UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE QUÍMICA

INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA

IDENTIFICACIÓN E INTERPRETACIÓN DE QUIMIOFACIES DE LA FORMACIÓN MIRADOR, EN LA LOCALIDAD DE SAN PEDRO DEL RÍO, ESTADO TÁCHIRA

Trabajo Especial de Grado presentado ante la ilustre Universidad Central de Venezuela por la Bachiller **Katya Cecilia Reategui Palomino,** para optar al título de Licenciada en Química

Caracas, 2001

Los abajo firmantes asignados por la Universidad central de Venezuela, como integrantes del jurado examinador del Trabajo Especial de Grado titulado **"IDENTIFICACIÓN E INTERPRETACIÓN DE QUIMIOFACIES DE LA FORMACIÓN MIRADOR, EN LA LOCALIDAD DE SAN PEDRO DEL RÍO, ESTADO TÁCHIRA"**, realizado por la bachiller Katya C. Reategui P., C.I.: 15.725.136, certificamos que este trabajo cumple con los requisitos exigidos por nuestra Magna Casa de Estudios para optar por el título de Licenciado en Química:

Jurado Principal:

Dr. Henry Briceño

Lic. Williams Melendez

Tutores:

Dr. Manuel Martínez

Lic. Ivan Esteves

AGRADECIMIENTOS

A continuación deseo expresar mi más sincero agradecimiento a las personas e instituciones que hicieron posible la realización de este trabajo:

Al ***Dr. Manuel Martínez****, por aceptar ser tutor de este Trabajo Especial de Grado y por sus acertadas y oportunas opiniones y sugerencias .*

Al ***Lic. Ivan Esteves,*** *que como tutor de este trabajo se mantuvo 100% activo y receptivo al mismo, hasta en las horas de almuerzo, gracias.*

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la UCV y al CONICIT, por financiar este trabajo; Al profesor Franco Urbani, Luis Camposano y Nahysa Martínez, de la escuela de Geología, por facilitar información relevante para los análisis.

Al ***Lic. Williams Melendez****, por haber aceptado ser jurado examinador de este trabajo y contribuir cuantiosamente en la realización de la parte experimental del mismo, además deseo agradecer su apoyo continuo como profesor y su solidaridad constante hacia los estudiantes.*

Al ***Dr. Henry Briceño****, que como jurado examinador ha contribuido valiosamente al desarrollo de este trabajo, y como profesor agradezco sus exigentes clases y su empeño en enseñar a buscar la justificación de todas las cosas, ya que fortaleció mi formación geoquímica y mi carácter.*

Al profesor ***José Vicente Gutiérrez,*** *ya que sin su colaboración no hubiera sido posible llevar a cabo los análisis por AES-ICP, el es un ejemplo de optimismo y perseverancia.*

A los profesores ***Grony Garban, Santiago Marrero, Ramón Montero y Tomaso Tossiani,*** *por sus consejos y colaboración en este trabajo, y además por haber contribuido como profesores a mi formación académica.*

Al profesor ***Alexis Lira****, por su colaboración en los estudios analíticos.*

Un agradecimiento muy especial a todos los excelentes profesores con quienes tuve la oportunidad de compartir y aprender, como la profesora ***Valentina De Sola*** *que ha seguido mi carrera universitaria desde sus inicios, sus consejos, apoyo y ejemplo de profesionalismo docente me han inspirado tanto en lo personal como profesionalmente.*

A todas las personas pertenecientes al grupo del Laboratorio de Geoquímica Orgánica por sus consejos, oportunas opiniones y por su infinita paciencia: ***Alejandro Martínez****,* ***Alejandro Pérez, Rosana González, Luis Feo, Linda Montilla, Adriana Gamboa.***

Así mismo quiero hacer llegar un agradecimiento muy especial al personal técnico: ***Fernando Ramos****,* ***Felix Monasterios*** *y* ***Felipe Quintero****, quienes siempre mostraron una actitud solidaria colaborando ampliamente en la parte experimental de este trabajo.*

Quisiera agradecer también a mis compañeros de clases, por su apoyo, paciencia y confianza de los cuales aprendí lecciones muy valiosas, gracias.

Por último pero de mayor importancia quisiera agradecer a ***Dios****, por poner en mi camino a todas las personas que nombré anteriormente y por darme una familia y una vida simplemente maravillosas.*

DEDICATORIA

"Uno de los desafíos de nuestra aventura en la Tierra consiste en elevarnos por encima de los sistemas muertos (guerras, religiones, naciones, destrucciones), negarnos a formar parte de ellos y expresar, en cambio, el Yo más alto que sepamos."

R.B.

A mis padres que con mucho esfuerzo, amor y dedicación me han dado siempre todo lo que he necesitado, enseñándome la diferencia entre lo que esta bien y lo que no, siendo mi ejemplo y estimulo de vida.

A mi abuela (mamá Chavela) que con su calidez humana me ha enseñado a sentir el mas profundo respeto hacia todos los seres.

A mi abuelo (papito), que siempre ha sido mi ejemplo de dedicación académica, enseñándome que el conocimiento es la mejor arma contra las injusticias.

A mi hermano, quien siempre tiene una frase para hacernos reír.

A Uds. con todo mi amor...

Katy.

RESUMEN

El propósito de este estudio fue llevar a cabo la caracterización quimioestratigráfica de la Formación Mirador en una sección ubicada en la localidad de San Pedro del Río, Estado Táchira, con la finalidad de comprender mejor su proceso sedimentario. Para ello se recolectaron 89 muestras de roca, que fueron pulverizadas y llevadas a solución mediante sinterización con peróxido de sodio; las soluciones resultantes fueron analizadas por AES-ICP. De este modo se pudo determinar la concentración de Al, K, Ti, Mg, Ca, Si, Fe, Mn, Cr, V, Rb, Li, Ce, La, Y, Sr, B, P, Ba, Ni, Zn, Cu. Otros análisis efectuados fueron COT y %S, mediante vía húmeda y con un analizador LECO, respectivamente. Algunas muestras seleccionadas fueron analizadas por sección fina.

Los resultados obtenidos permitieron generar varios perfiles quimioestratigráficos. Ellos a su vez permitieron definir tres quimiofacies, que se diferencian entre sí por la naturaleza de las asociaciones elementales y por la forma o estilo de los perfiles y de sus curvas acumuladas.

Para la Fm. Mirador se infiere una fuente polimíxtica, compuesta por rocas sedimentarias de 2do ciclo, Ígneas félsicas y probablemente gneises de composición granítica. Rocas volcanoclásticas tipo Fm. La Quinta posiblemente contribuyeron al aporte sedimentario en la base de la sección.

Los resultados sugieren que el estilo de meteorización predominante durante la sedimentación de la 1ra y 2da quimiofacies, parece haber sido físico y por ende prevaleció un clima de templado a árido; en el último tercio de la columna predominaron condiciones más húmedas, con incremento de meteorización química sobre física. Así mismo la mayor influencia marina se detecta en la 1ra quimiofacies; la sección se hace más continental de la 2da a la 3ra quimiofacies.

CONTENIDO.

1. Introducción..... 1
2. Revisión Bibliográfica..... 4
Fundamentos de Estratigrafía..... 4
Principios geoquímicos de movilidad elemental..... 8
Metodología y nociones de Quimioestratigrafía..... 17
Relaciones y variaciones de atributos químicos y su asociación geoquímica..... 22
Antecedentes quimioestratigráficos..... 25
Antecedentes a nivel mundial..... 25
Antecedentes en Venezuela 30
Fundamentos de la espectroscopía de emisión con fuente de plasma inductivamente acoplado..... 32
Aplicación de métodos estadísticos y análisis multivariados..... 34
Ubicación y consideraciones generales acerca de la zona de estudio..... 39
Marco geológico regional..... 39
Estratigrafía general del Estado Táchira..... 39
Características de la Formación Mirador..... 42
3. Parte experimental..... 46
Etapa de campo..... 46
Etapa de laboratorio..... 48
Descripción de muestras de mano y petrografía..... 49
Pulverización de las muestras..... 50
Análisis de azufre..... 51
Análisis de carbono orgánico total..... 51
Disolución de muestras..... 51
Análisis multielemental por ICP-AES..... 53
Análisis estadístico de los resultados..... 55
4. Resultados experimentales y discusiones..... 56
Descripción del afloramiento..... 56
Descripción petrográfica..... 59

Concentración de elementos mayoritarios y trazas..... 64
Tratamiento estadístico..... 65
Geoquímica sedimentaria..... 68
Análisis quimioestratigráfico..... 71
Relaciones Si/Al, Cr/Al, V/Al, Ce/Al, Y/Al..... 79
Relaciones K/Al, Ti/Al..... 80
Relaciones Mg/Al, Ca/Al, Mn/Al, Ni/Al..... 81
Relación Fe/Al..... 82
Relación B/Al y %S..... 82
"Quimiofacies menores"..... 83
Análisis de estadística multivariada por quimiofacies..... 84
Quimiofacies M-I (0-38m)..... 85
Quimiofacies M-II (39-62m)..... 85
Quimiofacies M-III (63-93m)..... 88
Interpretación global de los resultados..... 88
5. CONCLUSIONES..... 90
6. RECOMENDACIONES..... 92
7. BIBLIOGRAFÍA..... 93
8. APÉNDICES..... 102

LISTA DE FIGURAS.

Fig. N°

1 Esquema de distribución de litofacies.....5
2 Algunas categorías de unidades estratigráficas.....6
3 Ciclo sedimentario..... 9
4 Movilidad de las especies químicas en el ambiente superficial, en función de la carga iónica y radio iónico.....11
5 Condiciones de Eh y pH en sistemas naturales.....13
6 Distribución de biozonas y quimiofacies que muestran la correlación bio-quimioestratigráfica.....18

7 Perfiles de diferentes atributos químicos en los cuales se observan algunas quimiofacies.....19
8 Curvas acumuladas de los mismos atributos de la figura anterior..... 21
9 Antecedentes quimioestratigráficos a nivel mundial 25
10 Antecedentes quimioestratigráficos en Venezuela..... 31
11 Esquema generalizado de la instrumentación empleada en la espectroscopía de emisión atómica..... 33
12 Esquema del análisis Cluster..... 36
13 Gráfico del análisis de escalamiento multidimensional..... 37
14 Afloramientos de la Formación Mirador en Venezuela..... 39
15 Secuencia sedimentaria de interés del Estado Táchira..... 40
16 Contactos basal y superior de la Formación Mirador, en el afloramiento del Río Lobaterita- Estado Táchira..... 43
17 Esquema del diseño experimental del presente trabajo..... 47
18 Mapa de ubicación de la zona de estudio en el Estado Táchira..... 48
19 Afloramiento de estudio de la formación Mirador, en el Estado Táchira.... 49
20 Clasificación de terrígenos y areniscas.....50
21 Esquema Walkley-Black para la determinación de materia orgánica..... 52
22 Esquema del procedimiento de sinterización con peróxido de sodio..... 53
23 Afloramiento de la Formación Mirador en el Río Lobaterita..... 56
24 Algunas estructuras sedimentarias..... 57
25 Lentes de carbón presentes en las areniscas situadas hacia el tope de la sección..... 58
26 Diagrama QFL que muestra la distribución de las muestras analizadas por petrografía..... 61
27 Secciones finas de las muestras: TSPM 5; TSPM 50; TSPM 180..... 62
28 Secciones finas de las muestras: TSPM 305; TSPM 385; TSPM 250..... 63
29 Análisis cluster y de escalamiento multidimensional 67
30 Diagramas de discriminación 68

31 Diagramas de correlación Ca vs Mg, Cr/V vs Y/Ni..... 69
32 Diagrama B vs S..... 70
33 Perfiles quimioestratigráficos elementales..... 72
34 Perfiles quimioestratigráficos normalizados..... 75
35 Curvas acumuladas de los perfiles normalizados..... 77
36 Análisis de estadística multivariada para las tres quimiofacies..... 86

LISTA DE TABLAS.

Tabla N°

1 Asociación geoquímica de los elementos en diferentes litologías.....15
2 Relaciones y variaciones de algunos atributos químicos empleados..... 22
3 Límite de detección en ICP-AES para los elementos estudiados..... 53
4 Longitudes de onda experimentales..... 54
5 Resumen de estadística multivariada..... 85
6 Resumen de los resultados litoestratigráficos sedimentológicos y quimioestratigráficos..... 89

INTRODUCCIÓN

Las rocas sedimentarias son las más comunes en la superficie terrestre, además son importantes desde el punto de vista económico; representan el producto de la interacción dinámica de procesos.

Así, estudiando las características físicas de una roca sedimentaria, la composición mineral, textura de los granos y estructuras sedimentarias, se puede inferir acerca de la situación que rodeó su origen, lo que permite relacionar las condiciones físico-químicas, tectónicas y climáticas del ambiente depositacional.

Debido a que la cantidad y tipo de materia mineral distribuida en las rocas sedimentarias depende de variables físico-químicas, tectónicas y composicionales, es posible emplear la Quimioestratigrafía como útil herramienta para el estudio de condiciones del ambiente de depositación en rocas estratificadas, ya que permite conocer la variación temporal en la concentración y distribución de elementos químicos en una secuencia dada.

A partir de datos quimioestratigráficos, se pueden inferir condiciones de paleoproductividad, condiciones paleoclimáticas y ciclicidad de los procesos que dieron origen a las rocas (**Villamil**, 1996; **Bellanca *et al.,*** 1999; **Dayong *et al.*,**1999) Con los datos quimioestratigráficos, también se pueden establecer correlaciones entre las diferentes secciones, permitiendo discernir entre una formación y otra, lo cual conlleva a una importancia, no sólo académica, sino además económica ya que se podrían prospectar nuevos depósitos de hidrocarburos a partir de los ya conocidos.

La Formación Mirador representa una unidad sedimentaria apropiada para el estudio del análisis de distribución elemental, ya que aflora en una amplia extensión geográfica, en torno a su ambiente depositacional se han propuesto dos teorías, una fluvial y otra estuarina, además las areniscas de la unidad son importantes yacimientos de hidrocarburos en el área de Tarra (Distrito Colón, Estado Zulia) y en el campo Río Zulia, en Colombia (**Léxico Estratigráfico de Venezuela**, 1997), por lo que el estudio de su proceso sedimentario es de importancia considerable; debido a que sus marcadores bioestratigráficos se encuentran poco definidos, se podría emplear la Quimioestratigrafía para caracterizarla.

Mediante la aplicación de bases quimioestratigráficas, en este Trabajo Especial de Grado se espera contribuir a una mayor comprensión del proceso sedimentario en esta formación. Para llevar esto a cabo se plantea a continuación el siguiente **objetivo general**:

- Identificar e interpretar las quimiofacies presentes en la Formación Mirador, mediante el estudio de un conjunto de atributos químicos y relaciones inter-elementales.

El objetivo general planteado anteriormente está sustentado con los siguientes objetivos específicos:

- Determinar unidades quimioestratigráficas de la Formación Mirador, en la localidad de San Pedro del Río a través del análisis de 8 a 10 elementos mayoritarios y al menos 10 elementos trazas

- Interpretar las posibles variaciones temporales que puedan presentar los diferentes atributos determinados en la formación bajo estudio, aplicando métodos estadísticos.

Para llevar a término los objetivos propuestos se hace menester la realización de una revisión bibliográfica que contemple las bases de los estudios quimioestratigráficos, así como la geología de la zona de estudio, entre otros aspectos. El capítulo siguiente comprende una revisión bibliográfica general de las bases teóricas más relevantes relacionadas al tema del Trabajo Especial de Grado planteado.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El presente capítulo tiene como finalidad resaltar los aspectos teóricos más sobresalientes con relación a: fundamentos de Estratigrafía, principios geoquímicos que rigen la movilidad elemental, las bases quimioestratigráficas, estudios realizados en el ámbito mundial y nacional, por último se hace mención de la geología regional y local de la zona de estudio así como las características generales de la Formación Mirador en esta zona.

FUNDAMENTOS DE ESTRATIGRAFÍA

Tradicionalmente, la Estratigrafía es considerada la ciencia descriptiva de un estrato de roca, definiéndose estrato como una capa de roca, generalmente tabular, caracterizada por ciertas propiedades litológicas o atributos que lo distinguen de las capas adyacentes; el estrato adyacente puede ser separado por un plano visible o un límite menos visible de cambio en litología. La definición de Estratigrafía incluye la descripción de todo cuerpo de roca formado en la corteza terrestre y su organización dentro de unidades distintivas y cartografiables, basada en sus propiedades o atributos (**Salvador**, 1994).

Los procedimientos estratigráficos incluyen la descripción, clasificación, nombramiento y correlación de estas unidades con el propósito de establecer su relación en el espacio y su sucesión en el tiempo (**Salvador**, 1994). La correlación es, en efecto, uno de los más importantes aspectos de la Estratigrafía. En sentido general el término significa una demostración de similitudes temporales, litológicas o paleontológicas entre unidades que están presentes en dos o más áreas diferentes (**Grolier Electronic Publishing, Inc.,** 1992).

Para llevar a cabo los procedimientos estratigráficos se definió el término "facies", como unidades estratigráficas distinguidas en aspecto, apariencia o carácter, reflejando el ambiente de depositación o formación (facies deltaica, facies marina, etc.), composición litológica (facies de arenisca, facies de caliza, etc.), asociación geográfica o climática (facies tropical), contenido fósil, asociación tectónica y grado metamórfico, entre otros aspectos (**Salvador**, 1994). Un ejemplo de facies y cambio de facies se muestra en la figura 1.

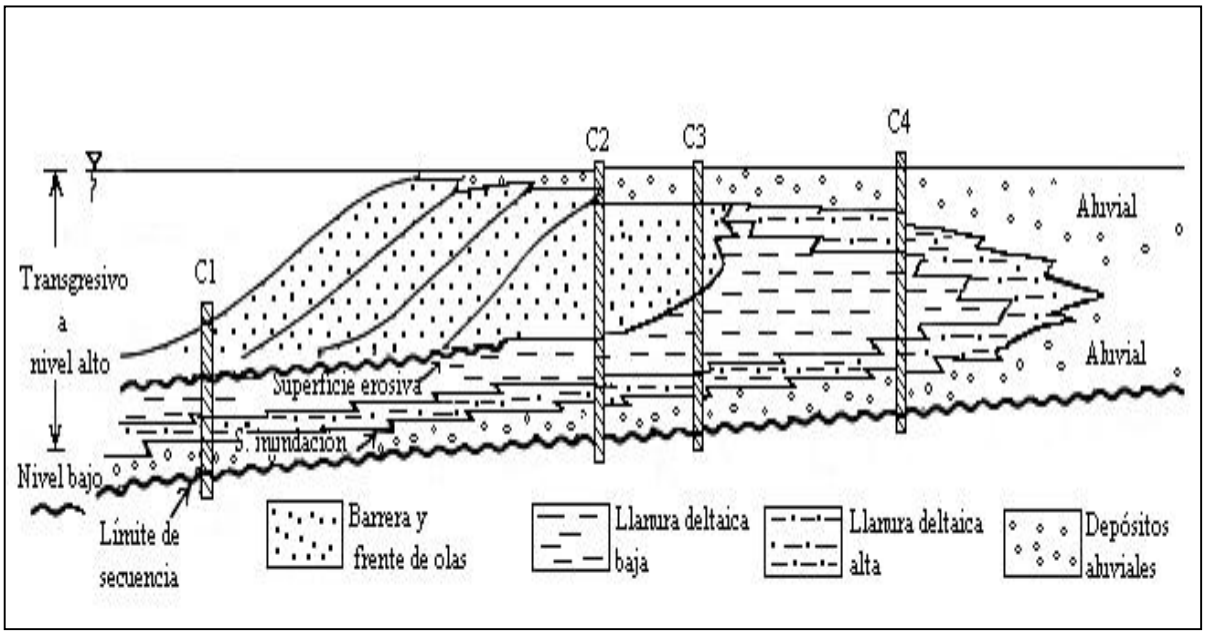


*Fig. 1 Esquema de distribución de litofacies (modificado de **Dalrymple et al.,** 1992)*

Diferentes propiedades y atributos de las rocas fueron útilmente empleadas como las bases para la clasificación estratigráfica y en consecuencia se desarrollaron muchas categorías de clasificación estratigráfica de acuerdo al tipo de cualidad estudiada, entre las que se pueden nombrar:

- ✓ Litoestratigrafía →
- ✓ Bioestratigrafía →
- ✓ Cronoestratigrafía →

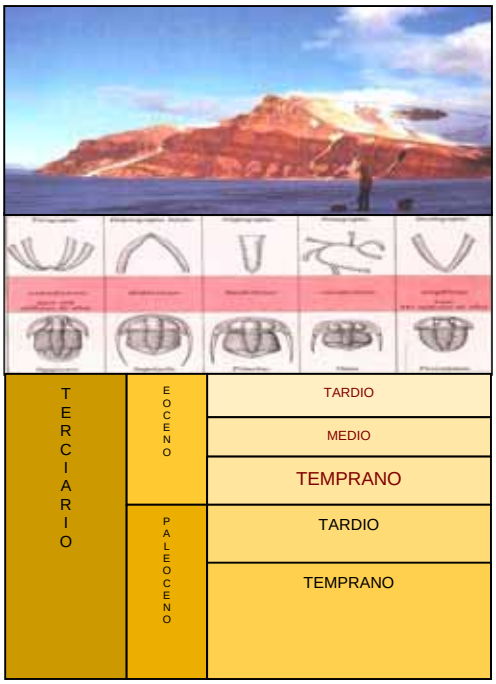


Fig.2 Algunas categorías de unidades estratigráficas

* *Litoestratigrafía*: el principio fundamental de la Litoestratigrafía es observar, describir, identificar, agrupar y dar nombre a unidades cartografiables, por lo que esta categoría es útil para describir sucesiones locales en términos de nombrar y definir unidades las cuales pueden ser descritas por características litológicas fácilmente observables (petrología, mineralogía, etc.). El límite de cada unidad puede ser colocado en zonas de cambios litológicos, generándose así litofacies (**Salvador**, 1994).

Se han establecido diferentes unidades litoestratigráficas de acuerdo a su extensión y características; la unidad litoestratigráfica fundamental es la Formación, constituida por un conjunto de estratos identificados por características líticas y posición estratigráfica, es predominantemente mas no necesariamente tabular y es cartografiable en la superficie terrestre y trazable en el subsuelo.

Puede ser de suficiente extensión areal como para ser cartografiable en la escala comúnmente usada en la región donde está presente. Las formaciones son agrupadas para formar unidades litoestratigráficas de alto rango como grupos y supergrupos, y son divididas para formar unidades litoestratigráficas de bajo rango tales como miembro, capa, etc. (**Salvador**, 1994).

La Bioestratigrafía*: estudia la distribución de especies fósiles de fauna, contemporáneas con la depositación de los estratos; los ensamblajes fósiles representan organismos cuya ocurrencia y distribución fue marcadamente controlado por el ambiente en el cual ellos vivieron. Los fósiles característicos identifican un estadío particular del tiempo geológico y sirven para subdividir y datar los diferentes períodos y eras (Salvador**, 1994).

La unidad general bioestratigráfica es la biozona el cual es un estrato caracterizado por una taxa fósil o taxón, que se refiere a un género, familia o especie por el cual es nombrada la zona; esta unidad estratigráfica puede estar basada sobre un único taxón, sobre combinaciones de taxa, sobre abundancias relativas, sobre características morfológicas específicas, o sobre variaciones en cualquiera de las muchas otras características relacionadas al contenido y distribución de fósiles en el estrato. La última aparición de un taxón y la primera aparición de otro marca el límite de zona, estableciendo biozonas o biofacies (**Salvador**, 1994).

* *La Cronoestratigrafía*: es una categoría usada para definir un lapso temporal de depositación, basándose en estudios de datación por fósiles o elementos radioactivos, entre otros métodos; el propósito de la Cronoestratigrafía es la organización sistemática de las rocas formadas en la corteza terrestre en unidades (unidades cronoestratigráficas), correspondientes a intervalos de tiempo geológico lo cual sirve como una base para correlación de tiempo y sistema de referencia para reconocer eventos de la historia geológica. Estas unidades son limitadas por una interfase isocrona conocida como cronozonas (**Salvador**, 1994).

Una unidad de alto rango en la jerarquía cronoestratigráfica convencional es el sistema, esta unidad es depositada durante una unidad de tiempo geológico, por ejemplo: era, período, época, etc.; para hacer referencia a una unidad de tiempo estratigráfico se usa una referencia posicional, por ejemplo: superior, medio, inferior (**Salvador**, 1994).

* *La Quimioestratigrafía*: estudia la distribución vertical y/o lateral de elementos mayoritarios, trazas, relaciones interelementales y de isótopos, entre otros atributos químicos, en unidades estratificadas y la presencia de un cambio brusco de comportamiento de varios atributos químicos que presenten asociación geoquímica, permite establecer el límite entre zonas geoquímicamente distintas o quimiofacies.

En el presente Trabajo Especial de Grado se emplearán las bases quimioestratigráficas, aparte de las litoestratigráficas, para alcanzar los objetivos propuestos. Los principios de la Quimioestratigrafía se fundamentan en las propiedades geoquímicas de los diferentes elementos químicos, así como sus isótopos, en el medio superficial, por lo que a continuación se dedica un capítulo que reseña en forma general los parámetros que afectan el comportamiento de los elementos químicos.

PRINCIPIOS GEOQUÍMICOS DE MOVILIDAD ELEMENTAL

La geoquímica, en un amplio sentido, está relacionada con el estudio de la distribución de elementos químicos y sus isótopos en las diferentes geosferas de la Tierra, tales como la atmósfera, hidrosfera, así mismo como en la corteza, manto y núcleo de la Tierra (**Plant y Raiswell**, 1983).

La naturaleza de los elementos mayoritarios y minoritarios en una secuencia estratigráfica son el resultado de procesos que ocurren tanto en el ambiente depositacional como post-depositacional (**Harris *et al.* ,** 1981). Este ambiente geoquímico esta relacionado con el sistema: roca-aire-agua-biota. La movilidad elemental a través de este sistema, depende tanto del tipo de fase mineral que tiende a formar el elemento como de las condiciones de Eh y pH imperantes para el momento de la depositación y durante la diagénesis. Otros factores que condicionan la distribución elemental son: los cambios en el nivel del mar, los cambios climáticos, cambios en el flujo de clásticos y la acción biológica. Estos cambios se ven reflejados en el ciclo sedimentario y en el tipo de roca formada. (Fig.3.)

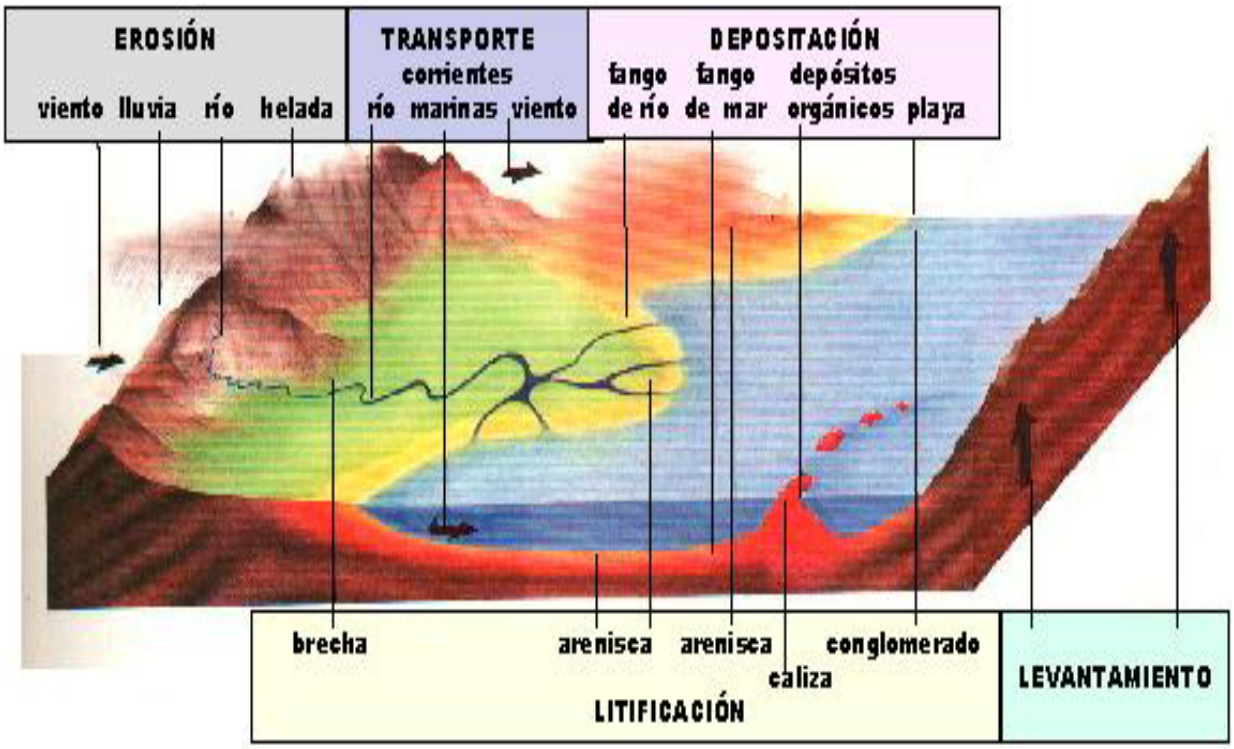


*Fig. 3. Ilustración del ciclo sedimentario (modificado de **Grolier Electronic Publishing, Inc**,1992)*

Noventa y nueve por ciento de la corteza terrestre está compuesta por nueve elementos (O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, Ti en orden de abundancia). Estos elementos forman un arreglo simple de minerales de baja densidad de los cuales los silicatos y aluminosilicatos son los compuestos dominantes, aproximadamente 80% de la corteza. Los silicatos formados a altas temperaturas y presiones son generalmente minerales de Fe, Mg y Ca y están comúnmente asociados a rocas máficas, mientras que aquellos formados a bajas temperaturas y presiones son mayormente compuestos de Na, K, los cuales con sílice pura (cuarzo), forman las rocas félsicas (**Plant y Raiswell**, 1983).

