente Colombiano; existen evidencias de que la sedimentación del Grupo Orocué (y posiblemente las Formaciones Guasare y Marcelina) estuviesen controladas por los frentes de deformación de la citada colisión; estos generaron sucesivos depocentros de edades cada vez más jóvenes hacia el este de lo que es hoy día, la Sierra de Perijá (YORIS & OSTOS 1997). Hacia el noroeste de la placa suramericana, la colisión oblicua del arco de las Antillas Menores provocó una sucesiva generación de escamas tectónicas (napas) con vergencia hacia el sur y sureste controlando la sedimentación de las Formaciones Trujillo y Morán, de carácter turbidítico (YORIS & OSTOS *op cit.*).

Al norte y oeste de la cuenca de Maracaibo al inicio del Paleoceno, la Formación Guasare en cambio representa ambientes más someros que reflejan una mayor lejanía de los frentes de deformación. Esta formación de edad Paleoceno está constituida por calizas fosilíferas y areniscas calcáreas con una pronunciada variación lateral de facies gradando de arcillas hacia el noroeste, a rocas sedimentarias marino somero hacia el norte, a rocas clásticas de grano grueso hacia el oeste y a depósitos deltaicos a fluviales hacia el sur (LUGO & MAN 1995). En su sección tipo el espesor (incompleto) de la Formación Guasare es de unos 120 m.

Transicionalmente se deposita la Formación Marcelina cuyas numerosas capas de carbón son indicativas de un ambiente paráfico (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980).

Durante el Eoceno, en la cuenca de Maracaibo existió un marco sedimentario complejo que se caracterizó por sistemas deltaicos-estuarinos, fluvio-costeros y marinos, en diferentes ubicaciones geográficas delante de los frentes de corrimiento, ya sea el de Perijá o el relativamente más joven del Estado Lara hacia el este (YORIS & OSTOS 1997).

El más importante de los sistemas fluvio-deltaicos desarrollado en la cuenca de Maracaibo, durante el Eoceno temprano-medio es el representado por la Formación Misoa.

La Formación Misoa fue originalmente definida en el cerro Misoa, posteriormente fue extendida hacia el este a lo largo del río Misoa, hasta el flanco de la serranía de Trujillo (CIEN, 1999), figura 4.2.

El principal depocentro de esta formación ocurrió en un cinturón elongado a lo largo del borde noreste de lo que hoy día es el Lago de Maracaibo. Esta área recibió más de 7000 m de espesor de sedimentos (LUGO 1991).

AUDEMARD (1991), considera la secuencia terciaria del lago, como un depósito de cuenca antepaís (cuenca foreland) y discute los patrones de acumulación sedimentaria sobre la base de mapas isópacos. La sección Eocena, se espesa hacia el noroeste y es caracterizada por un sistema progradante hacia el sur, considerablemente influenciado por la evolución de la Cordillera de Perijá. Concluye que el escenario del Eoceno es controlado por tectonismo con una provincia de grauwas al oeste y norte y una provincia de areniscas cuarzosas al sur; discordancias de extensión regional en el Eoceno sugieren episodios tectónicos con la consecuente erosión de los altos y deposición en los bajos.

VAN VEEN (1972), corrobora el carácter deltaico de esta unidad en una sección completa de núcleos de pozos de la Formación Misoa en la parte central del lago de Maracaibo. Todas las facies sedimentarias fueron interpretadas como pertenecientes a un complejo deltaico.

Desde el Paleoceno y durante todo el Eoceno existió un fuerte control tectónico sobre la sedimentación que se ve reflejada en las características sedimentarias de las unidades depositadas durante este periodo.

El desplazamiento progresivo hacia el sur de las escamas tectónicas (napas) generadas por la colisión oblicua del arco de las Antillas menores contra la placa Suramericana, generaron por carga tectónica, el desarrollo de cuencas antepaís (foreland), cuyos depocentros (foredeeps) fueron migrando hacia el este a través del tiempo. El depocentro al norte de la cuenca de Maracaibo estaba migrando hacia el suroeste en tiempos Paleoceno-Eoceno temprano, y durante el Eoceno Medio se movió hacia el sur-este por efecto de la presencia del Arco de Mérida. La figura 4.5 describe esquemáticamente las distintas posiciones de los foredeeps a medida que las napas de Lara avanzaban hacia el sur.

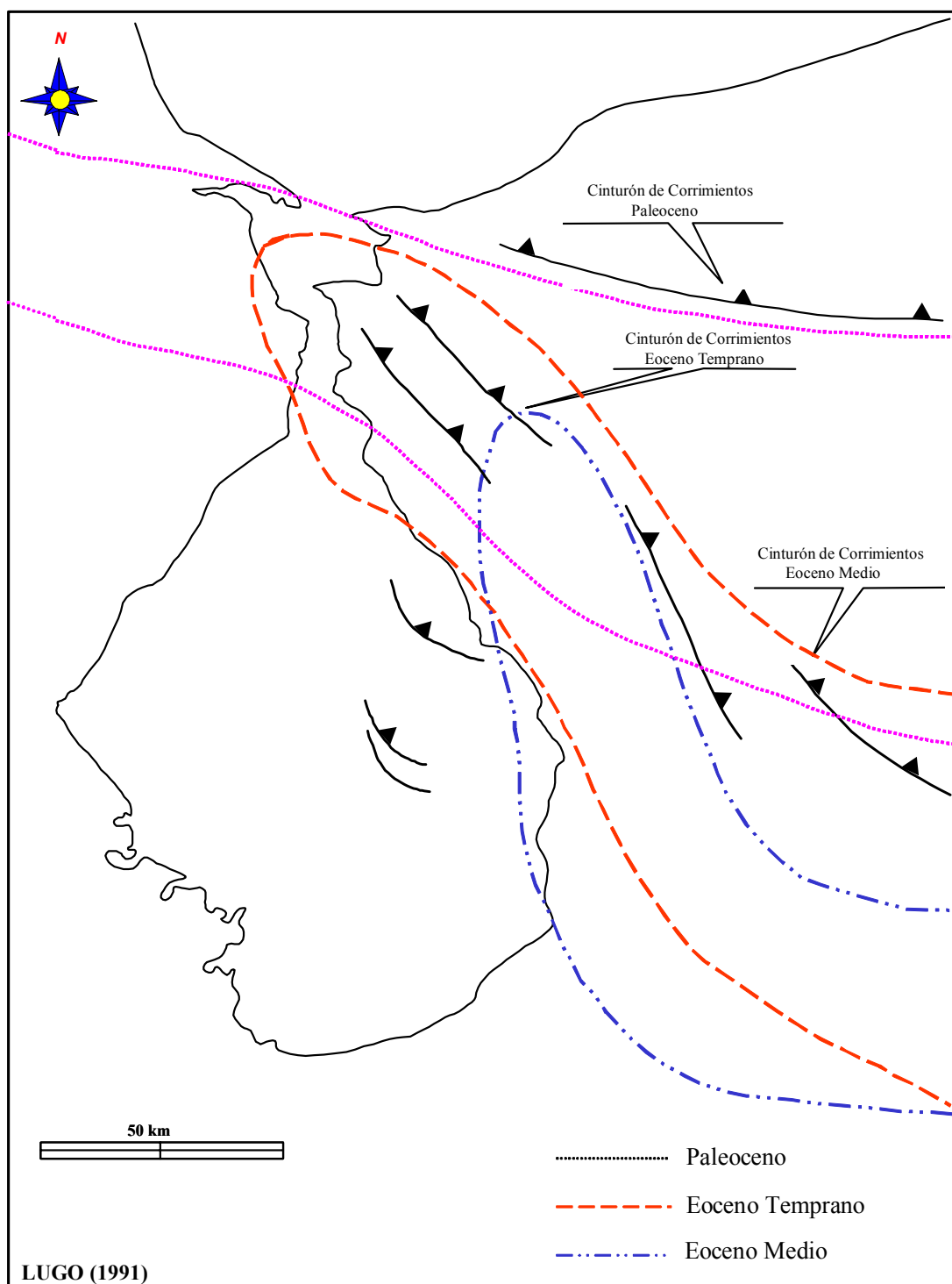


Figura 4.5. Patrón de migración de la cuenca antepaís desde el Paleoceno hasta el Eoceno Medio, donde se muestran los cinturones de corrimientos asociados. Tomado de LUGO (1991).

La migración de estos depocentros hacia el sur marca las características del apilamiento sedimentario durante el Eoceno y principalmente reflejados en la Formación Misoa. SERRANO *et al.* (1996), identifica en el área de Bachaquero dos ciclos sedimentarios asociados al desarrollo de una cuenca antepaís (foreland) desde el Eoceno Temprano.

El primer ciclo comienza con las arenas basales de la Formación Misoa depositadas en relación de solapamiento costero (onlaps) sobre la discordancia del Paleoceno (o límite de secuencia 57,8 Ma de HAQ *et al.* 1988) este ciclo se hace cada vez más transgresivo hasta alcanzar una superficie máxima de inundación (mfs 46,5 Ma), luego la secuencia se hace cada vez más regresiva hasta alcanzar una discordancia denominada límite de secuencia de 44 Ma, esta coincide con el tope del miembro informal B-7-X de la Formación Misoa (figura 4.6).

Con esta se cierra el primer ciclo sedimentario controlado por el tectonismo. El segundo ciclo lo conforma la secuencia que va desde esta superficie hasta la discordancia del Eoceno, al igual que en el primer ciclo tectónico se identifica en esta un proceso transgresivo al inicio y uno regresivo al final, marcando la culminación de uno y el inicio del otro, una superficie de inundación máxima identificada como la 42,5 Ma. según el esquema de HAQ *et al.* (1988) figura 4.6.

Estos ciclos son consecuencia de los pulsos tectónicos que dan origen a la migración de los depocentros hacia el sur y descritos en la figura 4.5; una fuerte flexión local por efecto de la sobrecarga tectónica debido a la migración de estos terrenos hacia el sur, da origen en el Eoceno tardío a la depositación de la Formación Paují, esta es caracterizada por cientos de metros de lutitas marinas grises. En el área de Mene Grande se describe un grueso desarrollo de areniscas de unos 30 m de espesor, intercalado entre gruesos intervalos de lutitas (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980). El Oligoceno, fue preservado en la cuenca de Maracaibo mayormente hacia sus flancos; al oeste los clásticos arenosos de las Formaciones Carbonera y Ceibote (Grupo El Fausto) al sur y este los clásticos finos de la Formación León y hacia el centro del lago de Maracaibo, la Formación Icotea (figura 4.2). Esta se encuentra en depresiones controladas estructuralmente; su litología característica es de limolitas y arcilitas, con cantidades menores de areniscas (YORIS & OSTOS 1997).

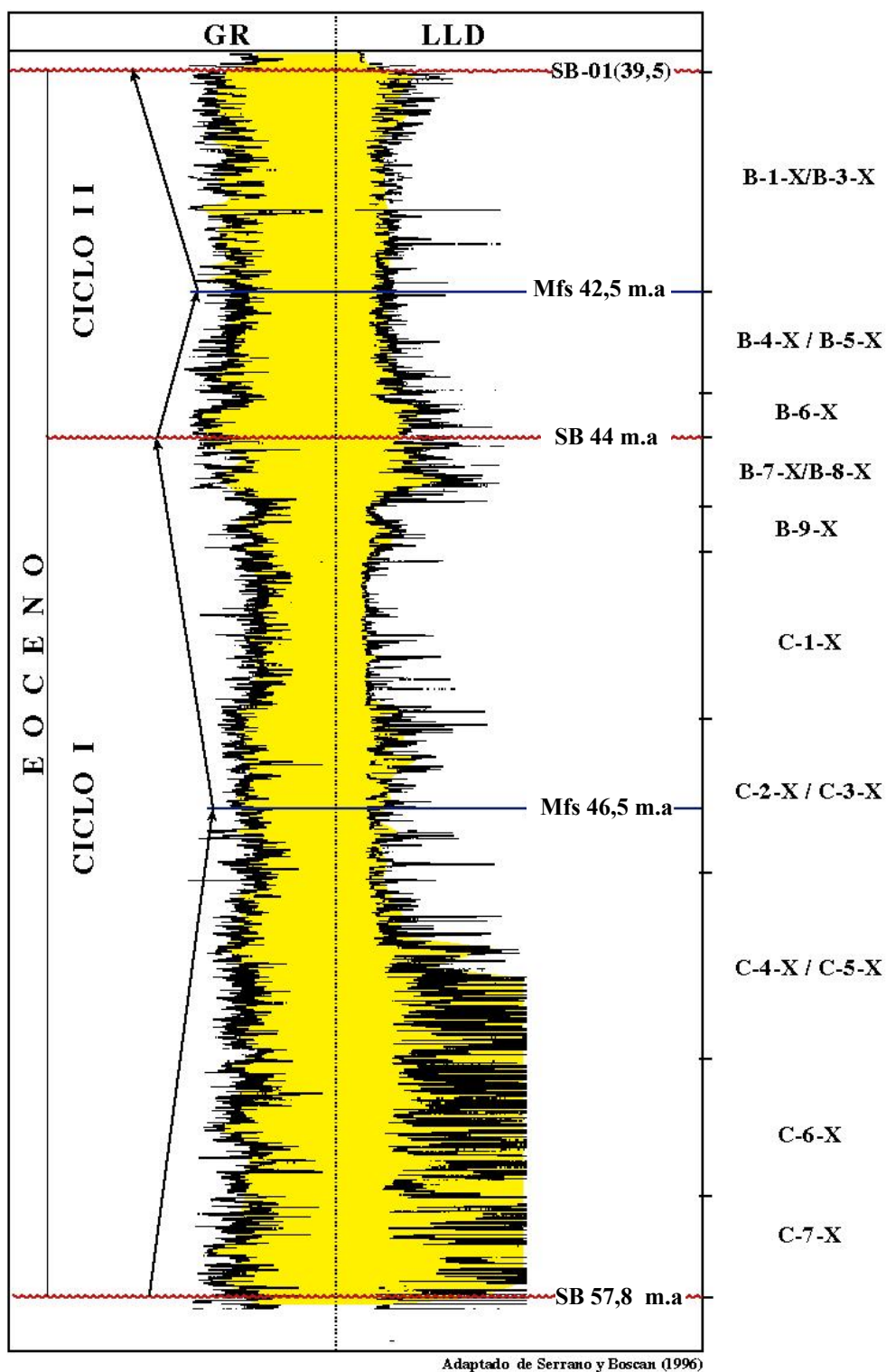


Figura 4.6. Registro del pozo BA2100, donde se muestran los dos ciclos sedimentarios de origen tectónico desarrollados en la Formación Misoa.

El Neogeno en Venezuela está signado por importantes eventos orogénicos consecuencia directa de la interacción de las placas del Caribe y Suramérica.

En el occidente, el levantamiento andino genera la sedimentación de importantes espesores de molasa (Formaciones La Villa, La Puerta y El Milagro), los cuáles llegan a alcanzar hasta 5000 m de espesor en algunas localidades tanto en el flanco norandino como en el surandino. En la Sierra de Perijá, el Grupo El Fausto es la unidad equivalente molásica, relacionada en este caso con las montañas de los frentes de deformación en el límite occidental de la cuenca. (YORIS & OSTOS 1997).

Hacia el centro y oeste del lago de Maracaibo, unidades como las Formaciones La Rosa y Lagunillas anteceden a los ambientes distales de las molasas andina y perijanera. La Formación La Rosa, con sus areniscas basales (Miembro Santa Bárbara), es de gran importancia petrolífera; presenta un desarrollo central lutítico que la caracteriza, con variaciones laterales arenosas; su espesor oscila entre 70 y 110 m, debido a que se depositó sobre una superficie irregular de erosión controlada por fallas; su edad se ubica entre Mioceno Temprano a Medio (YORIS & OSTOS *op cit.*).

La Formación Lagunillas, suprayace transicionalmente a la anterior (figura 4.2) y esta constituida por sedimentos de ambientes someros transicionales, costeros hasta continentales, que alcanzan hasta más de 1000 m de espesor hacia el centro del lago de Maracaibo; constituye yacimientos muy importantes en la costa oriental del lago; su edad Mioceno Medio a Tardío.

Durante el Mioceno Tardío al Plioceno ocurren importantes cambios en la cuenca de Maracaibo; Los Andes de Mérida y La Sierra de Perijá alcanzan su presente elevación. Debido a estos levantamientos, la cuenca sufre un vasculamiento desde el oeste hacia el sur-este, permitiendo a un gran volumen de sedimentos entrar al foredeep Andino (LUGO 1991). Es en esta época que se deposita en el lago de Maracaibo, la Formación Isnotú, la cual es esencialmente lacustrina en origen con depósitos fluviales y aluviales subordinados. El carbón es muy común en esta unidad (LUGO *op cit.*). GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980) extiende la aplicación del nombre Formación La Puerta del Estado Falcón al subsuelo del lago de Maracaibo para referirse a los mismos sedimentos (figura 4.2).

Del Plioceno al Holoceno, los procesos orogénicos a lo largo de los Andes de Mérida continúan. El depocentro andino recibe mayores volúmenes de sedimentos que el depocentro desarrollado al pie de la serranía de Perijá. Durante este periodo se depositan las Formaciones Onia y El Milagro como unidades que marcan el final de la colmatación de la Cuenca de Maracaibo.

4.2. NOMENCLATURA ESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN MISOA

En el área del Lago de Maracaibo esta formación es la responsable de almacenar el mayor volumen de reservas de hidrocarburos de toda la cuenca y por lo tanto es la unidad estratigráfica con mayor número de yacimientos en su sección. Desde el principio la atención se enfocó en crear una nomenclatura estratigráfica característica que hiciera más fácil el manejo de estos yacimientos.

El primer intento en establecer una nomenclatura estratigráfica en un campo con yacimientos múltiples en la cuenca de Maracaibo fue realizado por DALLMUS (1946) citado por WALTON (1968), su proposición fue que cualquier unidad productora podría ser dividida arbitrariamente en un máximo de diez unidades superpuestas que podrá ser numerada desde 0 al 9; posteriormente RARWAY (1948) y WHITE (1950), citados también en WALTON (1968) establecieron la nomenclatura codificada, hoy día usada en el Eoceno del Lago de Maracaibo.

WHITE (*op cit.*) propuso dividir el Eoceno del Lago en dos secuencias B y C. La secuencia B la subdividió en 9 miembros informales y la secuencia C en 7 miembros informales acompañados todos con un sufijo “X”, este tiene un sentido algebraico de un miembro desconocido y abarca todas las arenas que se pueden desarrollar dentro de cada miembro (WALTON *op cit.*). La nomenclatura propuesta por WHITE y actualmente en uso se muestra en la figura 4.7.

NATERA (1961) revisa la nomenclatura en el Eoceno del lago y trata de explicar el uso práctico de esta, que sigue mas bien criterios litoestratigráficos que cronoestratigráficos, su trabajo se concentra en la sección superior de Misoa o arenas B, la cual se divide en 9 intervalos que van de B-1-X a B-9-X, dentro de cada uno de estos intervalos existe un numero indeterminado de arenas y que una correlación individual de todas estas dentro de uno de estos miembros no siempre es posible, esta subdivisión tanto para las arenas “C” como las arenas B fue

EDAD	FORMACIÓN	MIEMBRO	ESPESOR	DESCRIPCIÓN	
MIOCENO	FM. LAGUNILLAS	ISNOTU	3600'	ARENISCAS DE GRANO GRUESO A CONGLOMERÁTICAS, MAL ESCOGIDAS, POCO CONSOLIDADAS, ARCILLOSAS, MOTEADAS, PLÁSTICAS Y LIMOSAS.	
		BACHAQUERO	200'		
		LAGUNA	1000'		
		LAGUNILLAS INFERIOR	132'		
	FM. LA ROSA	ARENA LA ROSA ARENA INTERMEDIA ARENA STA. BARBARA	590' 820'	ARENISCAS GRISES A MARRÓN, BLANDAS, ESTRATIFICADAS, FOSILÍFERAS. LUTITAS NEGRAS, LIGNÍTICAS FINAMENTE ESTRATIFICADAS.	
FM. PAUJI	A - 9	600'			
EOCENO	FM. MISOA	B - 1	3860'	ARENISCAS GRIS CLARO A OSCURO, GRANO FINO A MEDIO. DURA, MICÁCEA, CARBONÁCEA, MACIZAS A ESTRATIFICADAS.	
		B - 2			
		B - 3			
		B - 4			
		B - 5			
		B - 6			
		B - 7			
		B - 8			
		B - 9			
		C - 1	2500'	LUTITAS GRIS OSCURAS, MACIZAS A ESTRATIFICADAS, CARBONÁCEAS, LOCALMENTE FOSILÍFERAS, CALCÁREAS.	
		C - 2			
		C - 3			
		C - 4			
		C - 5	2000'		
		C - 6			
		C - 7			
		FM. GUASARE		200' - 600'	LUTITAS GRIS NEGRAS, CALCÁREAS DURAS MICROFOSILÍFERAS FINAMENTE ESTRATIFICADAS A MACIZAS. CALIZA NEGRA, NODULAR.
		FM. MITO JUAN		200'	
				2000'	
CRETÁCICO	FM. COLON	SOCUY	130'	CALIZA GRIS DENSA, MACIZA A GRUESAMENTE ESTRATIFICADA, ARENOSA. ARENISCA GLAUCONÍTICA. LUTITA GRIS A NEGRA.	
			300'		
		FM. LA LUNA			
		FM. MARACA	60'		
		FM. LISURE	400'		
		FM. APÓN	350'		

Figura 4.7. Columna estratigráfica del lago de Maracaibo, donde se muestra la nomenclatura definida por Dallmus para el Eoceno.

establecida sobre la base de registros eléctricos y las mismas son básicamente unidades de correlación, y estas son esencialmente intervalos entre horizontes correlacionables, los cuales tienen una litología muy variable. La extensión lateral de estos horizontes, se hacia definiendo secciones tipo descritas en los pozos donde esta mejor estaba definida a criterio del geólogo que hacia la correlación, cualquier otro pozo que se perforara se correlacionaba con estos pozos claves, y fue así como esta nomenclatura se extendió en todo el lago.

NATERA (*op cit.*), en su trabajo, estableció las localidades tipo en el subsuelo, para cada uno de los intervalos definidos para las arenas B, así como sus características litológicas para cada uno de estos.

4.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL

En la figura 4.8 se muestra la estructuración actual en la Cuenca de Maracaibo. En ella se diferencian cinco tendencias estructurales donde destaca el patrón de fallamiento de dirección NNE y conformado principalmente por las Fallas de Icotea, Pueblo Viejo, Urdaneta y Falla de Lama (LUGO 1991).

Es la Falla de Icotea la de mayor longitud en el lago, la misma tiene más de 130 km de longitud. Figura 4.8.

La Falla de Pueblo Viejo, corre paralela a la de Icotea y debido a procesos de inversión a lo largo de su historia geológica, presenta mayores complejidades en toda su traza. Desde el Cretácico hasta el Eoceno inferior esta era una falla normal con el bloque deprimido al este.

Durante el evento transpresivo desarrollado en la cuenca durante Eoceno Medio y que se extendió hasta el Mioceno esta falla antes normal fue transformada en una falla inversa.

La Falla de Urdaneta, localizada al oeste de la Falla de Icotea, es una falla de movimiento inverso con vergencia al oeste (LUGO 1991).

Asociado a este patrón de fallamiento, se desarrollan pliegues cuyos ejes son ligeramente transversales a estas fallas principales (figura 4.8). Muchos de estos pliegues son de edad Mioceno, afectando casi toda la sección sedimentaria de la cuenca (LUGO *op cit.*). También asociadas al patrón de fallas mayores de la cuenca, se encuentran fallas transversales a estas fallas mayores de desplazamiento normal o inverso.

Las fallas normales tienen en general un rumbo de N30W a N50W (figura 4.8). Muchas de ellas afectan las unidades del Eoceno Superior y mueren en la discordancia del Eoceno-Mioceno (LUGO 1991). Algunas de estas fueron reactivadas en el Mioceno. Las fallas que delimitan el área estudiada en el presente trabajo son de este tipo.

Los patrones de fallas inversas desarrollados en la Cuenca de Maracaibo presentan rumbos hacia el norte tales como las que se ven en el área de Alturitas (VI en la figura 4.8). Estas son asociadas a una compresión regional este-oeste en el Plioceno Tardío al Holoceno.

Otras fallas inversas presentan un patrón NW, estas son ubicadas en el área de Centro lago (VII, figura 4.8), Lagunillas (VIII), Bachaquero (IX) y el área de Ambrosio (X). La vergencia hacia el suroeste de estas fallas indica un transporte tectónico desde el noroeste durante el Eoceno Temprano-Medio.

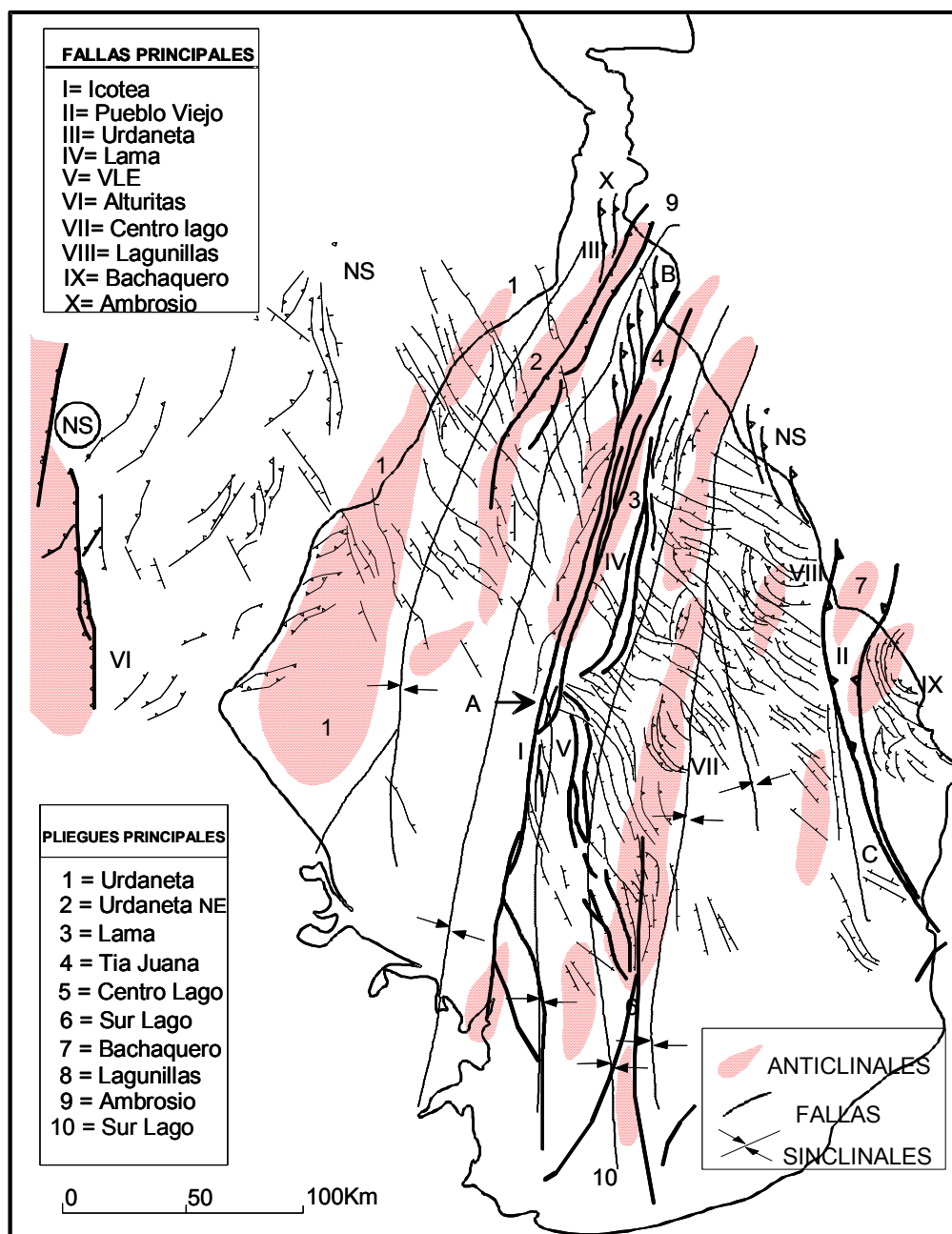


Figura 4.8. Estilos estructurales actuales en el lago de Maracaibo (LUGO 1991).

5. GEOLOGÍA LOCAL

5.1. ESTRATIGRAFÍA

El intervalo sedimentario analizado en este trabajo, corresponde a la secuencia progradante depositada al final del primer ciclo tectónico identificado en la secuencia Eocena de la Formación Misoa por SERRANO *et al.* (1996); de acuerdo a la nomenclatura estratigráfica definida por WHITE (1951) en WALTON (1968) corresponde a los miembros informales B-7-X y B-8-X del primer ciclo tectónico e incluye la parte basal de B-6-X, que marca el comienzo del segundo ciclo tectónico (figura 4.6). Estos intervalos fueron muestreados al recuperar núcleos en nueve pozos del área (figura 5.1).

La secuencia correspondiente a B-7-X / B-8-X, fue dividida en seis intervalos en el área adyacente LL370 por MAGUREGUI (1993), figura 5.1.

Estos intervalos son separados uno del otro por superficies de inundación o horizontes lutíticos que son fácilmente identificables tanto en el área LL370 como en la de estudio (LL453); estas lutitas reflejan los cambios eustáticos menores enmarcados dentro de un proceso progradante mayor, tal como se observa en la figura 4.6 y que le da a la secuencia Eocena sus características sedimentarias.

MAGUREGUI (1993) identificó estas superficies en base a las características de estas reflejadas en los registros de potencial espontáneo (SP), de rayos gamma (GR) y de resistividad en 100 pozos del área LL370. Estas lutitas presentan valores muy altos en las lecturas de radiaciones gamma (GR), una fuerte deflexión hacia la derecha en el registro de potencial espontáneo, y una muy baja resistividad en el registro correspondiente.

MAGUREGUI (*op cit.*) en base a su correlación, establece un modelo sedimentológico para el intervalo B-7-X / B-8-X en el área LL370. Este intervalo tiene un espesor de 350' - 450' y tal como se mencionó anteriormente, dividió la secuencia en seis intervalos limitados por siete superficies de inundación o marcadores de carácter regional.

Este autor a través de mapas de espesor total, arena neta, porcentaje de arena y facies sedimentarias, caracteriza cada uno de los intervalos que identificó en su estudio.

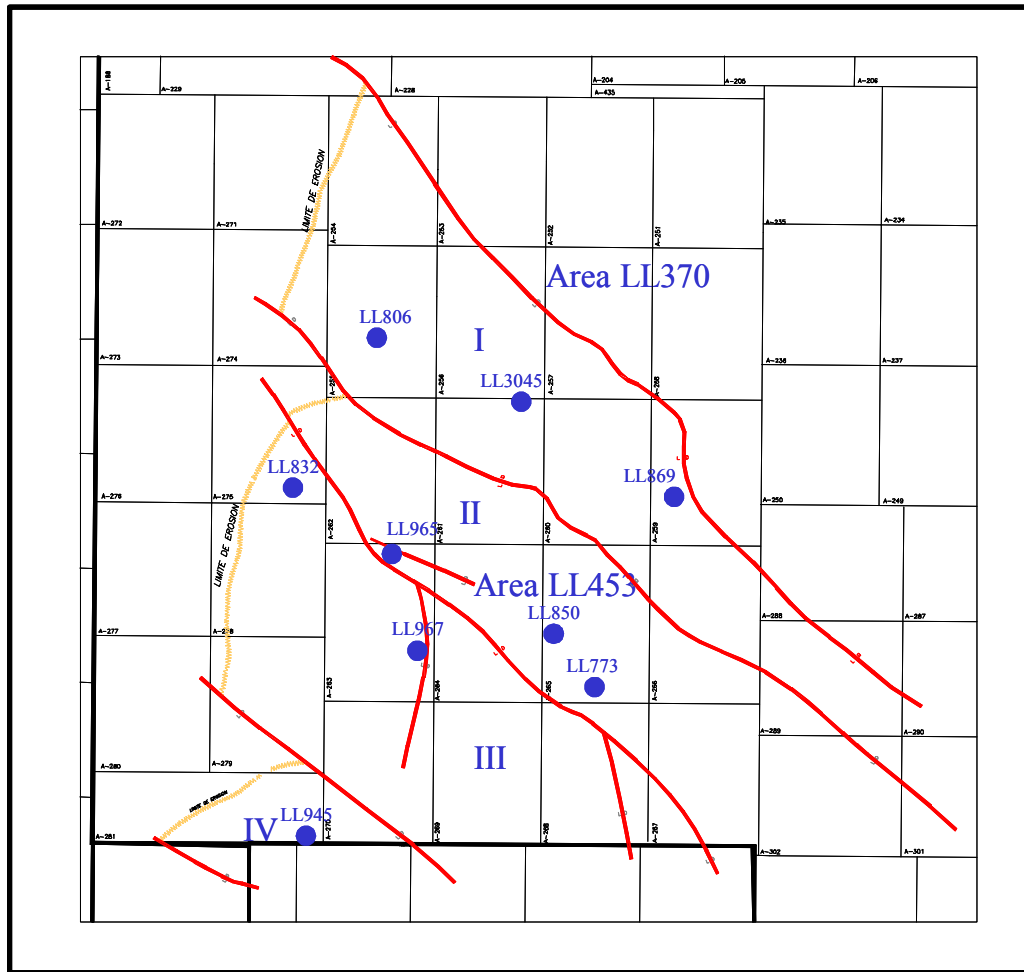


Figura 5.1. Mapa base del área estudiada con los pozos cuyos núcleos fueron analizados y los bloques en que la zona es naturalmente dividida.

La dirección de transporte sedimentario es de sureste al noroeste, lo que coincide con las direcciones regionales de sedimentación de las secuencias fluvio - deltaicas de la Formación Misoa, definida por otros autores.

En el área de estudio o LL453 (figura 5.1), la sección sedimentaria de B-7-X / B-8-X oscila entre 260' y 280' de espesor, menor que la estudiada en el área vecina en estos mismos intervalos, lo que indica un espesamiento de la secuencia en dirección del hundimiento del paleosustrato sobre el cual se depositó la secuencia de B-7-X / B-8-X.

En la zona, se identificaron los marcadores definidos por MAGUREGUI (1993) en el área vecina, además de estos se definió un marcador lutítico inmediatamente por debajo del contacto

abrupto entre B-6-X y B-7-X. Se definen con estos marcadores, 8 intervalos entre B-7-X y B-8-X y la parte basal de B-6-X.

La figura 5.2, muestra los marcadores e intervalos identificados en el área. MAGUREGUI (1993) identifica en su estudio los intervalos del 3 al 8; en el presente trabajo se diferenció dos intervalos adicionales como lo son el 2 y el 9, el intervalo 1 mostrado en la figura 5.2 corresponde a la parte basal de B-6-X.

En el área estudiada, el intervalo 5 (figura 5.2) fue identificado en los pozos LL806, LL850, LL869 y LL3045, ubicados estos en los bloques I y parte del II de la figura 5.3; se podría pensar que este intervalo esta asociado o es parte del intervalo 4, pero el análisis de funciones discriminantes; lo caracteriza como un intervalo diferente al intervalo 4.

De acuerdo al modelo establecido por SERRANO *et al.* (1996), el intervalo analizado representa una secuencia progradante afectada por variaciones eustáticas menores que definen ciclos regresivos y transgresivos que da origen a la superposición progresiva de lóbulos deltaicos que se apilan verticalmente en la medida que el sustrato sobre el cual se depositan se va hundiendo. Los lóbulos deltaicos, son los intervalos identificados entre superficies de inundación y mostrados en la figura 5.2.

Estos lóbulos deltaicos, son caracterizados por los distintos ambientes de sedimentación identificados en cada uno de los núcleos descritos en esta parte de la sección del área LL453.

Básicamente son facies comunes en una planicie deltaica que le gana terreno al mar, surcada por canales distributarios activos influenciados por mareas, bahías interdistributarias, barras de desembocadura etc.

El contacto entre esta secuencia progradante en la cual culmina el primer ciclo tectónico descrito por SERRANO *et al.* (1996) con los depósitos que dan inicio al segundo ciclo sedimentario de origen tectónico; es un límite de secuencia o una discontinuidad estratigráfica marcada por erosión parcial del sustrato inferior sobre la cual se deposita la secuencia transgresiva con la que se da inicio a la sedimentación del segundo ciclo tectónico, los depósitos basales de este ciclo corresponden a los sedimentos de origen fluvial del Miembro B-6-X de la Formación Misoa.

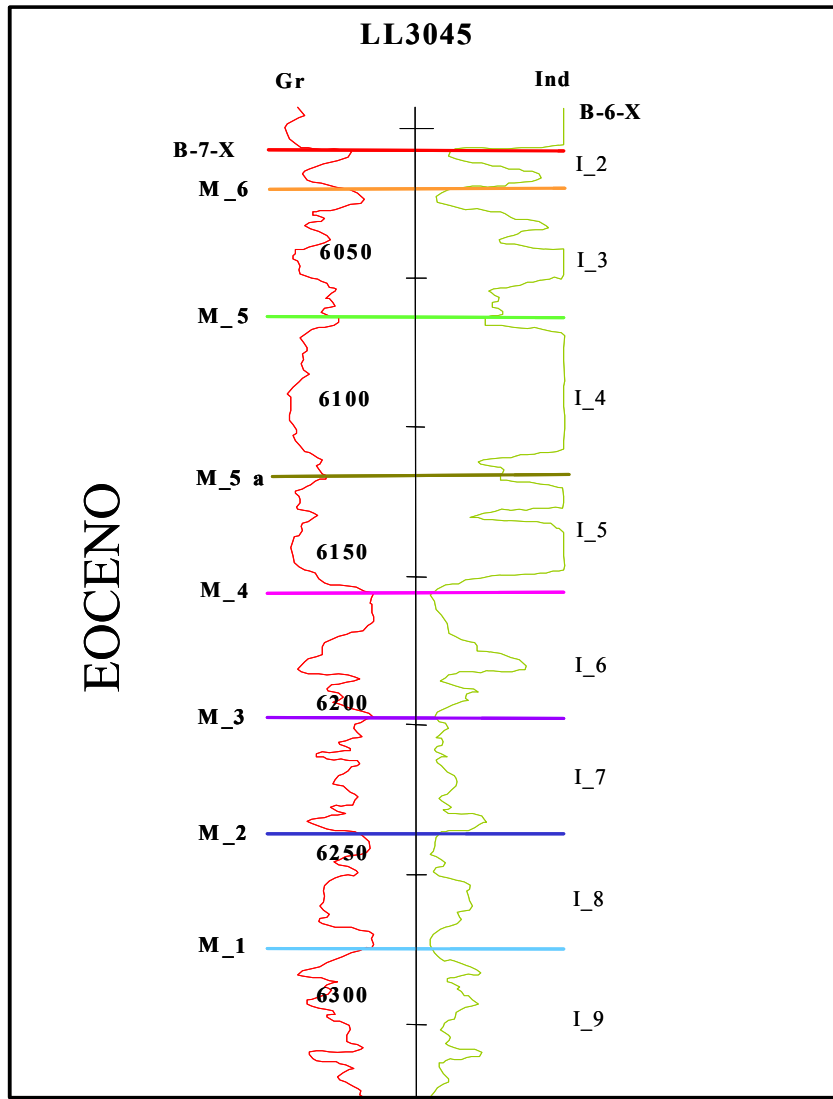


Figura 5.2 Estratigrafía en el intervalo B-7-X / B-8-X. Marcadores e intervalos estratigráficos reconocidos en el área estudiada. Parte de estos marcadores fueron identificados por MAGUREGUI (1993) en el área LL370

En la lámina 6.9 del anexo II, se muestra una sección estratigráfica construida con los pozos en donde se recuperaron los núcleos analizados en el área. En la misma puede observarse la continuidad de los marcadores o superficies de inundación entre los cuales se definen los intervalos identificados en toda el área y que se muestran en la figura 5.2, a lo largo de toda el área puede observarse variaciones laterales de facies en cada uno de los intervalos, con un predominio de facies más arcillosas en la parte inferior de la sección analizada, correspondiendo

esta a B-8-X / B-9-X superior, a partir de la cual se acentúa el pulso progradacional que caracteriza esta parte de la sección de la Formación Misoa, en donde comienzan a aparecer en general paquetes mas arenosos con secuencias granocrecientes hasta el tope. Como se observa en la lámina 6.9 del anexo II, el intervalo 5 de la figura 5.2; limitado por los marcadores M_4 en su base y M_5a en su tope, no se extiende por toda el área, el mismo se acuña en dirección sureste, sólo fue identificado en los pozos LL3045, LL806, LL850 y LL869 (figura 5.3). El resto de los intervalos y los marcadores que los limitan fueron identificados en toda el área.

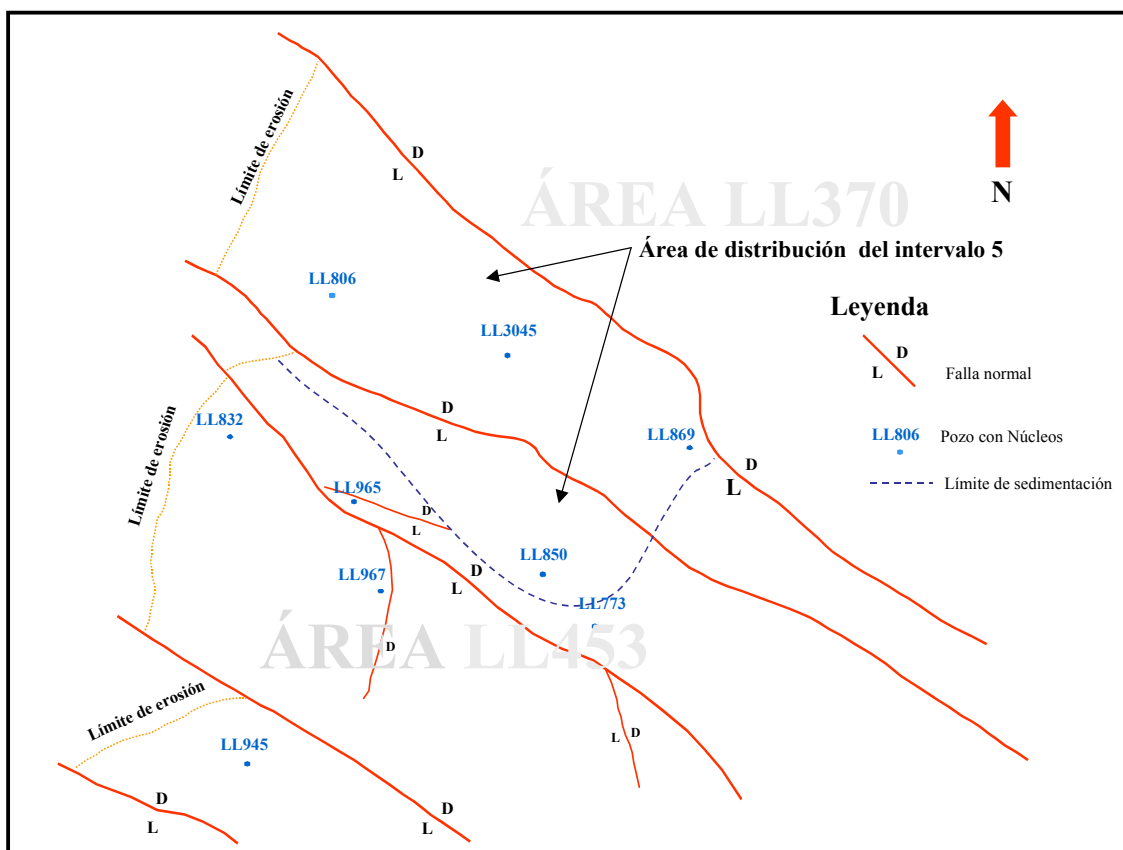


Figura 5.3. Distribución del intervalo 5, el cual desaparece en dirección sureste.

En la parte noroccidental del bloque III de la figura 5.1, se registra sobre la sección estudiada el evento erosivo que afectó a la cuenca durante el Eoceno Tardío. El pozo LL 832, ubicado en esta área, penetra el Eoceno en la parte inferior del intervalo 6, el resto de los intervalos y B-6-X fueron erosionados durante este evento.

5.2. ASOCIACIONES DE FACIES

En el área tal como se ha señalado se disponen de núcleos en 9 pozos (figura 5.1) de los cuales en ocho de estos se tiene descripción sedimentológica. Estos fueron descritos por CORELAB (1996) y esta ha sido complementada en algunos casos en este estudio.

En la sección analizada; CORELAB (1996) identifica 5 asociaciones de facies que caracterizan el ambiente en que estas fueron depositadas.

Canales Fluviales (Fluv).

Caracterizados por una sucesión de areniscas cuyo contacto basal es abrupto, de grano grueso a fino, con gránulos de cuarzo dispersos. Estratificada en estratos delgados (escala centrimétrica) con topes ondulados. Afinamiento de grano y adelgazamiento de las capas hacia arriba, tendencia no siempre presente con estratificación y laminación cruzada planar y tangencial. Esta es la facies predominante en B-6-X. Petrográficamente, estas son areniscas de grano medio a grueso (250-1000 μ), con gránulos y granos de tamaño arena muy gruesa. Los componentes detríticos más comunes son cuarzo mono y policristalino, y fragmentos de rocas de diferente origen, siendo los más comunes según CORELAB (1996) de origen volcánico, pero muy alterados y deformados, menos abundantes tenemos cristales de moscovita y algunos de plagioclasas y microclino.

El contacto entre los granos en general son tangenciales, también pueden observarse contactos cóncavos-convexos y longitudinales.

Los cementos básicamente están constituidos por arcillas autigénicas illita y/o illita/esmectita. La cementación por sílice es escasa y no se identificó cemento calcáreo en las muestras analizadas

La porosidad es intergranular y secundaria, esta última esta constituida por poros móldicos debido a la disolución de granos inestables que dejan como reliquias los anillos arcillosos que se formaron alrededor del grano durante el proceso de transporte y sedimentación.

Canales distributarios (cd)

Su contacto basal es abrupto, estos son estratificados en estratos delgados a muy delgados pueden constituir estratos de escala centimétrica. Tendencia de afinamiento de grano y adelgazamiento de capas hacia arriba; de grano muy fino (88-125 μ) a fino (125-250 μ) pudiendo llegar rara vez a grano medio (250-500 μ). Predominan estratos laminados y masivos, capas con estratificación y laminación cruzada planar y tangencial con truncamientos, rizaduras asimétricas.

Las superficies de reactivación son comunes con clastos de lutitas y lutitas sideritizadas, algunos de estos canales presentan cementación por CaCO₃. Algunas de estas areniscas presentan rastros de actividad biológica; se identificaron ichnofósiles del género *Palaeophycus*, *Skolitos*, *Zoophycos*, *Planolites*, *Ophiomorfa*. La presencia de estos géneros así como el tamaño de grano de las areniscas asociadas con una matriz arcillosa, indican que estos se desarrollaron en un ambiente de relativamente baja energía, afectado por esporádicas incursiones marinas (MUÑOZ & BUATOIS 1998).

Petrográficamente las areniscas que conforma a estos canales presentan granos detríticos con una orientación incipiente, paralela a la laminación, estos presentan un escogimiento moderado, se pueden encontrar en estas estiloláminas y estilolitas de arcillas asociadas a siderita, pirita y material carbonoso.

Los contactos entre los grano en general son longitudinales o cóncavos-convexos y muy rara vez suturados.

Los componentes detríticos mas comunes son cuarzo mono y policristalino, y fragmentos de rocas de diferente origen, entre los que se identifican de rocas metamórficas, de otras rocas sedimentarias tales como de areniscas, lutitas y ftanitas, se identifican además granos de feldespatos, cristales de moscovita, escaso circón; como inclusiones dentro de algunos granos, se identifican anfíboles y biotita (CORELAB 1996).

Los cementos más comunes se asocian a sílice como sobrecrecimientos en granos de cuarzo, caolinita (figura 5.4) y menos abundante ilita y/o ilita/esmectita autigénica, ocasionalmente algunas areniscas están cementadas por calcita ferrosa; en aquellas muestras cementadas por calcita, los contactos entre granos son grano-flotantes.

Las muestras son escasas en matriz arcillosa de origen detrítico, aquellas muestras con una mayor proporción de ilita/esmectita corresponden con aquellas muestras donde se presentan estiloláminas de arcillas, confirmando el origen detrítico y no autigénico de estas arcillas (CORELAB 1996). El cemento de caolinita se presenta como parches heterogéneamente distribuidos rellenando poros intergranulares (figura 5.4). La siderita, normalmente es asociada con la arcilla dispersa y laminada, mientras que la pirita puede encontrarse en cristales aislados y asociado a materia orgánica o rara vez a trazas fósiles (*Skolitos*) tal como se observo en el pozo LL967 en la muestra ubicada 6497'.

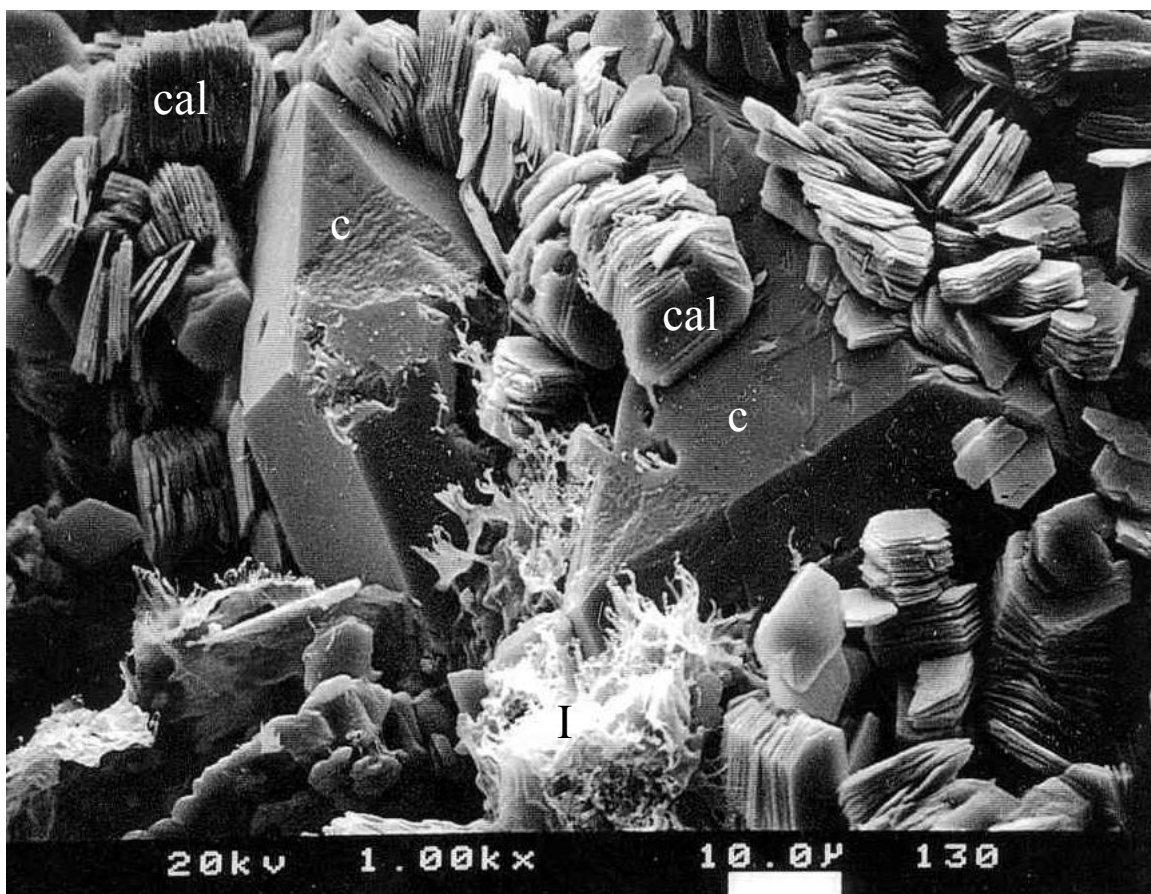


Figura 5.4. Principales cementos autigénicos observados en estas facies: sobrecrecimiento de cuarzo (c), Caolinita (cal) e ilita (I). Nótese la microporosidad asociada a la caolinita. Pozo LL869 (Prof. 6150'). Lamina tomada de CORELAB (1996d)

La porosidad es intergranular y secundaria, esta última identificada por presencia de poros ampliados por disolución de granos inestables y matriz. Algunos feldespatos se presentan parcialmente disueltos y otros seritizados (figura 5.5), algunos fragmentos argiláceos son deformados por efecto de la compactación lo que afecta la porosidad cuando estos granos son exprimidos entre granos más rígidos, fluyendo estos al espacio intergranular.

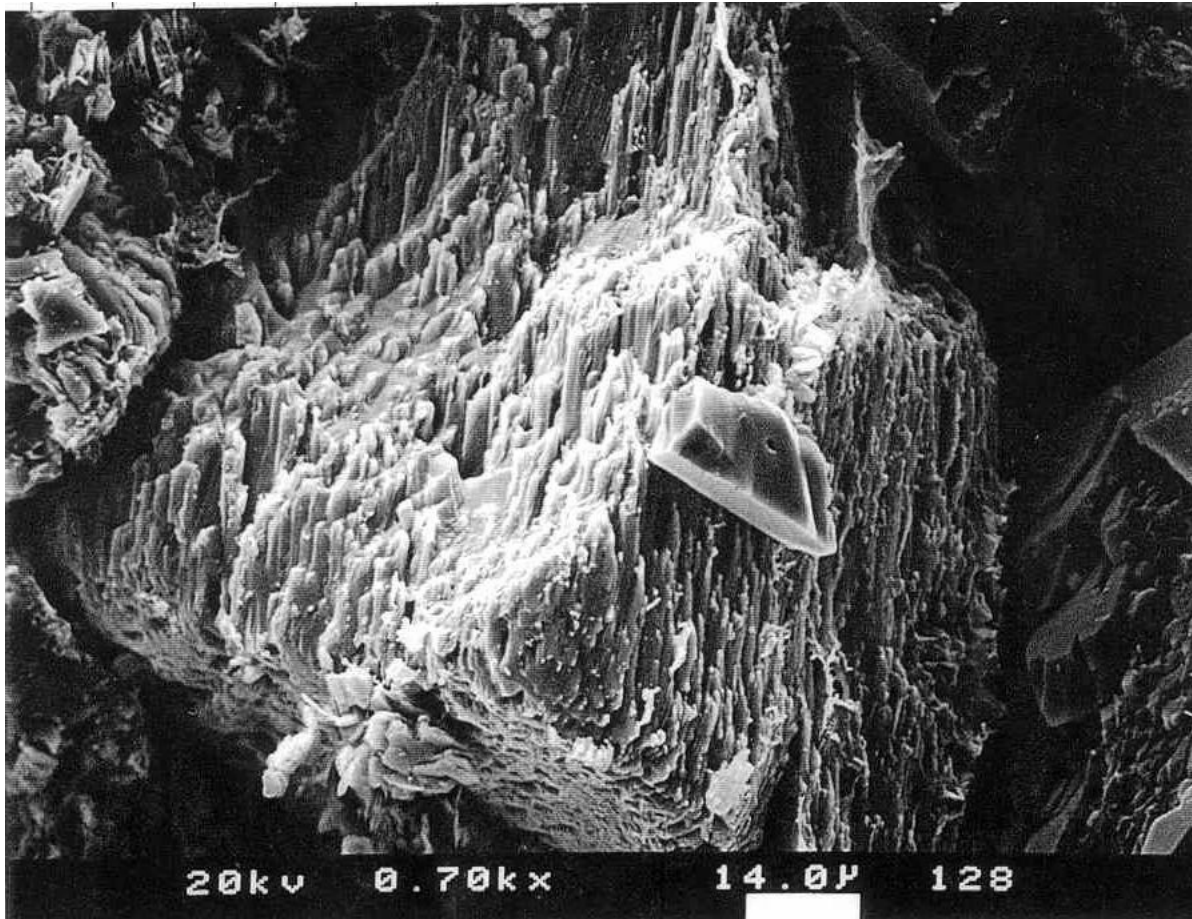


Figura 5.5. Grano de feldespato parcialmente alterado. Pozo LL869; prof. 6386'. Lámina tomada de CORELAB (1996d).

Barras de desembocadura (Bd)

Estas varían de grano fino (125-250 μ) a grano medio (250-500 μ) con engrosamiento hacia el tope de estas, encogimiento moderado con laminaciones onduladas y discontinuas con intervalos lutíticos/heterolíticos muy delgados intercalados, hacia la base es aun más lutítica. En general las areniscas presentan aspecto masivo. En estas facies solo se identifica como ichnofósil el género *Skolitos*, característico en ambientes donde los sedimentos son constantemente retrabajados por la acción de las olas y mareas (MUÑOZ & BUATOIS 1998).

Bahías Interdistributarias (Bit)

Las facies que caracterizan a este ambiente es de sedimentos muy finos, representados por lutitas, limolitas y láminas de areniscas de grano muy fino, que en la mayoría de los casos conforman secuencias heterolíticas bien importantes; en algunas partes de la secuencia estas pueden mostrar un predominio de los intervalos lutíticos sobre las areniscas o viceversa (figura 5.6), esta variabilidad dependerá de la posición del intervalo dentro de la columna sedimentaria y de su posición geográfica. Estas facies suelen intercalarse horizontes centimétricos de lodolitas ferruginosas.

Las areniscas de esta secuencia, se presentan como láminas muy delgadas que pueden alcanzar hasta 6 cm de espesor, estas presentan contactos abruptos, laminación plano paralela y ondulada, así como laminación cruzada tangencial y rizaduras asimétricas. En estas facies se presentan intervalos milimétricos de areniscas calcáreas. Las areniscas son de grano muy fino (62-125 μ) a fino (125-250 μ).

En este ambiente se encuentran ocasionales estructuras cono en cono desarrolladas principalmente en las partes más lutáceas de esta facies.

Los intervalos heterolíticos arenosos, representan las facies de relleno de bahía interdistributaria y rellenos de canal desarrollados en una llanura deltaica en parte influenciada por mareas.

Se identifican en esta facies ichnofósiles de los géneros *Chondrites*, *Thalassinoides*, *Planolites*, *Teichninus*, *Paleophycus*, ocasionales *Ophiomorpha*, *Zoophycos*, *Asterosoma*,

Terebelina, *Diplocraterion*, *Skolitos*. El grado de bioturbación encontrando en estos sedimentos en general es bajo a moderado.

Los ichnofósiles descritos en estas facies y en todos los pozos, no necesariamente asociados entre ellos; sugieren que estos sedimentos fueron depositados en una llanura deltaica con esporádicas incursiones marinas y con niveles de energía bajos. (MUÑOZ & BUATOIS 1998).

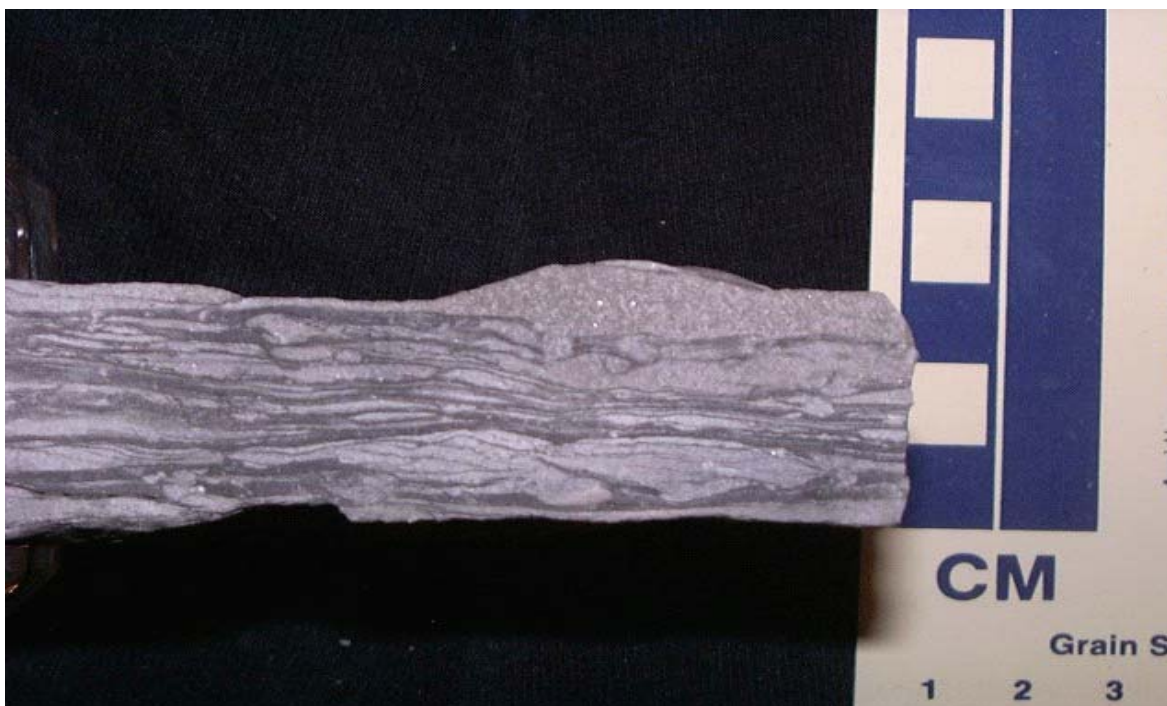


Figura 5.6. Intervalo heterolítico predominantemente arenoso. Pozo LL965, prof. 6284'.

CORELAB (1996), analizo por difracción de rayos X; ocho muestras arcillosas de estas facies correspondientes a seis pozos del área, obteniendo los resultados mostrados en la tabla 5.1.

Como se podrá observar el mineral de arcilla predominante en esta facies es la caolinita, con un contenido alto de clorita en algunas muestras y la presencia de illita e illita/esmectita en casi todas las muestras en proporciones variables, así como la ausencia de esmectita en estas.

De acuerdo a esta composición mineralógica de las arcillas; según KISCH (1983) citado en SANDOVAL (2000), estamos ante la presencia de una diagenesis de soterramiento intermedio a profundo (6000' a mas de 8000') en donde se dan las condiciones de temperatura apropiadas para la transformación de la esmectita; primero en arcillas de capas mixtas illita/esmectita hasta transformarse en illita. O un proceso de ilitización y/o cloritización por la transformación de arcillas del tipo illita/caolinita y/o clorita/caolinita; iguales transformaciones mineralógicas deben ocurrir en las areniscas intercaladas con estas rocas argiláceas.

Pozo	Profundidad	Illita	Caolinita	Clorita	Esmectita	Illita/Esmect.
LL806	5759'	0	100	0	0	0
LL850	6371'	6	90	0	0	4
LL965	6222'	16	73	3	0	8
LL965	6434'	13	29	46	0	12
LL967	6463'	7	64	20	0	9
LL869	6150'	8	49	5	0	38
LL869	6387'	5	58	14	0	23
LL3045	6095'	32	62	6	0	0

Tabla 5.1. Contenido de minerales de arcilla en % en peso en muestras de los intervalos indicados, determinados por DRX. Datos de CORELAB (1996).

Marisma (Mar)

La facies que caracteriza a este ambiente de depositación esta representada por delgados intervalos de carbón intercalados con láminas de lutitas. Estas capas de carbón solo se identificaron en los pozos el LL773 y LL832, su contacto con las facies adyacentes es abrupto, el espesor de este varía entre 15 cm en el pozo LL832 hasta 1,8 m en el pozo LL773. Estos horizontes de carbón en ambos pozos no son equivalentes lateralmente, uno se ubica en el intervalo 9 y el otro en el intervalo 4 (LL773), las marismas que dieron origen a estos carbones parecen ser de extensión lateral muy limitada ya que en los otros pozos analizados no se describen estas facies.

5.3. ESTRUCTURA

La estructura del área fue definida por la información obtenida de los 205 pozos perforados en la zona, esta define un homoclinal de buzamiento sur sureste y segmentado en 4 bloques alargados con orientación noroeste-sureste (figura 5.7), estos bloques están limitados por fallas normales cuyo rumbo definen la orientación de estos bloques. Estas fallas pertenecen al patrón de fallamiento que se desarrollan transversalmente a las fallas mayores presentes en la cuenca; en este caso estas son transversales a la falla de Icotea.

Estas fallas tienen un buzamiento al noreste y presentan un desplazamiento vertical entre 200' y 400'. Dentro de los bloques centrales, se identifican fallas de menor extensión con saltos entre 50' y 200'.

Hacia el noroeste la secuencia es parcialmente truncada por la discordancia del Eoceno - Mioceno, y este proceso se ve reflejado en la estructura del área, en la zona de truncamiento el buzamiento es hacia el suroeste que es el buzamiento regional de esta superficie de erosión.

El efecto de esta superficie de erosión sobre la secuencia estudiada es claramente reflejado en el pozo LL832 (figura 5.7), con el intervalo 6 truncado, el resto de la sección esta erosionada. (Lámina 6.3, anexo II)

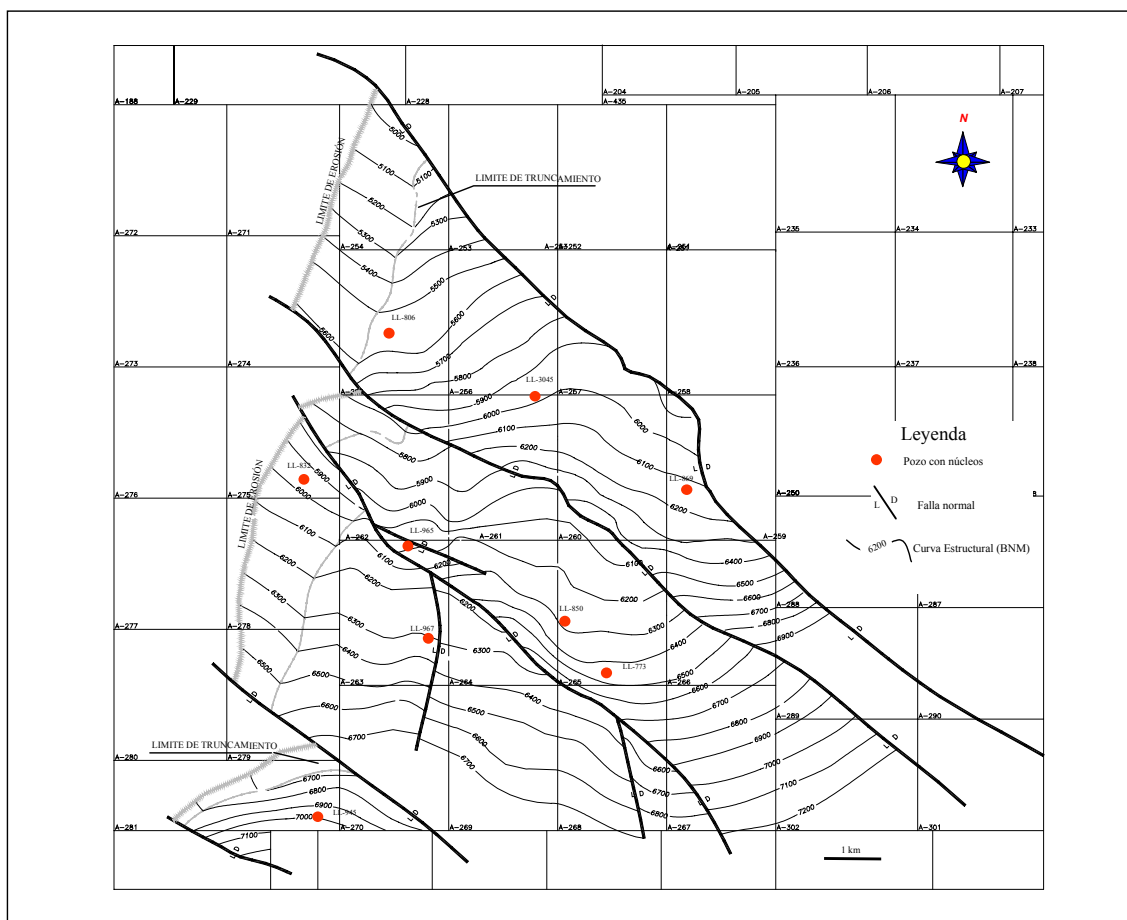


Figura 5.7. Mapa estructural del área LL453, en donde se muestran los pozos cuyos núcleos fueron analizados.

6. CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA Y RADIOMÉTRICA

6.1. DEFINICIÓN ESTRATIGRÁFICA

6.1.1. Introducción

Una gran proporción de las secuencias sedimentarias petrolíferas del mundo carecen de un buen control estratigráfico, debido a que las mismas no tienen fósiles que permitan datar estas. Por consiguiente sólo puede establecerse relaciones estratigráficas basado en litologías similares y/o características petrofísicas (PEARCE *et al.* 1999). En la definición estratigráfica de tales secciones, se utiliza cualquier información que se disponga, tal como contenido de minerales pesados, paleomagnetismo y técnicas isotópicas. Todas estas técnicas cuando se usan conjuntamente pueden permitir la construcción de un marco estratigráfico adecuado, su única desventaja, es que sólo son aplicables en secciones de superficie o en aquellas que tengan núcleos, donde el tipo de litología y la cantidad muestras puede restringir el uso de estas (PEARCE *et al.* 1999). Tales restricciones limitan la aplicación de estas herramientas en secuencias penetradas por pozos en donde generalmente se dispone del material desmenuzado por la mecha durante el avance de esta en el subsuelo (ripios), durante la perforación de los pozos para petróleo.

Es por eso que surge la necesidad de disponer de una técnica de análisis, que con poca cantidad de muestra, se puedan definir los parámetros primarios que permitan establecer el marco estratigráfico del área de donde provengan las muestras.

La estratigrafía química o quimioestratigrafía, involucra la caracterización y correlación de estratos mediante el uso de la geoquímica de elementos trazas y de elementos mayoritarios y es muy usada en aquellas secuencias carentes de fósiles o con muy poco control bioestratigráfico. La geoquímica inorgánica puede ser utilizada en la correlación de secuencias sobre la base de variaciones geoquímica laterales y verticales, (PEARCE *op cit.*).

En este estudio, se evalúa la potenciabilidad del contenido de elementos mayoritarios en el análisis estratigráfico de una sección del subsuelo. Esta técnica se aplico en conjunto con la propiedades radiométricas de la roca, como una herramienta complementaria en la definición estratigráfica; la aplicación de ambas se mostrara en este capítulo.

6.1.2. El uso del análisis químico y radiométrico en la definición de marcadores e intervalos estratigráficos.

6.1.2.1 Introducción

Para poder evaluar el potencial de la composición química y comportamiento radiométrico, en la diferenciación de marcadores e intervalos estratigráficos, se partió de una definición estratigráfica previa a partir del análisis de las características del apilamiento sedimentario establecida con los registros de pozos y núcleos. Para tal fin se identificaron aquellos marcadores que presentan extensión regional, y estos básicamente corresponden a estratos lutíticos que representan superficies de inundación que marcan las oscilaciones registradas en el nivel del mar durante un proceso regresivo que afectó la cuenca de Maracaibo durante el Eoceno e identificado en la secuencia sedimentaria depositada en este periodo (figura 4.6).