El carácter geoquímico de un elemento está ampliamente gobernado por la configuración electrónica de sus átomos y esto a su vez está íntimamente relacionado con su posición en la tabla periódica. La disponibilidad de un elemento depende en gran parte de su habilidad para formar minerales individuales en los cuales es constituyente mayoritario (**Mason y Moore**, 1982).

Las fases minerales mayoritarias controlan la distribución primaria de los elementos trazas, entre los cuales se encuentran los elementos de la primera serie de transición: Mn, Ni Cu, V, Zn, Co, Cr, junto con otros elementos como Mo, Sn, Se, I, F, y las tierras raras (REE); la dispersión secundaria de estos elementos está sujeta a la estabilidad de la fase mineral en que se encuentren y a su movilidad ante el proceso de meteorización y transporte (**Plant y Raiswell**, 1983).

Por otra parte, algunos elementos minoritarios, aunque presentes en la corteza en cantidades considerables, están sistemáticamente dispersos en minerales comunes, por ejemplo Rb, disperso en minerales de potasio, y Ga en minerales de aluminio. Otros elementos tales como Ti y Zr, forman minerales propios, los cuales están, en parte, dispersos en pequeñas cantidades en algunas rocas comunes (**Mason y Moore**, 1982).

Otros factores que controlan la incorporación de elementos trazas dentro de la estructura cristalina de los silicatos son su estado de oxidación y radio iónico. Así la relación carga/radio, definida como potencial iónico, determina la dinámica de meteorización, transporte y depositación durante la formación de rocas sedimentarias y es significativo en todos los procesos de formación de minerales en un medio acuoso. Esto provee una explicación para el comportamiento similar de elementos disímiles, por ejemplo la tendencia de los iones hidratados de Be^{+2}, Al^{+3} y Ti^{+4} a precipitar juntos durante la sedimentación (**Mason y Moore**, 1982).

Como se puede observar en la Fig. 4, los elementos con bajo potencial iónico, permanecen en solución durante el proceso de meteorización y transporte; los elementos con potencial iónico intermedio son precipitados por hidrólisis, y los elementos con un potencial iónico ligeramente alto, forman aniones con oxígeno y son usualmente solubles (**Mason y Moore**, 1982)

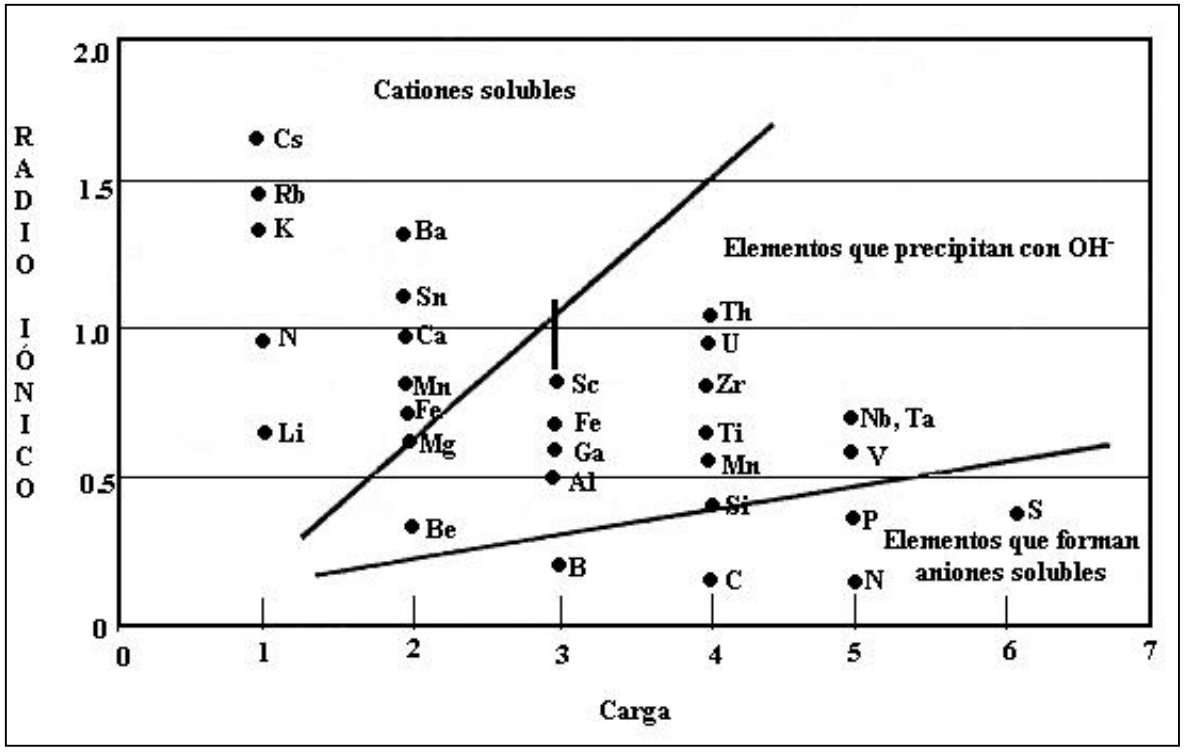


*Fig.4 Relación radio-carga en el ambiente geoquímico (modificado de **Mason y Moore**, 1982)*

Así mismo, las condiciones de Eh y pH determinan la naturaleza de muchos productos sedimentarios. La solución, transporte y depositación de elementos que pueden estar presentes en dos o más estados de oxidación está directamente influenciada por el potencial de oxidación y el pH del medio. Por ejemplo, el pH del medio es determinante en el transporte de alúmina y sílice en solución y su depositación (**Mason y Moore**, 1982).

En la mayoría de las reacciones el potencial de oxidación decrece rápidamente con el incremento de pH; por lo tanto, generalmente, la oxidación procede más fácilmente en soluciones alcalinas (**Mason y Moore**, 1982). Es por ello que los diagramas Eh - pH resultan una herramienta útil para ilustrar el intervalo de estabilidad de diferentes minerales en un ambiente acuoso (**Mason y Moore**, 1982), (Fig.5).

Además de los factores anteriores, la movilidad de los elementos en los procesos de sedimentación también es afectada por (**Adamchuck *et al*.**, 1977):

1- Concentración y fase mineral en la que se encuentran en la roca fuente.
2- Intensidad de los procesos de meteorización en áreas de flujo de agua
3- Migración físico-química y condiciones de sedimentación que son grandemente afectadas por el clima.
4- Peculiaridades estructurales regionales.

Igualmente, los procesos diagenéticos afectan en parte la distribución elemental en los depósitos; ocurre removilización de fluidos con posterior recristalización, bien sea en procesos de cementación, autigénesis o reemplazamiento.

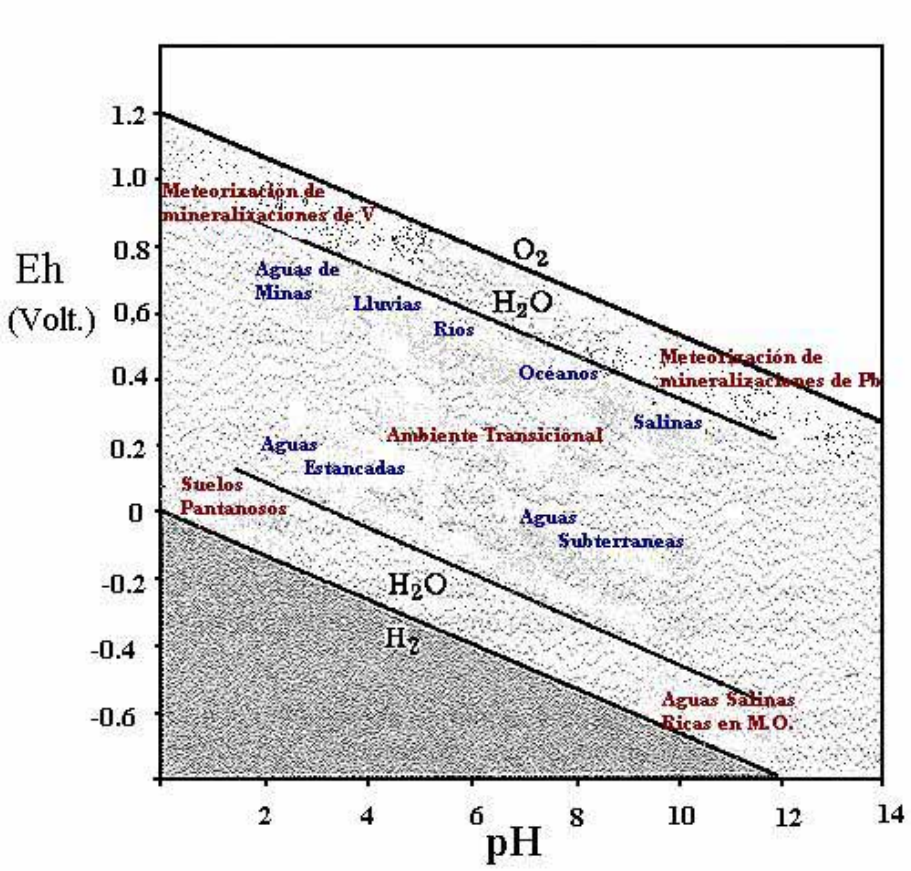


*Fig.5 Condiciones de Eh y pH en sistemas naturales (modificado de **Mason y Moore**, 1982)*

Debido a las características de los procesos físico-químicos antes mencionados, el estudio de la distribución elemental en rocas sedimentarias revela ciertas tendencias de acumulación influenciadas por las condiciones de sedimentación, por ejemplo: los elementos que son concentrados en ambientes ácidos (los pertenecientes a los grupos I, III, al igual que elementos como W y Mo, etc.) en ambientes alcalinos poseen el mismo comportamiento, si el CO_2 está en exceso (**Adamchuck *et al.*,** 1977).

Por otra parte, los niveles relativamente bajos de elementos trazas en sedimentos arenáceos, y los altos en lutitas, particularmente aquellos asociados con detritos orgánicos, como los relacionados con yacimientos de hidrocarburos, son de particular significación en prospección geoquímica (**Plant y Raiswell**, 1983).

La composición mineralógica de la fracción arcillosa también afecta la distribución de elementos como Rb, Y y Ce, más que las condiciones de sedimentación (**Adamchuck *et al.*,** 1977), debido a que la estructura cristalina de los minerales arcillosos permite la concentración de trazas, bien sea por oclusión o formación de complejos. En el caso de detritos orgánicos, por ejemplo, en el proceso de sedimentación muchos hidróxidos (o carbonatos) de elementos de la tierras raras (REE) son co-precipitados con la fracción arcillosa (**Adamchuck *et al.*,** 1977).

La asociación geoquímica de algunos elementos en rocas plutónicas, sedimentarias y menas de sulfuros de origen hidrotermal se muestran en la tabla 1. Aunque esta información es una guía general de la presencia de elementos trazas en diferentes litologías sedimentarias, se debe hacer referencia a que la presencia de un elemento en más de un tipo de litología se puede deber tanto a su relación carga/radio como a su asociación con otros elementos por poseer propiedades físicas y químicas comunes. Por ejemplo, el Sc se asocia a rocas máficas y ultramáficas porque al poseer un radio iónico cercano al de Fe^{+2} y una alta carga puede ser capturado por minerales ferromagnesianos; a la vez el Sc posee propiedades físicas y químicas similares a las del Y, La y Ac y son concentrados, por ejemplo, junto con otros elementos minoritarios y elementos de tierras raras (REE) en pegmatitas complejas reflejando la composición original del magma del cual estas se derivan (**Mason y Moore**, 1982). Inclusive, se ha reportado afinidad carbonática para el Sc (**Dinelli *et al***,1999)

Debido a los diferentes aspectos que afectan la movilidad elemental en el sistema geoquímico pueden ocurrir variaciones considerables en la asociación elemental general propuesta para las rocas sedimentarias, en la tabla1, como consecuencia de: (**Plant y Raiswell**, 1983)

a) cambios en la química de la región fuente
b) condiciones físico-químicas durante la meteorización, transporte, depositación y diagénesis

TIPO DE ROCA O OCURRENCIA	***ASOCIACIÓN***
1. *Asociación plutónica*	
Rocas ultrabásicas	Cr-Co-Ni-Cu-Fe-Mg-Ca
Rocas básicas	Ti-V-Sc-Fe-Mn-Ca
Rocas alcalinas	Ti-Nb-Ta-Zr-REE-F-P-U-K-Na
Carbonatitas	REE-Ti-Nb-Ta-P-F-U-K-Na
Rocas graníticas	Ba-Li-W-Mo-Sn-Zr-Hf-U-Th-Ti-F-K-Na
Pegmatitas	Li-Rb-Cs-Be-REE-Nb-Ta-U-Th-Zr-Hf-Sc-F-K
2. *Menas de sulfuro hidrotermal*	
Asociación general	Cu-Pb-Zn-MoAu-Ag-As-Hg-Sb-Se-Te-Co-Ni-U-V-Bi-Cd
Depósitos de cobre porfídico	Co-Mo-Re
Sulfuros complejos	Hg-As-Sb-Se-Ag-Zn-Cd-Pb
Sulfuros de baja temperatura	Bi-Sb-As
Depósitos de metal-base	Pb-Zn-Cd-Ba
Metales preciosos	Au-Ag-Cu-Co-As-Te-Hg
Asociados con rocas básicas	Au-Ag- Ni-Cu-Pt-Co
3.*Asociación sedimentaria*	
Lutitas negras	U-Cu-Pb-Zn-Cd-Ag-Au-V-Mo-Ni-As-Bi-Sb
Fosforitas	U-V-Mo-Ni-Ag-Pb-F-REE
Evaporitas	Li-Rb-Cs-Sr-Br-I-B-K-Na
Lateritas	Ni-Cr-V
Oxidos de Manganeso	Co-Ni-Mo-Zn-W-As-Ba-V
Arenas y placeres	Au-Pt-Sn-Nb-Ta-Zr-Hf-Th-REE
Capas rojas, continentales	U-V-Se-As-Mo-Pb-Cu
Capas rojas, volcánicas	Cu-Pb-Zn-Ag-V-Se
4.*Elementos con geoquímica similar*	K-Rb; Rb-Cs; Al-Ga; Si-Ge; Zr-Hf; Nb-Ta; REE; S-Se; Br-I; Zn-Cd; Rb-Tl; Pt-Pd-Rh-Ru

*Tabla.1 Asociación geoquímica de los elementos en diferentes litologías (modificado de **Plant y Raiswell**, 1.983)*

Otros elementos son removidos del agua de mar y concentrados en los sedimentos por procesos químicos con asistencia de procesos biológicos: el Ca y Mg pueden ser acumulados por ambos procesos, químicos y bioquímicos; el Si, Ba, Sr y P son acumulados por la actividad de organismos que los toman del agua de mar para su actividad biológica.

Un ejemplo de este comportamiento viene dado por los microorganismos silíceos como diatomeas y radiolarios, que segregan sílice y otros elementos en menor cantidad como Ba y Sr. Estos últimos elementos al igual que el P son concentrados en los sedimentos durante la degradación biológica, por lo que sirven para medir el aporte de material biogénico, es decir el aporte de restos de microorganismos y sus productos de degradación al sedimento durante la depositación, lo cual representa un índice de paleoproductividad (**Villamil**, 1996; **Bellanca, *et al*.,** 1996).

Los elementos que pueden ser usados para la determinación de paleosalinidad, generalmente son móviles. Los procesos sedimentarios generalmente ocurren en presencia de agua, por lo que usualmente la determinación de paleosalinidad de un medio sedimentario es un reflejo de la concentración de los mismos en el sistema acuoso en el que toma lugar la acumulación y litificación de los sedimentos. Ejemplo de elementos empleados como índices de paleosalinidad son: Br, Cl, y mucho más importantes B y S (**Banerjee y Goodarzi,**1990).

Teniendo una idea general del comportamiento de los elementos químicos y de los principios que lo rigen, se hace posible la interpretación de los datos quimioestratigráficos, por lo que a continuación se presentan la metodología y nociones de la Quimioestratigrafía.

METODOLOGÍA Y NOCIONES DE QUIMIOESTRATIGRAFÍA

La Quimioestratigrafía se basa en la caracterización geoquímica de estratos y secuencias, estudiando la distribución vertical y/o lateral de atributos químicos. De esta manera se generan perfiles característicos que constituyen la rúbrica química de una secuencia estratificada. Esto permite su aplicación como herramienta estratigráfica en secuencias con pobre o nulo control bioestratigráfico. De acuerdo a las bases geoquímicas que controlan la movilidad de las especies, es útil para la deducción de paleoambientes, condiciones de diagénesis, paleoclimáticas y de paleoproductividad, entre otras ((**Pierce *et al.*,** 1999; **Das**, 1997; **Villamil**,1996; **Bellanca, *et al***., 1996).

Para obtener ó establecer interpretaciones geoquímicas fuertemente sustentadas, así como explicar la mayor cantidad de procesos posibles dentro de una unidad sedimentaria, la situación ideal es medir un gran número de atributos químicos. No obstante, esto está condicionado por los objetivos del trabajo, y por los recursos logísticos, económicos y de infraestructura analítica disponibles.

La geoquímica de los sedimentos es altamente variable, tanto que sucesiones aparentemente uniformes pueden mostrar diferencias primarias en la química de sus constituyentes minerales, o en la proporción de fases accesorias, muchas de las cuales tienen muy distinto contenido de elementos trazas (**Das**, 1997). Es por ello que la Quimioestratigrafía puede reducir la ambigüedad e incertidumbre frecuentemente asociada con los métodos tradicionales de correlación tales como Litoestratigrafía, Bioestratigrafía, etc. (**Pierce *et al.*,** 1999). (Fig. 6)

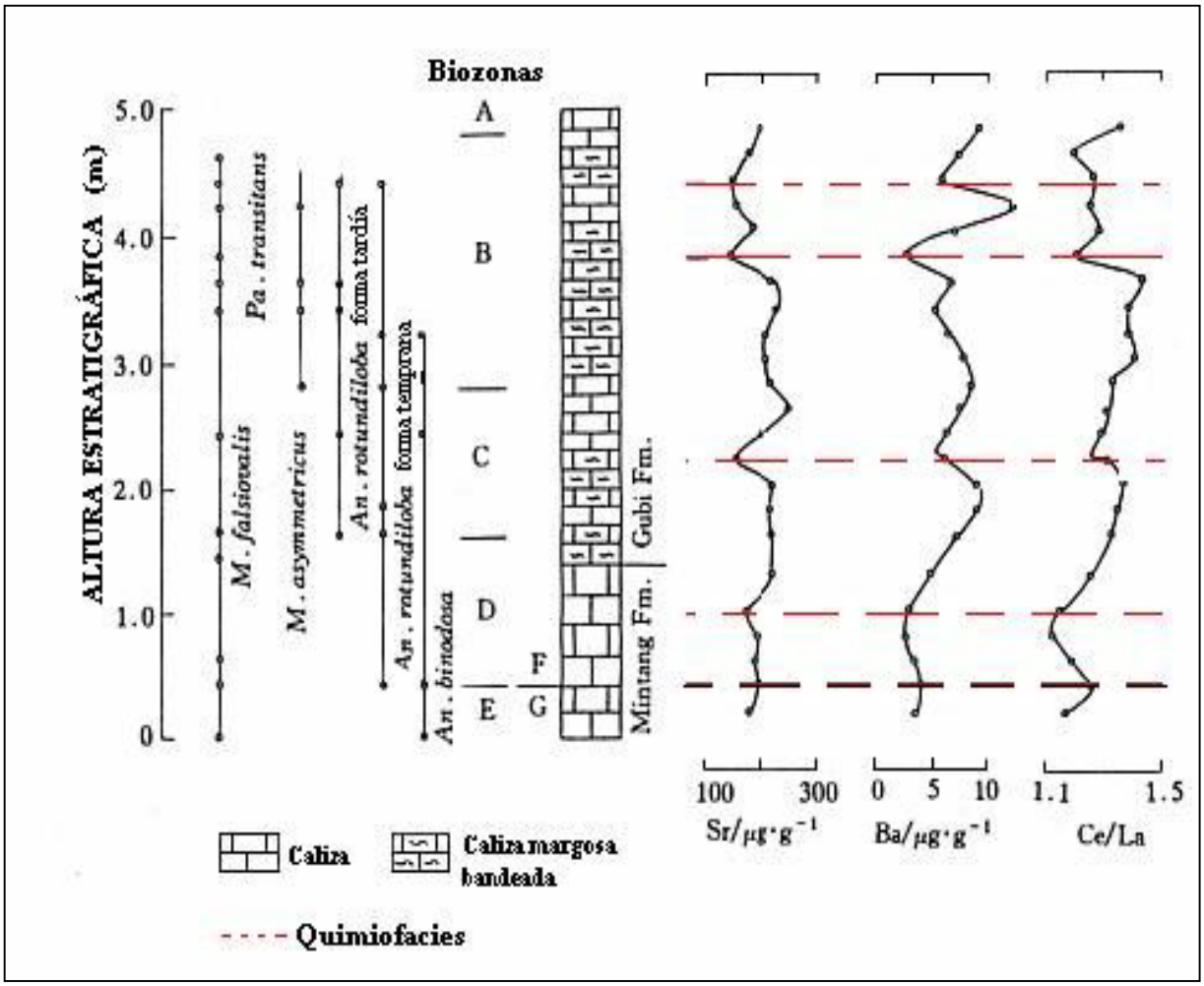


Fig.6 Distribución de biozonas y quimiofacies que muestran la correlación bio-quimioestratigrafíca (modificado de ***Dayong et al.,*** *1999[a]).*

La interpretación se logra mediante la elaboración de un perfil geoquímico, obtenido graficando un atributo químico en función de la profundidad o de la altura estratigráfica. Las diferentes inflexiones observadas responden a variaciones en el atributo químico a lo largo de la columna estratigráfica; estas pueden estar relacionadas a cambios litológicos, cambios en las condiciones físico-químicas o en el evento depositacional en general (por ejemplo: cambios climáticos, en la fuente, en la energía del medio, etc.).

Existe una amplia gama de atributos químicos aplicables a una sucesión de rocas sedimentarias. El empleo de los mismos está relacionado directamente a los

objetivos establecidos. **Jorgensen,** (1986) definió a los atributos químicos que estudió como marcadores quimioestratigráficos, los atributos químicos que han sido empleados pueden ser resumidos en los siguientes:

- Relaciones isotópicas de C, O, S y Sr.
- Concentración de elementos mayoritarios expresados como sus correspondientes óxidos SiO_2, Al_2O_3, Na_2O, K_2O, etc.
- Concentración de carbonatos como $CaCO_3$
- Contenido de arcillas (% p/p de arcillas)
- Concentración de carbono orgánico (% p/p COT)
- Concentración de elementos minoritarios y trazas tales como: Sr, Mn, V, Cr, REE, etc.
- Distribución vertical de los valores de algunas relaciones interelementales: Cr/Mo, V/Ni, Ti/Zr. etc.

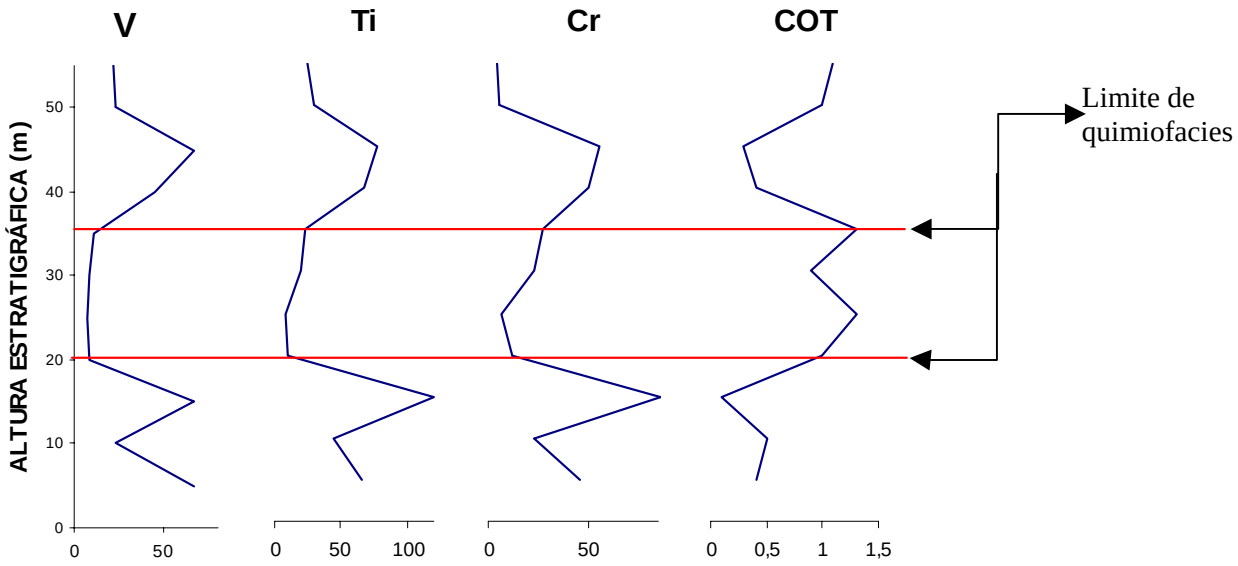


Fig. 7 Perfiles de diferentes atributos químicos en los cuales se observan algunas quimiofacies

Al comparar varios perfiles de diferentes atributos químicos, se observa cierta tendencia en el comportamiento de estos en algunas zonas, lo que denota condiciones paleoambientales que favorecieron la presencia o ausencia de ciertos elementos. De esta forma se puede dividir a la secuencia en quimiofacies o zonas geoquímicamente distintas entre sí, limitadas por la tendencia a una inflexión brusca o por un cambio considerable en el comportamiento químico, lo cual se puede asociar con un cambio de evento, período depositacional o condición físico-química. (Fig. 7) El límite entre las unidades quimioestratigráficas puede coincidir con los límites litoestratigráficos, más no necesariamente siempre es así (**Pierce, *et al.***, 1999).

La resolución quimioestratigráfica puede depender de la frecuencia de la toma de muestra. En secuencias de poco espesor, un muestreo muy espaciado podría detectar solo cambios geoquímicos de larga duración (alocíclicos). Sin embargo en secuencias espesas cada distribución estratigráfica de elementos potencialmente móviles es representativa a nivel regional, por lo que el espaciamiento de muestra debe ser mucho menor (**Pierce *et al.***, 1999).

Para optimizar el estudio quimioestratigráfico se emplean relaciones inter-elementales, en parte para compensar el efecto de dilución de algunos elementos en la matriz mineral y así poder realizar comparaciones entre unidades litológicas distintas en una misma secuencia (**Pierce, *et al.***, 1999). Por otra parte el cociente entre las concentraciones de algunos elementos es generalmente insensible a los efectos de cambio de masa, por ejemplo los asociados a alteración hidrotermal (**Lentz y Wilson,** 1997).

Para esclarecer si una deflexión en el perfil de los atributos químicos es significativa, se hace uso de otra caracterización gráfica como lo es la construcción de las curvas acumulativas de los diferentes atributos. Estas se obtienen graficando en el eje horizontal los valores acumulados de cada propiedad medida, de una manera similar a la empleada cuando se elabora un histograma de frecuencias acumuladas (**Esteves, I**, comunicación personal) (Fig. 8).

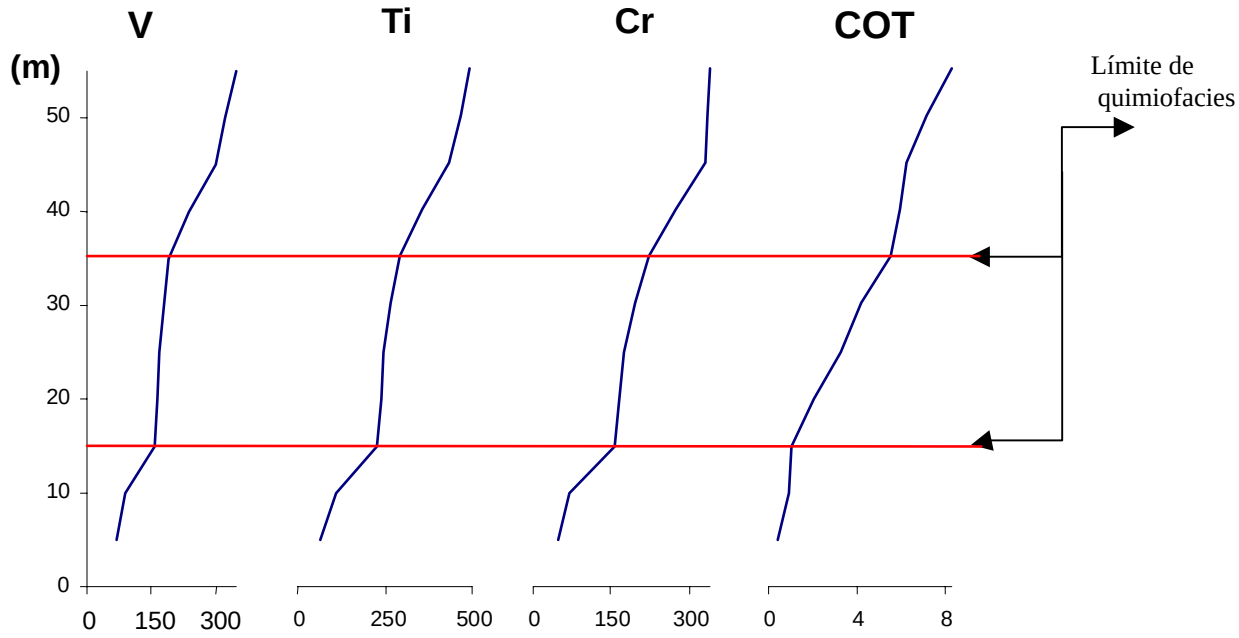


Fig. 8 Curvas acumuladas de los mismos atributos de la figura anterior. Se señalan los diferentes cambios de pendientes como límites entre quimiofacies.

Siempre que no se produzca un aumento o disminución anómala del atributo químico, se debe obtener una recta y todos los puntos en los cuales se produzca un cambio de pendiente o un quiebre en la curva acumulada, estarán representando un cambio anómalo asociado a algún proceso geológico, tectónico o geoquímico. Cuando varios atributos químicos presentan un quiebre en un determinado punto de la curva acumulada, puede definirse ese punto como el límite entre dos quimiofacies.

Otro método empleado para establecer estos límites es un análisis ward cluster constrained que estudia la asociación de los atributos analizados en las diferentes muestras, agrupándolas por su mínima varianza y manteniendo la continuidad en el orden de las muestras; de esta manera se refleja la similitud entre casos adyacentes, definiéndose los grupos en donde el cambio en las asociaciones estadísticas de los diferentes atributos, es más evidente. (**Gill *et al***., 1993).

❖ ***Relaciones y variaciones de atributos químicos y su asociación geoquímica:***

Los elementos que pueden ser empleados como medidores de proveniencia, son aquellos que se encuentren preferencialmente concentrados en rocas félsicas o máficas y además al utilizar relaciones inter-elementales, uno de ellos sea relativamente inmóvil durante el proceso de meteorización; por ejemplo, La y Th son más concentrados en rocas ígneas félsicas, mientras que Sc, y Cr son más concentrados en rocas máficas y además estos elementos son relativamente inmóviles durante el proceso de meteorización. Por lo tanto sus relaciones pueden ser empleados como indicadores de composición de roca fuente ígnea (**Cullers,** 2000). Otra herramienta empleada como indicador de proveniencia es el diagrama Y/Ni vs Cr/V en el cual una tendencia hacia valores bajos de Y/Ni y alto Cr/V refleja una fuente ultramáfica, por el contrario una tendencia de valores bajos en Cr/V y alto Y/Ni se asocian con una fuente félsica. (**Dinelli *et al*.,** 1999) tabla 2.

ATRIBUTO QUÍMICO	***UTILIDAD GEOQUÍMICA***	***REFERENCIA***
*S, As, Rb	Indicadores de influencia marina	Harris *et al*, 1981
*Ni, Cu, V	Asociados a la materia orgánica(amb. Redox)	Mukherjee *et al,* 1992
*Cr/Zr ,La/Sc, Th/Sc, La/Cr, Th/Cr	Composición del protolito	Winchester y Max, 1996, Cullers, 2000,Dinelli *et al*.,
* Mn, Fe_2O_3	Indicadores de condiciones paleo-redox	Bellanca *et al*, 1996; Pearce *et al*, 1999
*K_2O/CaO	Índice del grado de meteorización	Saito, 1998
*K/Al y Al/Ti	Cambios climáticos	Yarincik y Murray,2000; Reinhardt y Ricken,2000)
*Ba, Sr, P	Índice de paleoproductividad	Sugitani y Mimura, 1998; Bellanca *et al*, 1999; Villamil, 1996
* Br, Cl, B, S	Índice de paleosalinidad	Banerjee y Goodarzi, 1990

Tabla 2: Relaciones y variaciones de algunos atributos químicos empleados

Es esencial para determinar índices quimioestratigráficos de proveniencia, que los elementos preserven las señales originales de las rocas, por lo que estos deben cumplir las siguientes características (**Das**, 1997):

- Afinidad mineralógica simple
- Composición no alterada por los procesos diagenéticos
- Alta concentración en minerales refractarios

Los elementos mayoritarios están presentes en una amplia variedad de minerales detríticos y autigénicos. Además, son susceptibles a los procesos de meteorización, transporte y diagénesis por lo que su asociación mineralógica puede ser ambigua. Los elementos trazas son concentrados generalmente en fases accesorias así como en arcillas, micas y minerales pesados; los minerales pesados comúnmente no son afectados por actividad diagenética, así su distribución preserva las señales detríticas del área fuente (**Chemostrat Consultants**, 2000).

Igualmente los elementos empleados como índices de meteorización, son escogidos por su movilidad y estabilidad durante el transporte y depositación; por ejemplo, Na y Ca son elementos típicamente móviles en la meteorización, mientras K es un elemento relativamente estable durante este proceso. Al mostrar comportamientos opuestos la relación K_2O/CaO, puede ser empleada como índice de meteorización (**Saito,** 1998), tabla 2. Quien suscribe considera necesario hacer referencia a que la relación empleada por **Saito**, (1998) no está totalmente sustentada en su afirmación ya que K, Ca y Na son elementos muy móviles en medio acuoso, sin embargo algo de K es concentrado por adsorción en los minerales arcillosos productos hidrolizatos en el proceso de meteorización, pero otra parte de este elemento es concentrado en el mar.

Para evaluar las condiciones de paleo-redox, se emplean elementos que sean susceptibles a las variaciones de Eh, bien sea formando fases minerales estables o permaneciendo en solución. Por ejemplo, minerales de Fe como

la pirita autigénica, son formados en ambientes anóxicos mediante la reducción bacterial del sulfato, por lo que la pirita autigénica está asociada a procesos diagenéticos reductores. Por otra parte el Mn, bajo condiciones óxicas, es retenido en sedimentos como óxido o hidróxido, mientras bajo condiciones sub-óxicas o anóxicas permanece en solución como Mn^{+2} por lo cual no se fija en el sedimento (**Sugitani y Mimura**, 1998).

Otro ejemplo lo constituye el vanadio debido a que este elemento puede concentrarse sobre materia orgánica algal, la cual es preservada solo en condiciones anaeróbicas, por lo cual su enriquecimiento en sedimentos podría ser considerado indicativo de este tipo de ambiente (**Bellanca *et al*.,** 1999).

Otros elementos son empleados como índices de paleoproductividad por ser concentrados en los sedimentos durante la degradación biológica de microorganismos que los emplean en sus funciones bioquímicas. Un ejemplo de este comportamiento lo constituyen el Si, Ba, Sr y P, ya que estos elementos son precipitados con restos de organismos (**Sugitani y Mimura**, 1998).

Se ha realizado una gran variedad de trabajos basados en el estudio de la distribución elemental en secuencias estratigráficas, en donde se emplearon atributos químicos y sus relaciones inter-elementales, para la reconstrucción de los eventos geoquímicos asociados a unidades litológicas determinadas. A continuación se hace referencia a los trabajos, realizados a nivel mundial y nacional, más relevantes a los objetivos propuestos en el presente Trabajo Especial de Grado.

ANTECEDENTES QUIMIOESTRATIGRÁFICOS

β *Antecedentes a nivel mundial:*

A nivel mundial son varios los trabajos realizados sobre estudios de la distribución de diferentes atributos químicos, estos han sido agrupados según la similitud de sus objetivos. (Fig.9)

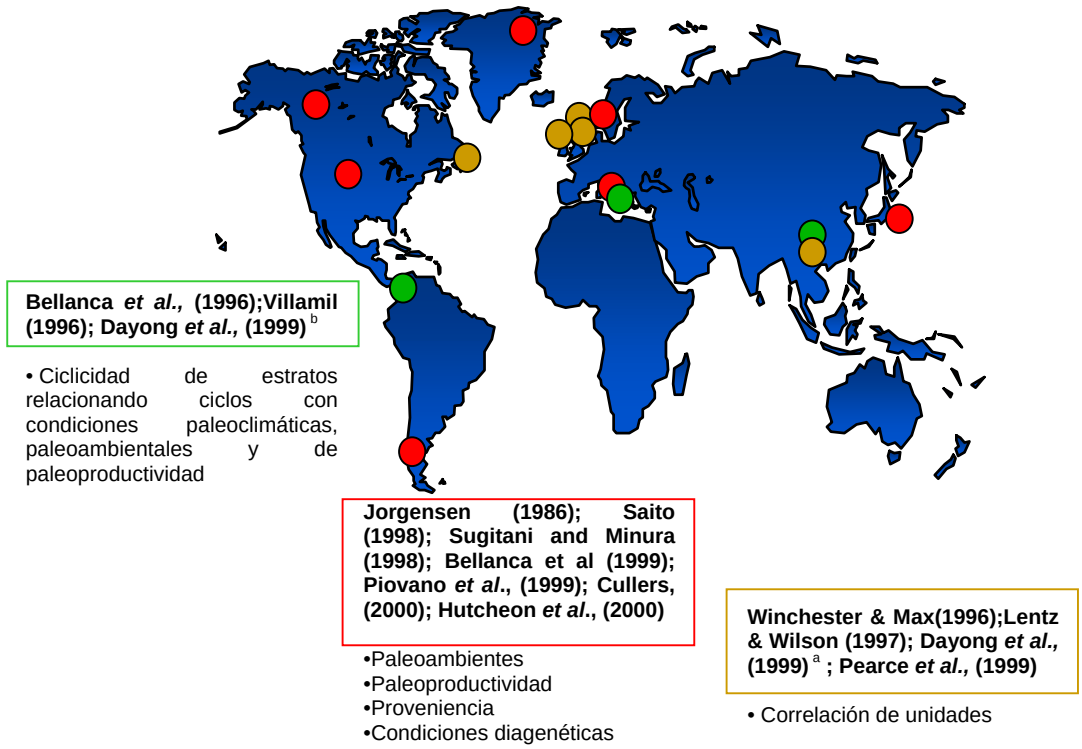


Fig.9 Representación geográfica de los antecedentes quimioestratigráficos a nivel mundial, agrupados por la similitud de sus objetivos

Entre los trabajos cuyos objetivos generales fueron el empleo de la distribución elemental para explicar condiciones paleoambientales, condiciones de paleoproductividad, proveniencia y condiciones diagenéticas se pueden nombrar los siguientes:

Jorgensen, (1986) realizó un estudio quimioestratigráfico de las calizas del Cretácico en la parte central de la subcuenca Danesa; mediante la distribución elemental de Mg, Sr, Mn, Zn y el contenido de carbonato de calcio, definió marcadores quimioestratigráficos de primer y segundo orden. Los marcadores de primer orden están definidos por más de un elemento que presente una significante deflexión en la curva elemental, el marcador de segundo orden está definido por un solo elemento o una deflexión menos significativa.

Saito, (1998) estudió la distribución de elementos mayoritarios y trazas en sedimentos ubicados en el este de Groenlandia, con la finalidad de determinar proveniencia de los sedimentos y condiciones de meteorización del área fuente. Este autor concluyó que Fe y Na son elementos importantes para caracterizar la litología de la roca fuente, mientras que Na, Ca y K sirven para medir la intensidad de meteorización. De acuerdo a esto las relaciones Na_2O/Fe_2O_3 y K_2O/CaO constituyen un útil índice del grado de influjo plutónico y del grado de meteorización del área fuente, respectivamente.

Sugitani y Mimura, (1998) evaluaron los cambios redox en el ambiente sedimentario de los chert bandeados de la unidad Mino Belt, ubicada en Japón central. Para evaluar estos cambios los autores tomaron en consideración la variación y asociación de ciertos atributos químicos tales como: % C_{tot} y S_{tot} los cuales son mayormente atribuidos a materia carbonácea y pirita, asociadas a ambientes reductores; elementos como Cu, Mo, Ni, y Zn que pueden estar presentes en sulfuros singenéticos; otros como Mo y Ni que son incorporados en el kerógeno; y MnO, cuya acumulación ocurre en ambientes óxicos.

Bellanca *et al*., (1999) evaluaron los niveles de productividad y las condiciones de depositación de lutitas negras en la cuenca Belluno, en el norte de Italia. Los niveles de productividad primaria se evaluaron mediante la distribución de Ba ya que es indicador de flujo de material biogénico al sedimento. Para determinar las condiciones redox estudiaron la distribución de COT, V, Mn y $\delta^{13}C$.

Los siguientes autores no realizaron estudios quimioestratigráficos, pero emplearon relaciones interelementales y algunos elementos para determinar algunas condiciones de depositación.

Piovano *et al.*, (1999) estudiaron una secuencia sedimentaria cretácica a cuaternaria, ubicada en el occidente de Argentina. Emplearon trazadores geoquímicos de proveniencia y encontraron que las fuentes metamórficas proporcionan sedimentos con baja relación Th/Sc y La/Cr, y alta Cr/Th, mostrando un comportamiento inverso a los sedimentos provenientes de rocas graníticas.

Cullers, (2000) realizó estudios de proveniencia en lutitas, limolitas y areniscas en las formaciones Sangre de Cristo, Belden y Maroon en Colorado, USA. Relacionó la granulometría con la distribución de elementos trazas y REE y empleó relaciones tales como La/Sc, Th/Sc, La/Co, Th/Co, La/Cr y Th/Cr, además de Eu/ Eu* (anomalía de Eu) como medidores de proveniencia. Encontró, por ejemplo, que la relación Eu/Eu* de las areniscas de grano medio a grueso es más alta que en las lutitas, presumiblemente debido a la gran cantidad de feldespato y bajas cantidades de minerales ferromagnesianos y minerales arcillosos (bajo Eu/Eu*) en las areniscas. Las relaciones elementales críticas de la composición de la roca fuente tales como La/Sc, Th/Sc, etc., no son significativamente diferentes en lutitas, limos y areniscas de tamaño de grano de arena fina.

Adicionalmente, empleó un índice de meteorización química (IMQ) excluyendo el término correspondiente a CaO por ser algunas muestras calcáreas: IMQ= $[Al_2O_3/(Al_2O_3 + Na_2O]$ *100, con el cual infirió un mayor grado de meteorización de la roca fuente de una formación con respecto a las otras. Las relaciones indicadoras de proveniencia entran en el rango para rocas silíceas; sin embargo, relaciones de Eu/Eu*, La/Sc y Th/Cr muy bajas sugieren una fuente granitoide formada por una mayor cristalización fraccionada de feldespato o por un menor grado de fusión de una fuente rica en feldespato, es decir la fuente de sedimentos es rica en plagioclasas más que en feldespatos alcalinos.

Hutcheon *et al.*, (2000) estudiaron el enriquecimiento de potasio en lutitas, en la cuenca sedimentaria occidental de Canadá. Emplearon relaciones mineralógicas, isotópicas y distribución de K_2O, para discernir si la causa de enriquecimiento en potasio se debía a actividad hidrotermal o a variación en la composición de la roca fuente, encontrando que los resultados mineralógicos, isotópicos y de composición química sugieren que estas variaciones de K con la profundidad, resultan de mezclas de fuentes cratónicas y volcánicas; el contenido en K de las aguas superficiales es muy bajo y el tiempo de enriquecimiento requerido puede ser largo, por lo cual un proceso hidrotermal a gran escala no parece ser la causa de la concentración de K en lutitas.

Entre los autores que realizaron estudios de correlación entre unidades estratigráficas se pueden nombrar:

Winchester y Max, (1996) emplearon bases quimioestratigráficas para correlacionar unidades ubicadas en Irlanda y Escocia. Compararon la distribución de elementos trazas y mayoritarios en las dos unidades y emplearon, entre otras, la relación Cr/Zr para determinar composición de la roca fuente; y Rb/Sr y Y/Sr, para medir el índice de madurez en rocas metasedimentarias.

Lentz *et al.*, (1997) correlacionaron unidades estratigráficas de rocas sedimentarias y volcánicas de la Formación Nepisiguit Falls, ubicada en Canadá. Mediante la comparación de la distribución de elementos relativamente inmóviles en rocas volcánicas y sedimentarias tales como Ti, Cr, Ni, V, Zr, Y, Th y la relación Zr/TiO2, asociada a proveniencia de rocas volcánicas félsicas, correlacionaron dos secciones estratigráficas. Además, resolvieron problemas estructurales que suponían la repetición de una de las unidades.

Dayong *et al.*, (1999)[a] correlacionaron mediante métodos quimioestratigráficos y bioestratigráficos dos unidades ubicadas en diferentes localidades, en el sur de China. Estudiaron la distribución de Sr como medidor de

paleosalinidad, Ba como marcador de influjo terrígeno y la relación Ce/La como marcador de paleo-redox, y lograron corroborar las diferentes quimiofacies con biozonas, determinadas con datos bioestratigráficos.

Pearce *et al*., (1999) realizaron la correlación de unidades estériles, ubicadas en el oeste de Midlands, Reino Unido. Mediante el estudio de elementos químicos tales como Si, Al, Ti, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P, Ba, Cr, Cu, La, Sc, Sr, Y, Zn y Zr, y sus inter-relaciones Cr/Zr, Sc/Zr, Zn/Sc, entre otras, definieron y correlacionaron unidades estratigráficas que representan importantes depósitos de hidrocarburos.

Entre los trabajos realizados sobre ciclicidad de estratos, mediante el estudio de atributos químicos se pueden citar los siguientes:

Bellanca *et al.,* (1996) estudiaron el ambiente sedimentario, condiciones redox a partir del estudio de Mn y la relación V/(V+Ni) y condiciones de paleoproductividad a partir de Ba, además de estudio de fósiles y Bioestratigrafía, de una secuencia rítmica de calizas/margas, para determinar la influencia de la ciclicidad climática en la depositación de la secuencia. Sugieren la existencia de un control determinístico del proceso de sedimentación que puede ser explicado por periodos ciclos orbitales-climáticos.

Villamil, (1996) estudió la secuencia sedimentaria cretácica del Grupo Villeta, ubicada en Colombia; mediante la distribución de Ba, P, materia orgánica, y análisis espectrales de tiempo-frecuencia. De esta forma determinó ciclicidad estadísticamente válida en patrones de apilamiento de parasecuencias, en regiones distales de la cuenca. Debido a que la ciclicidad climática controla la tasa de sedimentación y la paleoproductividad, también determina la posición de las facies ricas en materia orgánica en una unidad estratigráfica; por ejemplo, los ciclos muy finos y amalgamados son caracterizados por bajo aporte de sedimento y además pueden contener bajas cantidades de materia orgánica.

Dayong *et al*., (1999)[b] relacionaron quimio-ciclos, determinados para una secuencia estratigráfica ubicada en el sur de China (**Dayong *et al*** ., 1999[a]), con cambios paleoclimáticos cuyo origen se acredita a la ciclicidad tipo Milankovitch (forzamiento orbital). Las curvas de distribución de Sr, Ba, y Ce/La reflejan ciclos eustáticos acompañados con los ciclos de paleosalinidad y paleoredox; estos cambios paleoambientales tienen una relación interna con los cambios paleoclimáticos y reflejan variación en los parámetros orbitales del sistema Tierra-Sol.

❖ ***Antecedentes en Venezuela:***

Se han publicado pocos trabajos sobre quimioestratigrafía a nivel nacional. Algunos de los mas sobresalientes, de interés para este trabajo, se pueden representar en la Fig.10

LITOS, (1996) realizó un estudio de carácter confidencial para PDVSA, en el Sur-Occidente de Venezuela, en el cual se esbozó un capítulo sobre Quimioestratigrafía.

Crespo *et al*., (1999) realizaron una integración de estudios de Bioestratigrafía de foraminíferos y Quimioestratigrafía en la Formación Querecual en el Oriente de Venezuela. La finalidad de este estudio fue determinar las condiciones paleoambientales de depositación y condiciones de paleoproductividad, además de verificar la Cronoestratigrafía en la unidad. Entre los atributos empleados están las relaciones Ba/Al y Si/Al que junto al % COT, proveen evidencia de productividad biogénica. Atribuyeron las variaciones en Al y Fe a las variaciones en el influjo de siliciclásticos a la cuenca, lo cual responde a cambios en el nivel del mar o eventos tectónicos locales.

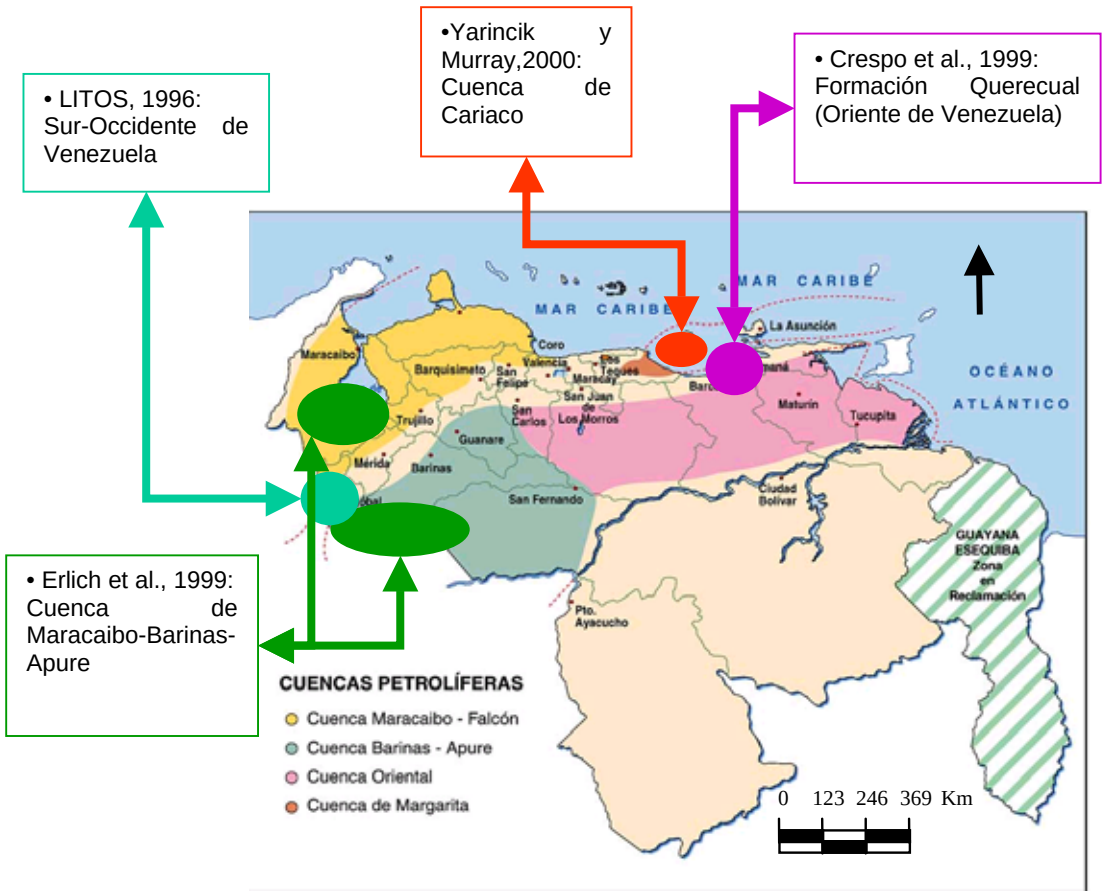


Fig. 10 Representación gráfica de los antecedentes quimioestratigráficos en Venezuela

Erlich *et al*., (1999) estudiaron las características geoquímicas de formaciones ubicadas en el Occidente de Venezuela con la finalidad de relacionar los eventos de depositación local o regional con cambios climáticos y oceanográficos globales ocurridos durante el Cretácico Tardío en la zona de estudio. Los elementos estudiados fueron aquellos que son indicadores de influjo terrígeno, tales como, Al, Ti, Zr, K, Rb y Si. Entre sus resultados destacan, la asociación de un abrupto incremento en arcillas totales, Zr/Al, Ti/Al y cuarzo con un episodio de progradación deltáica e inundación de la plataforma del Miembro Guayacan.

Yarincik y Murray, (2000) realizaron un estudio de la secuencia sedimentaria cuaternaria de la cuenca de Cariaco, para determinar la influencia climática en la depositación de sedimentos en esta zona. Emplearon las relaciones

K/Al y Al/Ti, asociando valores bajos de estas relaciones a períodos de mayor meteorización química, en climas húmedos.

En la actualidad están en progreso un conjunto de proyectos, entre los cuales se encuentra el presente Trabajo Especial de Grado, sobre estudios quimioestratigráficos en el Occidente de Venezuela, coordinados por la Escuela de Geología de la Facultad de Ingeniería y por el Instituto de Ciencias de La Tierra, en la U.C.V.

La obtención de la mayoría de los datos quimioestratigráficos se lleva a cabo mediante la técnica de Espectroscopía de emisión basada en la atomización con plasma acoplado inductivamente (AES-ICP), por lo que a continuación se refiere un capítulo acerca de los principios que rigen esta técnica analítica.

FUNDAMENTOS DE LA ESPECTROSCOPÍA DE EMISIÓN CON FUENTE DE PLASMA INDUCTIVAMENTE ACOPLADO

La Espectroscopía de emisión atómica (AES) ha sido, desde hace mucho, un método estándar para el análisis de metales; en esta técnica una diminuta parte de la muestra se vaporiza y se excita térmicamente hasta alcanzar la emisión atómica. La energía que se requiere para estos procesos la suministra un arco o una chispa eléctricos o, más recientemente, un rayo láser o un plasma compuesto de un gas inerte. El espectro de emisión emitido por una muestra sirve para determinar su composición elemental. La longitud de onda a la que se efectúa la medición de intensidad, identifica al elemento, mientras que la intensidad de la radiación emitida cuantifica su concentración (**Willard, *et al***.,1991).

Actualmente existe una amplia variedad de fuentes de emisión, el equipo empleado en este Trabajo Especial de Grado (Fig.11), consta de una fuente de plasma acoplado inductivamente el cual presenta una serie de ventajas sobre las

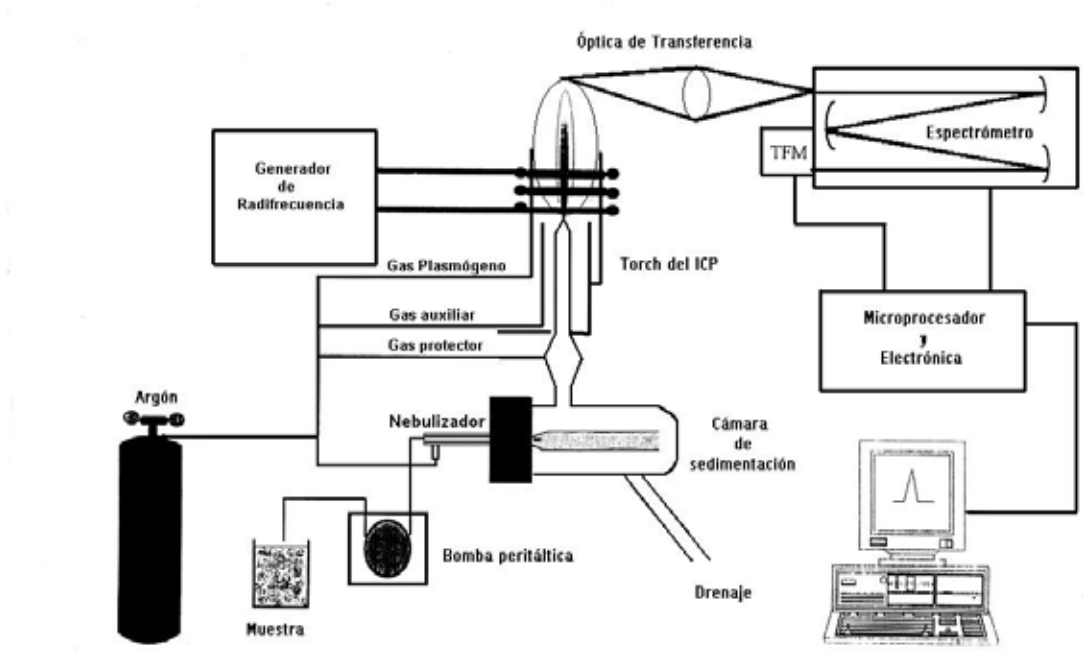


Fig.11 Esquema generalizado de la instrumentación empleada en la Espectroscopía de Emisión Atómica

fuentes de descarga eléctrica usuales y sobre las fuentes de excitación de flama de combustión.

Entre sus ventajas está la menor interferencia entre elementos, lo cual es una consecuencia directa de sus temperaturas más elevadas; se pueden obtener buenos espectros para la mayoría de elementos con unas mismas condiciones de excitación, en consecuencia es posible registrar simultáneamente los espectros para docenas de elementos. El intervalo de concentración lineal dinámica es cuatro o más ordenes de magnitud mayor que el de las otras fuentes (**Skoog y West**, 1994).

Un plasma es una mezcla gaseosa conductora de la electricidad que contiene una concentración significativa de cationes y electrones (**Willard, *et al***.,1991).

El plasma de argón acoplado inductivamente basa su potencia operativa en la inducción de un campo magnético de alta frecuencia, con temperaturas que oscilan entre 6000 a 10000 °K (**Willard, *et al*.,**1991).

La muestra se introduce dentro del plasma caliente por el extremo superior de los tubos mediante un flujo de argón a través del tubo de cuarzo central. La nebulización neumática es el método que más se emplea en las determinaciones con ICP (**Willard, *et al***.,1991).