La mayoría de las veces no se dispondrán de muestras tomadas en núcleos para el análisis químico y radiométrico, sólo se tendrán ripios de los pozos.

Si esta técnica funciona con muestras de núcleos, también funcionara con ripios tal como fue demostrado por JORGENSEN (1986) y PEARCE *et al.* (1999).

MAGUREGUI (1993), establece una correlación regional detallada con más de 100 pozos a nivel del intervalo B-7-X y B-8-X en el área LL370, vecina a la estudiada, subdivide la sección en seis intervalos separados por marcadores lutíticos definidos como superficies de inundación de extensión regional. Estos intervalos así como los marcadores lutíticos que los limitan fueron identificados en el área de estudio LL453 y se usaron como marco de referencia para la correlación química y radiométrica (figura 5.2).

Luego de identificar los marcadores e intervalos estratigráficos definidos en el área LL370 en los nueve núcleos del área, se construyeron perfiles geoquímicos verticales para cada uno de los óxidos determinados en las muestras de cada pozo así como sus correspondientes perfiles radiométricos. Los perfiles geoquímicos contruidos a partir de datos de núcleos, suelen mostrar un comportamiento errático en algunos elementos, esto es influenciado por una mayor densidad de muestreo (PEARCE *et al.* 1999). Este comportamiento de los datos fue observado en los perfiles generados; aun así pueden diferenciarse algunos cambios composicionales verticales, marcados por superficies o marcadores geoquímicos de primer orden, siguiendo el concepto

propuesto por JORGENSEN (1986); debido a la dispersión natural de los datos, no se consideraron lo que este autor llamo marcadores de segundo orden.

Se elaboraron perfiles elementales para cada pozo y cada elemento expresados en % en peso de sus óxidos principales siendo estos: SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , K_2O ; así como la concentración de V en ppm y la relación $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, definida por WINTSCH & KVALE (1993) como un índice de homogeneidad química a través de dos elementos mayoritarios que experimentalmente se ha demostrado son los menos solubles presentes en las rocas sedimentarias.

Las laminas 6.1 a la 6.8 del anexo II, son los perfiles geoquímicos de los pozos usados en este estudio, a excepción del pozo LL945 del cual sólo se disponen de 10 muestras y del cual no se presenta un perfil, sin embargo su variación composicional vertical se puede observar en el dendograma correspondiente a este pozo (figura 6.20).

En todos los perfiles geoquímicos, se pueden definir claramente los marcadores estratigráficos previamente definidos en los pozos, en alguno de los elementos esta diferenciación es más clara que en otro, adicionalmente se diferenciaron marcadores secundarios de extensión local, asociados estos en algunos casos a cambios litológicos marcados y a posibles superficies de erosión o no depositación; uno de estos marcadores esta asociado a una superficie de *Glossifungites*, definidas estas por PEMBERTON *et al.* (1997), como una discontinuidad erosiva y observada en los pozos LL832, y LL3045. Tales superficies se describirán en el en el apartado de descripción de intervalos estratigráficos 6.1.2.3., (intervalo 8).

6.1.2.2 Marcadores estratigráficos

Superficies erosivas y de hiatus

Estas superficies fueron químicamente determinadas en los diferentes pozos, usando la γ_{Total} y las relaciones $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$; en algunos pozos variaciones verticales en estas relaciones, indican cambios composicionales significativos asociados a superficies erosivas, o hiatus. En todos los casos se ha observado en este estudio, que en donde se identifican una posible superficie erosiva, las areniscas inmediatamente por encima de esta, presentan en su parte basal clastos y hojuelas de arcillas de colores rojizos posiblemente derivadas de la erosión de

sustratos arcillosos. Algunas de estas superficies ya sean erosivas o hiatus, son marcadas por la presencia de lutitas y limos de tonos rojizos indicativos de exposición sub aérea.

Variaciones verticales significativas son observables al tope de las capas de carbón descritas en los pozos LL832 y LL773, que marcan una superficie de no deposición o hiatus.

Las superficies de *Glossifungites* observadas en los pozos LL832 y LL3045 definidas por su ichnofacies características, son según PEMBERTON *et al.* (1997) superficies de erosión donde los estratos tanto por arriba como por debajo de estas; muestran diferencias químicas.

A continuación se describirán brevemente cada una de estas superficies:

Marcador B-7-X

Este marcador esta presente en todos los pozos analizados con excepción del LL832 donde esta erosionado. El mismo representa el límite entre la secuencia progradante con la cual culmina el primer ciclo sedimentario de origen tectónico identificado en la secuencia Eocena de la cuenca de Maracaibo, y los depósitos transgresivos que dan inicio a la sedimentación del segundo ciclo tectónico; los depósitos básales de este ciclo corresponden a los sedimentos fluviales del Miembro B-6-X de la Formación Misoa (figuras 4.6 y 5.2).

El marcador es representado por el contacto abrupto erosivo entre B-6-X y B-7-X, separando dos unidades químicamente diferentes tal como puede observarse en los perfiles geoquímicos de las figuras 6.1, 6.2, 6.7 y 6.8 y las láminas con la misma numeración del anexo II.

Este marcador define una superficie que pone en contacto las arenas básales de B-6-X con un horizonte lutítico que marca la culminación de la sedimentación de B-7-X; obviamente en los perfiles geoquímicos ya existe un cambio en los valores de la concentración de algunos de los elementos marcado por el contraste litológico entre las lutitas de B-7-X y las areniscas de B-6-X.

Cuando se compara la composición química de las areniscas de B-6-X con las areniscas de B-7-X, se observan variaciones composicionales entre ambas; el TiO_2 tiende a incrementarse en B-7-X, al igual que el Al_2O_3 , MnO , Fe_2O_3 y K_2O . La relación $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ que describe la movilidad de estos elementos en la secuencia sedimentaria, se mantiene en general en un mismo rango de valores en B-7-X, y ligeramente diferente en B-6-X (figuras 6.1, 6.2, 6.7 y 6.8).

El contenido de K_2O en B-6-X es marcadamente menor si se compara con B-7-X, mientras que el contenido de Fe_2O_3 y MnO es menos variable en B-6-X que en B-7-X. En los perfiles

radiométricos (figuras 6.1, 6.2, 6.7 y 6.8) no hay una diferencia marcada entre las arenas de ambas unidades. En los pozos LL773, LL967 y LL3045 los valores de CPS son ligeramente menores en B-6-X que en B-7-X.

Este marcador en los perfiles radiométricos se caracteriza por una caída en la γ_{Total} . Esto puede ser debido a las condiciones oxidantes que van a prevalecer en esta superficie de erosión; el U es oxidado y transportado en su forma más soluble, mientras que el Th puede ser removido y transportado fuera de la roca lo que influye en una caída de los valores de la radioactividad natural.

Otras superficies de erosión o hiatus

Pozo LL773

Además de la superficie que caracteriza el contacto entre B-6-X y B-7-X, se define una superficie erosiva al tope del intervalo 3 (figuras 5.2 y 6.1), la arenisca que define al intervalo 2 (figura 5.2) no se encuentra presente en este pozo, posiblemente fue erosionada; por encima de esta superficie se depositó una capa de lutitas de 10' de espesor, en muestras de mano esta es laminada con material carbonoso y de colores rojizos.

En este mismo pozo se define un hiatus hacia la base del intervalo 4 (lámina 6.1 del anexo II y figura 6.1) que coincide con el tope de un intervalo de carbón presente en este pozo.

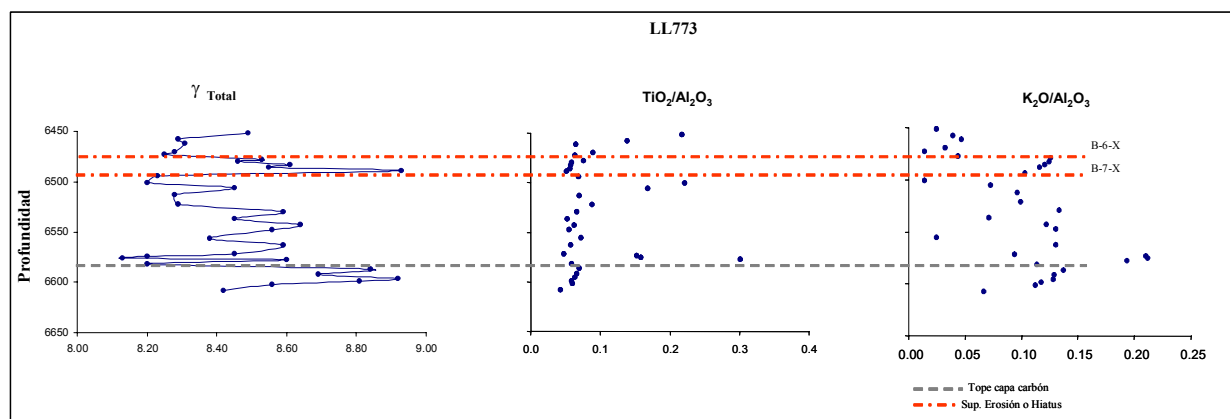


Figura 6.1. Determinación de superficies de erosión para el pozo LL773.

Pozo LL806

Tal como se muestra en la figura 6.2, en este pozo se diferencia claramente el contacto entre B-6-X y B-7-X.

Las otras superficies erosivas presentes en este pozo; una al tope del intervalo 4 (figura 5.2) donde se muestran cambios en las relaciones TiO_2/Al_2O_3 y K_2O/Al_2O_3 y otra en la base de la arenisca que define el intervalo 5 (figura 5.2), lo que indica que esta secuencia de canales erosionan el sustrato sobre el cual se depositan. Las areniscas depositadas por encima de ambas superficies erosivas muestran clastos ovalados y alargados de arcillas de color rojizo, posiblemente derivados de los sustratos que han sido parcialmente erosionados (lamina 6.2, anexo II)

Pozo LL832

En este se define un evento erosivo definido por una superficie de *Glossifungites* en el intervalo 8, las cuales se describirán en detalle más adelante y un hiatus al tope de un horizonte de carbón de unos 15 cm de espesor en el intervalo 9 (figura 6.3 y lámina 6.3 del anexo II). En las relaciones TiO_2/Al_2O_3 y K_2O/Al_2O_3 pueden observarse como estas son claramente diferenciadas.

Pozo LL850

En este pozo se identifican dos superficies erosivas, ambas en la base de canales distributarios indicativos del contacto erosivo de estos con los estratos infrayacentes. Una en la parte media del intervalo 4 y la otra en la base de la arenisca que define el intervalo 5 (figuras 5.2, 6.4 y lámina 6.4 del anexo II). Al igual que en el pozo LL806, las areniscas ubicadas sobre estas superficies, muestran clastos de arcilla rojiza ovalados y alargados.

Pozo LL869

En este pozo sólo se disponen de núcleos discontinuos que no permiten identificar variaciones químicas asociadas a discontinuidades erosivas o hiatus. Sin embargo a 6250' y 6360', hay ligeras variaciones en los índices TiO_2/Al_2O_3 y K_2O/Al_2O_3 (figura 6.5), que pudieran estar asociados a superficies erosivas. Las muestras de mano a esas profundidades sólo muestran la presencia de clastos de arcilla de colores rojizos en las cercanías de la profundidad de 6250'.

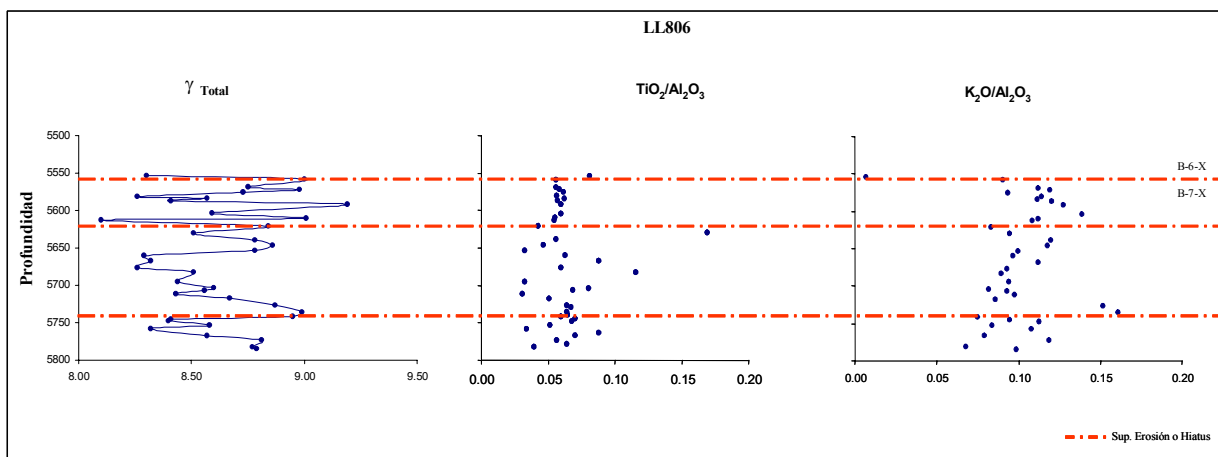


Figura 6.2. Determinación de superficies de erosión para el pozo LL806.

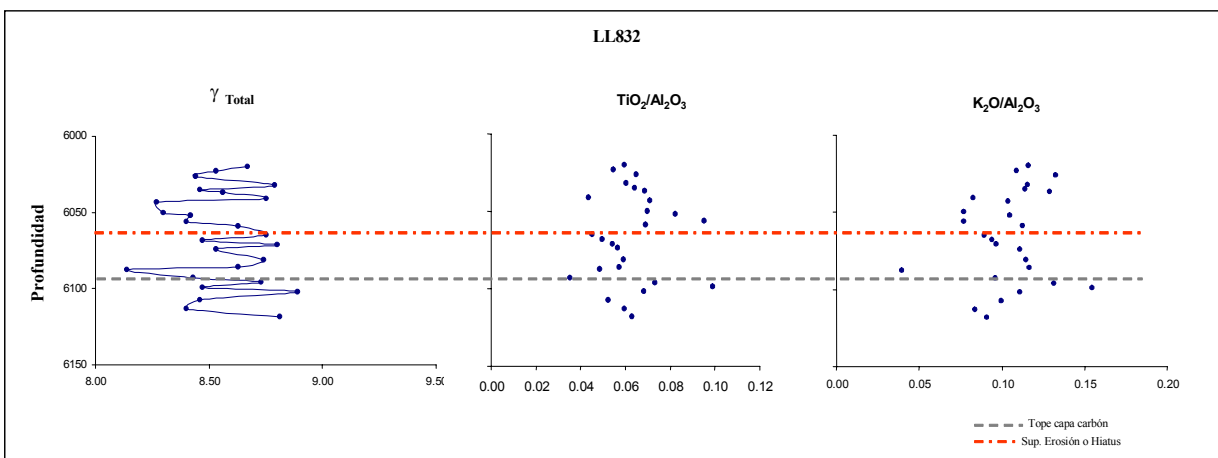


Figura 6.3. Determinación de superficies de erosión para el pozo LL832.

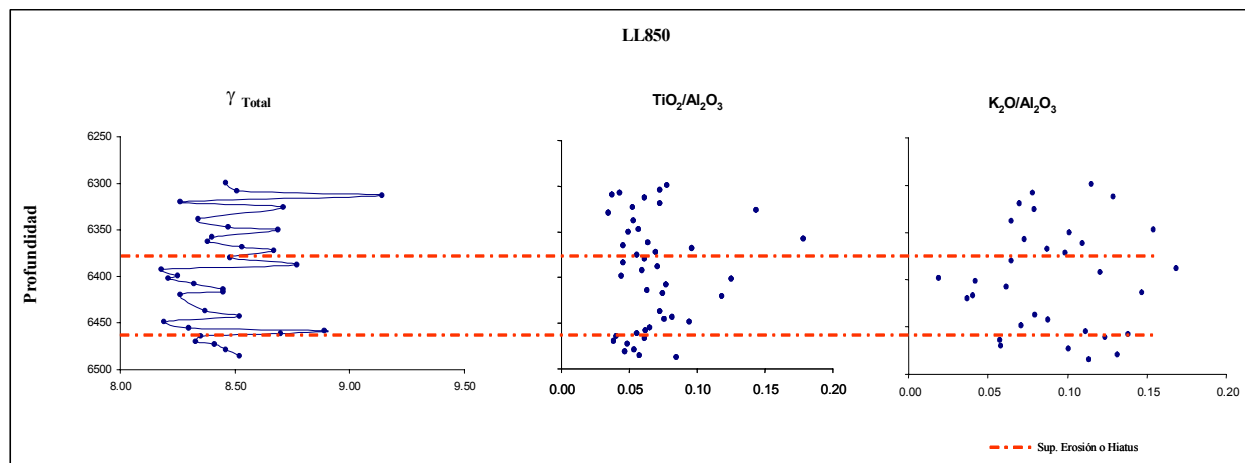


Figura 6.4. Determinación de superficies de erosión para el pozo LL850.

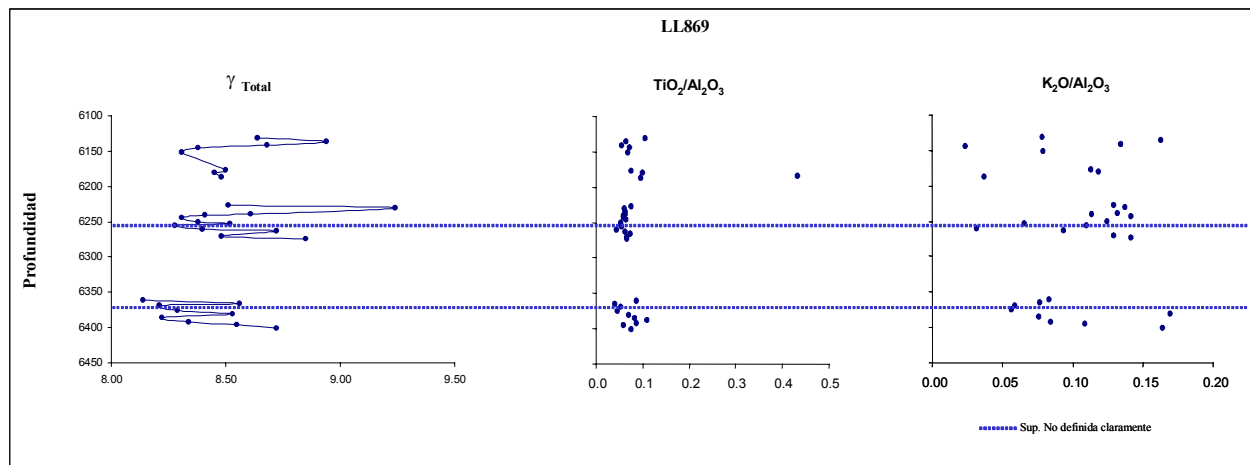


Figura 6.5. Determinación de superficies de erosión para el pozo LL869.

Pozo LL965

Se identifican dos posibles superficies de erosión reflejadas en las variaciones verticales en los índices $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$, así como una caída relativa de γ_{Total} (figura 6.6), la más somera se encuentra en el intervalo 4 (figura 5.2 y lámina 6.6 del anexo II), la segunda en el intervalo 6. Por encima de ambas superficies, las areniscas presentan hacia su parte basal clastos alargados de arcilla ferruginosa.

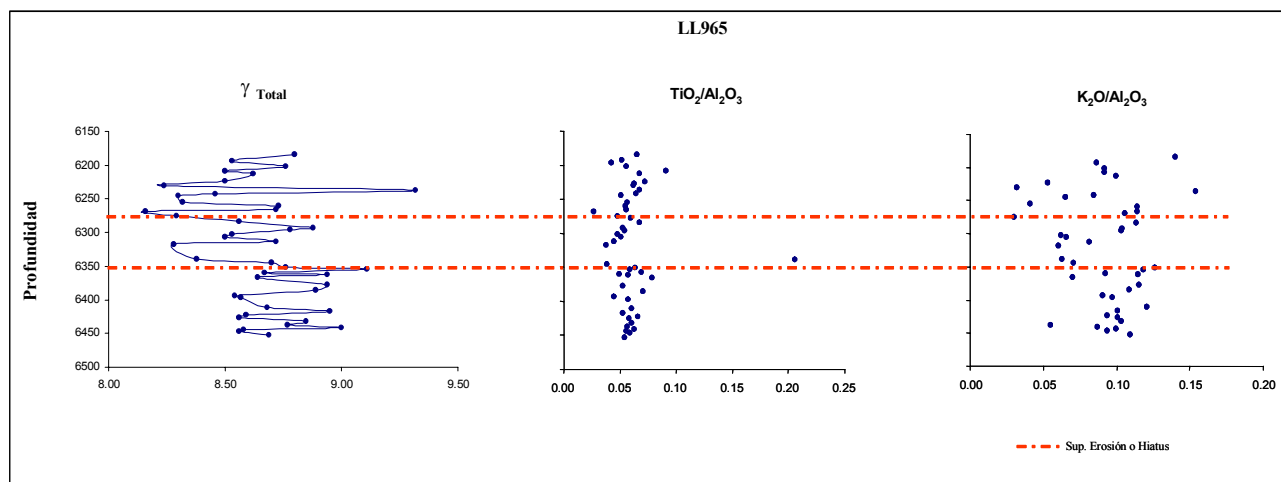


Figura 6.6. Determinación de superficies de erosión para el pozo LL965.

Pozo LL967

En este pozo se distingue claramente el contacto entre B-6-X y B-7-X (figura 6.7). Se identifica claramente una superficie de erosión o de no depositación coincidiendo con el marcador M_5 de la figura 5.2 y la lámina 6.7 del anexo II. La otra se ubica por debajo del marcador M_4 en la base del cuello lutítico que separa al intervalo 4 del 6 (figura 5.2), esta última pudiera marcar un cambio en la fuente de sedimentos más que ser una superficie de erosión, reflejado en la fuerte variación del índice $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$.

Este cuello lutítico presenta los mayores valores en γ_{Total} (figura 6.7), así como un mayor contenido en Fe_2O_3 y MnO (lámina 6.7, anexo II) indicativo de ambientes altamente oxidantes.

Pozo LL3045

Es en este pozo donde se ve una claramente diferenciación del contacto entre B-6-X y B-7-X especialmente en la relación K_2O/Al_2O_3 (figura 6.8).

Se identifican adicionalmente tres discontinuidades geoquímicas posiblemente asociadas a superficies de erosión o hiatus. La primera coincide o esta muy cerca de la superficie de inundación o marcador M_5 (figura 5.2), en la cercanía de esta hay un ligero incremento en el Fe_2O_3 y un marcado incremento en el K_2O que según AL GAILANI (1980) refleja un incremento en la alteración de los feldespatos en las cercanías de superficies de erosión o discordancias (lámina 6.8, anexo II).

Una segunda discontinuidad se observa hacia la base del intervalo 5 (figura 5.2). En los perfiles de la lámina 6.8 del anexo II, se puede ver que esta marca un cambio en el contenido de CaO y K_2O y en los perfiles de la figura 6.8, se refleja una variación importante en los índices TiO_2/Al_2O_3 y K_2O/Al_2O_3 .

La otra superficie identificada con los perfiles de la figura 6.8, coincide con una superficie de *Glossifungites* descrita por PEMBERTON *et al.* (1997) como superficies erosivas de las cuales se tratara con mayor detalle más adelante.

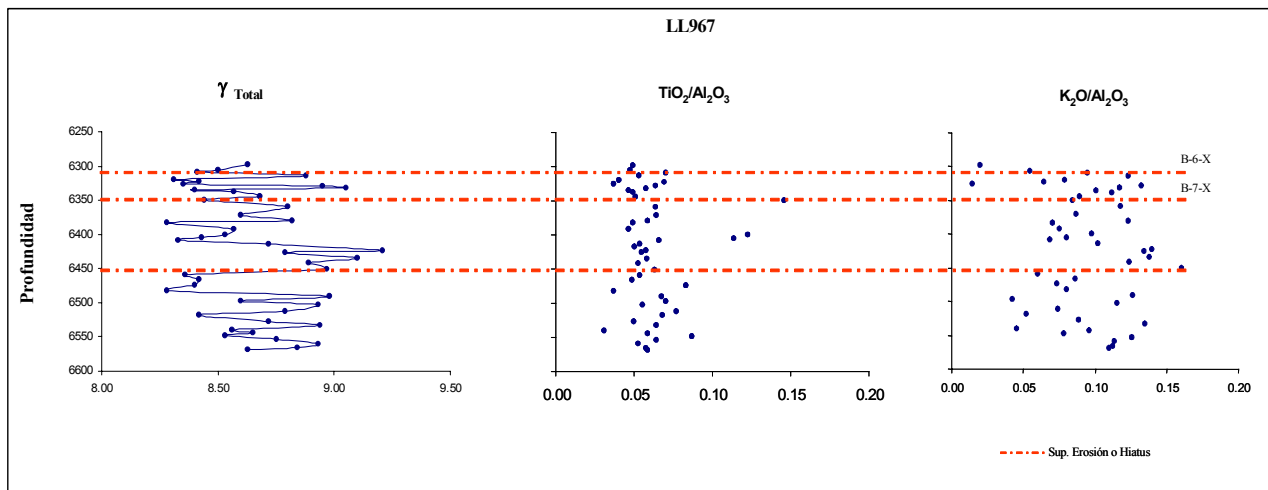


Figura 6.7. Determinación de superficies de erosión para el pozo LL967.

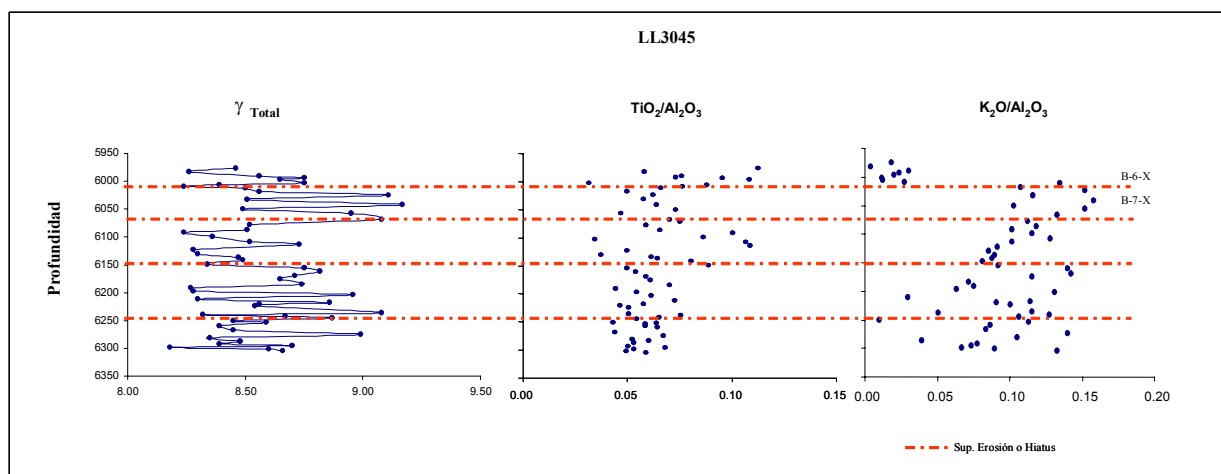


Figura 6.8. Determinación de superficies de erosión para el pozo LL3045.

Discusión

AL GAILANI (1980) fue el primero en describir las variaciones químicas que se producen en las cercanías de una discordancia o una superficie de erosión en donde algunos elementos suelen concentrarse o diluirse por efecto de las condiciones de meteorización química que se producen en estas superficies por efecto de las aguas meteóricas ricas en H^+ que puede reaccionar con los distintos minerales de la roca alterándolos, el K_2O puede concentrarse por efecto de la alteración de feldespatos que lleva a la formación de caolinita, el Al_2O_3 al igual que el TiO_2 son los óxidos mayoritarios menos solubles de las rocas sedimentarias, por lo que son los menos removidos en por procesos de meteorización, variaciones en su concentración indican la presencia de superficies de erosión que permiten la concentración de uno o de otro; al alterarse los minerales en donde estos formaban parte de su composición.

La relación TiO_2/Al_2O_3 fue descrita por WINTSCH & KVALE (1994) como un índice de homogeneidad química, variaciones verticales en esta relación reflejan cambios en la fuente de sedimentación o la presencia de superficies de erosión tal como se ve reflejado en el contacto entre B-6-X y B-7-X que de acuerdo a SERRANO *et al.* (1996) es un límite de secuencia que separa los procesos sedimentarios del primer ciclo tectónico de los del segundo ciclo tectónico de acuerdo a lo definido por este autor en la figura 4.6. Otra superficie que calibra esta relación para la identificación de superficies de erosión son las llamadas superficies de *Glossifungites* descritas por PEMBERTON *et al.* (1997) como superficies erosivas de las cuales se tratara en detalle más adelante. En cuanto a las superficies de no depositación o hiatus esta relación es calibrada con el

comportamiento de esta al llegar al tope de las capas de carbón descritas en los pozos LL773 y LL832.

La relación K_2O/Al_2O_3 fue descrita por YARINCIK & MURRAY (2000) como un índice del incremento del contenido de caolinita, el cual se asocia a superficies de erosión. Esta proviene de la alteración de feldespatos potásicos, albita, clorita, illita y moscovita ante la presencia de abundante H^+ el cual es suministrado por el influjo de aguas meteóricas a través de las discordancias reaccionando estas con los minerales presentes en la roca para formar otras nuevas combinaciones. Esta relación verifica el carácter erosivo del contacto entre B-6-X y B-7-X tal como se observa en las figuras 6.1, 6.2, 6.7 y 6.8. Las superficies de *Glossifungites* descritas en los pozos LL832 y LL3045 permiten calibrar también esta relación.

Todas estas superficies descritas dan lugar a la definición de marcadores de primer orden según la definición de JORGENSEN (1986), ya que la presencia de estas es reflejada en los perfiles de casi todos los óxidos graficados en las láminas 6.1 a la 6.8 del anexo II.

Con excepción de la superficie erosiva que marca el contacto entre B-6-X y B-7-X, las superficies descritas en los pozos analizados no tienen un carácter regional, estas son de carácter local, producidas por cambios en el régimen sedimentario producidos por efectos locales, o por la erosión del sustrato por canales distributarios. La superficie de erosión descrita en 5 pozos y que coincide o es muy cercana al marcador M_5, es la única que se extiende por gran parte del área estudiada (lámina 6.9 del anexo II). Solamente el contacto entre B-6-X y B-7-X, es el que muestra una mayor variación en el índice K_2O/Al_2O_3 , el cual según YARINCIK & MURRAY (*op cit.*) refleja un mayor incremento en el contenido de caolinita, esto posiblemente sea debido a que esta paleo superficie estuvo mayor tiempo expuesta a la acción de los agentes meteóricos y a la erosión.

Superficies de inundación

La secuencia sedimentaria que caracteriza los miembros B-7-X y B-8-X de la Formación Misoa en el área de estudio, fue dividida en intervalos estratigráficos más pequeños para su mejor análisis; cada uno de estos presenta un patrón de apilamiento sedimentario, características de facies y propiedades petrofísicas que lo diferencian de sus adyacentes.

Estos intervalos estratigráficos, están limitados por estratos predominantemente lutíticos en donde se refleja un marcado efecto de las mareas, ya que estas suelen intercalar horizontes milimétricos de areniscas con estratificación ondulada, formación de rizaduras asimétricas, y laminación cruzada uni y bidireccional, así como una actividad biológica moderada reflejada en

los ichnogéneros presentes en estas. Estas capas presentan espesores que varían entre 6' y 30' y representan depósitos de inundación producidos por avances del mar debido a variaciones eustáticas o por subsidencia diferencial del sustrato sobre el cual se deposita esta secuencia.

Estos depósitos de inundación se identifican en toda el área e inclusive en el área LL370 vecina; lo que define superficies o marcadores estratigráficos de carácter regional. La nomenclatura para estos marcadores esta definida en la figura 5.2.

Estas superficies de inundación en general se caracterizan por un incremento en el contenido de Al_2O_3 , K_2O y V, algunas de estas pueden presentar un incremento en el contenido de CaO , MnO y Fe_2O_3 (láminas 6.1 a la 6.8 del anexo II).

La composición química de estas capas donde pueden predominar las lutitas o las intercalaciones arenosas, no es muy diferente a las areniscas adyacentes a estas, la diferencia más marcada es en estos tres primeros óxidos ya citados.

Radiométricamente, estas suelen presentar los valores más altos en la γ_{Total} , cuando la muestra es predominantemente o totalmente arcillosa; cuando en estas el porcentaje de intercalaciones milimétricas de areniscas se incrementa, las γ_{Total} tienden a bajar llegándose a obtener valores muy similares a los obtenidos en las areniscas arcillosas (figuras 6.9 a la 6.16).

Estas secuencias en donde alternan horizontes milimétricos de areniscas con lutitas se han definido en este informe como secuencias heterolíticas (figura 5.6).

Estos depósitos, se agrupan dentro de la facies de bahías interdistributarias descritos en el capítulo 5, siendo la superficie de inundación la que marca una mayor profundización marina respecto a los depósitos adyacentes.

Discusión

Las superficies de inundación descritas en la figura 5.2, son caracterizadas por la presencia de lutitas laminadas de colores grises, intercaladas con intervalos heterolíticos caracterizados por la interlaminación de lutitas con areniscas en donde estas últimas pueden llegar a predominar. La proporción de lutitas en estas superficies se incrementa en los marcadores inferiores de la sección sedimentaria estudiada.

La asociación de ichnogéneros, tales como *Asterosoma*, *Teichichnus*, *Zoophycos*, *Chondrites*, y *Palaeophycus*, confirma el carácter marino de estas superficies de inundación.

Al ser estos intervalos más arcillosos, lógicamente el contenido de Al_2O_3 se incrementa, en algunas de estas hay un incremento relativo en el contenido de MnO .

RANKANA & SAHANA (1952) sugieren que la presencia de MnO es favorecido en ambientes con un alto potencial de oxidación lo que puede indicar que estos ambientes se desarrollan en una plataforma somera.

Durante su sedimentación, las arcillas absorben iones de radioelementos pesados presentes en las aguas intersticiales derivados de los procesos de meteorización y concentrados en estas. Debido a que los minerales de arcilla son los principales constituyentes de las lutitas, estas presentan altos valores de radioactividad natural; y es esta la propiedad utilizada en la identificación de superficies de máxima inundación (máxima profundización marina) o de inundación (profundidades más someras) como las identificadas en la sección estudiada.

DAVIES & ELLIOTT (1994) usan este criterio en la identificación de superficies de inundación, por un incremento en γ_{Total} , en su estudio de la secuencia deltaica de la cuenca CLARE del Carbonífero Superior de Irlanda.

La información radiométrica de las muestras de este estudio, permite identificar algunas de las superficies de inundación definidas en la secuencia sedimentaria del área en base a sus mayores valores en las lecturas de γ_{Total} ; en general estas coinciden con los marcadores definidos en el área y mostrados en la figura 5.2. Sin embargo el comportamiento radiométrico de estas superficies puede variar de un pozo a otro. En aquellos pozos en donde hay mayor abundancia de intercalaciones milimétricas de areniscas asociadas a superficies de inundación, así como una mayor mezcla litológica por efecto de la actividad biológica, estos valores en las lecturas de γ_{Total} tienden a disminuir e inclusive pueden ser menores a los obtenidos en algunas areniscas..

Los valores de γ_{Total} en estos marcadores siempre tenderán a ser mayor que el de las areniscas adyacentes tal como puede ser observado en las figuras 6.9 a la 6.16; algunas de las areniscas bioturbadas o con un alto contenido de matriz arcillosa pueden tener valores en la γ_{Total} cercanos a los valores obtenidos en muestras heterolíticas.

Hay que destacar que la diferencia entre el valor más alto y el más bajo de la intensidad γ_{Total} registrada en las rocas arcillosa y en las areniscas respectivamente, esta alrededor de una unidad de radiación (CPS), lo que muestra el gran parecido en el comportamiento radiométrico entre las

areniscas y las rocas lutáceas; sin embargo esta diferencia tan pequeña permite diferenciar una litología de la otra.

En algunos de los pozos suelen aparecer areniscas con valores de la γ_{Total} tan altos como el de las lutitas o rocas heterolíticas adyacentes; estas areniscas se presentan por debajo o muy cercanas a las superficies de erosión. Ejemplo de esto se presenta en los pozos LL832 (figuras 6.3 y 6.11), LL773 (figuras 6.1 y 6.9), y LL850 (figuras 6.4 y 6.12) donde los valores “anómalos” de γ_{Total} en las areniscas cercanas a estas superficies de erosión, puede ser por un ligero incremento de elementos radioactivos que percolaron a través de estas superficies y se concentraron en estas areniscas.

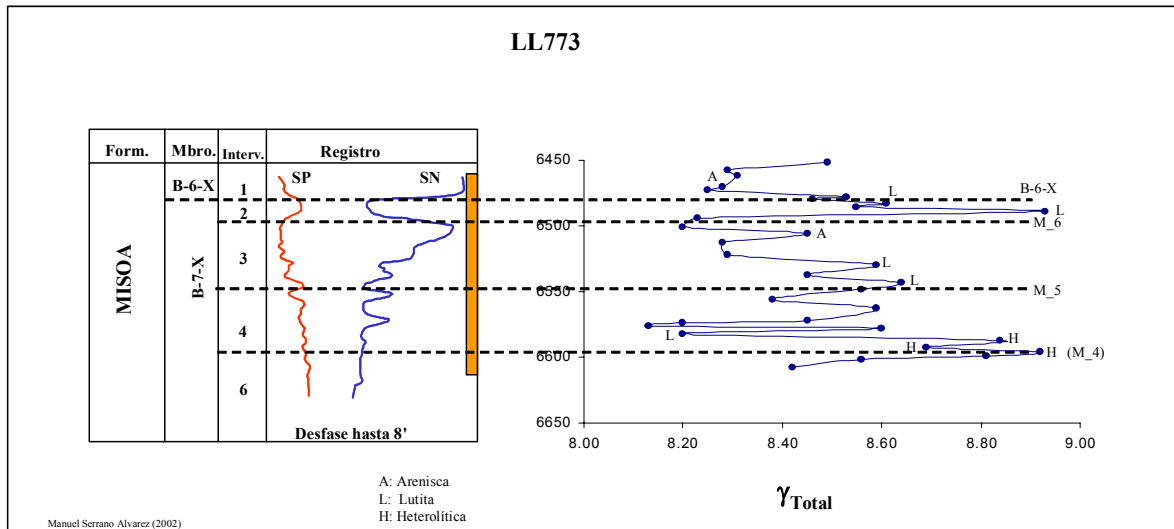


Figura 6.9. Perfil radiométrico para el pozo LL773

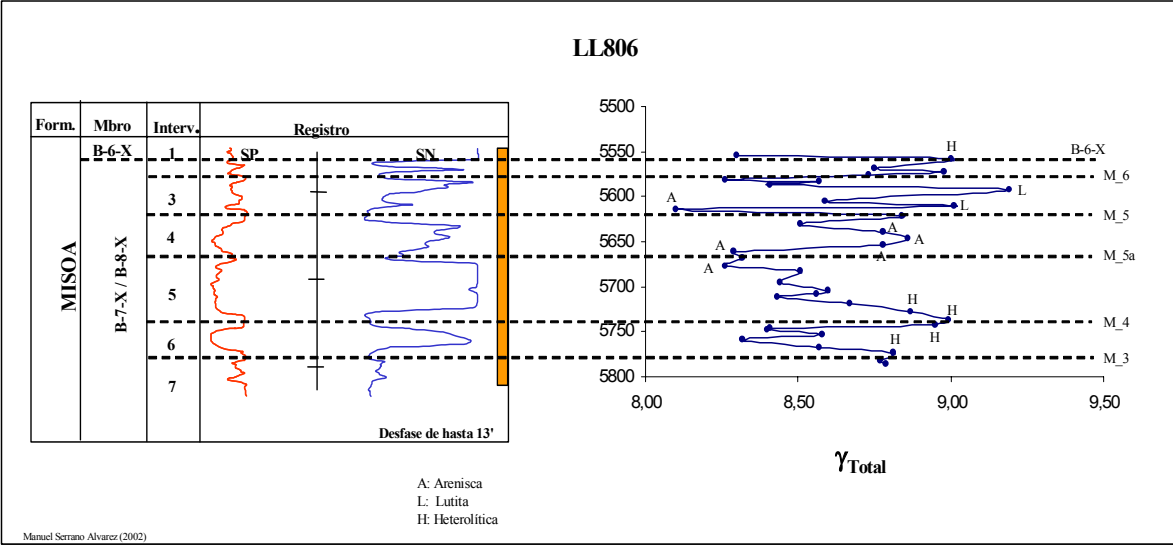


Figura 6.10. Perfil radiométrico para el pozo LL806.

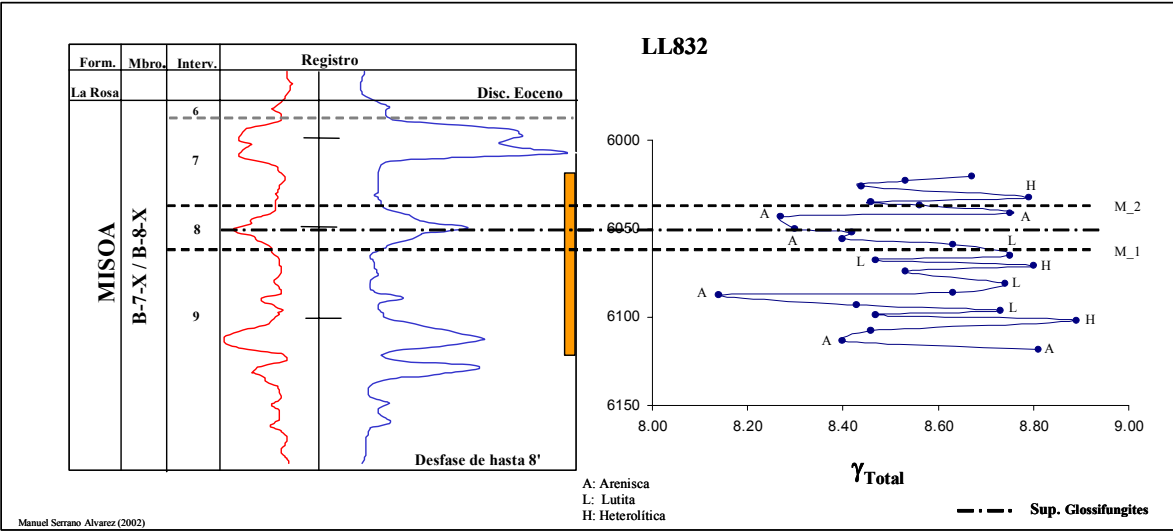


Figura 6.11. Perfil radiométrico para el pozo LL832.

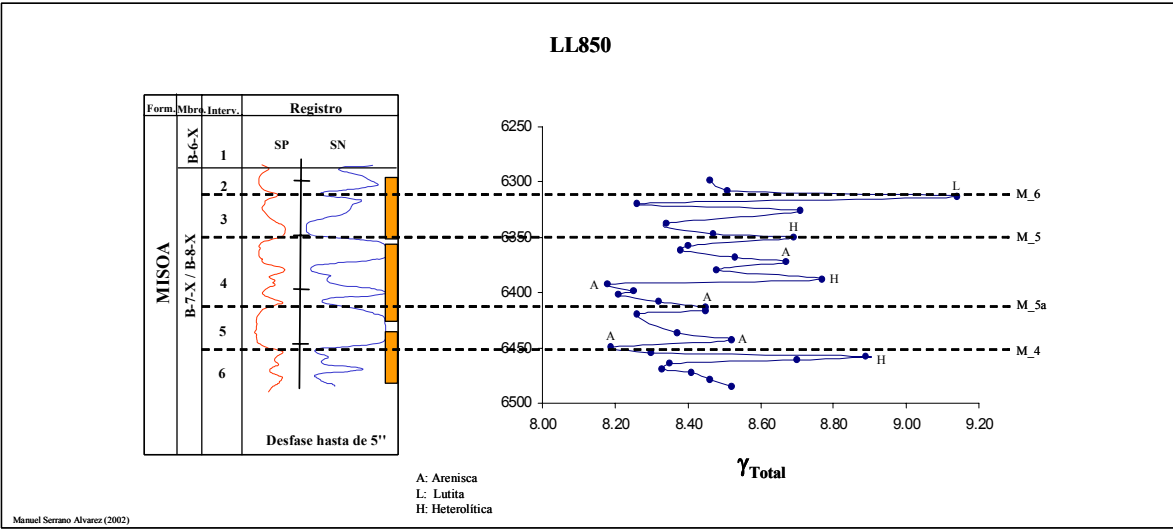


Figura 6.12. Perfil radiométrico para el pozo LL850.

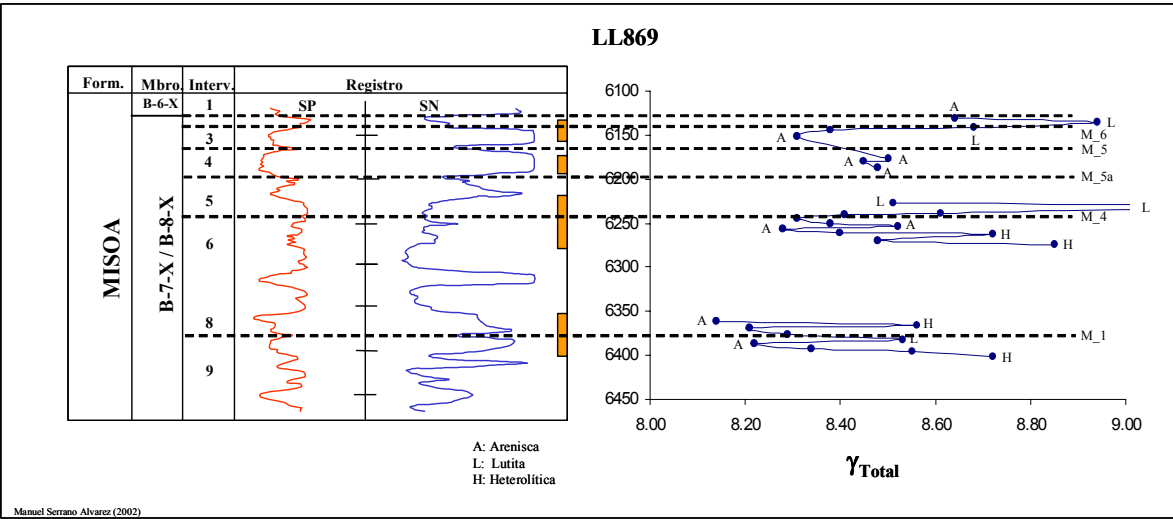


Figura 6.13. Perfil radiométrico para el pozo LL869.

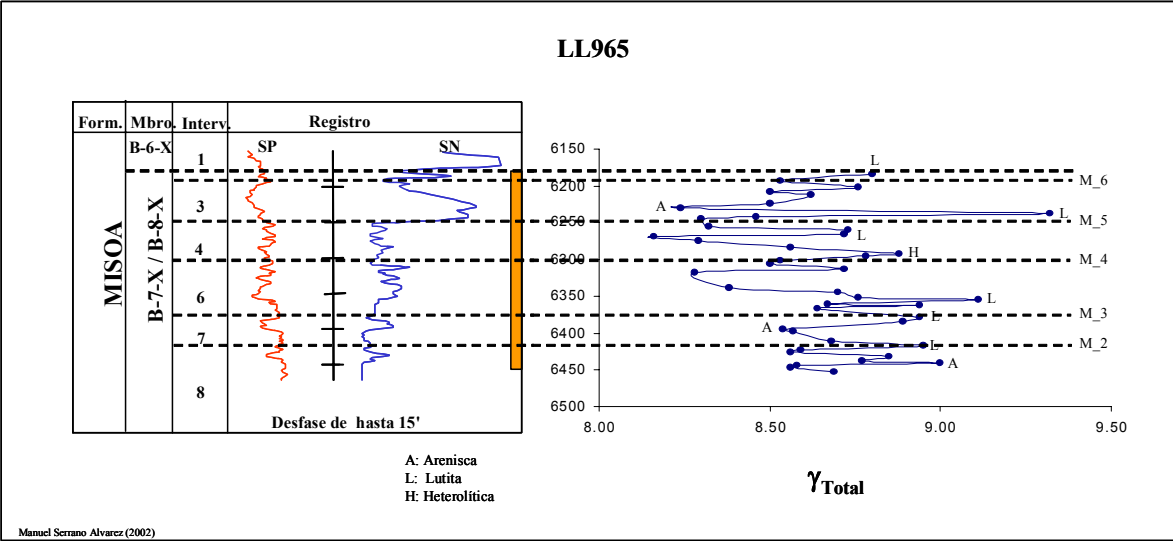


Figura 6.14. Perfil radiométrico para el pozo LL965.

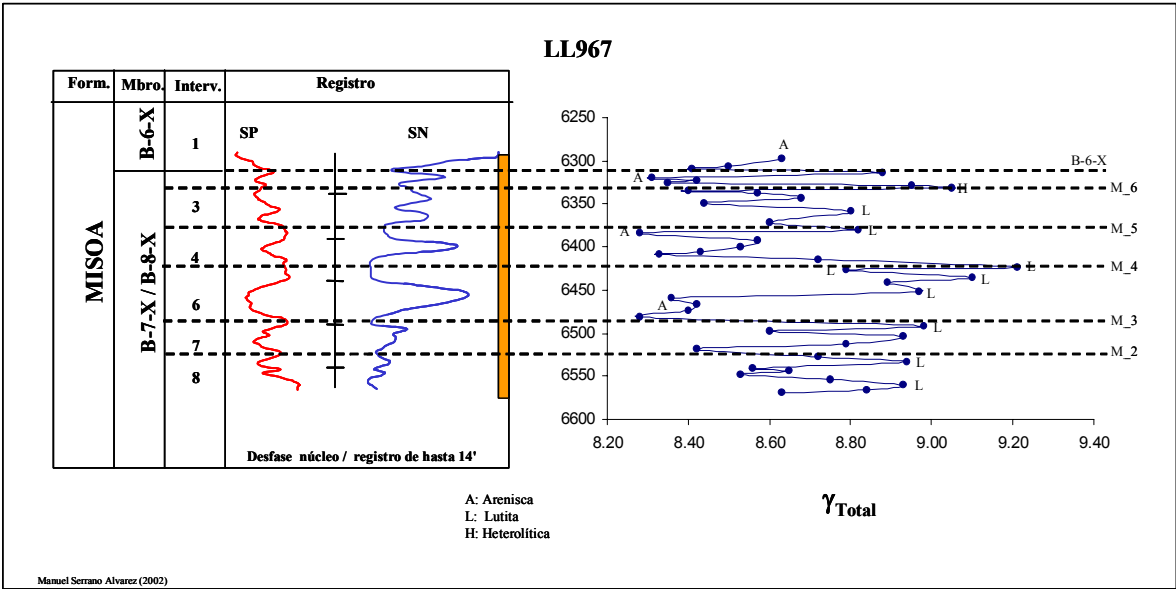


Figura 6.15. Perfil radiométrico para el pozo LL967.

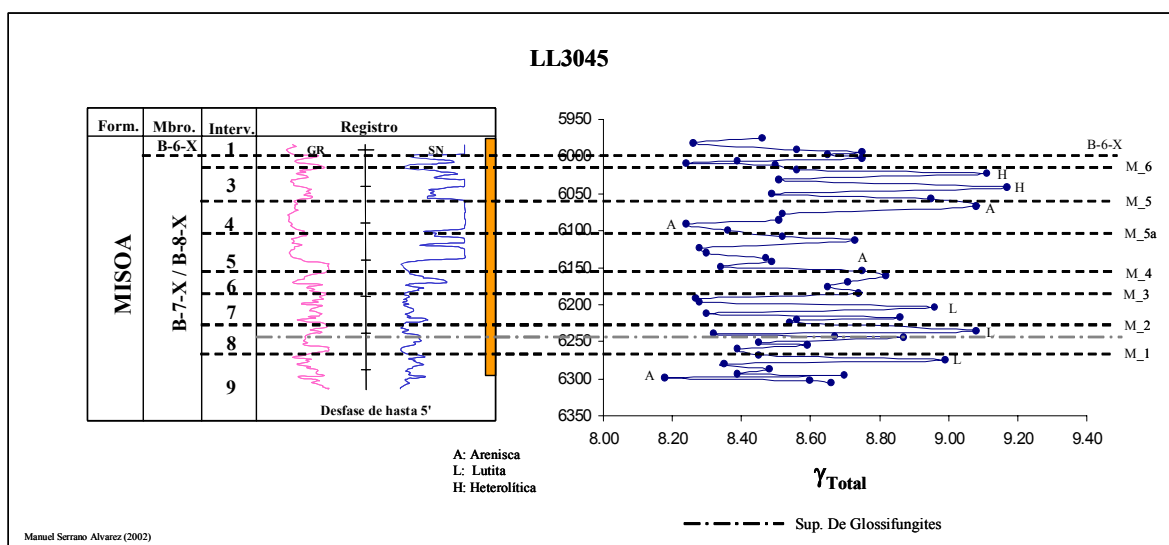


Figura 6.16. Perfil radiométrico para el pozo LL3045.

6.1.2.3. Intervalos estratigráficos

En la Figura 5.2 se muestran los intervalos en los que fue dividida la sección estratigráfica perteneciente al intervalo estudiado que comprende la parte basal del Miembro B-6-X y los miembros B-7-X y B-8-X de la Formación Misoa. Estos están numerados ascendentemente de I-2 a I-9, el intervalo I-1 corresponde a la parte basal de B-6-X, estos intervalos están separados por superficies de inundación descritas en el aparte anterior (figura 5.2).

Intervalo 1 o B-6-X

Representa el depósito basal del inicio del segundo ciclo tectónico reconocido en la Formación Misoa por SERRANO *et al.* (1996), su contacto con B-7-X, infrayacente es claramente diferenciable en los perfiles geoquímicos, por un cambio en la concentración de los óxidos con los cuales se elaboraron estos perfiles (láminas 6.1, 6.2, 6.7, y 6.8 del anexo II). La concentración de estos en esta unidad, en general es más o menos constante, con variaciones muy pequeñas entre los valores más altos y los más bajos. En la relación de TiO_2/Al_2O_3 , es en donde se observan mayores variabilidades. Tal como se menciona en el apartado 2.5 del capítulo 2, esta relación es un índice de la homogeneidad química de la roca, puntualizado a través de dos elementos de muy baja movilidad durante el proceso de sedimentación y diagénesis. En este intervalo se observa en

los perfiles geoquímicos que la concentración del Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO , K_2O tiende a ser menor a los observados en la sección inferior (B-7-X / B-8-X) mientras que la concentración del CaO en las areniscas tanto de B-6-X como las de la sección inferior es muy similar.

En los dendogramas elaborados con el programa MVSP y en donde se consideran todos los elementos determinados en el análisis químico así como las relaciones $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, se pueden además de diferenciar los intervalos y marcadores estratigráficos definidos en la figura 5.2, observar variaciones composicionales dentro de los intervalos, que en ocasiones son claramente visibles en los perfiles geoquímicos, como es en el caso de este intervalo.

Tres pozos tienen suficientes muestras como para definir subpoblaciones composicionales; en la base de este intervalo, en el pozo LL773 (figura 6.17), se separan dos grupos de muestras, uno hacia la base de B-6-X, y otro superior, entre las profundidades 6458' y 6470'.

Los pozos LL967 (figura 6.18a) y LL3045 (figura 6.19a), muestran como hacia la base de B-6-X, las muestras se agrupan por su similaridad composicional, existiendo dentro de este intervalo marcadamente arenoso y que a simple vista luce homogéneo, variaciones químicas verticales.

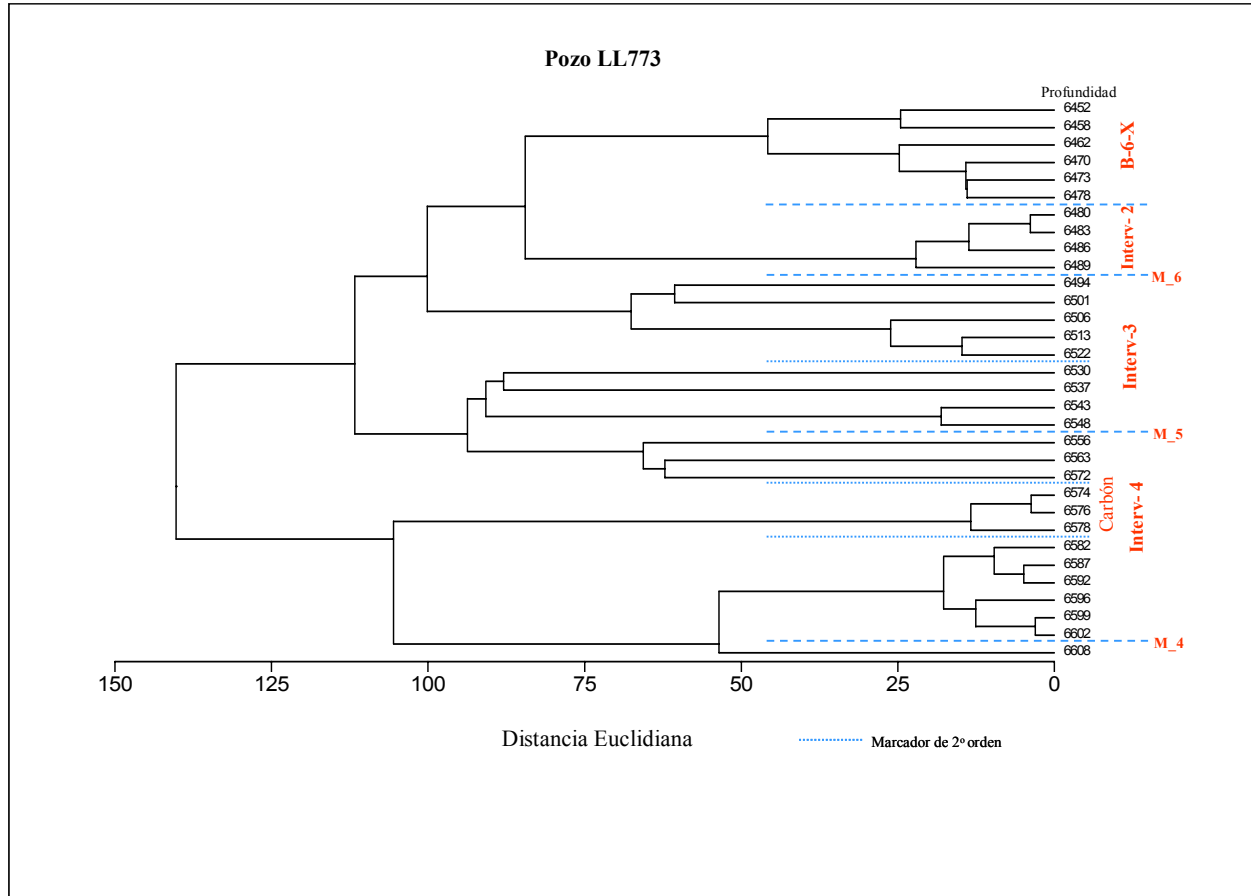


Figura 6.17. Dendograma para el pozo LL773 elaborado con el programa MVSP.

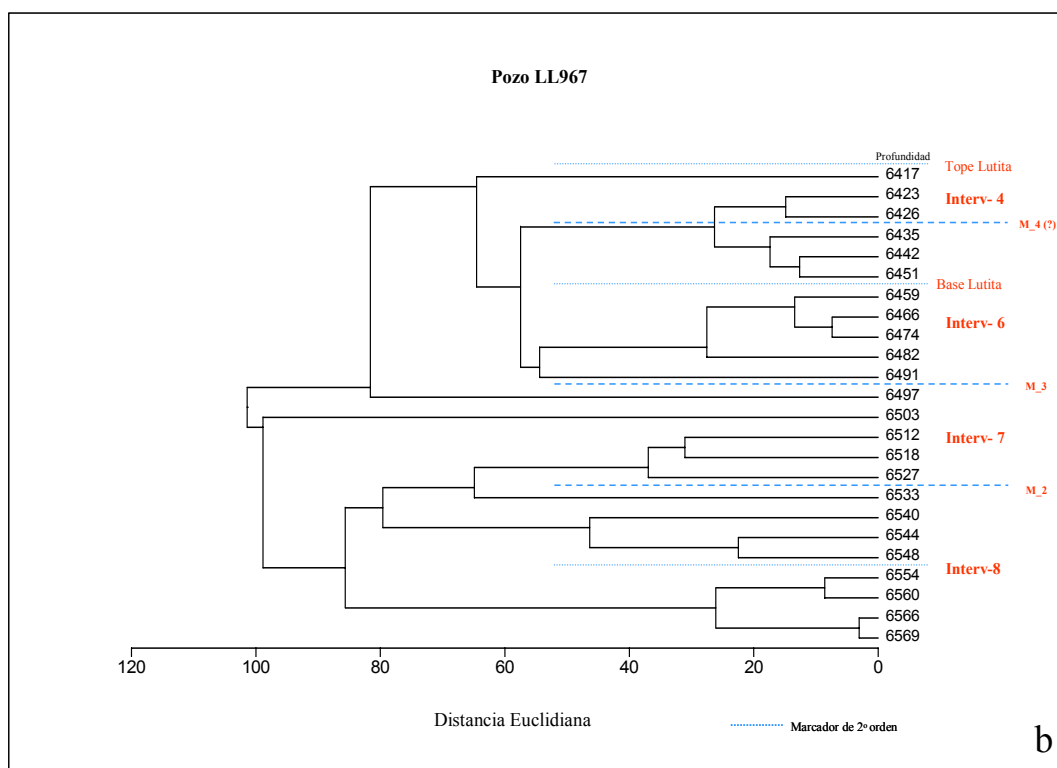
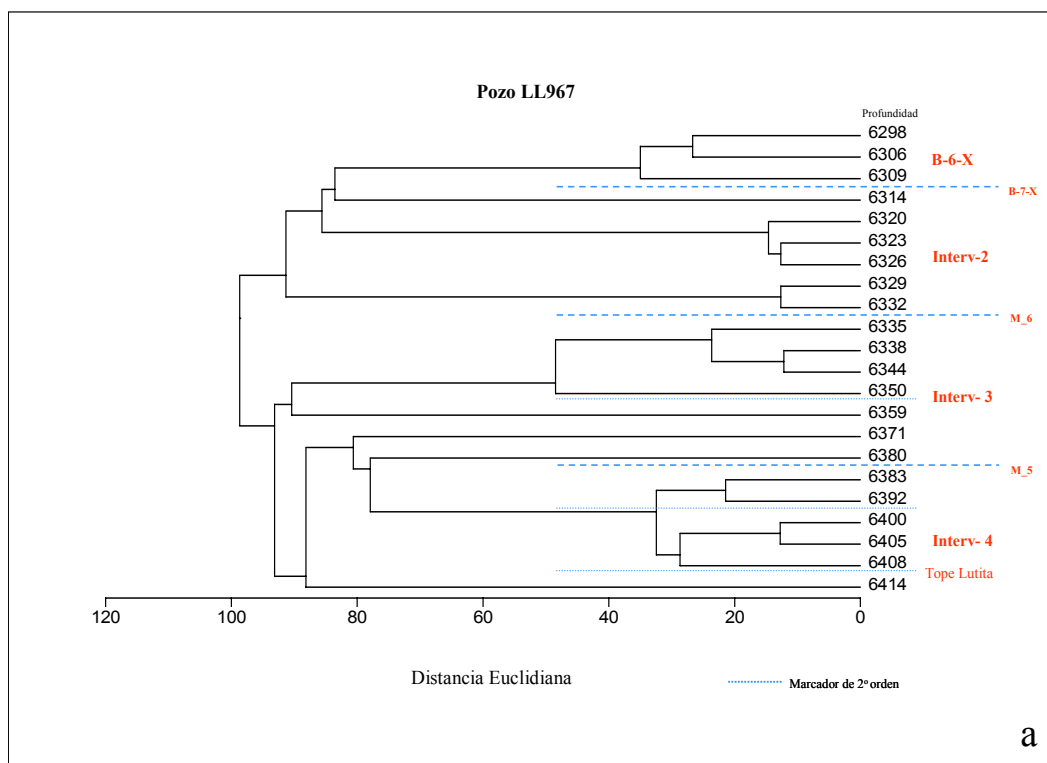


Figura 6.18. Dendogramas para el pozo LL967 elaborado con el programa MVSP.

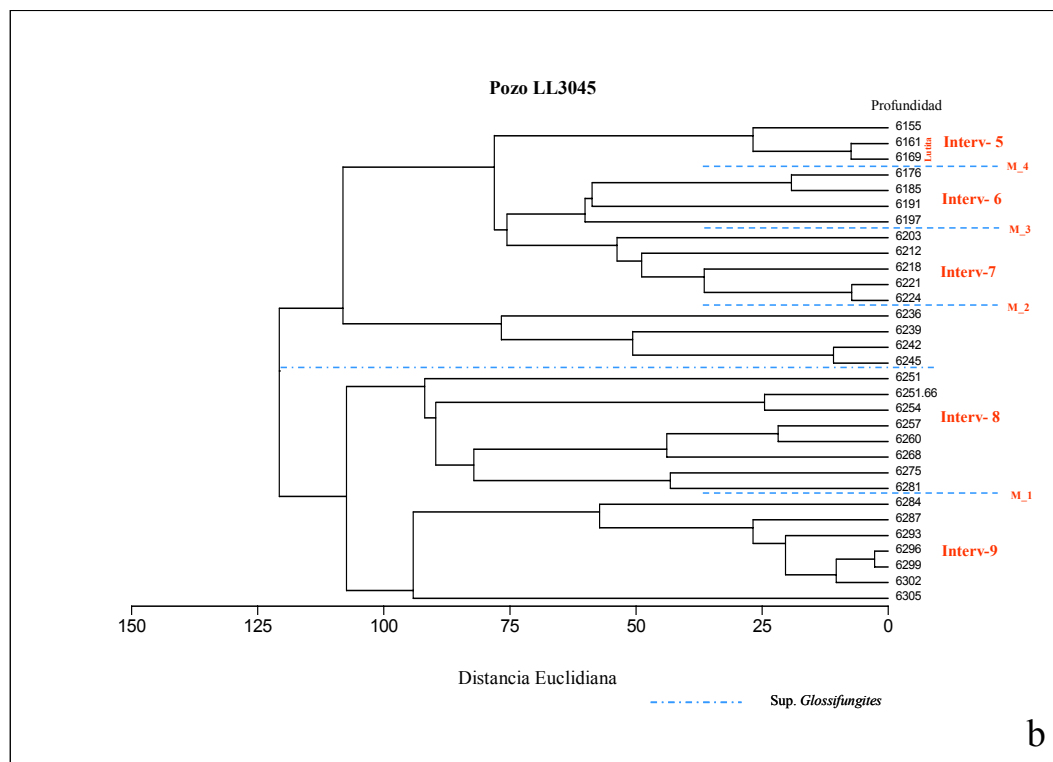
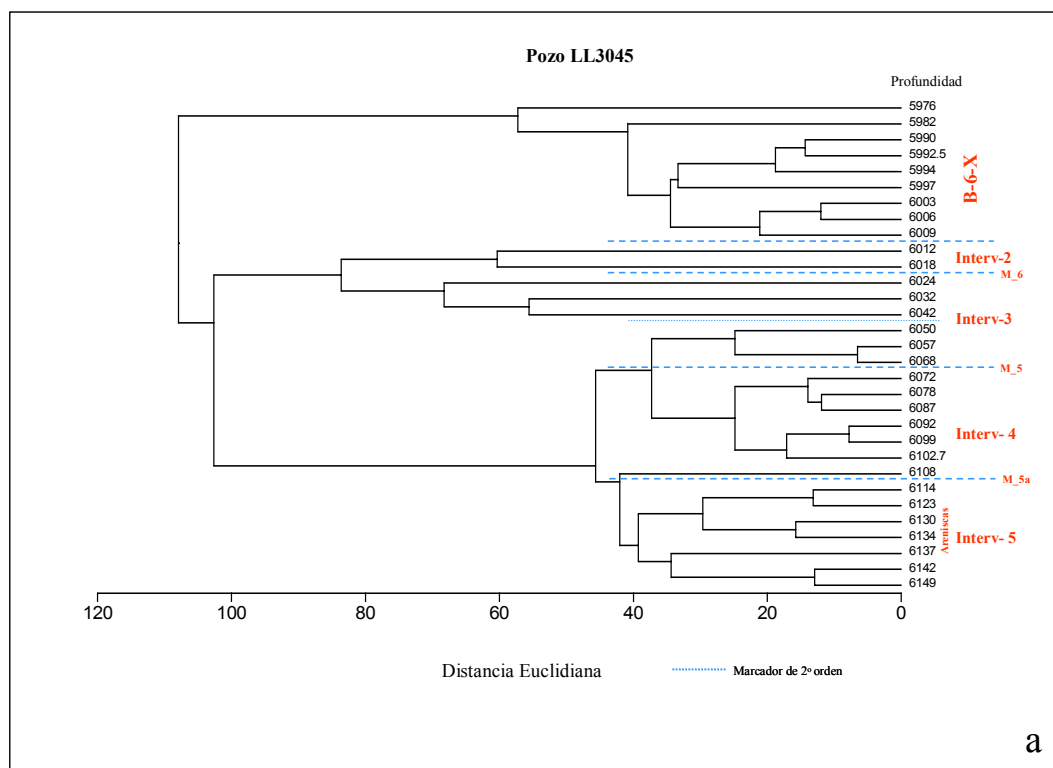


Figura 6.19. Dendogramas para el pozo LL3045 elaborado con el programa MVSP.

Intervalo 2

Esta unidad es la última depositada durante el primer ciclo tectónico del Eoceno en la Cuenca de Maracaibo, y definido como tal por SERRANO *et al.* (1996). Figura 4.6.

Este intervalo, es el más delgado de todos que constituyen la secuencia B-7-X / B-8-X. Con un espesor promedio de 20', es constituido básicamente por areniscas de grano muy fino e intervalos heterolíticos que desaparecen en el pozo LL773 por efecto de una superficie de erosión identificada en la figura 6.1, en su lugar se desarrolla un intervalo lutítico (lámina 6.9, anexo II).

Químicamente presenta un incremento en el contenido de Fe_2O_3 , K_2O , TiO_2 cuando se compara con las areniscas de B-6-X, en algunos de los pozos puede existir un incremento en el contenido de CaO ; mientras que el índice de homogeneidad química ($\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$), presenta menos variabilidad entre los valores máximos y mínimos.

Su límite inferior es el marcador M_6, que en la mayoría de los casos es marcado por una fuerte inflexión de los datos en los perfiles geoquímicos. (Láminas 6.1, 6.2, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7 y 6.8 del anexo II).