Rejillas de difracción tanto cóncavas como planas se usan como elementos dispersivos. Otro dispositivo óptico es el sistema de rejilla de escalera, que es capaz de resolución y dispersión en un orden de magnitud mayor que una rejilla convencional de igual distancia focal (**Willard, *et al***.,1991).

Los detectores comúnmente usados son los traductores fotoeléctricos, mas recientemente se están utilizando espectrómetros de masas como detectores en sistemas con fuente ICP; los tubos fotomultiplicadores o fotodiodos tienen una respuesta lineal a la energía radiante sobre un intervalo dinámico de concentración del analito de cinco a siete órdenes de magnitud (**Willard, *et al***.,1991).

Para la manipulación de los datos de concentración obtenidos a partir del análisis de las muestras por los métodos de AES-ICP se emplean métodos estadísticos que facilitan la presentación y tratamiento matemático de los resultados debido a la gran cantidad de variables estudiadas; a continuación se expone en forma general la aplicabilidad de estos métodos.

APLICACIÓN DE MÉTODOS ESTADÍSTICOS Y ANÁLISIS MULTIVARIADOS

Se emplean cada vez con mayor frecuencia los métodos de análisis multivariados en general, ya que permiten manipular muchas variables

simultáneamente. Permite, además evaluar las similitudes entre las muestras mediante el estudio de la estructura fundamental del conjunto de datos.

Debido a que los métodos estadísticos son los más adecuados y sencillos para el manejo y tratamiento cuantitativo de datos (**Davis**, 1973 y **Sinclair**, 1980), se hace necesario reseñar, a continuación, las bases de estas aplicaciones:

* Análisis Exploratorio de Datos (AED): se define como una metodología empírica, cuya principal ventaja es la de utilizar representaciones gráficas, lo que permite la identificación de datos individuales y la detección de patrones a partir de un determinado grupo de datos (**Hines y Montgomery**, 1993), así como los principales parámetros de la distribución empírica, tales como: tendencia central (mediana), el grado de dispersión del 50% de los datos centrales (cuartiles), la asimetría de la dispersión, la longitud de las colas y los valores anómalos (los fuera dé ámbito), la principal herramienta de esta técnica es denominada Caja Gráfica (**Reiman y Filzmoser,**1999).

* Métodos multivariados de análisis: permiten estudiar cambios simultáneos en algunos o todos los atributos o propiedades del sistema en consideración. Algunas de las técnicas comúnmente empleadas son :

- Análisis de conglomerados (“cluster analysis”)
- Análisis discriminante lineal y análisis discriminante canónico descriptivo
- Análisis de componentes principales (ACP) y análisis de factores (AF),
- Análisis de escalamiento multidimensional (MDS)

El método de estadística multivariada que se empleará es el análisis de conglomerados, el cual es una técnica exploratoria estándar de clasificación numérica que ordena los objetos en grupos, basado sobre similitudes entre las múltiples variables medidas, (fig.12) (**Sneath and Sokal**, 1973, **Davis**, 1986, citado por **Smosna *et al.***, 1999). Busca minimizar la varianza interna en los grupos y

maximizar la varianza entre los grupos. El resultado es un número de grupos heterogéneos con contenido homogéneo (**Smosna *et al*** , 1999).

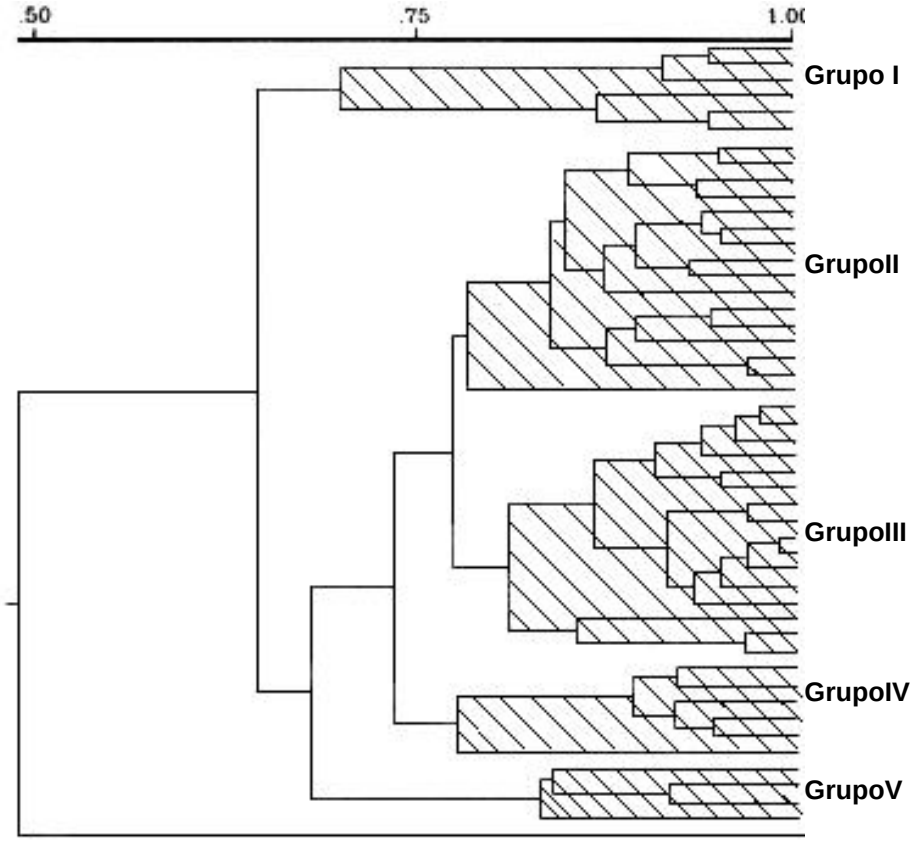


*Fig. 12 Esquema del análisis cluster (modificado de **Smosna et al.**, 1999)*

Esto ha sido aplicado en muchos trabajos de geología para clasificar datos acerca de ensamblaje fosilífero, química del agua, facies sedimentarias, etc. En estudio de facies de carbonatos, por ejemplo, el análisis cluster resulta muy útil en interpretaciones paleoambientales; muestras que son petrográficamente similares pueden haber sido formadas bajo los mismos procesos sedimentarios y se podría asumir que son depositadas en ambientes parecidos (**Smosna y Warshauer,** 1979 citado por **Smosna *et al*** , 1999).

Algunos autores recomiendan usar datos estandarizados, dado que evita caracterizar medidas sobre diferentes escalas, y promueve una medida libre de las unidades; si no se emplean valores estandarizados o distancias estadísticas, una variable de alta concentración puede dominar, es decir, la asociación estaría basada en la magnitud del dato y no en su variabilidad.

El análisis cluster por sí solo, generalmente, no muestra la naturaleza transicional de algunas muestras. Para ello se emplea a la vez el análisis a escalamiento multidimensional, el cual es una técnica que representa las muestras sobre un mapa en el cual las distancias entre muestras corresponden a sus similitudes (las distancias cortas reflejan grandes similitudes), (fig.13); este método primero grafica los coeficientes de similitud entre las muestras en el espacio multidimensional y entonces secuencialmente reduce el espacio a dos dimensiones.

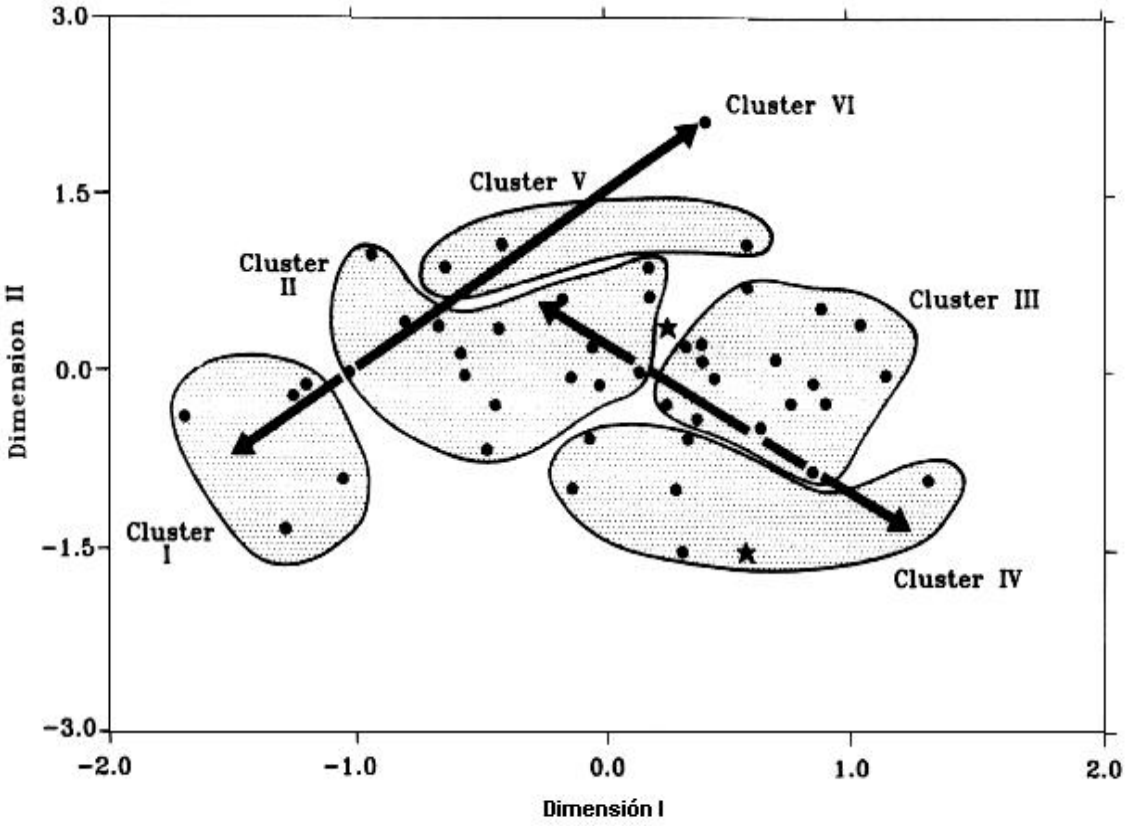


*Fig.13 Gráfico de análisis de escalamiento multidimensional (modificado de **Smosna et al**, 1999).*

Las dos dimensiones en el espacio derivado del mapa final son seleccionadas tal que la posición relativa de las muestras refleja sus similitudes originales (**Smosna *et al***, 1999). Sin embargo, algunos conjuntos de datos son imposibles de representar con dos o menos dimensiones ya que el mapa puede presentar una alta distorsión de la asociación real de las variables; en estos casos se debe ampliar el número de dimensiones, lo cual también implica mayor dificultad en la interpretación (**Borgatti**, 1997).

El escalamiento multidimensional (MDS), posee mas flexibilidad acerca del tipo de datos que pueden ser usados para generar la solución, por lo que no hace falta la normalización de los datos, siendo considerado un método ampliamente robusto; además es considerado un método alternativo al análisis de factores. Sin embargo, en el análisis de factores las similitudes entre objetos son expresadas en la matriz de correlación, es decir en una matriz que mide la interdependencia lineal entre dos variables; en el MDS se puede analizar cualquier tipo de matriz de similitud o disimilitud en adición a la matriz de correlación, es decir, acepta mayor diferencia entre las medidas con respecto al análisis de factores (**Stat Soft**, 2001).

Otro punto importante para la realización de los objetivos propuestos es el estudio de la geología regional y local entorno a la Formación Mirador, lo que comprende: la ubicación exacta de la zona de estudio, la historia de sedimentación regional, la litología, espesor, edad, contactos y paleoambientes sugeridos para esta formación. En el Capítulo siguiente se exponen los aspectos geológicos más relevantes atribuidos a la Formación Mirador, su ubicación en Venezuela, la litología de la sección tipo, su edad y contactos geológicos con otras formaciones.

UBICACIÓN Y CONSIDERACIONES GENERALES ACERCA DE LA ZONA DE ESTUDIO

❖ *Marco geológico Regional:*

Regionalmente, en Venezuela, la Formación Mirador aflora extensamente a lo largo de los flancos de la Sierra de Perijá, Zulia suroccidental, en el Estado Táchira y partes adyacentes a Colombia (**Léxico Estratigráfico de Venezuela**, 1997) (Fig. 14). Sin embargo la mayor parte de esta formación aflora en Colombia. La sección de interés, en este estudio, se ubica en el Estado Táchira.



*Fig.14 Representación gráfica del afloramiento de la Formación Mirador en Venezuela (modificado de **Léxico Estratigráfico de Venezuela**, 1997)*

❖ *Estratigrafía general del Estado Táchira:*

La secuencia sedimentaria del Estado Táchira se muestra en la Fig. 15. Durante el Mesozoico la región recibió sedimentos en dos períodos: en el Jurásico y

el Cretácico. La sedimentación jurásica está representada únicamente por la Formación La Quinta, constituida por sedimentos continentales. El proceso sedimentario en el Cretácico en la región occidental de Venezuela se produce como consecuencia de la separación del contacto de Pangea, durante el Jurásico. Hecho que pone de manifiesto su directa relación, con la apertura del rift del Atlántico Sur (**González de Juana *et al***., 1980).



*Fig. 15 Secuencia sedimentaria generalizada de la Cuenca de Maracaibo en el Estado Táchira, Ta: tardío; M: medio; Te: temprano; Jr: jurásico; M.a: millones de años(modificado de **Lugo,** 1994)*

Este fenómeno trae como consecuencia, la invasión del continente por parte de los mares desde el norte hacia el sur, produciendo una transgresión marina. Este proceso se caracteriza por la depositación inicial de sedimentos terrígenos o continentales conocidos como Formación Río Negro, esencialmente constituida por areniscas blancas feldespáticas y conglomerados (**Sutton**, 1946 citado por **González de Juana *et al***., 1980).

Estos pasan a depósitos de ambientes marinos someros, de plataforma carbonática, identificados como Grupo Cogollo (Formaciones Apón, Aguardiente, Maraca) compuesto de calizas macizas e interestratificadas con ocasionales areniscas (**Sutton**, 1946, citado por **González de Juana *et al***., 1980). Posteriormente se depositó la Formación Capacho, compuesta por lutitas negras y duras. Sobre esta formación se depositó la Formación La Luna en un ambiente marino euxínico, compuesta por calizas laminadas densas y carbonáceas. En este punto de la transgresión se alcanza una máxima invasión marina del continente (**Martínez**, 1995).

La sedimentación sufre un cambio gradual hacia finales del Cretácico. A partir de este momento los mares empiezan a retroceder, produciéndose así un fenómeno regresivo, que está representado por la depositación de sedimentos marinos profundos con un gran volumen de clásticos finos, simbolizado por la Formación Colón. Finalmente se establece una depositación de plataforma somera con circulación restringida, representado por la Formación Mito Juan (**González de Juana *et al***., 1980).

En el Terciario Temprano se produce un período francamente regresivo, caracterizado por la progradación de un gran aparato deltáico sobre los sedimentos cretácicos, con sedimentación de aguas someras con bancos calcáreos en el frente de progradación o costa afuera del delta (**González de Juana *et al***., 1980). Dentro de lo que constituye los sedimentos fluvio-deltáicos, en el área de Táchira se reconocen las Formaciones Los Cuervos, Mirador y Carbonera, y también sedimentos de plataforma somera o ambientes litorales, en la etapa más temprana de este período, representados por la base del Grupo Orocué, específicamente la Formación Barco. La Fm. Barco yace concordantemente sobre la Formación Colón por desaparición local de la Formación Catatumbo, pasando transicionalmente en el tope a la Formación Los Cuervos (**González de Juana *et al***., 1980). Con la depositación de la Formación León culminan los eventos sedimentarios que

acontecieron en la zona de estudio.

❖ ***Características de la Formación Mirador***

Diversos autores han descrito la litología de la Formación Mirador en diferentes afloramientos del Occidente de Venezuela, entre quienes se pueden nombrar a: **Mora,** 1980: estudió los afloramientos del Grupo Orocué en la localidad de Rubio y describió a la Formación Mirador compuesta por areniscas cuarzosas de grano fino a grueso en espesores que varían entre 1 y 30 metros, la mayoría de estas areniscas son muy friables, siendo muy comunes las láminas de óxidos de hierro; las capas gruesas de areniscas se encuentran interestratificadas con lutitas de color gris claro y marrón claro, masivas, algo micáceas.

González de Juana *et al.,* 1980: identificó, para esta formación, en el Distrito Colón - Estado Zulia, areniscas blancas de grano fino a medio con capas delgadas de gránulos o guijarros de cuarzo; toda la sección presenta material carbonáceo, observándose algunas intercalaciones de lutitas en su tercio superior y capas delgadas de carbón interestratificadas con las mismas; el intervalo inferior se caracteriza por areniscas macizas de grano grueso con estratificación cruzada en escala de metros, intercaladas con arcillas limosas y arenosas.

Toro, 1992: realizó un estudio del Grupo Orocué en la sección del Río Lobaterita - Estado Táchira, describiendo a la Formación Mirador como compuesta por cuerpos de arenas espesos, con tamaño de grano que pueden ser finos a conglomeráticos y con espesores que oscilan de 0,8 a 14,54 m. El espesor de la Formación Mirador en el afloramiento del río Lobaterita - Estado Táchira ha sido reportado por Toro(1992) en 87,48 m (**Léxico Estratigráfico de Venezuela**, 1997).

Mediante estudios palinológicos se ha establecido la edad de esta formación como Eoceno Temprano a Eoceno Medio (**Colmenares y Terán**, 1990; **Van der Hammen**, 1957 citado por **Léxico Estratigráfico de Venezuela**, 1997). Se ha mencionado en la literatura la presencia de un hiatus palinológico dentro de la Formación Mirador, que corresponde a buena parte del Eoceno Tardío (**Brondijk,**1967, **Lorente y Velasquez,** 1987, citado por **Martínez**, 1995). Otros autores señalan que el hiatus se encuentra entre Mirador y Carbonera (**Boesi *et al***., 1988, citado por **Martínez**, 1995). **Colmenares y Terán** (1990), señalan que el contacto entre las Formaciones Mirador y Carbonera en la región suroeste del Estado Táchira, parece ser transicional y no involucra un hiatus cronológico significativo.

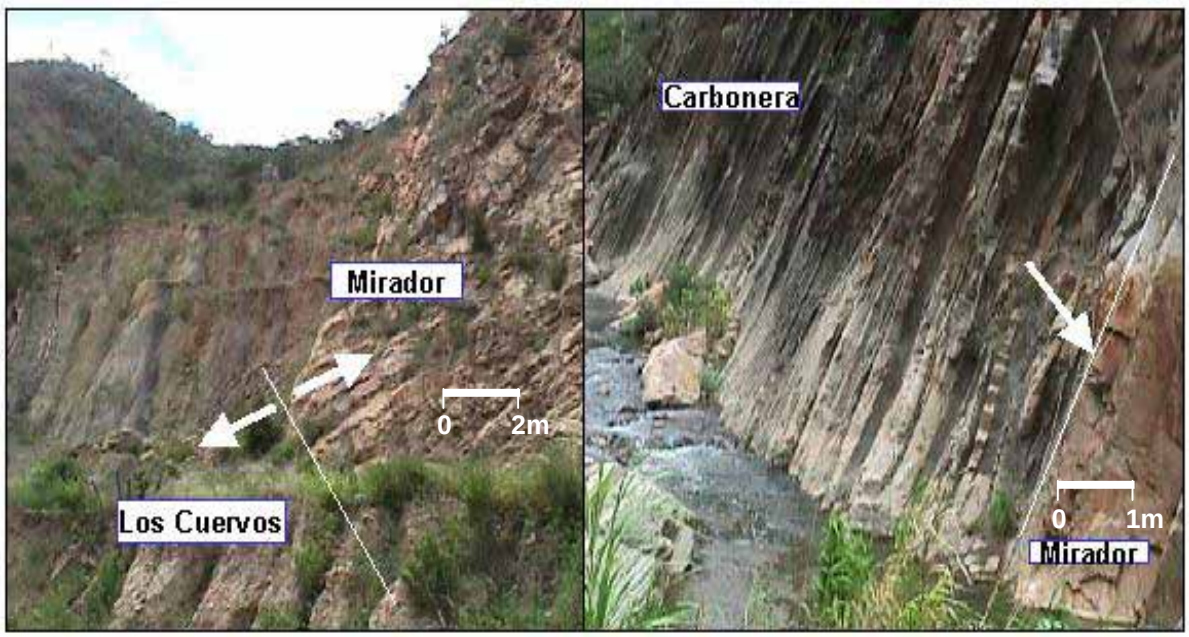


Fig.16 Contactos basal y superior de l a Formación Mirador, en el afloramiento del Río Lobaterita-Estado Táchira.

El contacto basal está definido por las areniscas de la unidad, que suprayacen las limolitas de la Formación los Cuervos. El contacto superior, concordante con la Formación Carbonera, se delimita donde las areniscas limpias y masivas de Mirador dan paso a lutitas carbonáceas, (fig. 16) (**Ramírez y Campos**, 1972, citado por **Léxico Estratigráfico de Venezuela**, 1997).

Con respecto al tipo de ambiente de depositación en la zona de estudio se proponen dos teorías:

- **Azpiritxaga y Casas**, 1989, citado por **Léxico Estratigráfico de Venezuela**, 1997, determinaron que la sección del río Lobaterita, fue depositada en un ambiente fluvial, presentando depósitos de río de meandro en su base, y depósitos de río entrelazado en el tope.

- **Paparoni**, 1993 y **Toro**, 1992, determinan para los afloramientos terciarios ubicados en el Río Lobaterita, un macroambiente estuarino. Específicamente para la Formación Mirador proponen un ambiente de estuario dominado por olas, de poca profundidad y de gran extensión lateral. La presencia de un estuario indica la existencia de una importante masa de agua en la región, considerada marina entre otras cosas por la existencia de flora costera.

La Formación Mirador es una unidad sedimentaria apropiada para estudios quimioestratigraficos, debido a su importancia económica, su extensión geográfica y temporal y a la poca información bioestratigráfica que posee. La importancia económica de esta formación radica en que sus areniscas son importantes yacimientos petrolíferos del área de Tarra (distrito Colón, estado Zulia) y en el campo de río Zulia, Colombia. La mayor producción del campo Los Manueles procede de las areniscas de la Formación Mirador (**Léxico Estratigráfico de Venezuela**, 1997).

Litoestratigráficamente, la parte inferior de la unidad se correlaciona con la parte inferior de la Formación Misoa del lago de Maracaibo, cuyas areniscas constituyen los yacimientos de petróleo más importantes de la cuenca; la parte superior es correlativa aproximada de las Formaciones La Sierra y Santa Rita (**Léxico Estratigráfico de Venezuela**, 1997). El modelo sedimentario Mirador-Misoa representa el fin de un evento regresivo que cubrió el suroeste, centro y oriente de la Cuenca de Maracaibo, sin existir un cambio abrupto de paleoambiente en la

secuencia; sin embargo este modelo sedimentario es extremadamente complejo, por lo que se hace muy difícil correlacionar estas dos formaciones.

Después de reseñar los aspectos teóricos más significativos en este trabajo, a continuación se presenta la metodología experimental empleada para la realización de los objetivos planteados.

PARTE EXPERIMENTAL

En el siguiente capítulo se exponen las diferentes etapas que componen el diseño experimental seguido para la realización de los objetivos propuestos: una etapa de campo, que contempla la ubicación exacta así como la descripción de la sección y la toma de muestras; y una etapa de laboratorio, en la que se realiza una descripción general de los métodos y equipos empleados para el análisis de las muestras y la generación de datos. La metodología a seguir en cada una de ellas se esquematiza en la fig.17.

ETAPA DE CAMPO

El afloramiento de interés se ubica al oeste de la ciudad de Michelena y al sur del pueblo de San Pedro del Río, a lo largo de un corte de carretera de la autopista Lobatera-La Fría.

Para acceder al sitio de estudio se recorren aproximadamente 5 Km. desde San Pedro del Río por la autopista que comunicará en el futuro a San Cristóbal con La Fría, en dirección sur, hasta llegar a un puente, situado sobre la Quebrada Honda, al este del cual se ubica el afloramiento, (fig.18 y 19). Las coordenadas de esta zona, medidas con un equipo GPS, Magellan Trail Blazer XL, fueron: 07° 58’ 06”, N y 72° 15’ 42”, W.

Las actividades de campo se realizaron en la sección ubicada en este corte de carretera y consistieron en el muestreo de la secuencia sedimentaria y de la descripción geológica de la sección mediante el levantamiento de la columna litoestratigráfica.

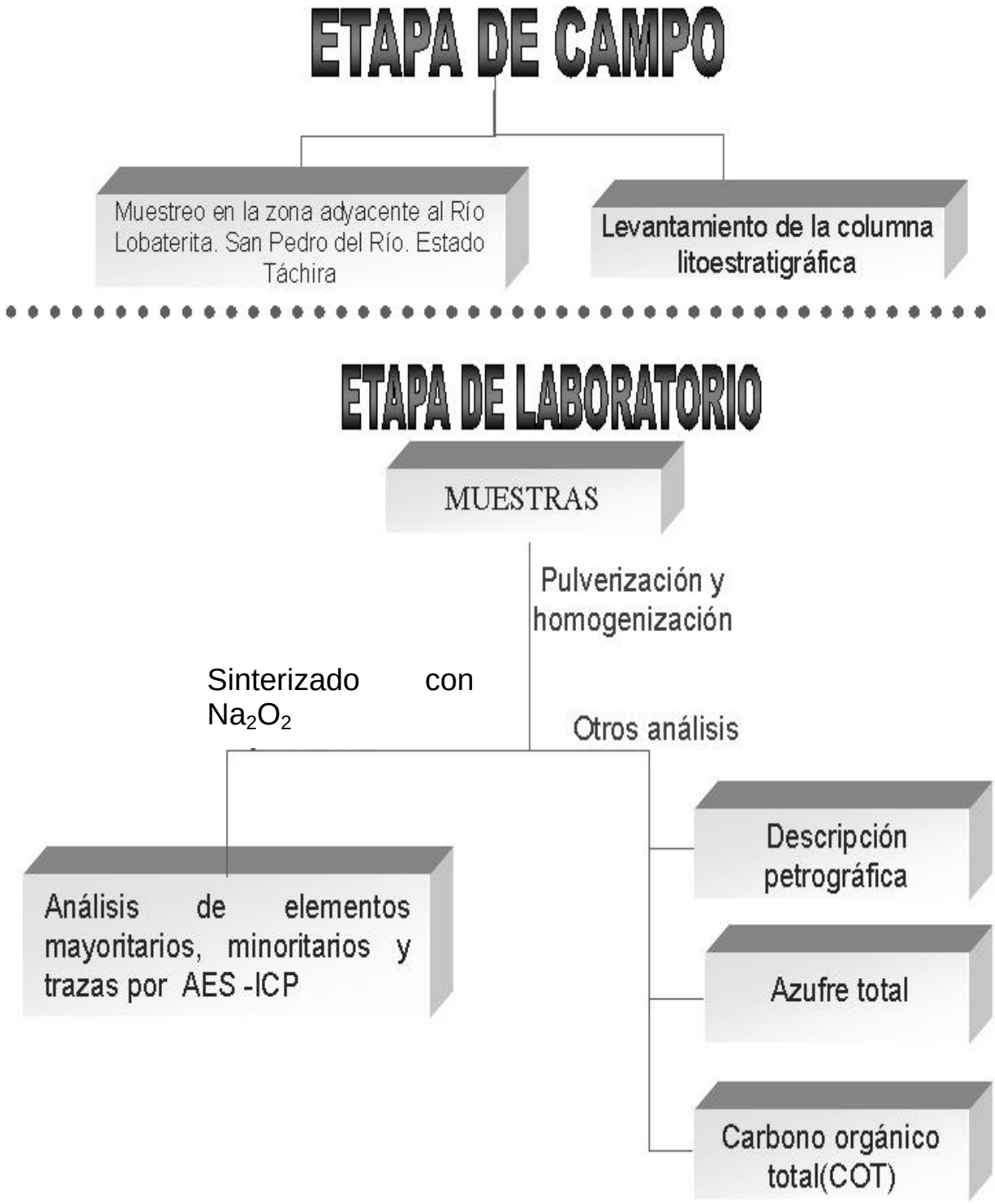


Fig.17 Esquema simplificado del diseño experimental empleado en el presente trabajo



*Fig 18. Mapa de ubicación de la zona de estudio en el Estado Táchira (modificado de **Santillana**, 1994)*

La descripción geológica se llevó a cabo basándose en descripciones macroscópicas de los aspectos texturales, mineralógicos, estructuras sedimentarias, relaciones verticales de los diferentes estratos y espesores. La recolección de las muestras se realizó con un espaciamiento regular (una muestra por metro), recogiéndose un total de 89 muestras con un peso aproximado de ½ Kg de roca.

ETAPA DE LABORATORIO

La fase de laboratorio comprende diferentes etapas: descripción de muestra de mano y petrografía, pulverización de la muestra, análisis de azufre, análisis de carbono orgánico total, disolución de las muestras y análisis por AES-ICP.



Fig. 19 Afloramiento de estudio de la Formación Mirador, en el Estado Táchira. En primer plano destaca el puente sobre la Quebrada Honda, al sureste de San Pedro del Río. Esta quebrada desemboca en el Lobaterita. Rumbo de la foto: aproximadamente N30-35E

❖ *Descripción de muestras de mano y petrografía*

Las muestras fueron estudiadas cuidadosamente mediante el empleo de una lupa Wild Heerbrugg Plan1X, con un aumento máximo de 50x, con la que se obtiene una idea más clara de la granulometría y composición mineralógica aproximada de las muestras. Por otra parte, se elaboraron 8 secciones finas de muestras de areniscas distribuidas a lo largo de la columna, representativas de las diferentes areniscas presentes. Para darle nombre a la roca se empleó la clasificación de areniscas de **Pettijhon, *et al*.,** (1986) (Fig. 20).

Para el análisis de las secciones finas se siguió el esquema propuesto por **Yoris** 1984, 1989, 1991 citado por **Carrillo,** (1999): se realizan 250 mediciones por sección fina, lo cual se logra haciendo un mallado ideal donde cada conteo se separa horizontalmente 1 mm y verticalmente 2 mm, logrando así observar un total de 25 filas por 10 columnas de puntos. Las observaciones fueron hechas en base al tipo de mineral, redondez y esfericidad. En forma general se observó el tipo de contacto

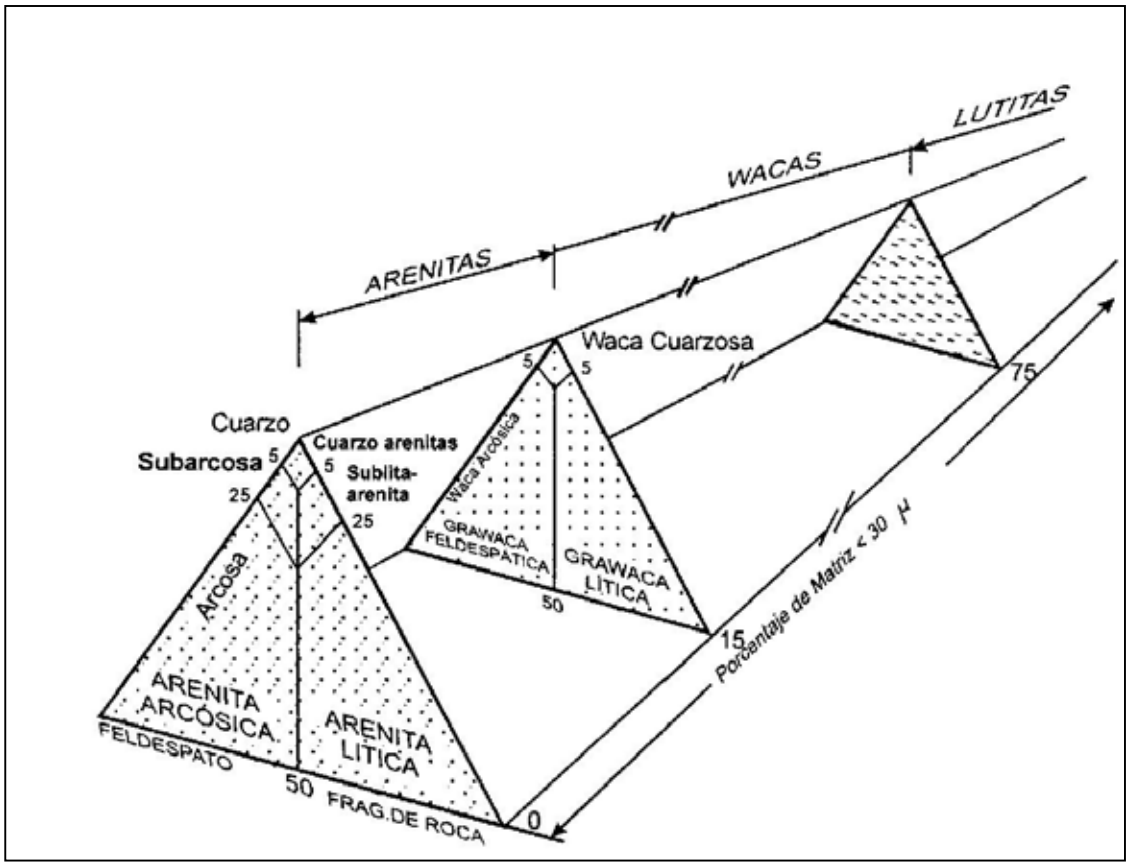


*Fig. 20 Clasificación de terrígenos y areniscas (**Pettijhon**, **F., et al.,** 1986)*

entre granos, el porcentaje de matriz y los minerales autigénicos. Los resultados se graficaron en los diagramas ternarios, propuestos por **Pettijhon, *et al***., 1986 (Fig. 20).

❖ *Pulverización de las muestras*

La pulverización de las muestras se realizó en un equipo SHATERBOX 5540, empleando envases de carburo de tungsteno y un tiempo de pulverizado de aproximadamente 1-1 ½ min.; con este tiempo se aseguró la obtención de un material finamente dividido; sin embargo se hizo pasar el pulverizado a través de un tamiz de 250 mallas para asegurar la homogeneidad de este. Todo el remanente sobre el tamiz fue nuevamente pulverizado.

❖ *Análisis de azufre*

Este análisis se llevó a cabo en un equipo analizador de azufre marca LECO, modelo SC-432. El análisis consiste en pesar de 0,3-0,5 g de muestra y aproximadamente igual peso de un catalizador de trióxido de tungsteno, en un pequeño recipiente de cerámica, resistente al calor y libre de azufre.

Este recipiente es colocado en un horno horizontal que se encuentra a 1450 °C, en atmósfera de oxígeno lo que ocasiona la oxidación de todo el azufre presente en la muestra, pasando a SO_2. El gas es arrastrado con el oxígeno y pasa por un tubo que contiene anhidrona ($MgClO_4$) para eliminar la humedad y por último la mezcla gaseosa pasa por una ventana de fluoruro de calcio que filtra todas la longitudes de onda excepto la del SO_2, esta señal llega a un detector de infrarrojo el cual responde a los cambios energéticos entre el gas portador y el gas de muestra para determinar la concentración de azufre. Para la calibración del equipo se emplearon patrones naturales certificados de carbón e hidrocarburos, así como patrones de referencia del laboratorio de Geoquímica orgánica.

❖ *Análisis de carbono orgánico total*

Se emplean varios métodos volumétricos para determinar la cantidad de materia orgánica; estos métodos se basan en la oxidación de la materia orgánica mediante un agente oxidante añadido en exceso a la muestra con la subsiguiente valoración o determinación colorimétrica del exceso de agente oxidante. El método empleado fue el de Walkley-Black, cuyo procedimiento y observaciones se describen en el apéndice N° 1 (**Jackson,** 1976); en la fig. 21 se muestra el esquema seguido en este método:

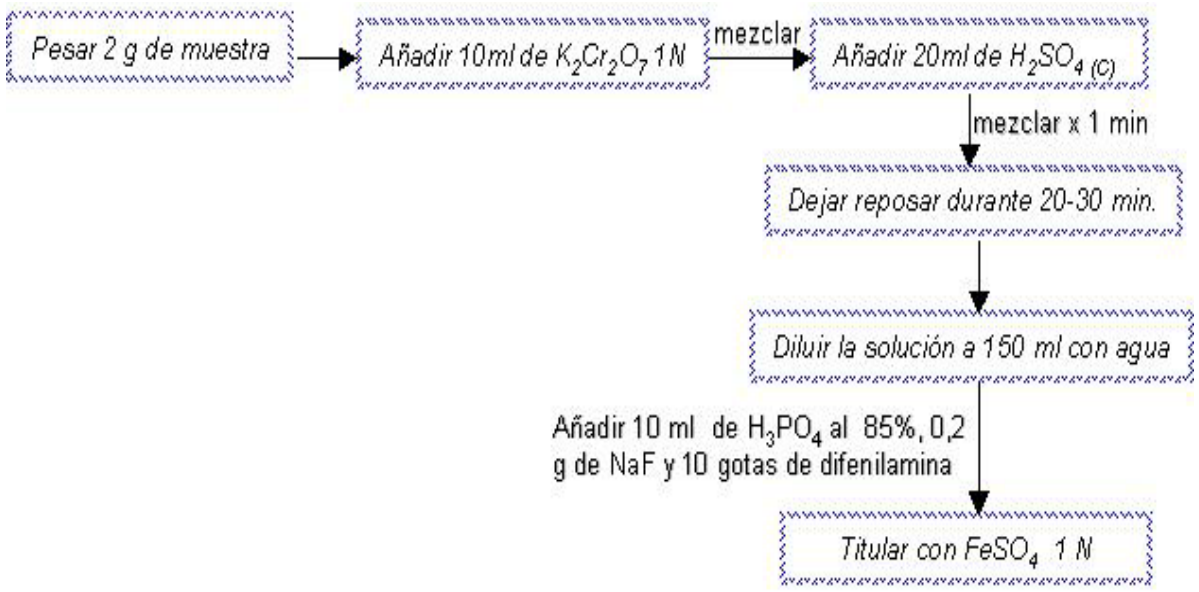


Fig.21 Esquema del procedimiento del método Walkley-Black para la determinación de materia orgánica.

- ***Disolución de las muestras:***

Existen varias técnicas analíticas para la disolución de las muestras de roca: disolución por ataque con una mezcla ácida (HF, HCl, HNO_3 y $HClO_4$), por fusión alcalina con metaborato y/o tetraborato de litio y por sinterización con peróxido de sodio, por nombrar algunas.

En este Trabajo Especial de Grado se empleó la técnica de sinterización con peróxido de sodio la cual es descrita detalladamente en el apéndice N° 2 (**Borsier,** 1991). La fig. 22 muestra el esquema empleado en esta técnica:

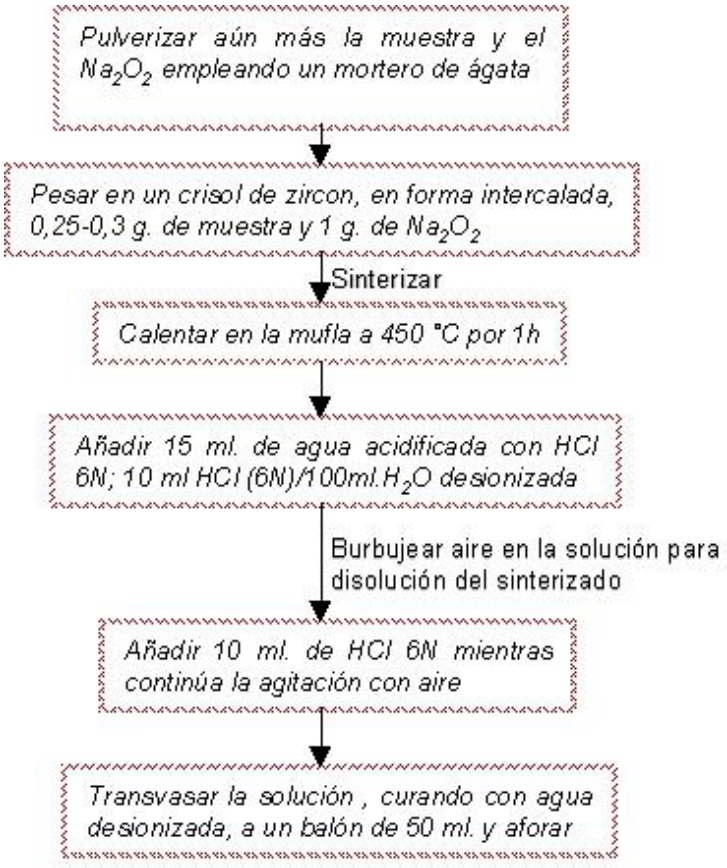


Fig. 22 Esquema del procedimiento de la sinterización de la muestra con peróxido de sodio

❖ *Análisis multielemental por ICP-AES*

Se determinó la concentración en las muestras de 25 elementos entre mayo ritarios y trazas: Si, Al, Mg, Ca, Fe, Mn, Ti, Zr, V, Cr, Ni, Cu, Zn, Y, La, Hf, Sr, Ba, B, P, Li, Ce, Rb, Th, y Mo. En la tabla N°3 se muestran los límites de determinación de los elementos estudiados.

Elementos	*Límite de determinación en solución*	*Límite de determinación en la muestra a partir del factor de dilución empleado*
Si, Al, B, Ni, Mo, Hf, La, Rb, Ce,	50 ppb	10 ppm
Fe, Cu, Cr, V, Ti, Ca, Mg, Sr, Ba, Mn, Zn, Li, Y	5 ppb	1 ppm
P	100 ppb	20 ppm

Tabla N°3 Límite de detección en ICP-AES para los elementos estudiados

Mediante el programa IMAGE se escogieron las longitudes de onda de los elementos seleccionados, para aquellas líneas que no presentaron interferencias. En la tabla 4 se muestran las longitudes de onda de trabajo:

Elemento	*Longitud de onda(nm)*	*Elemento*	*Longitud de onda(nm)*	*Elemento*	*Longitud de onda(nm)*
Cr	205,552	Fe	259,940	Al	396,152
Zn	206,200	Mg	285,213	Sr	407,771
B	208,959	V	292,402	La	408,672
P	213,618	Ca	317,933	Ce	413,765
Ni	231,604	Cu	324,754	Ba	455,403
Si	251,611	Ti	334,941	K	766,490
Mn	257,6	Y	371,030	Li	670,784
Rb	780				

Tabla 4. Longitudes de onda experimentales

El espectrómetro de AES-ICP empleado fue el Jobin – Ybon modelo JY 24 de distancia focal 0,64 m, bajo las siguientes especificaciones:

- Red: red holográfica con 3600 líneas/mm
- Nebulizador: de flujo cruzado
- Cámara de sedimentación: tipo Scott
- Flujo de Argón: 12 L/min
- Flujo de gas del nebulizador: 0,3 L/min
- Flujo de gas de purga: 0,5 L/min

Se estimó la concentración aproximada en las muestras comparando las intensidades de emisión de dos de las muestras y una solución multielemental de 5 ppm. Se prepararon dos patrones multielementales (apéndice N°3) con los que se realizaron las curvas de calibración empleando como cero la solución blanco. Se realizó la corrida de un control cada 10 muestras para asegurar l a estabilidad de las

condiciones experimentales. Para determinar la precisión del método para cada elemento se corrió la misma muestra 6 veces; este valor se reportó como el coeficiente de variación (apéndice N° 4). El resultado obtenido del instrumento es directamente la concentración, en ppm, del elemento en solución y en muestra.

- ***Análisis estadístico de los resultados***

Para el análisis estadístico de los datos se empleó el programa NCSS 2000; la estadística descriptiva se reporta en base a la media, la desviación estándar, la mediana, la media geométrica, la media armónica, la moda, el histograma de frecuencia, la curva de probabilidad y el test de normalidad. La estadística multivariada se realizó aplicando los métodos de análisis cluster, escalamiento multidimensional, y realizando matrices de correlación entre variables.

En el siguiente capítulo se exponen los resultados experimentales obtenidos a partir de la metodología de trabajo expuesta anteriormente. De igual manera las discusiones de los respectivos resultados se exponen simultáneamente con la presentación de los mismos.

RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSIONES

Los resultados experimentales se exponen en la misma secuencia en que se expuso la parte experimental .

DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO

El afloramiento de la Formación Mirador en la sección adyacente al río Lobaterita se caracteriza en general por presentar cuerpos densos de areniscas competentes con espesores de 20-30 m; se encuentran intercaladas por varias capas de material arcilloso de las cuales dos se presentan con espesores aproximados de 4-7 m, dividiendo claramente la sección, (fig.23). Estructuras sedimentarias tales como la estratificación cruzada, la cual se presenta a lo largo de la secuencia, indican la posición normal de la columna. Las areniscas presentan una coloración gris-crema hacia la base tornándose blancas hacia el tope de la sección; el color de meteorización es crema pardo-verdusco hacia la base y se torna pardo-rojizo hacia el tope.

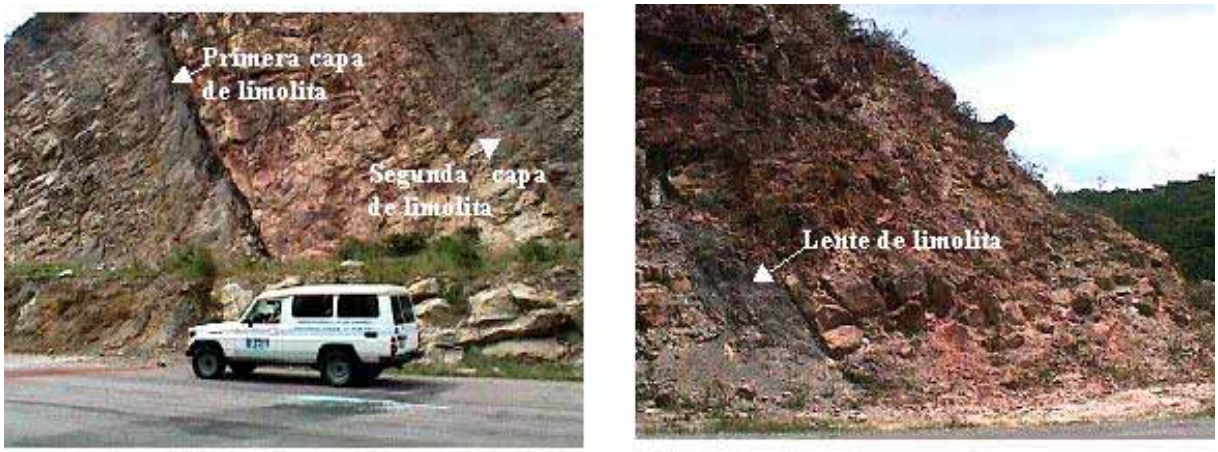


Fig.23 Afloramiento de la Formación Mirador en el río Lobaterita. Se muestran las dos capas de limolitas más evidentes intercaladas entre las capas de areniscas de gran espesor. También se puede observar el cambio en el color de meteorización hacia el tope de la columna

El tamaño de grano de las arenas es predominantemente de arena media-gruesa, presentándose algunas areniscas conglomeráticas suprayacentes a las capas de limolita gris, como se muestra en la columna litoestratigráfica levantada, (apéndice N°14)

Hacia la base de la sección, antes de la primera capa de limolita (40 m.), las areniscas se presentan con un alto contenido de matriz, mientras que hacia el tope son en general un poco más limpias. La parte inferior de la columna se caracteriza por presentar lentes, nódulos de arcilla y pelotillas de barro, así como algunas huellas de carga y estratificación cruzada; entre los 40 y 70 m. de columna se observa mayor cantidad de láminas de materia orgánica y estratificación paralela, (fig. 24.b), en especial de óxidos de hierro. Hacia el tope de la columna se hacen frecuentes los lentes de carbón, (fig.25) y nuevamente la estratificación cruzada.



Fig 24 Algunas estructuras sedimenetarias. En A se observa la superficie de contacto entre la primera capa de limolita y una arenisca conglomerática . En B se observa una de las estructuras sedimentarias observadas

Inmediatamente, por encima de las capas de material arcilloso se observan estructuras de corte, en la primera, y una relación angular por encima de la segunda, estas zonas representa superficies de erosión, en donde se observan estructuras de corte, probablemente producidas por erosión, del material arcilloso, por corrientes

de mayor energía (**Corrales**, 1977), lo que podría reflejar un moderado aumento de energía del influjo fluvial (**Pestman *et al***., 1998). A estas estructuras le continúa la depositación de material grueso, tal como las areniscas conglomeráticas observadas en la sección.

La mayor madurez textural de las arenas presentes hacia el tope de la sección y la disminución de los lentes de material arcilloso, podrían indicar una menor influencia marina en esta zona, lo cual se apoya con el ambiente próximo-costero planteado por **Paparoni,** (1993) para estas arenas. Por otra parte los restos de materia orgánica y las inclusiones carbonosas, en esta zona, podrían indicar una sedimentación relativamente rápida, que favoreció la preservación.

Las estructuras observadas a lo largo de la sección son características de una sedimentación en ambiente fluvial-costero, con intervalos de baja energía. Esta unidad ha sido dividida en seis macroformas de acuerdo a su descripción litológica (**Paparoni,**1993), asociadas a un ambiente de estuario dominado por olas, del tipo somero y lateralmente extenso. Mas adelante se hará referencia a las características sedimentológicas y ambientales expuestas por este autor.



Fig 25. Se observan algunos lentes de carbón presentes en las areniscas situadas hacia el tope de la sección

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

La descripción detallada de las muestras tomadas cada metro de altura estratigráfica se expone en el apéndice N° 5. En el apéndice N°15 se observa una esquematización de los resultados del análisis petrográfico.

Las muestras tomadas hacia la base de la sección son predominantemente cuarzo areniscas con alto contenido de fragmentos líticos y opacos, encontrándose algunas sublitoarenitas; hacia el tope aumenta el contenido de cuarzo. En general las areniscas se presentan muy friables y porosas a lo largo de la columna.

Los primeros metros de columna se caracterizan por presentar laminación de óxidos de hierro y de los fragmentos líticos y/o minerales opacos. A partir de aproximadamente, 54 m de altura estratigráfica, el contenido de fragmentos líticos y/o minerales opacos disminuye considerablemente. Las huellas de restos de materia orgánica se concentran hacia el medio de la columna, observándose mayormente en las arenas de grano muy fino-medio.

Las capas de material limoso se describen como areniscas limosas a limolitas y lutitas limosas, en las que se observaron algunos minerales como pirita, marcasita y mica muscovita, al igual que estructuras tales como laminación paralela y pelotillas de arcilla.

En general se observa un predominio del tamaño de grano de arena fina-media en los primeros 28 m de columna, posteriormente una disminución hasta el tamaño arcilla y abruptamente un contacto con areniscas conglomeráticas en los 40 m de sección. Luego se mantiene nuevamente el tamaño de grano entre arena fina-medio hasta la próxima capa de limolita a los 53 m; sobre esta capa se observa nuevamente un aumento brusco del tamaño de grano hasta arena conglomerática.

En las capas siguientes se repite el predominio del tamaño arena fina-media, haciéndose progresivamente más gruesa hacia el tope de la sección, se observan algunos lentes de limolita en esta zona, lo que implica una disminución de la energía del canal fluvial y aporte marino (**Darlymple *et al***., 1992).

Con respecto a la redondez se observó que los 27 primeros metros de columna se caracterizan por arenas de granos subredondeados – redondeados y la sección siguiente por presentar granos subangulares – subredondeados. Con respecto al escogimiento se observó que los primeros 27 m se caracterizan por presentar granos de escogimiento medio. En general, el escogimiento en toda la sección es bueno, lo que indica que aunque se observan algunas superficies de erosión, como se mencionó anteriormente, no se produjeron eventos, tipo aluvionales, de muy alta energía que provocaran una sedimentación de textura heterogénea.

El porcentaje de matriz es relativamente alto hacia la base y la parte media de la columna, encontrándose algunas grauvacas-cuarzosas, disminuyendo considerablemente hacia el tope y además el color y aspecto de las arcillas es diferente a las observadas en la base. Paparoni, (1993) asocia el alto contenido de matriz en la base a una clara influencia marina en esta zona, la cual llega a su máximo nivel con la depositación de la primera capa de lutita de 7 m de espesor.

A partir de las secciones finas realizadas se reafirmó el predominio de areniscas cuarzosas en la sección y la presencia de sublitoareniscas y grauvacas cuarzosas y líticas, (fig.26). También se observaron algunos minerales tales como glauconita, rutilo, mica muscovita y óxidos de hierro; se observaron algunas arcillas recristalizadas y algunas muestras con granos cementados con óxidos de hierro; estos se pueden asociar con productos de procesos diagenéticos, posiblemente procesos de precipitación química de minerales de óxidos de hierro y arcillas (fig. 27 y 28).

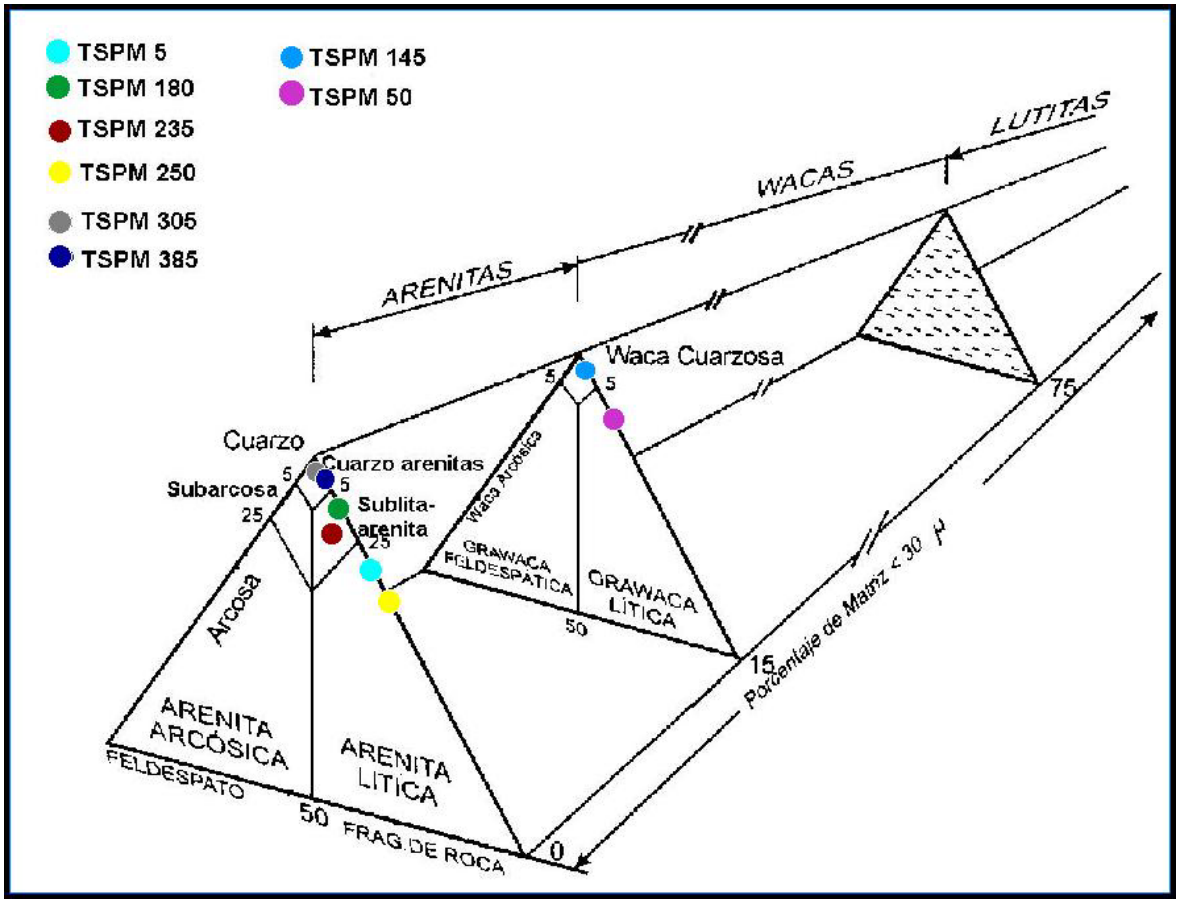


Fig 26 Diagrama QFL que muestra la distribución de las muestras analizadas por sección fina

Los contactos entre granos predominantes en las ocho secciones fueron el longitudinal y algunos se observaron cóncavo-convexo, lo cual indica que los sedimentos fueron sometidos a un proceso diagenético moderado. Los resultados se muestran en el apéndice N° 6.

Entre los minerales accesorios observados se pueden nombrar: pirita, estaurolita, epidoto, glauconita; también se observaron fragmentos líticos de chert. La presencia de pirita es indicativo de un proceso diagenético bajo la presencia de minerales de hierro reactivos, materia orgánica y flujo de azufre en donde se dieron las condiciones óxicas necesarias para que parte de estos minerales reaccionaran (**Berner**,1984).