En los dendogramas (figuras 6.17, 6.18a, 6.19a, 6.20, 6.21 y 6.22), este intervalo se diferencia muy claramente de B-6-X y del intervalo infrayacente, todas las muestras en este, son químicamente muy similares tal como se observa en los dendogramas. Las variaciones internas que pueden observarse, por ejemplo en la figura 6.18a, en donde se separan dos grupos de muestras, es el reflejo de un cambio litológico interno dentro de la unidad; las muestras entre las profundidades de 6320' y 6326' son areniscas y el dendograma tiene la capacidad de agruparlas por su similaridad química; las muestras inferiores, son básicamente heterolíticas en donde domina la fracción lutítica sobre la arenosa, aunque en el gráfico se separan estas muestras; químicamente son muy similares en razón de la distancia Euclidiana asociada a ambos grupos.

En el pozo LL945 (figura 6.20), se observa como se separan dos grupos de muestras; litológicamente todas son areniscas de grano fino a medio con horadaciones de la ichnofacies de *skolitos*; composicionamente hay una diferencia química entre las muestras a 6964' y 6966,5' con respecto a las ubicadas a 6969' y 6971' de profundidad. Este mismo fenómeno se va a observar en los demás intervalos, algunas veces separando litologías marcadamente distintas y en otras ocasiones dentro de un mismo tipo litológico.

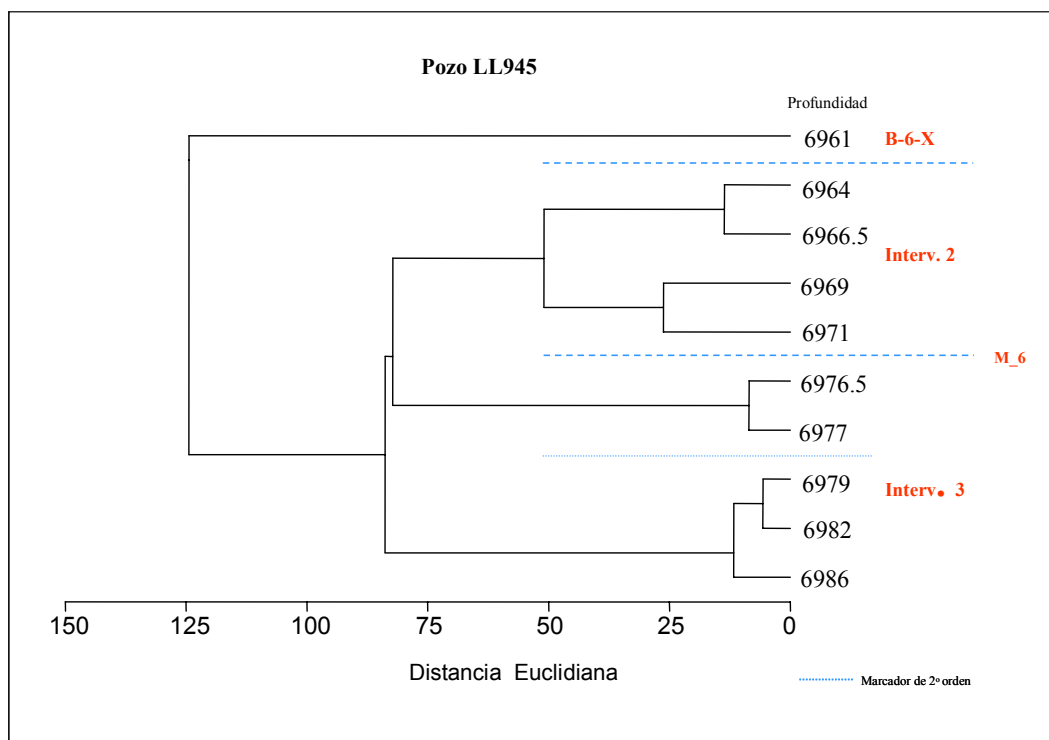


Figura 6.20. Dendrograma para el pozo LL945 elaborado con el programa MVSP

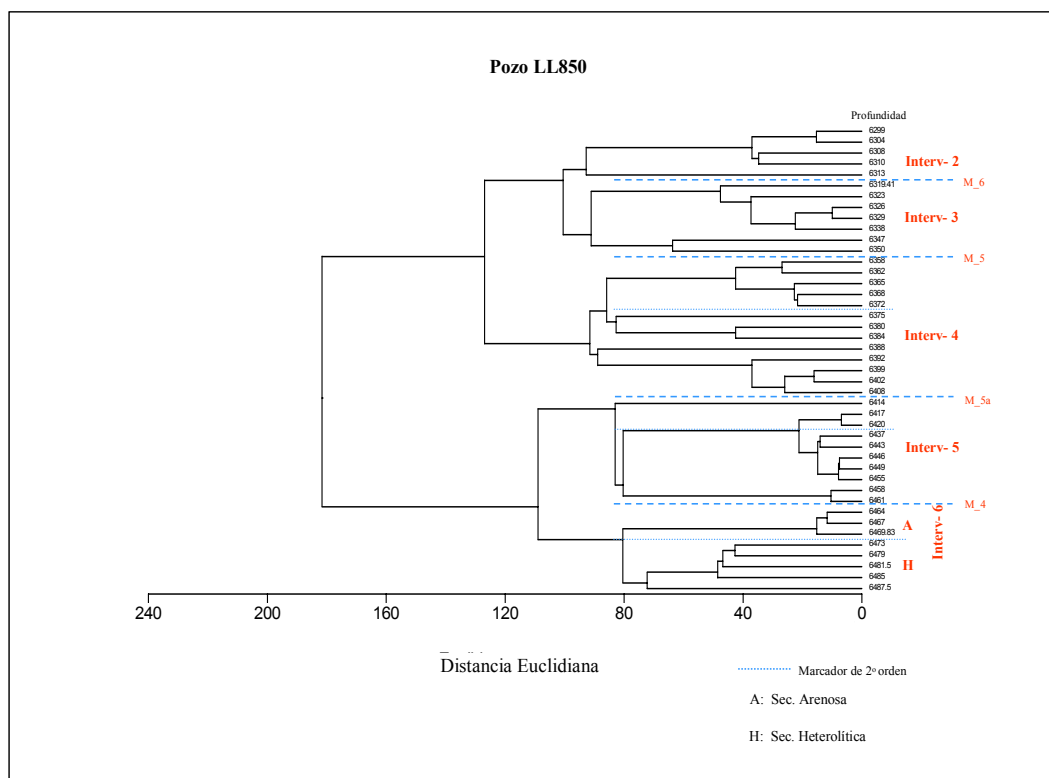


Figura 6.21. Dendrograma para el pozo LL850 elaborado con el programa MVSP

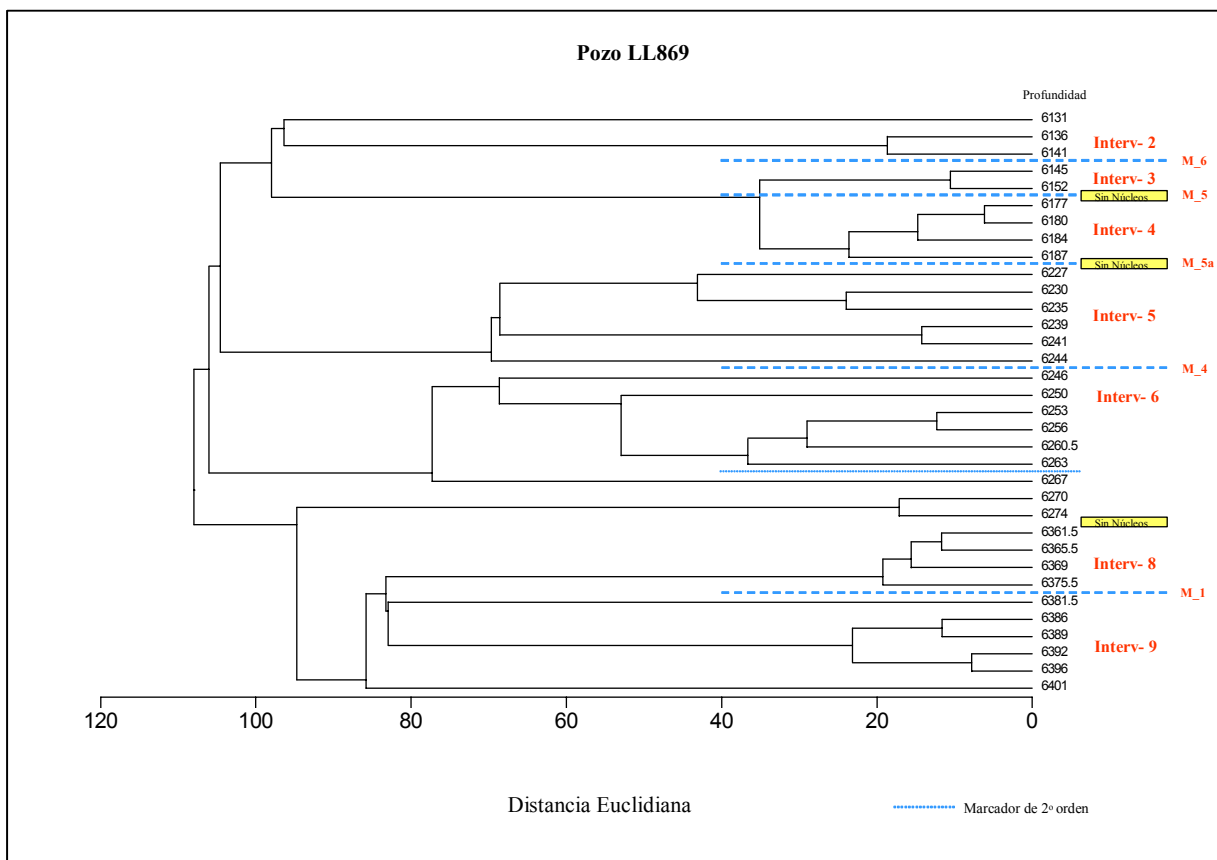


Figura 6.22. Dendrograma para el pozo LL869 elaborado con el programa MVSP

Intervalo 3

La base de esta unidad, es el marcador M_5, (figura 5.2) caracterizado por definir un cambio en la concentración de los óxidos utilizados en la elaboración de los perfiles geoquímicos y una ligera caída en los valores de la relación TiO_2/Al_2O_3 , tal como puede observarse en los pozos LL806, LL965 y LL967 y menos evidente en el LL773, LL850 y LL3045 (láminas 6.1, 6.2, 6.4, 6.6, 6.7 y 6.8 del anexo II).

Este intervalo esta constituido por una conjunto de canales distributarios apilados, con un espesor de 23' a 60'; este espesor tiende a disminuir de sur a norte (desde el bloque III al I de la figura 5.1) y lámina 6.9 del anexo II.

Químicamente este intervalo presenta un patrón variable en la concentración de sus componentes químicos en cada pozo, estos tienden a disminuir su concentración respecto al intervalo 2 en los pozos LL773, LL869, LL965, y LL967 y un aumento respecto a la misma

unidad, en los pozos LL806, LL850 y LL3045; esta tendencia, posiblemente obedezca a un cambio químico en la dirección del transporte sedimentario.

En cuanto al índice de homogeneidad química definido por la relación TiO_2/Al_2O_3 , puede observarse, cierta variabilidad entre la base y el tope del intervalo, en aquellos pozos donde se logra diferenciar un marcador secundario que divide a esta unidad en una superior y otra inferior; este se identifico en casi toda el área y parece representar una superficie erosiva en los pozos en donde mejor se define tales como el LL967 y LL3045 se ha identificado como tal (figuras 6.7 y 6.8), en estos este separa a una arenisca saturada de petróleo yaciendo sobre una lutita con tonos rojizos, característico de exposición subaérea; en los otros pozos en donde se identifica a este marcador no se clarifica el carácter de este.

En los dendogramas de las figuras 6.17, 6.18a, 6.19a, 6.23 y 6.24, la diferenciación de este intervalo es clara, en cuanto a los marcadores que la limitan como lo son el M_6 y el M_5. El marcador secundario identificado en los perfiles geoquímicos, también puede diferenciarse en estos; este separa a dos grupos de muestras químicamente similares entre si pero ligeramente distintas entre ellos.

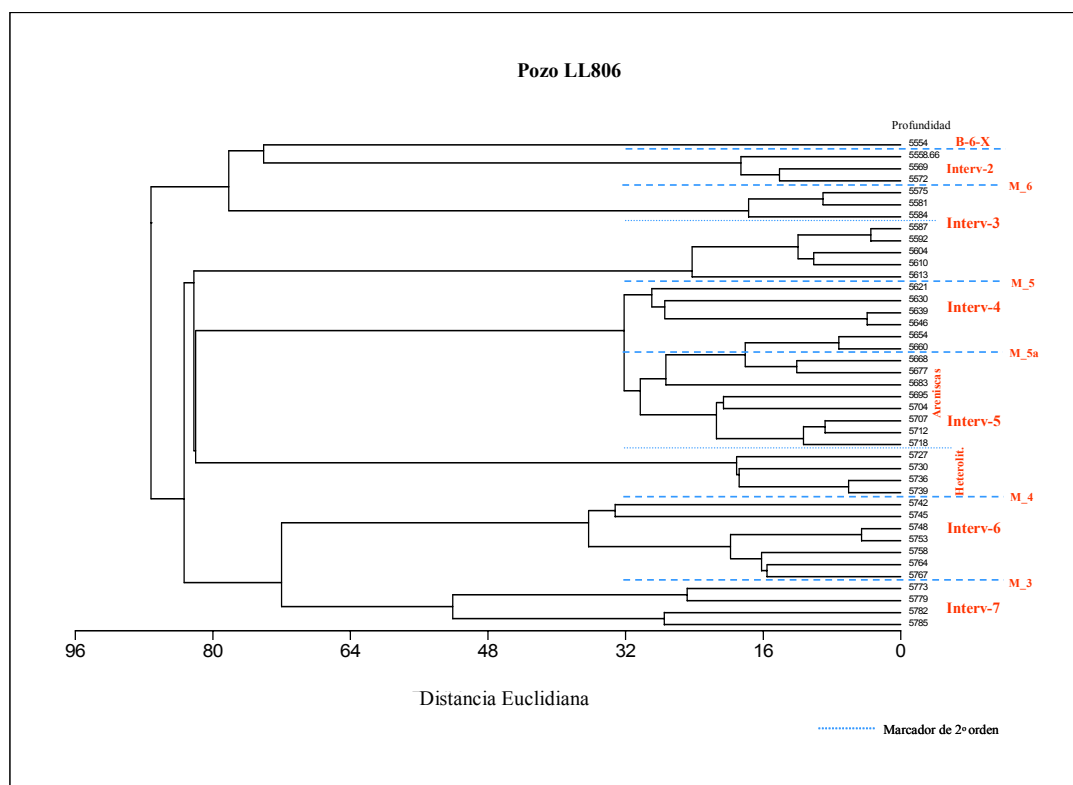


Figura 6.23. Dendrograma para el pozo LL806 elaborado con el programa MVSP

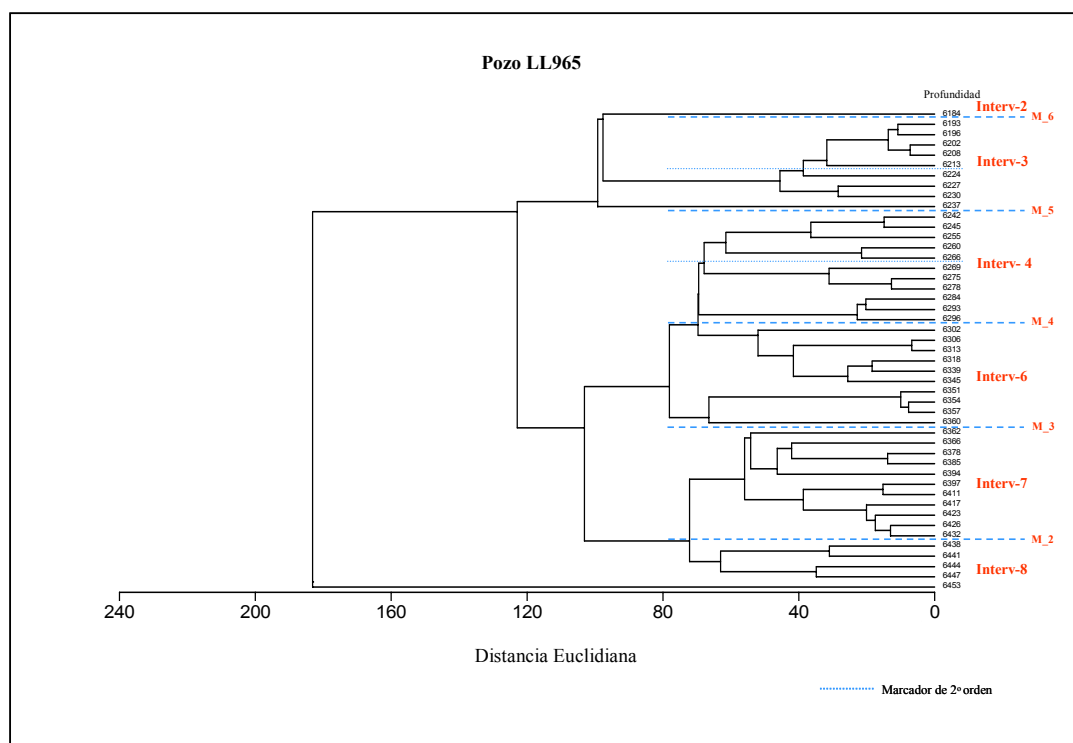


Figura 6.24. Dendrograma para el pozo LL965 elaborado con el programa MVSP

Intervalo 4

La base de este intervalo, es el marcador M_4 (figura 5.2), el cual define en todos los casos una tendencia a disminuir el índice de homogeneidad química (TiO_2/Al_2O_3); mientras que con los óxidos, en algunos de los pozos este marca una caída en la concentración de los mismos o un aumento de esta.

En los pozos ubicados en el bloque I de la figura 5.1 y en el pozo LL850, el marcador M_4 define la base del intervalo 5, el cual constituye un deposito adicional sólo presente en esta área, lo que indica la existencia de una superficie paleotopográfica, que se hundía hacia el norte y que permitió la creación del espacio necesario para la depositación de este intervalo. En el área donde este intervalo existe, el límite inferior del intervalo 4, es definido por el marcador M_5a que hacia el sudeste desaparece. (Figura 5.3 y lámina 6.9 del anexo II).

En el intervalo 4 (figura 5.2), en los pozos LL773, LL850, y LL965 se definieron superficies de no sedimentación o mas posiblemente de erosión (figuras 6.1, 6.4 y 6.6). En general estas superficies marcan una diferencia química entre las rocas situadas por encima y por debajo de

estas; en los pozos LL773 y LL850 el contenido de K_2O y V , tiende a ser menor por debajo de estas superficies, mientras que el Fe_2O_3 se incrementa en las cercanías de estas.

En el pozo LL806, el contenido de SiO_2 , en las areniscas es menor que el de las areniscas del intervalo 5, mientras que el contenido de Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO y K_2O tiende a aumentar en estas; el contenido de CaO es similar en ambos intervalos.

El pozo LL850 es caracterizado por dos paquetes arenosos separados por capas predominantemente arcillosas (lámina 6.4 del anexo II). La arenisca inferior presenta un contenido menor de Al_2O_3 indicativo de que es más limpia que la superior, la concentración de Fe_2O_3 es similar en ambas arenas, mientras que el contenido de MnO , K_2O y V tiende a incrementarse en el paquete superior respecto al inferior.

En el LL869, los núcleos son discontinuos a lo largo de todo el pozo (lámina 6.5 del anexo II); el intervalo 4, presenta una caída en el contenido de Al_2O_3 , TiO_2 , y Fe_2O_3 con respecto a los intervalos 3 y 5. El contenido de K_2O es similar al del intervalo 3 pero menor que la del intervalo 5. El contenido de CaO tanto en los intervalos 3 y 4 es menor al del intervalo 5.

En el pozo LL965 hay una fuerte dispersión en los valores de la concentración del SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , y V ; el contenido de K_2O tiende a aumentar hacia la base, al igual que el CaO . En este intervalo predominan las secuencias lutíticas y heterolíticas.

El pozo LL967 es caracterizado por un paquete arenoso de poco espesor limitado por secuencias lutáceas (lámina 6.7 del anexo II) en este, el contenido de TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , y MnO tiende a caer respecto a los intervalos lutáceos en el cual esta embebido este paquete arenoso.

El pozo LL3045, básicamente arenoso en este intervalo, presenta una disminución en el contenido de TiO_2 , Al_2O_3 , CaO , K_2O y V . El contenido de MnO se mantiene similar al de los intervalos lutáceos adyacentes (lámina 6.8 del anexo II).

El índice de homogeneidad química refleja en algunos de los pozos cierta heterogeneidad en relación al intervalo 3, básicamente arenoso. Este cambio es un reflejo de su heterogeneidad litológica, básicamente areniscas de canales distributarios e intercalados con secuencias heterolíticas que caracterizan las bahías interdistributarias.

Los dendogramas (figuras 6.17, 6.19a, 6.21, 6.23, y 6.24), muestran que los tipos litológicos presentes en este intervalo presentan una composición química similar a los mismos tipos presentes en los intervalos adyacentes, por lo que al momento de diferenciar los marcadores que limitan a este intervalo a partir de estos gráficos, estos pueden quedar en el medio de una de las

agrupaciones definidas por el dendograma y esto es debido a la similitud química que existe entre el fin de la sedimentación de un intervalo y el comienzo del otro, en especial en las superficies lutáceas que lo separan. En el pozo LL850, este intervalo se separa claramente de sus intervalos adyacentes (figura 6.21). Dentro del mismo se separan poblaciones donde las muestras que componen cada población, son composicionalmente similares; pero distintas de las poblaciones adyacentes. Esta variabilidad, se asocia a cambios litológicos, y a la litología dominante en cada población.

La dificultad existente en la definición de este intervalo a través de los dendogramas, es debida a que su composición química es muy similar a la del intervalo 5 en los pozos LL806 y LL3045 y al intervalo 6 en los pozos LL967, y LL965. (Figura 5.2 y lámina 6.9, anexo II).

En el pozo LL773, dentro de este intervalo, se encuentra una capa de carbón de 1,5 m de espesor, que marca un cambio composicional en esta unidad, como se observa en la lámina 6.1 del anexo II; y en el dendograma (figura 6.17), las tres muestras tomadas en esta capa, se diferencian claramente del resto de las muestras de este intervalo.

En el pozo LL967, el marcador M_4 que define el límite inferior de este intervalo, en algunos pozos del área, no es posible reconocerlo en el perfil geoquímico de la lámina 6.7, debido a que este se encuentra en un cuello lutítico de unos 30' de espesor, el cual muestra un índice de homogeneidad química sin variaciones. En el dendograma (figura 6.18b) en esta lutita, se separan dos grupos composicionales a partir de la profundidad de 6426', y es en esta donde se ubica el marcador M_4.

En el perfil radiométrico de este pozo (figura 6.15), se observa que la mayor radioactividad γ_{Total} , es asociada a esta lutita, e inclusive se puede establecer una diferenciación radiométrica dentro de la misma lutita y señalar en donde se sitúa el horizonte M_4, que en este caso representa una mayor profundización marina durante un evento de inundación.

Intervalo 5

Tal como se mencionó en el apartado anterior, esta unidad se sedimentó sobre una superficie paleotopográfica, que se hundía hacia el norte. Esto hace que esta se acuñe hacia el sureste (figura 5.3) y presenta un espesor entre 43' y 73', correspondiendo el mayor espesor al pozo ubicado hacia el depocentro establecido en ese tiempo.

La litología dominante en este intervalo es de areniscas de canales distributarios apilados, estas son de grano fino con laminación inclinada, con clastos milimétricos de arcilla; asociados a estos canales se encuentran intervalos lutíticos y heterolíticos pero en menor proporción. Estas litologías en general, presentan huellas de actividad biológica, tales como galerías tipo *skolitos*, *palaeophycus*, *teichichnus*, *arenicolites* etc., huellas estas que permiten caracterizar el ambiente sedimentario de este intervalo.

Su límite inferior, es el marcador M_4 (figura 5.2), que en todos los pozos en donde este intervalo aparece, marca una disminución en el índice de homogeneidad química (lamina 6.2, 6.4, 6.5 y 6.8 del anexo II).

Químicamente este intervalo presenta poca variabilidad entre los valores máximos y mínimos en su parte superior que generalmente es la más arenosa, mientras que en su parte inferior en donde predominan las secuencias heterolíticas y lutíticas, tiende haber un incremento en la concentración de Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO , CaO y K_2O ; el pozo LL869 en el cual se tienen muestras de la parte inferior del intervalo el cual es predominantemente lutáceo, la concentración de CaO tiende a disminuir respecto al intervalo infrayacente (lámina 6.5).

Los dendogramas de los pozos que muestran esta unidad (figuras 6.19a, 6.19b, 6.21, 6.22 y 6.23) diferencian claramente a este intervalo del infra y suprayacente. El dendograma, agrupa las muestras que presentan mayor similitud química; en este caso agrupa las muestras de un mismo tipo litológico tal como se puede establecer en los gráficos del pozo LL3045 en donde las muestras a 6161' y 6169' son lutíticas mientras que el resto son básicamente areniscas, estas se agrupan en poblaciones composicionales diferentes al de las areniscas; dentro de las mismas areniscas se establecen dos grupos composicionales tal como se puede ver en las figura 6.19a y 6.19b; esta misma diferenciación química dependiente de la litología se establece en los pozos LL850 y LL806, en el primero, las muestras a las profundidades de 6414', 6458', y 6461' son lutitas el resto de las muestras de este intervalo son areniscas y en el gráfico de la figura 6.21

puede notarse como estas se separan composicionalmente de las areniscas; este mismo patrón también puede notarse en la figura 6.23 perteneciente al pozo LL806.

Intervalo 6

La base de esta unidad es definida por el marcador M₃ (figura 5.2) el cual define un aumento leve de la concentración en algunos de los óxidos graficados en los perfiles geoquímicos y en el índice TiO_2/Al_2O_3 (láminas 6.2, 6.6, 6.7, y 6.8 del anexo II).

Es a partir del marcador M₄, tope de este intervalo que se observa en los perfiles geoquímicos un aumento relativo de la concentración de CaO y una mayor dispersión de los valores del K₂O pero tendiendo a aumentar en relación a los intervalos superiores, esta tendencia es consistente a lo afirmado por WINTSCH & KVALE (1994) en donde el K₂O es constantemente incorporado a las rocas, especialmente a las arcillosas con la profundidad y este proceso es asociado a la ilitización de la esmectita. Esta reacción química implica una liberación de Ca^{2+} (BOLES & FRANKS 1979) que puede ser incorporado a la roca en forma de siderita o calcita.

El índice de homogeneidad en este intervalo muestra una tendencia a disminuir de tope a base de la unidad. Hay una fuerte variación entre el valor mínimo y máximo de este índice; indicativo de la presencia de una gran heterogeneidad química. Este intervalo esta constituido por sedimentos de bahías interdistributarias (secuencias heterolíticas y lutitas) y canales distributarios apilados en paquetes de 10' a 40', en general más delgados que los paquetes anteriores.

Es en este intervalo en donde una mayor cantidad de las muestras analizadas han mostrado la presencia de MgO, tal como se observa en las láminas 6.4, 6.5, 6.7 y 6.8; el contenido de este óxido tiende a aumentar en la parte más arenosa del intervalo y a disminuir en la arcillosa.

Este intervalo es el que parece haber tenido una mayor actividad biológica en toda la sección debido al grado de bioturbación observado; entre las huellas de organismos observadas tenemos *planolites*, *asterosoma*, *teichichnus*, *ophiomorfa*, *skolitos*, *thalassinoides*, estas ichnofacies son indicativas de una cada vez mayor influencia marina en la sedimentación del intervalo.

Los dendogramas (figuras 6.19b, 6.21, 6.22, 6.23, 6.24), muestran en todos los casos una clara diferenciación del marcador M₃ y en otros M₄, pero no siempre estos gráficos discriminan este intervalo de sus adyacentes. Dentro de él, pueden diferenciarse subpoblaciones composicionales asociadas a cambios litológicos marcados por marcadores secundarios. En la figura. 6.21, se

observa esta diferenciación, la secuencia heterolítica tiende a una mayor disimilaridad química entre las muestras con la profundidad, mientras que las areniscas muestran una relativa homogeneidad.

Intervalo 7

Su límite inferior es definido por el marcador M₂, que señala una caída en la concentración de Fe₂O₃, MnO y un aumento en el CaO, K₂O y en la relación TiO₂/Al₂O₃, el mejor exponente de esta característica es el pozo LL832 (lamina 6.3, anexo II), en donde estos cambios se observan más claramente que en los otros pozos (laminas 6.6, 6.7, y 6.8, anexo II).

El intervalo con un espesor que va de 37' a 50', básicamente está constituido por depósitos de llanuras interdistributaria (lutitas y secuencias heterolíticas) surcadas por canales distributarios de poco espesor.

El índice de homogeneidad química muestra este intervalo algo más heterogéneo que los intervalos supra e infrayacente.

Los óxidos usados en la elaboración de los perfiles geoquímicos muestran grandes variaciones entre los valores máximos y mínimos a excepción del CaO cuyas variaciones son menos marcadas.

En este intervalo empieza a ser común la presencia de areniscas de 6 a 10 cm. de espesor totalmente cementadas por calcita, estas areniscas se encuentran entre capas de lutitas, esta cementación probablemente sea debida al mismo proceso de ilitización de la esmectita que al liberar Ca²⁺ a las soluciones acuosas que transportan los iones a través del sistema rocoso, pasan a la arenisca adyacente porosa en donde la sobresaturación en Ca²⁺ de estas soluciones, permiten la precipitación de calcita en el sistema poral de la arenisca.

Los dendogramas para este intervalo (figuras 6.18b, 6.19b, 6.23, 6.24 y 6.25) muestran que el mismo se diferencia claramente de sus adyacentes. Entre ellas, las muestras, son composicionalmente similares en un mismo pozo y diferentes a la de los pozos vecinos, lo que indica un cambio químico probablemente por efecto de los procesos de sedimentación y transporte

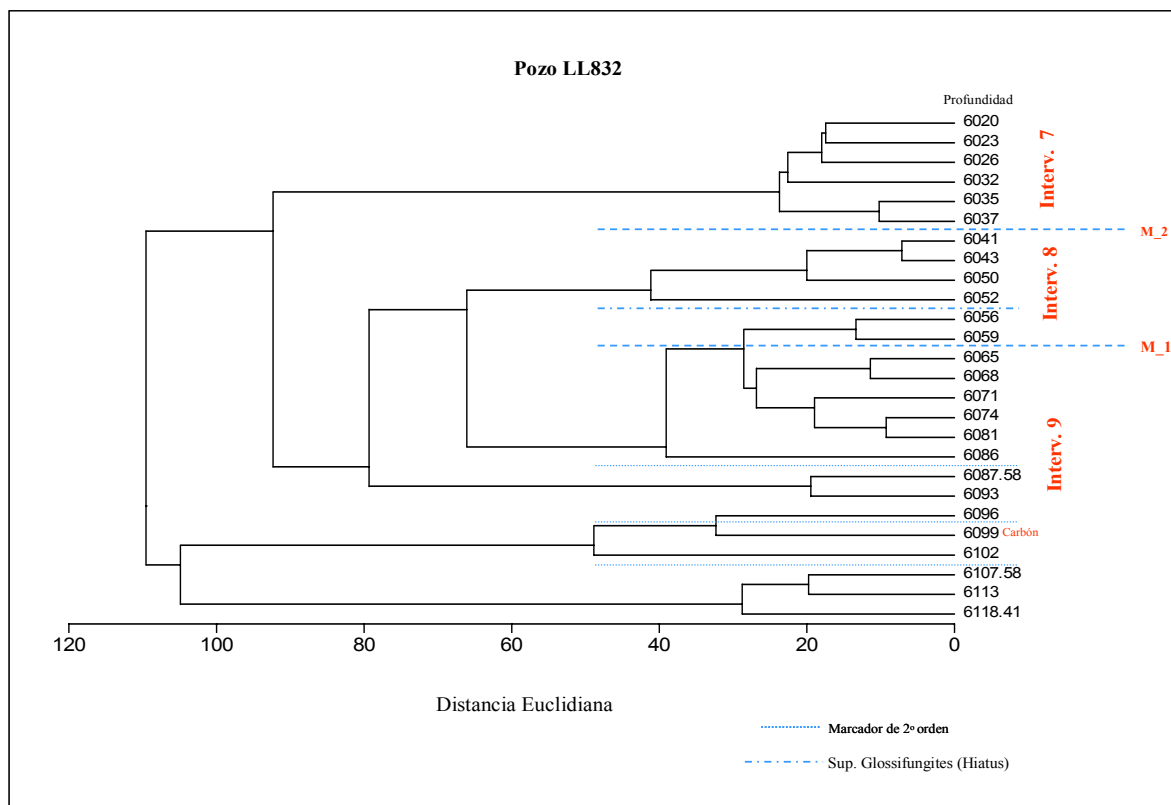


Figura 6.25. Dendrograma para el pozo LL832 elaborado con el programa MVSP

Intervalo 8

Su límite inferior es definido por el marcador M_1 (figura 5.2) y sólo fue muestreado en los pozos LL832 y LL3045. Este marca una ligera caída en la concentración de Fe_2O_3 , MnO y una disminución en el índice $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ así como un incremento relativo en la concentración del K_2O tal como se observa en la lámina 6.3 del anexo II.

En este intervalo predominan intervalos heterolíticos y lutíticos de llanuras y bahías interdistributarias y algunas areniscas delgadas de canales distributarios, presenta además gran cantidad de icnofósiles tales como *teichichnus*, *skolitos*, *planolites*, *asterosomas*, *ophiomorfa* entre otros, indicativos de condiciones marinas.

Lo más característico de este intervalo, es la presencia tanto en el pozo LL832 como el LL3045 de una discontinuidad erosiva definida por una superficie de *Glossifungites* (figura 6.26). Esta está básicamente conformada por la ichnofacies del mismo nombre, y sólo se desarrolla en sustratos firmes no litificados, tales como fangos deshidratados por efecto de

soterramiento que son posteriormente exhumados por erosión, volviéndose estos sustratos disponibles para la colonización de organismos (PEMBERTON *et al.*1997). La exhumación ocurre como resultado de la migración lateral de un canal por incisión de valles en ambientes terrestres o como migración de canales mareales o erosión costera.

La ichnofacies de *Glossifungites*, es caracterizada por pseudoperforaciones verticales cilíndricas, en forma de “U” o de gotas, excavaciones de habitación bifurcadas o mezclas de estas (PEMBERTON *et al. op cit.*).

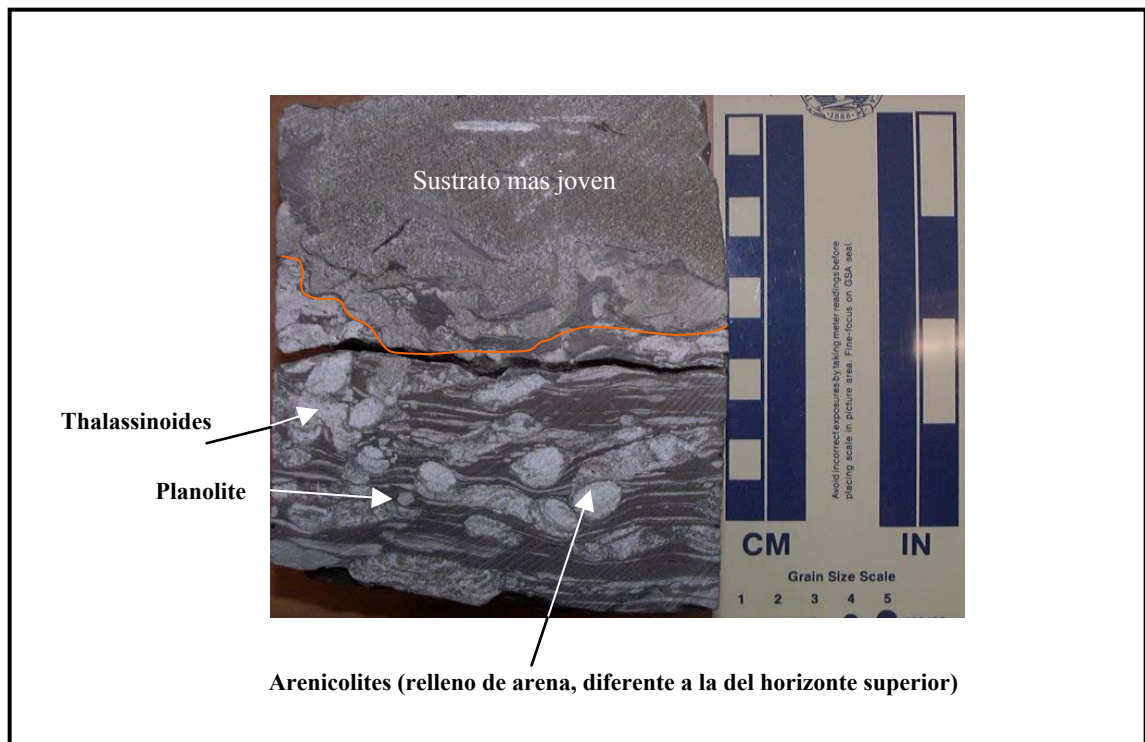


Figura 6.26. Pozo LL3045 a 6251'. Superficie erosiva definida por la ichnofacies de *Glossifungites*, marcada por horadaciones de organismos, las cuales fueron rellenas por sedimentos provenientes de un sustrato ya erosionado.

La figura 6.27 describe el proceso de formación de la superficie de *Glossifungites*; luego del estado 4 se produce un proceso erosivo que remueve el sedimento quedando como testigo de la existencia de este, el relleno pasivo de las horadaciones, tal como se observa en las figuras 6.26 y 6.27; donde posteriormente se depositan sobre estas superficies erosivas otros sedimentos que no necesariamente guardan parecido con los rellenos originalmente estas horadaciones.

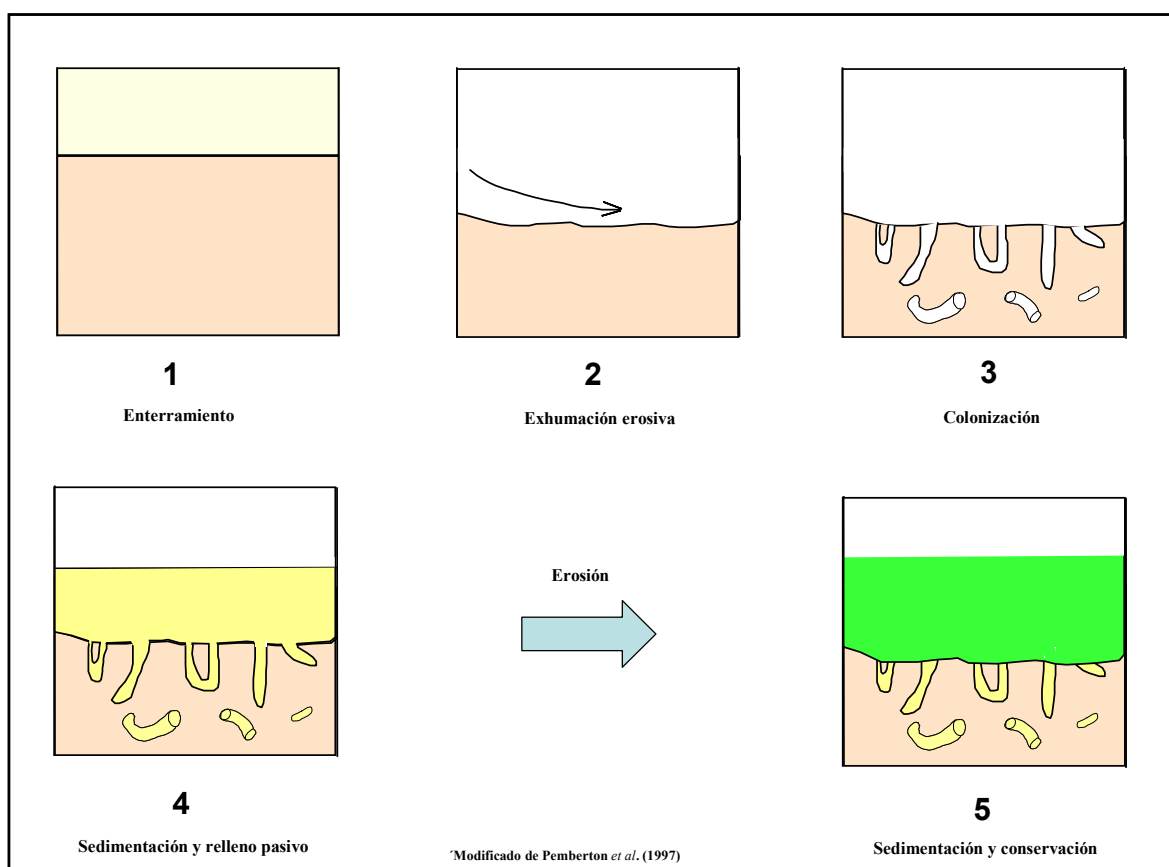


Figura 6.27. Etapas en la formación de una superficie de *Glossifungites*.

Esta superficie marca una diferenciación química entre los sedimentos por encima y debajo de esta tal como se observa en los dendogramas de las figuras 6.19b, 6.25 y en los perfiles geoquímicos (láminas 6.3 y 6.8 del anexo II).

El pozo LL967 muestra en este intervalo un marcador secundario que señala la presencia de un cambio químico en las rocas por encima y por debajo de esta tal como se observa en las adyacencias de la superficie de *Glossifungites* de los pozos LL832 y LL3045 aunque no se observan en las muestras, huellas de actividad biológica pudiera ser ésta una superficie de erosión

como la que marca la superficie de *Glossifungites* ya descritas, sólo que probablemente no se dieron las condiciones ambientales para que esta se formaran.

La extensión de esta superficie erosiva no es posible establecerla debido a que la mayoría de los pozos con núcleos no la penetran.

Intervalo 9

Es el intervalo con menos muestras disponibles y al cual no se le definió su límite inferior; es en el pozo LL832 en donde se tiene un mayor muestreo del intervalo (lámina 6.3).

Básicamente constituido por secuencias heterolíticas y lutitas limosas así como capas de areniscas de hasta 30 cm de espesor de grano fino, arcillosas en algunos casos, con clastos de arcilla. Hacia la base una arenisca con 10' de espesor, mostró hasta un 14% de CaO, esta está cementada por calcita.

Esta secuencia muestra una moderada actividad biológica expresada como *planolites*, *diplocraterion* y *skolitos*, adicionalmente se encuentra un horizonte de unos 15 cm de carbón subbituminoso por debajo del cual hay un cambio químico que se observa claramente en los perfiles geoquímicos.

Discusión

Los perfiles geoquímicos verticales permitieron identificar en los pozos con núcleos del área, variaciones químicas verticales asociadas a la diferenciación de los lóbulos deltaicos que progradaron en la zona.

Los marcadores que limitan a estos intervalos, así como estos mismos intervalos, pueden diferenciarse uno de otro a partir de la variabilidad vertical de la concentración de los componentes químicos usados en la construcción de estos perfiles, así como el uso intensivo del índice de homogeneidad química TiO_2/Al_2O_3 definido por WINTSCH & KVALE (1993), esto permitió la definición de marcadores geoquímicos de primer orden, coincidentes en la mayoría de los casos con los marcadores estratigráficos definidos por la correlación convencional, lo que corrobora la existencia de estos marcadores.

El índice de homogeneidad química por presentar menos dispersión que la concentración de los óxidos, fue el más indicado para la diferenciación de intervalos y marcadores estratigráficos, cuando es muy difícil establecer esta diferenciación con los componentes químicos.

Los diferentes intervalos en que fue dividida la sección, composicionalmente no presentan una gran diferenciación química entre ellos, solo hay ligeros incrementos o disminución en la concentración de algún óxido en particular, un intervalo puede químicamente diferenciarse de sus adyacentes por variaciones en la concentración de algún elemento pero puede parecerse químicamente a algún intervalo existente mas arriba o mas abajo en la sección, esta gran similitud composicional es corroborada al analizar los diagramas de caja de las figura 6.33 A, B y C.

La mayor diferencia composicional entre los intervalos es cuando entre ellos hay una marcada diferencia litológica, como es el caso entre intervalos predominantemente arenosos y los predominantemente arcillosos, inclusive en un mismo intervalo suele haber una diferencia química entre las areniscas y los intervalos más lutáceos, para esto los dendogramas han demostrado ser muy útiles, en estos mismos gráficos en paquetes que lucen homogéneos se pueden diferenciar variaciones químicas en estos, es por eso que el uso de los perfiles geoquímicos complementado con los dendogramas de agrupamiento vertical constituyen una poderosa herramienta para el análisis quimioestratigráfico.

6.1.3. Variabilidad composicional

De acuerdo a lo observado en los perfiles geoquímicos descritos en el aparte anterior, puede deducirse que la variación composicional vertical puede ser usada en combinación con otras herramientas para definir intervalos estratigráficos genéticamente relacionado, e identificar la presencia de superficies erosionales y / o no depositacionales

En este aparte se describirá las variaciones composicionales que ocurren en los diferentes estratos que constituyen la sección sedimentaria descrita y los cuales están asociados a un ambiente sedimentario dado. Se demostrara que son estas variaciones químicas las que permitirán diferenciar un ambiente de otro y una diferenciación entre intervalos estratigráficos lo que lleva por ultimo al uso de las funciones discriminantes.

Se estableció las relaciones existentes entre los óxidos a través de gráficos de dispersión, diagramas ternarios y los diagramas de caja; demostrando así las variaciones existentes entre los ambientes descritos y los intervalos estratigráficos.

6.1.3.1. Diagramas de dispersión

Para establecer posibles relaciones entre pares de elementos químicos expresados como sus óxidos mas comunes; se compararon estos a través de diagramas de dispersión, los cuales fueron elaborados para cada pozo y entre todos los elementos determinados en cada uno de estos.

Al establecer relaciones entre elementos se puede deducir que factores controlan su presencia. Las tablas 6.1 a la 6.8, muestran el coeficiente de correlación “r”, entre las distintas combinaciones posibles que se pueden obtener con los elementos en cada pozo.

La tabla 6.9 muestra los valores críticos para el coeficiente de correlación “r” cuando se usan poblaciones de datos muy bajas como es el caso de los análisis geoquímicos llevados a cabo en este estudio; este fue determinado siguiendo el procedimiento propuesto por SNEDECOR (1964); si el valor de “r” excede este coeficiente se tiene un 95% o un 99% de certeza (dependiendo del valor crítico considerado) de que existe una relación lineal entre las variables consideradas. En la tabla 6.10, se muestra un resumen del coeficiente “r” de las tablas 6.1 a la 6.8 indicando cuales reflejan un 95 % o un 99% de certeza de la existencia de una correlación lineal.

LL773								
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO*	K ₂ O	TiO ₂	V(ppm)	MnO	Fe ₂ O ₃ *
Al ₂ O ₃	1	-0,77	0,41	0,97	0,91	0,77	0,12	0,61
SiO ₂		1	-0,62	-0,74	-0,73	-0,58	-0,4	-0,75
CaO			1	0,42	0,39	0,29	0,44	0,64
K ₂ O				1	0,94	0,82	0,07	0,62
TiO ₂					1	0,79	0,04	0,55
V(ppm)						1	0,04	0,54
MnO							1	0,84
Fe ₂ O ₃								1

* se eliminaron valores anómalos

Tabla 6.1. Valores del coeficiente de correlación “r” obtenidos en el pozo LL773.

LL806								
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	K ₂ O	TiO ₂	V(ppm)	MnO	Fe ₂ O ₃ *
Al ₂ O ₃	1	-0,79	0,29	0,85	0,76	0,68	0,26	0,39
SiO ₂		1	-0,42	-0,82	-0,73	-0,62	-0,57	-0,64
CaO			1	0,24	0,27	0,11	0,36	0,41
K ₂ O				1	0,79	0,74	0,32	0,46
TiO ₂					1	0,75	0,27	0,39
V(ppm)						1	0,32	0,45
MnO							1	0,88
Fe ₂ O ₃								1

*se eliminaron valores anómalos

Tabla 6.2. Valores del coeficiente de correlación “r” obtenidos en el pozo LL806.

LL832								
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO*	K ₂ O	TiO ₂	V(ppm)	MnO	Fe ₂ O ₃
Al ₂ O ₃	1	-0,29	0,003	0,8	0,58	0,45	0,24	0,31
SiO ₂		1	0,02	-0,53	-0,61	-0,61	-0,41	-0,62
CaO			1	-0,1	-0,04	-0,05	0,1	0,05
K ₂ O				1	0,8	0,74	0,18	0,31
TiO ₂					1	0,82	0,17	0,35
V(ppm)						1	0,12	0,36
MnO							1	0,8
Fe ₂ O ₃								1

* se eliminaron valores anómalos

Tabla 6.3. Valores del coeficiente de correlación “r” obtenidos en el pozo LL832.

LL850								
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	K ₂ O	TiO ₂	V(ppm)	MnO	Fe ₂ O ₃ *
Al ₂ O ₃	1	-0,71	0,03	0,95	0,81	0,84	0,15	0,61
SiO ₂		1	-0,01	-0,70	-0,52	-0,52	-0,54	-0,71
CaO			1	0,03	0,01	0,06	0,04	0,007
K ₂ O				1	0,83	0,86	0,11	0,53
TiO ₂					1	0,76	0,05	0,37
V(ppm)						1	0,04	0,40
MnO							1	0,89
Fe ₂ O ₃								1

* se elimino valor anómalo de >20%

Tabla 6.4. Valores del coeficiente de correlación “r” obtenidos en el pozo LL850.

LL869								
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	K ₂ O	TiO ₂	V(ppm)	MnO	Fe ₂ O ₃
Al ₂ O ₃	1	-0,84	0,31	0,90	0,87	0,81	0,42	0,69
SiO ₂		1	-0,29	-0,88	-0,86	-0,82	-0,49	-0,76
CaO			1	0,19	0,19	0,09	0,50	0,56
K ₂ O				1	0,90	0,89	0,41	0,68
TiO ₂					1	0,87	0,35	0,60
V(ppm)						1	0,26	0,52
MnO							1	0,80
Fe ₂ O ₃								1

Tabla 6.5. Valores del coeficiente de correlación “r” obtenidos en el pozo LL869.

LL965								
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO*	K ₂ O	TiO ₂	V(ppm)	MnO	Fe ₂ O ₃
Al ₂ O ₃	1	0,64	0,03	0,86	0,66	0,60	0,12	0,40
SiO ₂		1	-0,45	-0,68	-0,38	-0,42	-0,45	-0,70
CaO			1	0,13	0,11	0,05	0,62	0,70
K ₂ O				1	0,63	0,75	0,08	0,37
TiO ₂					1	0,54	0,03	0,23
V(ppm)						1	0,01	0,24
MnO							1	0,71
Fe ₂ O ₃								1

*Se eliminaron valores anómalos Ca>1%

Tabla 6.6. Valores del coeficiente de correlación “r” obtenidos en el pozo LL965.

LL967								
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO*	K ₂ O	TiO ₂	V(ppm)	MnO	Fe ₂ O ₃ *
Al ₂ O ₃	1	-0,83	0,43	0,92	0,90	0,71	0,53	0,78
SiO ₂		1	-0,51	-0,89	-0,82	-0,60	-0,76	-0,87
CaO			1	0,49	0,41	0,12	0,57	0,64
K ₂ O				1	0,88	0,72	0,63	0,88
TiO ₂					1	0,7	0,47	0,76
V(ppm)						1	0,13	0,53
MnO							1	0,8
Fe ₂ O ₃								1

* se eliminaron valores anómalos (Ca>3% y Fe>10%)

Tabla 6.7. Valores del coeficiente de correlación “r” obtenidos en el pozo LL967.

LL3045								
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO*	K ₂ O	TiO ₂	V(ppm)	MnO	Fe ₂ O ₃ *
Al ₂ O ₃	1	0,57	0,36	0,9	0,86	0,72	0,04	0,68
SiO ₂		1	-0,47	-0,55	-0,47	-0,41	-0,5	-0,76
CaO			1	0,26	0,27	0,15	0,25	0,59
K ₂ O				1	0,83	0,72	0,05	0,61
TiO ₂					1	0,75	0,02	0,05
V(ppm)						1	0,03	0,06
MnO							1	0,94
Fe ₂ O ₃								1

*Se eliminaron valores anómalos

Tabla 6.8. Valores del coeficiente de correlación “r” obtenidos en el pozo LL3045

Pozo	Nº Muestras	Certeza de 95%	Certeza de 99%
LL773	32	0,349	0,449
LL806	40	0,325	0,418
LL832	26	0,388	0,496
LL850	43	0,304	0,393
LL869	34	0,349	0,449
LL965	47	0,288	0,372
LL967	46	0,304	0,393
LL3045	62	0,250	0,325

Tabla. 6.9. Valores críticos para el coeficiente de correlación “r”. Según SNEDECOR (1964)

	LL3045	LL773	LL806	LL832	LL850	LL869	LL965	LL967
Al ₂ O ₃ /SiO ₂	-0,57	-0,77	-0,79	-0,29	-0,71	-0,84	0,64	-0,83
Al ₂ O ₃ /CaO	0,36	0,41	0,29	0,003	0,03	0,31	0,03	0,43
Al ₂ O ₃ /K ₂ O	0,9	0,97	0,85	0,8	0,95	0,9	0,86	0,92
Al ₂ O ₃ /TiO ₂	0,86	0,91	0,76	0,58	0,81	0,87	0,66	0,9
Al ₂ O ₃ /V	0,72	0,77	0,68	0,45	0,84	0,81	0,6	0,71
Al ₂ O ₃ /MnO	0,04	0,12	0,26	0,24	0,15	0,42	0,12	0,53
Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃	0,68	0,61	0,39	0,31	0,61	0,69	0,4	0,78
SiO ₂ /CaO	-0,47	-0,62	-0,42	0,02	-0,01	-0,29	-0,45	-0,51
SiO ₂ /K ₂ O	-0,55	-0,74	-0,82	-0,53	-0,7	-0,88	-0,68	-0,89
SiO ₂ /TiO ₂	-0,47	-0,73	-0,73	-0,61	-0,52	-0,86	-0,38	-0,82
SiO ₂ /V	-0,41	-0,58	-0,62	-0,61	-0,52	-0,82	-0,42	-0,6
SiO ₂ /MnO	-0,5	-0,4	-0,57	-0,41	-0,54	-0,49	-0,45	-0,76
SiO ₂ /Fe ₂ O ₃	-0,76	-0,75	-0,64	-0,62	-0,71	-0,76	-0,7	-0,87
CaO/K ₂ O	0,26	0,42	0,24	-0,1	0,03	0,19	0,13	0,49
CaO/TiO ₂	0,27	0,39	0,27	-0,04	0,01	0,19	0,11	0,41
CaO/V	0,15	0,29	0,11	-0,05	0,06	0,09	0,05	0,12
CaO/MnO	0,25	0,44	0,36	0,1	0,04	0,5	0,62	0,57
CaO/Fe ₂ O ₃	0,59	0,64	0,41	0,05	0,007	0,56	0,7	0,64
K ₂ O/TiO ₂	0,83	0,94	0,79	0,8	0,83	0,9	0,63	0,88
K ₂ O/V	0,72	0,82	0,74	0,74	0,86	0,89	0,75	0,72
K ₂ O/MnO	0,05	0,07	0,32	0,18	0,11	0,41	0,08	0,63
K ₂ O/Fe ₂ O ₃	0,61	0,62	0,46	0,31	0,53	0,68	0,37	0,88
TiO ₂ /V	0,75	0,79	0,75	0,82	0,76	0,87	0,54	0,7
TiO ₂ /MnO	0,02	0,04	0,27	0,17	0,05	0,35	0,03	0,47
TiO ₂ /Fe ₂ O ₃	0,05	0,55	0,39	0,35	0,37	0,6	0,23	0,76
V/MnO	0,03	0,04	0,32	0,12	0,04	0,26	0,01	0,13
V/Fe ₂ O ₃	0,06	0,54	0,45	0,36	0,4	0,52	0,24	0,53
MnO/Fe ₂ O ₃	0,94	0,84	0,88	0,8	0,89	0,8	0,71	0,8

Tabla. 6.10. Tabla resumen de valores de “r” obtenidos de las tablas anteriores. En negrilla valores críticos para ≥ 99 % de certidumbre de existir una correlación lineal. En azul valores críticos entre 95 y 99 % de certidumbre.

Del análisis de las tablas anteriores, se puede observar que la concentración del silicio como SiO_2 en la mayor parte de los casos, guarda una relación lineal con los otros componentes químicos en forma de óxidos; la excepción ocurre con los pozos LL850, LL869 y LL832, en donde no hay una correlación lineal entre el SiO_2 , y CaO . En el pozo LL832 no existe correlación alguna entre este componente y el Al_2O_3 .

Las relaciones entre el silicio y los otros elementos, muestran un coeficiente de correlación “r” negativo, lo que indica una relación inversamente proporcional entre este y cada uno de los otros óxidos. Una significativa correlación entre el SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 y K_2O ; se establece en todos los pozos.

El Al_2O_3 guarda una relación lineal en todos los pozos con el K_2O , TiO_2 y V; indicativo de que estos componentes están asociados a la fracción arcillosa de las rocas presentes en la sección. Con el SiO_2 y Fe_2O_3 este componente muestra correlación lineal en todos los pozos, a excepción del LL832. Una correlación entre el Al_2O_3 y CaO o MnO pudiera no existir; tal como se muestra en la tabla 6.10.

El coeficiente “r” entre el Al_2O_3 y el K_2O varía entre 0,8 y 0,97; esta alta correlación según ALDAHAN *et al.* (2000), indica la presencia de componentes silicatados de origen detrítico tales como feldespatos y micas.

Una significativa correlación entre el Al_2O_3 y el V, es establecida en todos los pozos, con valores de “r” entre 0,45 y 0,84 lo que indica que este elemento está íntimamente asociado a aluminosilicatos de las arcillas (WRONKIEWICZ & CONDIE 1982).

El K_2O guarda una relación lineal con todos los elementos (expresado por su coeficiente de correlación “r”), menos con el CaO y Mn y en algunos pozos con el Fe_2O_3 .

Los altos valores del coeficiente de correlación entre el K_2O y el Al_2O_3 o SiO_2 (entre 0,57 y 0,97), indican un fuerte control del aporte detrítico sobre la concentración de estos; siendo algunos de estos componentes detríticos micas y feldespatos que al descomponerse liberan K^+ que puede ser incorporado posteriormente a la estructura de la ilita. Figura 6.28.

Con el TiO_2 , los coeficientes de correlación varían entre 0,63 y 0,94, indicativos de una correlación lineal. ALDAHAN *et al.* (2000) considera esta relación como indicativa de un origen detrítico para la fuente del TiO_2 . A nivel submicroscópico puede observarse también la existencia de minerales de este elemento en forma de cristales euhedricos de origen autigénico. Figura 6.29.

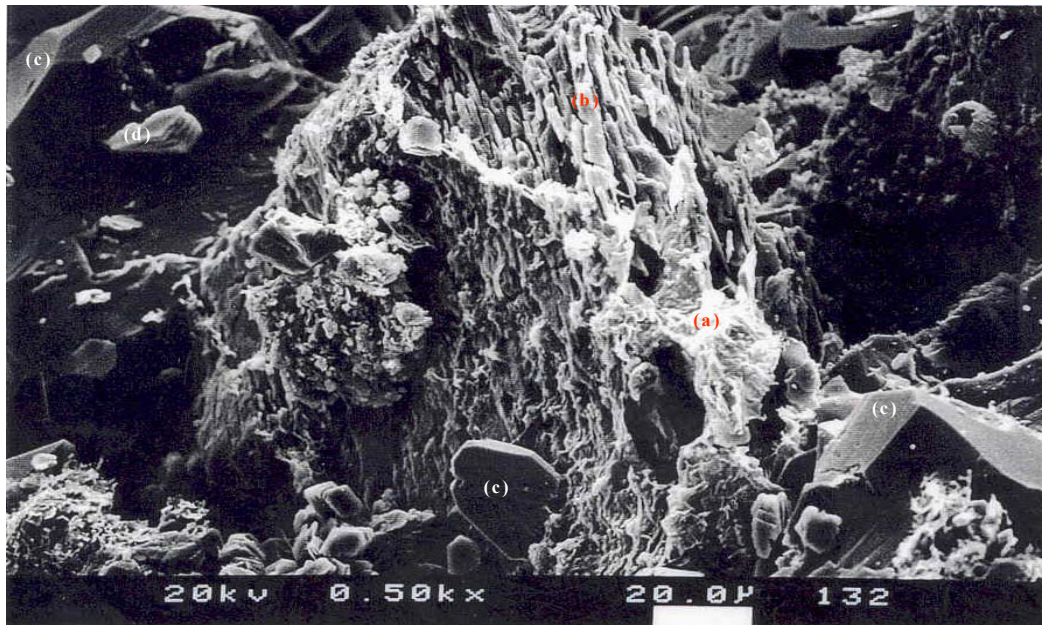


Figura 6.28. Grano de feldespato parcialmente alterado. Pozo LL869. Prof. 6150'.
(a) illita/esmectita; (b) feldespato; (c) sobrecrecimientos de cuarzo; (d) caolinita.
Lámina tomada de CORELAB (1996d)

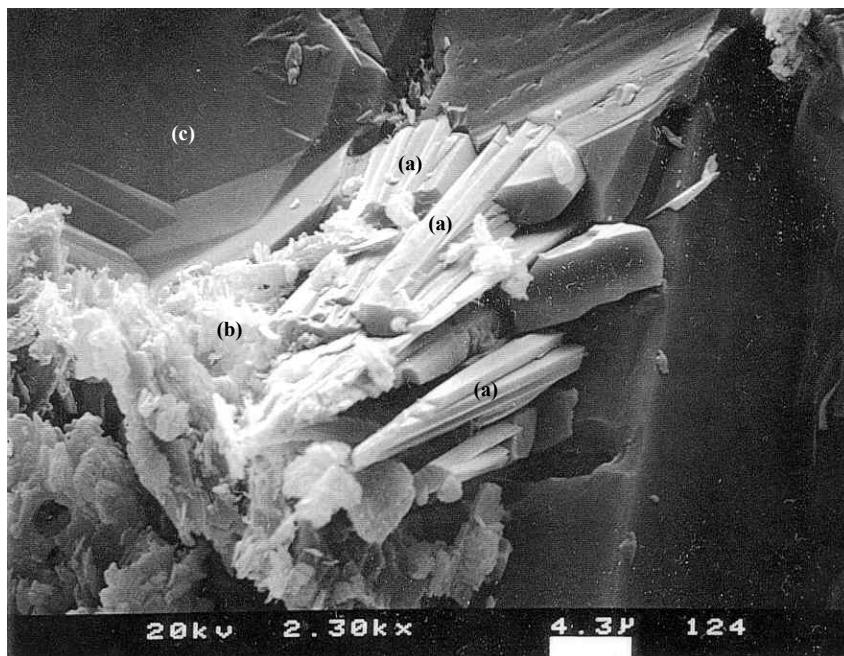


Figura 6.29. Se observan minerales ricos en titanio identificados con el EDX
(a) illita / esmectita (b) y sobrecrecimientos de cuarzo (c). Pozo LL869.
Prof. 6271' (B-7-X). Lámina tomada de CORELAB (1996d).

El V en todos los casos no guarda relación alguna ni con el MnO ni con el CaO y en algunos pozos con el Fe_2O_3 (tabla 6.10).

WRONKIEWICZ & CONDIE (1989) describen correlaciones lineales entre el V y el Al_2O_3 en el Super Grupo de Pongola de Sur África, consideran que el V esta íntimamente asociado a minerales aluminicos de arcilla. De igual modo encuentran un coeficiente de correlación de 0,84 y 0,69 entre el $\text{TiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ y $\text{TiO}_2\text{-V}$ respectivamente, lo que sugiere un enlace mineralógico que relaciona a estos elementos.

En cada uno de los pozos de este estudio, existe una relación lineal entre el contenido de Al_2O_3 y TiO_2 , siendo en todos los casos el coeficiente “r” muy alto (tablas 6.1 a 6.8 y 6.10) y entre el TiO_2 y V este coeficiente varia entre 0,54 y 0,87 (tabla 6.10). Esto indica que entre estos tres elementos puede existir una relación mineralógica como la propuesta por WRONKIEWICZ & CONDIE (1989), estos autores deducen que el V puede estar absorbido por la caolinita.

En lo que respecta al Fe_2O_3 , en todos los casos se establece una relación lineal con el contenido de MnO con coeficientes “r” entre 0,81 y 0,945 y una correlación con el contenido de SiO_2 con coeficientes entre 0,62 y 0,87 (tablas 6.1 a 6.8 y 6.10), esto sugiere en parte un origen detrítico para la fuente del Fe_2O_3 , y parte puede ser derivado de las mismas aguas intersticiales que acompañan al sedimento a su lugar de acumulación. SANDOVAL (2000) señala que el Fe_2O_3 , en aguas naturales esta presente como iones de Fe^{3+} , Fe^{2+} , y FeOH^+ , y que su solubilidad es fuertemente controlada por el pH de esta agua. Soluciones ricas en Fe_2O_3 procedentes de ambientes continentales al desembocar en aguas marinas ligeramente alcalinas, pueden precipitar gran parte del hierro en solución. La solubilidad del Fe_2O_3 es mas alta en ambientes con $\text{pH} < 7$.

También el Fe_2O_3 es un elemento principal en la composición de algunos componentes detríticos tales como las cloritas, la esmectita, minerales ferromagnesianos, fragmentos volcánicos y un componente minoritario en algunos feldespatos y otros silicatos. (PETTIJOHN *et al.* (1973). Luego que el sedimento se ha depositado, comienzan las transformaciones diagenéticas que permiten que el Fe_2O_3 contenido en algunos minerales se libere para formar nuevas especies minerales o ser incorporado a la estructura atómica de otros. Su fuerte correlación con el MnO es debida a que ambos óxidos están controlados por las condiciones de oxidación del ambiente.

En casi todos los pozos hay una correlación lineal entre el Fe_2O_3 y el CaO, esta relación probablemente esta asociada a una redistribución diagenética del hierro en forma de siderita.

Discusión

Tal como se explico en el apartado 2.5, acerca del significado geológico de los elementos químicos, sabemos en este orden que el TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 y el SiO_2 son los componentes mayoritarios menos solubles en las rocas sedimentarias por lo que su contenido en estas, está asociado a la composición de los minerales que la constituyen. Debido a esta característica el Al_2O_3 y el TiO_2 tendrán una baja redistribución por efectos diagenéticos, por lo que su concentración va a depender de la proporción de estos en los componentes mineralógicos de la fracción clástica de los sedimentos.

Tal como se ha observado en las tablas anteriores, tanto como el Al_2O_3 y el TiO_2 muestran una aceptable correlación lineal en todos los pozos con el SiO_2 , K_2O , V y entre ellos; con el Fe_2O_3 solo muestra correlación el Al_2O_3 en todos los casos; más no así con el TiO_2 , ambos componentes no presentan correlación con el MnO y el CaO . Estas altas correlaciones del Al_2O_3 con los demás componentes son indicativos de que estos están (con excepción del SiO_2 mayormente abundante en las areniscas) asociados a la fracción arcillosa de las rocas.

El CaO a pesar de su baja correlación con el Al_2O_3 esta asociado al influjo detrítico, transportado principalmente como un componente en las plagioclasas y en algunos minerales de arcillas. Este en algunas areniscas aparece como cemento calcáreo, donde el calcio puede venir de la ilitización de la esmectita, y del mismo proceso de alteración de los feldespatos, en donde entre otros elementos se liberan K^+ y Ca^{2+} . En el proceso de ilitización de la esmectita, se libera también Ca^{2+} , y Fe^{3+} entre otros elementos (BOLES & FRANKS 1979), que pueden ser incorporados a la roca como siderita o calcita. Esto pudiera explicar la correlación entre el CaO y Fe_2O_3 en casi todos los pozos. (Tablas 6.1, 6.2, 6.4 a la 6.8 y 6.10).

El MnO según RANKANA & SAHAMA (1952) indica condiciones con alto potencial de oxidación, iguales condiciones prevalecen para la presencia del Fe_2O_3 , ambos componentes muestran una correlación lineal expresado por sus altos valores en el coeficiente de correlación “r” (tabla 6.10).

Las mayores concentraciones de V se encuentran en los intervalos mas arcillosos y en las muestras de carbón; en las areniscas, el contenido de este elemento es muy bajo (anexo I), se esperaba que la concentración del V en las areniscas fuera mayor (40 ppm como promedio y un máximo de 51) al encontrado en las secuencias arcillosas (70 promedio y máximo de 114) en razón de que muchas de estas están saturadas con petróleo, sin embargo su contenido de V es muy bajo tal como se refleja en su promedio; posiblemente esto es debido a que el petróleo que satura a estas arenas es pobre en este elemento.

El enriquecimiento de este elemento en los sedimentos se produce durante el transporte, normalmente estos sedimentos presentan una baja cantidad de V, en presencia de HS^- el V se concentra, este enriquecimiento es íntimamente asociado a la presencia de materia orgánica.

BELLANCA *et al.* (1999) señalan que en ambientes marinos grandes cantidades de este elemento puede concentrarse en la materia orgánica derivada de algas, ya que ésta es preservada únicamente si se mueve a través de condiciones anaeróbicas en la columna de agua, o es expuesta por cortos períodos de tiempo a condiciones aeróbicas. El enriquecimiento de V en los sedimentos es considerado indicativo de sedimentación en ambientes anóxicos a euxínicos.

Las muestras que presentaron mayores concentraciones de V, fueron las de carbón tomadas en los pozos LL832 y LL773, valores altos en este elemento se registraron también en lutitas oscuras que presentaban en sus planos de laminación gran cantidad de material orgánico derivado de plantas terrestres, la conservación de esta materia orgánica tanto para la formación del carbón como la preservada en las lutitas implicaban condiciones anaeróbicas locales.

El coeficiente de correlación entre el K_2O y el Al_2O_3 es alto en todos los pozos lo que implica una estrecha relación entre el K_2O y la fracción arcillosa ya sea como matriz en las areniscas o como lutitas. Según MACQUAKER *et al.* (1997), una fuerte correlación lineal entre el K_2O y el Fe_2O_3 , indica de que el Fe_2O_3 esta asociado a la esmectita, en la tabla 6.10 puede observarse esta correlación en los distintos pozos analizados, observándose que no existe correlación lineal entre el K_2O y el Fe_2O_3 en el pozo LL832, en el resto de los pozos se puede decir que esta es de moderada a alta de acuerdo al coeficiente de correlación “r”. En la tabla 5.1 se muestra la composición mineralógica de varias muestras arcillosas tomadas en los pozos y profundidades indicadas en la tabla, puede observarse que en ninguna de ellas se determino la presencia de esmectita, pero si en la mayoría de las muestras se identifico la presencia de arcillas de capas

mixtas con illita/esmectita, esto pudiera explicar la correlación lineal moderada entre el K_2O y el Fe_2O_3 .