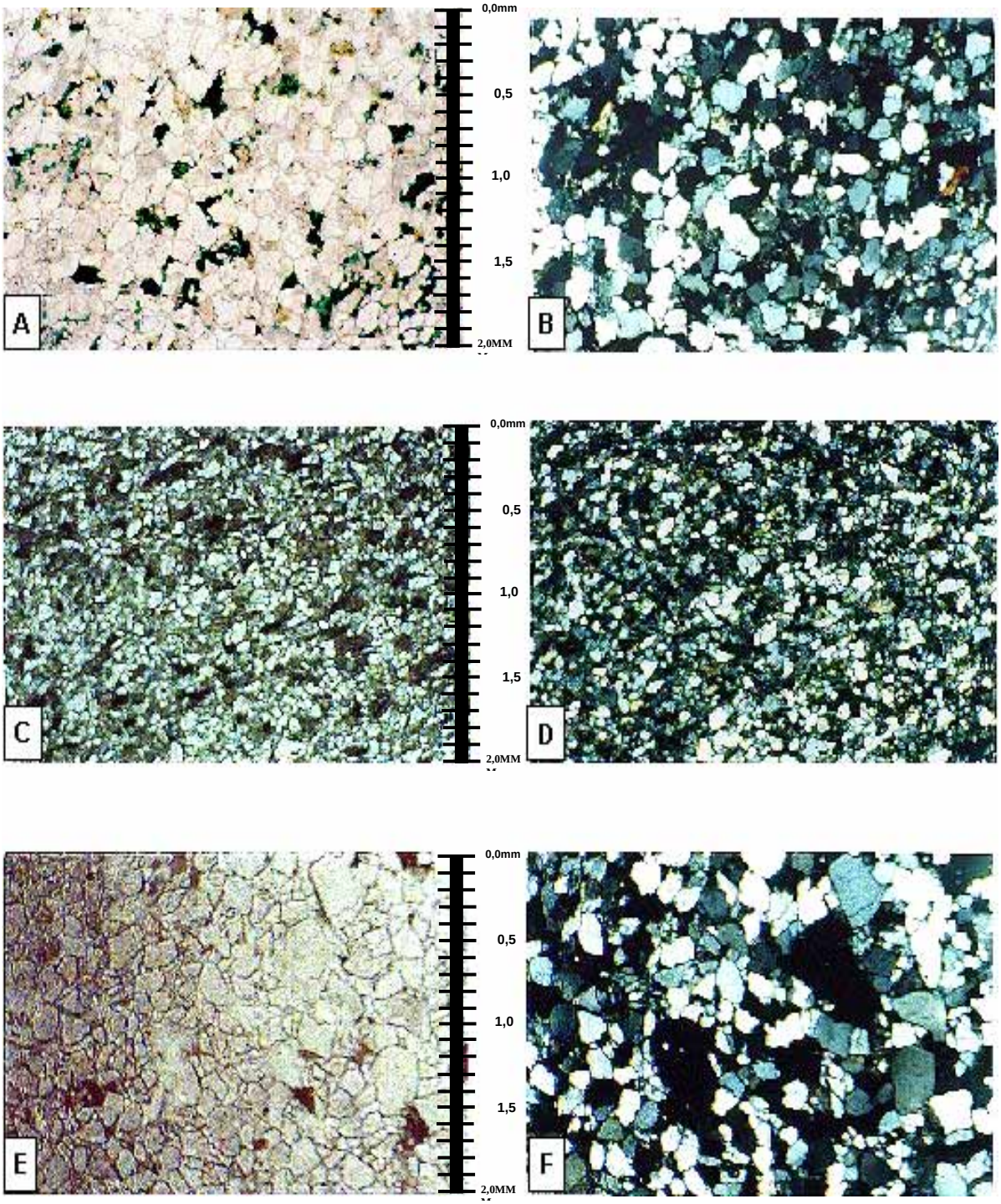


Fig27. ***A*** *TSPM 5 sublitoarenita de grano medio sin luz polarizada;* ***B*** *TSPM 5 con nícoles cruzados.* ***C*** *TSPM 50 Grauvaca-lítica de grano arena fina-muy fina sin luz polarizada;* ***D*** *TSPM50 con nícoles cruzados.* ***E*** *TSPM 180 Cuarzoarenisca de grano grueso-conglomerática sin luz polarizada;* ***F*** *TSPM180 con nícoles cruzados.*

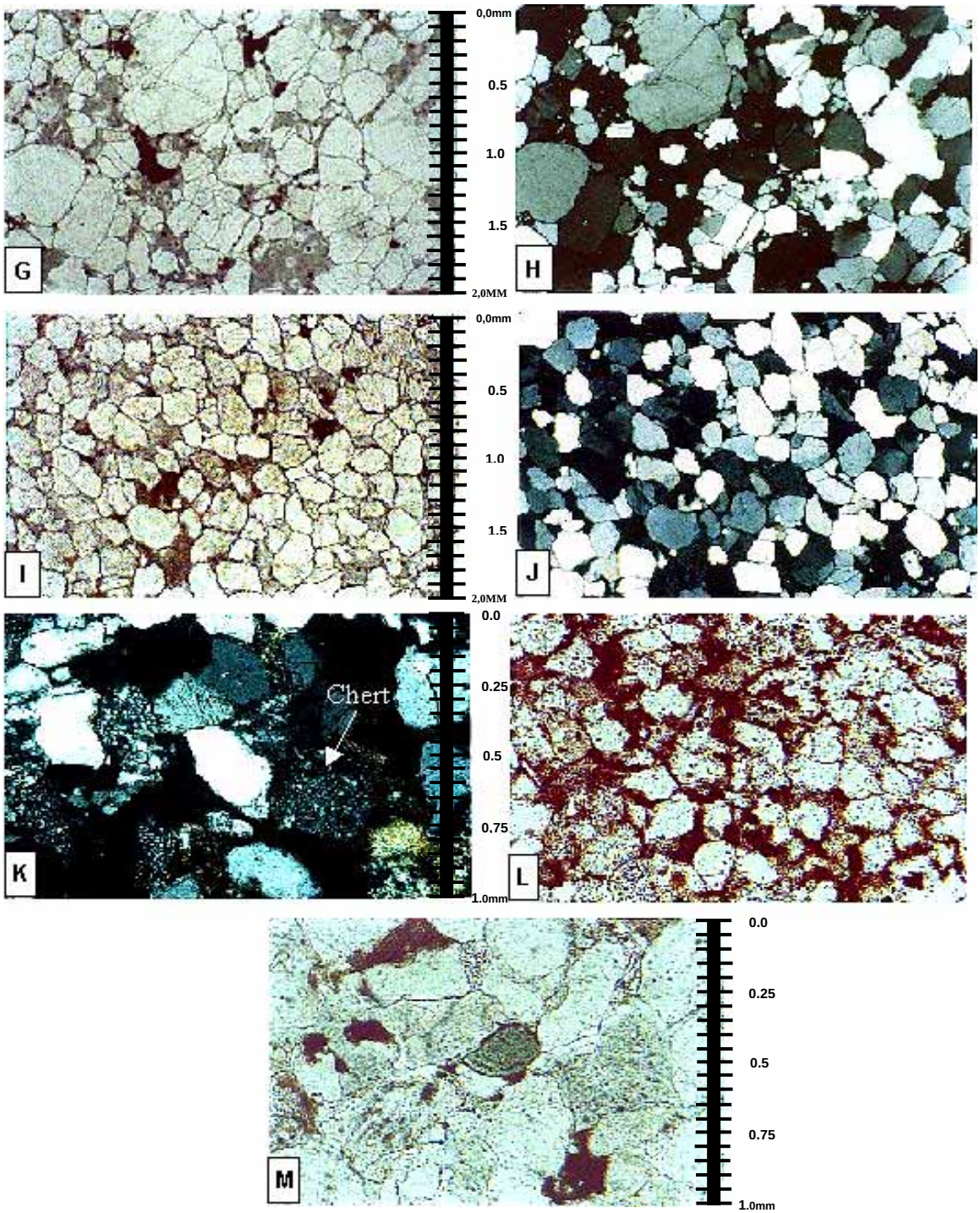


*Fig 28, **G** TSPM 305 Cuarzo arenisca conglomerática sin luz polarizada; **H** TSPM 305 con nícoles cruzados. **I** TSPM 385 cuarzo arenisca de tamaño de grano de arena gruesa sin luz polarizada; **J** TSPM 385 con nícoles cruzados. **K** TSPM 5 se observan granos de chert como fragmentos líticos, en nícoles cruzados. **L** TSPM 250 se observan los granos cementados con Fe_2O_3, sin luz polarizada.*

La estaurolita y el epidoto son minerales característicos de rocas metamórficas; así mismo, los fragmentos de chert son indicativos de aporte de rocas sedimentarias de al menos segundo ciclo. Por otra parte, la glauconita es un mineral autigénico característico de ambientes marinos, tipo plataformas, siendo producto de sedimentación intersticial bajo condiciones disóxicas (**Kerr,** 1977)

CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS MAYORITARIOS Y TRAZAS

Por la técnica de EEA-ICP, se determinó la concentración de siete elementos mayoritarios (Al, Ti, Mg, Ca, K, Si, Fe) y quince elementos trazas (V, Cr, Mn, Ni, Zn, B, P, Ce, La, Y, Ba, Li, Rb, Cu, Sr). Estos resultados y los valores de concentración de azufre total y COT, se presentan en el apéndice N°7. En general la mayoría de las medias elementales, están muy cerca del promedio en rocas sedimentarias (**Mason y Moore**, 1982), solo K, Ca se encuentran ligeramente empobrecidos en la sección.

Se analizaron igualmente los elementos Mo y Hf por haberse detectado en análisis previos. Sin embargo casi todas las muestras presentaron valores por debajo del límite de detección. El elemento Th no se determinó ya que se encontró en su espectro una fuerte interferencia con el hierro; así mismo no se pudo determinar Zr ya que los crisoles empleados en el proceso de disolución de las muestras, eran de circonio. Sin embargo los elementos determinados son suficientes para llevar a término los objetivos propuestos. Por otra parte, los datos de Si no fueron considerados, ya que algunas de las muestras presentaron algo de gel de sílice en suspensión, posteriormente a su almacenamiento; se emplearon datos de Si, determinados por la técnica de florescencia de rayos x, gentilmente cedidos por los bachilleres Camposano y Martínez (Escuela de Geología, Facultad de Ingeniería).

Para determinar la correlación de las diferentes variables estudiadas se realizó el siguiente estudio estadístico.

TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Para los estudios de estadística descriptiva y de análisis multivariado, no se incluyeron aquellas variables cuyos datos presentaron mas del 25% de valores por debajo del límite de detección (Ca, COT, Zn, Ni, B), ya que es muy probable que éstos no se aproximen a una distribución normal, y muchas de las inferencias estadísticas que son usadas se basan en la suposición de que los datos responden a una distribución normal. Para las otras variables estudiadas, aquellos valores de concentración que estuvieron por debajo del límite de detección (menos del 25%), fueron sustituidos por la mitad del límite de detección respectivo para cada variable (**Reiman y Filzmoser**, 1999).

Para el análisis exploratorio de los datos se elaboraron las cajas gráficas de todos los elementos (apéndice 8); la mayoría de las distribuciones presentaron valores anómalos. Estos datos se sustrajeron de la población sustituyendo su valor por la mediana, recalculada con los datos depurados. Los valores anómalos serán tratados aparte en la interpretación geoquímica. Inicialmente deben ser extraídos ya que en principio no pertenecen a la misma distribución empírica de los datos centrales (**Reiman y Filzmoser**, 1999).

Los resultados de la estadística descriptiva se muestran en el apéndice N°9; en los histogramas de frecuencia se observa que la mayoría de las variables poseen una distribución asimétrica con predominio de valores bajos, tipo “J” invertida. De igual manera, en las curvas de probabilidad se observan varios datos fuera de las curvas de variabilidad normal; al realizar la prueba de normalidad de Kolmorogov-Smirnov se rechazó la hipótesis de normalidad, por lo que se contempló transformar los datos a logaritmo para determinar si la distribución respondía a una distribución log-normal.

Posteriormente se realizó nuevamente la prueba de normalidad, la cual indicó que la mayoría de las variables presentaron una distribución log-normal; igualmente en los histogramas de frecuencia y las curvas de probabilidad para esta distribución, se observa una distribución simétrica y para la mayoría de las variables más del 95% de los datos están dentro de las curvas de variabilidad normal. Debido a estos resultados se decidió trabajar los análisis siguientes, de estadística multivariada, con el logaritmo de los valores.

Para los estudios de estadística multivariada se emplearon matrices de correlación entre elementos, además se realizaron análisis de conglomerados y de escalamiento multidimensional.

Para el análisis de cluster, los datos fueron inicialmente transformados a su correspondiente Log_{10}**,** y posteriormente estandarizados a distribución **Z N(0,1)** (apéndice 10), ya que este análisis se apoya en mayor grado en la normalidad de los datos y es susceptible a las diferencias de escala. Aunque algunos de los elementos no fueron aceptados por el test de normalidad empleado, el análisis de escalamiento multidimensional (MDS), es un método suficientemente robusto para el estudio de estos datos ya que a diferencia del análisis de factores no requiere que la distribución sea normal y que la relación entre los datos sea lineal (**Stat Soft**, 2001); por tal motivo no es necesario emplear los datos normalizados con **Z N(0,1)** para la realización del mapa de MDS.

Los resultados así obtenidos imprimen robustez a las asociaciones estadísticas, debido a las bondades y características de las dos técnicas empleadas.

Debido a la gran cantidad de variables y a la complejidad del sistema, la interpretación de las salidas de cada uno de los métodos empleados se hace dificultosa. En la fig. 29, se puede observar cierto agrupamiento entre las variables, sin embargo no resulta evidente su asociación geoquímica, ya que variables que

podrían estar asociadas geoquímicamente muestran poca correlación estadística, como es el caso, por ejemplo, de K-Al, Fe-Mg-Mn, Cu-V. La posible ausencia de asociaciones estadísticas claras, probablemente es debida a que el sistema estudiado (Fm. Mirador) es lo suficientemente complejo como para que la técnica utilizada permita establecer tendencias. Siguiendo la metodología de **Reinhardt y Ricken** (2000), el tratamiento estadístico multivariado se efectuará en cada una de las quimiofacies, por separado. Por tanto, se pospone dicho análisis hasta haber definido las quimiofacies.

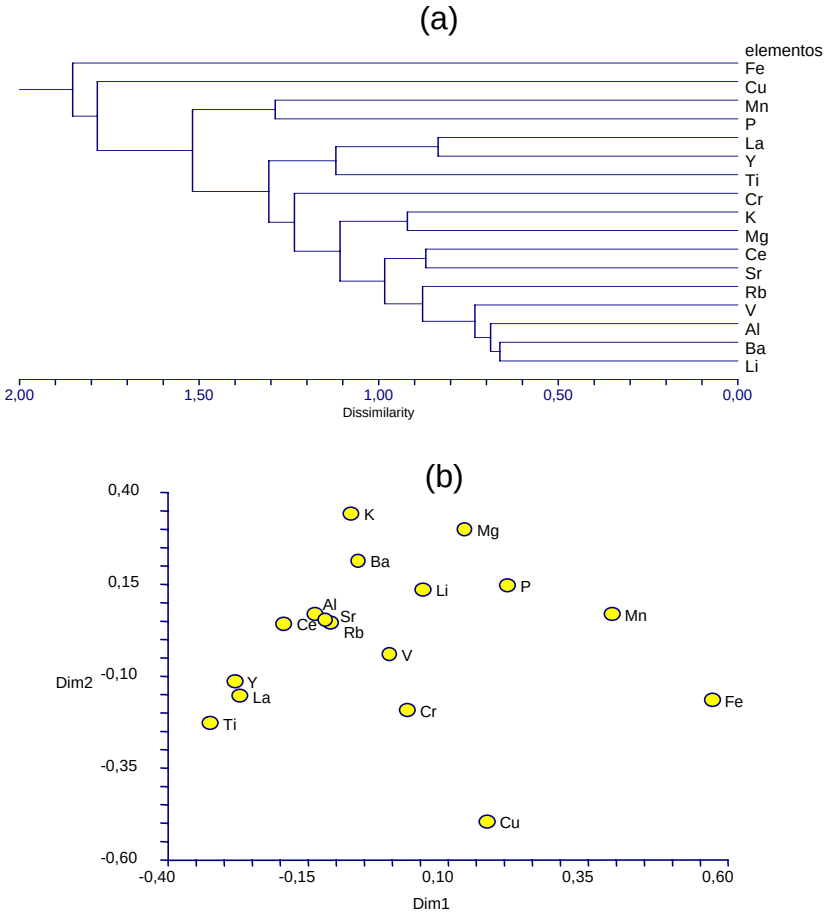


Fig.29 (a)Análisis cluster de los datos logarítmicos normalizados, y (b)análisis de escalamiento multidimensional. Se obvió el dato de Si para observar mejor la correlación entre las otras variables, ya que los valores de Si, por estar en la fase mineral mayoritaria, son muy altos.

A continuación se describen los resultados de los estudios geoquímicos realizados a los datos, así como su posible interpretación.

GEOQUÍMICA SEDIMENTARIA

Entre los análisis geoquímicos realizados están los diagramas de discriminación (**Fralick y Kronberg**, 1997). Los más relevantes se muestran en la figura 30, el resto de los diagramas se muestra en el apéndice 11.

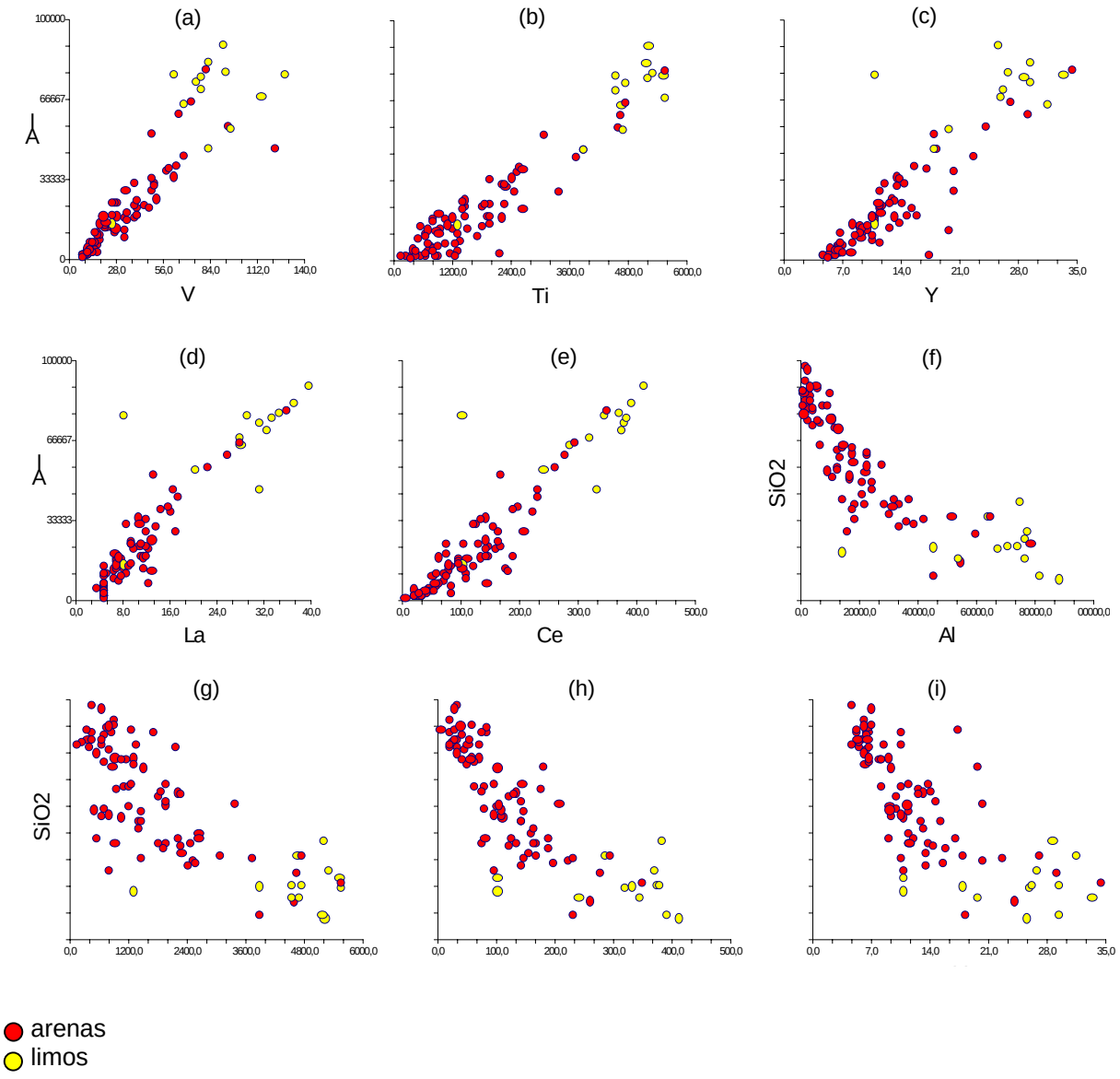


Fig.30 Algunos diagramas de discriminación (Fralick y Kronberg, 1997). Los diagramas a-e representan comportamiento frente al Al; los diagramas f-i se efectuaron frente al SiO_2.

Los diagramas anteriores permitieron establecer que los elementos: Al, Ti, V, Y, Ce y La, se comportan como inmóviles, es decir, no fueron substancialmente alterados durante el proceso de meteorización y diagénesis, y además se encuentran enriquecidos en la fracción fina. Las ligeras desviaciones de la linealidad, pueden ser causadas por diferencias menores en el material fuente o ligeras diferencias en el fraccionamiento hidrodinámico de las fases mayoritarias que contienen estos elementos.

Se realizaron otras gráficas de correlación, citadas en la literatura (**Dinelli *et al.,*** 1999) como las que se muestran en la figura 31; en ellas se observa (fig. 31a) una leve correlación, para algunas de las muestras, entre Ca y Mg; sin embargo las concentraciones de estos elementos son muy bajas para asociar su correlación a una contribución carbonática significativa. Posiblemente la asociación responda a la presencia de cemento carbonático.

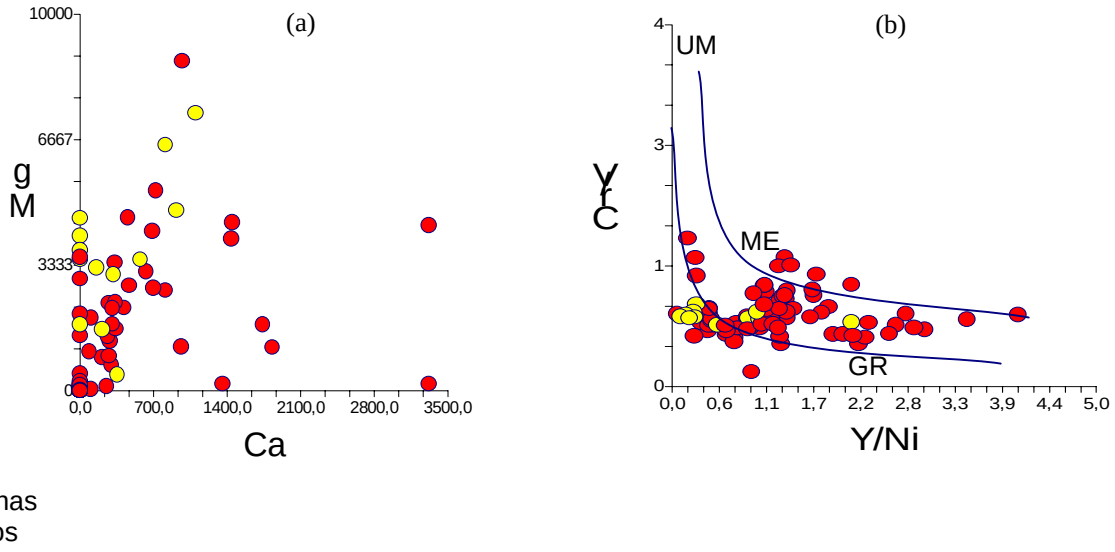


*Fig.31 Diagramas de correlación (a)Ca vs Mg; (b) Cr/V vs Y/Ni (**Dinelli, *et* *al*., 1999).*

El diagrama Cr/V vs Y/Ni (fig.31b) (**Dinelli *et* *al***., 1999), representa la relación promedio entre rocas máficas, félsicas y metamórficas félsicas; debido a la asociación de Cr, V y Ni a rocas máficas e Y como elemento incompatible, asociado a rocas félsicas y minerales pesados, una tendencia hacia valores altos de Cr/V

y valores bajos de Y/Ni se puede relacionar a fuentes de rocas máficas. Los resultados obtenidos en el presente Trabajo Especial de Grado, muestran una distribución hacia valores bajos de Cr/V y valores relativamente altos de Y/Ni, observándose cierto predominio de valores en el campo atribuido a la contribución granítica; así mismo algunas muestran caen en la zona correspondiente a una contribución de rocas metamórficas félsicas.

La gráfica anterior sugiere que la fuente de sedimentos en la Formación Mirador, fue esencialmente de composición félsica, probablemente granitos y gneises graníticos. **Martínez** (1995), encontró resultados similares en la matriz inorgánica de los carbones de la Fm. Los Cuervos; debido a que esta formación se encuentra infrayacente a la Fm. Mirador, y juntas contribuyen al megaciclo regresivo de la Cuenca del Lago de Maracaibo, se podría inferir una fuente común para estas dos formaciones, por lo que los resultados de **Martínez** (1995) soportan las inferencias realizadas en el presente estudio.

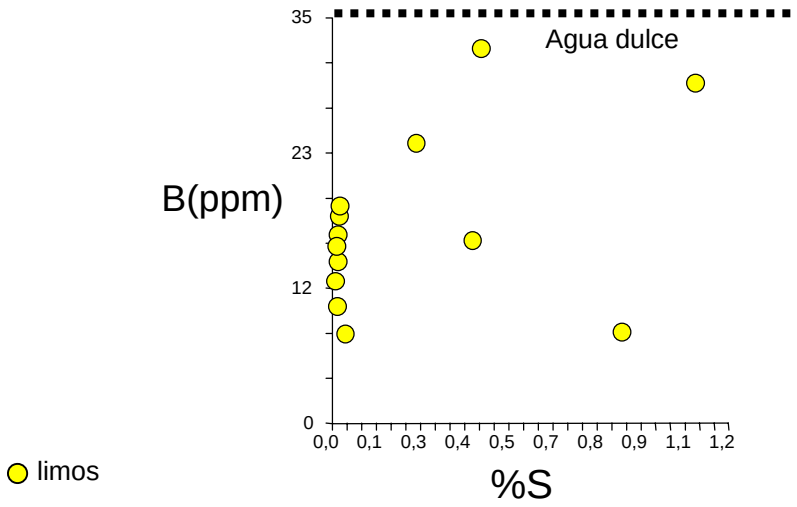


*Fig. 32 Diagramas B vs %S (**Banerjee y Goodarzi**, 1990). Solo se grafican los valores de los limos, ya que este tipo de gráfico se asocia a esta litología*

En la figura 32, se muestra el diagrama B vs %S, en el cual se observa ausencia de correlación entre estas dos variables. La falta de correlación podría

indicar sedimentación en ambientes con muy baja influencia marina, por lo que se infiere un ambiente predominantemente continental para esta sección (**Banerjee y Goodarzi,** 1990). Este resultado está de acuerdo con otros indicadores que se discutirán más adelante, y con la literatura geológica asociada a la sedimentación en este tipo de ambiente. Los bajos valores de boro encontrados (<35 ppm) son cónsonos con medios muy poco influenciados por el mar. Sin embargo, debe tomarse con cautela este resultado ya que la concentración de B, es también función del tipo de arcilla (**Harder,** 1970)

Una vez estudiadas las posibles asociaciones geoquímicas sedimentarias, a continuación se realizará el análisis de los resultados quimioestratigráficos, cuya interpretación se reforzará con los estudios geoquímicos previos.

ANÁLISIS QUIMIOESTRATIGRÁFICO

Se elaboraron los perfiles quimioestratigráficos elementales, graficando la altura estratigráfica en función de la concentración (fig. 33); en éstos se pueden observar diferentes inflexiones a lo largo de la secuencia, la mayoría de ellas responden a cambios litológicos, aunque en algunos, esto no es tan evidente.

En general se observa mayor concentración de los elementos en las capas de material arcilloso; debido a que las diferentes inflexiones se ven condicionadas a la litología, es muy difícil diferenciar los cambios químicos relacionados a cambios paleoambientales.

De los gráficos de discriminación obtenidos, se logró la mejor correlación con Al y Ti, este resultado preliminar permitió normalizar el resto de los datos con respecto al Al, para simplificar la interpretación geoquímica. La normalización permite comparar en forma simple la variación química debido a que minimiza los efectos litológicos; la mayoría de los elementos tienden a concentrarse en la fracción arcillosa, por esta razón no se observa en forma clara su comportamiento en la fracción más gruesa.

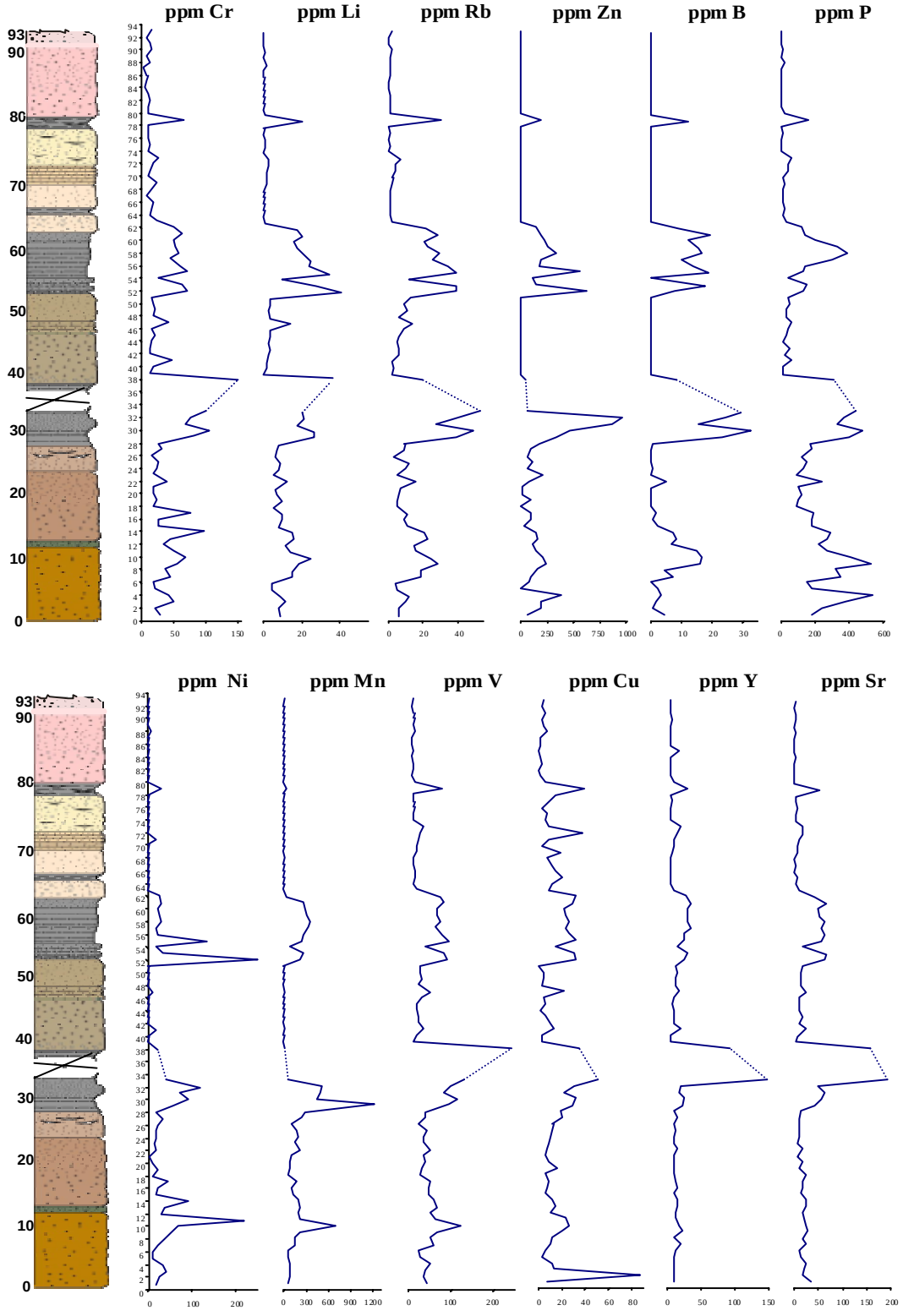


Fig. 33 Perfiles quimioestratigráficos elementales

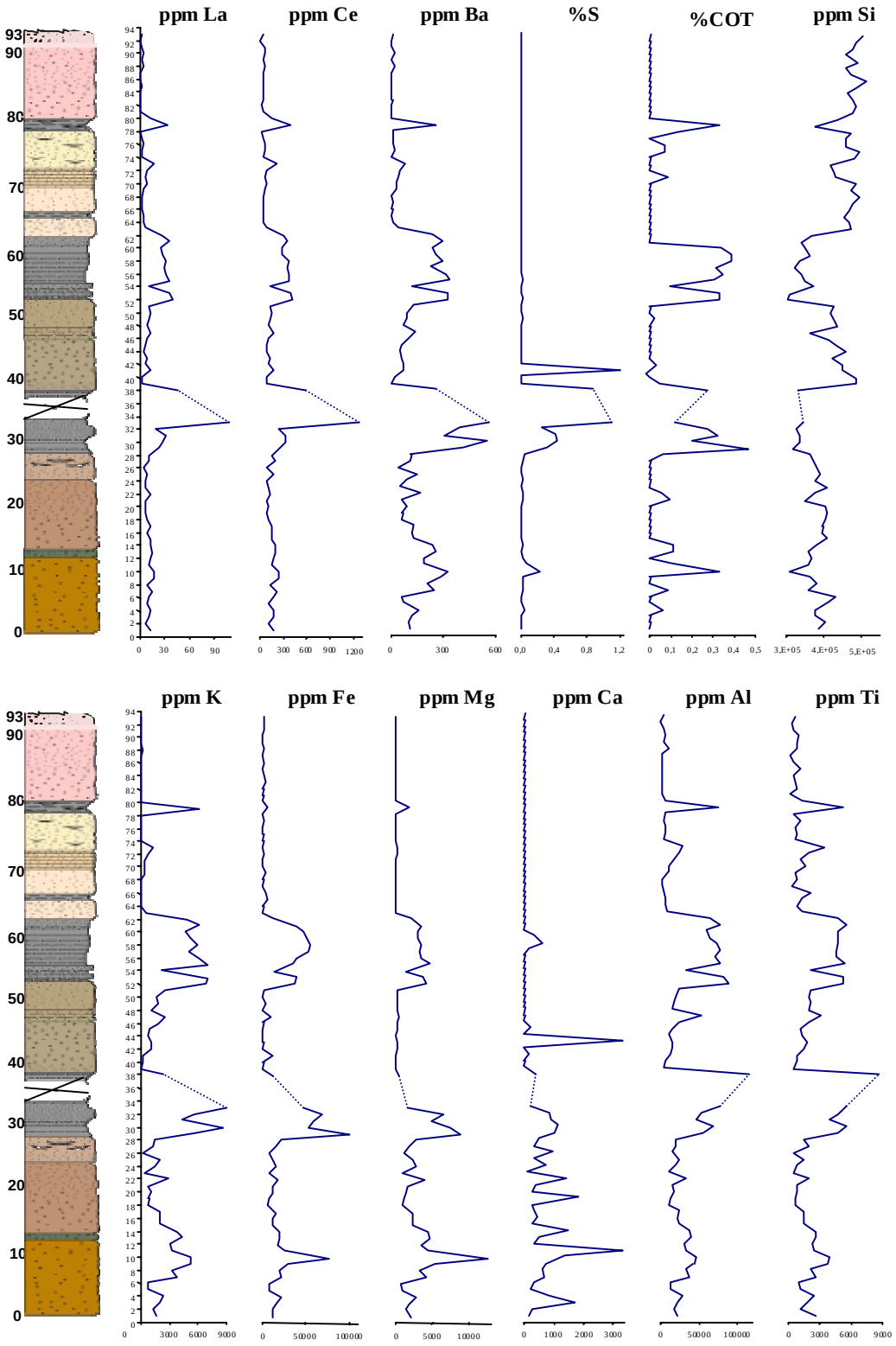


Fig.33 Continuación...

Una inspección visual preliminar de los perfiles quimioestratigráficos normalizados (fig.34), permite identificar, en la mayoría de los perfiles, al menos tres zonas de diferente comportamiento químico, cuyos límites se ubican en los 38 m y 63 m. Analíticamente, estos cambios, se puede corroborar con las curvas acumuladas para estos perfiles (fig.35), en donde además se observan, sólo para algunas variables, otras zonas de inflexión. Estadísticamente se establecieron cambios en las asociaciones químicas, en cada una de las muestras, realizando el análisis cluster constrained (apéndice16), en el cual se diferenciaron 5 grupos mayores. La interpretación geoquímica de estos cambios permitió establecer tres quimiofacies y además dentro de cada una de ellas se encontraron cambios menores o "quimiofacies menores". Los resultados de %COT no fueron tomados en consideración, para la interpretación geoquímica, ya que los valores obtenidos fueron muy bajos y además presentan cierta correlación con Fe, por lo cual se piensa que el mecanismo de oxidación, para la determinación de COT, pudo involucrar algunos minerales de Fe^{+2}.

Las tres quimiofacies más relevantes se observan mejor en las curvas acumuladas para: K/Al, Mg/Al, Ti/Al, Fe/Al, V/Al, Cr/Al, La/Al y Ce/Al. Entre este grupo de elementos están los elementos trazas que los diagramas de discriminación permitieron establecer como inmóviles, los cuales son muy útiles como elementos índices en Quimioestratigrafía (**Chemostrat Consultants**, 2000), y permiten establecer certeramente una quimiofacies.

Los límites entre las tres quimiofacies más relevantes coinciden con los de tres de las macroformas litoestatigráficas establecidas por **Paparoni** (1993); además dos de los cambios químicos menores a 28 m y 52 m observados en los resultados de este estudio, coinciden con otros dos de los límites propuestos por **Paparoni** (1993). Las macroformas definidas por Paparoni, en orden estratigráfico fueron: 1) depósitos de canal con clara influencia marina; 2) depósitos de frente de pro-delta estuarino, con influencia marina; 3) depósitos de canal fluvial; 4) estuario medio, menor energía; 5) delta de cabecera del estuario; 6) facies próximo costeras.

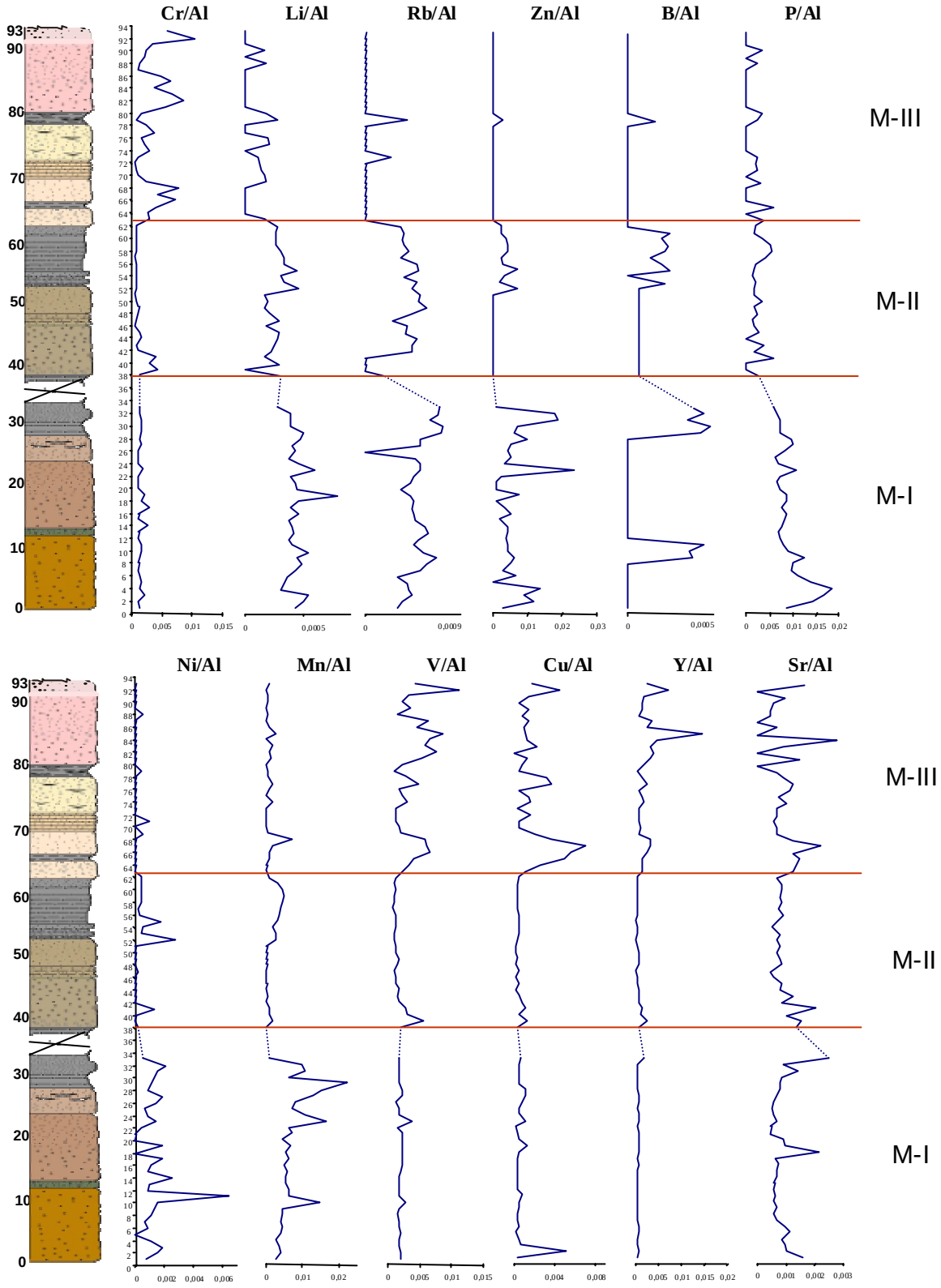


Fig34 Perfiles quimioestratigráficos normalizados con Al

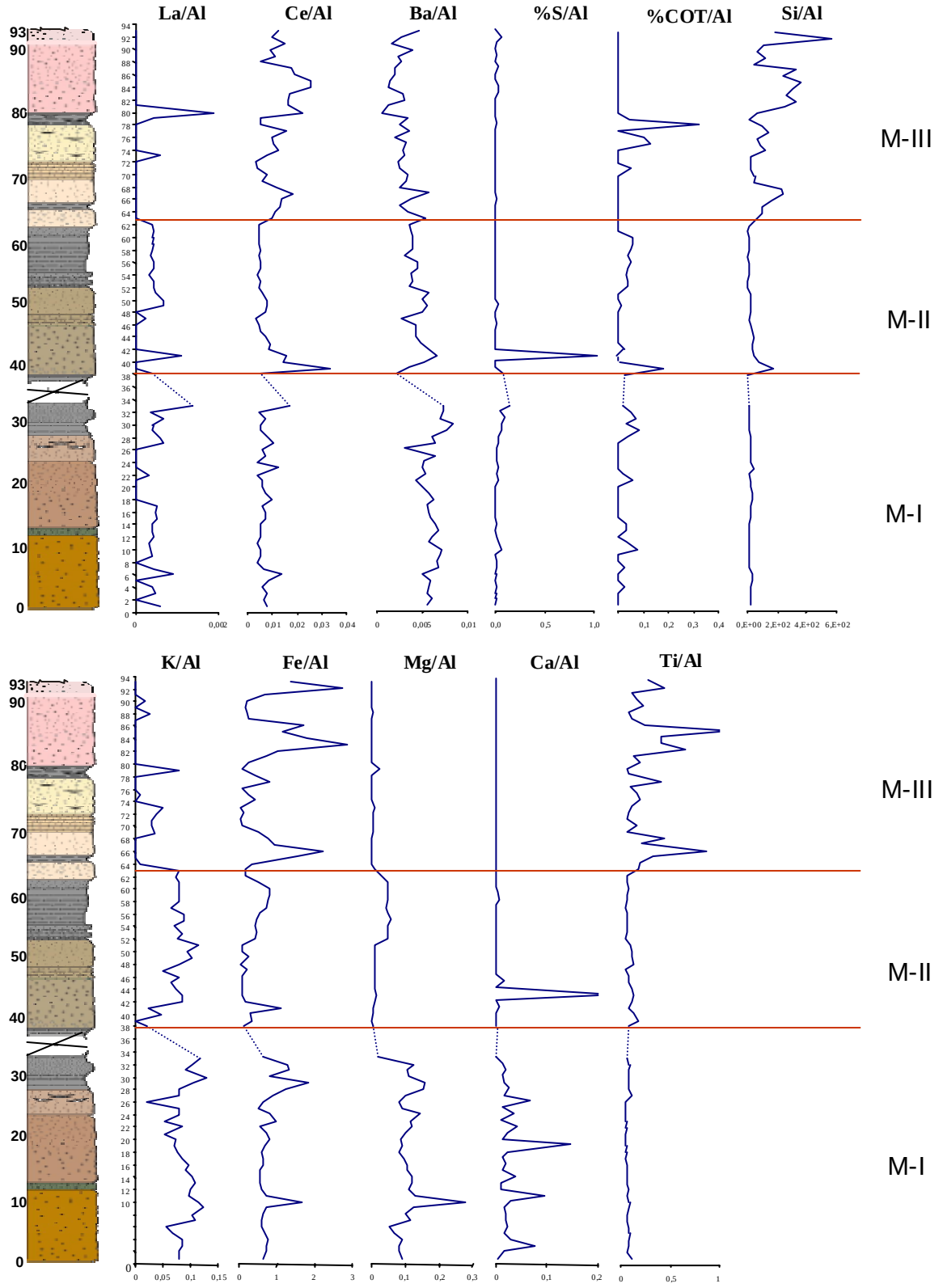


Fig. 34 Continuación...

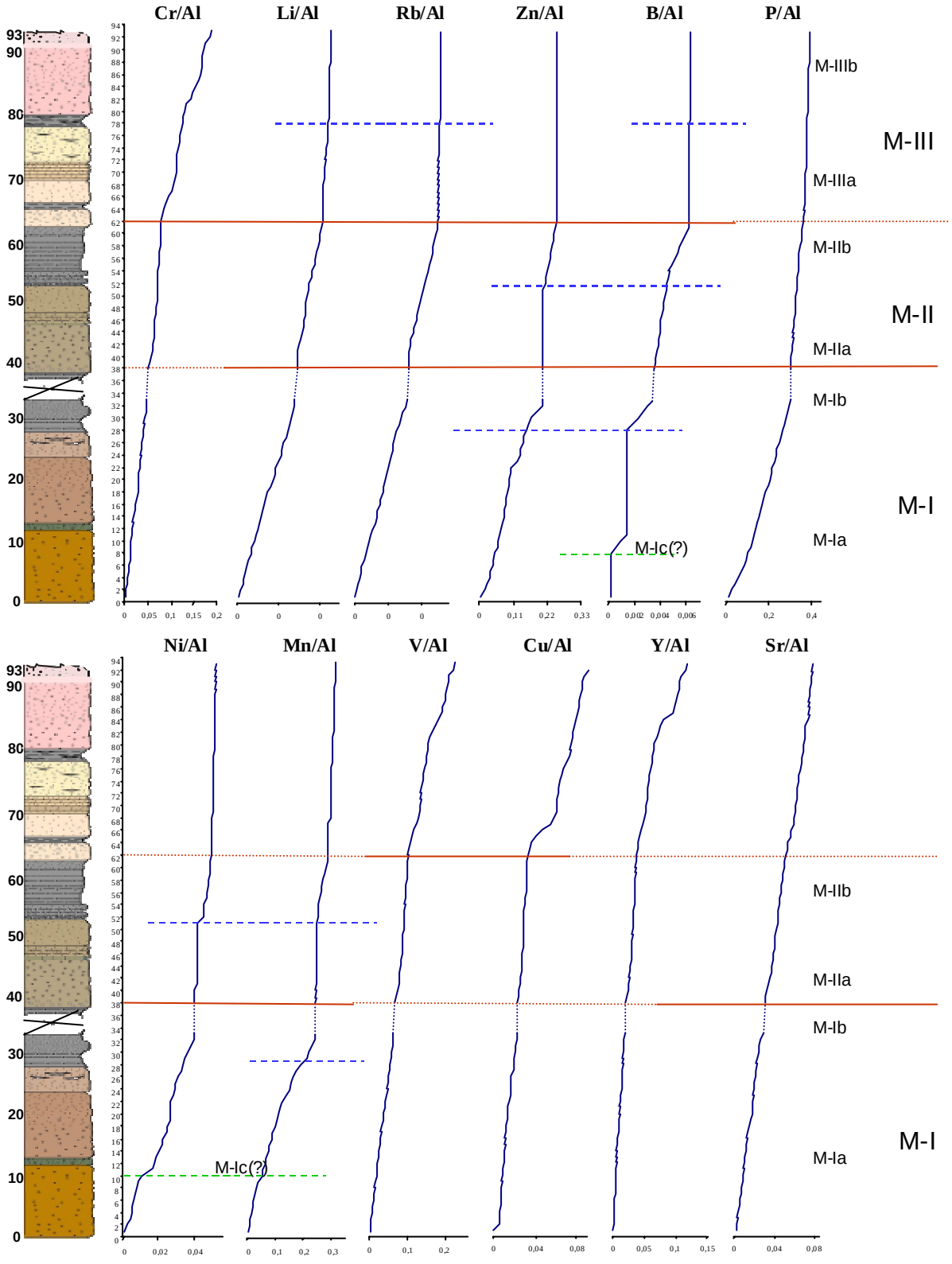


Fig. 35 Curvas acumuladas de los perfiles quimioestratigráficos normalizados.

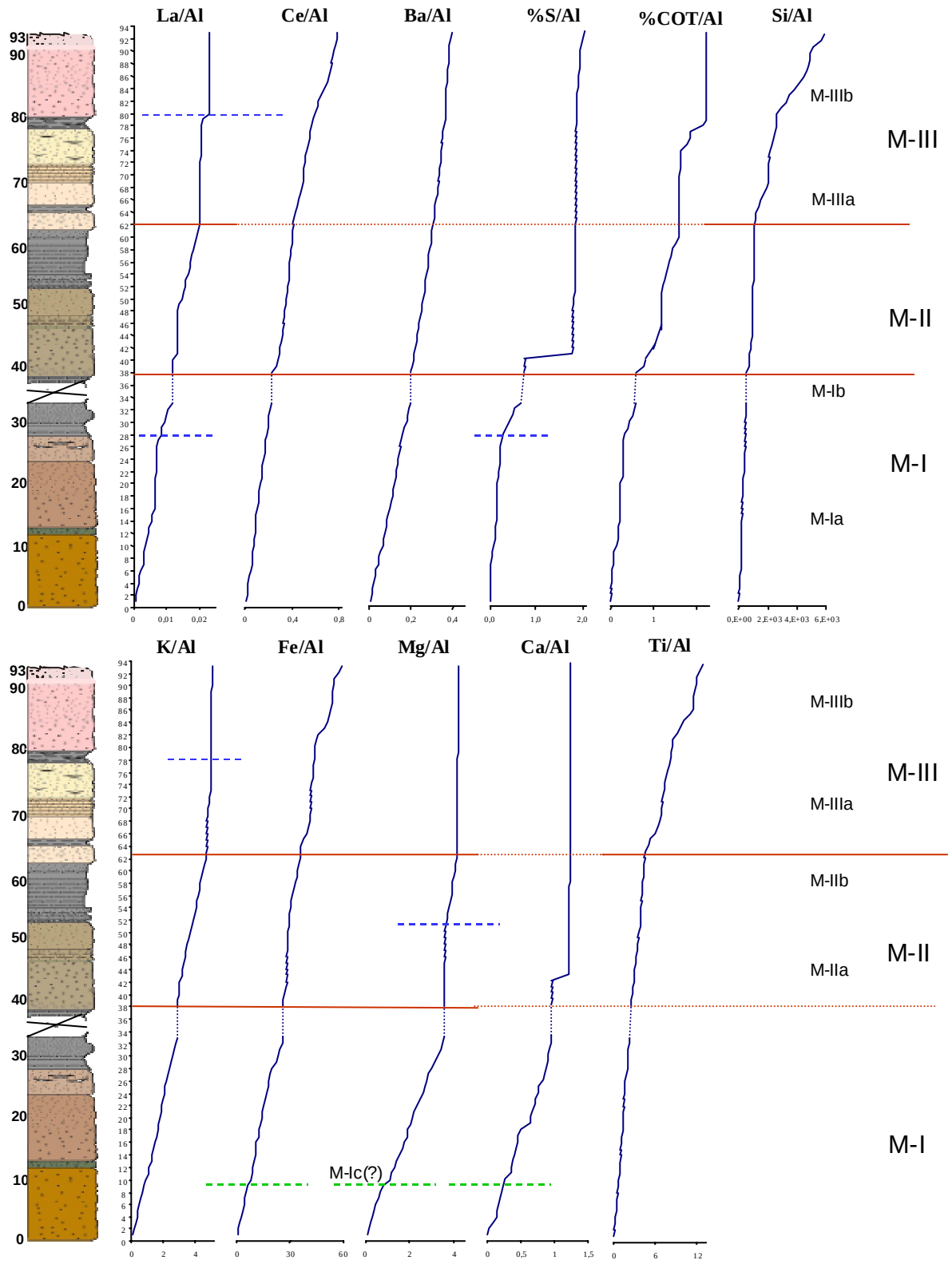


Fig. 35 Continuación...

A continuación se describen e interpretan los cambios quimioestratigráficos más relevantes.

Relaciones Si/Al, Cr/Al, V/Al, Ce/Al, Y/Al

Estas relaciones exhiben perfiles esencialmente iguales, por lo que se describirán de manera conjunta. En general se observa un comportamiento casi constante de las relaciones, de la primera (M-I) a la segunda quimiofacies (M-II) y un incremento abrupto de la segunda a la tercera quimiofacies (M-III), lo que sugiere un cambio en los patrones de sedimentación de las fases minerales asociadas a estos elementos. Este resultado complementa el análisis petrográfico realizado, ya que hacia el tope las arenas son mucho más limpias.

El cambio geoquímico observado en la tercera quimiofacies (M-III) se puede atribuir a la concentración de estos elementos, en minerales resistatos o minerales pesados ya que a partir del análisis geoquímico se establecieron estos elementos como inmóviles (**Chemostrat Consultants**, 2000). Esto ocurre posiblemente por un cambio climático.

En el inicio de la segunda quimiofacies (M-II, 39m), se observa una inflexión considerable en el perfil Ce/Al, la cual se aprecia igualmente en los perfiles Si/Al, Cr/Al y V/Al, sugiriendo un aporte brusco del material detrítico. Se podría inferir, con ayuda de los resultados del análisis petrográfico, que la disminución brusca de arcillas en esta zona responde a la acción de una corriente de mayor energía que provocara la depositación de arenas conglomeráticas sobre las cuales se depositó, por sedimentación gradacional, material de menor granulometría. Esta zona geoquímica coincide con la primera superficie de erosión definida en la sección.

Las relaciones antes mencionadas son índices de influjo clástico, observándose al inicio de la segunda quimiofacies un aumento de estas relaciones,

lo que podría indicar un nuevo evento de invasión fluvial, lo que coincide con la litofacies propuesta por **Paparoni**, (1993), en esta zona. Un cambio mucho mayor en la sedimentación de la sección se observa en el límite de la segunda a la tercera quimiofacies, con la concentración de minerales resistatos y areniscas más maduras.

Relaciones K/Al, Ti/Al

En el perfil de K/Al se puede observar una disminución gradual de esta relación, de la primera (M-I) a la segunda quimiofacies (M-II), y un cambio abrupto en el límite entre la segunda y tercera quimiofacies (M-III). Debido a que en los estudios de geoquímica sedimentaria, los diagramas de discriminación (**Fralick y Kronberg**, 1997) indicaron una alta correlación entre el K y el Al y se encontró enriquecido en la fracción arcillosa (apéndice N°11), además en el análisis de secciones finas el porcentaje de feldespato fue de muy bajo a ausente, en la mayoría de las muestras, se puede asociar la mayor concentración de K presente, a las arcillas. **Paparoni** (1993), reporta la presencia de illita y caolinita como matriz. La relación K/Al refleja la relación Illita/caolinita presente.

Una relación de K/Al alta sugiere la presencia de minerales de arcilla asociados a productos de meteorización física, tales como illita, lo que a su vez se podría relacionar con sedimentación en climas templados a áridos. Por otra parte la disminución de la relación K/Al, en la tercera quimiofacies (M-III), podría asociarse a un aumento de meteorización química, lo cual se podría traducir a la presencia de climas tropicales a húmedos (**Yarincik y Murray,** 2000; **Reinhardt y Ricken**, 2000); la descripción de muestras de mano permite observar un tipo diferente de arcilla en esta última quimiofacies.

La distribución de la relación Ti/Al es consistente con el cambio climático sugerido ya que valores altos de esta relación se asocian a climas húmedos, y a concentración de minerales pesados, en condiciones de meteorización química (**Yarincik y Murray,** 2000; **Reinhardt y Ricken**, 2000; **Bhatt,** 1974).

Relaciones Mg/Al, Ca/Al, Mn/Al, Ni/Al, Zn/Al

En los perfiles de estas relaciones, se puede observar mayor concentración de estos elementos en la primera quimiofacies (M-I), con una disminución brusca a partir del límite entre la primera y segunda quimiofacies (M-II). Estos elementos no se correlacionan con K, ni Ti, en la primera quimiofacies, ya que sus perfiles no guardan relación con el perfil de K/Al, o Ti/Al, en esta zona; por lo que se sugiere un tipo de fuente diferente para estos elementos en la primera quimiofacies. En los estudios geoquímicos se observa cierta correlación entre Mg y Ca, sin embargo no se puede asociar a un aporte considerable de minerales carbonáticos, por lo que se podrían asociar a la presencia de cemento carbonático, en muy bajo porcentaje.

Se debe así mismo asociar la presencia de estos elementos en minerales opacos, o a productos de alteración de los mismos, ya que el análisis petrográfico muestra mayor concentración de fragmentos líticos y minerales opacos, en la primera quimiofacies, observándose en sección fina minerales como estaurolita, epidoto, y glauconita, **Paparoni** (1993) también reporta esfena y chamosita; los minerales antes mencionados están asociados, a excepción de glauconita y chamosita que están asociados a influencia marina, a rocas metamórficas así como también se podría postular un segundo ciclo sedimentario para explicar la presencia de esos minerales, pero para ello la morfología de los mismos debería ser bastante redondeada, lo cual no es el caso observado.

Por otra parte se observa un enriquecimiento leve en las concentraciones de Zn y Ni, con respecto a los promedios en la corteza terrestre (70ppm y 75ppm, respectivamente), por lo que se sugiere un aporte de fuente de sedimentos rica en estos elementos, las cuales suelen ser de origen volcánico o hidrotermal. **Martínez *et al***.,(1997) proponen a las rocas volcanoclásticas triásico-jurásicas de la Fm. La Quinta como la fuente inicial de estos elementos, en la Fm. Los Cuervos; así

mismo encuentra enriquecimiento en otros elementos asociados a este origen, como Mo, Co y Ag. Debido a que el análisis geoquímico permite inferir una fuente común para los sedimentos de la Formación Mirador y Los Cuervos, las moderadamente altas concentraciones de Zn y Ni en la primera quimiofacies, se pueden asociar igualmente a un aporte de material volcanoclástico, el cual se interrumpe abruptamente en el límite entre la primera y segunda quimiofacies.

Relación Fe/Al

En este perfil se puede observar que el comportamiento de Fe es un poco disímil al de los elementos con los que podría estar asociado; además de estar asociado a un aporte metamórfico, en la primera quimiofacies (M-I), la presencia de glauconita, el cual es un hidro-silicato de K y Fe, y de chamosita, permite asociarlo a un aporte de sedimentos marinos (**Kerr**, 1977; **Paparoni**, 1993).

En la segunda quimiofacies (M-II) se observa mayor correlación de esta relación con la fase arcillosa, observándose un enriquecimiento hacia la tercera quimiofacies (M-III), lo que podría estar indicando la acumulación de óxidos e hidróxidos por incremento de meteorización química. Así mismo en muestras de esta zona se observaron, en el análisis petrográfico, granos cementados con óxidos de hierro, lo cual podría indicar influencia post –depositacional por movilización de fluidos mineralizantes, posiblemente desde las formaciones infrayacentes y suprayacentes, las cuales presentan litologías ricas en pirita (carbones, lutitas carbonáceas).