Tal como lo sigue WINTSCH & KVALE (1994), el K_2O es el único componente químico consistentemente agregado a las arcillas con un incremento de la profundidad; es durante la ilitización de la esmectita que se produce este fenómeno, para esto se requiere que el K^+ sea introducido a través de los fluidos intersticiales en la estructura de la esmectita. Tanto como el K_2O como el Al_2O_3 necesarios para esta transformación los aporta la descomposición de los feldespatos y micas. El coeficiente de correlación entre el K_2O y Al_2O_3 tiende a incrementarse en aquellos pozos en donde las profundidades de las muestras son mayores, tal como se resume en la tabla 6.11. Únicamente en aquellos pozos mas cercanos a discordancia del Eoceno como lo son el LL832, LL806, LL3045 y LL965, esta relación con la profundidad es ligeramente alterada, esto se debe al hecho que a través de esta superficie de erosión se introducen por efecto de aguas meteóricas H^+ que dan origen a la formación preferencial de caolinita en vez de illita.

Pozo	Profundidad 1 ^{ra} muestra	Coeficiente “r” entre K_2O y Al_2O_3
LL806	5554'	0,85
LL3045	5976'	0,90
LL832	6020'	0,80
LL869	6131'	0,90
LL965	6184'	0,86
LL967	6298'	0,92
LL850	6299'	0,95
LL773	6452'	0,97

Tabla 6.11. Relación entre “r” y profundidad para la correlación K_2O y Al_2O_3

6.1.3.2. Diagramas de caja

Ambientes sedimentarios

Esta es una herramienta de análisis de datos univariable, en el apartado 3.1.1 se explica cuales son sus elementos y su significado.

Esta técnica fue usada en el análisis de la información química y radiométrica de este trabajo como una herramienta de evaluación previa de los datos antes de ir al uso de las funciones discriminantes; la misma fue aplicada en el análisis de todas las variables químicas y radiométricas determinadas y las relaciones $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (índice de madurez textural) y $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (índice de homogeneidad química) mostradas en la tablas del anexo I, usando como elemento diferenciador el ambiente sedimentario y las unidades estratigráficas identificadas anteriormente.

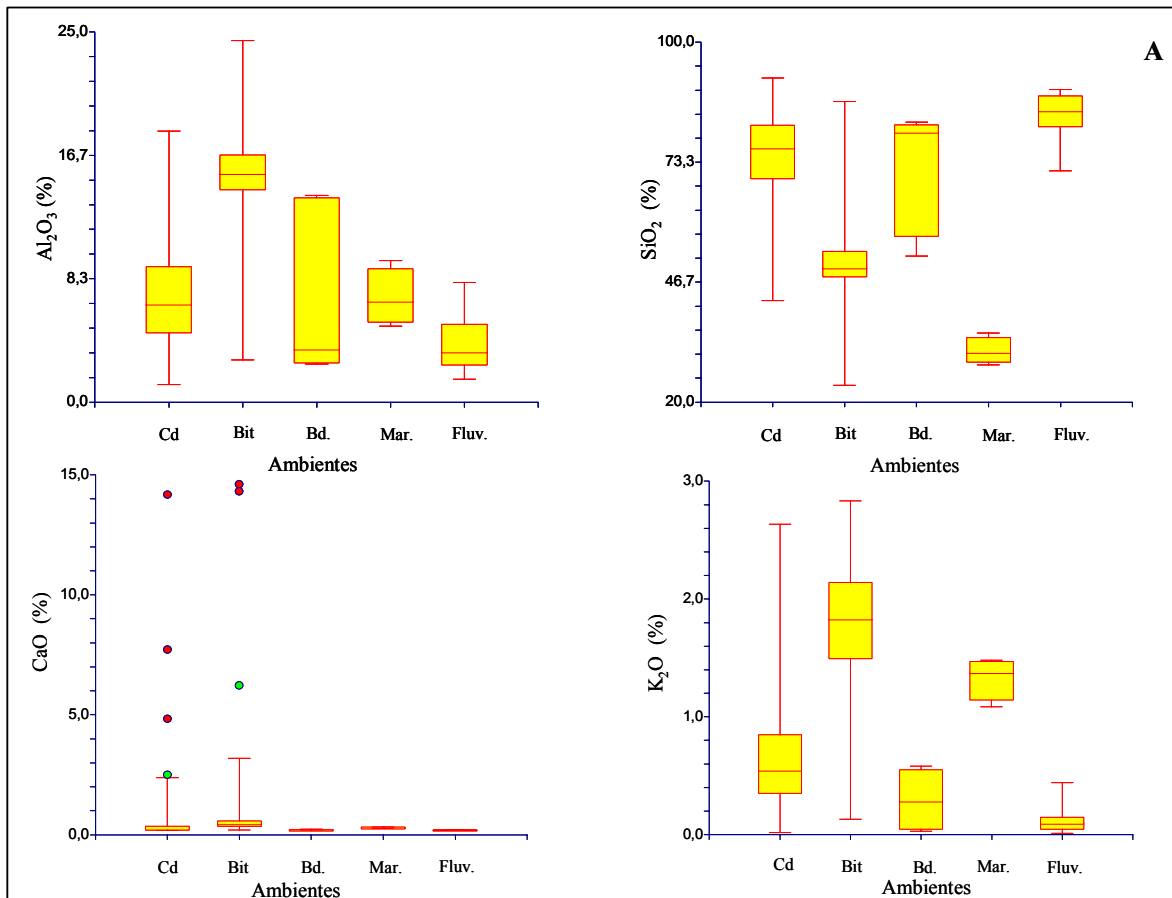
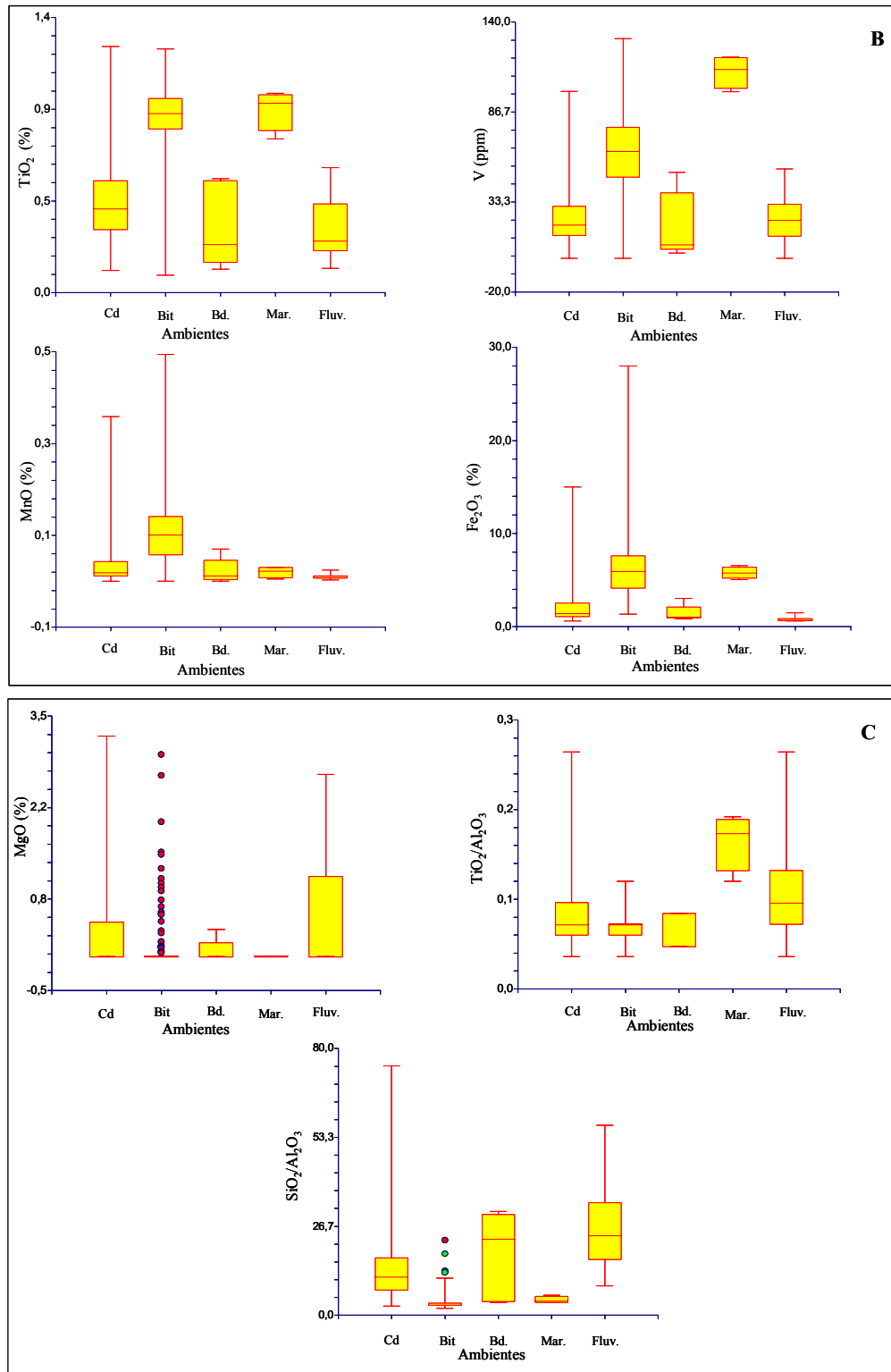


Figura 6.30A. Diagramas de caja como elemento diferenciador de ambientes



Figuras 6.30 B y C. Diagramas de caja como elemento diferenciador de ambientes

En la figuras 6.30 A, B y C, puede verse la variabilidad composicional con respecto a todos los elementos químicos y las relaciones $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, para los cinco ambientes identificados en el área.

Para el **ambiente fluvial**, representado por las arenas del Miembro B-6-X, el contenido de SiO_2 es el mas alto de todos los ambientes identificados en el área mientras que el contenido de Al_2O_3 es el mas bajo y que va en concordancia con su muy bajo contenido de K_2O (figura 6.30 A). El contenido de Fe_2O_3 , MnO y CaO es insignificante con respecto a los otros ambientes (figuras 6.30 A y B); el índice de madurez textural ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) muestra valores en la mediana de los datos (línea horizontal dentro de la caja) muy similares al de las barras de desembocadura (Bd) pero con menos dispersión de los datos, en ambos ambientes por su naturaleza se esperan sedimentos depositados en un medio de alta energía corroborado esto por el bajo contenido de Al_2O_3 en ambos ambientes, solo que en las barras hay mayor dispersión debido a la heterogeneidad de estos depósitos (figura 6.30 C).

El **ambiente de marisma**, representado en las capas de carbón descritas en los pozos LL773 y LL832, muestra las mas bajas concentraciones de SiO_2 de todos los ambientes descritos; un contenido mayor de Al_2O_3 que en los ambientes fluviales y de un mayor contenido de K_2O que en los canales distributarios (Cd), ambientes fluviales (Fluv) y barras de desembocadura (Bd) (figura 6.30 A). En cuanto al V es que registra las mas altas concentraciones, y esto se debe a la afinidad del V con la materia orgánica tal como se explica en la sección 2.5 (figura 6.30 B).

En cuanto al índice de homogeneidad química ($\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) se observa en la figura 6.30 C, que este muestra los mas altos valores respecto a los otros ambientes, en este caso indica un mayor contenido de TiO_2 contenido este comparable al de las bahías interdistributarias. Solo que en esta última duplica el contenido de Al_2O_3 respecto a los depósitos de marismas. La longitud de la caja indica que estos depósitos pueden considerarse medianamente heterogéneos desde el punto de vista químico. La materia orgánica que originalmente formó este carbón necesitaba condiciones de baja energía y un soterramiento relativamente rápido para la preservación de esta materia orgánica. Las condiciones de baja energía se reflejan en el índice de madurez textural que refleja el bajo contenido de SiO_2 en estos depósitos; el contenido de Fe_2O_3 , mas alto que en los ambientes fluviales, barras de desembocadura y canales distributarios, indica posible periodos de exposición subaérea durante el proceso de formación del carbón. (figuras 6.30 B y C).

Los depósitos de **barra de desembocadura (Bd)**, muestran valores relativamente bajos en el contenido de K_2O , TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO , y V ; y casi nulos en CaO (figuras 6.30 A y B). El índice de madurez textural muestra una dispersión significativa de los datos, indicativo que dentro de este ambiente, las muestras presentan grados variables de madurez, que de acuerdo a su mediana, estos sedimentos son altamente arcillosos. El contenido de Al_2O_3 es bajo en relación a los otros ambientes y alto en SiO_2 , pero en ambos hay una fuerte dispersión de los datos de concentración, indicativo del grado de heterogeneidad de estos depósitos, esto se corrobora con el índice de homogeneidad química (TiO_2/Al_2O_3), donde se observa que estos depósitos muestran mayor dispersión en los datos reflejado en la longitud de la caja (figuras 6.30 A y C)

Los sedimentos de **bahías interdistributarias**, son los más heterogéneos desde el punto de vista litológico de todos los descritos y esta heterogeneidad es reflejada en la concentración de sus componentes químicos representados en los diagramas de caja, los cuales presentan los valores adyacentes (capítulo 3, aparte 3.1.1) más altos y una mayor presencia de valores anómalos suaves y severos en la concentración de MgO y CaO (figuras 6.30 A y C). El índice de madurez textural refleja la naturaleza de los sedimentos de este ambiente; básicamente lutitas y secuencias heterolíticas, el valor muy bajo de este índice, es indicativo de altas concentraciones de Al_2O_3 básicamente asociado a la presencia de arcillas, lo que caracteriza un ambiente donde los niveles de energía durante la sedimentación era muy bajo.

A pesar de su heterogeneidad litológica reflejada por la presencia de secuencias heterolíticas, lutitas grises y negras, horizontes milimétricos de areniscas cementados por calcita, y limolitas; químicamente son los depósitos más homogéneos reflejados por el tamaño de la caja (figura 6.30 C).

La presencia de valores anómalos suaves y severos en los valores de CaO , son debidos a la presencia de capas milimétricas de areniscas cementadas por calcita (figura 6.31).



Figura 6.31. Arenisca calcárea asociada a ambientes de bahías interdistributarias, con clastos y hojuelas de arcilla. Pozo LL3045 (6209').

Los depósitos de **canales distributarios**, son básicamente constituidos por areniscas de grano fino a medio con una tendencia de afinamiento hacia arriba, con clastos dispersos de lutitas sideritizadas, con láminas de lutitas intercaladas (CORELAB 1996), en esta clasificación, se incluyen aquellas facies que fueron descritas por CORELAB (1996b, 1996h) como rellenos de canal distributarios abandonados, los cuáles presentan intervalos lutíticos y heterolíticos asociados a areniscas de grano fino. Esto es más bien la excepción que la regla.

En este ambiente el comportamiento para el contenido de K_2O y TiO_2 es similar: baja dispersión y la presencia de valores anómalos adyacentes bien definidos. Su contenido de Fe_2O_3 es muy bajo reflejado en la mediana de los datos (figuras 6.30 A y B) y con la presencia de valores adyacentes altos; la mayoría asociados a la fracción más arcillosa de éstos canales, mientras que el valor más alto de concentración de éste componente químico (14,9 %), se encuentra en una arenisca afectada posiblemente por exposición subaérea. La muestra que presenta éste valor anómalo es una arenisca con un lente arcilloso de color rojizo debido a la

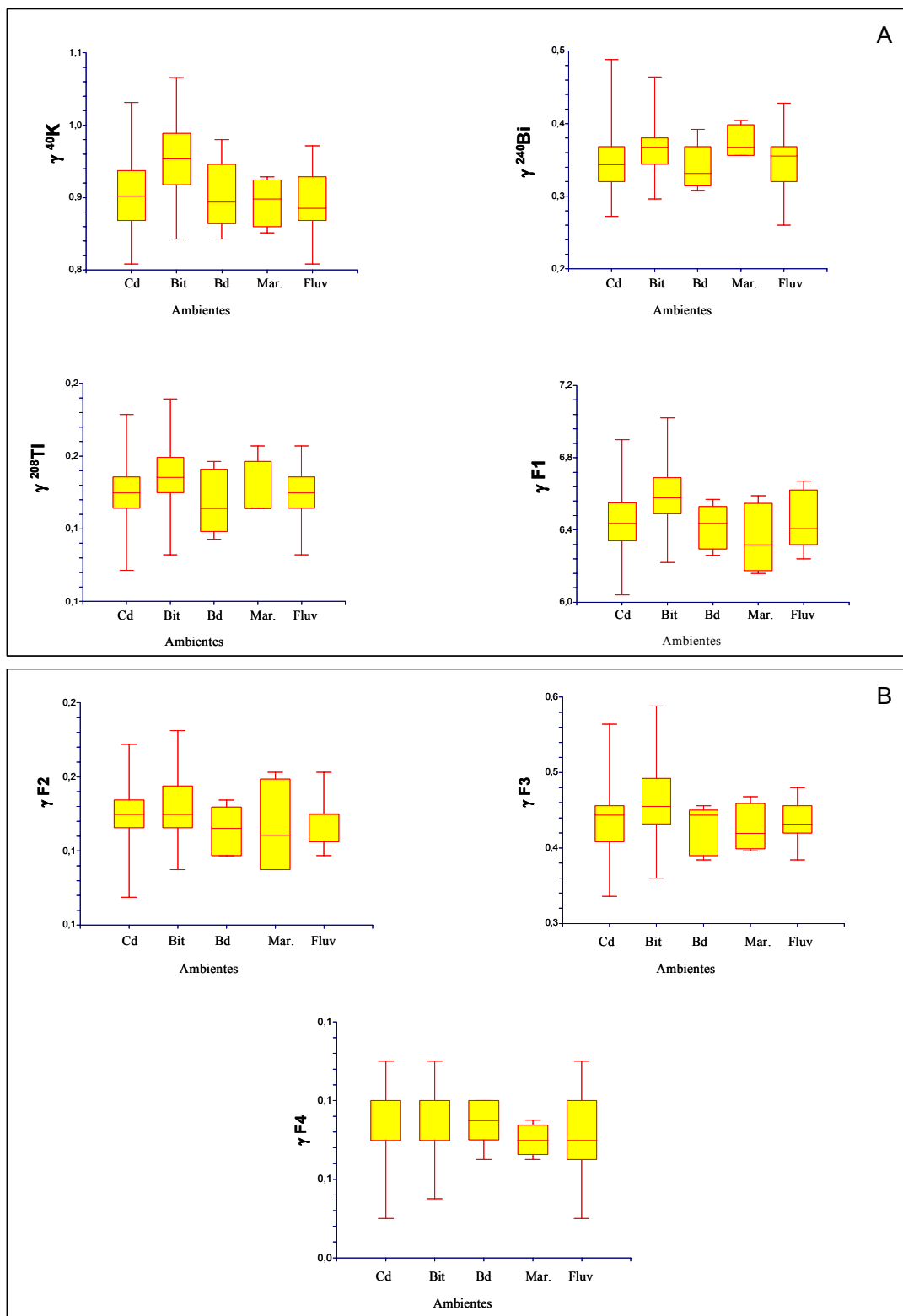
concentración de óxidos de hierro. Los valores en contenido de Fe son muy parecidos al de las barras de desembocadura, solo que en éstas últimas ésta concentración se mantiene en un rango definido.

El índice de madurez textural muestra valores relativamente bajos (mediana alrededor de 10) esto muestra un ambiente con una energía más baja que la que presenta el ambiente fluvial (cerca de 20), (figura 6.30 C). Esto tiene sentido debido a que éstos canales distributarios están desarrollados en un plano deltaico bajo, influenciado más por mareas que por ríos y la energía de este ambiente es más baja a la que se puede esperar en un sistema fluvial como el que depositó el intervalo B-6-X, pero aún más alta a la que depositó los sedimentos de las bahías interdistributarias.

El índice de homogeneidad química muestra que estos depósitos han mantenido más o menos su misma composición química desde que los sedimentos fueron depositados, el rango de valores adyacentes altos que muestra este índice, sugiere que los intervalos lutíticos y heterolíticos asociados a la fase de abandono de estos canales, son los que pudieran presentar estos valores anómalos (figura 6.30 C).

El comportamiento de estos ambientes desde el punto de vista radiométrico, es muy similar tanto en el RIQ, como en sus medianas; solo en los depósitos de bahías interdistributarias, caracterizados por un predominio de sedimentos lutáceos, es en donde se nota un incremento en los valores de γ emitidas por el $\gamma^{40}\text{K}$, $\gamma^{208}\text{Tl}$ y la ventana γF1 del espectro gamma de la figura 1.3 (figura 6.32 A y B).

En los depósitos de marismas, los valores de γ se incrementan en la ventana del espectro gamma correspondiente al $\gamma^{240}\text{Bi}$ con respecto a las otras ventanas, en la ventana γF1 se registran los mas bajos valores en las γ , en el resto de los ambientes el comportamiento radiométrico es muy similar en todas las ventanas del espectro gamma (figura 6.32 A y B).



Figuras 6.32 A y B. Diagramas de caja de las variables radiométricas en la diferenciación de ambientes sedimentarios.

Intervalos estratigráficos

Las figuras 6.33 A, B y C, muestran el uso de estos diagramas en la diferenciación química de los intervalos estratigráficos en que se divide la secuencia sedimentaria que va desde la parte basal de B-6-X, incluyendo los Miembros B-7-X y B-8-X de la Formación Misoa.

La nomenclatura utilizada en la descripción de los intervalos estratigráficos, es la misma mostrada en la figura 5.2 y es la que se ha venido utilizando en este trabajo.

En general todos los intervalos muestran una alta dispersión en los valores de concentración del K_2O y TiO_2 , expresado por la longitud de la caja o RIQ (figura 3.1), con excepción del intervalo 1, que presenta los valores más bajos en la concentración de estos componentes químicos y con una menor dispersión.

En base a la posición de la mediana de los datos (línea horizontal interior de las cajas), se separan 4 grupos de unidades composicionalmente diferentes (figuras 6.33 A, B y C):

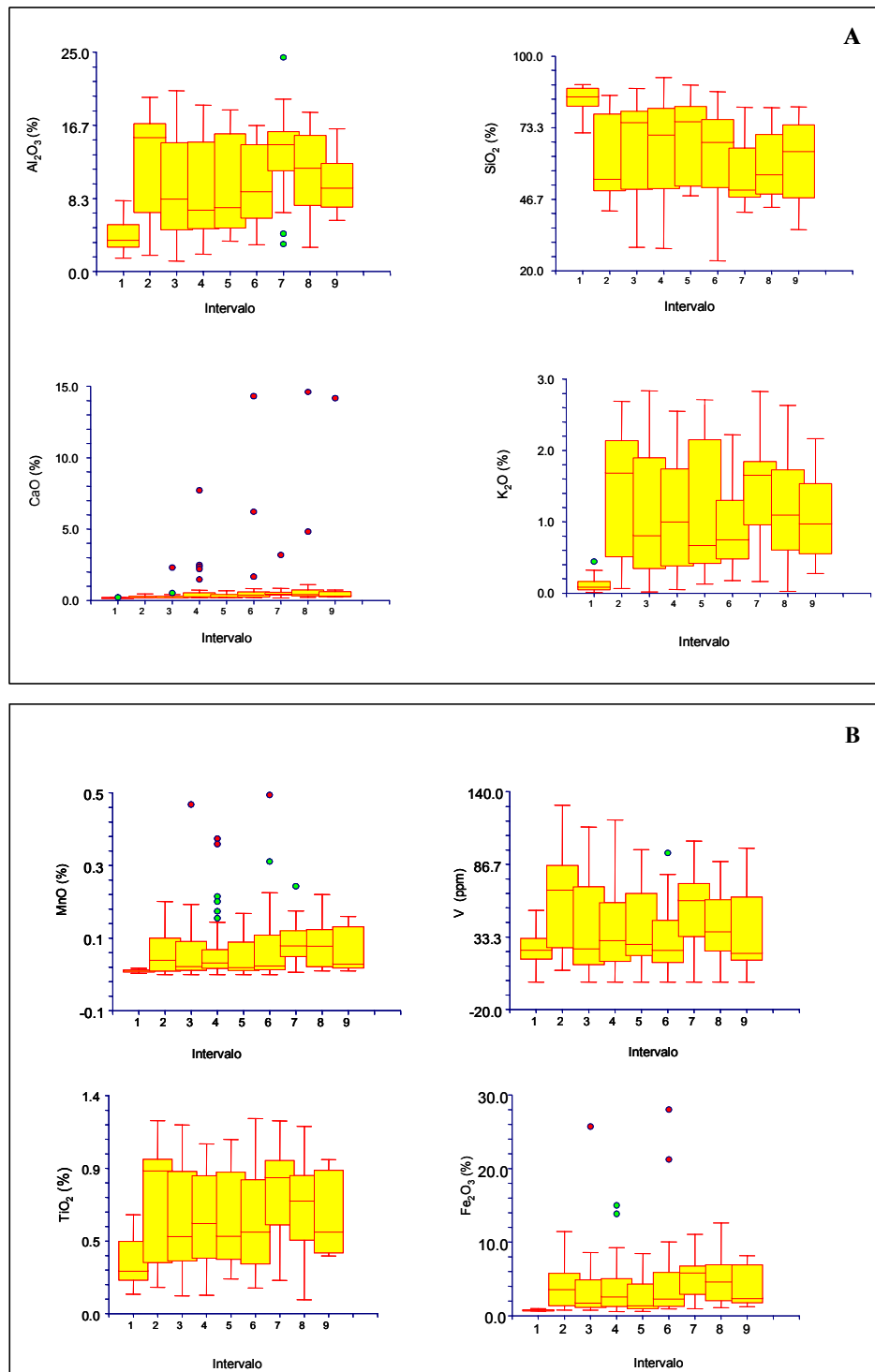
- El grupo 1 constituido por el intervalo 1.
- El grupo 2 constituido por el intervalo 2.
- El grupo 3 constituido por los intervalos 3, 4, 5 y 6.

Un último grupo constituido por los intervalos 7, 8 y 9, estos básicamente con un predominio de litologías lutáceas sobre las arenosas.

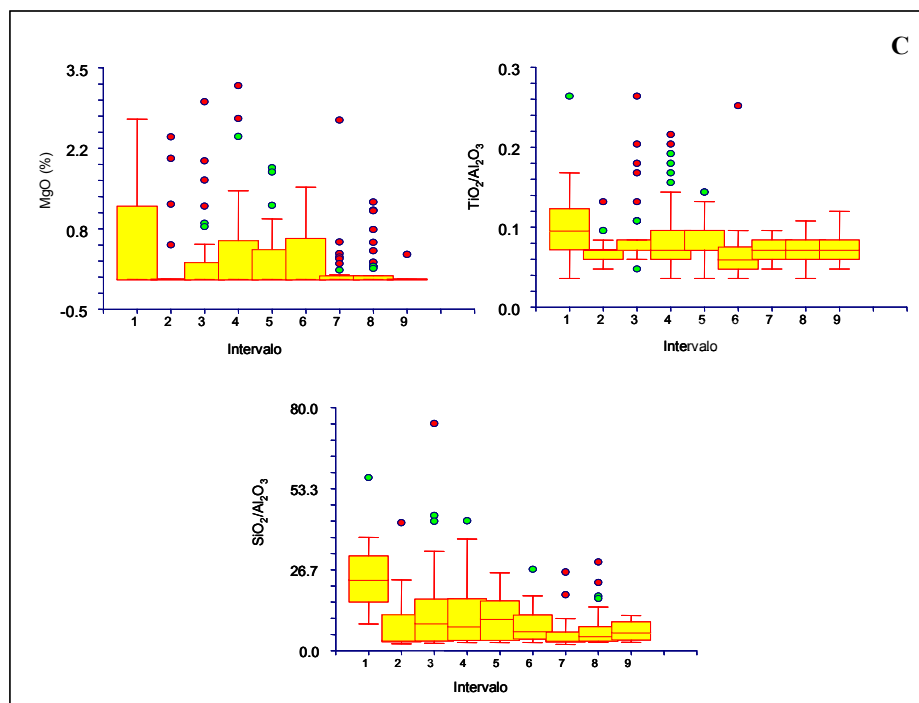
El índice de madurez textural (SiO_2/Al_2O_3) muestra los mayores valores para el intervalo 1, indicativo de niveles de energía mayores que hacen que el contenido de arcillas sea menor, incrementando así el valor de este índice, esto es corroborado por el ambiente dominante en estos depósitos el cual es fluvial. Los valores mas bajos que se registran en este índice, corresponden a los intervalos inferiores de la sección como lo son el 7, 8 y 9; indicativo de la presencia de una mayor cantidad de arcillas las cuales están asociadas a ambientes de menor energía y en donde se intercalan esporádicos horizontes arenosos con muy bajo contenido en Al_2O_3 , estos horizontes posiblemente están influenciado por tormentas, dando origen a valores anómalos suaves y severos en estos diagramas. Los intervalos 2, 3, 4, 5 y 6 muestran valores intermedios para este índice, lo que muestra un grado variable en la relación arenisca/lutitas. Estos están constituidos por areniscas de canales distributarios y sedimentos de bahías interdistributarias (figura 6.33 C).

En cuanto al índice de homogeneidad química, se observa que el intervalo 1, muestra mayor dispersión en los valores de este índice expresado por la longitud de la caja o RIQ (figura 6.33

C), los intervalos 3 y 4 aunque presentan un RIQ menor que el del intervalo 1, son los que muestran mayor cantidad de valores anómalos suaves y severos (figuras 3.1 y 6.33 C).



Figuras 6.33 A y B. Diagramas de caja de las variables químicas en la diferenciación de intervalos estratigráficos.



Figuras 6.33 C. Diagramas de caja de las variables químicas en la diferenciación de intervalos estratigráficos.

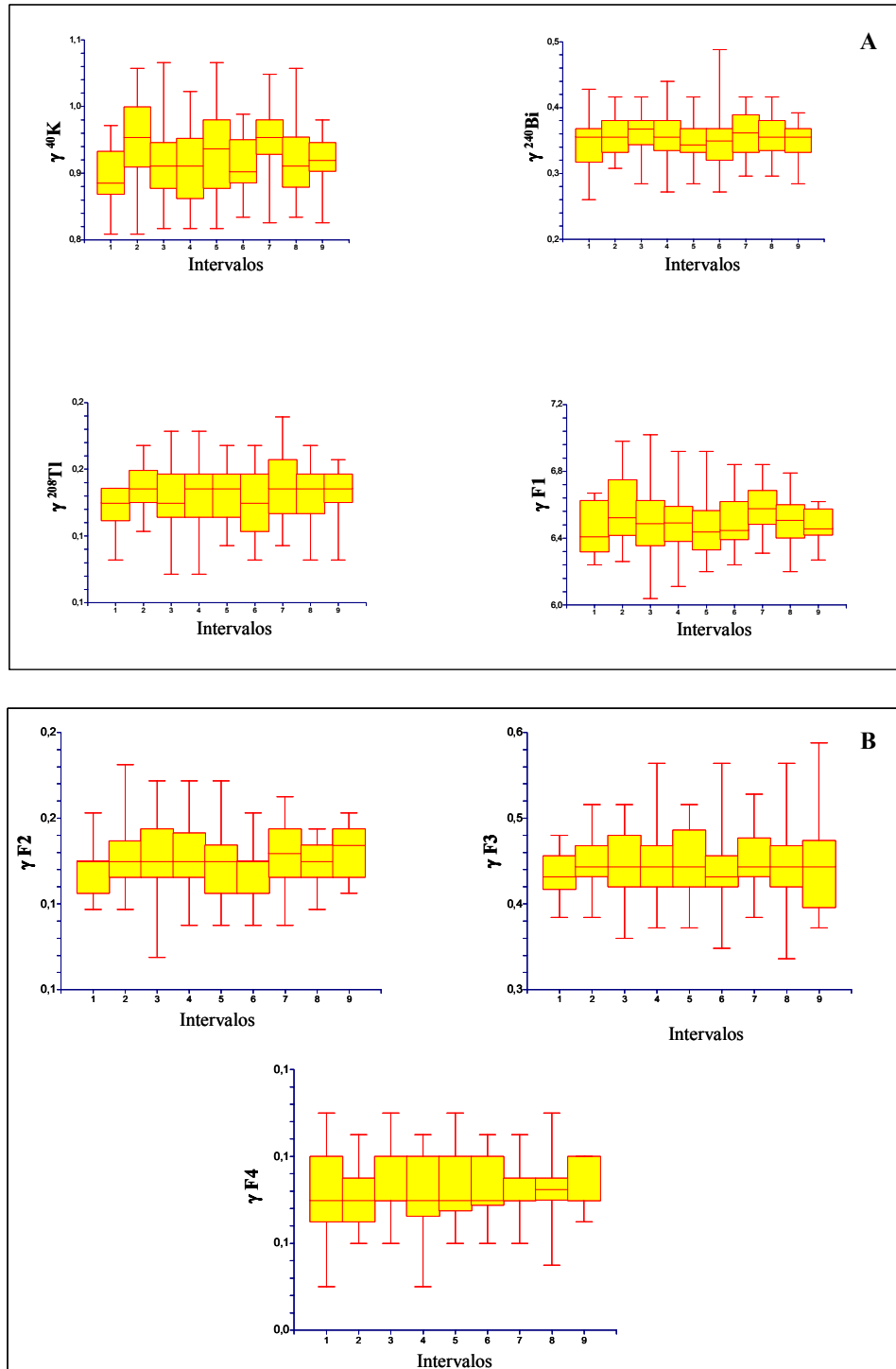
En los intervalos 7, 8, y 9 el índice de homogeneidad química se mantiene casi constante tanto en su mediana como en el RIQ; lo que indica que durante su depositación, prevalecieron condiciones químicas constantes que se han mantenido durante las transformaciones mineralógicas que se han llevado a cabo en la roca por procesos diagenéticos.

Radiométricamente, las agrupaciones de intervalos descritas desde el punto de vista químico, también se reflejan en la intensidad de las radiaciones gamma por efecto del $\gamma^{40}K$, $\gamma^{208}Tl$, $\gamma F1$ y $\gamma F2$; en el resto de las ventanas del espectro gamma, las variaciones radiométricas entre los intervalos son muy pequeñas, así como la intensidad de estas radiaciones (figuras 6.34 A y B).

El intervalo 1 es el que presenta los valores más bajos en la intensidad de las radiaciones en las ventanas del espectro correspondiente al $\gamma^{40}K$ y $\gamma F1$; este intervalo está constituido por sedimentos de origen fluvial; predominantemente arenosos.

El resto de los intervalos presentan valores en la intensidad de radiación en las ventanas del espectro, más altos que los del intervalo 1 pero en rangos muy similares, y tendiendo a

incrementarse en aquellos intervalos con un mayor predominio de litologías lutáceas (figuras 6.34 A y B).



Figuras 6.34 A y B. Diagramas de caja de las variables radiométricas en la diferenciación de intervalos estratigráficos.

Discusión

Los diagramas de caja muestran que existen diferencias químicas y radiométricas en los depósitos que caracterizan los distintos ambientes descritos en la sección estratigráfica estudiada tal como se observa en las figuras 6.30, 6.32, 6.33 y 6.34. Aquellos ambientes en donde predominan intercalaciones lutíticas, como lo son las **bahías interdistributarias** (Bit), muestran los menores valores de dispersión tal como se observa en la longitud de la caja o RIQ (figuras 6.30 A, B y C), para las concentraciones de Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , MnO y en el índice de homogeneidad química ($\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$); el cual señala que estos depósitos químicamente son homogéneos. PEARCE *et al.* (1999) señala que en estudios quimioestratigráficos, es muy práctico utilizar litologías lutáceas para el análisis químico en vez de muestras conglomeráticas y areniscas de grano grueso en razón de que estas desde el punto de vista granulométrico son mas homogéneas, confiriéndole a las muestras distribución elemental mas homogénea; tales distribuciones permanecen constantes en un área muy amplia.

El contenido de Al_2O_3 en las **bahías interdistributarias**, es el mas alto en todos los ambientes descritos, y es reflejo del carácter arcilloso de estos depósitos. Es en el ambiente **fluvial**, en donde se describen los valores mas bajos en el contenido de arcillas y expresado en la concentración del Al_2O_3 y el K_2O (figura 6.30 A), íntimamente asociado a la fracción arcillosa de las rocas, ambos componentes químicos muestran una muy baja dispersión en sus valores de concentración; los **canales distributarios** predominantemente arenosos muestran un contenido moderado en Al_2O_3 indicativo que en estos depósitos, se asocian intervalos lutáceos además que en las areniscas el contenido de arcillas es relevante. El porcentaje de arcillas y por tanto de Al_2O_3 y K_2O es reflejo de la energía que prevaleció en el ambiente de depositación; el ambiente de mas baja energía es el de la **bahías interdistributarias** (Bit), y esto se refleja en el índice de madurez textural ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$), los valores anómalos observados para estos depósitos (figura 6.30 C) son asociados a intervalos milimétricos de areniscas muy limpias posiblemente retrabajadas durante periodos de tormenta.

Los depósitos de **marisma** (Mar), son los que contienen los valores más bajos en la concentración de SiO_2 y contenido moderado en Al_2O_3 . Estos depósitos básicamente son producto de la acumulación de material orgánico derivado de restos de plantas en una llanura deltaica, en donde se dieron las condiciones para la preservación de esta materia orgánica, los niveles de energía que prevalecieron en este ambiente eran muy bajos y esto se refleja en el

índice de madurez textural de la figura 6.30 C. El contenido de V en estos depósitos de **marisma**, es debido a la acumulación de restos de plantas y su concentración demuestra que la energía prevaleciente en este ambiente era tan baja que los niveles de O₂ fue decayendo hasta originarse condiciones anóxicas que permiten la concentración del V extraído de las plantas por procesos de descomposición. El enriquecimiento de V se produce en condiciones reductoras en presencia de HS⁻ (RANKAMA & SAHANA 1952).

Desde el punto de vista radiométrico, los valores en las CPS en todas las ventanas del espectro gamma es muy variable en todos los ambientes, tendiendo a ser mayores en las **bahías interdistributarias** (figuras 6.32 A, B y C); en los ambientes mas arenosos como lo son los **canales distributarios**, y los depósitos fluviales; pueden observarse en los valores adyacentes que estos tienen un amplio rango de variabilidad principalmente en las ventanas del $\gamma^{40}\text{K}$, $\gamma^{204}\text{Tl}$ y γF1 , esto sugiere que estos depósitos predominantemente arenosos presentan un alto contenido de arcillas que se corrobora con el índice de madurez textural (figura 6.30 C) donde muestran una amplia variabilidad de este índice en estos ambientes.

En cuanto a los intervalos estratigráficos, esta técnica demostró que a pesar de que en un mismo intervalo pueden coexistir depósitos de ambientes diferentes, esta puede diferenciar los distintos intervalos definidos para la sección estudiada ya que entre ellos existen diferencias químicas muy pequeñas. La dispersión observada en todos los intervalos en la concentración de sus componentes químicos, muestran la similaridad química existente entre ellos. El intervalo 1, químicamente es el que muestra las mayores diferencias al compararse con los demás intervalos; este está básicamente constituido por las arenas **fluviales** del Miembro B-6-X. SERRANO *et al.* (1996) sugiere, que estos sedimentos fueron depositados durante el inicio del segundo ciclo sedimentario de origen tectónico identificado en la secuencia Eocena de la Cuenca de Maracaibo lo que le imprime a estas secuencia características químicas posiblemente diferentes a la de los depósitos del primer ciclo tectónico como lo son las muestras de los miembros B-7-X y B-8-X, y esto es debido al cambio de la fuente de aporte sedimentario entre los sedimentos del primer ciclo tectónico y los del segundo ciclo tectónico tal como lo describe LUGO (1991). Las ligeras diferencias químicas y radiométricas que son observadas en la diferenciación de ambientes sedimentarios e intervalos estratigráficos con el uso de esta técnica, sugieren que con la aplicación de una herramienta de análisis más poderosa como lo es el uso de funciones discriminantes pueden obtenerse resultados más concluyentes.

Radiométricamente, las diferencias más marcadas en todos los intervalos vienen dadas en las ventanas del $\gamma^{40}\text{K}$ y γF1 . Todos los intervalos muestran una amplia diferencia entre el mayor y menor valor de la radiación medida, lo que muestra variabilidad en el contenido de arcillas en estos intervalos

Todas éstas diferencias sutiles observadas en los diagramas de caja tanto para los ambientes como para las unidades genéticas, unidas a otras diferencias observadas para cada uno de los óxidos y para los valores radiométricos son la base para la discriminación de éstos mediante el uso de funciones discriminantes que se describirán más adelante.

6.1.3.3 Diagramas Ternarios

En este trabajo se utilizó como una herramienta adicional de análisis, que complementa las herramientas descritas anteriormente. Fue aplicada al sistema $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ en cada uno de los ambientes identificados en el área.

$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$.

Los gráficos mostrados en la figura 6.35 y 6.36, muestran los diagramas ternarios para el sistema $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$, en ellos se muestra el campo de las arcillas meteorizadas, los campos que definen las ilitas puras, la moscovita, las cloritas y el campo composicional definido para las lutitas Fanerozoicas de Norte América (NASC en sus siglas en ingles); patrón composicional de comparación ampliamente usado en la literatura y definido por GRAMET *et al.* (1984) y citado por WRONKIEWICZ & CONDIE (1989).

Puede observarse que tanto en los **canales distributarios** como en los depósitos de **bahías interdistributarias**, la mayor población de datos se concentra en el campo de las arcillas meteorizadas; proporcionalmente en ambos ambientes el contenido de Al_2O_3 es algo menor en los **canales distributarios** con respecto a las **bahías interdistributarias** tal como puede observarse en la tendencia de los datos, así como el contenido de K_2O que es ligeramente menor en estos sedimentos de **bahías interdistributarias** respecto al de los **canales distributarios**.

En ambos ambientes el contenido de Fe_2O_3 es importante, posiblemente este componente es parte de las capas mixtas de ilita/esmectita, lo que explica además el contenido de K_2O reflejado en el diagrama ternario; parte de este Fe esta asociado a la presencia de clorita, la cual ha sido

identificada su presencia mediante el uso de DRX (tabla 5.1) o identificado por medio de SEM por CORELAB (1996d, g y h).

La **barras de desembocadura** de las cuales solo se disponen de 5 muestras, 4 de ellas caen en el campo de las arcillas meteorizadas y una ultima con alto contenido de Al_2O_3 posiblemente esta asociada a la presencia de caolinita. Ninguna de las muestras guarda similitud con el campo de las NASC (figura 6.35).

El ambiente **fluvial**, se caracteriza porque mas del 80% de las muestras cae en el campo composicional correspondiente al de las arcillas meteorizadas, con altos valores en el contenido de Al_2O_3 y muy bajos en K_2O , el alto contenido de Al_2O_3 posiblemente esta asociado al predominio de caolinita como mineral de arcilla principal.

Discusión

Es generalmente aceptado que durante los procesos de meteorización, iones como Na^+ , K^+ , y Ca^{+2} presentes en los minerales parentales (feldespatos) son removidos, por lo que la proporción de alúmina a álcalis típicamente se incrementa en el producto meteorizado.

De esta premisa planteada por muchos autores surge el índice químico de alteración (CIA) definido por NESBITT & YOUNG (1982) y citado por WRONKIEWICZ & CONDIE (1989) el cual mide cuantitativamente la intensidad de alteración química por procesos de meteorización y representado por la formula:

$$\text{CIA} = [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})] * 100$$

En este trabajo por limitaciones analíticas del equipo no fue posible determinar el contenido del Na_2O en las muestras analizadas, por lo que este índice no se puede utilizar para determinar las condiciones de paleometeorización que afecto las rocas del área estudiada; estas condiciones de paleometeorización pueden establecerse cualitativamente mediante el uso de los diagramas ternarios de las figuras 6.35 y 6.36.

La construcción de diagramas ternarios usando la asociación $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$, permite inferir las condiciones de paleometeorización a las que fueron sometidos los sedimentos luego de su depositación, este diagrama fue propuesto por WRONKIEWICZ & CONDIE (1989), en ellos se señalan los campos de las arcillas meteorizadas, el campo de las arcillas Fanerozoicas de Norte América (NASC) básicamente arcillas no meteorizadas y los campos que definen las ilitas puras, la moscovita y el campo de las cloritas (figuras 6.35 y 6.36).

En los **canales distributarios** se observa que gran parte de las muestras caen en el campo de las arcillas residuales indicativo de que las arcillas que están asociadas a estos sedimentos arenosos son el producto final de un proceso de meteorización que afectó a estos y reflejado en su fracción arcillosa (figura 6.35). El resto de las muestras no parecen haber sido afectadas por procesos de meteorización por largos periodos de tiempo, estas arcillas presentan proporciones variables de illita y clorita.

Son las **bahías interdistributarias** las que presentan una mayor proporción de arcillas no meteorizadas, básicamente están constituidas por una mezcla de illita/muscovita y cantidades menores de clorita.

La fracción arcillosa de las **barras de desembocadura** y los sedimentos **fluviales** básicamente esta constituida por arcillas meteorizadas y esto se puede explicar por el carácter más grueso de los sedimentos que caracterizan a éstos ambientes, que presentan mayores permeabilidades y porosidades que permite que los procesos de meteorización en éstos sean más profundos (figura 6.35).

Debido a la facilidad de los fluidos meteoricos de percolarse a través del sedimento suelto o litificado el cual era básicamente de grano medio y bien escogido que caracteriza a los depósitos fluviales; el exceso de H^+ presente en esta agua es el responsable de la abundancia de caolinita en estos sedimentos, como un producto de meteorización tal como se resume en la tabla 5.1.

Según WEAVER & POLLAND (1975) la caolinita es el producto final resultante de la meteorización de rocas alcalinas, principalmente de los feldespatos y micas; sin embargo, prácticamente cualquier silicato puede alterarse a este mineral siempre que las condiciones de alteración prevalezcan por un largo periodo de tiempo. Caolinitas formadas por meteorización y no son transportadas son llamadas caolinitas residuales y la transportadas como caolinitas detríticas.

En el ambiente de **marisma**, las arcillas asociadas a estos depósitos, no están meteorizadas, esto puede indicar un proceso de soterramiento relativamente rápido que permitió que la materia orgánica que constituye el carbón; representativo de este ambiente no se oxidara ni se meteorizara la fracción arcillosa asociada a estos (figura 6.36).

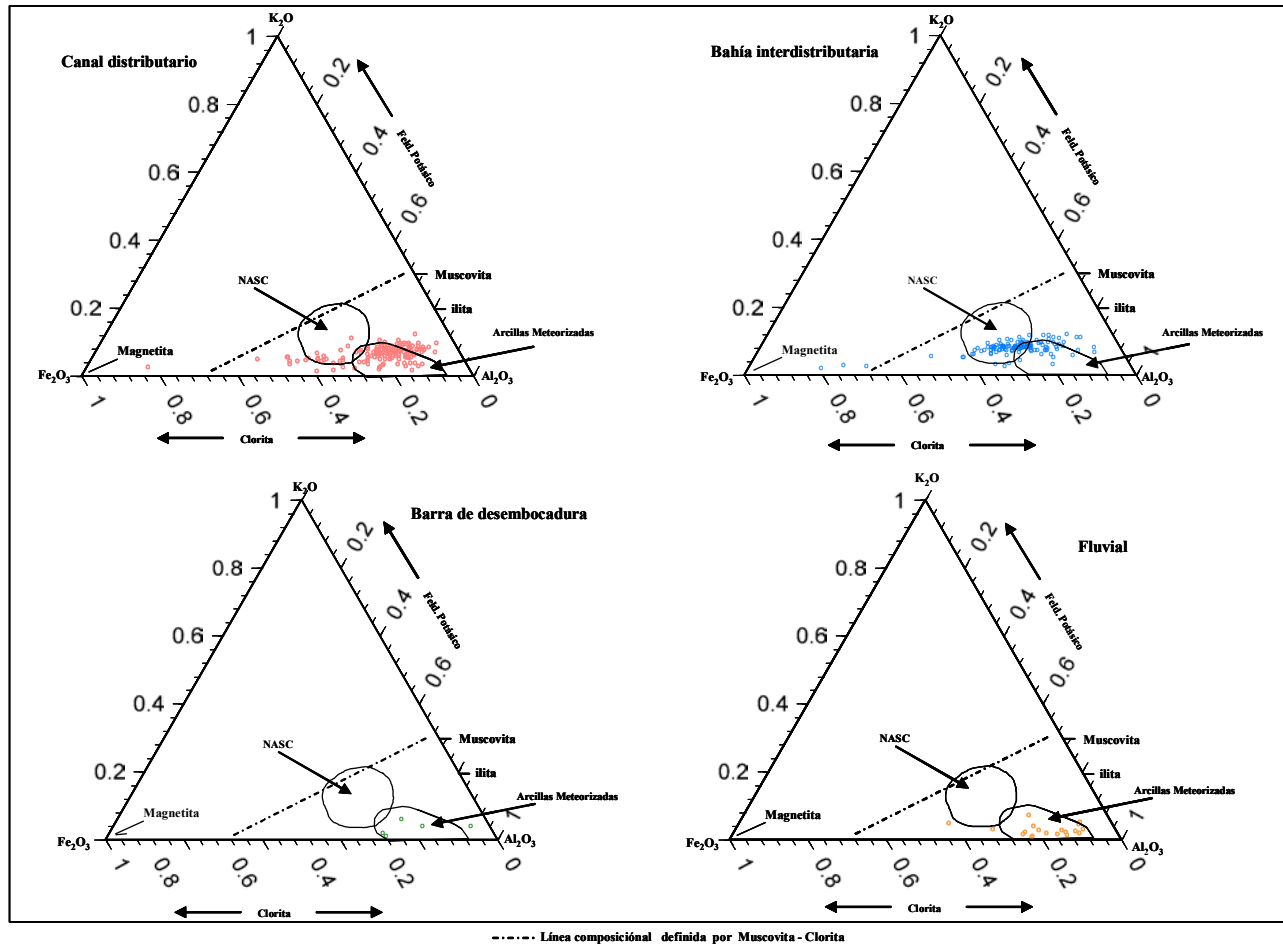


Figura 6.35. Diagramas ternarios para el sistema $Al_2O_3/Fe_2O_3/K_2O$. Gráfico adaptado de WRONKIEWICZ & CONDIE (1989).

NASC (siglas en ingles de las Arcillas Fanerozoicas de Norte America).

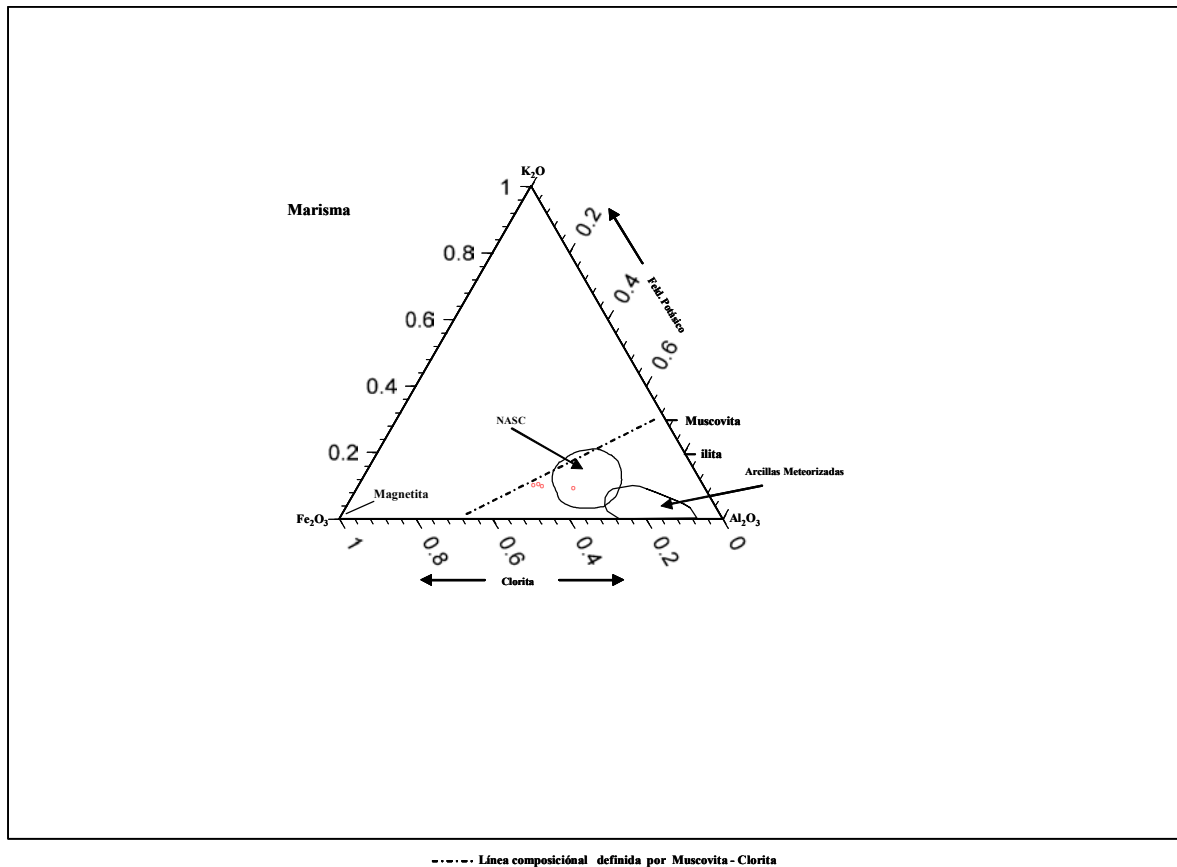


Figura 6.36. Diagramas ternarios para el sistema $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$. Aplicado al ambiente de marismas. Gráfico adaptado de WRONKIEWICZ & CONDIE (1989).

NASC (siglas en ingles de las Arcillas Fanerozoicas de Norte America).

6.1.3.4. Clasificación litológica

Clasificación litológica por intervalos.

El esquema de HERRON (1988) de clasificación litológica fue aplicado en cada uno de los intervalos estratigráficos ya descritos y definidos en la figura 5.2. Las figuras 6.37 a la 6.45 muestran la clasificación litológica de Herron (*op cit.*) aplicada a cada intervalo estratigráfico son un ejemplo de esta aplicación.

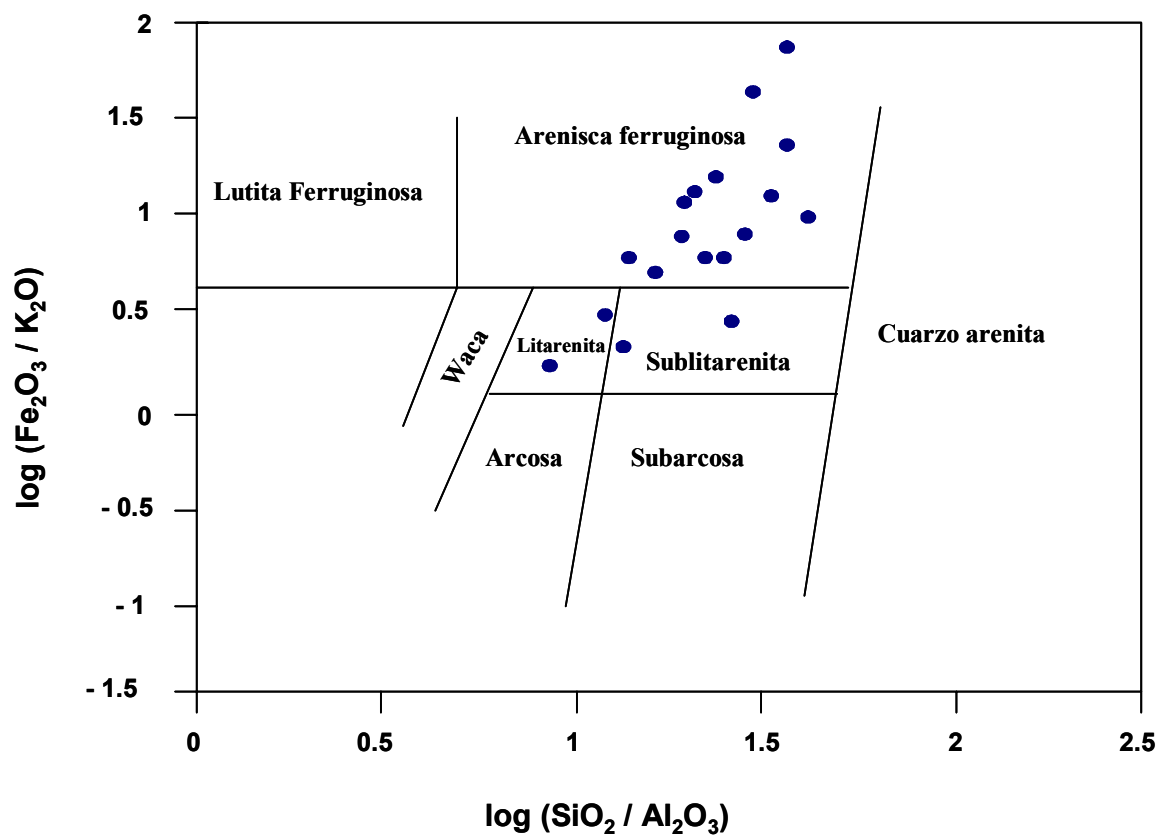


Figura 6.37. Clasificación litológica para el intervalo 1.

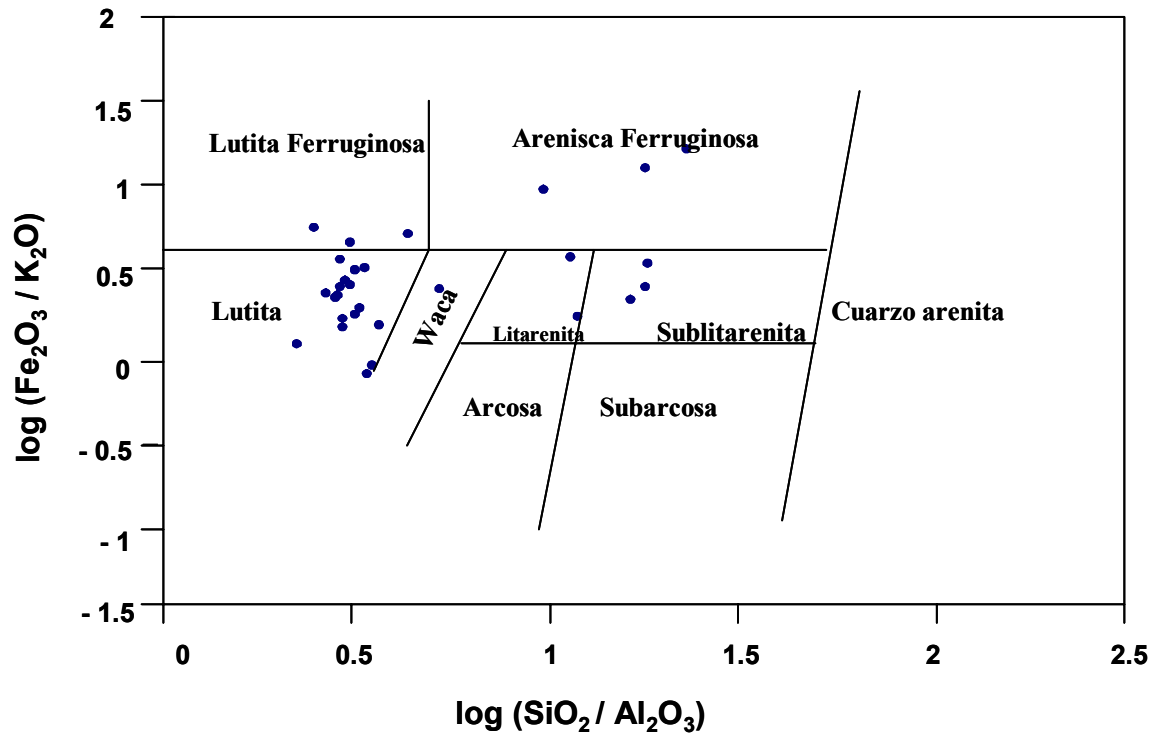


Figura 6.38. Clasificación litológica para el intervalo 2.

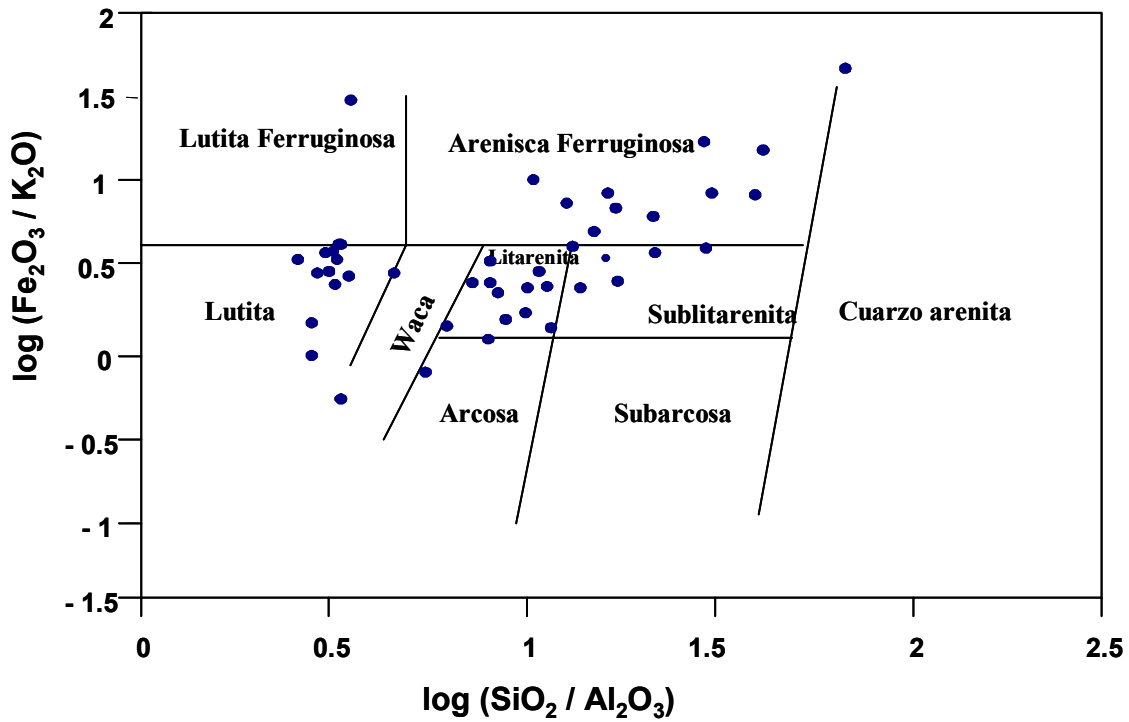


Figura 6.39. Clasificación litológica para el intervalo 3.

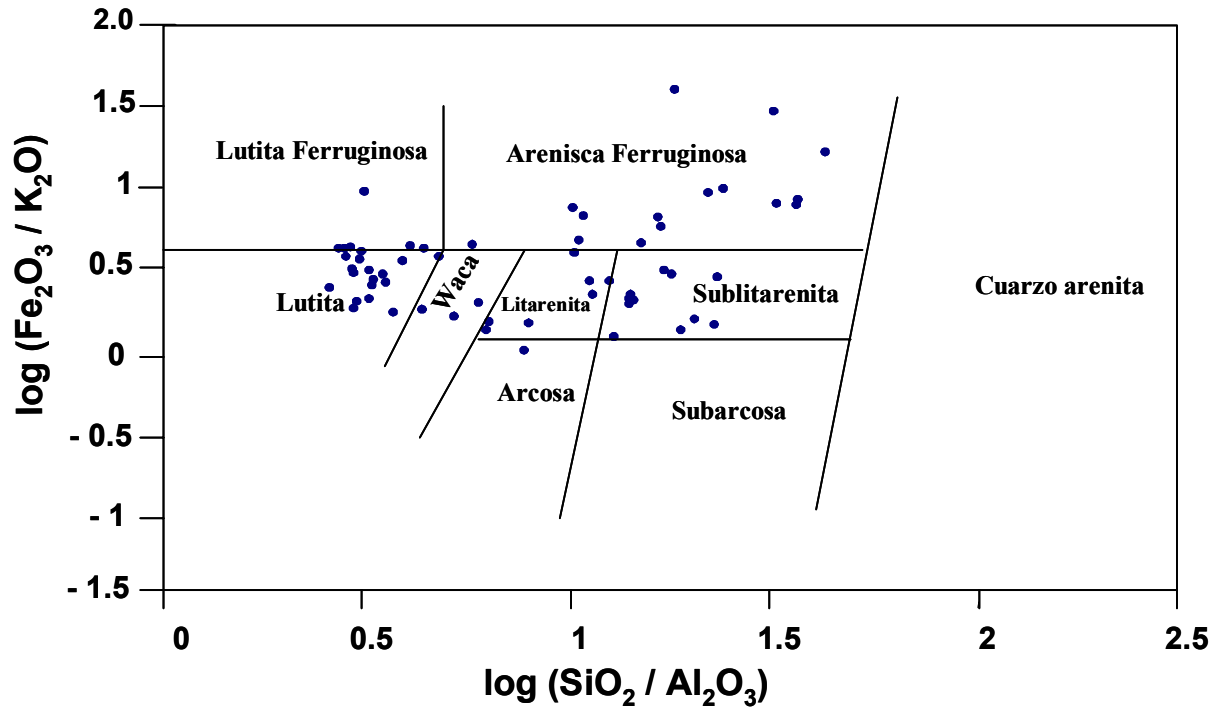


Figura 6.40. Clasificación litológica para el intervalo 4.

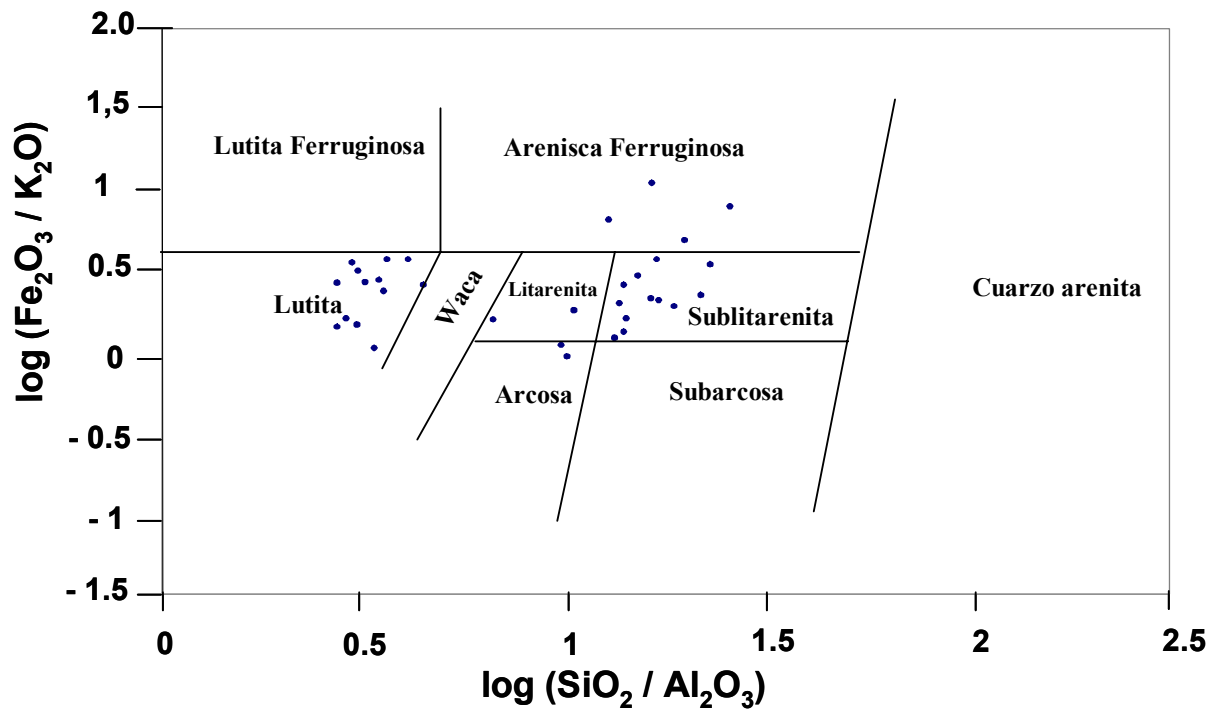


Figura 6.41. Clasificación litológica para el intervalo 5.

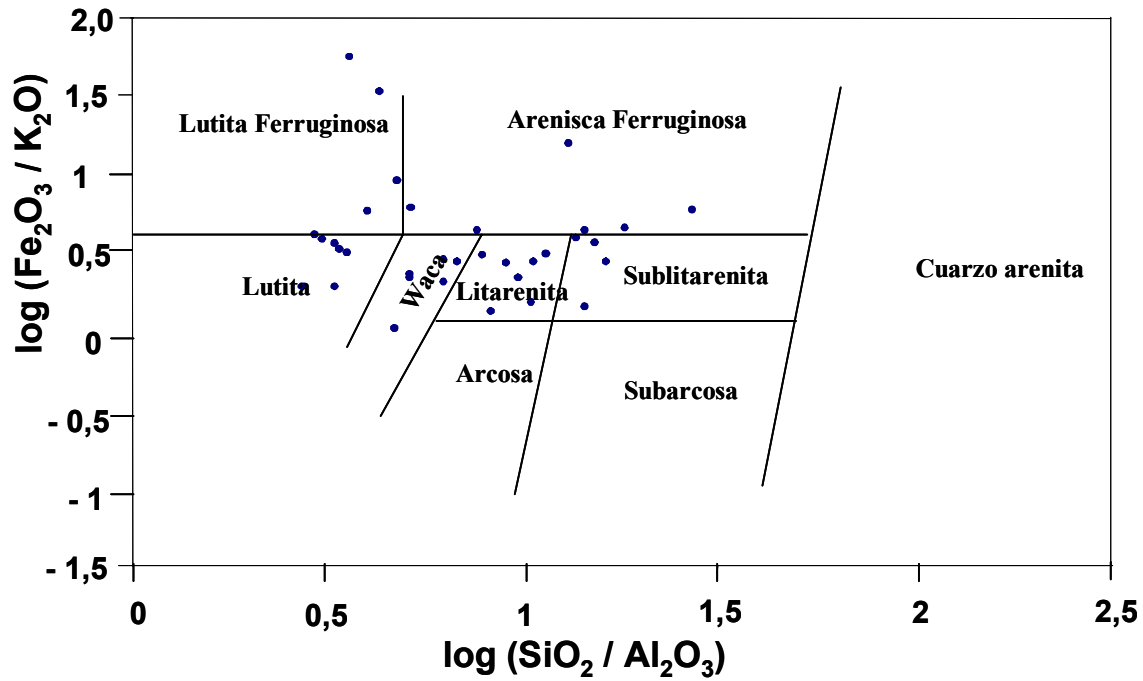


Figura 6.42. Clasificación litológica para el intervalo 6.

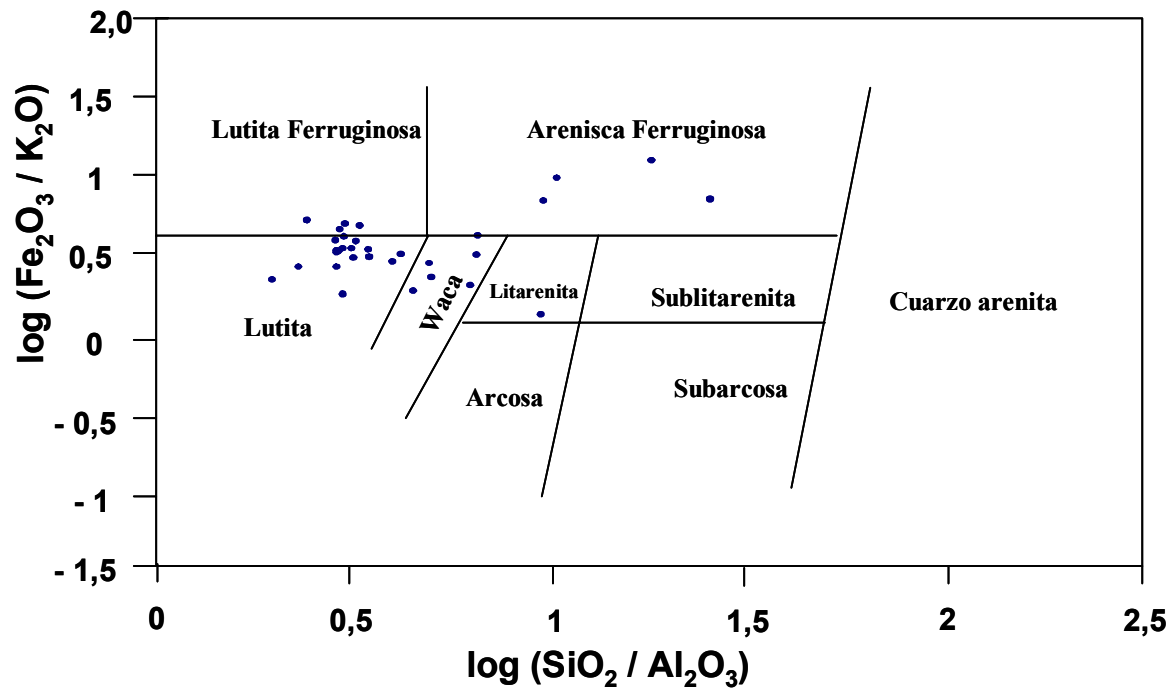


Figura 6.43. Clasificación litológica para el intervalo 7.

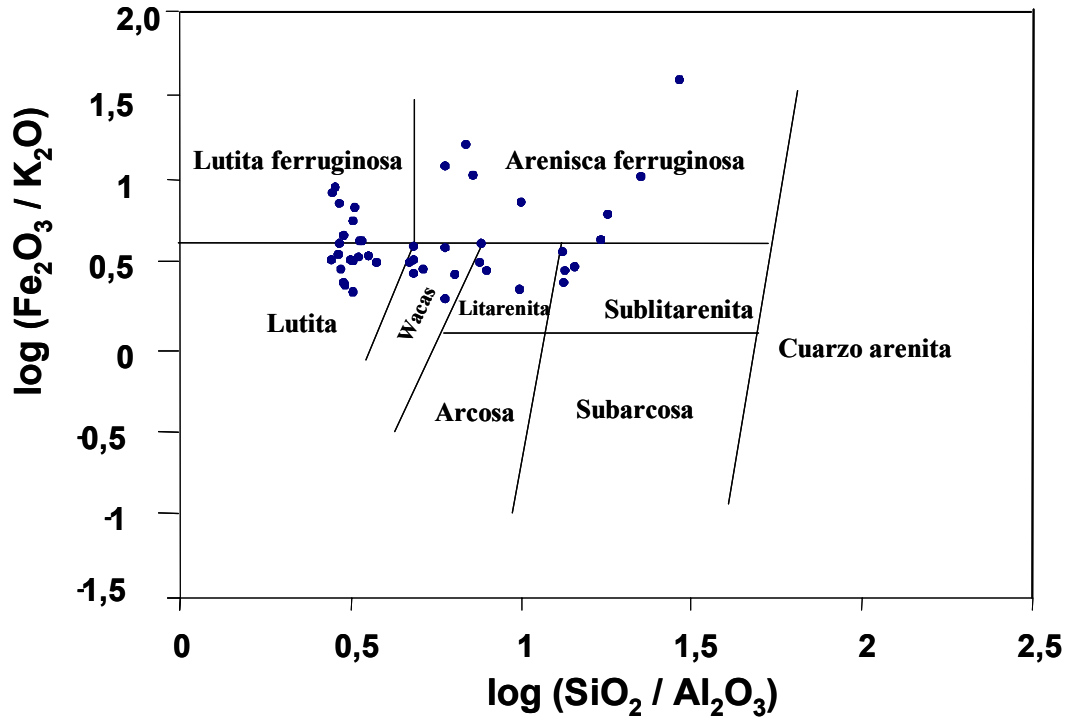


Figura 6.44. Clasificación litológica para el intervalo 8.

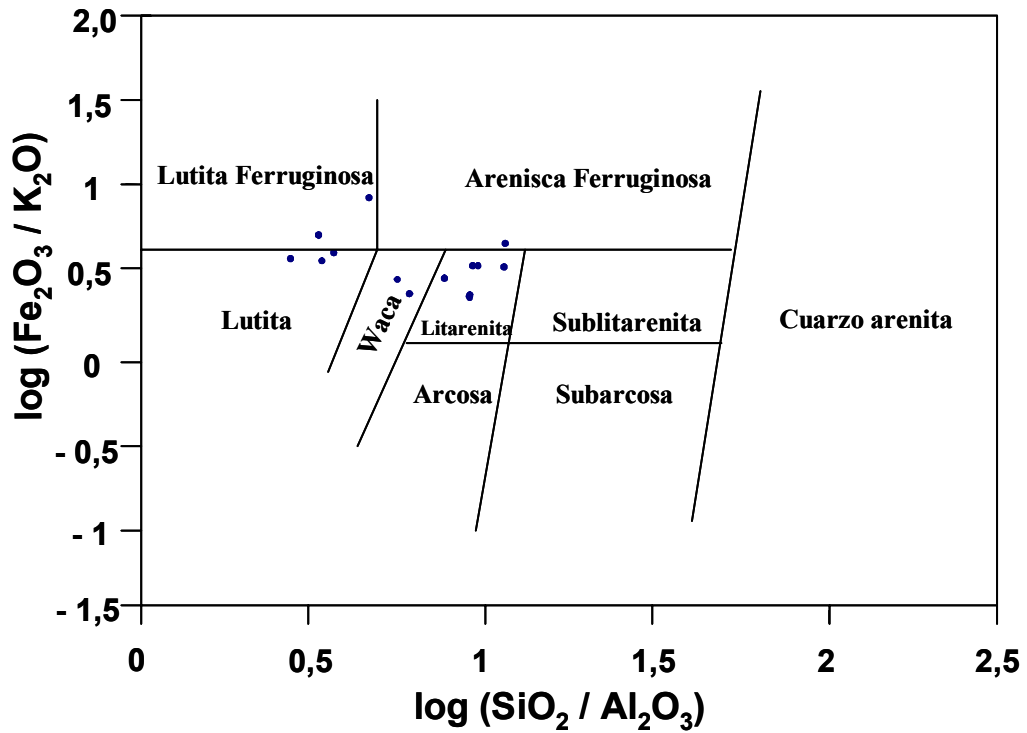


Figura 6.45. Clasificación litológica para el intervalo 9.

Discusión

En los diagramas de caja anteriormente descritos usados en la diferenciación química de intervalos estratigráficos (figuras 6.33 A, B, y C) se establecieron que entre cada uno de los intervalos existen variaciones químicas a veces leves que permiten diferenciarlos entre ellos, de igual modo estas diferencias pueden observarse en las variaciones radiométricas en especial en las ventanas del espectro gamma correspondientes al $\gamma^{40}\text{K}$ y γF1 (figuras 6.34 A y B), estas diferencias químicas están asociadas a la proporción existente entre los distintos tipos litológicos existentes en estos intervalos.

El esquema de clasificación litológica propuesto por HERRON (1988) permitió diferenciar las litologías presentes en cada intervalo. Este esquema no diferencia entre limolitas, lutitas y secuencias heterolíticas, las limolitas las ubica dentro del campo de las lutitas. Las secuencias heterolíticas caracterizadas por interlaminaciones de lutitas y areniscas (figura 5.6) generalmente con un predominio de las primeras; en el esquema de HERRON, estas serán clasificadas y ubicadas en el campo cuya composición química coincida con la litología predominante en esta secuencia, por lo que estas muestras se clasificaron como lutitas ya sean estas ferruginosas o no.

El intervalo 1 ó B-6-X, básicamente arenoso es caracterizado por la abundancia de areniscas ferruginosas (figura 6.37) con una menor cantidad de litarenitas y sublitarenitas; composicionalmente las areniscas de esta unidad, son similares a la de los intervalos 3 y 4 (figuras 6.39 y 6.40) y la del intervalo 5 (figura 6.41), en este último la proporción de sublitarenitas es mayor. En los diagramas de caja se demuestra que la composición química de estos intervalos es muy similar (figura 6.33 A, B y C), y que esta asociado a una composición litológica similar tal como se observa en estos intervalos.

El intervalo 1, de acuerdo a la distribución mostrada en los diagramas de caja, ha mostrado ser composicionalmente diferente al resto de los demás intervalos descritos, aunque sus areniscas son básicamente ferruginosas y similares a la de los intervalos 3, 4 y 5, muestran una buena diferenciación para los distintos componentes químicos reflejados en los diagramas de caja. En el índice de madurez textural, se reflejan condiciones ambientales de alta energía, dando lugar a un relativo bajo contenido de arcillas en este intervalo 1; y que lo diferencia de todos los demás, los cuales presentan valores en este índice mas bajos, indicativos de un alto contenido de Al_2O_3 el cual se asocia a un mayor contenido de arcillas y que se refleja tanto en los diagramas de caja como en el esquema de clasificación.

Este esquema combina las relaciones entre dos pares de componentes químicos, lo que hace que este no sea capaz de discriminar variaciones químicas en la concentración de otros componentes que no sean los usados en el gráfico de clasificación. La relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, o índice de madurez textural, permite diferenciar las rocas más lutíticas, discrimina aquellas con bajo contenido de matriz (arcillas) de las más limpias como es el caso de las areniscas.

A bajas temperaturas y presión, características de los ambientes sedimentarios, los minerales detríticos más estables son los feldespatos, la moscovita, y el cuarzo, los dos primeros ricos en K_2O y los tres pobres en Fe_2O_3 (HERRON 1988). En contraste los minerales menos estables comúnmente ocurren en los fragmentos líticos que tienden a ser más ricos en Fe_2O_3 y MgO . Esto es lo que está ocurriendo con muchas de las areniscas que caen en el campo de las ferruginosas, sobre todo en el caso del intervalo 1 caracterizado por areniscas limpias con un bajo contenido de Al_2O_3 y K_2O , sin embargo la relación entre el Fe_2O_3 y el K_2O ubica las muestras en el campo de las areniscas ferruginosas, el contenido de Fe_2O_3 aunque bajo probablemente proviene de los clastos y granos arcillosos transportados presentes en estas areniscas lo que hace que estas se clasifiquen como ferruginosas, cuando su ubicación natural debería ser en el campo de las sublitarenitas definido por PETTIJOHN *et al.* (1972) en donde el contenido de fragmentos líticos varía entre 5 y 25 %.

La proporción de areniscas clasificadas por este método se resume en la tabla 6.12 sobre un total de 177 muestras

Clasificación (HERRON 1988)	Proporción (%)
Sublitarenitas	20
Areniscas ferruginosas	34
Litarenitas	25
Wacas	17
Arcosas	3
Cuarzoarenitas	1
Subarcosas	0

Tabla 6.12. Clasificación de las areniscas analizadas químicamente en este estudio

CORELAB (1996) analizó petrográficamente 16 muestras de areniscas correspondientes al Miembro B-6-X, de las cuales fueron clasificadas como sublitarenitas 13 muestras, 2 resultaron ser litarenitas y 1 fue una cuarzoarenita. En las arenas de los Miembros B-7-X y B-8-X analizaron 70 muestras obtenidas de todos los pozos con núcleos del área de las cuales 65 de estas areniscas resultaron ser sublitarenitas, 2 litarenitas 2 subarcosa y 1 cuarzoarenita. Esta distribución composicional de las areniscas que no necesariamente coinciden con las muestras analizadas y clasificadas químicamente, indican una clara tendencia de que en estas unidades las areniscas predominantes son las sublitarenitas y no la tendencia composicional que dan los diagramas de HERRON, en donde tienden a abundar las areniscas ferruginosas, esta es al parecer la única debilidad que muestra la clasificación química propuesta por este autor.

6.1.4 Funciones discriminantes

Introducción

Esta técnica de estadística multivariable fue usada de dos maneras: en la discriminación de los distintos ambientes sedimentarios que un pozo atraviesa y en establecer las diferencias que existen entre cada uno de los intervalos estratigráficos en que se dividió la sección sedimentaria del área (mostrados en la figura 5.2) en cada pozo, este último ejercicio permitió establecer que algunos intervalos presentan variaciones laterales desde el punto de vista químico y radiométrico, posiblemente en la dirección de transporte.

Adicionalmente la técnica se usó en la clasificación de ambientes presentes en el pozo LL832, ya que de este no se dispone de una descripción sedimentológica de sus núcleos, sin embargo a partir de sus lecturas radiométricas y composición química se ubicó cada una de sus muestras en el ambiente de sedimentación que le correspondía de acuerdo a las funciones generadas en la clasificación de ambientes a partir de la información geoquímica y radiométrica de todos los pozos con descripción sedimentológica disponible en el área.

En la determinación de las funciones discriminantes se usó el paquete de análisis estadístico NCSS, el cual además de generar las funciones, determina el porcentaje de aciertos o que tanto es capaz de diferenciar con los datos usados un ambiente, o unidad estratigráfica de otra.

Este ejercicio de discriminación fue utilizado con los datos radiométricos, y químicos separadamente y luego todos en conjunto para así determinar por separado el impacto de estas determinaciones en la discriminación de ambientes sedimentario e intervalos estratigráficos. Los datos de entradas utilizados en todos los ejercicios de discriminación fueron: el conteo de cuentas por segundos (CPS) de siete de las ocho ventanas o regiones del espectro medidas con el escintilometro usado en este estudio, la octava ventana registra el número total de cuentas por segundo determinadas en la muestra y no es más que la suma las intensidades de la radiación medida en las otras siete ventanas. Estos se identifican como: $\gamma F1$, $\gamma^{40}K$, $\gamma F2$, $\gamma^{214}Bi$, $\gamma F3$, $\gamma^{208}Tl$ y $\gamma F4$ tal como se muestra en la figura 1.3.

Además de estas ventanas del espectro, en el análisis de funciones discriminantes, se utilizaron el porcentaje en peso de todos los óxidos determinados en este estudio (tablas del anexo I), se incluyen también el contenido de V en ppm; y las relaciones SiO_2/Al_2O_3 , TiO_2/Al_2O_3 , Fe_2O_3/K_2O , K_2O/TiO_2 , y K_2O/Al_2O_3 .

El programa NCSS además de generar las funciones discriminantes del anexo IV, muestra como se discriminan los ambientes por pozo y los distintos intervalos de manera gráfica.

6.1.4.1. Funciones discriminantes en la diferenciación de ambientes de sedimentación e intervalos estratigráficos (composición química y radiométrica).

Variables radiométricas

Las figuras 6.46 a la 6.50, muestran la discriminación obtenida con estas variables para ambientes e intervalos estratigráficos. Los mayores valores se obtienen en la discriminación de ambientes sedimentarios con un porcentaje de aciertos que varía entre 44,8 % hasta 75% variando pozo a pozo. El ambiente que mejor se diferencia son los de bahías interdistributarias (Bit), en donde se incluyen algunos canales distributarios dentro de la población de datos (figuras 6.46, 6.47, 6.48 y 6.49) indicativo de la similitud química y radiométrica de estos canales con los sedimentos de bahías interdistributarias que estos cortan.

Es el pozo LL945 el que presenta un 100 % de aciertos en la diferenciación de ambientes sedimentarios, también es el pozo del cual solo se disponen muestras de una sección estratigráfica muy pequeña en la cual se identifican tres tipos de depósitos sedimentarios claramente distintivos (figura 6.54).

Del pozo LL832 no se disponía de descripción sedimentológica por lo que no se tenía la diferenciación de ambientes sedimentarios en este; mediante el uso de funciones discriminantes, se clasificaron los ambientes que este pozo penetraba, las funciones fueron obtenidas considerando en conjunto todas las variables tanto radiométricas como químicas de todos los pozos con descripción sedimentológica, la razón de esto se explicara mas adelante. Con los ambientes clasificados con todas las variables en conjunto, se demuestra que con el uso de las variables radiométricas podemos obtener un 59,6 % de aciertos (figura 6.47).

En lo que respecta a los intervalos estratigráficos, la discriminación es más bien difusa con un porcentaje de aciertos que varía entre 16,3 % en el pozo LL965 (figura 6.48) hasta 66,9 % en el pozo LL869 (figura 6.49).

En ninguno de los pozos se establece una clara diferenciación de poblaciones de datos, más bien estos están mezclados en un mayor o menor grado; lo que sugiere que cada uno de los intervalos es radiométricamente similar. Iguales consideraciones se establecen en los diagramas

de caja tal como se describe en las figuras 6.32 A y B y 6.34 A y B. Al igual que en la diferenciación de ambientes sedimentarios es el pozo LL945 el que muestra un 100 % de aciertos en la diferenciación de intervalos estratigráficos, y tal como se observa en la figura 6.54, estos intervalos son claramente distintivos, hay que acotar que solo se recuperaron núcleos de las arenas del intervalo 2 y las lutitas y areniscas superiores del intervalo 3.

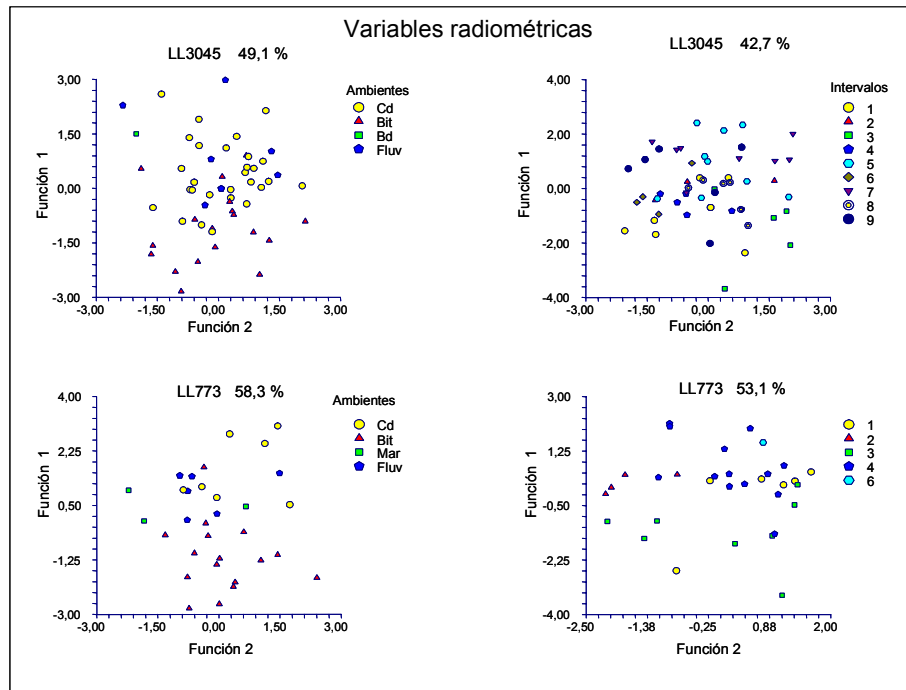


Figura 6.46. Discriminación de ambientes e intervalos estratigráficos en los pozos LL3045 y LL773 con variables radiométricas. Se indican en estos gráficos el % de aciertos en la diferenciación de ambientes e intervalos estratigráficos.

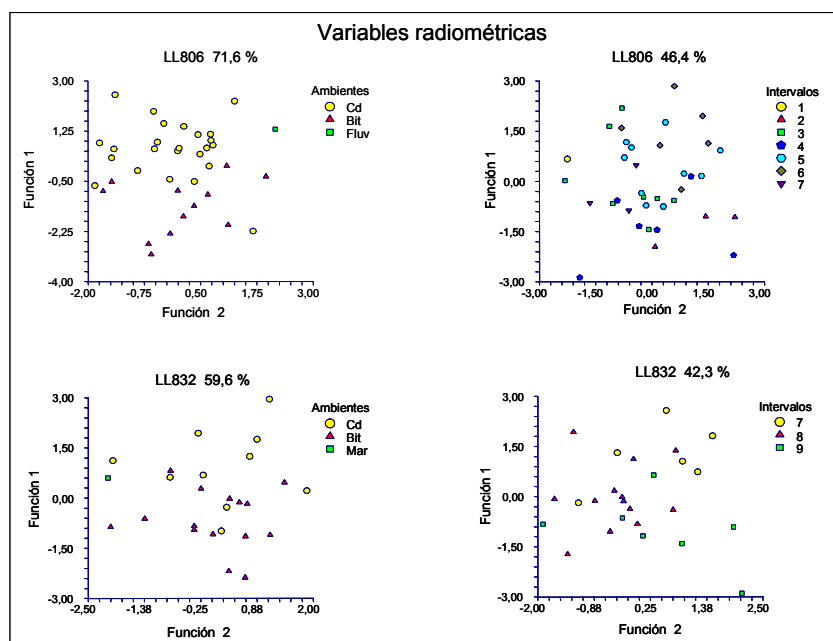


Figura 6.47. Discriminación de ambientes e intervalos estratigráficos en los pozos LL806 y LL832 con variables radiométricas.

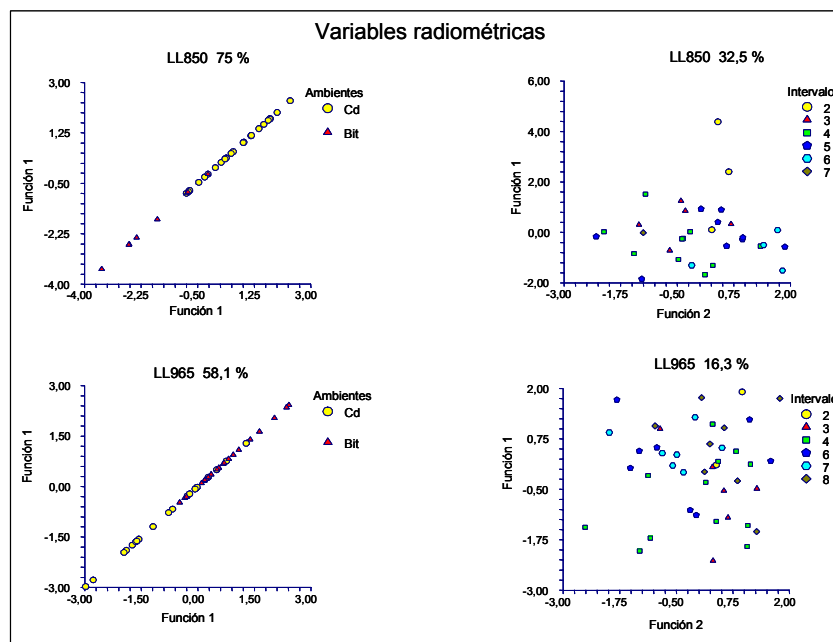


Figura 6.48. Discriminación de ambientes e intervalos estratigráficos en los pozos LL850 y LL965 con variables radiométricas.

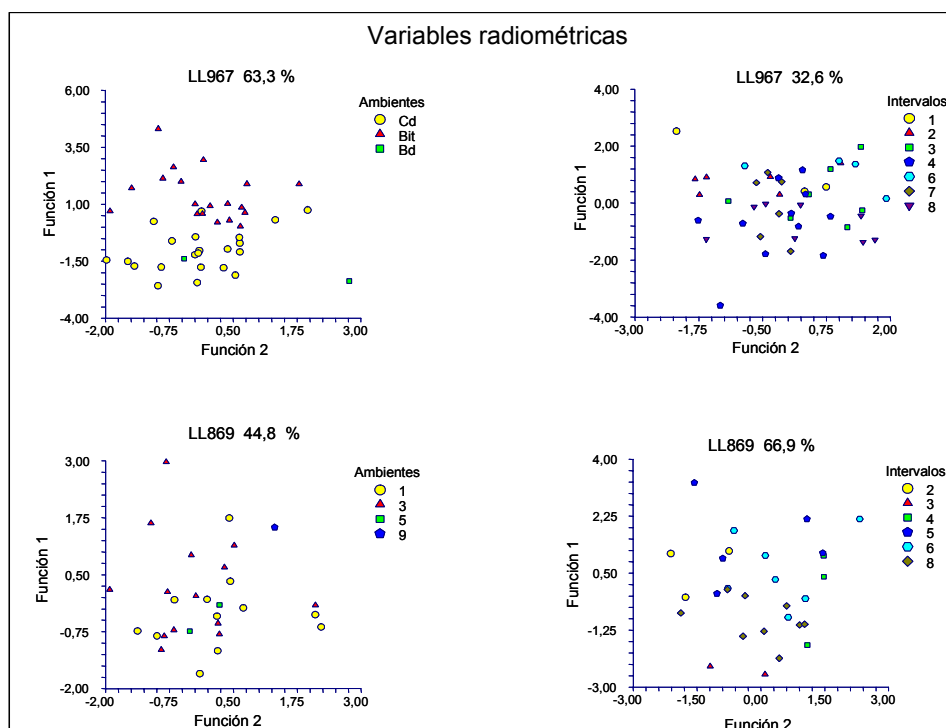


Figura 6.49. Discriminación de ambientes e intervalos estratigráficos en los pozos LL967 y LL869 con variables radiométricas. Se indican en estos gráficos el % de aciertos en la diferenciación de ambientes e intervalos estratigráficos.

Variables Químicas

A diferencia de las radiométricas, las variables químicas permiten obtener mayores porcentajes de aciertos en la discriminación de ambiente e intervalos estratigráficos; en el caso de los ambientes sedimentarios, el porcentaje de aciertos varía entre 86% y 100%, mientras que para la clasificación de intervalos estratigráficos este varía entre 49,8 % en el pozo LL965 hasta 94,2% en el pozo LL832 (figuras 6.51 y 6.52)

En los diagramas de caja elaborados para analizar el comportamiento químico de los depósitos de los distintos ambientes sedimentarios descritos en la zona, se identificaban diferencias en la concentración de c/u de los componentes químicos para cada ambiente (figuras 6.30 A, B y C); estas pequeñas diferencias se corroboran con el uso de las funciones discriminantes en la diferenciación de ambientes sedimentarios en cada pozo.

Las poblaciones composicionales más claras son observadas en la discriminación de sedimentos de bahías interdistributarias (Bit), y de canales distributarios (Cd); en algunos casos

hay una transición composicional entre algunas muestras de estos ambientes tal como se observa en los pozos LL806 y LL965 (figuras 6.51 y 6.52). Es en los canales distributarios (Cd) y los fluviales (Fluv) donde se observa una mayor cercanía composicional tal como se muestra en los pozos LL773 y LL967 (figuras 6.50 y 6.53).

En el pozo LL832, la clasificación de ambientes únicamente usando variables químicas es del 94,2 % (figura 6.51), lo que indica la eficiencia de la composición química para diferenciar ambientes sedimentarios.

En lo que respecta a la discriminación de intervalos estratigráficos, el pozo LL3045 con un 69,3 % de aciertos en la diferenciación de intervalos estratigráficos, muestra una clara diferenciación del intervalo 1 con respecto a los demás intervalos (figura 6.50). En el pozo LL773, los intervalos que mejor se discriminan son el 4 y el 2, mientras que en el pozo LL806 con un 83,8 % de aciertos, el que mejor se discrimina (al igual que en el pozo LL3045) es el intervalo 1, mientras que para los otros intervalos se muestra una discriminación difusa.

En el pozo LL832, la clasificación entre los tres intervalos que corresponden a la parte basal de la sección estudiada (intervalos 7, 8 y 9) y mostrada en la figura 5.2 es de un 94,2 % de aciertos. En los diagramas de caja de las figuras 6.33 A, B y C; estos mismos intervalos fueron agrupados como una población composicional (sección 6.1.3.2); sin embargo son las funciones discriminantes la que establece que existen claras diferencias entre estos intervalos.

En el pozo LL850 con un 73,8 % de aciertos, puede observarse en la figura 6.52, que la diferenciación entre algunos de los intervalos es difusa.

Es el pozo LL965 el que muestra el menor porcentaje de aciertos (49,8 %) en la diferenciación de los intervalos estratigráficos, en este no se establece una agrupación de intervalos clara; todos los datos se presentan mezclados, lo que indica una composición química similar (figura 6.52).

En el pozo LL967 con un 86,7 % de aciertos, se logran discriminar algunos de los intervalos; sin embargo la separación entre ellos en el diagrama de la figura 6.53 es difusa; una mejor diferenciación es mostrada en el pozo LL869 con un 86,6% de aciertos pero con poblaciones composicionales claramente discriminadas (figura 6.53).

El pozo LL945 muestra un 100 % de aciertos al discriminar los dos intervalos muestreados en este (figura 6.54); tal como se menciona en la parte de variables radiométricas, se está diferenciando entre un intervalo arenoso y la parte superior del otro en donde se muestrearon

lutitas lo que puede influir ampliamente al momento de establecer una diferenciación química y radiométrica de dos litologías distintas.

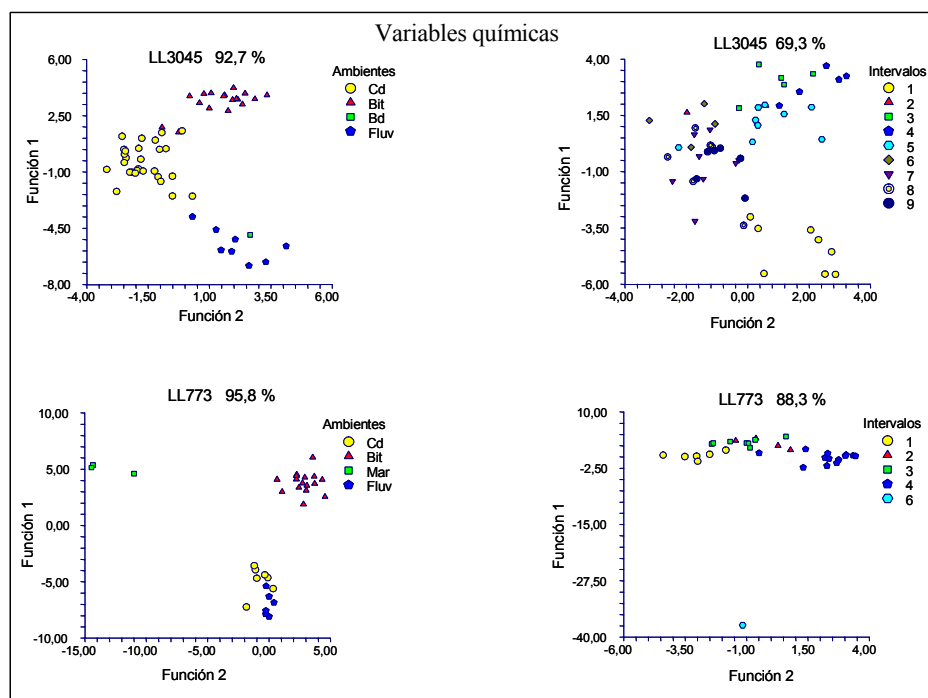


Figura 6.50. Discriminación química de ambientes e intervalos estratigráficos en los pozos LL3045 y LL773.

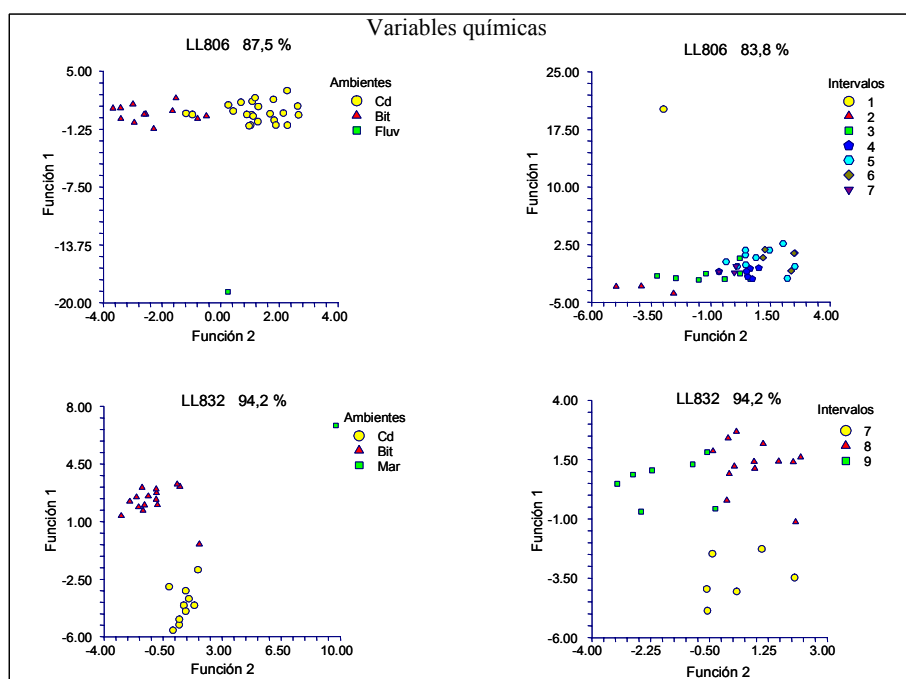


Figura 6.51. Discriminación química de ambientes e intervalos estratigráficos en los pozos LL806 y LL832.

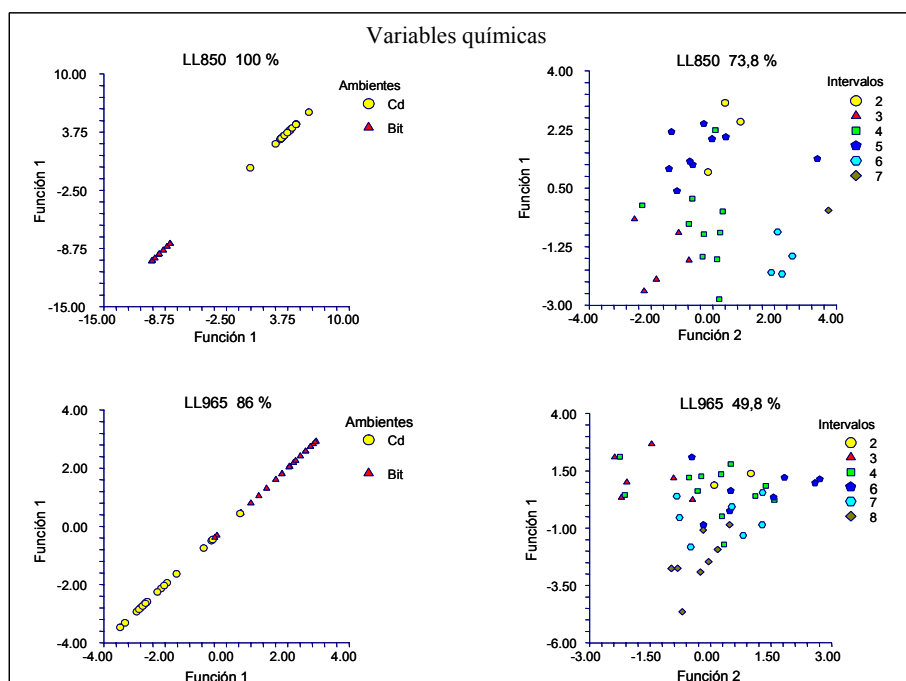


Figura 6.52. Discriminación química de ambientes e intervalos estratigráficos en los pozos LL850 y LL965.

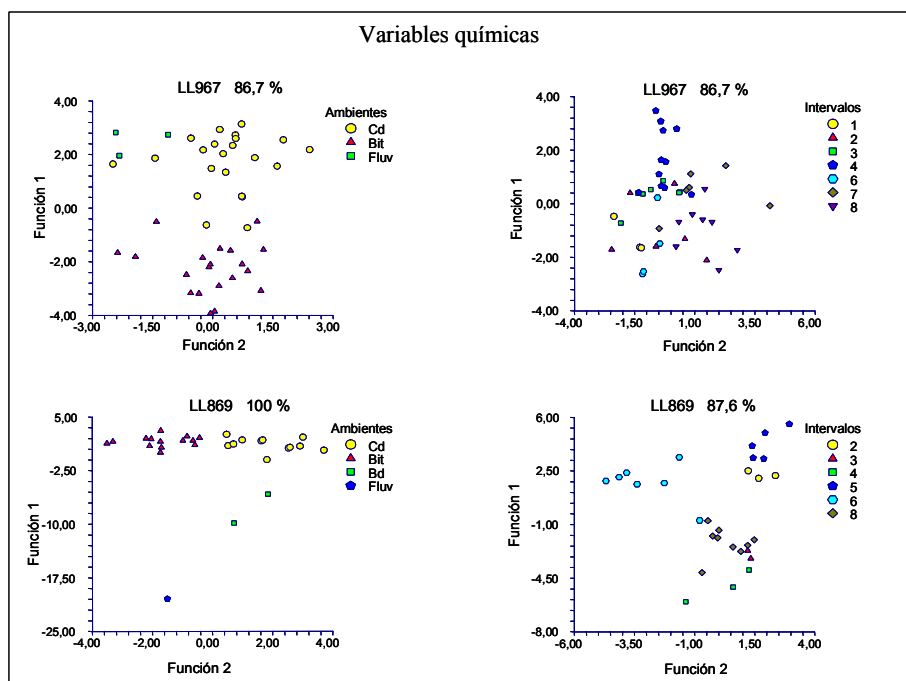


Figura 6.53. Discriminación química de ambientes e intervalos estratigráficos en los pozos LL967 y LL869.

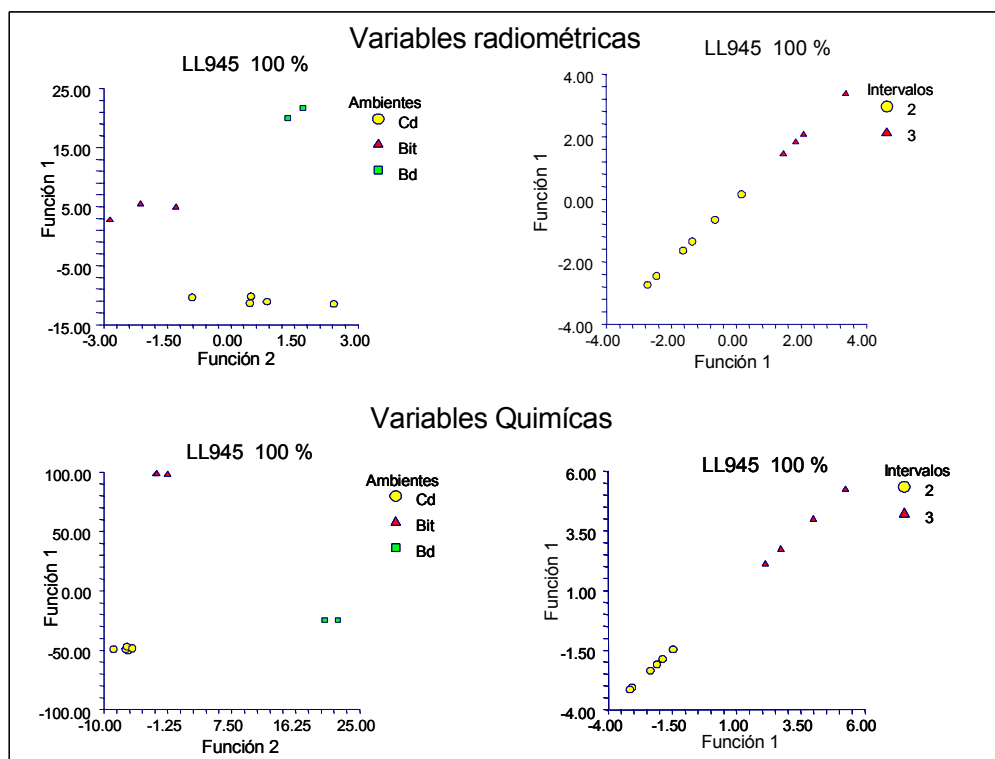


Figura 6.54. Discriminación química y radiométrica de ambientes e intervalos estratigráficos en el pozo LL945.

Todas las Variables

En este apartado se usaran en conjunto tanto las variables radiométricas como las químicas para la diferenciación de ambientes sedimentarios e intervalos estratigráficos y así poder comparar los resultados cuando se aplican por separado las variables químicas y radiométricas.

Discriminación de ambientes

Tal como se describió en la sección 5, la secuencia analizada fue depositada en un ciclo progradante, lo que caracteriza los ambientes encontrados en la secuencia, pertenecientes a un plano deltaico bajo surcado por canales distributarios (Cd), parte de ellos dominados por mareas; existencia de sedimentos que tipifican las bahías interdistributarias (Bit), barras desembocaduras (Bd), marismas o pantanos (Mar) así como sedimentos de origen fluvial.

Las figuras 6.55, 6.56 y 6.57 muestran como se diferencian los ambientes con porcentajes de aciertos mayor del 95% para todos los casos, cuando la discriminación se hace en cada pozo, lo que significa que estos tienen características químicas y radiométricas que lo diferencia uno del otro en cualquier punto del área tal como lo muestran los nueve pozos con núcleos.

A continuación se hará un breve resumen de cómo se discriminan los distintos ambientes en cada pozo:

Pozo LL3045:

En este pozo se identificaron cuatro ambientes de sedimentación: Canales distributarios (Cd), Bahías interdistributarias (Bit), Barra desembocadura (Bd), y de origen fluvial (Fluv), el índice de aciertos para este pozo es de 95,2 %, en la figura 6.55 puede observarse que la Bd cae en el área de los sedimentos fluviales lo que indica una gran afinidad química y radiométrica entre ambos, mientras que los canales distributarios están adyacentes uno del otro pero claramente diferenciados, y bien diferenciados de los fluviales.

Pozo LL773:

Cuatro ambientes son diferenciados: Canales y bahías interdistributarias, sedimentos fluviales y depósitos de pantanos. En la figura 6.55 se observa claramente como estos se diferencian con una gran afinidad química entre los depósitos fluviales y los canales distributarios, esto puede indicar que sobre estos dominaban tanto procesos fluviales como de mareas. El porcentaje de diferenciación es 100 %.

Pozo LL 832:

Se diferencian en este pozo tres ambientes sedimentarios: Canales distributarios, Bahías interdistributarias, y pantano o marisma, el porcentaje de separación es de 100 %.

Originalmente no se dispone de una descripción sedimentológica para este pozo, por lo que cada una de sus muestras fueron clasificadas usando las funciones discriminantes generadas en la discriminación de los ambientes usando todos los pozos con descripción sedimentológica de sus núcleos (tabla 6.15); luego de que todas sus muestras fueron clasificadas, se genera su propias funciones discriminantes así como la representación gráfica de estas (figura 6.55). Este procedimiento de usar todas las variables tanto químicas como radiométricas para obtener las funciones discriminantes que permitieron ubicar cada una de las muestras analizadas en su ambiente original de depositación, fue por el hecho de que el uso de todas las variables da porcentajes de aciertos mucho mas altos que si se usaran por separado las variables químicas y radiométricas tal como se puede observar en las figuras 6.46 a la 6.54. Obviamente al tenerse ya sea en ambientes sedimentarios o intervalos estratigráficos composiciones químicas y radiométricas muy similares, las diferencias entre estos va a surgir cuando se usan un mayor numero de variables y combinaciones de estas, tal como esta sucediendo con el uso de todas las variables en la discriminación de ambientes y como se vera cuando se separen intervalos estratigráficos.

Pozo LL 850:

Se diferencian en el únicamente Canales distributarios (Cd) y Bahías interdistributarias (Bit) por lo que basta con una función discriminante para diferenciar estos ambientes, lo que explica la manera como ésta es graficada (figura 6.55). La diferenciación es 100 %.

Pozo LL 806:

Se identifica en este pozo, ambiente de barras de desembocadura (Bd), canales y bahías interdistributarias, con los valores de los canales y bahías muy cercanos indicativos de cierta afinidad química y radiométrica entre ambos ambientes. El índice de discriminación es 100 % (figura 6.56).

Pozo LL 945:

Se distinguen en este pozo: Sedimentos de bahías interdistributarias (Bit), canales distributarios (Cd) y barras de desembocadura (Bd), claramente separados uno del otro con campos bien definidos (figura 6.56).

Pozo LL 965:

Al igual que el pozo LL 850, sólo se identifican canales y bahías interdistributarias con un 95,3 % de diferenciación, las muestras son química y radiométricamente afines (figura 6.56).

Pozo LL 967:

En este pozo el porcentaje de diferenciación es de 100 %, los tres ambientes identificados se separan claramente uno del otro (figura 6.56).

Pozo LL 869:

Con un 100 % de separación entre cada uno de los ambientes penetrados por este pozo. Los ambientes identificados fueron canales y bahías interdistributarias, ambiente fluvial y barra de desembocadura (Bd) (figura 6.57.a). Todos estos claramente separados uno del otro.

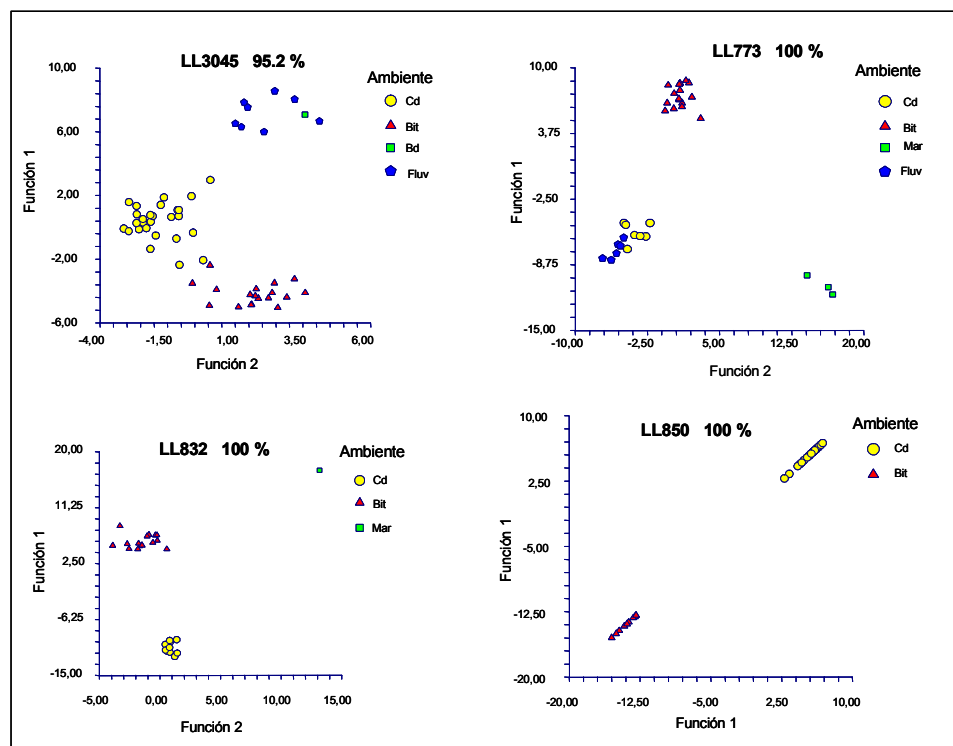


Figura 6.55. Discriminación de ambientes en los pozos LL3045, LL773, LL832, y LL850, utilizando conjuntamente las variables químicas y radiométricas.

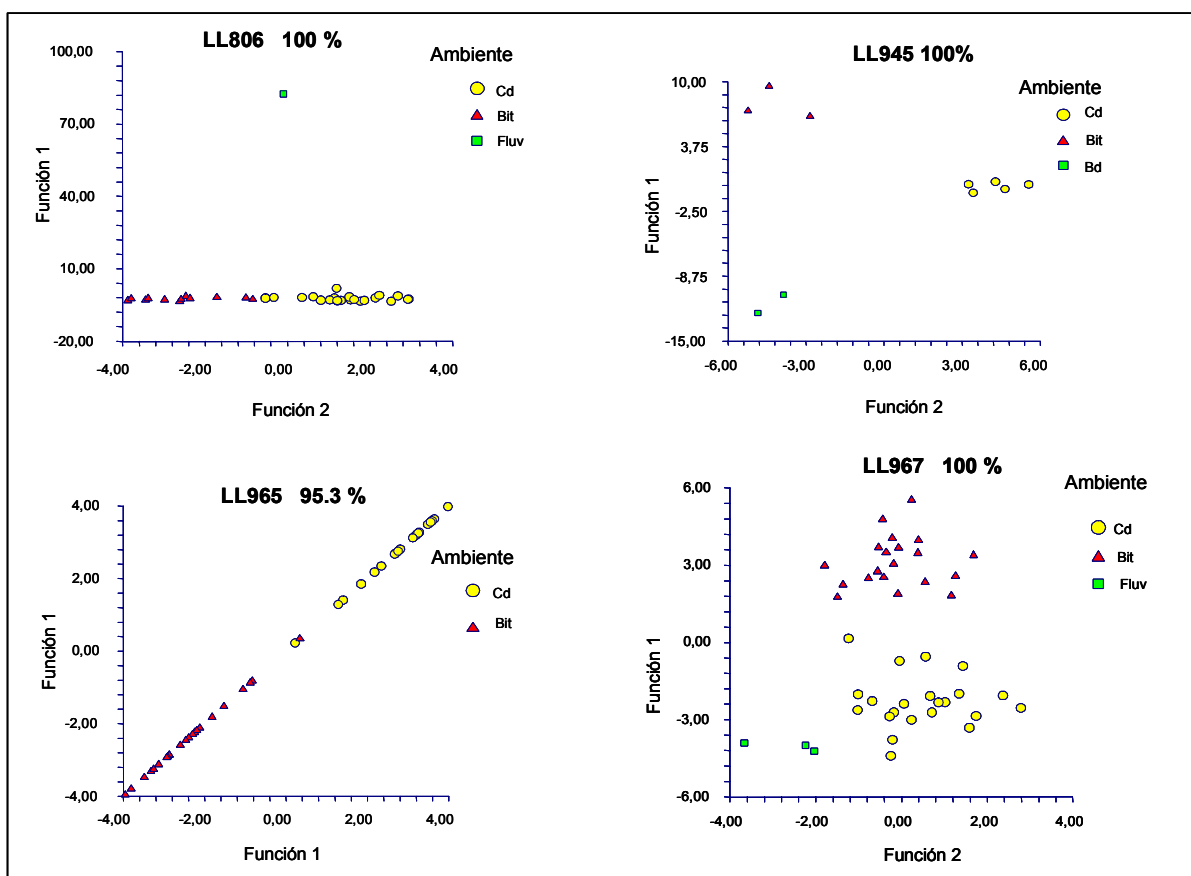


Figura 6.56. Discriminación de ambientes para los pozos LL806, LL945, LL965, y LL967, utilizando las variables químicas y radiométricas conjuntamente. Se muestra además el % de aciertos en la discriminación de ambientes.

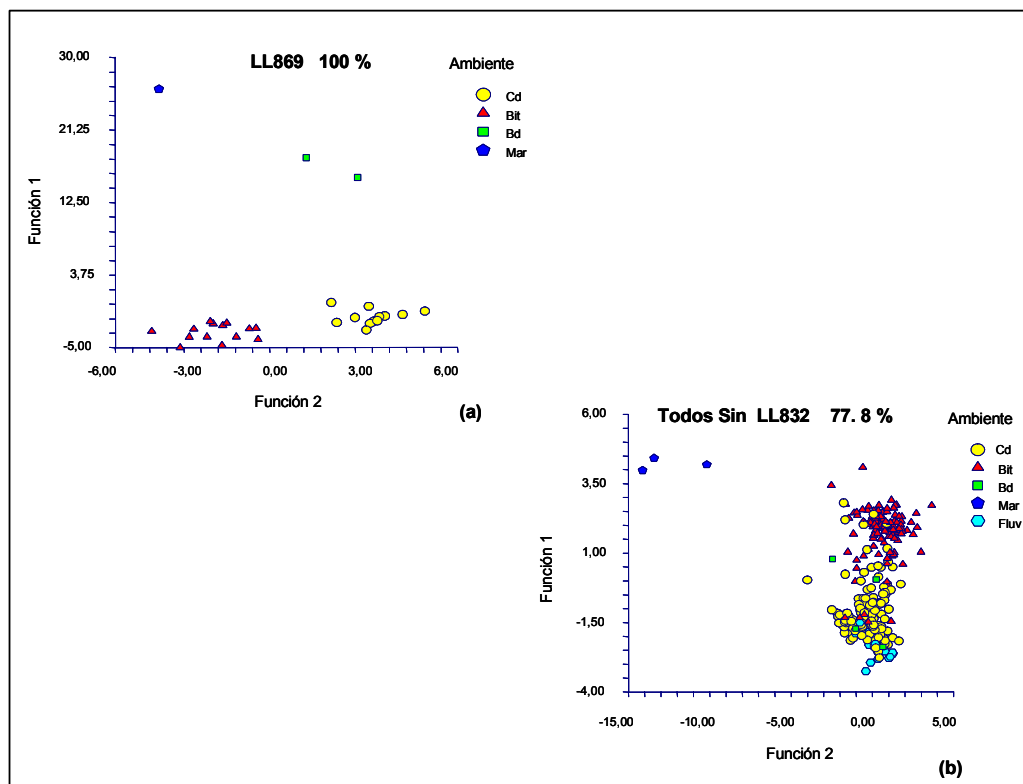


Figura 6.57. (a) Discriminación de ambientes para el pozo LL869.

(b) Discriminación de ambientes usando todos los pozos y excluyendo el LL832 el cual no posee descripción sedimentológica. En la discriminación se usaron tanto las variables químicas como radiométricas.

Las funciones discriminantes generadas para cada pozo se incluyen en el anexo IV.

Como ya se ha mencionado anteriormente no se disponía de descripción sedimentológica en el pozo LL 832, por lo que se usó esta técnica de funciones discriminantes para clasificar cada una de las muestras de este pozo. Antes de tomar en consideración que variable o grupo de variables había que utilizar se compararon los porcentajes de aciertos obtenidos en la diferenciación de ambientes usando las variables radiométricas, las químicas y todas en conjunto a fin de verificar con cual se obtienen mayores aciertos, ya antes de hacer esta comparación se sabe que probablemente la que debería obtener un mayor porcentaje de aciertos es en donde se usa el mayor numero de variables. En las tablas 6.13 y 6.14 se hace la comparación entre los porcentajes de aciertos obtenidos para cada pozo, obteniéndose los mayores porcentajes de

diferenciación tanto para los ambientes sedimentarios como para los intervalos estratigráficos cuando se usan todas las variables; por eso para obtener unas funciones discriminantes lo suficientemente confiables para ubicar cada una de las muestras del pozo LL832 en su ambiente de sedimentación, se usaron todas estas variables y todos los pozos.

Los pozos fueron clasificados en conjunto obteniéndose el gráfico de la figura 6.57.b., en donde se diferencian los campos para los distintos ambientes identificados; los límites entre estos debido su gran afinidad química y radiométrica son difusos; únicamente se separa claramente de los demás el ambiente de marisma.

VARIABLES

Pozo	Radiométricas (%)	Química (%)	Todas (%)
LL773	58,3	95,8	100
LL806	71,6	87,5	100
LL832	59,6	94,2	100
LL850	75	100	100
LL869	44,8	100	100
LL945	100	100	100
LL965	58,1	86	95,3
LL967	63,3	86,7	100
LL3045	49,1	87,9	95,2

Tabla 6.13. Porcentaje de aciertos usando diferentes combinaciones de variables en la discriminación de ambientes sedimentarios por pozo.

VARIABLES

Pozo	Radiométricas (%)	Químicas (%)	Todas (%)
LL773	53,1	88,3	100
LL806	46,4	83,8	96,8
LL832	42,3	94,2	100
LL850	32,5	73,8	100
LL869	66,9	87,6	100
LL945	100	100	100
LL965	16,3	49,8	80,5
LL967	32,6	86,7	84,4
LL3045	42,7	69,3	85,7

Tabla 6.14. Porcentaje de aciertos usando diferentes combinaciones de variables en la discriminación intervalos estratigráficos por pozo.

Con las funciones generadas asociadas a la figura 6.57.b. (Tabla 6.15) y anexo IV, se pueden clasificar cada una de las muestras del pozo LL 832 obteniendo pares de valores que se derivan de resolver la suma algebraica que se obtiene al sustituir los valores radiométricos, y de concentración de los óxidos y relaciones en estas ecuaciones y graficándolos en la figura 6.58. El porcentaje de aciertos que se puede obtener con las funciones discriminantes de la tabla 6.15 es de 77,8%. Los campos de esta figura se derivaron de la 6.57.b.

Es importante mencionar que cualquier muestra proveniente de cualquier pozo del área puede determinarse en que ambiente se originó con esta técnica, siempre que se tengan las funciones de la tabla 6.15, si se agregan nuevos elementos químicos en el análisis o se quitan otros, las funciones cambian. No necesariamente con estas funciones que caracterizan en nuestro caso el área de producción LL453, sirvan para caracterizar muestras de otras zonas u otras edades que tengan ambientes similares a los descritos en este trabajo.

Variable	Función 1	Función 2
$\gamma^{40}\text{K}$	0.48	-1.77
$\gamma^{214}\text{Bi}$	-1.29	1.07
$\gamma^{206}\text{Tl}$	3.82	-7.63
$\gamma \text{ F1}$	0.23	-0.35
$\gamma \text{ F2}$	-1.37	-3.24
$\gamma \text{ F3}$	-2.70	0.46
$\gamma \text{ F4}$	-4.09	-5.51
Al_2O_3	-0.10	0.10
SiO_2	0.06	-0.10
CaO	-0.27	-0.06
K_2O	0.81	-3.40

Tabla 6.15. Funciones discriminantes para diferenciar ambientes en el área LL453

Variable	Función 1	Función 2
TiO ₂	-1.41	-4.25
V	-0.01	0.03
MnO	4.39	-12.09
MgO	0.03	0.23
Ti/Al	9.07	13.25
Si/Al	-0.04	-0.07
K/Al	-13.77	57.46
K/Ti	0.13	-1.05
Fe/K	0.01	0.05
Cte	-1.76	13.22

Tabla 6.15. (Continuación).Funciones discriminantes para diferenciar ambientes en el área LL453

Los datos de la tabla anterior son los coeficientes que multiplican a cada una de las incógnitas; en nuestro caso las variables; basta con sustituir cada uno de los valores radiométricos y de concentración de los elementos químicos obtenidos en cada muestra, obteniéndose un par de valores que al graficarse por ejemplo en la figura 6.58, definirá a que ambiente corresponde la muestra que queramos clasificar.

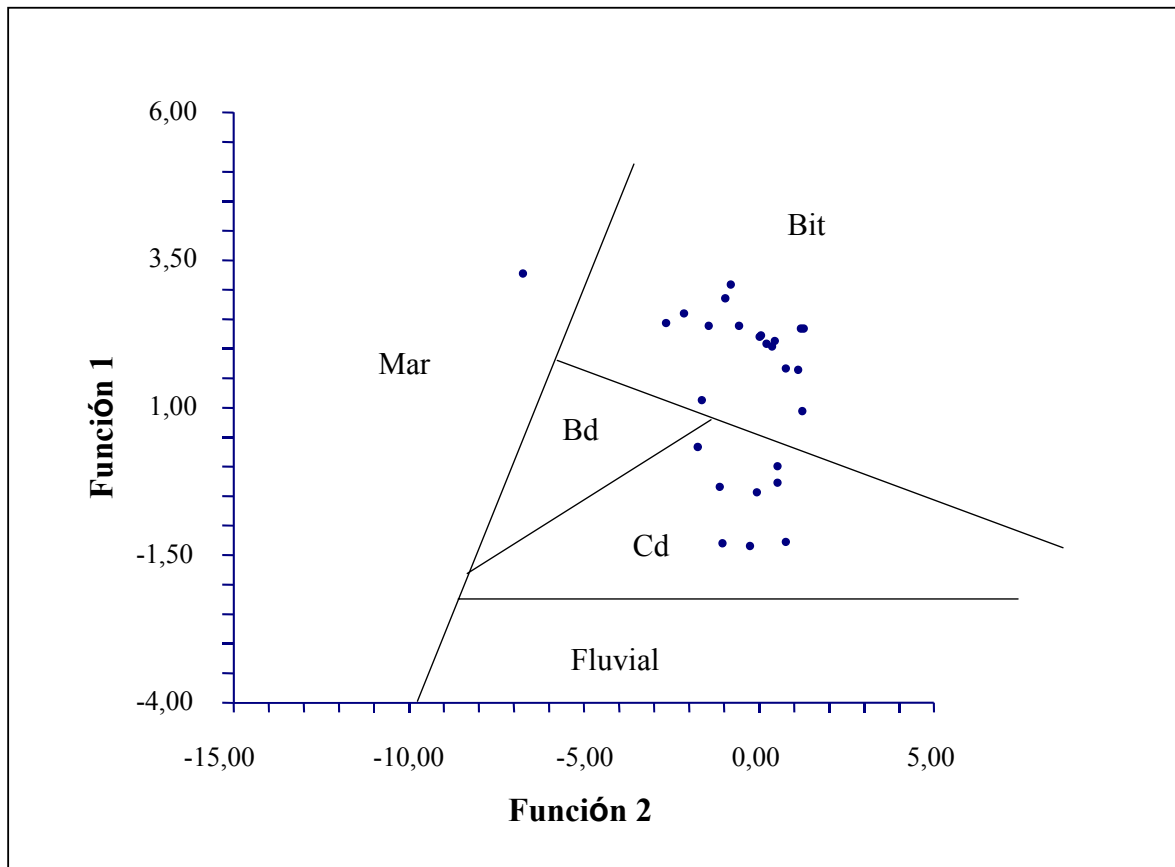


Figura 6.58. Clasificación de cada una de las muestras disponibles del pozo LL832, usando las funciones discriminantes obtenidas con la clasificación mostrada en la figura 6.57.b y las ecuaciones de la tabla 6.15 las cuales fueron generadas utilizando tanto las variables químicas como radiométricas.

Discriminación de intervalos estratigráficos

Al igual que en la discriminación de ambientes; en la diferenciación de las unidades estratigráficas se utilizaron los mismos parámetros.

Las unidades estratigráficas a que se hace referencia son las definidas en este estudio las cuales se muestran en la figura 5.2.

Las figuras 6.59, 6.60 y 6.61, muestran los gráficos generados en la discriminación de los intervalos estratigráficos por pozo, tal como se discutió anteriormente el uso de todas las variables da una diferenciación mas clara de los intervalos descritos. En algunos pozos se puede observar que la diferenciación entre algunos intervalos es difusa tal como se puede constatar en el pozo LL3045 en los intervalos 2 al 9 (figura 6.59); en el pozo LL965 presentan una diferenciación difusa, los intervalos 4, 6 y 7 (figura 6.60) y en el pozo LL967 los intervalos 2, 3, 6, 7 y 8 (figura 6.60).

En general el resto de los intervalos y en los otros pozos, los datos suelen agruparse en poblaciones a veces muy cercanas unas de otras, indicando que los intervalos presentan características químicas y radiométricas muy similares tal como puede deducirse en los intervalos 1, 2 y 3 en el pozo LL773 (figura 6.59); intervalos 2, 4 y 6 en el pozo LL850 (figura 6.60); en otros pozos las poblaciones de datos se separan mas claramente como es el caso LL945 (figura 6.60), LL832 (figura 6.59) y LL869 (figura 6.61) indicativo de que los intervalos discriminados en estos pozos presentan características químicas y radiométricas que los hacen diferentes entre ellos.

En la discriminación de intervalos estratigráficos, se realizó un ejercicio adicional en donde ahora se trata de ver como se comportan química y radiométricamente estos por pozo.

En un mismo intervalo estratigráfico penetrado por diferentes pozos, se esperaría que presentaran características químicas y radiométricas similares en cada pozo que lo penetra ya que estos intervalos fueron depositados en un periodo de tiempo determinado, en donde los procesos sedimentarios que dieron lugar a su depositación, dejaron su huella característica en estos depósitos; influenciado básicamente por la composición química de la fuente de aporte y las transformaciones químicas que se dan durante el proceso de transporte antes de la sedimentación.

En los gráficos generados, al graficar las funciones discriminantes; la composición química y radiométrica de un intervalo dado en diferentes pozos no mostraría una separación de los datos; las funciones discriminantes no serian capaces de separar la composición de un intervalo analizado en un pozo de otro, esto debido a la gran similitud de este intervalo en ambos pozos. Sin embargo en todos los intervalos este comportamiento no se da tal como se puede observar en las figuras 6.62 (a, b), 6.63 (b, c) y 6.64; la discriminación fue de 100%. La discriminación con los otros intervalos, oscila entre 82,5 % y 91,5 %; lo que implica que en cada pozo el comportamiento químico y radiométrico de los intervalos estratigráficos es diferente al de los

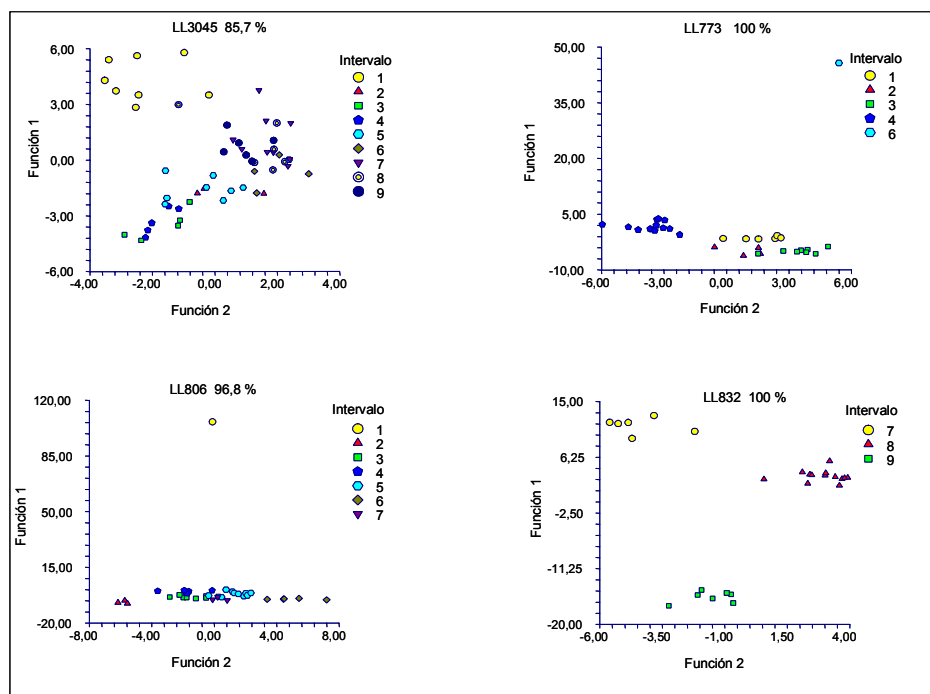


Figura 6.59. Discriminación de intervalos estratigráficos en los pozos LL3045, LL773, LL806 y LL832. Para la discriminación se usaron las variables químicas y radiométricas

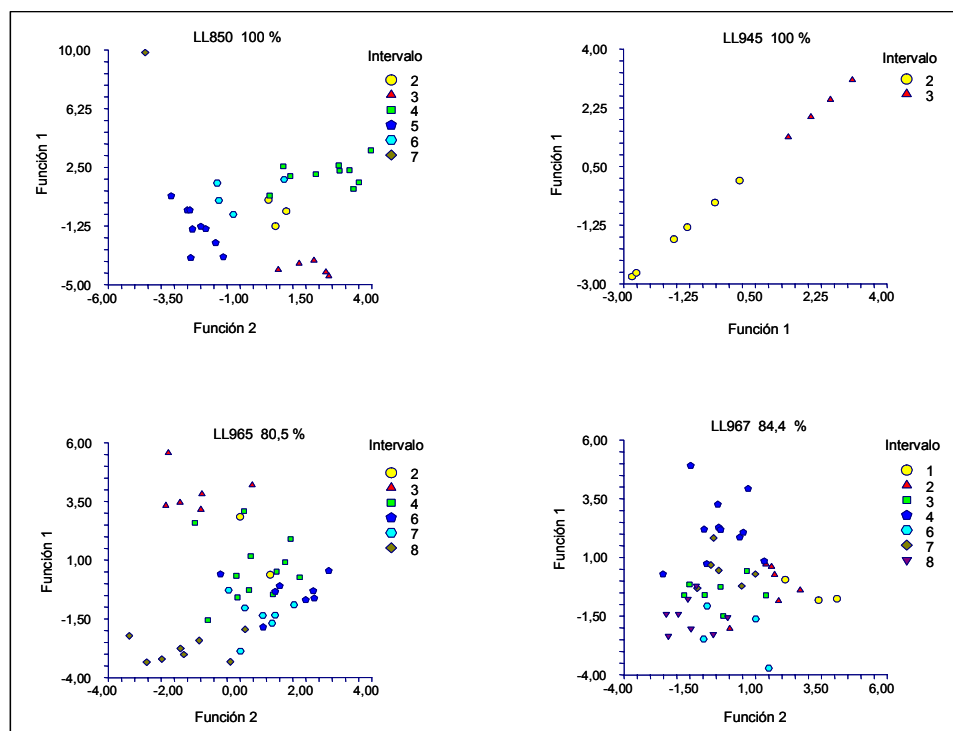


Figura 6.60. Discriminación de intervalos estratigráficos en los pozos LL850, LL945, LL965 y LL967 usando tanto las variables químicas como radiométricas.

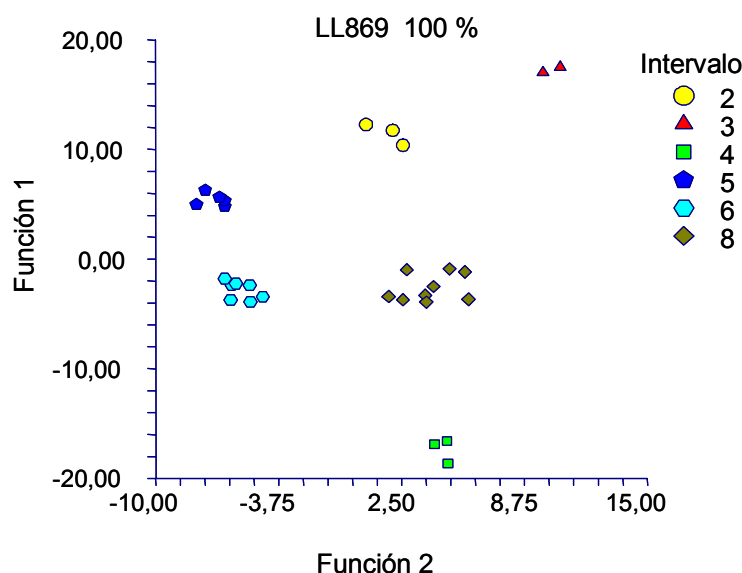


Figura 6.61. Discriminación de intervalos estratigráficos en el pozo LL869 usando todas las variables tanto radiométricas como químicas.

pozos vecinos; lo que significa que entre pozo y pozo hay diferencias químicas y radiométricas en un mismo intervalo, y esta diferenciación puede ser debida a cambios laterales de facies o a los mismos procesos de dispersión sedimentaria o a mezclas litológicas producto de la actividad biológica reflejada en los ichnogéneros observados en algunos de los intervalos.

En los intervalos cuya discriminación por pozo es de 100 %, los distintos campos son claramente separados. Un intervalo estratigráfico presentará una composición química y comportamiento radiométrico similar en cada pozo que lo contacta y que probablemente será distinto al del pozo más cercano que penetra esta unidad tal como se presenta en los intervalos 1, 2, 6, 7 y 9. Figuras 6.62 (a, b), 6.63 (b y c), y 6.64.

En los intervalos 3, 4, 5 y 8 la separación entre algunos campos, gráficamente es difusa; lo que indica similitud química y radiométrica de un intervalo o parte de este, en pozos cercanos figuras 6.62 (c,d), 6.63 (a,d).

Las funciones discriminantes generadas, se incluyen en el anexo IV.

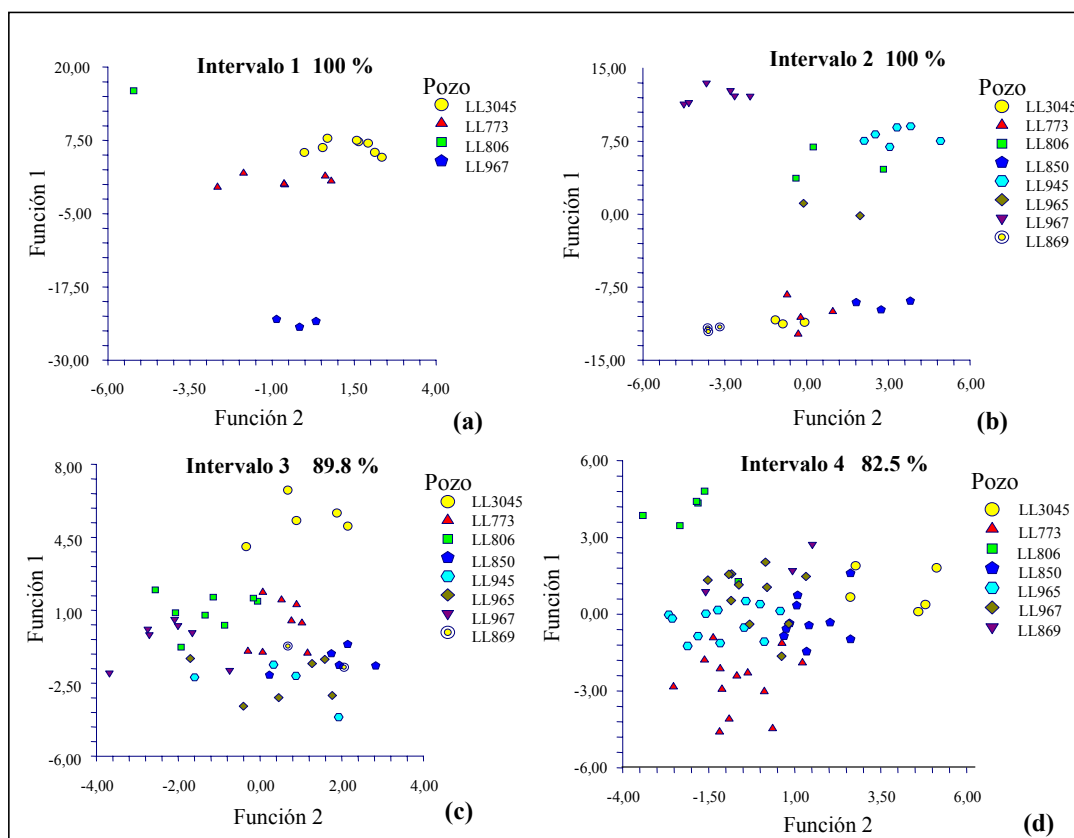


Figura 6.62. Discriminación de intervalos estratigráficos 1, 2, 3, y 4 por pozo. Usando tanto las variables químicas como radiométricas

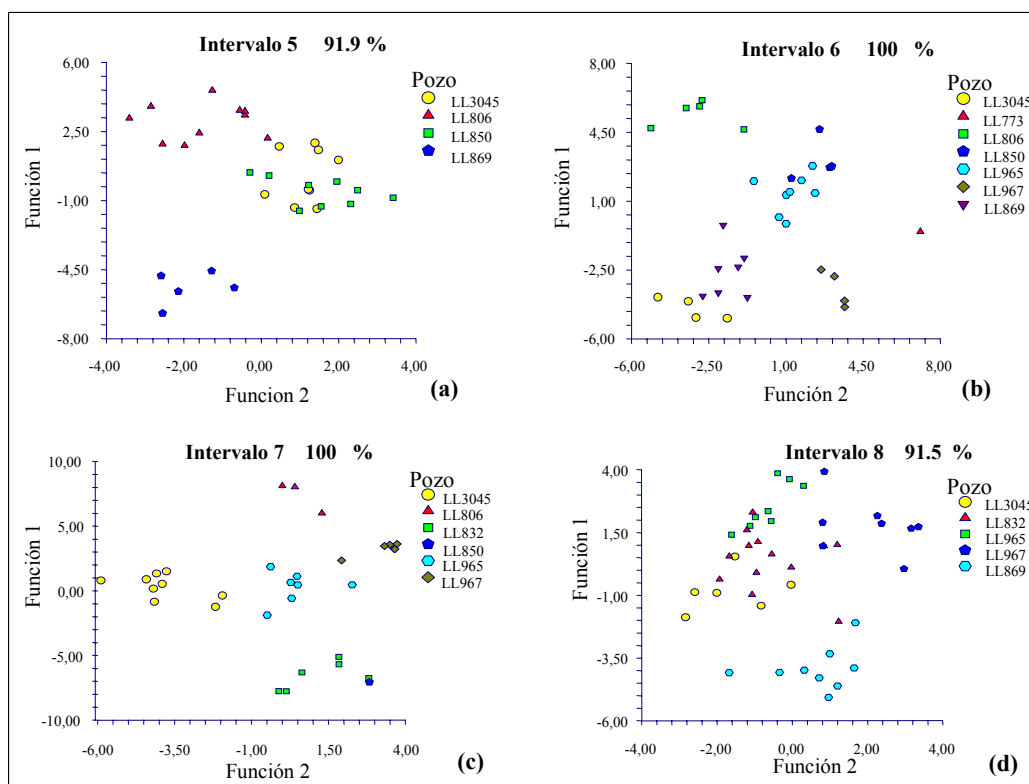


Figura 6.63. Discriminación de intervalos estratigráficos 5, 6, 7, y 8 en cada pozo. Usando tanto las variables químicas como radiométricas.

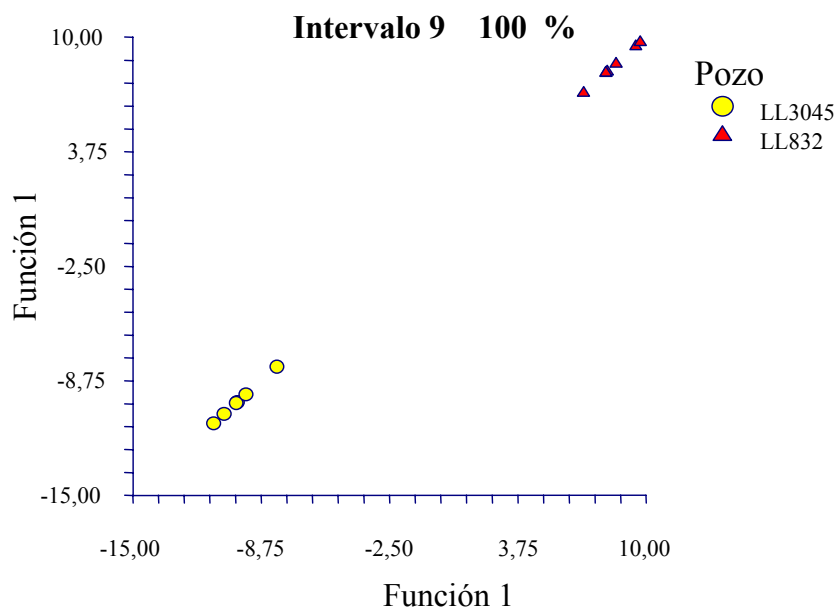


Figura 6.64. Discriminación del intervalo estratigráfico 9 en cada pozo.

7. CALIDAD DE ROCA

7.1. POROSIDAD

Las dos propiedades petrofísicas que determinan que una arenisca sea capaz de almacenar hidrocarburos y que permite que estos sean producidos, son la porosidad y la permeabilidad.

Las arenas cuando son depositadas ya sea por el viento o el agua, tienen una porosidad inicial entre 35 y 40 % con permeabilidades de algunos darcys (HAYES 1979). Luego de su depositación, comienzan actuar los procesos que reducen estos parámetros hasta los valores promedios conocidos a nivel mundial en los yacimientos de hidrocarburos los cuales oscilan entre los 10 y 25% para la porosidad y de algunas decenas de milidarcys de permeabilidad.

HAYES (*op cit.*), propone un esquema donde se relaciona la composición detrítica original de la roca con la destrucción de porosidad, por efectos de compactación mecánica y química.

SOMMER (1988) adapta a este esquema la clasificación de areniscas propuestas por FOLK (1968) obteniéndose el diagrama de la figura 7.1; en donde la pérdida de porosidad se incrementa en la medida que la arenisca tenga en su composición detrítica una mayor proporción de componentes inestables. Los campos mostrados en la figura corresponden con los propuestos por HERRON (1988), sólo que éste agregó el campo de las areniscas ferrosas no descrito por FOLK; pero que equivale al campo de las cuarzosas propuestas por SOMMER (*op cit.*), de la figura 7.1. Al tener estas areniscas un 15% o más de matriz, todas estas pasan a ser clasificadas como wacas.

En los nueve intervalos descritos en este trabajo, el esquema de HERRON (1988) identifica en estos una mezcla variable de tipos de areniscas, con un predominio mayor de un tipo sobre otro (figuras 6.37 a la 6.45), sin embargo en la distribución de las porosidades por intervalo, esta diferenciación no es evidente ya que el rango de variabilidad de las porosidades promedio por intervalo es de apenas de 1 a 2%, (figura 7.2 y tablas anexos III y IV). Si se comparan estas porosidades con las originales probables del sedimento, la reducción de porosidad fue de un 50%.

Los datos de porosidad, fueron obtenidos de los estudios de núcleos del área realizados por CORELAB (1996).

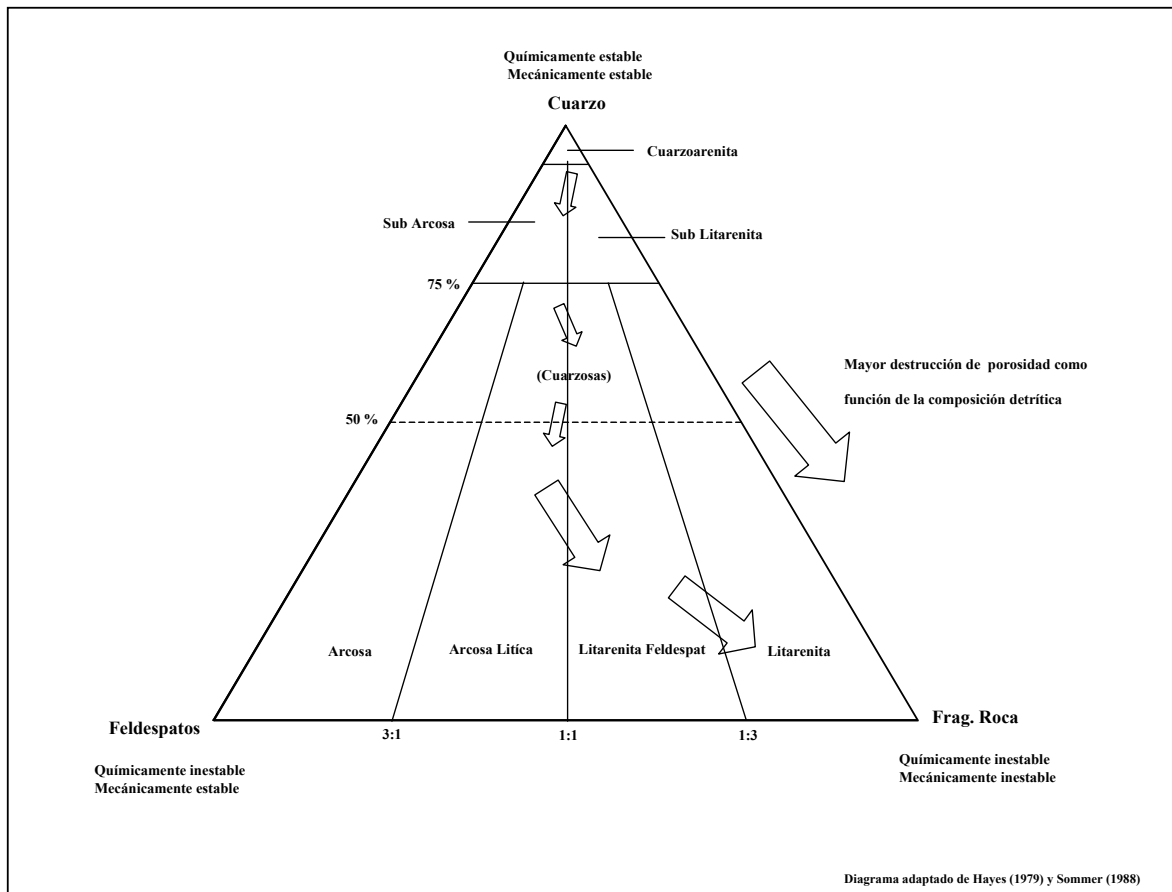


Figura 7.1. Triángulo de estabilidad mineralógica de las areniscas de acuerdo a su composición detrital.

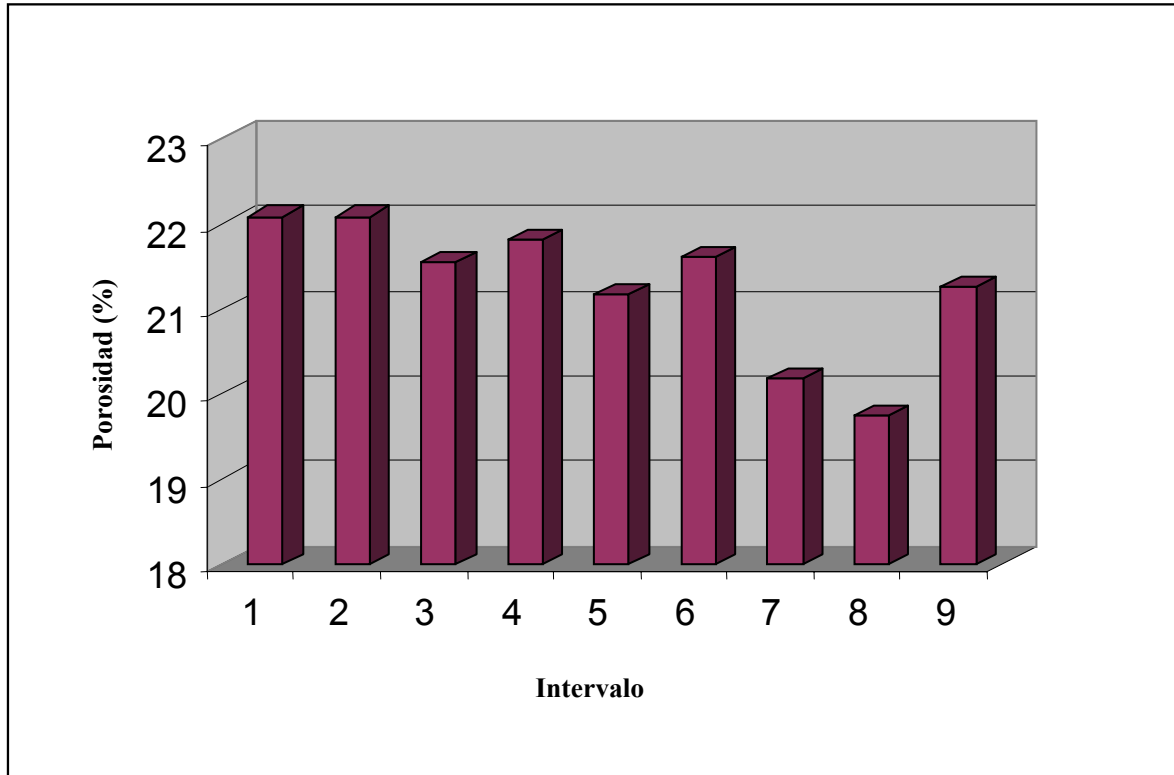


Figura 7.2. Distribución de porosidades por intervalo. Los datos de porosidades fueron obtenidos de los análisis realizados por CORELAB (1996) en los pozos del área.

En nuestro caso no se puede inferir una variación de porosidad, por variabilidad en la composición detrítica, ya que la roca ha sido afectada por procesos diagenéticos que dan origen a la formación de porosidad secundaria, ya sea por disolución de granos o de matriz que enmascaran cualquier otro proceso anterior (figura 7.3). Estos mecanismos de formación de porosidad secundaria pueden constatare a través del análisis petrográfico de las areniscas realizado por CORELAB (1996).

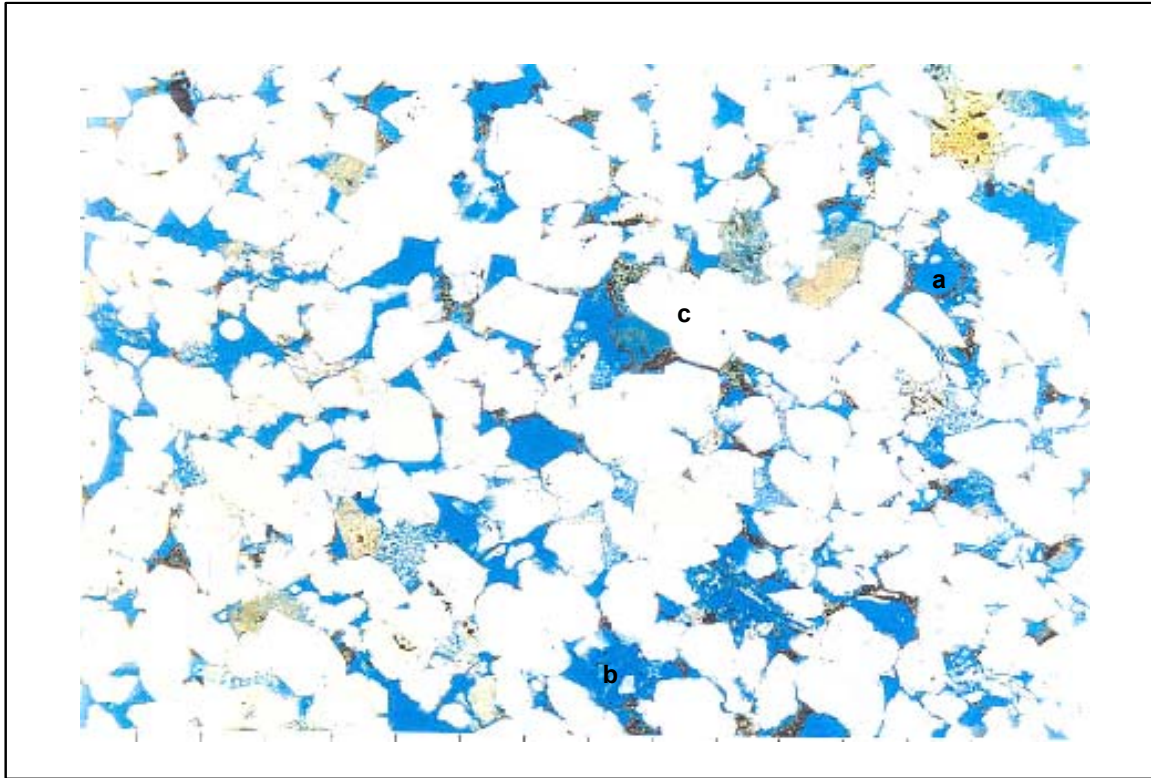


Figura 7.3. Porosidad secundaria por disolución de granos (a) y matriz (b). Granos de cuarzo en blanco (c). Pozo LL850. Prof. 6306'. (Lámina tomada de CORELAB 1996c).

7.2. PERMEABILIDAD

La permeabilidad, es una medida de la capacidad del medio en transmitir fluidos. Los yacimientos de hidrocarburos pueden tener dos tipos de permeabilidad: primaria y secundaria; la primera, se refiere a la permeabilidad de la matriz, y la secundaria es originada por fracturas y/o disolución de elementos inestables de la roca, la permeabilidad inicial y su velocidad de decrecimiento es función de la homogeneidad granulométrica; así una arena de grano fino con permeabilidad inicial baja puede ser más fuertemente afectada por procesos diagenéticos antes que una de grano más grueso.

La distribución de permeabilidades en un yacimiento especialmente en rocas de la misma facies tiende a ser log normal. La desviación estándar de la permeabilidad es mucho mayor que la de la porosidad y puede variar marcadamente cm a cm (PETTIJOHN *et al.* 1973).

La distribución de permeabilidades determinadas por CORELAB (1996) en los núcleos usados en este trabajo, presentan tal como lo señala PETTIJOHN mayores variaciones que la porosidad; en un mismo intervalo se suelen encontrar valores o muy altos o muy bajos con una desviación estándar que a veces excede al valor promedio de esta en un mismo intervalo (tabla anexo IV) lo que refleja la fuerte variabilidad de esta propiedad, la cual es controlada por la arcillosidad del medio.

El índice de madurez textural ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$), se graficó con la profundidad en cada uno de los pozos con núcleos y se comparó con el gráfico de variación de la permeabilidad con la profundidad, demostrándose que a mayores valores en esta relación, mayores valores medidos de permeabilidad, tal como se observa en las figuras 7.4 y 7.5. Las mayores permeabilidades están asociadas a aquellos horizontes con menos cantidad de arcillas que se refleja en la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ como valores muy altos. Aquellos intervalos con alto contenido de Al_2O_3 , la relación tiende a valores muy bajos al igual que su permeabilidad tal como se observa en las figuras 7.4 y 7.5.

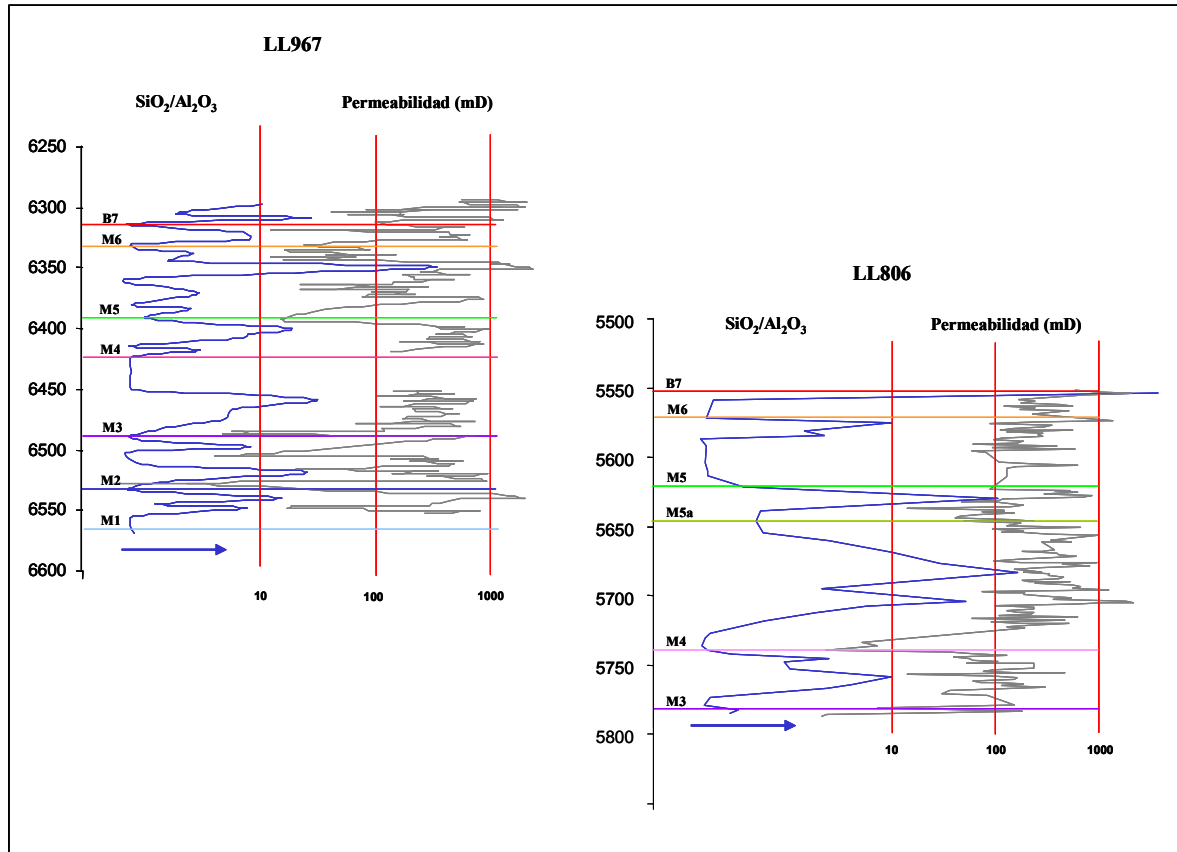


Figura 7.4. Gráficos compuestos para los pozos LL967 y LL806, en donde se compara índice de madurez textural y la permeabilidad de los intervalos. Obsérvese la buena correspondencia entre los picos de permeabilidad y los valores más altos del índice de madurez textural.

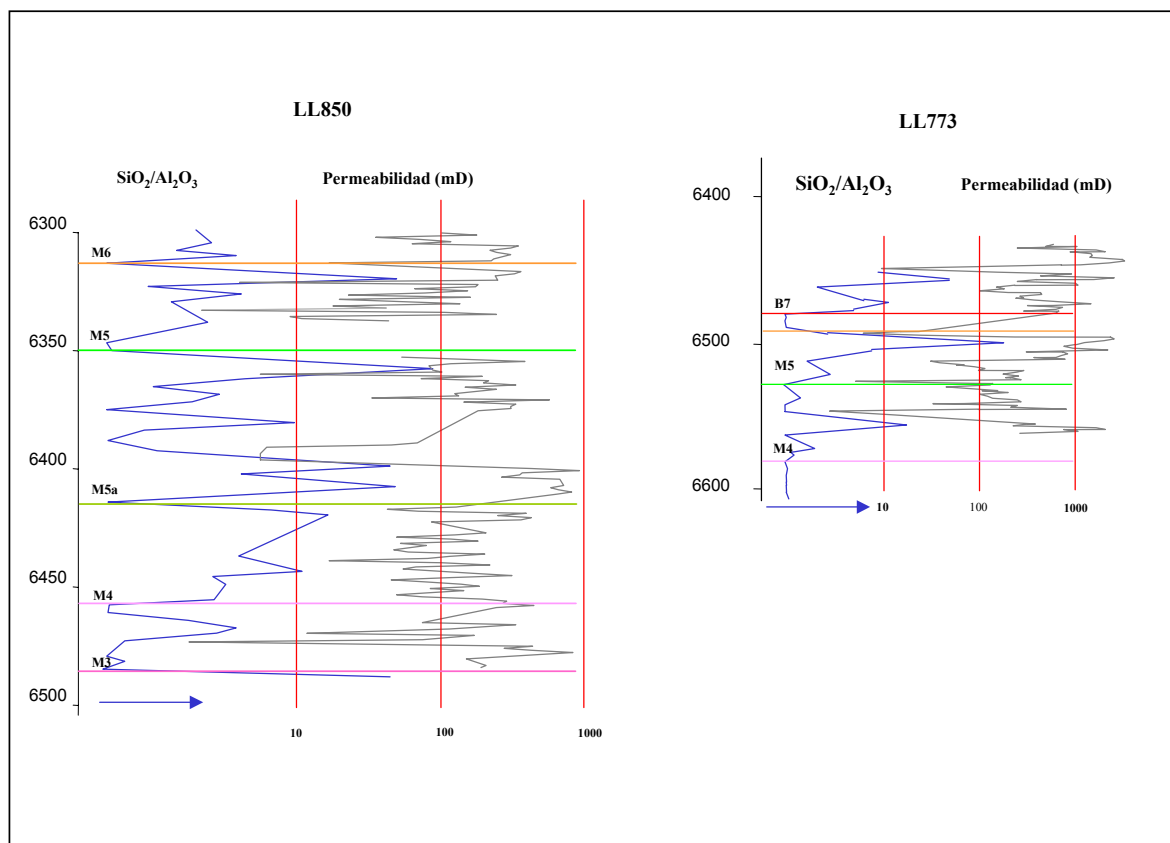


Figura 7.5. Gráficos compuestos para los pozos LL850 y LL773, en donde se compara índice de madurez textural y la permeabilidad de los intervalos.

7.3. ARCILLOSIDAD

En la evaluación petrofísica de formaciones productoras de hidrocarburos, un parámetro calculado a través de los registros tomados en el pozo, es la arcillosidad de las areniscas que se abrirán a producción; esta controla la permeabilidad de la roca y de su cuantificación, se derivan las ecuaciones que permiten calcular la saturación de agua (S_w) de donde se puede conocer cuanto es el porcentaje de hidrocarburos que satura la roca y poder calcular el volumen de reservas presente en estas formaciones.

No se han derivado nuevas ecuaciones para el cálculo de arcillosidad, pero se ha establecido una correlación entre el índice de madurez textural y los valores de radioactividad γ_{Total} , ambos valores fueron graficados contra la profundidad en cada pozo, presentando una buena correlación

vertical, lo que permite establecer visualmente que algunas arenas son más arcillosas que otras y cuáles son de mejor calidad para ser abiertas a producción.

Los valores de γ_{Total} así como el análisis químico, se pueden obtener a partir de muestras de ripios, mucho antes que la corrida de registros, lo que hace valiosa esta combinación de técnicas analíticas en pozos que carecen de registros de rayos gamma (GR) o tienen registros de muy baja calidad lo que impide su uso en correlaciones locales o regionales entre pozos; inclusive la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ o índice de madurez textural, por mostrar una buena equivalencia con el registro vertical de γ_{Total} , puede ser usada como un registro vertical de arcillosidad al no disponerse de otra información. Las figuras 7.6, 7.7, y 7.8 muestran los registros verticales para la γ_{Total} y la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ambos graficados con los registros convencionales de los pozos para su mejor comparación.

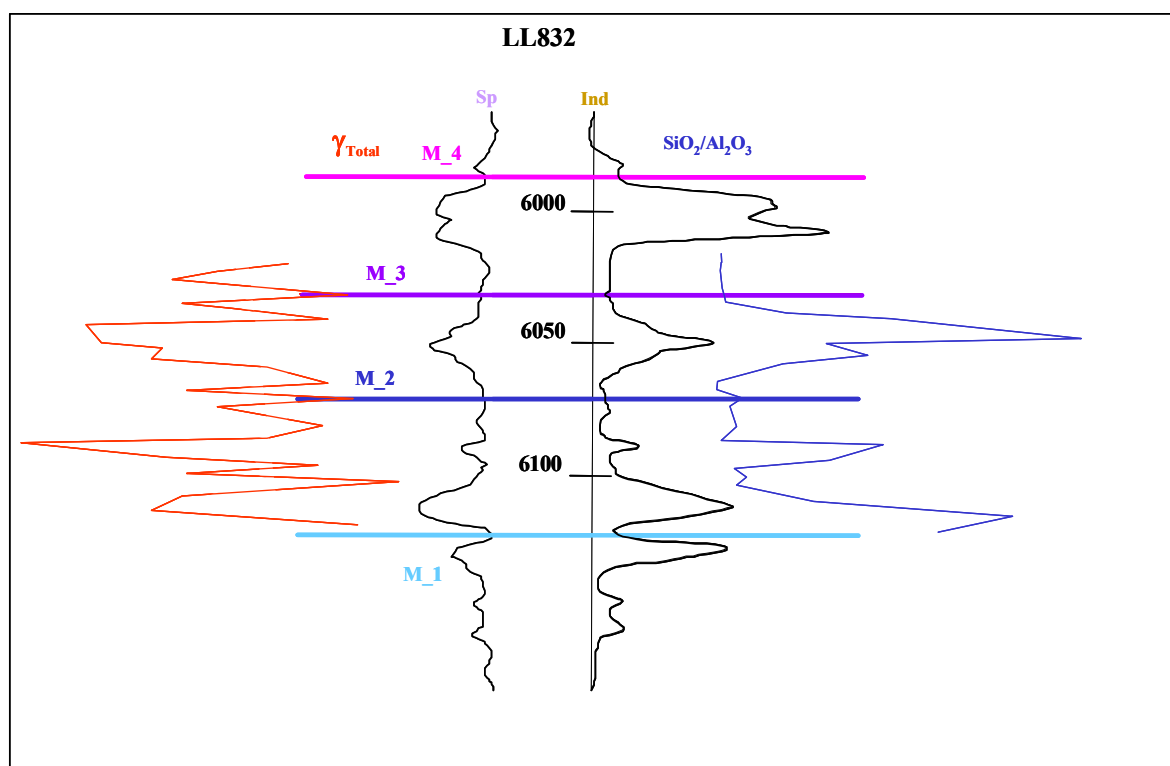


Figura 7.6. Registro compuesto donde se compara la respuesta radiométrica con el índice de madurez textural ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) en el pozo LL832.

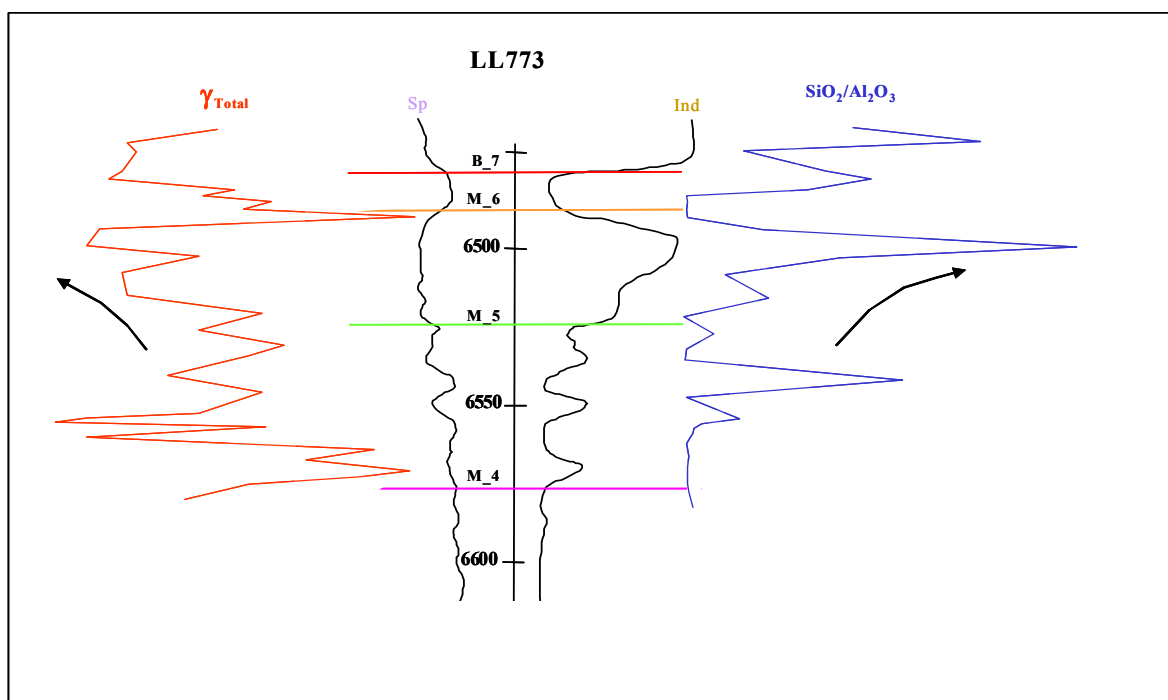


Figura 7.7. Registro compuesto donde se compara la respuesta radiométrica con el índice de madurez textural ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$). Obsérvese el carácter grano creciente del intervalo entre M_6 y M_5, reflejado tanto en la respuesta radiométrica como en la química.

Los registros compuestos mostrados en las figuras 7.6, 7.7 y 7.8 reflejan como es la variación vertical de la arcillosidad dentro de los paquetes de areniscas que marca la capacidad de estas para la acumulación y producción de hidrocarburos, en aquellos intervalos donde el índice de madurez textural $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ es alto, la intensidad de radiación γ_{Total} disminuye, con estos dos perfiles se puede tener una idea de los intervalos mas prospectivos antes de disponerse de registros corridos a los pozos.

Estos perfiles muestran una buena correlación con las lecturas obtenidas por los registros de inducción y el de potencial espontáneo tal como se muestra en las figuras 7.6 y 7.7.

En las figuras 7.7 y 7.8 se puede observar un ligero desplazamiento vertical entre estos perfiles y los registros corridos a los pozos, esta diferencia es debida a que hay un desfase entre los núcleos y la profundidad determinada por el registro, en algunos casos este desplazamiento puede llegar a 15'.

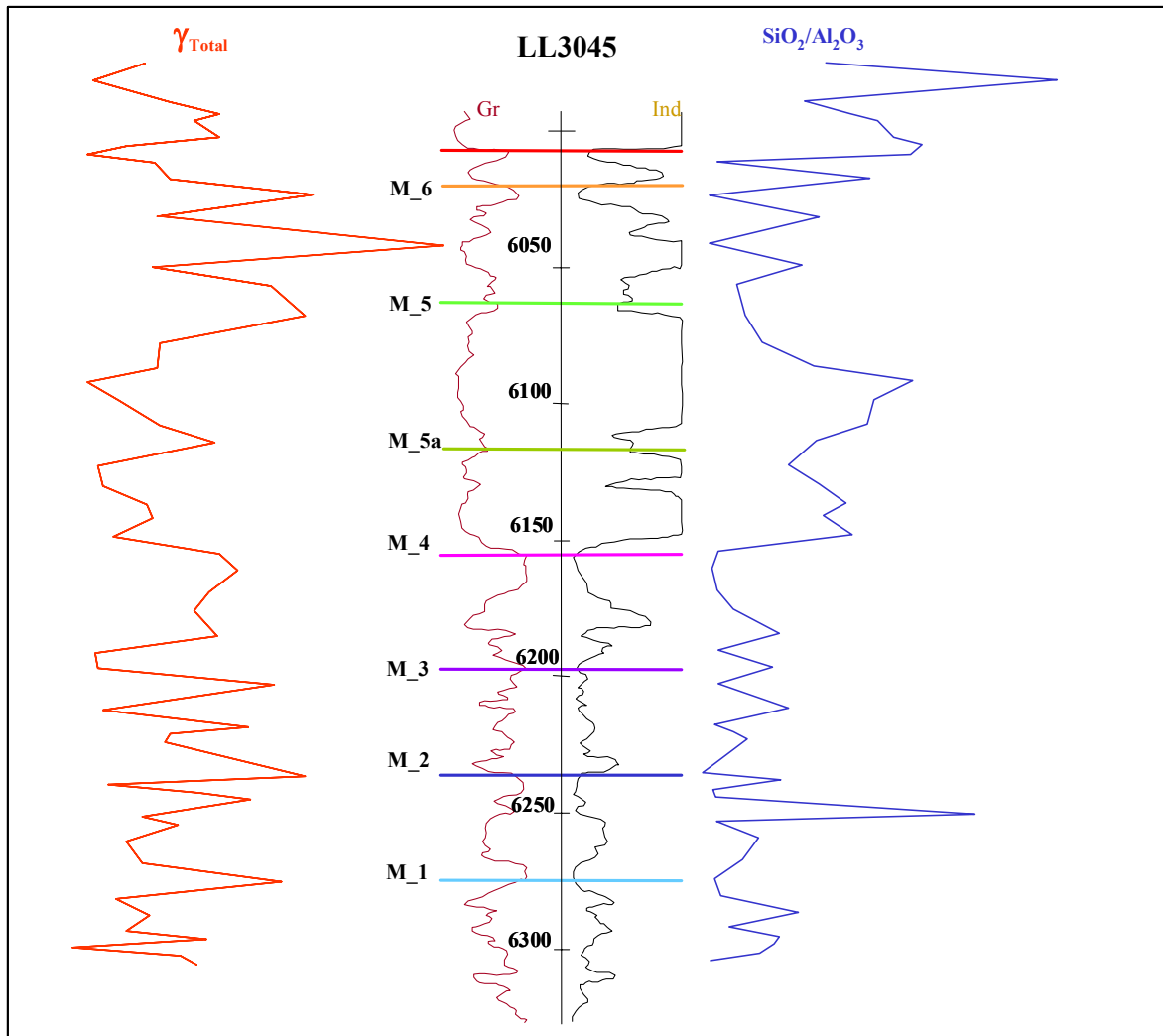


Figura 7.8. Registro compuesto en donde se puede observar la correlación entre el perfil radiométrico y el químico y como estos reflejan la variabilidad vertical de litologías presentes en el pozo.

Discusión

El uso del índice de madurez textural ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$), así como la determinación de γ_{Total} determinadas en cada una de las muestras analizadas, ha mostrado tener un enorme potencial en el establecimiento (previo a la corrida del registro) de la calidad de las rocas potencialmente almacenadoras de hidrocarburos en un área dada. Uno de los parámetros más importantes que controlan la productividad de estas rocas es la permeabilidad, la cual es controlada por la granulometría de estas, su selección, la orientación y forma de los granos así como su empaquetamiento.

Tanto el índice de madurez textural como el valor de la γ_{Total} , reflejan la cantidad de arcillas presentes en la roca; ya sea como matriz o capas arcillosas, y estas arcillas, es asociada a los niveles de energía existentes en el ambiente sedimentario. Dependiendo de la energía y retrabajo del ambiente sedimentario, el sedimento original precursor de las areniscas que almacenaran petróleo, puede ser o no mejor seleccionado, ser de grano grueso o fino, redondear más los granos, o contener mayor cantidad de arcillas como matriz; siendo estos los factores que controlan tanto la permeabilidad vertical como horizontal de estas rocas.

De los análisis realizados por CORELAB (1996) se tomaron los datos de permeabilidad y porosidad que se analizan en este trabajo; en algunos de los núcleos se puede observar que las areniscas con permeabilidades mayores de 100 mD presentan en el índice $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ los valores mas altos. A medida que esta relación se incrementa, se registra un decrecimiento en el contenido de arcillas que favorece un incremento en la permeabilidad.

En cuanto a la porosidad HAYES (1979) establece que esta tiende a decrecer, a medida que en la composición detrítica de las areniscas se incrementa la proporción de fragmentos inestables, básicamente fragmentos de rocas y feldespatos.

Según los tipos de areniscas predominantes en la sección analizada, abundan areniscas con una proporción importante de fragmentos de roca, que según el esquema de HAYES (*op cit.*) mostrado en la figura 7.1, la reducción de porosidad desde el sedimento original (normalmente en el orden de 35% a 40 %), por efecto de compactación química y mecánica debería ser alta; sin embargo las porosidades medidas en los intervalos mas arenosos como lo son el 1, 2, 3, 4, y 5 muestran rangos de porosidades entre 21% y 22 % equivalente a un 50 % de reducción de porosidad desde el sedimento suelto al litificado. Con un predominio de elementos inestables en la composición detrítica en estas areniscas, se debería esperar una mayor reducción de la porosidad; esto

posiblemente fue así en la historia geológica de estas, pero ha sido precisamente la composición detrítica la que ha favorecido la formación de porosidad secundaria en estas, ya que muchos de estos componentes fueron disueltos mejorando la porosidad de la arenisca.

La maduración de la materia orgánica pregeneración del petróleo pudo haber sido la responsable de producir ácidos orgánicos a partir del CO_2 , capaces de disolver el Al_2O_3 , a silicatos y complejos orgánicos que mantendrán el Al^{3+} en solución durante el transporte, además del metano que provee parte de la presión que mantiene activa la migración de fluidos (SIEBERT *et al.* (1984).

BJORLYKKE (1984) mostró que la materia orgánica normalmente no contiene suficiente oxígeno para generar suficiente CO_2 , como para explicar la porosidad secundaria en muchas cuencas. Sin embargo, se ha demostrado que la solubilidad del Al^{3+} se puede incrementar significativamente por la presencia de complejos orgánicos en el sistema.

Este parece ser uno de los mecanismos de formación de porosidad secundaria en cuencas petrolíferas y que perfectamente puede ser un mecanismo viable en el área LL453, donde es común encontrar en las lutitas del intervalo estudiado materia orgánica en forma de restos de plantas. El CO_2 también puede provenir de la misma roca generadora de hidrocarburos de la cuenca como lo es la Formación La Luna y viajar través de las fallas mayores y secundarias existentes en el área y en sus vecindades tal como se muestra en la figura 4.8 y afectar toda la sección que este cortada o afectada por algunas de estas fallas.

8. CONCLUSIONES

- El análisis químico mediante el uso del método de fluorescencia de rayos X por energía dispersiva, resultó una técnica analítica eficiente, económica y muy rápida en la determinación de los elementos químicos mayoritarios expresados como sus óxidos más comunes. Tal como ha sido demostrado por numerosos autores en la literatura, este método analítico es muy útil cuando se deben analizar una gran cantidad de muestras en un tiempo relativamente corto en comparación a otros métodos mas sofisticados y con un rango de error en las determinaciones relativamente bajo.
- La comparación entre la composición química de areniscas fluviales recientes y la de areniscas antiguas como las usadas en este trabajo, ha mostrado que en estas últimas hay un ligero incremento en la concentración de CaO, MgO, K₂O y un decrecimiento en la concentración de TiO₂ y Fe₂O₃; diferencias producidas por los procesos que tienen lugar durante el soterramiento.
- La diferencia composicional que puede existir entre las distintas areniscas analizadas en este trabajo, viene dada por el tipo de ambiente en que estas fueron depositadas y por la energía que prevaleció en este durante la depositación; los mayores cambios se notan en las concentraciones de Al₂O₃, TiO₂, CaO y Fe₂O₃.
- La secuencia estratigráfica analizada, fue depositada en un ciclo progradante, lo que caracteriza los ambientes sedimentarios encontrados en esta secuencia, los cuales se desarrollan en un plano deltaico bajo; surcado por canales distributarios, en donde hay una fuerte influencia de las mareas. Se identifican además depósitos de bahías interdistributarias, marismas, barras de desembocadura así como sedimentos de origen fluvial.

- Las comparaciones composicionales, se deben hacer sobre rocas con un origen común, de edad similar, y que hayan sido sometidas a factores de cambio similares. Las diferencias que surgen en estas correlaciones, son las que permiten diferenciar una unidad estratigráfica de otra o un ambiente sedimentario de otro.
- De acuerdo a la composición mineralógica de las arcillas; determinadas por difracción de rayos X, estas han sido afectadas por un proceso de diagénesis de soterramiento intermedio que implica profundidades entre 6000' o más de 8000'.
- La relación K_2O/Al_2O_3 permitió identificar la presencia de superficies de erosión o de hiatus en cada uno de los pozos analizados del área. La única superficie analizada de carácter regional, corresponde al contacto entre B-6-X y B-7-X; esta superficie ya había sido descrita como un posible límite mediante el análisis del apilamiento sedimentario tanto por arriba como por debajo de esta.
Tanto este índice (K_2O/Al_2O_3) así como las variaciones composicionales observadas en los perfiles geoquímicos, corrobora la presencia de esta discontinuidad estratigráfica.
- El comportamiento del índice K_2O/Al_2O_3 así como el uso de la relación TiO_2/Al_2O_3 en superficies de erosión conocidas tales como la de *Glossifungites* o al tope de las secuencias de carbón; presentes en alguno de los pozos, permitió establecer el patrón que da lugar a la identificación de otras superficies de erosión o de hiatus no tan evidentes en la secuencia estratigráfica analizada.
- El uso de perfiles de γ_{Total} permitió, identificar las seis superficies de inundación que marcan el inicio y el final de la depositación de los intervalos definidos en la secuencia estratigráfica estudiada en el área, estas se denominaron con el prefijo M_X, donde X= 1, 2,...,6. Las variaciones químicas observadas en los perfiles geoquímicos, así como en los dendogramas de agrupamiento vertical, corroboran lo interpretado con los perfiles radiométricos.

- Los perfiles geoquímicos verticales permitieron identificar en los pozos con núcleos del área, variaciones químicas verticales asociadas a la diferenciación de los lóbulos deltaicos que progradaron en la zona.
- Los marcadores que delimitan los intervalos estratigráficos definidos en la secuencia estudiada, así como estos mismos intervalos, pueden ser diferenciados uno del otro a partir de la variabilidad vertical de la concentración de los componentes químicos usados en la construcción de estos perfiles, así como el uso intensivo del índice de homogeneidad química ($\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$), permitió la definición de marcadores geoquímicos de primer orden coincidentes con los marcadores estratigráficos o superficies de inundación, definidas previamente con la correlación convencional de registros de pozos. Esta técnica mostró que se pueden diferenciar intervalos estratigráficos, parasecuencias o grupo de parasecuencias solo analizando la variabilidad química vertical de una sección.
- En la técnica de análisis de agrupaciones, donde estas se grafican como dendogramas, el que mostró ser una herramienta poderosa en los análisis estratigráficos, fueron: los dendogramas de agrupamiento vertical; estos mostraron en muchos casos las diferencias químicas entre un intervalo y otro, mostró además que aquellos intervalos que litológicamente lucen homogéneos, químicamente presentan variaciones composicionales internas.
- El uso de perfiles geoquímicos complementados con los dendogramas de agrupamiento vertical y los perfiles radiométricos, constituyen una herramienta poderosa en el análisis quimioestratigráfico de una sección.
- La clasificación litológica de HERRON, permite obtener una visión de los tipos litológicos atravesados por un pozo, capaz de discriminar las lutitas de las areniscas en base a su contenido de Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , y K_2O , sin embargo en la diferenciación de algunos tipos de areniscas, muestra que esta puede fallar; tal como se demostró en la clasificación química de algunas de estas en este trabajo.

- Tal como es señalado en la literatura, el K_2O es el único componente químico agregado a las arcillas con un incremento de la profundidad. Este fenómeno ha sido identificado también en las muestras analizadas de este trabajo; el mismo se produce con la incorporación continua de K^+ en la estructura de la esmectita. Este elemento proviene de la descomposición de micas y feldspatos. A medida que el contenido de K_2O se incrementa en las arcillas, el coeficiente de correlación “r” entre el Al_2O_3 y el K_2O se incrementa en aquellos pozos que están estructuralmente mas bajos (figura 5.7 y tabla 6.11).
- El uso de funciones discriminantes donde se aplicaron variables radiométricas, demostró que en la diferenciación de intervalos estratigráficos y ambientes sedimentarios es menos eficiente en la discriminación; que cuando se hizo esta misma diferenciación con las variables químicas. La diferenciación en todos los casos fue más bien difusa, lo que demostró que radiométricamente las litologías que caracterizan los ambientes sedimentarios así como los intervalos estratigráficos son similares en el área LL453.
- Se demostrado que a mayor numero de variables consideradas, la discriminación tiende a aumentar. Esta característica fue muy útil en la discriminación de intervalos estratigráficos y ambientes sedimentarios cuya variabilidad química y radiométrica era similar. Una mayor combinación de variables permitió establecer leves diferencias entre cada uno de estos, ya sean intervalos o ambientes que permitió separarlos uno de otros y que de otro modo era muy difícil establecer.
- El pozo LL965, es el que muestra la menor discriminación tanto de ambientes como de intervalos ya sea usando variables químicas o radiométricas; esto refleja una menor variabilidad composicional a lo largo del toda la sección analizada; probablemente esto es debido a que es en este pozo donde se registra una mayor actividad biológica expresada por la abundancia relativa de ichnogéneros en comparación a los otros pozos. Esta actividad produjo una homogeneización litológica en muchas partes del pozo.

- En la caracterización de ambientes, se generaron las funciones discriminantes que definen los campos composicionales característicos para cada uno de estos, estas funciones son mostradas en tabla 6.15, y los campos composicionales en la figura 6.57; estas funciones reflejan la historia depositacional y de soterramiento del área LL453, en otras áreas cuya secuencia se desarrolló en un medio sedimentario similar al descrito en el área LL453; no necesariamente estas funciones serán capaces de discriminar sus ambientes.
- En el pozo LL832 se identificaron; depósitos de bahías interdistributarias, canales distributarios y de marismas. La diferenciación de estos ambientes fue posible con el uso de las funciones discriminantes características del área LL453, reflejadas en la tabla 6.15 y la figura 6.57.
- El índice de madurez textural $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ refleja de manera cualitativa, las variaciones verticales en la calidad de las rocas como almacenadoras de hidrocarburos en el área LL453. A mayores valores de esta relación, tendremos mayores valores en la permeabilidad.
- En base a la composición detrítica de las areniscas predominantemente en la sección analizada, básicamente sublitarenitas, litarenitas y wacas; se debería esperar una reducción de la porosidad por compactación química y mecánica desde el sedimento original (35 - 40 %) a la roca final, mayor a la observada (21 - 22 %), esta reducción en la porosidad, probablemente sucedió, pero la maduración de la materia orgánica presente en las lutitas adyacentes o cercanas generó el CO_2 necesario para dar origen a la formación de ácidos orgánicos capaces de disolver los granos detríticos inestables dando origen a porosidad secundaria.

9. RECOMENDACIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo en donde se aplicaron herramientas estadísticas a un conjunto de parámetros químicos y radiométricos con la finalidad de diferenciar ambientes de sedimentación así como intervalos estratigráficos, identificar superficies de erosión o hiatus y caracterizar superficies de inundación. Se recomienda aplicar esta misma técnica al resto de la secuencia sedimentaria de la Formación Misoa. Al caracterizar química y radiométricamente esta sección, se obtendrán las funciones discriminantes que puedan permitir incluso diferenciar los distintos intervalos estratigráficos que la conforman e inclusive diferenciar los ambientes sedimentarios de esta.
- En este estudio no se caracterizó ninguna superficie de máxima inundación por lo que se sugiere que en estudios futuros analicen las dos principales superficies de inundación máxima identificadas en la Formación Misoa como lo son la Mfs de 46,5 Ma y la Mfs de 42,5 Ma; la primera originada en el primer ciclo sedimentario de origen tectónico que afecto a la secuencia sedimentaria de edad Eoceno y la segunda originada durante el segundo ciclo tectónico mostrados en la figura 4.6.
- Si se va a analizar toda la secuencia sedimentaria de la Formación Misoa, se recomienda caracterizar ambos ciclos sedimentarios de origen tectónico por separado, para así poder establecer la posible existencia de diferencias químicas y radiométricas entre ambos ciclos y que serán derivadas de la misma evolución tecto-sedimentaria de la cuenca.
- En el área vecina a la zona estudiada como lo es el área de producción LL370, se disponen de ocho núcleos en los mismos intervalos estudiados en esta investigación, por lo que se recomienda que el primer paso a dar es el de caracterizar química y radiométricamente esta área y generar las funciones discriminantes comunes que permitan discriminar los ambientes sedimentarios como intervalos estratigráficos tanto del área LL370 como LL453. Con esta información se dispondrá de una herramienta poderosa que ayudara a establecer correlaciones mas precisas en los distintos yacimientos de hidrocarburos presentes en ambas zonas y que redundará en una explotación más eficientes de estos.

- Para establecer el control geoquímico que puede existir en la generación y pérdida de la porosidad de la sección sedimentaria productora del área LL453, se recomienda realizar un estudio diagenético en lo posible en las mismas muestras analizadas en este trabajo; al disponerse de los análisis químicos y radiométricos, así como de un análisis petrográfico detallado se puede definir un modelo de evolución diagenética que permitirá predecir en un momento dado la porosidad asociada en un área no perforada.
- Usar la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ en conjunto con la γ_{total} a partir del análisis de ripios, como una herramienta de correlación previa durante la perforación de nuevos pozos y comparar su efectividad con otras herramientas normalmente usadas con tal propósito.
- Al disponerse de más pozos con análisis químicos y radiométricos en la zona o al analizarse los pozos del área LL370; construir mapas de tendencias de variación de las concentraciones de los componentes químicos determinados en las muestras por intervalo y comparar estos resultados con el comportamiento de producción de cada uno de los pozos en estos horizontes.

10. BIBLIOGRAFÍA

- ADAMS J. A. S. & C. E. WEAVER. 1958. Thorium to Uranium Ratios as Indicator of Sedimentary Processes: Example of Concept of Geochemical Facies. *AAPG. Bull.* 42 (2): pp. 387-430.
- AHRENS L. H., F. PRESS., K. RANKAMA & S. K. RUNCORN. 1959. *Physics and Chemistry of the Earth*. Pergamon Press Eds. New York. 464 p.
- ALDAHAN A., G. POSSNERT., R. SHERER., N. SHI., J. BACKMAN & K. BOSTRONM. 2000. Trace elements and major element stratigraphy in Quaternary sediments from the Artic Ocean and implications for glacial termination. *Journal of Sedimentary Research*. 70 (5): 1095-1107.
- AL-GAILANI M. B. 1980. Geochemical identification of unconformities using semi-quantitative X-ray fluorescence analisis. *Journal of Sedimentary Petrology*. 50(4): 1261-1270.
- AL-GAILANI M. B. 1981. Authigenic mineralizations at unconformities: Implication for reservoir characteristics. *Sedimentary Geology*. 29: 89-115.
- AUDEMARD F. 1991. *Tectonics of Western Venezuela*. Rice University. Ph.D. Thesis. Inédito. 145 p.
- BARTOK P., T. J. REIJERS & I. JUHASZ. 1981. Lower Cretaceous Cogollo Group, Maracaibo basin, Venezuela. Sedimentology, Diagenesis and Petrophysics. *AAPG Bulletin*. 65(6): 1110-1134.
- BHATIA M. R. 1983. Plate Tectonics and Geochemical Composition of Sandstones. *The Journal of Geology*. 91 (6): 611-627.

- BELLANCA A., D. MASETTI., R. NERI & F. VENEZIA. 1999. Geochemical and sedimentological evidence of productivity cycles recorded in Toarcian Black Shales from Belluno Basin, Southern Alps, Northern Italy. *Journal of Sedimentary Research*. 69(2): 466-477.
- BJORLYKKE K. 1984. Formation of secondary porosity. How important is it?. In “Clastic Diagenesis, part 2” *AAPG. Memoir* 37, p. 277-86.
- BOESI T. & D. GODDARD. 1988. A new geologic model related to the distribution of hydrocarbon source rocks in the Falcón basin, Northwestern Venezuela, in K. T. BIDDLE, editor. Active Margin Basins. *AAPG. Memoir* 52, p. 35-49.
- BOLES J. & S. FRANKS. 1979. Clay diagenesis of Wilcox Sandstones of Southwest of Texas, Implications of smectite diagenesis on sandstones cementation. *Journal of Sedimentary Petrology*. 49(1): 55-70.
- BRICEÑO H., A. CALLEJÓN & R. LANDER. 1996. Caracterización de quimiofacies en rocas Cretácicas del área sur del estado Táchira, Venezuela occidental. *AAPG Bulletin*. 80(8): 1276.
- BRICEÑO H. & A. CALLEJÓN. 2000. Chemostratigraphic Correlation of Source Rock in the La Luna K/T (!). Petroleum System in Southwestern Venezuela. *SEPM Research Conference: “Paleogeography and Hydrocarbon Potencial of the La Luna Formation and Related Cretaceous Anoxic Systems”* Edición en CD, Caracas.
- BRYAN F. J. 2000. *Multivariate Statistical Methods*. Second edition. Chapman & Hall editors. London. 180 p.
- CIEN–COMITÉ INTERFILIAL DE ESTRATIGRAFÍA Y NOMENCLATURA. 1999. *Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela*. Edic. PDVSA, en CD. Actualización marzo 1999. Caracas. O www.pdv.com/lexico.

- CORELAB 1996a. *Estudio integrado de sedimentología y petrología, Pozo LL773, Miembros B-5-X, B-6-X y B-7-X. Formación Misoa, Área LL453, Cuenca de Maracaibo.* Informe elaborado para Lagoven S.A., Maracaibo. 44 p.
- CORELAB 1996b. *Estudio integrado de sedimentología y petrología, Pozo LL806, Miembros B-6-X y B-7-X. Formación Misoa, Área LL453, Cuenca de Maracaibo.* Informe elaborado para Lagoven S.A., Maracaibo. 61 p.
- CORELAB 1996c. *Estudio integrado de sedimentología y petrología, Pozo LL850, Miembro B-7-X. Formación Misoa, Área LL453, Cuenca de Maracaibo.* Informe elaborado para Lagoven S.A., Maracaibo. 65 p.
- CORELAB 1996d. *Estudio integrado de sedimentología y petrología, Pozo LL869, Miembros B-6-X, B-7-X y B-8-X. Formación Misoa, Área LL453, Cuenca de Maracaibo.* Informe elaborado para Lagoven S.A., Maracaibo. 64 p.
- CORELAB 1996e. *Estudio integrado de sedimentología y petrología, Pozo LL945, Miembros B-6-X y B-7-X. Formación Misoa, Área LL453, Cuenca de Maracaibo.* Informe elaborado para Lagoven S.A., Maracaibo. 68 p.
- CORELAB 1996g. *Estudio integrado de sedimentología y petrología, Pozo LL965. Miembros B-7-X y B-8-X. Formación Misoa, Área LL453, Cuenca de Maracaibo.* Informe elaborado para Lagoven S.A., Maracaibo. 53 p.
- CORELAB 1996h. *Estudio integrado de sedimentología y petrología, Pozo LL967, Miembros B-6-X, B-7-X y B-8-X. Formación Misoa, Área LL453, Cuenca de Maracaibo.* Informe elaborado para Lagoven S.A., Maracaibo. 60 p.
- CORELAB 1996i. *Estudio integrado de sedimentología y petrología, Pozo LL3045. Miembros B-6-X, B-7-X y B-8-X. Área LL453, Cuenca de Maracaibo.* Informe elaborado para Lagoven S.A., Maracaibo. 81 p.

- DAVIES S. J. & T. ELLIOTT. 1994. Gamma-ray of high resolution sequence stratigraphic signatures in Upper Carboniferous delta systems; an analogue for subsurface. *AAPG HEDBERG Research Conference, Application of Sequence Stratigraphy to Oil Field Development*. Paris. Memoirs.
- DAVIS J. C. 1986. *Statistics and data analysis in geology*. Second edition. John Wiley and sons, editors. New York. 645 p.
- DYPVIK H. & D. O ERIKSEN. 1983. Natural Radioactivity of Clastic Sediments and Contributions of U, Th and K. *Journal of Sedimentary Geology*. (54): 409-416.
- EHRENBERG S. N. & E. SIRING. 1990. Use of bulk chemical analysis in stratigraphic correlation of sandstones: An example from the Statfjord Nord Field, Norwegian Continental Shelf. *Journal of Sedimentary Petrology*. 62(2): 318-330.
- EHRENBERG S. N., & T. A. SVANA. 2001. Use of Gamma - Ray signature to interpret stratigraphic surfaces in carbonates strata: An example from the Finnmark Carbonate Platform. (Carboniferous – Permian). Barents Sea. *AAPG. Bulletin*. 85(2): 295-308.
- ERLICH R. N., S. E. PALMER-KOLEMAN & M. A. LORENTE. 2000. Geochemical characterization of oceanographic and climatic changes recorded in upper Albian to lower Maastrichtian strata, western Venezuela. *SEPM Research Conference: "Paleogeography and Hydrocarbon Potencial of the La Luna Formation and Related Cretaceous Anoxic Systems"* Edición en CD, Caracas.
- FAURE G. 1998. *Principles and Applications of Geochemistry*. Prentice Hall eds. 2nd edition, New Jersey. 600 p.
- FOLK R. L. 1968. *Petrology of Sedimentary rocks*. Hemphill's Eds. Austin. Texas. 170 p.

- GHOSH S. 1984. Late Cretaceous condensed sequence, Venezuelan Andes in W.E. BONINI, R.B. HARGRAVES, & R. SHAGAN, eds., *The Caribbean – South American boundary and regional tectonics*. GSA Memoir 162, p. 317-324.
- GHOSH S., B. AGUADO., J. MAGUREGUI & N. MARIÑO. 1989. Control de propiedades petrofísicas del yacimiento B-6-X.10 por la discordancia del post Eoceno en la Cuenca de Maracaibo. *Mem. VII Congreso geológico venezolano*, pp. 261-288.
- GONZÁLEZ DE JUANA C., J. ITURRALDE & X. PICARD. 1980. *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Ediciones Foninves, Caracas, 1031 p.
- HAQ B. U., J. HARDENBOL & P. R. VAIL. 1988. Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and eustatic cycles, in C.K. WILGUS., B.S. HASTING., C.G. ST. C. KENDALL., H.W. POSAMENTIER, C.A. ROSS., J.C. VAN WAGONER, eds., *Sea Level Changes: An Integrated Approach*: Tulsa, Oklahoma, Society of Economic Paleontologists and Mineralogist. Special Publication 42, p. 71-108.
- HAYES J. B. 1979. Sandstones Diagenesis - The hole truth. Society of Economic Paleontologists and Mineralogist. Special publication N° 26 (*Aspects of Diagenesis*). pp. 127-139.
- HERRON M. M. 1988. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of Sedimentary Petrology*. 58(5): 820-829.
- HOWER J., E. ESLINGER., M. HOWER & E. PERRY. 1976. Mechanism of burial metamorphism of argillaceous sediment: 1. Mineralogical and chemical evidence. *Geological Society of America Bull.* (87): 725-737.
- JORGENSEN N. O. 1986. Chemostratigraphy of Upper Cretaceous Chalk in the Danish Subbasin. *AAPG. Bull.* 70 (3): 309-317.

- KOVACH W. L. 1993. *MVSP Plus, Version 2.1*. Kovach Computing Services, 85 Nant-y-Felin, Pentraeth, Anglesey LL75 8UY, Wales. Or www.Kovcomp.com.
- LØVBORG L. & E. MOSE. 1975. Counting statistics in radioelement assaying with a portable spectrometer. *Geophysics*. 52 (4): 55-563.
- LUGO J. 1991. *Cretaceous to Neogene Tectonic Control on Sedimentation: Maracaibo Basin, Venezuela*. The University of Texas at Austin. Ph. D. Thesis. Inédito. 219 p.
- LUGO J. & P. MANN. 1995. Jurassic-Eocene Tectonic Evolution of Maracaibo Basin, Venezuela. in A. J. TANKARD, R. SUAREZ & H. J. WELSINK eds. *Petroleum Basins of South America. Am. Assoc. Petr. Geol. Mem 62*, p. 699-725.
- MACERALLI C. & T. DE VRIES. 1987. Late Cretaceous upwelling and anoxic sedimentation in northwestern South America. *Paleogeography, Paleoclimatology and Paleoecology*. (59): 279-292.
- MACQUAKER J. H., CH. CURTIS & M. L. COLEMAN. 1997. The role of iron in mudstone diagenesis: comparison of Kimmeridge Clays Formation mudstones from onshore and offshore (UKCS) localities. *Journal of Sedimentary Research*. 67 (5): 871-879.
- MAGUREGUI J. 1993. *Modelo sedimentológico de la sección B-7-X / B-8-X en el Área LL370, Campo Lagunillas: Aplicación en el modelaje geoestadístico en 3D del yacimiento B-7-X.07*. INTEVEP, Informe interno No INT-02684,93. Los Teques, 76 p.
- MARTINEZ N. & L. CAMPOSANO. 2000. *Caracterización química y radiométrica de dos secciones estratigráficas de las Formaciones Barco y Mirador, San Pedro del Río, Estado Táchira*. UCV. Fac. Ing., Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Dept. de Geología. Caracas. Trabajo Especial de Grado. Inédito. 248 p.

- MASON B. 1958. *Principles of Geochemistry*. JOHN WILEY & sons. Eds. 310 p.
- MÉNDEZ J. 1990. La Formación La Luna: Características de una cuenca anóxica en una plataforma de aguas someras. *Mem. 7º Congreso Geológico Venezolano*. p. 852-856.
- MUÑOZ N. G. & L. A. BUATOIS. 1998. *Iconología- Estudio de trazas fosiles y aplicaciones a la industria Petrolera*. Apuntes de curso preparado para el CIED. 117 p.
- NATERA B. 1961. Correlation of the upper B-X members in the District of Bolívar- State of Zulia. *Boletín Asoc. Ven. Geol. Min. y Petr.* (4): 265-291.
- PARNAUD F., Y. GOU., J. C. PASCUAL., M. A. CAPELLO., I. TRUSKOWSKI., H. PASSALACQUA & F. ROURE. 1995. Stratigraphic Synthesis of Western Venezuela in Tankard, A.; Suárez, R. & Welsink, H.J., eds. *Petroleum Basins of South America: AAPG Mem.*, (62): 681-698.
- PEARCE T. J. & I. JARVIS. 1995. High resolution chemostratigraphy of Quaternary distal turbidites: a case study of new methods for analysis and correlation of barren sequences. In *Non biostratigraphical Methods of Dating and Correlation. Geological Society Special Publication*. (89): 107-143.
- PEARCE T. J., B. M. BESLY., D. S. WRAY & D. K. WRIGHT. 1999. Chemostratigraphy: a method to improve interwell correlation in barren sequences - a case study using onshore Duckmatian/Stephanian sequences (West Midlands, U.K). *Sedimentary Geology*, (124): 197-220.
- PEMBERTON G. S., J. A. MACEARCHER & L. A. BUATOIS. 1997. Criterios icnológicos para el reconocimiento y la interpretación de discontinuidades erosivas. *Boletín Sociedad Venezolana de Geólogos*. 22(1): 7-32.
- PETTIJOHN F. J., P. E. POTTER & R. SIEVER. 1973. *Sand and Sandstones*. Ed. Springer-Verlag. New York. 618 p.

- POTTER P. E. 1978. Petrology and Chemistry of Modern Big River Sands. *Journal of Geology*. (86): 423 - 449.
- RANKAMA K. & TH. G. SAHAMA. 1952. *Geochemistry*. The University of Chicago Press. 2da. Ed. 911 p.
- SANDOVAL M. E. 2000. *Diagénesis de Areniscas*. Eds. Universidad Central de Venezuela, Caracas. 414 p.
- SIEBERT R., G. MONCURE & R. LAHANN. 1984. A theory framework grain dissolution in sandstones. In "Clastic Diagenesis, part 2" *AAPG. Memoir* 37: p. 163-75.
- SNEDECOR G. W. 1964. *Métodos estadísticos aplicados a la investigación agrícola y biológica*. 1^{ra}. ed. en español., Compañía Editorial Continental., México. 626 p.
- SERRANO M., D. BOSCAN & J. LUGO. 1996. *Análisis estratigráfico secuencial del Eoceno, en el área de Bachaquero, Cuenca de Maracaibo*. II Congreso Internacional AAPG/SVG, Caracas, resúmenes.
- SOMMER F. 1988. *Clays Diagenesis*. Total Exploration Laboratory report. 56 p.
- VAN VEEN F. R. 1972. Ambientes sedimentarios de las formaciones Mirador y Misoa del Eoceno inferior y medio de la cuenca de Maracaibo. *Mem. IV Congreso geológico venezolano*, 3: 1074-1114.
- WALTON W. M. 1968. Las unidades Eocenas informales en el subsuelo. En "La estratigrafía del Eoceno en la Cuenca de Maracaibo" *AVGMP. Publicación Especial* 1: 39-48.
- WEAVER C. E. & L. D POLLAND. 1975. *The chemistry of clay minerals*. Developments in Sedimentology. Elsevier Publishing. N.Y. 213 p.

- WINCHESTER J. A. & M. D. MAX. 1996. Chemostratigraphic correlation, structure and sedimentary environments in the Dalradian of the NW Co. Mayo inlier, NW Ireland. *Journal of the Geological Society*. (153): 779-801.
- WINTSCH R. P. & C. M. KVALE. 1994. Differential mobility of elements in burial diagenesis of siliciclastic rocks. *Journal of Sedimentary Research*. A64(2): 349-361.
- WOOD R. D., P. A. WICHMANN & H. B. WATT. 1974. Los perfiles de Rayos Gamma y Neutrónico. En *Introducción al Perfilaje*. Dresser Atlas. p. 8-1/8-21.
- WRONKIEWICZ D. & K. C. CONDIE. 1989. Geochemistry and provenance of sediments from Pongola Super Group, South Africa: Evidence for a 3.0-Ga-old continental craton. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. (53): 1537-1549.
- YARINCIK K. M. & W. MURRAY. 2000. Climatically sensitive eolian and hemipelagic deposition in the Cariaco Basin, Venezuela, over the past 578,000 years: Results from Al/Ti and K/Al. *Paleoceanography*. (15): 210-228.
- YORIS F. & M. OSTOS. 1997. Geología de Venezuela. En WEC 1997. *Evaluación de pozos*. Ed. Schlumberger. Caracas: p. 1-42.

ANEXO I

DATOS GEOQUÍMICOS Y RADIOMÉTRICOS

LEYENDA ANEXO I

Litología

- | | |
|----------|---------------------|
| 1 | Arenisca |
| 2 | Heterolítica |
| 3 | Lutita |
| 4 | Carbón |

Ambientes

- | | |
|----------|---|
| 1 | Cd (Canales distributarios) |
| 3 | Bit (Bahías interdistributarias) |
| 5 | Bd (Barras de desembocadura) |
| 6 | Mar (Marismas) |
| 9 | Fluv (Fluvial) |

Anexo I
Datos geoquímicos y radiométricos
LL773

Profundidad	Litología	Ambiente	Intervalos	γ Total	γ F1	γ K ⁴⁰	γ F2	γ Bi ²⁴⁰	γ F3	γ Ti ²⁰⁸	γ F4	SiO ₂	TiO ₂
6452	1	9	1	8,49	6,46	0,83	0,17	0,39	0,40	0,16	0,07	84,70	0,55
6458	1	9	1	8,29	6,36	0,83	0,14	0,32	0,41	0,15	0,08	88,21	0,22
6462	1	9	1	8,31	6,31	0,83	0,15	0,33	0,43	0,15	0,10	82,28	0,40
6470	1	9	1	8,28	6,31	0,81	0,15	0,36	0,38	0,18	0,09	85,34	0,27
6473	1	9	1	8,25	6,31	0,86	0,16	0,28	0,38	0,18	0,07	88,41	0,15
6478	1	9	1	8,53	6,37	0,95	0,16	0,34	0,41	0,17	0,12	84,18	0,25
6480	3	3	2	8,46	6,42	0,85	0,14	0,32	0,46	0,19	0,08	53,34	0,99
6483	3	3	2	8,61	6,41	0,98	0,15	0,36	0,42	0,21	0,07	55,23	0,97
6486	2	3	2	8,55	6,45	0,93	0,14	0,29	0,46	0,18	0,10	57,00	1,07
6489	3	3	2	8,93	6,73	0,99	0,19	0,30	0,42	0,19	0,11	60,94	0,94
6494	1	1	3	8,23	6,31	0,86	0,16	0,29	0,36	0,16	0,09	77,73	0,31
6501	1	1	3	8,20	6,22	0,92	0,16	0,32	0,35	0,13	0,10	87,98	0,26
6506	1	1	3	8,45	6,42	0,87	0,18	0,37	0,39	0,15	0,08	78,95	0,42
6513	1	1	3	8,28	6,36	0,77	0,15	0,35	0,41	0,17	0,07	78,08	0,53
6522	1	1	3	8,29	6,30	0,83	0,20	0,31	0,40	0,15	0,09	84,00	0,41
6530	3	3	3	8,59	6,45	0,97	0,16	0,31	0,46	0,17	0,07	49,10	1,21
6537	1	1	3	8,45	6,49	0,80	0,16	0,27	0,42	0,22	0,09	74,50	0,49
6543	3	3	3	8,64	6,45	0,92	0,18	0,35	0,47	0,19	0,06	49,34	1,01
6548	3	3	4	8,56	6,49	0,89	0,17	0,35	0,43	0,15	0,08	49,23	0,92
6556	1	1	4	8,38	6,45	0,86	0,15	0,30	0,42	0,12	0,09	88,01	0,15
6563	2	3	4	8,59	6,59	0,87	0,17	0,32	0,41	0,15	0,07	54,34	1,00
6572	1	3	4	8,45	6,48	0,88	0,14	0,32	0,40	0,16	0,09	86,77	0,33
6574	4	6	4	8,20	6,22	0,88	0,12	0,35	0,41	0,16	0,07	30,79	0,78
6576	4	6	4	8,13	6,16	0,85	0,12	0,37	0,39	0,16	0,08	28,33	0,98
6578	4	6	4	8,60	6,59	0,81	0,19	0,33	0,44	0,16	0,09	31,21	1,01
6582	3	3	4	8,20	6,22	0,81	0,16	0,35	0,40	0,18	0,08	44,30	0,87
6587	2	3	4	8,84	6,59	0,96	0,16	0,36	0,48	0,18	0,11	47,61	0,92
6592	2	3	4	8,69	6,48	0,92	0,18	0,39	0,43	0,20	0,10	49,00	0,96
6596	2	3	4	8,92	6,83	0,88	0,19	0,34	0,42	0,16	0,10	50,59	0,96
6599	2	3	4	8,81	6,66	0,97	0,18	0,30	0,43	0,16	0,11	50,98	0,89
6602	2	3	4	8,56	6,49	0,89	0,13	0,34	0,43	0,20	0,09	53,13	0,88
6608	2	3	6	8,42	6,41	0,81	0,14	0,37	0,42	0,19	0,08	40,14	0,41

Anexo I
Datos geoquímicos y radiométricos
LL773

Profundidad	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	K ₂ O	Mg	V(ppm)	TiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ /K ₂ O	KO ₂ /AL ₂ O ₃	K ₂ O/TiO ₂
6452	2,52	0,80	0,01	0,19	0,06	0	25	0,22	33,67	12,55	0,03	0,12
6458	1,55	0,74	0,01	0,19	0,06	0	32	0,14	56,98	12,16	0,04	0,28
6462	6,00	0,62	0,00	0,20	0,28	1,16	19	0,07	13,71	2,19	0,05	0,71
6470	2,97	0,77	0,01	0,18	0,10	0,54	12	0,09	28,74	7,99	0,03	0,36
6473	2,39	0,79	0,01	0,20	0,04	1,48	23	0,06	36,98	22,69	0,02	0,23
6478	3,32	0,92	0,02	0,19	0,15	0	18	0,08	25,39	6,23	0,04	0,58
6480	16,86	5,59	0,08	0,31	2,13	0	75	0,06	3,17	2,62	0,13	2,15
6483	16,87	3,79	0,02	0,31	2,11	0	72	0,06	3,27	1,80	0,13	2,17
6486	18,84	3,44	0,04	0,25	2,28	0	85	0,06	3,03	1,51	0,12	2,12
6489	18,22	4,04	0,08	0,31	2,12	0	64	0,05	3,35	1,91	0,12	2,26
6494	4,54	4,07	0,10	0,22	0,47	0	12	0,07	17,11	8,66	0,10	1,50
6501	1,18	0,78	0,01	0,21	0,02	1,64	26	0,22	74,81	46,12	0,01	0,07
6506	2,51	0,75	0,02	0,19	0,18	0,28	0	0,17	31,40	4,12	0,07	0,43
6513	7,55	1,74	0,03	0,19	0,73	0	10	0,07	10,34	2,40	0,10	1,38
6522	4,65	1,21	0,02	0,19	0,46	0,93	20	0,09	18,05	2,61	0,10	1,13
6530	18,21	2,28	0,00	0,24	2,44	0	95	0,07	2,70	0,94	0,13	2,01
6537	9,10	1,68	0,02	0,20	0,65	0	13	0,05	8,19	2,57	0,07	1,34
6543	16,06	7,74	0,14	0,32	1,96	0	99	0,06	3,07	3,95	0,12	1,95
6548	16,72	8,45	0,12	0,50	2,18	0	81	0,06	2,94	3,88	0,13	2,37
6556	2,06	0,88	0,01	0,20	0,05	1,46	31	0,07	42,83	16,96	0,03	0,35
6563	17,44	4,81	0,07	0,38	2,28	0	65	0,06	3,12	2,11	0,13	2,28
6572	6,78	1,79	0,01	0,31	0,64	0,64	17	0,05	12,80	2,80	0,09	1,97
6574	5,15	5,03	0,02	0,33	1,08	0	117	0,15	5,98	4,64	0,21	1,38
6576	6,21	5,74	0,01	0,26	1,32	0	119	0,16	4,56	4,36	0,21	1,34
6578	7,40	6,55	0,03	0,30	1,44	0	107	0,14	4,22	4,56	0,19	1,42
6582	14,68	7,54	0,14	0,64	1,68	0	54	0,06	3,02	4,50	0,11	1,93
6587	12,97	4,84	0,04	0,44	1,78	0	59	0,07	3,67	2,72	0,14	1,94
6592	14,45	4,92	0,06	0,53	1,87	0	62	0,07	3,39	2,63	0,13	1,94
6596	15,08	4,24	0,04	0,43	1,94	0	70	0,06	3,35	2,18	0,13	2,02
6599	14,89	4,97	0,07	0,58	1,76	0	57	0,06	3,42	2,83	0,12	1,98
6602	14,77	5,07	0,07	0,57	1,66	0	58	0,06	3,60	3,05	0,11	1,88
6608	9,39	21,22	0,31	1,67	0,63	0,13	20	0,04	4,28	33,74	0,07	1,53

Anexo I
Datos geoquímicos y radiométricos
LL806

Profundidad	Litología	Ambiente	Intervalos	γ Total	γ F1	γ K ⁴⁰	γ F2	γ Bi ²⁴⁰	γ F3	γ Tl ²⁰⁸	γ F4	SiO ₂	TiO ₂
5554	1	9	1	8,30	6,24	0,84	0,16	0,36	0,42	0,18	0,10	87,94	0,24
5558,66	2	3	2	9,00	6,81	0,96	0,15	0,35	0,42	0,21	0,09	61,11	0,95
5569	2	3	2	8,75	6,68	0,94	0,16	0,33	0,40	0,17	0,06	51,85	0,90
5572	3	3	2	8,98	6,74	1,02	0,18	0,37	0,42	0,18	0,08	49,43	0,92
5575	1	1	3	8,73	6,69	0,84	0,15	0,37	0,42	0,18	0,07	81,47	0,35
5581	1	1	3	8,26	6,32	0,83	0,12	0,35	0,39	0,16	0,10	75,41	0,48
5584	1	1	3	8,57	6,58	0,82	0,17	0,33	0,42	0,16	0,11	76,40	0,46
5587	2	3	3	8,41	6,25	0,94	0,18	0,35	0,42	0,17	0,10	48,90	1
5592	3	3	3	9,19	6,89	1,04	0,17	0,36	0,46	0,17	0,10	48,16	0,92
5604	3	3	3	8,59	6,44	0,94	0,19	0,34	0,42	0,17	0,08	49,80	0,96
5610	3	3	3	9,01	6,91	0,84	0,21	0,38	0,40	0,20	0,08	53,22	0,91
5613	1	1	3	8,10	6,04	0,92	0,17	0,30	0,40	0,20	0,08	57,63	0,98
5621	1	3	4	8,84	6,70	0,90	0,18	0,37	0,41	0,20	0,08	68,46	0,55
5630	1	1	4	8,51	6,34	0,94	0,15	0,37	0,39	0,22	0,10	83,02	0,68
5639	1	1	4	8,78	6,60	0,98	0,17	0,33	0,41	0,22	0,07	70,56	0,61
5646	1	1	4	8,86	6,57	0,98	0,21	0,40	0,43	0,20	0,08	70,96	0,54
5654	1	1	4	8,78	6,75	0,86	0,16	0,34	0,42	0,18	0,08	69,82	0,35
5660	1	1	4	8,29	6,23	0,92	0,15	0,34	0,41	0,17	0,07	72,45	0,43
5668	1	1	5	8,32	6,27	0,84	0,18	0,32	0,42	0,20	0,10	80,80	0,50
5677	1	1	5	8,26	6,24	0,89	0,14	0,31	0,38	0,20	0,09	79,84	0,28
5683	1	1	5	8,51	6,48	0,85	0,15	0,36	0,41	0,19	0,08	84,66	0,45
5695	1	1	5	8,44	6,40	0,96	0,15	0,29	0,40	0,16	0,07	81,35	0,26
5704	1	1	5	8,60	6,62	0,91	0,12	0,31	0,42	0,15	0,07	80,31	0,35
5707	1	1	5	8,56	6,58	0,81	0,16	0,31	0,46	0,16	0,08	75,22	0,40
5712	1	1	5	8,43	6,42	0,83	0,17	0,31	0,48	0,15	0,06	75,78	0,24
5718	1	1	5	8,67	6,47	0,94	0,13	0,38	0,45	0,21	0,10	69,56	0,53
5727	2	3	5	8,87	6,69	0,84	0,15	0,38	0,48	0,20	0,12	53,69	1,03
5736	2	3	5	8,99	6,72	1,06	0,17	0,34	0,46	0,15	0,08	48,29	1,08
5742	1	1	6	8,95	6,80	0,92	0,14	0,38	0,40	0,20	0,11	67,88	0,87
5745	1	1	6	8,41	6,45	0,86	0,16	0,32	0,39	0,14	0,09	60,40	0,40
5748	1	1	6	8,40	6,49	0,80	0,15	0,32	0,41	0,16	0,07	69,51	0,60
5753	1	1	6	8,58	6,47	0,85	0,14	0,30	0,52	0,18	0,11	73,26	0,46
5758	1	1	6	8,32	6,45	0,79	0,13	0,30	0,42	0,17	0,06	85,10	0,20

Anexo I
 Datos geoquímicos y radiométricos
 LL806

Profundidad	Litología	Ambiente	Intervalos	γ Total	γ F1	γ K ⁴⁰	γ F2	γ Bi ²⁴⁰	γ F3	γ Tl ²⁰⁸	γ F4	SiO ₂	TiO ₂
5767	1	1	6	8,57	6,63	0,81	0,16	0,29	0,43	0,16	0,08	78,57	0,53
5773	2	3	7	8,81	6,64	0,98	0,18	0,37	0,43	0,14	0,08	47,81	0,80
5782	1	3	7	8,77	6,53	0,97	0,18	0,35	0,48	0,18	0,08	65,38	0,50
5785	1	1	7	8,79	6,67	0,91	0,15	0,36	0,45	0,16	0,09	64,28	0,72

Anexo I
Datos geoquímicos y radiométricos
LL806

Profundidad	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	K ₂ O	Mg	V(ppm)	TiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ /K ₂ O	KO ₂ /AL ₂ O ₃	K ₂ O/TiO ₂
5554	2,90	0,85	0,01	0,22	0,02	0	18	0,08	30,27	42,50	0,01	0,10
5558,66	16,88	1,37	0,00	0,22	1,53	0	72	0,06	3,62	0,90	0,09	1,61
5569	15,99	5,75	0,10	0,32	1,80	0	58	0,06	3,24	3,20	0,11	2,00
5572	15,70	8,62	0,16	0,36	1,87	0	72	0,06	3,15	4,61	0,12	2,03
5575	5,70	1,28	0,01	0,21	0,53	0,27	16	0,06	14,29	2,40	0,09	1,53
5581	8,35	1,48	0,02	0,21	0,95	0,35	14	0,06	9,03	1,55	0,11	2,01
5584	7,47	1,43	0,02	0,21	0,84	0	0	0,06	10,23	1,71	0,11	1,80
5587	17,43	6,17	0,13	0,33	2,10	0,14	72	0,06	2,81	2,94	0,12	2,09
5592	15,29	6,89	0,16	0,43	1,95	0	71	0,06	3,15	3,53	0,13	2,13
5604	16,04	5,56	0,09	0,35	2,22	0	81	0,06	3,10	2,50	0,14	2,31
5610	16,40	7,84	0,19	0,36	1,84	1,96	77	0,06	3,25	4,26	0,11	2,02
5613	17,87	1,03	0,00	0,22	1,94	0	59	0,05	3,23	0,53	0,11	1,99
5621	12,76	1,81	0,03	0,28	1,06	0,15	36	0,04	5,37	1,70	0,08	1,95
5630	4,02	0,62	0,00	0,19	0,38	0	19	0,17	20,64	1,63	0,10	0,56
5639	10,97	1,84	0,04	0,23	1,32	0	36	0,06	6,43	1,40	0,12	2,15
5646	11,48	2,78	0,05	0,22	1,35	1,27	37	0,05	6,18	2,05	0,12	2,52
5654	10,65	1,68	0,03	0,23	1,06	0	18	0,03	6,56	1,58	0,10	3,04
5660	6,86	2,76	0,05	0,28	0,66	0	15	0,06	10,57	4,17	0,10	1,54
5668	5,66	1,01	0,02	0,23	0,64	0,47	22	0,09	14,27	1,59	0,11	1,27
5677	4,65	0,89	0,01	0,21	0,43	0,73	10	0,06	17,16	2,06	0,09	1,56
5683	3,87	0,77	0,01	0,20	0,35	0,50	32	0,12	21,86	2,21	0,09	0,77
5695	8,02	0,71	0,01	0,20	0,76	0,52	8	0,03	10,14	0,94	0,09	2,88
5704	4,29	0,67	0,00	0,19	0,35	0,20	26	0,08	18,73	1,90	0,08	1,01
5707	5,86	3,54	0,07	0,25	0,55	0	14	0,07	12,83	6,50	0,09	1,36
5712	7,76	0,83	0,01	0,23	0,76	0	22	0,03	9,77	1,09	0,10	3,15
5718	10,45	1,41	0,02	0,25	0,90	0	14	0,05	6,66	1,58	0,09	1,69
5727	15,94	2,52	0,01	0,33	2,42	0	63	0,06	3,37	1,04	0,15	2,36
5736	16,84	4,31	0,09	0,44	2,71	0	68	0,06	2,87	1,59	0,16	2,50
5742	14,48	1,11	0,02	0,53	1,08	0	25	0,06	4,69	1,02	0,08	1,25
5745	5,73	1,47	0,11		0,54	0	0	0,07	10,55	2,72	0,09	1,34
5748	8,87	3,01	0,05	0,41	1,00	0,23	13	0,07	7,84	3,01	0,11	1,65
5753	8,93	0,98	0,01	0,36	0,75	0	13	0,05	8,21	1,32	0,08	1,62
5758	5,95	0,91	0,01	0,22	0,64	0	10	0,03	14,31	1,42	0,11	3,16

Anexo I
 Datos geoquímicos y radiométricos
 LL806

Profundidad	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	K ₂ O	Mg	V(ppm)	TiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ /K ₂ O	KO ₂ /AL ₂ O ₃	K ₂ O/TiO ₂
5767	7,57	0,91	0,00	0,23	0,60	0,10	22	0,07	10,37	1,52	0,08	1,12
5773	14,14	8,64	0,15	0,74	1,68	0	39	0,06	3,38	5,15	0,12	2,10
5782	12,76	2,14	0,03	0,43	0,86	0	17	0,04	5,13	2,48	0,07	1,72
5785	13,98	2,79	0,04	0,36	1,38	0	44	0,05	4,60	2,02	0,10	1,92

Anexo I
Datos geoquímicos y radiométricos
LL832

Profundidad	Litología	Ambiente	Intervalos	γ Total	γ F1	γ K ⁴⁰	γ F2	γ Bi ²⁴⁰	γ F3	γ Tl ²⁰⁸	γ F4	SiO ₂	TiO ₂
6020	3	3	7	8,67	6,57	0,96	0,14	0,32	0,40	0,20	0,08	48,64	0,98
6023	3	3	7	8,53	6,52	0,88	0,13	0,30	0,42	0,20	0,08	49,37	0,92
6026	2	3	7	8,44	6,35	0,93	0,17	0,38	0,37	0,16	0,09	42,54	0,95
6032	2	3	7	8,79	6,74	0,91	0,16	0,31	0,41	0,17	0,09	47,16	0,95
6035	2	3	7	8,46	6,48	0,86	0,13	0,33	0,41	0,16	0,08	46,79	0,99
6037	3	3	7	8,56	6,58	0,90	0,13	0,31	0,40	0,17	0,06	41,86	0,93
6041	1	1	8	8,75	6,56	0,99	0,15	0,37	0,42	0,18	0,08	63,45	0,57
6043	1	1	8	8,27	6,33	0,85	0,15	0,31	0,39	0,17	0,07	68,09	0,61
6050	1	1	8	8,30	6,33	0,86	0,16	0,32	0,41	0,14	0,08	78,68	0,41
6052	1	1	8	8,42	6,47	0,83	0,15	0,30	0,40	0,18	0,08	44,72	0,61
6056	1	1	8	8,40	6,32	0,90	0,15	0,37	0,36	0,21	0,09	56,71	0,74
6059	2	3	8	8,63	6,55	0,93	0,15	0,35	0,38	0,18	0,09	55,13	0,80
6065	3	3	8	8,75	6,60	0,92	0,16	0,34	0,44	0,19	0,09	45,58	0,72
6068	3	3	8	8,47	6,48	0,85	0,16	0,31	0,41	0,18	0,09	43,68	0,77
6071	2	3	8	8,80	6,78	0,87	0,13	0,36	0,39	0,18	0,09	53,70	0,82
6074	2	3	8	8,53	6,50	0,82	0,16	0,35	0,42	0,17	0,11	49,73	0,88
6081	3	3	8	8,74	6,68	0,86	0,16	0,35	0,43	0,16	0,08	51,05	0,89
6086	3	3	8	8,63	6,60	0,87	0,18	0,33	0,40	0,18	0,08	49,58	0,96
6087,58	1	1	8	8,14	6,20	0,83	0,13	0,31	0,42	0,17	0,08	73,90	0,47
6093	1	1	9	8,43	6,44	0,89	0,15	0,33	0,40	0,13	0,10	66,68	0,39
6096	3	3	9	8,73	6,58	0,94	0,19	0,33	0,42	0,20	0,08	40,47	0,89
6099	4	6	9	8,47	6,42	0,90	0,17	0,33	0,38	0,20	0,08	35,37	0,95
6102	2	3	9	8,89	6,57	0,96	0,18	0,36	0,54	0,19	0,10	49,47	0,99
6107,58	1	1	9	8,46	6,44	0,89	0,17	0,27	0,42	0,19	0,08	64,68	0,60
6113	1	1	9	8,40	6,32	0,88	0,15	0,34	0,44	0,18	0,10	75,47	0,39
6118,46	1	1	9	8,81	6,62	0,79	0,15	0,34	0,43	0,18	0,08	54,42	0,37

Anexo I
Datos geoquímicos y radiométricos
LL832

Profundidad	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	K ₂ O	Mg	V(ppm)	TiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ /K ₂ O	KO ₂ /AL ₂ O ₃	K ₂ O/TiO ₂
6020	16,44	6,76	0,09	0,44	1,91	0	86	0,06	2,96	3,54	0,12	1,95
6023	16,77	6,62	0,08	0,47	1,83	0,37	69	0,05	2,95	3,62	0,11	1,99
6026	14,56	8,06	0,13	0,53	1,93	0	83	0,06	2,92	4,18	0,13	2,04
6032	15,74	6,47	0,08	0,54	1,82	0	64	0,06	3,00	3,55	0,12	1,92
6035	15,34	6,52	0,12	0,52	1,75	0	79	0,06	3,05	3,73	0,11	1,78
6037	13,56	7,66	0,12	0,70	1,75	0	86	0,07	3,09	4,38	0,13	1,88
6041	13,02	2,93	0,02	0,53	1,08	0	23	0,04	4,87	2,71	0,08	1,90
6043	8,59	2,52	0,03	1,05	0,89	0	23	0,07	7,93	2,83	0,10	1,46
6050	5,83	1,28	0,01	0,71	0,45	0	20	0,07	13,50	2,84	0,08	1,11
6052	7,44	9,24	0,11	4,83	0,78	0	16	0,08	6,01	11,85	0,10	1,27
6056	7,80	6,32	0,09	0,72	0,60	0	39	0,10	7,27	10,53	0,08	0,81
6059	11,61	4,16	0,03	0,46	1,31	0	51	0,07	4,75	3,18	0,11	1,64
6065	15,99	12,60	0,22	1,01	1,43	0,61	62	0,05	2,85	8,81	0,09	1,98
6068	15,53	12,14	0,22	0,93	1,46	0	51	0,05	2,81	8,32	0,09	1,89
6071	15,08	5,09	0,12	0,57	1,46	0	38	0,05	3,56	3,49	0,10	1,79
6074	15,48	5,50	0,12	0,46	1,72	0	48	0,06	3,21	3,20	0,11	1,96
6081	15,07	7,40	0,17	0,56	1,73	0	56	0,06	3,39	4,28	0,12	1,94
6086	16,77	5,66	0,08	0,45	1,96	0	76	0,06	2,96	2,89	0,12	2,04
6087,58	9,60	1,54	0,03	1,12	0,38	0	2	0,05	7,70	4,05	0,04	0,82
6093	10,91	2,39	0,01	0,28	1,05	0	19	0,04	6,11	2,28	0,10	2,71
6096	12,08	7,99	0,16	0,61	1,59	0	69	0,07	3,35	5,03	0,13	1,80
6099	9,55	5,86	0,03	0,27	1,48	0	99	0,10	3,70	3,96	0,16	1,56
6102	14,49	5,68	0,11	0,46	1,61	0	56	0,07	3,42	3,53	0,11	1,62
6107,58	11,44	3,15	0,05	0,40	1,14	0	22	0,05	5,65	2,76	0,10	1,90
6113	6,57	1,80	0,02	0,27	0,55	0	7	0,06	11,49	3,27	0,08	1,40
6118,46	5,83	1,75	0,13	14,17	0,53	0	0	0,06	9,34	3,30	0,09	1,45

Anexo I
Datos geoquímicos y radiométricos
LL850 y LL945

Profundidad	Litología	Ambiente	Intervalos	γ Total	γ F1	γ K ⁴⁰	γ F2	γ Bi ²⁴⁰	γ F3	γ Tl ²⁰⁸	γ F4	SiO ₂	TiO ₂
6299	1	1	2	8,46	6,41	0,90	0,15	0,33	0,41	0,17	0,08	82,45	0,53
6308	1	1	2	8,51	6,46	0,85	0,14	0,34	0,44	0,20	0,07	68,60	0,30
6313	3	3	2	9,14	6,88	0,99	0,14	0,38	0,47	0,21	0,07	49,11	1,04
6319,41	1	1	3	8,26	6,28	0,85	0,15	0,31	0,47	0,12	0,08	86,63	0,19
6326	1	1	3	8,71	6,56	0,90	0,19	0,33	0,43	0,20	0,10	81,27	0,70
6338	1	1	3	8,34	6,33	0,89	0,16	0,35	0,37	0,17	0,08	71,69	0,29
6347	3	3	3	8,47	6,38	0,92	0,16	0,34	0,45	0,14	0,06	43,35	0,84
6350	2	3	3	8,69	6,53	0,94	0,16	0,35	0,42	0,20	0,08	28,76	0,41
6358	1	1	4	8,40	6,42	0,79	0,19	0,37	0,40	0,14	0,08	72,43	0,36
6362	1	1	4	8,38	6,38	0,91	0,16	0,30	0,38	0,17	0,07	83,49	0,31
6368	1	1	4	8,53	6,42	0,91	0,17	0,37	0,44	0,16	0,07	87,93	0,58
6372	1	1	4	8,67	6,54	0,94	0,17	0,32	0,45	0,16	0,10	80,50	0,48
6380	1	1	4	8,48	6,55	0,84	0,13	0,33	0,38	0,15	0,10	86,05	0,24
6388	2	3	4	8,77	6,66	0,93	0,18	0,29	0,42	0,21	0,07	46,58	1,07
6392	1	1	4	8,18	6,11	0,87	0,18	0,34	0,40	0,18	0,10	71,16	0,52
6399	1	1	4	8,25	6,34	0,81	0,16	0,29	0,38	0,19	0,08	85,32	0,12
6402	1	1	4	8,21	6,28	0,83	0,16	0,34	0,38	0,14	0,08	82,87	0,62
6408	1	1	4	8,32	6,40	0,77	0,17	0,31	0,39	0,20	0,08	92,01	0,22
6414	2	3	5	8,45	6,39	0,83	0,21	0,32	0,43	0,19	0,08	47,94	1,00
6417	1	1	5	8,45	6,55	0,83	0,14	0,27	0,44	0,14	0,08	86,83	0,33
6420	1	1	5	8,26	6,34	0,77	0,15	0,34	0,40	0,18	0,07	89,25	0,41
6437	1	1	5	8,37	6,38	0,91	0,13	0,34	0,39	0,14	0,07	79,29	0,35
6443	1	1	5	8,52	6,44	0,91	0,19	0,32	0,41	0,14	0,10	87,23	0,31
6449	1	1	5	8,19	6,22	0,84	0,15	0,31	0,42	0,19	0,07	85,18	0,53
6455	1	1	5	8,30	6,39	0,82	0,14	0,33	0,36	0,18	0,08	79,65	0,37
6458	2	3	5	8,89	6,67	1,04	0,16	0,28	0,47	0,18	0,10	49,87	0,98
6461	2	3	5	8,70	6,51	1,02	0,14	0,35	0,42	0,18	0,08	52,57	0,96
6464	1	1	6	8,35	6,42	0,85	0,17	0,30	0,41	0,14	0,07	82,18	0,30
6469,83	1	1	6	8,33	6,42	0,86	0,12	0,32	0,37	0,13	0,10	86,75	0,24
6473	2	1	6	8,41	6,45	0,87	0,14	0,29	0,42	0,16	0,08	52,57	0,54
6479	3	3	6	8,46	6,40	0,95	0,12	0,32	0,39	0,20	0,09	48,69	0,89
6485	2	3	7	8,52	6,44	0,90	0,18	0,34	0,41	0,18	0,08	43,60	1,01

Anexo I
 Datos geoquímicos y radiométricos
 LL850 y LL945

Datos Geoquímicos y Radiométricos del pozo LL945

Profundidad	Litología	Ambiente	Intervalos	γ Total	γ F1	γ K ⁴⁰	γ F2	γ Bi ²⁴⁰	γ F3	γ Tl ²⁰⁸	γ F4	SiO ₂	TiO ₂
6961	2	3	2	8,63	6,51	0,92	0,15	0,36	0,44	0,18	0,07	46,11	1,24
6964	1	1	2	8,44	6,31	0,91	0,21	0,32	0,43	0,18	0,07	82,90	0,21
6966,5	1	1	2	8,33	6,42	0,76	0,15	0,30	0,42	0,19	0,10	78,25	0,33
6969	1	5	2	8,26	6,26	0,86	0,16	0,32	0,37	0,19	0,10	52,45	0,56
6971	1	5	2	8,67	6,57	0,96	0,17	0,31	0,42	0,15	0,09	61,28	0,58
6976,5	3	3	2	9,17	6,98	0,94	0,15	0,35	0,48	0,18	0,08	51,67	0,99
6977	2	3	3	8,81	6,70	0,88	0,16	0,33	0,44	0,20	0,10	47,22	0,96
6979	1	1	3	8,66	6,63	0,84	0,18	0,32	0,42	0,19	0,08	82,09	0,19
6982	1	1	3	8,70	6,62	0,85	0,15	0,36	0,47	0,17	0,08	78,47	0,56
6986	1	1	3	8,41	6,43	0,81	0,18	0,32	0,43	0,16	0,09	81,16	0,31

Anexo I
Datos geoquímicos y radiométricos
LL850 y LL945

Profundidad	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	K ₂ O	Mg	V(ppm)	TiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ /K ₂ O	KO ₂ /AL ₂ O ₃	K ₂ O/TiO ₂
6299	6,79	1,36	0,02	0,19	0,78	0	22	0,08	12,149	1,744	0,115	1,484
6308	6,83	5,04	0,11	0,23	0,53	0	38	0,04	10,051	9,462	0,078	1,807
6313	16,85	4,90	0,06	0,43	2,18	0	88	0,06	2,914	2,255	0,129	2,097
6319,41	2,65	1,61	0,02	0,20	0,19	0,14	3	0,07	32,704	8,676	0,070	0,959
6326	4,85	1,39	0,01	0,23	0,38	0	13	0,14	16,766	3,609	0,079	0,551
6338	5,41	2,62	0,06	0,41	0,35	0	0	0,05	13,242	7,494	0,065	1,211
6347	14,70	8,57	0,13	0,52	2,27	0	69	0,06	2,949	3,784	0,154	2,703
6350	8,33	25,71	0,47	2,31	0,84	0	14	0,05	3,451	30,531	0,101	2,039
6358	1,99	1,17	0,06	7,71	0,15	0,87	0	0,18	36,435	8,069	0,073	0,408
6362	4,86	3,14	0,05	0,40	0,53	2,66	6	0,06	17,168	5,899	0,110	1,714
6368	6,07	1,22	0,01	0,27	0,53	0,99	11	0,10	14,498	2,306	0,087	0,906
6372	6,89	1,55	0,02	0,25	0,68	0	29	0,07	11,681	2,281	0,099	1,411
6380	3,88	2,42	0,04	0,29	0,25	0	1	0,06	22,200	9,611	0,065	1,063
6388	15,14	4,89	0,06	0,43	2,55	0	70	0,07	3,077	1,916	0,168	2,381
6392	8,74	1,62	0,02	0,43	1,06	0	13	0,06	8,141	1,534	0,121	2,041
6399	2,66	1,47	0,02	2,38	0,05	0	0	0,04	32,074	29,480	0,019	0,424
6402	4,94	1,41	0,02	2,49	0,21	0	0	0,13	16,776	6,760	0,042	0,336
6408	2,83	1,42	0,02	0,23	0,17	2,36	17	0,08	32,523	8,178	0,062	0,798
6414	15,72	3,38	0,00	0,34	2,31	0	82	0,06	3,051	1,463	0,147	2,316
6417	4,37	0,87	0,01	0,22	0,18	1,85	19	0,07	19,860	4,904	0,041	0,546
6420	3,47	1,01	0,01	0,22	0,13	1	21	0,12	25,691	7,829	0,037	0,313
6437	4,83	4,24	0,08	0,33	0,39	1,78	15	0,07	16,429	11,018	0,080	1,094
6443	3,80	1,14	0,02	0,21	0,33	0	24	0,08	22,948	3,419	0,088	1,074
6449	5,62	1,17	0,02	0,21	0,40	0,42	24	0,09	15,155	2,923	0,071	0,755
6455	5,69	1,64	0,02	0,24	0,64	0,48	24	0,07	14,001	2,582	0,112	1,710
6458	15,66	5,80	0,09	0,45	2,17	0	78	0,06	3,186	2,675	0,139	2,222
6461	17,15	6,68	0,13	0,48	2,13	0,06	78	0,06	3,065	3,137	0,124	2,224
6464	7,25	1,28	0,01	0,22	0,42	0	16	0,04	11,344	3,053	0,058	1,417
6469,83	6,10	1,55	0,01	0,26	0,36	0,57	7	0,04	14,218	4,352	0,058	1,504
6473	11,10	10,03	0,22	0,84	1,12	0	23	0,05	4,735	8,974	0,101	2,078
6479	16,63	8,94	0,15	0,71	2,19	1,07	63	0,05	2,929	4,089	0,131	2,445
6485	17,46	11,05	0,24	0,83	1,98	0	61	0,06	2,498	5,584	0,113	1,969

Anexo I
 Datos geoquímicos y radiométricos
 LL850 y LL945

Profundidad	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	K ₂ O	Mg	V(ppm)	TiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ /K ₂ O	KO ₂ /Al ₂ O ₃	K ₂ O/TiO ₂
6961	19,87	1,75	0,00	0,23	1,48	0	130	0,06	2,32	1,18	0,07	1,19
6964	3,55	1,11	0,01	0,21	0,07	0	17	0,06	23,36	15,86	0,02	0,34
6966,5	6,66	0,91	0,01	0,18	0,24	0	21	0,05	11,74	3,79	0,04	0,71
6969	13,96	0,81	0,00	0,19	0,52	0	51	0,04	3,76	1,56	0,04	0,93
6971	13,63	3,03	0,07	0,21	0,58	0	26	0,04	4,50	5,22	0,04	1
6976,5	17,31	5,83	0,11	0,28	1,59	0	80	0,06	2,99	3,67	0,09	1,61
6977	14,71	6,44	0,14	0,31	1,51	0	87	0,07	3,21	4,26	0,10	1,57
6979	4,57	0,91	0,01	0,20	0,13	0,15	19	0,04	17,98	7,00	0,03	0,69
6982	5,00	0,76	0,01	0,20	0,15	1,21	23	0,11	15,69	5,07	0,03	0,27
6986	3,61	0,82	0,01	0,20	0,13	0	14	0,09	22,50	6,31	0,04	0,41

Anexo I
Datos geoquímicos y radiométricos
LL869

Profundidad	Litología	Ambiente	Intervalos	γ Total	γK^{40}	γBi^{240}	γTi^{208}	$\gamma F1$	$\gamma F2$	$\gamma F3$	$\gamma F4$	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO
6131	1	9	2	8,64	0,87	0,34	0,20	6,57	0,16	0,41	0,10	1,87	78,832	0,217
6136	3	3	2	8,94	0,94	0,35	0,19	6,78	0,18	0,42	0,08	14,289	44,061	0,373
6141	3	3	2	8,68	0,93	0,37	0,18	6,53	0,16	0,41	0,11	16,879	50,473	0,44
6145	1	5	3	8,38	0,80	0,30	0,16	6,49	0,15	0,38	0,09	2,569	79,904	0,206
6152	1	5	3	8,31	0,85	0,36	0,14	6,33	0,13	0,43	0,07	3,583	82,239	0,203
6177	1	1	4	8,50	0,90	0,33	0,16	6,48	0,17	0,40	0,07	5,577	79,709	0,218
6180	1	1	4	8,45	0,88	0,31	0,20	6,38	0,17	0,42	0,08	5,189	76,401	0,213
6187	1	3	4	8,48	0,80	0,33	0,15	6,52	0,18	0,39	0,10	6,609	73,584	0,253
6227	3	3	5	8,51	0,96	0,31	0,18	6,44	0,16	0,38	0,08	11,404	50,653	0,359
6230	2	3	5	9,24	1,00	0,35	0,21	6,92	0,19	0,46	0,11	18,391	49,849	0,377
6239	2	3	5	8,61	0,92	0,31	0,16	6,57	0,14	0,41	0,10	13,44	48,615	0,673
6241	2	3	5	8,41	0,89	0,34	0,18	6,31	0,17	0,45	0,08	13,599	55,579	0,687
6244	2	3	5	8,31	0,90	0,32	0,21	6,26	0,14	0,39	0,09	18,313	49,675	0,534
6250	3	3	6	8,38	0,89	0,33	0,16	6,35	0,15	0,43	0,06	16,636	50,892	0,673
6253	1	1	6	8,52	0,89	0,33	0,18	6,44	0,16	0,43	0,08	11,713	72,791	0,528
6256	1	1	6	8,28	0,92	0,32	0,17	6,24	0,17	0,38	0,09	10,726	66,519	0,25
6260,5	1	3	6	8,40	0,86	0,34	0,15	6,41	0,16	0,40	0,08	5,552	72,108	0,633
6263	2	3	6	8,72	0,90	0,33	0,18	6,62	0,16	0,43	0,09	11,021	56,787	0,587
6270	2	1	6	8,48	0,95	0,33	0,16	6,37	0,14	0,46	0,08	14,632	47,988	0,333
6274	2	1	6	8,85	0,92	0,36	0,21	6,66	0,19	0,40	0,09	15,662	42,605	0,304
6361,5	1	1	8	8,14	0,86	0,34	0,18	6,20	0,13	0,33	0,10	5,254	75,664	0,286
6365,5	1	1	8	8,56	0,90	0,31	0,16	6,55	0,15	0,39	0,10	11,057	71,267	0,292
6369	1	1	8	8,21	0,79	0,31	0,18	6,24	0,16	0,42	0,11	5,845	77,545	0,23
6375,5	1	3	8	8,29	0,84	0,30	0,17	6,36	0,15	0,41	0,08	7,242	72,44	0,295
6381,5	3	1	8	8,53	0,90	0,32	0,19	6,44	0,14	0,47	0,08	15,533	46,808	0,338
6386	1	1	8	8,22	0,84	0,34	0,14	6,29	0,15	0,36	0,10	4,506	77,631	0,278
6392	1	1	8	8,34	0,82	0,30	0,18	6,47	0,15	0,36	0,06	7,183	71,344	0,226
6396	1	3	8	8,55	0,84	0,32	0,19	6,58	0,16	0,38	0,07	5,737	76,494	0,238
6401	2	3	8	8,72	0,89	0,33	0,15	6,66	0,17	0,42	0,08	15,683	47,999	0,42

Anexo I
Datos geoquímicos y radiométricos
LL869

Profundidad	K ₂ O	TiO ₂	V(ppm)	MnO	Fe ₂ O ₃	Mg	TiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ /K ₂ O	KO ₂ /Al ₂ O ₃	K ₂ O/TiO ₂
6131	0,147	0,197	8,8	0,025	1,461	0	0,11	42,156	9,939	0,079	0,746
6136	2,325	0,918	87,4	0,101	6,442	0	0,06	3,084	2,771	0,163	2,533
6141	2,268	0,949	72,2	0,065	5,778	0	0,06	2,990	2,548	0,134	2,390
6145	0,061	0,188	3,1	0,021	1,052	0,389	0,07	31,103	17,246	0,024	0,324
6152	0,283	0,248	8,3	0,007	1,077	0	0,07	22,953	3,806	0,079	1,141
6177	0,631	0,427	17,7	0,017	1,259	1,059	0,08	14,292	1,995	0,113	1,478
6180	0,614	0,52	19,6	0,02	1,303	0	0,10	14,724	2,122	0,118	1,181
6187	0,247	0,637	30,8	0,023	1,703	0	0,10	11,134	6,895	0,037	0,388
6227	1,478	0,861	54,4	0,1	3,779	0	0,08	4,442	2,557	0,130	1,717
6230	2,528	1,119	96,3	0,054	3,57	0	0,06	2,711	1,412	0,137	2,259
6239	1,773	0,837	39,1	0,14	6,59	0	0,06	3,617	3,717	0,132	2,118
6241	1,544	0,818	28,2	0,11	5,707	0	0,06	4,087	3,696	0,114	1,888
6244	2,594	1,1	97,5	0,126	6,893	0,51	0,06	2,713	2,657	0,142	2,358
6250	2,07	0,903	60,8	0,152	7,958	1,522	0,05	3,059	3,844	0,124	2,292
6253	0,766	0,635	34,2	0,033	2,181	0	0,05	6,215	2,847	0,065	1,206
6256	1,183	0,589	42,1	0,024	2,391	0	0,05	6,202	2,021	0,110	2,008
6260,5	0,177	0,243	15,0	0,025	2,775	0	0,04	12,988	15,678	0,032	0,728
6263	1,034	0,689	46,2	0,109	6,3	0	0,06	5,153	6,093	0,094	1,501
6270	1,893	0,966	79,3	0,046	3,618	0	0,07	3,280	1,911	0,129	1,960
6274	2,219	1,055	95,1	0,011	4,19	0	0,07	2,720	1,888	0,142	2,103
6361,5	0,436	0,46	24,9	0,01	1,304	0	0,09	14,401	2,991	0,083	0,948
6365,5	0,849	0,449	21,8	0,024	2,264	0,282	0,04	6,445	2,667	0,077	1,891
6369	0,343	0,311	10,5	0,018	1,244	0	0,05	13,267	3,627	0,059	1,103
6375,5	0,409	0,332	28,6	0,102	2,947	1,278	0,05	10,003	7,205	0,056	1,232
6381,5	2,634	1,091	85,5	0,124	6,342	1,145	0,07	3,013	2,408	0,170	2,414
6386	0,342	0,376	15,0	0,016	1,489	0	0,08	17,228	4,354	0,076	0,910
6392	0,607	0,623	26,0	0,012	1,313	0,18	0,09	9,932	2,163	0,085	0,974
6396	0,626	0,34	28,5	0,016	1,506	0,21	0,06	13,333	2,406	0,109	1,841
6401	2,572	1,204	88,8	0,079	5,959	0,213	0,08	3,061	2,317	0,164	2,136

Anexo I
Datos geoquímicos y radiométricos
LL965

Profundidad	Litología	Ambiente	Intervalos	γ Total	γ F1	γ K ⁴⁰	γ F2	γ Bi ²⁴⁰	γ F3	γ Ti ²⁰⁸	γ F4	SiO ₂	TiO ₂
6184	3	3	2	8,80	6,59	1,01	0,15	0,34	0,46	0,19	0,07	49,62	1,06
6193	1	1	2	8,53	6,49	0,90	0,17	0,34	0,39	0,16	0,08	68,10	0,66
6202	1	1	3	8,76	6,67	0,91	0,15	0,33	0,45	0,16	0,10	73,34	0,50
6208	1	1	3	8,50	6,35	0,92	0,18	0,35	0,44	0,19	0,08	76,14	0,81
6213	1	1	3	8,62	6,54	0,87	0,16	0,35	0,45	0,18	0,08	69,17	0,64
6224	1	1	3	8,50	6,47	0,86	0,20	0,29	0,44	0,17	0,08	68,71	0,47
6230	1	1	3	8,24	6,38	0,79	0,17	0,33	0,37	0,13	0,07	81,49	0,11
6237	3	3	3	9,32	7,02	1,01	0,17	0,35	0,47	0,20	0,10	48,76	0,98
6242	1	1	4	8,46	6,50	0,84	0,16	0,26	0,43	0,18	0,10	69,20	0,43
6245	1	1	4	8,30	6,35	0,82	0,17	0,30	0,43	0,14	0,09	75,43	0,33
6255	1	1	4	8,32	6,42	0,81	0,17	0,29	0,39	0,18	0,07	82,72	0,13
6260	2	3	4	8,73	6,56	0,97	0,17	0,33	0,45	0,16	0,11	40,60	0,69
6266	3	3	4	8,72	6,54	0,93	0,20	0,32	0,45	0,19	0,09	52,68	0,88
6269	1	1	4	8,16	6,31	0,82	0,15	0,29	0,39	0,16	0,04	77,64	0,15
6275	1	1	4	8,29	6,28	0,90	0,12	0,33	0,40	0,18	0,08	83,79	0,17
6284	2	3	4	8,56	6,50	0,90	0,18	0,35	0,36	0,20	0,08	61,61	1,09
6293	1	3	4	8,88	6,71	0,94	0,16	0,34	0,46	0,17	0,10	64,54	0,75
6296	2	3	4	8,78	6,56	0,96	0,17	0,36	0,46	0,20	0,08	52,81	0,90
6302	1	1	4	8,53	6,67	0,78	0,15	0,30	0,38	0,18	0,08	79,36	0,25
6306	3	3	4	8,50	6,38	0,89	0,18	0,32	0,47	0,19	0,08	62,85	0,80
6313	2	3	6	8,72	6,67	0,85	0,17	0,33	0,45	0,18	0,07	60,13	0,67
6318	1	1	6	8,28	6,37	0,81	0,14	0,31	0,40	0,15	0,10	84,94	0,18
6339	1	1	6	8,38	6,52	0,81	0,12	0,34	0,34	0,15	0,09	82,34	1,25
6345	1	1	6	8,70	6,46	0,96	0,16	0,36	0,48	0,19	0,10	68,37	0,51
6351	2	3	6	8,76	6,72	0,95	0,16	0,33	0,35	0,19	0,06	47,87	0,93
6354	3	3	6	9,11	6,84	0,97	0,18	0,42	0,45	0,18	0,08	51,10	0,86
6360	1	3	6	8,67	6,58	0,94	0,16	0,31	0,40	0,19	0,08	50,12	0,33
6362	3	3	6	8,94	6,77	0,97	0,17	0,30	0,42	0,19	0,11	51,51	0,87
6366	1	1	7	8,64	6,66	0,88	0,15	0,33	0,42	0,14	0,07	74,13	0,87
6378	3	3	7	8,94	6,72	0,93	0,16	0,37	0,45	0,21	0,10	48,24	0,84
6385	2	1	7	8,89	6,81	0,93	0,14	0,31	0,42	0,20	0,08	53,54	0,92

Anexo I
 Datos geoquímicos y radiométricos
 LL965

Profundidad	Litología	Ambiente	Intervalos	γ Total	γ F1	γ K ⁴⁰	γ F2	γ Bi ²⁴⁰	γ F3	γ Ti ²⁰⁸	γ F4	SiO ₂	TiO ₂
6394	1	1	7	8,54	6,38	0,98	0,16	0,31	0,40	0,20	0,11	69,38	0,32
6397	3	3	7	8,57	6,56	0,90	0,18	0,31	0,39	0,17	0,06	55,19	0,89
6411	3	3	7	8,68	6,60	0,94	0,15	0,34	0,41	0,18	0,07	49,56	1,02
6417	3	3	7	8,95	6,75	0,98	0,19	0,33	0,43	0,21	0,07	47,03	0,80
6423	2	3	8	8,59	6,51	0,95	0,16	0,33	0,40	0,16	0,08	58,36	0,80
6426	3	3	8	8,56	6,47	0,86	0,17	0,33	0,48	0,17	0,09	47,35	0,86
6432	3	3	8	8,85	6,62	1,04	0,17	0,33	0,46	0,16	0,08	45,31	0,84
6438	1	1	8	8,77	6,68	0,93	0,14	0,38	0,40	0,17	0,08	58,53	0,48
6441	1	1	8	9,00	6,78	0,99	0,16	0,34	0,44	0,21	0,09	56,81	0,73
6444	3	3	8	8,58	6,41	0,92	0,15	0,33	0,48	0,20	0,09	44,15	0,84
6447	2	3	8	8,56	6,49	0,88	0,16	0,37	0,40	0,18	0,09	59,35	0,67
6453	3	3	8	8,69	6,53	0,96	0,17	0,34	0,42	0,19	0,08	50,26	0,94

Anexo I
Datos geoquímicos y radiométricos
LL965

Profundidad	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	K ₂ O	Mg	V(ppm)	TiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ /K ₂ O	KO ₂ /Al ₂ O ₃	K ₂ O/TiO ₂
6184	16,29	3,89	0,01	0,25	2,29	0	94	0,07	3,05	1,70	0,14	2,15
6193	12,71	2,71	0,04	0,23	1,10	0	30	0,05	5,36	2,47	0,09	1,66
6202	8,98	2,81	0,05	0,24	0,83	0	19	0,06	8,17	3,41	0,09	1,66
6208	8,86	1,81	0,03	0,22	0,82	0	25	0,09	8,60	2,22	0,09	1,01
6213	9,49	2,38	0,05	0,24	0,95	0	0	0,07	7,29	2,52	0,10	1,47
6224	6,40	3,49	0,09	0,31	0,34	0	38	0,07	10,74	10,25	0,05	0,73
6230	1,83	0,91	0,01	0,21	0,06	0	17	0,06	44,53	15,34	0,03	0,52
6237	14,43	6,21	0,00	0,20	2,22	0	96	0,07	3,38	2,79	0,15	2,27
6242	6,65	4,30	0,09	0,23	0,56	0	5	0,06	10,41	7,66	0,08	1,31
6245	6,59	1,18	0,02	0,21	0,43	0	18	0,05	11,45	2,75	0,07	1,28
6255	2,25	0,80	0,01	0,20	0,09	0	24	0,06	36,83	8,67	0,04	0,72
6260	12,50	13,84	0,37	0,69	1,43	0	41	0,06	3,25	9,71	0,11	2,06
6266	15,82	5,83	0,09	0,47	1,80	0	54	0,06	3,33	3,24	0,11	2,04
6269	5,44	1,25	0,02	0,19	0,58	1	35	0,03	14,28	2,18	0,11	3,97
6275	3,47	1,06	0,01	1,48	0,11	0,93	12	0,05	24,17	10,05	0,03	0,63
6284	16,07	3,30	0,04	0,37	1,83	0	63	0,07	3,83	1,80	0,11	1,68
6293	14,38	2,76	0,03	0,54	1,50	0	44	0,05	4,49	1,85	0,10	1,99
6296	16,50	7,18	0,13	0,63	1,70	0	61	0,05	3,20	4,22	0,10	1,90
6302	5,17	1,52	0,03	2,21	0,32	0,61	0	0,05	15,36	4,70	0,06	1,30
6306	15,63	3,82	0,06	0,52	1,03	0,07	43	0,05	4,02	3,72	0,07	1,28
6313	15,13	7,16	0,18	0,60	1,24	1,01	45	0,04	3,97	5,78	0,08	1,84
6318	4,70	1,28	0,01	0,23	0,28	0,55	18	0,04	18,07	4,51	0,06	1,60
6339	6,08	1,47	0,02	0,29	0,38	0,71	36	0,21	13,54	3,85	0,06	0,31
6345	13,35	2,04	0,02	0,37	0,94	0	19	0,04	5,12	2,17	0,07	1,85
6351	14,60	6,54	0,11	0,49	1,84	0	64	0,06	3,28	3,55	0,13	1,98
6354	14,49	5,37	0,08	0,43	1,72	0	55	0,06	3,53	3,12	0,12	2,01
6360	6,62	2,66	0,23	14,31	0,61	1,48	0	0,05	7,57	4,33	0,09	1,87
6362	15,20	5,77	0,09	0,39	1,75	0	72	0,06	3,39	3,30	0,12	2,01
6366	11,06	3,49	0,05	0,37	0,78	0,43	33	0,08	6,71	4,48	0,07	0,90
6378	16,00	9,07	0,17	0,63	1,85	0,07	62	0,05	3,02	4,91	0,12	2,20
6385	13,08	4,39	0,06	0,39	1,43	0	52	0,07	4,10	3,08	0,11	1,54

Anexo I
 Datos geoquímicos y radiométricos
 LL965

Profundidad	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	K ₂ O	Mg	V(ppm)	TiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ /K ₂ O	KO ₂ /AL ₂ O ₃	K ₂ O/TiO ₂
6394	7,15	0,93	0,01	0,18	0,65	0	23	0,04	9,71	1,44	0,09	2,04
6397	15,47	4,95	0,07	0,37	1,50	0,34	60	0,06	3,57	3,30	0,10	1,69
6411	16,82	5,80	0,10	0,36	2,03	0	73	0,06	2,95	2,86	0,12	1,99
6417	15,13	8,07	0,18	0,60	1,53	0	52	0,05	3,11	5,29	0,10	1,92
6423	12,03	3,70	0,02	0,34	1,13	0	37	0,07	4,85	3,28	0,09	1,41
6426	14,71	8,38	0,17	0,84	1,49	0	49	0,06	3,22	5,64	0,10	1,73
6432	13,87	9,64	0,21	0,75	1,43	0	37	0,06	3,27	6,74	0,10	1,69
6438	8,42	7,44	0,13	0,82	0,46	0	7	0,06	6,95	16,11	0,06	0,96
6441	11,65	4,03	0,07	0,36	1,01	0,1	37	0,06	4,88	3,97	0,09	1,38
6444	15,03	10,62	0,18	0,77	1,50	0	67	0,06	2,94	7,10	0,10	1,78
6447	11,46	3,08	0,03	0,31	1,07	0	37	0,06	5,18	2,88	0,09	1,60
6453	17,27	6,69	0,08	0,45	1,89	0	79	0,05	2,91	3,54	0,11	2,00

Anexo I
Datos geoquímicos y radiométricos
LL967

Profundidad	Litología	Ambiente	Intervalos	γ Total	γK^{40}	γBi^{240}	γTi^{208}	$\gamma F1$	$\gamma F2$	$\gamma F3$	$\gamma F4$	Al ₂ O ₃	SiO ₂
6298	1	9	1	8,63	0,89	0,33	0,17	6,51	0,19	0,44	0,10	4,292	85,937
6306	1	9	1	8,50	0,86	0,25	0,14	6,67	0,14	0,37	0,06	8,088	71,419
6309	1	9	1	8,41	0,85	0,34	0,17	6,41	0,16	0,40	0,08	3,395	89,436
6314	3	3	2	8,88	1,01	0,32	0,20	6,61	0,22	0,45	0,07	16,647	42,356
6320	1	1	2	8,31	0,81	0,31	0,18	6,38	0,13	0,41	0,08	5,034	84,312
6323	1	1	2	8,42	0,89	0,31	0,16	6,38	0,16	0,44	0,07	4,636	85,295
6326	1	1	2	8,35	0,95	0,33	0,15	6,26	0,15	0,42	0,09	4,562	83,645
6329	2	1	2	8,95	0,92	0,29	0,18	6,90	0,15	0,41	0,09	14,513	49,966
6332	2	1	2	9,05	1,01	0,33	0,17	6,89	0,19	0,38	0,08	18,279	53,464
6335	1	1	3	8,40	0,82	0,38	0,14	6,37	0,19	0,43	0,07	14,083	63,382
6338	1	1	3	8,57	0,87	0,32	0,14	6,60	0,16	0,39	0,10	7,127	79,053
6344	1	1	3	8,68	0,92	0,34	0,18	6,56	0,16	0,45	0,09	9,488	76,465
6350	1	1	3	8,44	0,97	0,31	0,16	6,34	0,14	0,40	0,12	1,821	77,683
6359	3	3	3	8,80	1,03	0,34	0,16	6,57	0,17	0,46	0,06	20,612	51,08
6371	1	1	3	8,60	0,86	0,34	0,17	6,55	0,18	0,41	0,09	6,609	77,27
6380	3	3	3	8,82	0,90	0,34	0,18	6,65	0,16	0,46	0,12	16,261	48,616
6383	1	1	4	8,28	0,82	0,34	0,16	6,37	0,16	0,37	0,06	7,245	78,381
6392	1	3	4	8,57	0,87	0,33	0,18	6,50	0,14	0,46	0,09	13,053	64,815
6400	1	1	4	8,53	0,82	0,33	0,17	6,53	0,14	0,43	0,10	3,402	79,422
6405	1	1	4	8,43	0,88	0,33	0,19	6,34	0,16	0,43	0,09	4,443	80,439
6408	1	1	4	8,33	0,80	0,29	0,15	6,47	0,13	0,40	0,09	4,861	84,875
6414	2	3	4	8,72	0,87	0,34	0,21	6,60	0,18	0,43	0,08	18,971	51,043
6423	3	3	4	9,21	1,01	0,37	0,19	6,92	0,17	0,45	0,10	15,232	48,408
6426	3	3	4	8,79	0,92	0,34	0,18	6,69	0,16	0,42	0,10	15,869	46,456
6435	3	3	4	9,10	1,00	0,34	0,18	6,86	0,19	0,45	0,07	16,318	49,696
6442	3	3	4	8,89	0,98	0,38	0,21	6,61	0,13	0,52	0,06	16,972	47,95
6451	3	3	4	8,97	1,00	0,37	0,17	6,68	0,16	0,50	0,10	14,566	44,863
6459	1	1	6	8,36	0,89	0,32	0,17	6,32	0,15	0,40	0,11	3,041	81,654
6466	1	1	6	8,42	0,86	0,26	0,20	6,45	0,13	0,42	0,10	4,678	75,63
6474	1	1	6	8,40	0,82	0,35	0,14	6,44	0,15	0,41	0,10	5,261	79,819
6482	1	1	6	8,28	0,85	0,33	0,16	6,30	0,16	0,38	0,09	10,544	70,879
6491	3	3	7	8,98	0,94	0,34	0,17	6,84	0,17	0,42	0,10	14,484	47,273
6497	1	3	7	8,60	0,94	0,28	0,16	6,52	0,12	0,46	0,10	4,329	79,83
6503	2	3	7	8,93	1,01	0,38	0,18	6,72	0,15	0,41	0,08	19,673	46,654
6512	1	3	7	8,79	0,90	0,34	0,22	6,61	0,14	0,46	0,11	14,56	62,379
6518	1	1	7	8,42	0,90	0,29	0,20	6,31	0,17	0,46	0,09	3,125	81,007

Anexo I
 Datos geoquímicos y radiométricos
 LL967

Profundidad	Litología	Ambiente	Intervalos	γ Total	γK^{40}	γBi^{240}	γTi^{208}	$\gamma F1$	$\gamma F2$	$\gamma F3$	$\gamma F4$	Al ₂ O ₃	SiO ₂
6527	1	1	7	8,72	0,96	0,36	0,14	6,64	0,17	0,37	0,06	10,637	70,657
6533	3	3	8	8,94	1,05	0,34	0,21	6,62	0,18	0,45	0,10	15,534	45,507
6540	1	3	8	8,56	0,80	0,34	0,18	6,65	0,13	0,40	0,05	2,86	64,386
6544	1	1	8	8,65	0,85	0,38	0,18	6,51	0,17	0,44	0,10	10,561	63,713
6548	1	1	8	8,53	0,82	0,36	0,14	6,55	0,16	0,42	0,09	4,106	73,923
6554	2	3	8	8,75	0,89	0,38	0,19	6,59	0,16	0,42	0,12	15,186	48,293
6560	3	3	8	8,93	1,01	0,36	0,13	6,66	0,17	0,52	0,07	18,137	50,351
6566	3	3	8	8,84	0,98	0,34	0,19	6,60	0,18	0,44	0,09	15,819	47,981



Anexo I
Datos geoquímicos y radiométricos
LL967

Profundidad	CaO	K ₂ O	TiO ₂	V(ppm)	MnO	Fe ₂ O ₃	Mg	TiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ /K ₂ O	KO ₂ /Al ₂ O ₃	K ₂ O/TiO ₂
6298	0,188	0,085	0,213	32,0	0,013	0,984	2,65	0,05	20,023	11,576	0,020	0,399
6306	0,19	0,442	0,385	45,4	0,012	0,771	0	0,05	8,830	1,744	0,055	1,148
6309	0,197	0,321	0,24	26,5	0,012	0,952	1,341	0,07	26,343	2,966	0,095	1,338
6314	0,357	2,052	0,889	85,0	0,201	11,452	0	0,05	2,544	5,581	0,123	2,308
6320	0,192	0,397	0,205	16,3	0,007	0,865	2,357	0,04	16,749	2,179	0,079	1,937
6323	0,197	0,299	0,322	30,7	0,013	0,771	1,241	0,07	18,398	2,579	0,064	0,929
6326	0,198	0,066	0,169	18,2	0,009	0,83	2,001	0,04	18,335	12,576	0,014	0,391
6329	0,311	1,919	0,927	89,1	0,102	6,356	0	0,06	3,443	3,312	0,132	2,070
6332	0,331	2,149	1,06	98,8	0,07	4,944	0	0,06	2,925	2,301	0,118	2,027
6335	0,328	1,424	0,655	40,4	0,067	4,137	0,576	0,05	4,501	2,905	0,101	2,174
6338	0,22	0,798	0,351	26,7	0,032	2,394	0	0,05	11,092	3,000	0,112	2,274
6344	0,193	0,846	0,483	37,8	0,003	1,002	0	0,05	8,059	1,184	0,089	1,752
6350	0,187	0,154	0,266	17,7	0,012	1,307	0	0,15	42,660	8,487	0,085	0,579
6359	0,312	2,425	1,077	114,1	0,154	8,509	2,938	0,05	2,478	3,509	0,118	2,252
6371	0,213	0,573	0,426	4,5	0,012	1,383	0	0,06	11,692	2,414	0,087	1,345
6380	0,372	2,002	0,962	77,5	0,107	5,935	0	0,06	2,990	2,965	0,123	2,081
6383	0,271	0,512	0,359	17,8	0,043	2,511	0	0,05	10,819	4,904	0,071	1,426
6392	0,364	0,985	0,612	31,0	0,087	3,854	0	0,05	4,966	3,913	0,075	1,609
6400	0,198	0,333	0,417	11,1	0,01	0,971	0	0,12	23,346	2,916	0,098	0,799
6405	0,19	0,356	0,507	22,0	0,018	1,097	1,159	0,11	18,105	3,081	0,080	0,702
6408	0,201	0,335	0,321	37,5	0,012	1,076	0,442	0,07	17,460	3,212	0,069	1,044
6414	0,295	1,936	1,019	86,7	0,096	4,897	0,113	0,05	2,691	2,529	0,102	1,900
6423	0,553	2,127	0,884	60,5	0,174	8,018	0	0,06	3,178	3,770	0,140	2,406
6426	0,669	2,131	0,874	45,8	0,215	9,24	0,726	0,06	2,927	4,336	0,134	2,438
6435	0,515	2,249	0,949	71,8	0,155	7,393	0	0,06	3,045	3,287	0,138	2,370
6442	0,718	2,105	0,897	54,7	0,201	9,263	0	0,05	2,825	4,400	0,124	2,347
6451	0,554	2,337	0,925	63,9	0,124	7,304	0	0,06	3,080	3,125	0,160	2,526
6459	0,241	0,183	0,164	34,6	0,012	1,074	1,075	0,05	26,851	5,869	0,060	1,116
6466	0,225	0,405	0,228	33,7	0,005	1,109	0	0,05	16,167	2,738	0,087	1,776
6474	0,213	0,386	0,438	34,4	0,021	1,406	0,659	0,08	15,172	3,642	0,073	0,881
6482	0,268	0,849	0,395	21,5	0,013	2,322	0,36	0,04	6,722	2,735	0,081	2,149
6491	0,487	1,835	0,984	62,8	0,128	5,996	0	0,07	3,264	3,268	0,127	1,865
6497	3,189	0,183	0,305	0,0	0,063	2,391	0,153	0,07	18,441	13,066	0,042	0,600
6503	0,475	2,275	1,098	92,1	0,105	6,508	0	0,06	2,371	2,861	0,116	2,072
6512	0,352	1,077	1,127	44,5	0,042	3,682	0,617	0,08	4,284	3,419	0,074	0,956
6518	0,212	0,164	0,214	42,1	0,014	1,238	0	0,07	25,922	7,549	0,052	0,766

Anexo I
 Datos geoquímicos y radiométricos
 LL967

Profundidad	CaO	K ₂ O	TiO ₂	V(ppm)	MnO	Fe ₂ O ₃	Mg	TiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ /K ₂ O	KO ₂ /Al ₂ O ₃	K ₂ O/TiO ₂
6527	0,861	0,943	0,533	13,4	0,048	3,205	0	0,05	6,643	3,399	0,089	1,769
6533	0,615	2,093	0,999	71,3	0,13	8,501	1,134	0,06	2,930	4,062	0,135	2,095
6540	14,604	0,13	0,089	0,0	0,175	1,347	0,823	0,03	22,513	10,362	0,045	1,461
6544	0,319	1,017	0,622	39,9	0,067	3,961	0,038	0,06	6,033	3,895	0,096	1,635
6548	0,232	0,321	0,359	25,4	0,019	1,973	0,471	0,09	18,004	6,146	0,078	0,894
6554	0,454	1,914	0,979	73,7	0,107	6,269	0	0,06	3,180	3,275	0,126	1,955
6560	0,468	2,067	0,962	79,1	0,103	6,763	0	0,05	2,776	3,272	0,114	2,149
6566	0,595	1,775	0,914	53,8	0,159	8,078	0	0,06	3,033	4,551	0,112	1,942

Anexo I
Datos Geoquímicos y Radiométricos
LL3045

Profundidad	Litología	Ambiente	Intervalos	γ Total	γ F1	γ K ⁴⁰	γ F2	γ Bi ²⁴⁰	γ F3	γ Ti ²⁰⁸	γ F4	SiO ₂	TiO ₂
5976	1	9	1	8,46	6,42	0,90	0,16	0,29	0,44	0,18	0,07	80,79	0,64
5982	1	9	1	8,26	6,34	0,82	0,14	0,32	0,45	0,16	0,04	88,12	0,14
5990	1	9	1	8,56	6,62	0,85	0,13	0,27	0,40	0,18	0,11	81,17	0,51
5994	1	9	1	8,75	6,67	0,92	0,16	0,33	0,42	0,18	0,08	87,45	0,50
5997	1	9	1	8,65	6,64	0,94	0,16	0,32	0,39	0,13	0,06	81,36	0,45
6003	1	9	1	8,75	6,67	0,92	0,16	0,33	0,42	0,18	0,08	83,37	0,13
6006	1	9	1	8,39	6,41	0,85	0,16	0,30	0,41	0,18	0,09	77,74	0,29
6009	1	9	1	8,24	6,32	0,76	0,13	0,34	0,43	0,16	0,09	87,66	0,29
6012	2	3	2	8,50	6,47	0,88	0,16	0,34	0,41	0,15	0,09	52,40	0,99
6018	1	1	2	8,56	6,52	0,87	0,18	0,30	0,44	0,15	0,09	85,40	0,23
6024	2	3	2	9,11	6,83	1,05	0,17	0,35	0,42	0,21	0,08	48,14	1,11
6032	1	1	3	8,51	6,59	0,87	0,10	0,29	0,40	0,19	0,06	77,51	0,33
6042	2	3	3	9,17	6,92	1,06	0,15	0,33	0,45	0,18	0,08	48,10	1,15
6050	1	1	3	8,49	6,39	0,91	0,16	0,32	0,45	0,15	0,10	85,31	0,52
6057	1	1	3	8,95	6,70	1,02	0,14	0,35	0,42	0,21	0,09	66,58	0,58
6068	1	1	3	9,08	6,87	0,92	0,17	0,35	0,48	0,19	0,10	71,22	0,80
6078	1	1	4	8,52	6,53	0,87	0,15	0,28	0,43	0,18	0,08	78,22	0,58
6087	1	1	4	8,51	6,51	0,84	0,16	0,33	0,44	0,17	0,07	80,09	0,40
6092	1	1	4	8,24	6,25	0,82	0,15	0,34	0,44	0,15	0,09	87,91	0,39
6099	1	1	4	8,36	6,42	0,79	0,15	0,30	0,43	0,16	0,10	83,38	0,38
6108	1	1	4	8,52	6,45	0,90	0,15	0,35	0,42	0,18	0,07	53,34	0,31
6114	1	1	5	8,73	6,56	0,97	0,16	0,34	0,44	0,19	0,08	83,42	0,68
6123	1	1	5	8,28	6,22	0,89	0,17	0,32	0,40	0,19	0,09	77,77	0,37
6130	1	1	5	8,30	6,20	0,93	0,16	0,32	0,40	0,19	0,10	81,23	0,22
6137	1	1	5	8,47	6,32	0,96	0,16	0,35	0,41	0,17	0,10	84,25	0,33
6142	1	1	5	8,49	6,49	0,88	0,15	0,30	0,38	0,18	0,10	72,23	0,41
6149	1	1	5	8,34	6,42	0,82	0,16	0,30	0,43	0,16	0,06	80,85	0,42
6155	1	3	5	8,75	6,56	0,96	0,17	0,37	0,40	0,19	0,10	57,57	0,81
6161	3	3	5	8,82	6,59	1,01	0,16	0,32	0,48	0,17	0,09	50,23	0,91
6169	3	3	5	8,71	6,51	0,92	0,19	0,34	0,47	0,21	0,06	52,80	0,90
6176	2	1	6	8,65	6,62	0,91	0,16	0,33	0,41	0,16	0,06	65,32	0,78
6185	1	1	6	8,74	6,53	0,94	0,16	0,44	0,44	0,15	0,08	72,13	0,53
6191	2	3	6	8,27	6,27	0,87	0,16	0,30	0,42	0,17	0,08	23,70	0,29

Anexo I
Datos Geoquímicos y Radiométricos
LL3045

Profundidad	Litología	Ambiente	Intervalos	γ Total	γ F1	γ K ⁴⁰	γ F2	γ Bi ²⁴⁰	γ F3	γ Ti ²⁰⁸	γ F4	SiO ₂	TiO ₂
6197	1	1	6	8,28	6,37	0,86	0,16	0,28	0,40	0,14	0,07	72,91	0,44
6203	3	3	7	8,96	6,62	1,04	0,18	0,37	0,49	0,18	0,10	49,94	0,86
6212	1	1	7	8,30	6,32	0,82	0,15	0,32	0,44	0,17	0,08	71,35	0,49
6218	3	3	7	8,86	6,58	1,02	0,18	0,34	0,44	0,21	0,10	49,56	0,89
6221	1	3	7	8,56	6,49	0,94	0,17	0,28	0,41	0,19	0,08	65,83	0,61
6224	1	3	7	8,54	6,46	0,93	0,19	0,30	0,42	0,15	0,08	64,36	0,51
6236	3	3	7	9,08	6,81	0,96	0,18	0,37	0,44	0,23	0,09	49,57	1,24
6239	1	1	7	8,32	6,35	0,78	0,18	0,30	0,43	0,18	0,09	72,27	0,56
6242	2	3	7	8,67	6,57	0,88	0,20	0,35	0,42	0,17	0,08	53,95	1,15
6245	2	3	7	8,87	6,69	0,96	0,16	0,34	0,46	0,18	0,07	50,74	0,84
6251	1	5	8	8,45	6,44	0,88	0,13	0,29	0,42	0,18	0,10	80,87	0,12
6254	3	3	8	8,59	6,51	0,85	0,17	0,32	0,48	0,18	0,07	52,87	0,93
6260	1	1	8	8,39	6,40	0,84	0,16	0,28	0,45	0,18	0,08	69,63	0,59
6268	1	1	8	8,45	6,40	0,90	0,16	0,32	0,45	0,16	0,06	69,63	0,51
6275	3	3	8	8,99	6,79	0,98	0,18	0,37	0,42	0,19	0,07	50,93	1,06
6281	1	3	8	8,35	6,30	0,96	0,13	0,29	0,42	0,16	0,09	51,75	0,72
6287	1	1	9	8,48	6,46	0,91	0,18	0,30	0,36	0,17	0,09	81,11	0,37
6293	1	1	9	8,39	6,42	0,90	0,18	0,29	0,38	0,15	0,08	58,59	0,63
6296	1	1	9	8,70	6,51	0,93	0,18	0,35	0,45	0,19	0,10	74,43	0,53
6299	1	1	9	8,18	6,27	0,78	0,16	0,32	0,38	0,17	0,09	74,31	0,43
6302	1	1	9	8,60	6,60	0,86	0,14	0,32	0,44	0,17	0,08	66,74	0,43
6305	2	3	9	8,66	6,56	0,88	0,17	0,32	0,47	0,17	0,07	45,10	0,96

Anexo I
Datos Geoquímicos y Radiométricos
LL3045

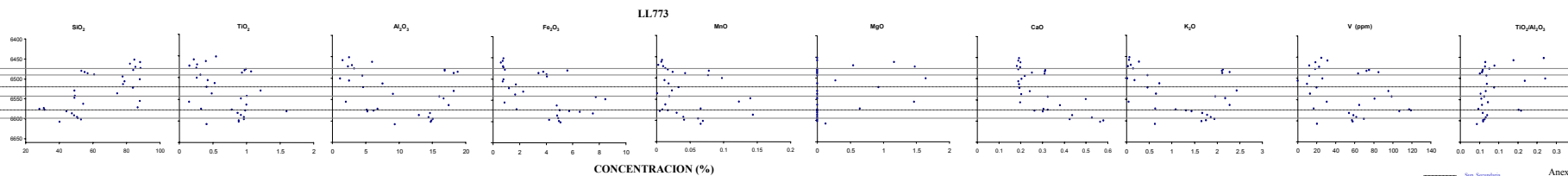
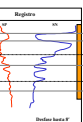
Profundidad	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	K ₂ O	Mg	V(ppm)	TiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ /K ₂ O	KO ₂ /Al ₂ O ₃	K ₂ O/TiO ₂
5976	5,66	0,65	0,01	0,18	0,11	0,10	53	0,11	14,28	6,14	0,02	0,17
5982	2,36	0,70	0,01	0,20	0,01	0	1	0,06	37,37	70,00	0,00	0,07
5990	6,65	0,64	0,01	0,18	0,20	0,23	32	0,08	12,21	3,17	0,03	0,40
5994	5,24	0,65	0,01	0,18	0,13	0	29	0,10	16,70	5,18	0,02	0,25
5997	4,18	0,66	0,01	0,20	0,08	0	0	0,11	19,49	7,89	0,02	0,19
6003	3,96	0,62	0,01	0,20	0,05	0	13	0,03	21,05	13,21	0,01	0,38
6006	3,24	0,62	0,01	0,19	0,04	0	21	0,09	23,97	15,58	0,01	0,14
6009	3,85	0,65	0,01	0,19	0,11	1,79	33	0,08	22,75	6,16	0,03	0,36
6012	14,95	1,64	0,00	0,24	2,01	0	65	0,07	3,50	0,82	0,13	2,04
6018	4,57	1,70	0,03	0,22	0,49	0,57	23	0,05	18,70	3,46	0,11	2,16
6024	17,68	6,41	0,10	0,46	2,69	0	93	0,06	2,72	2,38	0,15	2,43
6032	5,70	2,77	0,06	0,29	0,66	0,52	34	0,06	13,61	4,17	0,12	2,02
6042	17,94	4,19	0,06	0,32	2,83	0	77	0,06	2,68	1,48	0,16	2,46
6050	7,14	1,02	0,02	0,21	0,73	0,87	38	0,07	11,96	1,39	0,10	1,41
6057	12,22	1,40	0,01	0,35	1,86	0	32	0,05	5,45	0,75	0,15	3,22
6068	11,42	2,14	0,04	0,28	1,52	0	32	0,07	6,24	1,41	0,13	1,90
6078	9,83	1,16	0,01	0,23	1,11	0	18	0,06	7,96	1,05	0,11	1,91
6087	6,10	0,92	0,00	0,21	0,72	0	9	0,07	13,14	1,28	0,12	1,80
6092	3,83	0,59	0,02	0,19	0,39	1,11	12	0,10	22,97	1,50	0,10	1,01
6099	4,37	0,71	0,02	0,19	0,50	0,72	14	0,09	19,10	1,40	0,12	1,33
6108	2,89	15,00	0,36	0,32	0,37	3,21	18	0,11	18,44	40,53	0,13	1,20
6114	6,26	0,77	0,01	0,32	0,64	0	20	0,11	13,33	1,21	0,10	0,94
6123	7,36	1,20	0,02	0,22	0,67	0	10	0,05	10,57	1,79	0,09	1,83
6130	5,96	1,01	0,02	0,21	0,51	0	39	0,04	13,64	1,98	0,09	2,29
6137	5,15	0,99	0,02	0,22	0,46	1,22	0	0,06	16,35	2,14	0,09	1,39
6142	5,13	0,60	0,00	0,21	0,45	0	29	0,08	14,08	1,32	0,09	1,10
6149	4,78	1,44	0,03	0,21	0,39	0	28	0,09	16,93	3,70	0,08	0,92
6155	16,24	3,57	0,07	0,29	1,50	0	48	0,05	3,55	2,38	0,09	1,86
6161	16,96	8,46	0,17	0,52	2,38	0	74	0,05	2,96	3,55	0,14	2,61
6169	15,29	6,05	0,11	0,46	2,18	0,05	68	0,06	3,45	2,77	0,14	2,42
6176	12,78	3,40	0,06	0,59	1,48	1,24	35	0,06	5,11	2,30	0,12	1,90
6185	7,47	1,15	0,03	0,49	0,54	0	19	0,07	9,65	2,16	0,07	1,02
6191	6,60	28,01	0,49	6,22	0,50	0,95	11	0,04	3,59	56,24	0,08	1,70

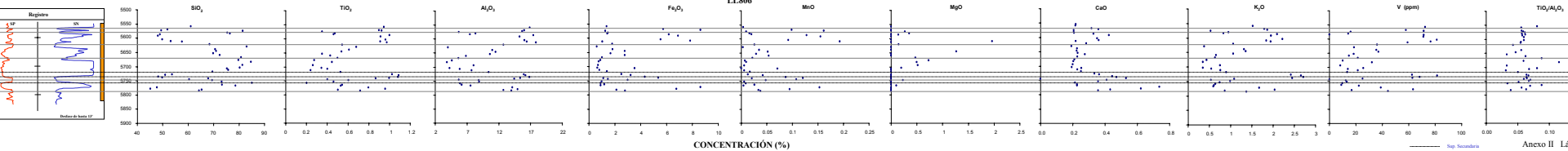
Anexo I
 Datos Geoquímicos y Radiométricos
 LL3045

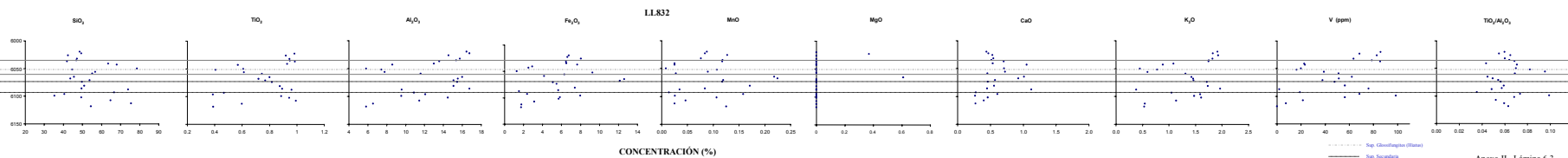
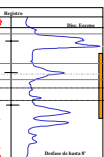
Profundidad	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	K ₂ O	Mg	V(ppm)	TiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ /K ₂ O	KO ₂ /Al ₂ O ₃	K ₂ O/TiO ₂
6197	8,10	1,39	0,02	0,46	0,52	0,36	0	0,05	9,00	2,70	0,06	1,17
6203	14,04	6,73	0,10	0,50	1,84	0	71	0,06	3,56	3,66	0,13	2,14
6212	6,73	2,06	0,03	0,64	0,20	0,26	23	0,07	10,61	10,19	0,03	0,41
6218	15,41	6,53	0,13	0,50	1,76	0	65	0,06	3,22	3,70	0,11	1,98
6221	13,02	3,56	0,05	0,45	1,19	0	34	0,05	5,06	3,00	0,09	1,96
6224	10,01	2,19	0,02	0,44	1,01	0	33	0,05	6,43	2,18	0,10	1,98
6236	24,41	6,73	0,12	0,45	2,83	2,63	104	0,05	2,03	2,38	0,12	2,28
6239	7,38	2,75	0,07	0,36	0,38	0	33	0,08	9,79	7,32	0,05	0,67
6242	17,67	4,33	0,05	0,37	2,25	0	79	0,07	3,05	1,92	0,13	1,95
6245	15,34	6,72	0,10	0,54	1,64	0	70	0,05	3,31	4,10	0,11	1,96
6251	2,77	1,10	0,01	0,23	0,03	0	8	0,04	29,22	39,18	0,01	0,23
6254	15,80	6,07	0,08	0,47	1,79	0	63	0,06	3,35	3,40	0,11	1,93
6260	9,15	2,53	0,04	0,54	0,80	0	14	0,06	7,61	3,18	0,09	1,35
6268	11,52	1,84	0,02	0,35	0,97	0	40	0,04	6,04	1,90	0,08	1,90
6275	15,81	4,66	0,05	0,36	2,22	0	78	0,07	3,22	2,10	0,14	2,09
6281	13,74	4,61	0,07	0,46	1,45	0	35	0,05	3,77	3,18	0,11	2,02
6287	6,99	1,23	0,01	0,25	0,28	0	27	0,05	11,61	4,49	0,04	0,74
6293	12,56	8,16	0,15	0,73	0,98	0	24	0,05	4,66	8,34	0,08	1,55
6296	7,73	1,89	0,03	0,34	0,57	0	18	0,07	9,64	3,31	0,07	1,08
6299	8,13	1,22	0,02	0,35	0,55	0,41	16	0,05	9,14	2,23	0,07	1,27
6302	8,64	2,18	0,03	0,32	0,78	0	17	0,05	7,72	2,81	0,09	1,82
6305	16,29	7,92	0,13	0,65	2,16	0	69	0,06	2,77	3,66	0,13	2,26

ANEXO II

PERFILES GEOQUÍMICOS Y SECCIÓN ESTRATIGRÁFICA



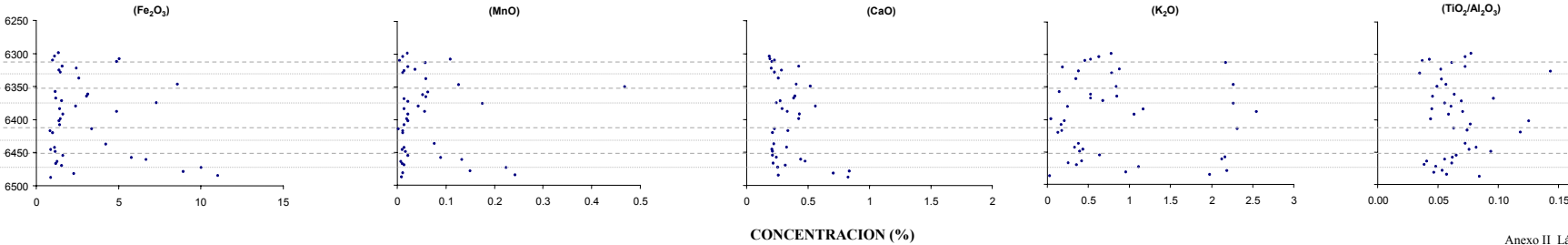




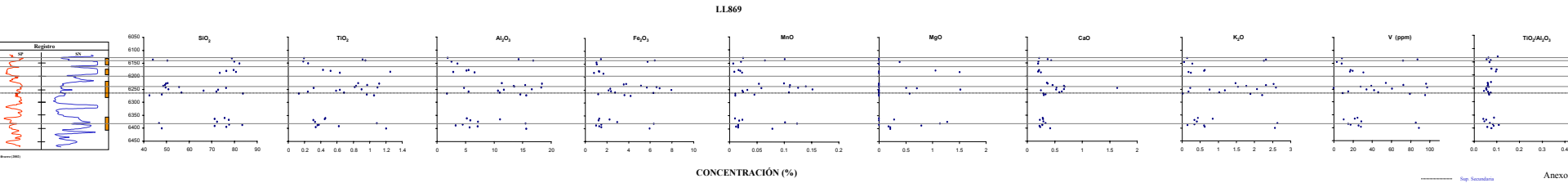
Intens.	Registros	
	SP	SN
B-6-X	1	
B-7-X / B-8-X	2	
	3	
	4	
	5	
	6	
Desfase hasta de 5°		

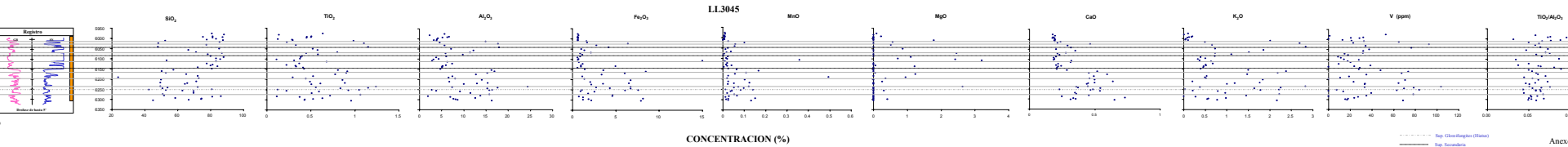
med. Serrano Alvarez (2002)

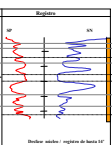
LL850



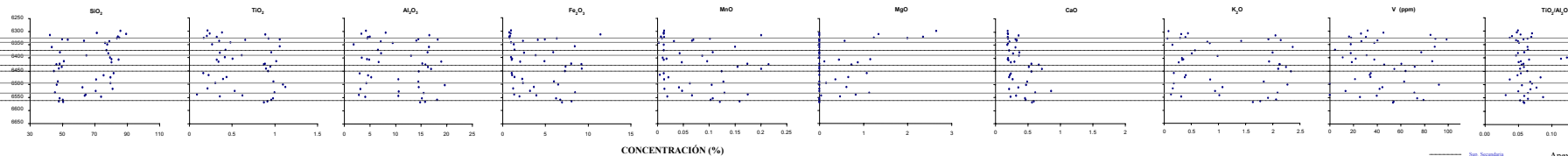
Anexo II L6





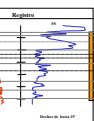


L1967

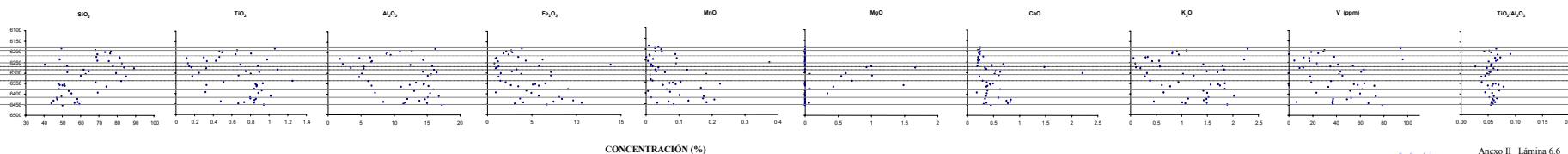


Seg. Secundaria

Antec.



LL965



ANEXO III

DATOS DE PERMEABILIDAD Y POROSIDAD

Anexo III
Pozo LL773

Intervalo	Profundidad (pies)	Perm. mD	Porosidad (%)
1	6451,5	905	22
1	6452,5	428	19,6
1	6453,5	2550	20,5
1	6454,5	1570	19,4
1	6455,5	391	20,2
1	6456,5	249	18,4
1	6457,5	994	22,3
1	6458,5	1075	20,3
1	6459,5	234	21
1	6460,5	150	19
1	6461,5	182	21,2
1	6462,5	99	22
1	6463,5	196	19,7
1	6464,5	425	20,4
1	6465,5	452	22
1	6466,5	261	21,2
1	6467,5	290	21
1	6468,5	236	21,9
1	6469,5	367	21,6
1	6470,5	685	21,1
1	6471,5	1470	21
1	6472,5	587	20,9
1	6473,5	318	19,6
1	6474,5	742	19,1
1	6475,5	636	19,6
1	6476,5	286	19
1	6477,5	670	19,7
1	6478,5	630	17,9
3	6490,5	23	15,2
3	6491,5	15	18,2
3	6492,5	6,1	12,7
3	6493,5	25	19,9
3	6494,5	230	21,1
3	6495,5	2350	21,8
3	6496,5	2575	20,3
3	6497,5	1963	24
3	6498,5	1255	23,2
3	6499,5	1025	21
3	6500,5	1000	17,8
3	6501,5	766	18,2
3	6502,5	938	17,2
3	6503,5	2205	19,7
3	6504,5	310	17,7
3	6505,5	722	20,1
3	6506,5	837	21,2
3	6507,5	701	22
3	6508,5	629	21,4
3	6509,5	371	21,8
3	6510,5	775	20,3
3	6511,5	31	22,6

Anexo III
Pozo LL773

	Intervalo	Profundidad (pies)	Perm. mD	Porosidad (%)
	3	6512,5	38	20,3
	3	6513,5	69	20,1
	3	6514,5	58	20,4
	3	6515,5	89	19,3
	3	6516,5	114	20,1
	3	6517,5	96	21,3
	3	6518,5	286	21,6
	3	6519,5	249	24
	3	6520,5	176	23,2
	3	6521,5	253	23,9
	3	6522,5	187	21,5
	3	6523,5	210	20,6
	3	6524,5	269	21,4
	3	6525,5	5,1	16,1
	3	6526,5	92	17,7
	3	6527,5	135	17,3
	3	6528,5	129	16,8
	3	6529,5	45	20,3
	3	6531,5	157	19,4
	3	6532,5	107	19,4
	3	6533,5	201	19,2
	3	6534,5	100	18,1
	3	6535,5	119	17,7
	3	6537,5	137	20,2
	3	6538,5	248	22,2
	3	6539,5	273	23
	3	6540,5	68	20,6
	3	6541,5	33	19,4
	3	6542,5	245	18,2
	3	6543,5	213	20,5
	3	6544,5	812	18,8
	3	6545,5	98	19,4
	3	6546,5	2,7	10,2
	4	6548,5	12	10,1
	4	6554,5	384	21
	4	6555,5	318	20,8
	4	6556,5	225	19,2
	4	6557,5	1630	20,8
	4	6558,5	2045	22,1
	4	6559,5	750	21,9
	4	6560,5	1060	22,2
	4	6561,5	265	25,2
Promedio			519,92	20,05
STD			599,16	2,46
Max.			2575	25,2
Min.			2,7	10,1

Anexo III
Pozo LL806

Intervalo	Profundidad (pies)	Perm. mD	Porosidad (%)
1	5551,5	595	25,8
1	5552,5	880	25,7
1	5553,5	2050	23,3
1	5554,5	710	21,8
2	5558	169	23,5
2	5559	243	19,2
2	5560	180	22,1
2	5561	424	22,4
2	5562	570	23,3
2	5563	124	23,5
2	5564	247	23,2
2	5565	173	25,7
2	5566	510	23,3
2	5567	343	23,2
2	5568	232	22,8
3	5573,5	1360	21,3
3	5574,5	245	22,5
3	5575,5	88	21,5
3	5576,5	352	21,7
3	5577,5	297	22,3
3	5578,5	148	22,4
3	5579,5	113	23,6
3	5580,5	564	23,3
3	5581,5	128	22,8
3	5582,5	288	23
3	5583,5	259	23,2
3	5584,5	294	21,8
3	5585,5	115	22,9
3	5586,5	97	22,9
3	5587,5	186	22,7
3	5588,5	184	22,2
3	5589,5	165	22,5
3	5590,5	62	19,6
3	5591,5	398	23,1
3	5592,5	95	19,7
3	5593,5	603	19,6
3	5594,5	60	22
3	5596	81	20,2
3	5603,5	108	23,3
3	5604,5	218	24,7
3	5605,5	630	19,4
3	5606,5	161	20
3	5607,5	130	18,1
3	5613	128	17,6
4	5622,7	90	21,4
4	5623,5	536	21,8
4	5624,5	374	23,7
4	5625,5	622	25,4
4	5626,5	297	22,9
4	5627,5	874	23,6

Anexo III
Pozo LL806

Intervalo	Profundidad (pies)	Perm. mD	Porosidad (%)
4	5628,5	715	21,1
4	5629,5	119	25
4	5630,5	108	24,4
4	5631,5	48	22,4
4	5632,5	97	24
4	5634,5	186	22,8
4	5635,5	143	22,2
4	5636,5	14	21,3
4	5637,5	121	22,5
4	5638,5	124	24,1
4	5639,5	74	21,1
4	5640,5	154	18,8
4	5641,5	69	21,1
4	5642,5	46	21,5
4	5643,5	41	21
4	5644,5	136	22,3
4	5645,5	234	23
4	5646,5	50	20,4
4	5647,5	179	20,5
4	5649,5	128	21,9
4	5650,5	663	23,1
4	5651,5	94	22
4	5652,5	190	21,5
4	5653,5	117	20,3
4	5654,5	184	20,5
4	5655,5	323	20,7
4	5656,5	994	21,4
4	5659,5	344	24,2
4	5660,5	544	20
4	5661,5	283	20,1
5	5666,5	379	23,1
5	5667,5	280	22,8
5	5668,5	184	21,3
5	5669,5	397	24
5	5670,5	411	22,1
5	5671,5	610	22,4
5	5672,5	285	24,6
5	5673,5	167	23
5	5674,5	97	21,8
5	5675,5	177	21,4
5	5676,5	980	22,3
5	5677,5	450	23,6
5	5678,5	810	23,3
5	5679,5	287	21,4
5	5680,5	156	22,7
5	5681,5	204	21,8
5	5682,5	282	22,3
5	5683,5	190	22,7
5	5684,5	333	23,7
5	5685,5	326	24,2

Anexo III
Pozo LL806

Intervalo	Profundidad (pies)	Perm. mD	Porosidad (%)
5	5686,5	464	22,9
5	5687,5	404	23,7
5	5688,5	182	22,2
5	5689,5	214	24,8
5	5690,5	536	23,5
5	5691,5	244	21,6
5	5692,5	563	24
5	5693,5	666	24
5	5694,5	570	22,9
5	5695,5	1273	24,1
5	5696,5	74	22,6
5	5697,5	113	21,3
5	5698,5	194	25
5	5699,5	190	23,1
5	5700,5	305	23,2
5	5701,5	552	24,1
5	5702,5	364	23,4
5	5703,5	1820	25,1
5	5704,5	2183	27,1
5	5705,5	1100	21,3
5	5706,5	610	22,4
5	5707,5	99	22,8
5	5708,5	236	24
5	5709,5	239	21,8
5	5710,5	130	21,5
5	5711,5	165	20
5	5712,5	234	19,5
5	5713,5	221	20,3
5	5714,5	108	19,7
5	5715,5	636	21,4
5	5716,5	60	22,2
5	5717,5	477	21,7
5	5718,5	92	20,6
5	5719,5	180	22
5	5720,5	510	21,1
5	5721,5	223	19,6
5	5722,5	128	20,6
5	5723,5	196	20,3
5	5733,5	5,1	16,1
5	5736	7,2	12,6
5	5739,5	2,3	15,4
6	5741,5	36	20,1
6	5742,5	59	18,6
6	5743,5	128	19,7
6	5744,5	40	19,7
6	5745,5	57	20,7
6	5746,5	62	20,6
6	5747,5	106	18,7
6	5748,5	53	19,5
6	5749,5	236	21,5

Anexo III
Pozo LL806

	Intervalo	Profundidad (pies)	Perm. mD	Porosidad (%)
	6	5752,5	238	19
	6	5753,5	96	19,5
	6	5754,5	78	20
	6	5755,5	154	20,2
	6	5756,5	480	20,6
	6	5757,5	14	18,1
	6	5758,5	95	20,9
	6	5759,5	163	21,9
	6	5760,5	156	21,2
	6	5761,5	62	19,4
	6	5762,5	73	21,7
	6	5763,5	108	22,3
	6	5764,5	186	22
	6	5765,5	116	20,4
	6	5766,5	310	20
	7	5768,5	36	15,8
	7	5770,5	31	13,8
	7	5772	83	18,8
	7	5779	154	15,9
	7	5782	7,2	16,4
	7	5783,5	182	19,6
	7	5784,5	26	17,3
	7	5786	2,4	16,4
	7	5787,5	2,1	16,1
Promedio			296,13	21,60
STD			335,56	2,28
Max.			2183	27,1
Min.			2,1	12,6

Anexo III
Pozo LL832

	Intervalo	Profundidad (pies)	Perm. mD	Porosidad (%)
	7	6022,2	222	17,1
	7	6033,5	36	17,6
	7	6036,5	62	14,7
	8	6042,5	1,2	12,2
	8	6043,5	12	18,1
	8	6044,5	0,6	13,8
	8	6046,5	46	21,1
	8	6047,5	65	16,6
	8	6048,5	137	19,8
	8	6049,5	139	22,1
	8	6050,5	119	23,7
	8	6051,5	55	21,9
	8	6052,5	62	19,8
	8	6053,5	90	16,2
	8	6054,5	69	19
	8	6088,5	222	19,9
	8	6091,5	2,8	8,6
	9	6092,5	4	15
	9	6106,5	14	18,7
	9	6107,5	51	19
	9	6108,5	79	21,5
	9	6109,5	139	22,3
	9	6110,5	4,8	14,7
	9	6111,5	214	23,5
	9	6112,5	96	24,2
	9	6113,5	123	24,2
	9	6114,5	171	22,5
	9	6115,5	128	21,2
	9	6116,5	77	22,4
	9	6117,5	237	26,8
	9	6118,5	19	21,6
Promedio			87,01	19,35
STD			71,67	4,02
Max.			237	26,8
Min.			0,6	8,6

Anexo III
Pozo LL850

Intervalo	Profundidad (pies)	Perm. mD	Porosidad (%)
2	6299,5	63	19
2	6300,5	180	20,8
2	6301,5	36	18,7
2	6302,5	73	19,3
2	6303,5	121	18,7
2	6304,5	64	20,3
2	6305,5	350	17,8
2	6306,5	312	18,7
2	6307,5	222	19,8
2	6308,5	249	16,9
2	6309,5	309	17,8
2	6310,5	237	18,5
2	6311,5	230	20,2
2	6312,5	17	15,6
2	6316,5	367	19,4
3	6317,5	331	18,5
3	6318,5	245	19,8
3	6319,5	251	20,9
3	6320,5	4	16,4
3	6321,5	187	19,1
3	6322,5	179	22,2
3	6323,5	67	19,4
3	6324,5	156	19,2
3	6325,5	79	18,7
3	6326,5	23	16,8
3	6327,5	164	19,7
3	6328,5	20	17,3
3	6329,5	138	18,9
3	6330,5	18	20,9
3	6331,5	42	19,6
3	6332,5	2,2	18,4
3	6333,5	107	18,9
3	6334,5	249	18,7
3	6335,5	9	18,2
3	6336,5	11	17,3
3	6337,5	44	13,9
3	6352,5	54	14
3	6353,5	153	19,4
3	6354,5	396	21,7
3	6355,5	121	21,8
3	6356,5	84	21,8
3	6357,5	90	21,6
4	6358,5	104	19,5
4	6359,5	5,6	13,8
4	6360,5	197	21,1
4	6361,5	74	20,5
4	6362,5	221	21,3
4	6363,5	203	20,4
4	6364,5	340	20,3
4	6365,5	150	19,4

Anexo III
Pozo LL850

Intervalo	Profundidad (pies)	Perm. mD	Porosidad (%)
4	6366,5	249	18,3
4	6367,5	128	20,6
4	6368,5	136	19,5
4	6369,5	34	19,3
4	6370,5	578	22,2
4	6371,5	148	19,4
4	6372,5	336	18,6
4	6373,5	311	21
4	6374,5	311	21,6
4	6375,5	187	23
4	6388,5	70	19,9
4	6389,5	46	19,3
4	6390,5	6,3	17
4	6393,5	5,6	16,4
4	6395,5	5,6	15,6
4	6399,5	437	16,4
4	6400,5	940	21,8
4	6401,5	379	19,6
4	6402,5	363	20
4	6403,5	268	18,7
4	6404,5	690	21,8
4	6406,5	726	22,2
4	6407,5	597	22,9
4	6408,5	678	22,1
4	6409,5	833	21,3
5	6410,5	662	19,2
5	6415,5	129	17
5	6416,5	43	16,7
5	6417,5	71	18,9
5	6418,5	398	22,2
5	6419,5	251	21,8
5	6420,5	432	24,5
5	6421,5	365	19,9
5	6422,5	88	20
5	6426,5	212	23,3
5	6427,5	128	19,2
5	6428,5	50	19,5
5	6429,5	121	21,5
5	6430,5	184	21
5	6431,5	53	20,9
5	6432,5	81	17,8
5	6433,5	48	15,5
5	6434,5	60	19,7
5	6435,5	204	19,3
5	6436,5	117	21,3
5	6437,5	83	18,6
5	6438,5	17	17,1
5	6439,5	103	20,2
5	6440,5	222	21
5	6441,5	69	19,7

Anexo III
Pozo LL850

	Intervalo	Profundidad (pies)	Perm. mD	Porosidad (%)
	5	6442,5	55	19,1
	5	6443,5	169	19,7
	5	6444,5	320	18
	5	6445,5	117	17,9
	5	6446,5	46	18
	5	6447,5	81	19,5
	5	6448,5	141	19,7
	5	6449,5	190	19,1
	5	6450,5	85	18,4
	5	6451,5	148	21,2
	5	6452,5	50	18,7
	5	6453,5	76	17,6
	5	6454,5	198	22,1
	5	6455,5	295	20,9
	5	6456,5	274	21,1
	5	6457,5	451	21,3
	5	6458,5	249	21,3
	6	6464,5	76	14,5
	6	6465,5	336	20,8
	6	6467,5	118	17,6
	6	6469	12	16,5
	6	6470	173	20,3
	6	6471,5	76	14,4
	6	6472,5	1,8	13,7
	6	6474,5	444	19,8
	6	6475,5	283	19,2
	6	6476,5	437	21,2
	6	6477,5	842	19,4
	6	6480,5	154	13,8
	6	6482,5	212	17,8
	6	6483,5	192	14,6
Promedio			205,64	18,59
STD			177,39	2,51
Max.			842	22,1
Min.			1,8	13,7

Anexo III
Pozo LL945

Intervalo	Profundidad (pies)	Perm. mD	Porosidad (%)
2	6960,5	815	27,1
2	6961,5	495	24,1
2	6962,5	930	30
2	6963,5	1440	22,8
2	6964,5	189	28,7
2	6965,5	224	25
2	6966,5	224	26
2	6967,5	34	22,4
2	6968,5	21	22,4
2	6969	34	25,5
2	6970	67	25,4
2	6971	3,2	12
2	6972	492	20,2
2	6973	271	22,6
2	6974	89	18,8
3	6977,5	151	24,3
3	6978,5	114	24,2
3	6979,5	281	23,2
3	6980,5	252	23
3	6981,5	250	25,8
3	6982,5	189	27
3	6983,5	271	23,1
3	6984,5	284	26,5
3	6985,5	236	26
3	6986,5	648	25,2
3	6987,5	290	22
3	6988,5	148	21,5
3	6989,5	435	21
		317,04	23,78
		316,31	3,42
		1440	30
		3,2	12

Anexo III
Pozo LL965

Intervalo	Profundidad (Pies)	Perm. mD	Porosidad (%)
2	6185	215	21,6
2	6186	561	24,2
2	6187	331	28,2
2	6188	685	23,6
2	6189	96	24,3
2	6190	3	19,3
2	6191	1,6	17,6
2	6192	145	17,4
3	6194	56	20
3	6195	182	20,8
3	6196	32	22,6
3	6197	41	21,7
3	6198	63	23,2
3	6199	1,4	16,1
3	6200	142	24,3
3	6201	19	20,2
3	6202	362	21,5
3	6203	23	25,7
3	6204	160	22,9
3	6205	61	21,3
3	6206	220	22,4
3	6207	43	19,2
3	6208	44	22,4
3	6209	55	23,8
3	6210	116	24,3
3	6211	45	23,8
3	6212	179	26
3	6213	95	23,9
3	6214	146	25,5
3	6215	217	26,6
3	6216	44	25,8
3	6220	225	23,7
3	6221	268	23,1
3	6222	308	23,4
3	6223	129	20,9
3	6224	281	24,1
3	6225	504	24,1
3	6227	218	24,1
3	6228	248	23,5
3	6229	112	24,6
3	6230	255	23,7
3	6231	210	25,5
3	6232	477	26,3
3	6233	318	24,4
3	6234	720	27,8
3	6235	2006	26,6
4	6241	16	20,8
4	6242	130	25,3
4	6243	216	23
4	6244	542	26,3

Anexo III
Pozo LL965

Intervalo	Profundidad (Pies)	Perm. mD	Porosidad (%)
4	6245	89	24,3
4	6249	328	19,2
4	6250	397	25,6
4	6274	683	23,5
4	6275	575	24,2
4	6278	705	24,7
4	6301	248	20
4	6302	447	18,1
4	6304	485	23,2
4	6305	304	23,9
4	6306	72,5	24,6
4	6307	258	23,5
4	6308	427	22,6
6	6309	390	23,2
6	6313	625	26
6	6314	575	28,6
6	6315	248	21,1
6	6316	152	23,4
6	6318	403	25,1
6	6319	274	23,6
6	6320	604	26
6	6323	137	17,7
6	6324	450	23
6	6327	925	26,9
6	6328	211	21,3
6	6329	106	22,7
6	6330	76	22,7
6	6331	139	22,7
6	6332	178	21,7
6	6333	369	24,2
6	6334	138	21,4
6	6335	53	20,4
6	6336	71	22,3
6	6337	40	19,5
6	6338	28	22,2
6	6339	51	21,6
6	6340	34	21,7
6	6341	43	22,3
6	6342	32	23,5
6	6343	31	21,1
6	6344	66	20,3
6	6345	30	22,1
6	6346	141	23,8
6	6347	19	22,2
6	6349	112	25,3
6	6350	182	19,9
6	6355	5,9	15,6
7	6381	5,8	17
7	6382	226	23,5
7	6383	59	23

Anexo III
Pozo LL965

	Intervalo	Profundidad (Pies)	Perm. mD	Porosidad (%)
	7	6384	16	19
	7	6385	181	23,5
	7	6387	83	20,8
	7	6388	190	21,6
	7	6389	61	24
	7	6390	128	23,5
	7	6391	103	22,4
	7	6392	630	21,5
	7	6393	182	22,4
	7	6413	1,9	15
	7	6417	14	17,6
	8	6424	129	18,1
	8	6431	2,5	21,4
	8	6432	8	18
	8	6433	0,7	20,8
	8	6434	0,5	20,6
	8	6435	1,5	18,7
Promedio			218,35	22,53
STD			259,92	2,67
Max.			2006,00	28,60
Min.			0,50	15,00

Anexo III
Pozo LL967

Intervalo	Profundidad (Pies)	Perm. mD	Porosidad (%)
1	6298	1149	26,3
1	6299	1920	29,6
1	6300	917	28,4
1	6301	1160	24,9
1	6302	84	26,1
1	6303	1660	25,3
1	6304	46	23
1	6305	129	24,6
1	6306	172	25,2
1	6307	59	22,5
1	6308	388	21,7
1	6309	634	24,3
1	6310	1235	22,4
1	6311	650	23,7
2	6312	102	21,2
2	6316	312	24,2
2	6317	578	25,4
2	6318	175	22,3
2	6319	13	25,8
2	6320	310	23,3
2	6321	427	25,9
2	6322	443	20,3
2	6323	645	26,4
2	6324	378	24,4
2	6325	360	26,5
2	6326	610	20,5
2	6327	185	22,4
2	6331	26	19,9
2	6332	61	22,2
3	6334	88	21,6
3	6335	17	22,8
3	6336	20	22
3	6338	153	25,1
3	6339	40	22
3	6340	67	23,8
3	6341	13	20,5
3	6342	103	26,4
3	6343	17	25,4
3	6344	755	26,5
3	6345	822	23,6
3	6346	1400	24,2
3	6347	960	26,8
3	6348	1820	29
3	6349	1870	30,2
3	6350	2205	30
3	6351	675	22,8
3	6353	244	23,2
3	6354	648	21,6
3	6355	175	18,2
3	6356	215	19,6

Anexo III
Pozo LL967

Intervalo	Profundidad (Pies)	Perm. mD	Porosidad (%)
3	6358	215	16,7
3	6359	478	18,7
3	6360	169	17,1
3	6361	146	18,5
3	6362	142	20,3
3	6363	23	20,5
3	6364	249	24,3
3	6365	281	24,2
3	6366	23	21,2
3	6367	198	23,9
3	6368	182	24,3
3	6369	93	22,4
3	6370	225	23,1
3	6371	122	24,9
3	6372	83	23,6
3	6373	331	25,5
3	6374	805	23,8
3	6381	59	17,6
4	6391	16	16,2
4	6393	30	17,8
4	6396	162	25,1
4	6397	568	20,9
4	6398	334	27
4	6399	392	24,2
4	6400	950	20,9
4	6401	674	27,4
4	6402	707	25,4
4	6403	341	27,1
4	6404	427	23,7
4	6405	684	25,5
4	6406	334	24,4
4	6407	281	25,3
4	6408	331	26,5
4	6409	784	26,7
4	6410	165	23,6
4	6411	604	24,2
4	6412	838	25,5
4	6417	139	20,2
4	6449	146	20,8
4	6450	370	24,6
4	6451	231	21,2
4	6452	241	22,8
4	6453	466	26,5
6	6454	105	24,2
6	6455	122	23,7
6	6456	720	23,9
6	6457	562	23,6
6	6458	179	23,7
6	6459	675	24,9
6	6460	562	22,8

Anexo III
Pozo LL967

Intervalo	Profundidad (Pies)	Perm. mD	Porosidad (%)
6	6461	466	25,2
6	6462	115	22,3
6	6463	185	21,4
6	6464	470	24,8
6	6465	212	23,5
6	6466	231	26
6	6467	229	26,8
6	6468	527	24,6
6	6469	520	25,3
6	6470	324	23,9
6	6471	225	23,5
6	6472	172	24,1
6	6473	179	22,9
6	6474	370	22,7
6	6475	680	24,4
6	6476	69	22,4
6	6477	301	24,2
6	6478	542	25,7
6	6479	479	23,7
6	6480	145	22,9
6	6481	115	17,1
6	6482	120	28
6	6483	6,3	16,6
7	6501	12	17,7
7	6502	4,6	11,6
7	6503	136	19,1
7	6504	349	25,5
7	6505	137	22,9
7	6506	565	25,6
7	6507	201	24,8
7	6508	406	26,5
7	6509	475	27,4
7	6510	421	24,8
7	6511	385	19,5
7	6512	35	18,2
7	6513	22	12,6
7	6514	151	19,6
7	6515	352	19,8
7	6516	146	19,7
7	6517	882	26,1
7	6518	608	24,9
7	6519	278	23,4
7	6520	572	22,6
7	6521	684	21,7
7	6522	871	24,4
8	6533	199	14,3
8	6534	753	21,4
8	6537	1900	25,7
8	6538	684	20,6
8	6542	311	20,6

Anexo III
Pozo LL967

	Intervalo	Profundidad (Pies)	Perm. mD	Porosidad (%)
	8	6543	271	22,9
	8	6544	26	20,9
	8	6545	18	22,2
	8	6546	68	24,1
	8	6547	100	21,1
	8	6548	773	24,3
	8	6549	264	23,4
Promedio			406,63	23,16
STD			413,41	3,11
Max.			2205	30,2
Min.			4,6	11,6

ANEXO IV

FUNCIONES DISCRIMINANTES

Anexo IV

Discriminación de intervalos

LL3045		
Variable	Función 1	Función 2
Constant	-2,59	20,82
γK^{40}	-0,34	3,80
γBi^{240}	-0,78	-0,42
γTi^{208}	0,81	6,82
$\gamma F1$	0,94	-2,40
$\gamma F2$	18,26	29,38
$\gamma F3$	10,75	3,34
$\gamma F4$	-7,73	-19,70
Al_2O_3	-0,17	0,18
SiO_2	-0,08	-0,20
CaO	-2,19	0,70
K_2O	0,72	-8,41
TiO_2	1,22	14,06
V	0,00	0,00
MnO	-65,62	0,70
Fe_2O_3	1,49	-0,41
MgO	0,66	0,56
TiO_2/Al_2O_3	38,44	-103,72
SiO_2/Al_2O_3	0,00	0,18
Fe_2O_3/K_2O	-123,31	46,10
KO_2/Al_2O_3	2,52	0,00
K_2O/TiO_2	-0,02	-0,03

LL773		
Variable	Función 1	Función 2
Constant	-35,72	-0,18
γK^{40}	-4,78	20,21
γBi^{240}	7,17	-7,28
γTi^{208}	-51,23	-11,88
$\gamma F1$	5,12	-10,00
$\gamma F2$	-21,99	54,27
$\gamma F3$	-4,02	23,44
$\gamma F4$	0,43	-57,24
Al_2O_3	-0,11	2,75
SiO_2	0,25	0,38
CaO	28,37	-10,75
K_2O	4,06	-16,21
TiO_2	-7,69	9,42
V	0,03	-0,08
MnO	-85,91	-49,89
Fe_2O_3	1,88	1,90
MgO	-1,87	-4,15
TiO_2/Al_2O_3	-16,33	-39,91
SiO_2/Al_2O_3	-0,19	0,02
Fe_2O_3/K_2O	22,83	194,88
KO_2/Al_2O_3	-6,60	-11,43
K_2O/TiO_2	0,14	0,35

LL806		
Variable	Función 1	Función 2
Constant	-35,85	-21,33
γK^{40}	-5,17	14,48
γBi^{240}	-14,64	18,64
γTi^{208}	-20,60	-18,02
$\gamma F1$	1,21	3,27
$\gamma F2$	-24,96	20,68
$\gamma F3$	44,96	-16,89
$\gamma F4$	-62,92	-1,69
Al_2O_3	2,50	2,31
SiO_2	0,09	-0,44
CaO	-7,66	-26,14
K_2O	-22,65	-18,98
TiO_2	15,92	-10,91
V	-0,09	-0,01
MnO	-49,06	-56,09
Fe_2O_3	3,52	0,92
MgO	0,59	-0,24
TiO_2/Al_2O_3	-86,41	42,06
SiO_2/Al_2O_3	0,62	0,25
Fe_2O_3/K_2O	256,47	243,23
KO_2/Al_2O_3	-2,72	-0,66
K_2O/TiO_2	-2,45	0,40

Anexo IV

Discriminación de intervalos

Variable	Intervalo2	
	Función 1	Función 2
Constant	-60,75	3,10
γK^{40}	12,05	15,17
γBi^{240}	-160,25	-4,76
γTi^{208}	22,01	34,02
$\gamma F1$	24,61	-2,03
$\gamma F2$	80,23	-19,82
$\gamma F3$	-101,26	33,16
$\gamma F4$	-46,89	-17,54
Al_2O_3	-3,37	-1,27
SiO_2	-0,20	-0,10
CaO	-21,29	6,76
K_2O	-8,09	-5,08
TiO_2	53,17	32,84
V	-0,02	-0,09
MnO	-246,34	28,18
Fe_2O_3	7,36	-1,06
MgO	10,64	-3,61
TiO_2/Al_2O_3	592,52	-80,88
SiO_2/Al_2O_3	-1,16	-0,07
Fe_2O_3/K_2O	-679,64	-92,58
KO_2/Al_2O_3	19,01	5,16
K_2O/TiO_2	-0,34	-0,05

Variable	Intervalo3	
	Función 1	Función 2
Constant	-28,56	21,98
γK^{40}	-7,61	-1,53
γBi^{240}	-1,63	-10,91
γTi^{208}	28,36	30,90
$\gamma F1$	1,27	-2,84
$\gamma F2$	-25,06	-3,66
$\gamma F3$	-2,65	25,09
$\gamma F4$	-2,04	-39,03
Al_2O_3	0,27	-1,62
SiO_2	0,31	-0,04
CaO	12,99	-1,81
K_2O	9,89	7,25
TiO_2	-17,90	8,19
V	0,06	-0,02
MnO	55,73	18,44
Fe_2O_3	-1,76	-0,32
MgO	-0,16	0,32
TiO_2/Al_2O_3	31,86	-16,93
SiO_2/Al_2O_3	-0,11	-0,06
Fe_2O_3/K_2O	92,40	-33,92
KO_2/Al_2O_3	-5,45	0,76
K_2O/TiO_2	0,09	0,13

Variable	Intervalo4	
	Función 1	Función 2
Constant	-20,95	-4,83
γK^{40}	2,89	-20,03
γBi^{240}	13,10	-1,27
γTi^{208}	33,36	-15,15
$\gamma F1$	2,76	-0,99
$\gamma F2$	14,24	-6,56
$\gamma F3$	1,28	24,14
$\gamma F4$	-37,76	0,55
Al_2O_3	0,04	-0,15
SiO_2	-0,02	0,20
CaO	-0,91	0,51
K_2O	3,46	0,07
TiO_2	-13,37	10,20
V	0,00	-0,01
MnO	47,98	29,48
Fe_2O_3	-1,54	-0,66
MgO	-0,39	0,10
TiO_2/Al_2O_3	67,50	-40,12
SiO_2/Al_2O_3	-0,22	0
Fe_2O_3/K_2O	-18,76	79,75
KO_2/Al_2O_3	-0,7	-0,91
K_2O/TiO_2	0,08	0,22

Anexo IV

Discriminación de intervalos

	LL832	
Variable	Función 1	Función 2
Constant	102,78	74,48
γK^{40}	68,16	36,40
γBi^{240}	-22,45	-63,35
γTi^{208}	-153,00	-5,05
$\gamma F1$	-13,00	-7,35
$\gamma F2$	-163,00	-61,91
$\gamma F3$	-90,22	12,81
$\gamma F4$	-136,80	117,02
Al_2O_3	2,27	-3,67
SiO_2	-0,40	-0,20
CaO	0,61	0,19
K_2O	20,53	17,54
TiO_2	6,21	23,40
V	-0,31	0,06
MnO	-26,70	20,43
Fe_2O_3	1,01	-0,81
MgO	7,60	2,81
TiO_2/Al_2O_3	288,47	-285,58
SiO_2/Al_2O_3	2,73	0,25
Fe_2O_3/K_2O	-160,76	-174,97
KO_2/Al_2O_3	-6,60	3,60
K_2O/TiO_2	-0,42	0,16

	LL850	
Variable	Función 1	Función 2
Constant	-88,96	-81,46
γK^{40}	-38,95	6,63
γBi^{240}	37,72	39,22
γTi^{208}	-5,40	43,82
$\gamma F1$	7,22	4,60
$\gamma F2$	62,89	20,29
$\gamma F3$	8,43	42,74
$\gamma F4$	49,95	-12,18
Al_2O_3	-1,99	-2,78
SiO_2	0,63	0,18
CaO	2,57	1,04
K_2O	9,44	16,29
TiO_2	41,12	20,94
V	-0,03	-0,19
MnO	132,45	10,53
Fe_2O_3	-1,55	0,01
MgO	1,00	0,08
TiO_2/Al_2O_3	-198,83	-48,28
SiO_2/Al_2O_3	-0,04	0,07
Fe_2O_3/K_2O	-90,03	-196,54
KO_2/Al_2O_3	5,64	10,51
K_2O/TiO_2	-0,07	-0,13

	LL945
Variable	Función 1
Constant	-98,27
γK^{40}	-28,94
γBi^{240}	149,59
γTi^{208}	-39,01
$\gamma F1$	10,52
$\gamma F2$	119,19
$\gamma F3$	-44,71
$\gamma F4$	151,58
Al_2O_3	-0,10

Anexo IV

Discriminación de intervalos

Variable	Intervalo5	
	Función 1	Función 2
Constant	27,88	4,33
γK^{40}	11,68	8,4
γBi^{240}	-19,26	35,65
γTi^{208}	-24,49	-44,07
$\gamma F1$	-7,53	1,13
$\gamma F2$	-56,25	61,80
$\gamma F3$	57,95	-35,83
$\gamma F4$	0,19	17,55
Al_2O_3	2,44	-2,21
SiO_2	-0,03	0,22
CaO	-19,5	-9,61
K_2O	8,23	11,06
TiO_2	-57,89	0,21
V	-0,09	0,03
MnO	-39,8	-101,05
Fe_2O_3	0,01	4,22
MgO	0,01	-0,06
TiO_2/Al_2O_3	269,61	30,18
SiO_2/Al_2O_3	-0,28	-0,88
Fe_2O_3/K_2O	117,71	-190,47
KO_2/Al_2O_3	-4,27	-0,70
K_2O/TiO_2	0,31	-0,73

Variable	Intervalo 6	
	Función 1	Función 2
Constant	-91,12	-15,86
γK^{40}	-37,03	-2,92
γBi^{240}	-8,32	5,24
γTi^{208}	1,78	-23,32
$\gamma F1$	6,46	4,73
$\gamma F2$	-13,38	-56,29
$\gamma F3$	15,71	-29,11
$\gamma F4$	40,31	-28,51
Al_2O_3	1,24	3,07
SiO_2	0,69	-0,06
CaO	2,07	1,09
K_2O	28,5	-0,96
TiO_2	-18,48	-59,04
V	-0,16	0,1
MnO	35,35	-51,32
Fe_2O_3	0,34	1,93
MgO	-10,11	-1,72
TiO_2/Al_2O_3	121,18	297,69
SiO_2/Al_2O_3	0,94	0,43
Fe_2O_3/K_2O	-56,1	0,43
KO_2/Al_2O_3	-3,82	-2,77
K_2O/TiO_2	0,23	-0,59

Variable	Intervalo 7	
	Función 1	Función 2
Constant	-187,75	16,23
γK^{40}	-4	-4,79
γBi^{240}	79,3	40,42
γTi^{208}	-5,97	-11,38
$\gamma F1$	8,56	4,31
$\gamma F2$	-43,86	-59,85
$\gamma F3$	51,31	-50,3
$\gamma F4$	-91,72	36,38
Al_2O_3	3,95	1,55
SiO_2	-0,34	-0,37
CaO	-6,46	2,89
K_2O	-33,92	-7,3
TiO_2	16,22	-5,8
V	-0,15	-0,08
MnO	67,79	6,97
Fe_2O_3	-5,41	0,62
MgO	-0,56	-1,43
TiO_2/Al_2O_3	612,82	0,32
SiO_2/Al_2O_3	1,22	1,24
Fe_2O_3/K_2O	93,27	36,25
KO_2/Al_2O_3	39,37	-6,83
K_2O/TiO_2	4,32	-1,85

Anexo IV

Discriminación de intervalos

	LL965	
Variable	Función 1	Función 2
Constant	-63,18	-19,06
γK^{40}	3,98	1,48
γBi^{240}	-2,42	-10,54
γTi^{208}	5,46	8,11
$\gamma F1$	-0,20	3,87
$\gamma F2$	31,91	-12,26
$\gamma F3$	19,19	-14,60
$\gamma F4$	-47,13	7,51
Al_2O_3	1,28	-0,05
SiO_2	0,46	0,09
CaO	0,28	-0,17
K_2O	-0,39	8,25
TiO_2	-24,82	-7,18
V	0,06	0,01
MnO	26,43	35,08
Fe_2O_3	-0,68	-0,78
MgO	-1,57	0,28
TiO_2/Al_2O_3	119,57	50,40
SiO_2/Al_2O_3	-0,10	-0,07
Fe_2O_3/K_2O	236,75	-119,71
KO_2/Al_2O_3	-4,10	1,36
K_2O/TiO_2	0,64	-0,20

	LL967	
Variable	Función 1	Función 2
Constant	12,87	31,61
γK^{40}	9,67	4,60
γBi^{240}	7,85	16,26
γTi^{208}	-37,28	-12,41
$\gamma F1$	-1,48	-7,13
$\gamma F2$	15,28	-5,55
$\gamma F3$	0,99	7,67
$\gamma F4$	55,07	27,22
Al_2O_3	0,39	-0,10
SiO_2	-0,21	0,00
CaO	0,66	0,44
K_2O	-11,26	-1,84
TiO_2	0,47	3,03
V	0,05	0,01
MnO	-45,16	8,47
Fe_2O_3	1,10	-0,17
MgO	0,66	-0,78
TiO_2/Al_2O_3	-53,53	36,39
SiO_2/Al_2O_3	0,07	-0,14
Fe_2O_3/K_2O	50,10	5,25
KO_2/Al_2O_3	0,61	1,57
K_2O/TiO_2	-0,24	0,05

	LL869	
Variable	Función 1	Función 2
Constant	22,05	58,74
γK^{40}	41,00	88,78
γBi^{240}	-333,29	-126,52
γTi^{208}	-56,61	48,01
$\gamma F1$	-12,55	-14,72
$\gamma F2$	193,97	114,40
$\gamma F3$	114,59	2,73
$\gamma F4$	258,38	13,18
Al_2O_3	-3,44	-3,68
SiO_2	0,25	-0,43
CaO	60,04	49,75
K_2O	-8,78	-2,69
TiO_2	2,41	43,09
V	0,37	0,16
MnO	-313,07	-65,40
Fe_2O_3	3,99	-0,17
MgO	14,61	2,14
TiO_2/Al_2O_3	497,98	-66,22
SiO_2/Al_2O_3	-1,00	0,63
Fe_2O_3/K_2O	-156,44	-344,60
KO_2/Al_2O_3	17,23	17,37
K_2O/TiO_2	-0,61	-1,12

Anexo IV

Discriminación de intervalos

	Intervalo 8	
Variable	Función 1	Función 2
Constant	-16,67	-61,08
γK^{40}	7,37	6,92
γBi^{240}	41,19	5,71
γTi^{208}	-11,18	-9,12
$\gamma F1$	-3,34	2,03
$\gamma F2$	61,19	21,27
$\gamma F3$	17,69	9,85
$\gamma F4$	4,46	94,16
Al_2O_3	3,15	0,69
SiO_2	-0,19	0,25
CaO	0,68	0,91
K_2O	-21,6	-1,55
TiO_2	-7,67	-8,27
V	0,02	0,04
MnO	10,29	14,49
Fe_2O_3	-0,81	-0,14
MgO	1,04	1,42
TiO_2/Al_2O_3	-128,7	83,76
SiO_2/Al_2O_3	0,31	-0,17
Fe_2O_3/K_2O	380,4	67,16
KO_2/Al_2O_3	-13,5	-1,99
K_2O/TiO_2	0,24	0,06

	Intervalo 9
Variable	Función 1
Constant	-893,45
γK^{40}	1269,86
γBi^{240}	2925,71
γTi^{208}	5391,31
$\gamma F1$	-118,61
$\gamma F2$	-6438,2
$\gamma F3$	-2686,92
$\gamma F4$	-903,16
Al_2O_3	73,01
SiO_2	5,38
CaO	19,4
K_2O	-153,6
TiO_2	
V	
MnO	
Fe_2O_3	
MgO	
TiO_2/Al_2O_3	
SiO_2/Al_2O_3	
Fe_2O_3/K_2O	
KO_2/Al_2O_3	
K_2O/TiO_2	

Anexo IV

Funciones discriminantes de ambientes

LL773			LL832		
Variable	Función 1	Función 2	Variable	Función 1	Función 2
Constant	72,82	31,83	Constant	-104,07	-3,23
γK^{40}	-20,45	3,29	γK^{40}	-83,84	-16,44
γBi^{240}	-10,94	11,86	γBi^{240}	50,81	1,62
γTi^{208}	-37,32	-25,76	γTi^{208}	59,54	-1,06
$\gamma F1$	-5,17	-6,85	$\gamma F1$	25,88	-2,76
$\gamma F2$	51,77	30,56	$\gamma F2$	6,95	14,48
$\gamma F3$	-8,80	22,85	$\gamma F3$	18,05	19,30
$\gamma F4$	28,51	-11,90	$\gamma F4$	220,72	35,31
Al_2O_3	1,74	0,22	Al_2O_3	-2,44	4,70
SiO_2	-0,01	0,11	SiO_2	0,21	-0,09
CaO	-16,55	0,45	CaO	-0,22	-0,20
K_2O	-6,55	2,79	K_2O	-5,69	-31,97
TiO_2	-22,59	-0,34	TiO_2	6,23	-42,92
V	0,01	-0,07	V	0,31	0,20
MnO	-61,44	17,58	MnO	-69,15	-2,19
Fe_2O_3	1,08	-0,50	Fe_2O_3	4,57	-1,90
MgO	-4,46	-2,76	MgO	-1,50	-3,81
TiO_2/Al_2O_3	4,47	-25,69	TiO_2/Al_2O_3	-143,96	13,30
SiO_2/Al_2O_3	-0,22	-0,01	SiO_2/Al_2O_3	-2,21	-0,21
Fe_2O_3/K_2O	0,31	0,08	Fe_2O_3/K_2O	-3,82	1,34
KO_2/Al_2O_3	134,50	-45,97	KO_2/Al_2O_3	-67,74	521,76
K_2O/TiO_2	-14,18	-2,75	K_2O/TiO_2	-7,24	-8,85
Todos con LL832 Clasificado			LL967		
Variable	Función 1	Función 2	Variable	Función 1	Función 2
Constant	0,52	12,63	Constant	17,63	44,52
γK^{40}	0,37	-1,41	γK^{40}	5,63	5,89
γBi^{240}	-1,74	0,71	γBi^{240}	-12,91	11,27
γTi^{208}	3,15	-5,13	γTi^{208}	-12,03	-2,06
$\gamma F1$	0,07	-0,40	$\gamma F1$	-4,60	-8,55
$\gamma F2$	-1,38	-0,19	$\gamma F2$	-14,77	-9,17
$\gamma F3$	-2,13	0,81	$\gamma F3$	17,42	-8,16
$\gamma F4$	-5,03	-4,62	$\gamma F4$	36,88	-1,32
Al_2O_3	-0,07	0,08	Al_2O_3	0,08	-1,40
SiO_2	0,05	-0,11	SiO_2	0,01	0,08
CaO	-0,14	-0,08	CaO	0,26	0,13
K_2O	0,36	-3,27	K_2O	-0,71	5,44
TiO_2	-2,38	-3,63	TiO_2	10,37	13,28
V	-0,01	0,03	V	-0,03	0,02
MnO	-1,00	-12,16	MnO	39,36	-2,30
Fe_2O_3	-0,08	-0,07	Fe_2O_3	-0,30	-0,12
MgO	0,04	0,28	MgO	-0,34	-1,17
TiO_2/Al_2O_3	12,65	11,20	TiO_2/Al_2O_3	-40,71	90,61
SiO_2/Al_2O_3	-0,05	-0,06	SiO_2/Al_2O_3	0,09	-0,20
Fe_2O_3/K_2O	0,01	0,04	Fe_2O_3/K_2O	-0,04	0,14
KO_2/Al_2O_3	-4,80	52,75	KO_2/Al_2O_3	0,65	-148,46
K_2O/TiO_2	-0,07	-0,85	K_2O/TiO_2	-0,29	7,91

Anexo IV

Funciones discriminantes de ambientes

	LL850	
Variable	Función 1	Función 2
Constant	-7,23	7,74
γK^{40}	4,01	0,82
γBi^{240}	-6,42	2,63
γTi^{208}	-1,45	-7,55
$\gamma F1$	0,06	-2,28
$\gamma F2$	1,39	-17,41
$\gamma F3$	-18,04	2,67
$\gamma F4$	46,41	-13,49
Al_2O_3	-0,61	-0,24
SiO_2	0,10	0,16
CaO	4,68	-1,27
K_2O	6,77	-1,76
TiO_2	0,22	7,44
V	0,05	-0,02
MnO	-15,15	23,52
Fe_2O_3	-0,94	-0,61
MgO	0,29	0,43
TiO_2/Al_2O_3	22,12	-9,44
SiO_2/Al_2O_3	-0,15	-0,24
Fe_2O_3/K_2O	2,02	0,06
KO_2/Al_2O_3	-98,73	21,05
K_2O/TiO_2	2,23	0,32

	LL965	
Variable	Función 1	Función 2
Constant	-26,88	
γK^{40}	3,71	
γBi^{240}	-8,53	
γTi^{208}	20,13	
$\gamma F1$	3,89	
$\gamma F2$	-37,32	
$\gamma F3$	10,24	
$\gamma F4$	-28,17	
Al_2O_3	-0,66	
SiO_2	0,15	
CaO	-0,14	
K_2O	0,00	
TiO_2	6,38	
V	-0,01	
MnO	16,41	
Fe_2O_3	-0,47	
MgO	-3,60	
TiO_2/Al_2O_3	-22,33	
SiO_2/Al_2O_3	-0,12	
Fe_2O_3/K_2O	0,12	
KO_2/Al_2O_3	-44,42	
K_2O/TiO_2	1,59	

	Todos sin LL832 77.8 %	
Variable	Función 1	Función 2
Constant	1,78	-13,20
γK^{40}	-0,49	1,77
γBi^{240}	1,28	-1,06
γTi^{208}	-3,86	7,62
$\gamma F1$	-0,23	0,35
$\gamma F2$	1,35	3,28
$\gamma F3$	2,71	-0,45
$\gamma F4$	4,05	5,54
Al_2O_3	0,11	-0,10
SiO_2	-0,06	0,10
CaO	0,27	0,07
K_2O	-0,84	3,40
TiO_2	1,37	4,26
V	0,01	-0,03
MnO	-4,50	11,91
Fe_2O_3	0,13	0,08
Mg	-0,03	-0,23
TiO_2/Al_2O_3	-9,02	-13,35
SiO_2/Al_2O_3	0,04	0,07
Fe_2O_3/K_2O	-0,01	-0,05
KO_2/Al_2O_3	14,32	-57,40
K_2O/TiO_2	-0,15	1,05

	LL806	
Variable	Función 1	Función 2
Constant	-7,23	7,74
γK^{40}	4,01	0,82
γBi^{240}	-6,42	2,63
γTi^{208}	-1,45	-7,55
$\gamma F1$	0,06	-2,28
$\gamma F2$	1,39	-17,41
$\gamma F3$	-18,04	2,67
$\gamma F4$	46,41	-13,49
Al_2O_3	-0,61	-0,24
SiO_2	0,10	0,16
CaO	4,68	-1,27
K_2O	6,77	-1,76
TiO_2	0,22	7,44
V	0,05	-0,02
MnO	-15,15	23,52
Fe_2O_3	-0,94	-0,61
MgO	0,29	0,43
TiO_2/Al_2O_3	22,12	-9,44
SiO_2/Al_2O_3	-0,15	-0,24
Fe_2O_3/K_2O	2,02	0,06
KO_2/Al_2O_3	-98,73	21,05
K_2O/TiO_2	2,23	0,32

Anexo IV

Funciones discriminantes de ambientes

LL869

Variable	Función 1	Función 2
Constant	-41,58	40,78
γK^{40}	56,36	36,56
γBi^{240}	34,51	-39,20
γTi^{208}	44,85	31,87
$\gamma F1$	-0,47	-3,94
$\gamma F2$	-78,09	-58,61
$\gamma F3$	11,92	7,75
$\gamma F4$	-107,40	15,31
Al_2O_3	-1,49	-0,18
SiO_2	-0,06	-0,08
CaO	-25,87	-16,57
K_2O	-3,29	2,09
TiO_2	58,87	9,50
V	-0,16	-0,14
MnO	-30,31	-120,33
Fe_2O_3	2,70	2,59
MgO	-1,42	3,01
TiO_2/Al_2O_3	-262,01	-210,22
SiO_2/Al_2O_3	1,49	-0,01
Fe_2O_3/K_2O	-0,39	-0,47
KO_2/Al_2O_3	-190,67	85,33
K_2O/TiO_2	6,35	-13,00

Todos con LL832 no Clasificado

Variable	Función 1	Función 2
Constant	-3,26	12,35
γK^{40}	0,01	-2,78
γBi^{240}	-1,30	1,21
γTi^{208}	3,99	-9,37
$\gamma F1$	0,51	-0,27
$\gamma F2$	-0,10	-5,88
$\gamma F3$	-2,34	1,47
$\gamma F4$	-4,27	-3,34
Al_2O_3	-0,13	0,23
SiO_2	0,06	-0,10
CaO	-0,25	-0,07
K_2O	0,66	-3,54
TiO_2	-1,43	-5,32
V	0,00	0,03
MnO	4,85	-9,79
Fe_2O_3	-0,14	-0,10
Mg	0,05	0,19
TiO_2/Al_2O_3	8,94	16,39
SiO_2/Al_2O_3	-0,04	-0,06
Fe_2O_3/K_2O	0,01	0,05
KO_2/Al_2O_3	-11,14	60,88
K_2O/TiO_2	0,09	-1,17

Anexo IV

Funciones discriminantes de ambientes

LL945		
Variable	Función 1	Función 2
Constant	-88,84	15,10
γK^{40}	-137,17	-29,69
γBi^{240}	36,84	23,05
γTi^{208}	100,06	-5,25
$\gamma F1$	1,53	-1,99
$\gamma F2$	345,75	41,15
$\gamma F3$	239,99	38,16
$\gamma F4$	-94,19	-15,00
Al_2O_3	1,52	-0,47

LL3045		
Variable	Función 1	Función 2
Constant	-26,65	-4,83
γK^{40}	-7,62	5,87
γBi^{240}	2,65	-8,97
γTi^{208}	1,15	-8,27
$\gamma F1$	5,50	0,53
$\gamma F2$	-28,29	-4,71
$\gamma F3$	1,19	6,45
$\gamma F4$	11,74	19,02
Al_2O_3	-1,33	0,11
SiO_2	0,14	-0,09
CaO	-1,72	-0,53
K_2O	6,55	3,00
TiO_2	9,26	-4,60
V	-0,04	0,02
MnO	3,38	-42,78
Fe_2O_3	0,32	0,95
MgO	0,56	-0,14
TiO_2/Al_2O_3	20,79	44,92
SiO_2/Al_2O_3	-0,10	0,21
Fe_2O_3/K_2O	0,01	-0,02
KO_2/Al_2O_3	-165,49	-60,98
K_2O/TiO_2	4,28	0,44