Relación B/Al y S/Al

En el perfil de B/Al se observa una significativa contribución de este elemento en las zonas de mayor concentración de material arcilloso. Debido a que el B es un claro indicador de influencia marina por ser el agua de mar la principal fuente de este elemento (**Goldschmidt,** 1939), se puede inferir que las zonas de mayor

concentración de este elemento, señalan una mayor influencia marina en la sección. Además al comparar con el perfil quimioestratigráfico elemental de S (fig.33) y de S/Al (fig.34), se denota que la mayor contribución de este elemento ocurre en la primera capa de material arcilloso (28m), coincidiendo con la mayor inflexión para el perfil de B/Al, lo que podría indicar, según **Banerjee y Goodarzi**, (1997), que en esta zona la influencia marina fue más significativa. Los estudios geoquímicos (fig. 32) y sedimentológicos (**Paparoni**, 1993) soportan esta interpretación quimioestratigráfica.

De los resultados, de la interpretación geoquímica realizada a las relaciones inter-elementales estudiadas, se resume que en general permitieron definir tres quimiofacies, cuyos límites se asocian a cambios en la fuente o fuentes de sedimentos, estudiados con las relaciones Ca/Al, Mg/Al, Ni/Al y Zn/Al, de la primera a la segunda quimiofacies (38m), y a un cambio climático definido por las relaciones K/Al y Ti/Al, de la segunda a la tercera quimiofacies (63m). También se estudiaron relaciones índices de paleosalinidad, como B/Al y S/Al, las cuales permitieron asociar una mayor influencia marina en la primera capa de material arcilloso (28m). Un cambio abrupto en uno de los tipos de fuentes de sedimentos, asociado a una superficie de erosión en donde se pasa de una zona con mayor influencia marina a un ambiente de canal fluvial, evidencian una falta de información en la columna sedimentaria, lo que podría estar asociado a un período no depositacional o de erosión. Lo mismo podría ocurrir en la segunda superficie de erosión, en donde cambian abruptamente las condiciones climáticas.

"Quimiofacies menores"

Los cambios químicos menores observados en las curvas acumuladas y en el análisis cluster constrained (M-Ia, M-Ib, MII-a, M-IIb, M-IIIa, M-IIIb), podrían responder a fluctuaciones leves de las condiciones ambientales predominantes en cada una de las tres quimiofacies relevantes, definidas en este trabajo. Estos

cambios se observan mejor en las relaciones B/Al, Li/Al, La/Al, Ni/Al y Zn/Al, y coinciden con el inicio de las capas de material arcilloso. Estos cambios se pueden atribuir a cambios en la energía del medio fluvial y a una mayor profundización del ambiente con cierta influencia marina (**Paparoni,** 1993); de esta forma se favoreció la acumulación de material arcilloso en estas zonas así como la mayor concentración de los elementos Li y La, presentes posiblemente en fases minerales asociadas al comportamiento hidrodinámico de las arcillas, por ejemplo en micas. El incremento de la relación B/Al en estas zonas corrobora el predominio de influencia marina, por lo que se podrían asociar a superficies de inundación.

En las curvas acumuladas de los perfiles normalizados de Mn, Mg, Ca, Fe, Ni y B se observa una inflexión (M-Ic a 11m) que debe ser tomada en consideración, aunque representa una variación puntual correspondiente a una sola muestra del afloramiento; estos elementos han sido asociados anteriormente a fragmentos líticos, por lo que la inflexión observada se puede relacionar con un cambio puntual en las condiciones de erosión y sedimentación predominantes en la primera quimiofacies, favoreciendo la acumulación de estos elementos. A continuación se realizó un estudio estadístico detallado para complementar las interpretaciones geoquímicas realizadas.

ANÁLISIS DE ESTADÍSTICA MULTIVARIADA POR QUIMIOFACIES

Debido a que los estudios de estadística multivariada realizados anteriormente, arrojaron resultados de compleja asociación, para facilitar la comprensión gráfica de estas herramientas, siguiendo la metodología aplicada por **Reinhardt y Ricken** (2000), se estudiaron estadísticamente, por separado, las quimiofacies establecidas.

Las quimiofacies definidas en este estudio, se ubican entre los intervalos estratigráficos de 0m a 38m (muestras TSPM5-TSPM170), entre 39m y 62m (muestras TSPM175-TSPM290) y entre 63m y 93m (muestras TSPM295-TSPM445);

los dendrogramas y mapas de escalamiento multidimensional, para cada sección se muestran en la figura 36, las matrices de correlación entre variables se muestran en el apéndice 13.

A continuación se resumen las asociaciones más relevantes encontradas en este análisis:

SECCIONES	*ASOCIACIONES*
(MI) TSPM5-TSPM170	Al, Ti, V, Cr, K, Ba, Rb Ce, La, Y, Sr Li, P, Cu Mn Mg
(MII) TSPM175-TSPM290	Al, Ba, Ti, Mg, Rb, Li, K V, Sr, La, Y, Ce, Mn Cr, Cu
(MIII) TSPM295-TSPM445	Al, Li, Ba, K, Mg, P, V, La, Rb Ce, Ti, Cr, Sr, Cu

Tabla N°5 Resumen de los resultados obtenidos del análisis cluster, MDS y de la matriz de correlación

Quimiofacies M-I (0-38m)

Al comparar las asociaciones en la primera quimiofacies, se puede observar que V, Ti, Cr, K, Ba y Rb muestran fuerte asociación con el Al, por lo que se puede inferir que en esta zona, la acumulación de estos elementos está controlada por minerales de arcilla o a su comportamiento hidrodinámico; para Li, Cu y P la asociación con Al es un poco menor. Los elementos Ce, Y, La se podrían asociar a la fracción gruesa, en minerales pesados o resitatos. Otros elementos como Mg, Mn, no muestran asociación con los otros elementos por lo que se podría infierir una fuente distinta para estos elementos. (**Asiedu, *et al*.**, 2000; **Zubillaga, *et al*.,** 1999).

Quimiofacies M-II (39-62m)

A diferencia de la primera quimiofacies, en la segunda quimiofacies el Mg y Mn se asocian ahora al aluminio, este cambio de asociación, podría corroborar una fuente diferente para estos elementos, en la primera quimiofacies.

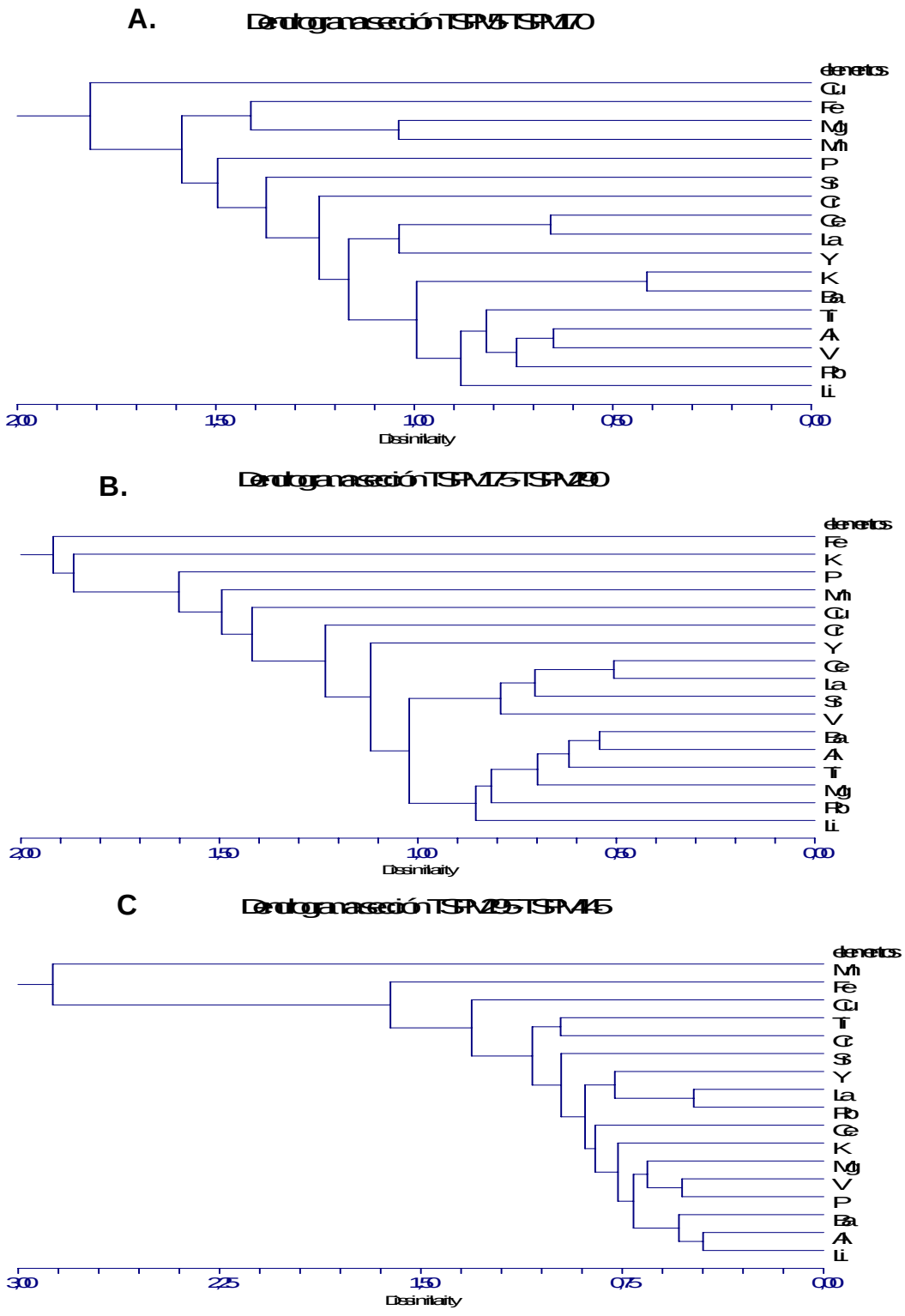
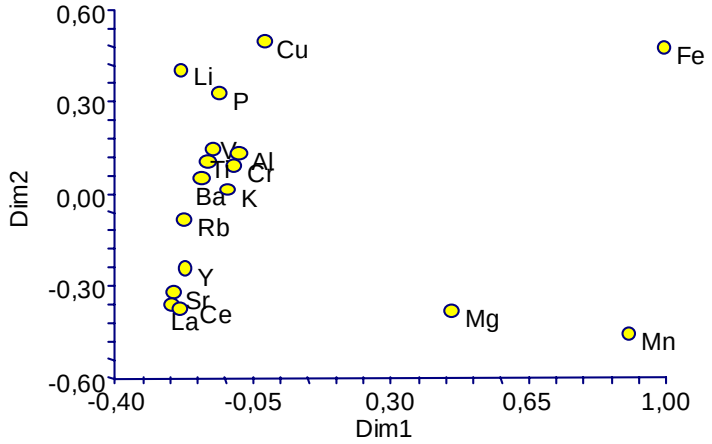
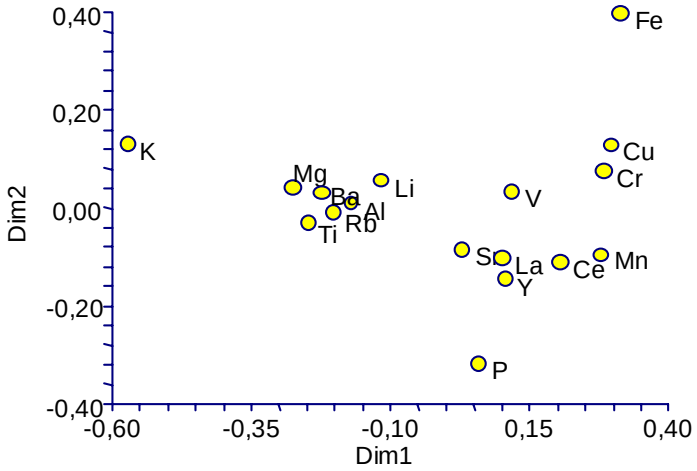


Fig.36 Análisis cluster y MDS de las quimiofacies definidas

D. MDS de la sección TSPM5-TSPM170



E. MDS de la sección TSPM175-TSPM290



F. MDS de la sección TSPM295-TSPM445

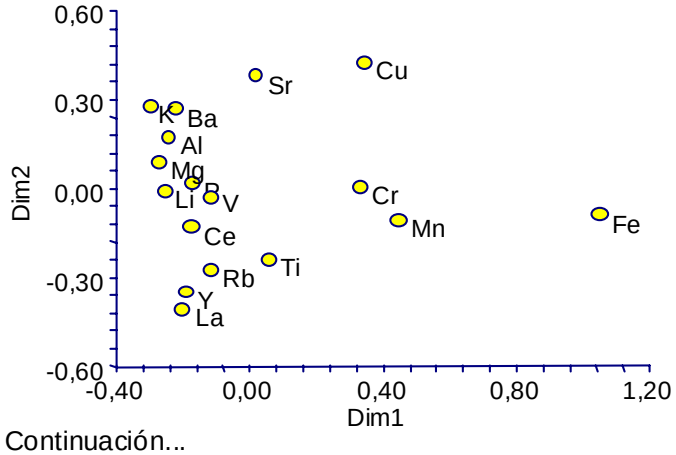


Fig.36 Continuación...

Quimiofacies M-III (63-93m)

Otro cambio en las asociaciones estadísticas se observa entre la segunda quimiofacies y la tercera; en la tercera quimiofacies el Ti, Ce y Cr se asocian menos al Al, a diferencia de la primera y segunda quimiofacies.

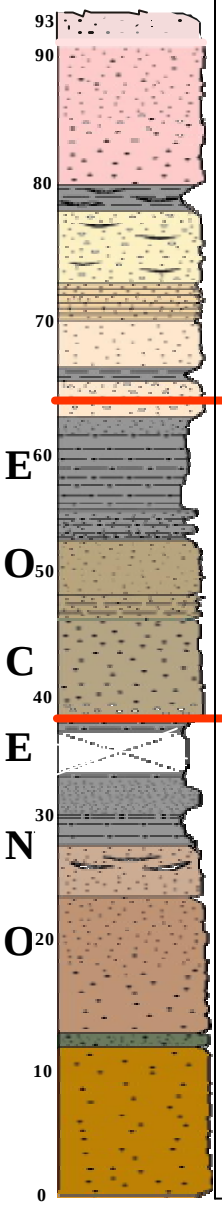
Este resultado podría soportar la interpretación geoquímica antes realizada, y asociar estos elementos a minerales pesados o resistatos, los cuales se acumulan en la tercera quimiofacies al disminuir la cantidad de arcillas. Esta nueva asociación evidencia un cambio hidrodinámico en la sedimentación de estos elementos.

El estudio estadístico aplicado a cada una de las quimiofacies definidas, facilitó la asociación de las variables estudiadas y sustenta apreciablemente las asociaciones geoquímicas inferidas. Por otra parte la similitud de los resultados de las tres técnicas estadísticas aplicadas refuerza dichas inferencias.

INTERPRETACIÓN GLOBAL DE LOS RESULTADOS

Mediante los estudios quimioestratigráficos se definieron tres quimiofacies (M-I, M-II, M-III), que responden a cambios en la fuente de sedimentos y en las condiciones paleoclimáticas; se observaron también “quimiofacies menores” (M-Ia, M-Ib, M-IIa, M-IIb, M-IIIa, M-IIIb) las cuales se asocian a cambios litológicos indicando variaciones en la energía del medio y en la influencia marina. Se observa así mismo un cambio puntual (M-Ic) asociado posiblemente a una variación local en los mecanismos de erosión y sedimentación.

A continuación se presenta una tabla resumen, que permite simplificar la información extraída de los resultados obtenidos a partir de los estudios litoestratigráficos, sedimentológicos y quimioestratigráficos, realizados en el afloramiento de estudio de la Formación Mirador:



QUIMIOFACIES	QUIMIOFACIES MENORES	PETROGRAFÍA	FUENTE	CONDICIONES CLIMÁTICAS	INFLUENCIA MARINA
M-III	M-IIIb	Cuarzo areniscas limpias ,altamente maduras textural y químicamente	Félsica, sedimentaria	Húmeda a tropical meteorización química	Baja
		Lente de lutita			Leve
	M-IIIa	Cuarzo areniscas limpias			Baja
M-II	M-IIb	Arenisca limosa carbonácea	Félsica, sedimentaria	Templada a árida	Moderada
	M-IIa	Areniscas cuarzosas con contenido de matriz moderado			Baja
M-I	M-Ib	Lutita	Volcanoclástica, félsica, metamórfica, sedimentaria de segundo ciclo	Árida meteorización física	Alta
	M-Ia	Areniscas sucias con alto contenido de fragmentos líticos			Moderada
	M-Ic				

Tabla N° 5 Resumen de los resultados litoestratigráficos, sedimentológicos y quimioestratigráficos

CONCLUSIONES

A continuación se exponen las conclusiones que pueden extraerse de los estudios quimioestratigráficos realizados en la Formación Mirador, ubicada en la localidad de referencia para Venezuela, en San Pedro del Río, estado Táchira.

- El afloramiento estudiado es rico en estructuras sedimentarias y está constituido por tres unidades de areniscas competentes, con espesores de 20-30 m; se encuentran intercaladas por varias capas de material arcilloso de las cuales dos se presentan con espesores aproximados de 4-7 m, dividiendo claramente la sección.

- El afloramiento de la Formación Mirador estudiado, se caracterizó geoquímicamente en tres quimiofacies cuyos límites se ubican en los 38 m y 63 m de altura estratigráfica. Esta caracterización responde a cambios en la fuente o fuentes de sedimentos y a cambios climáticos.

- Los estudios geoquímicos sedimentarios permitieron inferir que el tipo de fuente predominante en la Fm. Mirador es félsica con influencia de rocas sedimentarias de al menos segundo ciclo, igneas félsicas y probablemente gneises graníticos

- En los primeros 38 m de la secuencia (primera quimiofacies) se evidencia un mayor aporte de fuente posiblemente metamórfica, carbonática y volcanoclástica, la cual se interrumpe abruptamente por encima de esta altura. A partir de este punto el aporte de sedimentos félsicos es mayor (segunda y tercera quimiofacies).

- El estudio quimioestratigráfico permitió determinar un predominio de clima templado a árido en los primeros dos tercios de la secuencia (hasta 63 m), caracterizados por condiciones de meteorización física; se observa un aumento importante en el grado de meteorización hacia el último tercio de la columna (tercera quimiofacies), predominando la meteorización química, lo que es característico de climas húmedos.

- Relaciones quimioestratigráficas de elementos asociados a paleosalinidad, permiten inferir una mayor influencia marina durante la depositación de los primeros 38 m de secuencia; en el segundo tercio la influencia marina disminuye considerablemente, predominando en el último tercio (a partir de 63 m) una influencia continental.

- Los cambios químicos menores definidos responden a fluctuaciones leves en las condiciones paleoambientales establecidas para las tres quimiofacies más relevantes; dichos cambios menores se caracterizan por presentar una mayor influencia marina y una menor energía fluvial representando superficies de inundación.

RECOMENDACIONES:

A continuación se exponen una serie de recomendaciones que permitan complementar el estudio quimioestratigráfico realizado y las conclusiones obtenidas.

- Determinar la concentración de elementos como Sc, Co, Ag, U, y emplear otra técnica analítica, como fluorescencia de rayos X, en la determinación de Th y Zr, para ampliar los estudios geoquímicos y poder corroborar o precisar los tipos de fuentes de los sedimentos.

- Determinar la concentración de elementos de tierras raras (REE), para ampliar la data quimioestratigráfica y emplearla en estudios de proveniencia, ya que por ser altamente inmóviles resultan excelentes marcadores quimioestratigráficos en este tipo de estudio.

- Realizar un estudio petrográfico detallado en cada una de las quimiofacies establecidas, para asociar de manera precisa los cambios mineralógicos con los cambios químicos

- Determinar la concentración de isótopos de O^{18}, para estudiar por otros atributos químicos los cambios climáticos propuestos.

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ **Adamchuck, I., Pachadzhanov, D., Melnicova, N. Y Valijev, Yu.,** (1977). The Behaviour of some Rare Elements in Sedimentation Processes: Paris, *Origin and Distribution of the elements*, Second Symposium, 2, 347-352.

- ✓ **Asiedu, D., Suzuki, S., Nogami, K., y Shibata, T.,** (2000) Geochemistry of Lower Cretaceous sediments, inner zone of southwest Japan: constraints on provenance and tectonic environment. *Geochemical Journal*, 14,155-173.

- ✓ **Banerjee, I., y Goodarzi, F.** (1990) Paleoenvironment and sulfur-boron contents of the mannville (Lower Cretaceous) coals of southern Alberta, Canada. *Sedimentary Geology*, 67, 297-310

- ✓ **Bhatt, J.,** (1974) Ti/Al ratio as chemical index of paleoenvironment – a note *Chemical Geology*, 13, 75-78.

- ✓ **Bellanca, A., Claps, M., Erba, E., Masetti, D., Neri, R., Premoli, I. and Venezia, F.**, (1996). Orbitally induced limestone/marlstone rhythms in the Albian-Cenomanian Cismon section (Venetian región, northern Italy): sedimentology, calcareous and siliceous plankton distribution, elemental and isotope geochemistry. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 126, 227-260**.**

- ✓ **Bellanca, A., Masetti, D., Neri, R., and Venezia, F.,** (1999) Geochemical and sedimentological evidence of productivity cycles recorded in Toarcian black shales from the Belluno basin, southern Alps, northern Italy. *Journal of Sedimentary Research*, 69 (2) 466-476.

- ✓ **Berner, A.,** (1983) Sedimentary pyrite formation: An update*. Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48,605-615.

- ✓ **Borgatti, S.** (1997) Multidimensional scaling. http://www.analytictech.com/bogartti/

- ✓ **Borsier, M.,** (1991) Automated multielement analysis of geological materials-sample decomposition and inductively coupled plasma (ICP-AES) procedures. *Spectrochimica Acta Rev,* 14 (1), 79-94.

- ✓ **Carrillo, E.,** (1999) Estratigrafía y sedimentología de clásticos del Cretácico Superior y Terciario al sur del anticlinal de Mundo Nuevo, Edo. Monagas. *Trabajo Especial de Grado*, Escuela de Geología y Minas, Facultad de Ingeniería, U.C.V. 275p.

- ✓ **Chemostrat Consultants,** (2000) Abstracts of chemostratigraphy. http://www.chemostrat.co.uk

- ✓ **Colmenares, O., y Teran, L.,** (1990) Formaciones Mirador y Carbonera: edad y relaciones estratigráficas en el estado Táchira. *Revista Técnica INTEVEP,* 10 (2), 209-212.

- ✓ **Corrales, I., Rosell J., Sánchez, L., y Vilas, L.,** (1977) Estratigrafía , Madrid. Editorial Rueda, 707p.

- ✓ **Cullers, R.,** (2000) The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian-Permian age, Colorado, USA: implications for provenance and metamorphic studies. *Lithos* 51, 181-203.

- ✓ **Darlrymple, R., Zaitlin, B. y Boyd, R.,** (1992) Estuarine facies Models: conceptual basis and stratigraphic implications*. Journal of Sedimentary Petrology*, 62 (6), 1130-1146.

- ✓ **Das, N.,** (1997) Chemostratigraphy of Sedimentary Sequences: A Review of de State of the Art. *Journal Geological Society of India*, 49, 621-628.

- ✓ **Davis, J.C***.,* (1973) Statistics and Data Analysis in Geology: New York, John Wiley & Sons, Inc. 549 pp.

- ✓ **Dayong, J., Weicheng, H., Gan, D., y Shunliang, B.,** (1999)[a] High-resolution Givetian-Frasnian boundary recognition from conodont-chemo-stratigraphic correlation at Liujing, Guangxi, South China. *Science in China* (serie D), 42 (3), 285-291.

- ✓ **Dayong, J., Weicheng, H., y Shunliang, B.,** (1999)[b] Relationship between Milankovitch eccentricity cyclicity and chemo-cycles from the upper Givetian (Devonian) in Guangxi, South China. *Chinese Science Bulletin*, 44 (18), 1697-170.

- ✓ **De Cabrera, S., Sliter, W., y Jarvis, I.,** (1999) Integrated foraminiferal bioestratigraphy and chemostratigraphy of the Querecual Formation (Cretaceous), Eastern Venezuela. *Journal of Cretaceous Research*, 29, (4), 487-499.

- ✓ **Dunbar y Rodgers**, 1957: Dunbar, C. and Rodgers, J., (1957) Principles of stratigraphy: Wiley International Edition , 356 p.

- **Erlich, R., Palmer-Koleman, S., y Lorente, M.,** (1999) Geochemical characterization of oceanographic and climatic changes recorded in upper Albian to lower Maastrichtian strata, western Venezuela. *Cretaceous Research*, 20, 547-541

- **Fralick, P., y Kronberg, B.,** (1997) Geochemical discrimination of clastic sedimentary rock sources. *Sedimentary Geology*, 113, 111-124.

- **Gill, D., Shomrony, A., y Fligelman, H.,** (1993) Numerical zonation of Log suites and Log facies recognition by multivariate clustering. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*,1781-1791.

- **Goldschmidt, V.,** (1958) Geochemistry. London, Oxford Press, 730 p.

- **Gonzáles de Juana, C., Iturralde de Arozena, J., Y Picard, X.,** (1980) Geología de Venezuela y sus cuencas petrolíferas . Caracas, Ediciones Foninves, Tomo I y II, 1031 p.

- **Gore, P.,** (1995) Sedimentary Rocks. Georgia Perimeter College, última modificación 17 julio, 1999,
- http://WWW.gpc.peachnet.edu]/~pgore/geology/geo101/Sedrx.htm

- **Grolier Electronic Publishing, Inc.,** (1992) The Grolier Multimedia Encyclopedia.

- ✓ **Harder, H.**, (1970) Boron content of sediments as a tool in facies a analysis. Sedimentary Geology 4(29) 153-175.

- ✓ **Harris, L.A., Barrett, H.E. and Kopp, O.C**., (1981) Elemental concentrations and their distribution in two bituminous coals of different paleoenvironments. *International Journal of Coal Geology* 1, 175-193

- ✓ **Hines, W., y Montgomery, D.,** (1993) Probabilidad y estadística. Tercera edición, Editorial Continental, S.A. de C.V. México, 834 p.

- ✓ **Hutcheon, I., Bloch, J., Modus, S.,** (2000) Potassium enrichment in shale-fluid transport or provenance?. *Journal of Geochemical Exploration* 69-70, 17-22

- ✓ **Jackson, M.,** (1976) Análisis químico de suelos: Barcelona, Ediciones Omega, 3ra edición, 662 p.

- ✓ **Jorgensen, N.,** (1986) Chemostratigraphy of Upper Cretaceous Chalk in the Danish Subbasin. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 70 (3), 309-317.

- ✓ **Kerr, P** (1977) Optical Mineralogy. Manhatan, 4ta edición, Mc Graw Hill Higher Education, 492p.

- ✓ **Lentz, D., y Wilson, R.,** (1997) Chemostratigraphic analysis of the volcanic and sedimentary rocks in the Heath Steele B-B5 zone area, Bathurst camp, New Brunswick: stratigraphic and structural implications. Curren Research 1997-D; geological Survey of Canada , 21-33.

- ✓ **Léxico Estratigráfico de Venezuela**, (1999) Código estratigráfico de Venezuela: Petróleos de Venezuela, S.A. http://www.pdv.com/lexico

- **Lugo, J.,** (1994) The Mérida Arch: tectonic Control on deposition from late Mesozoic to Early Cenozoic in western Venezuela. *Simposio Bolivariano, Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas*, 291-308

- **Martínez, M.,** (1995) Estudio Geoquímico Regional de los Yacimientos Carboníferos del Estado Táchira. *Tesis de Doctorado*, I.C.T., Post-Grado en Geoquímica, Facultad de Ciencias, U.C.V., 302 p.

- **Martínez, M., Escobar, M., López, C**., (1997) Anómalias de Ag, mo, Co, Ni, y Zn en carbones de la Formación Los Cuervos, Estado Táchira, Venezuela. *Memorias del VIII Congreso Geológico Venezolano., Soc. Venezolana de Geól*., tomo II, 55-62.

- **Mason, B. y Moore, C.,** (1982) Principles of geochemistry: 4th edition, John Willey & Sons. 350 p.

- **Mora, J.,** (1980) Geología de la región de Rubio, zona este. Estado Táchira. Caracas *Trabajo Especial de Grado,* Facultad de Ingenieria, Escuela de Geología y Minas, U.C.V.

- **Morán, L.,** (1976) Dime como es Venezuela. España, Editorial Argos, 193 p.

- **Mukherjee, K., Dutta, N., Chandra, D., y Singh, M.,** (1992) Geochemistry of trace elements of Tertiary coals of India. *International Journal of Coal Geology,* 20, 99-113.

- **Paparoni, G.,** (1993) Análisis y caracterización de litofacies pertenecientes a parasecuencias de edad Eoceno (ambientes de transición), Formación Mirador de Venezuela Occidental. *Trabajo Especial de Grado*, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología y Minas, U.C.V., 301p.

- ✓ **Pearce, T., Besly, B., Wray, D., Wright, D.,** (1999) Chemostratigraphy: a method to improve interwell correlation in barren sequences – a case study using onshore Duckmantian/Stephanian sequences (West Midlands, U.K.). *Sedimentary Geology* 124, 197-220.

- ✓ **Pestman, P., Ghosh, S., Meléndez, L., y Lorente, M.,** (1998) Marco tectonoestratigráfico y paleogeografía de la Cuenca de Maracaibo y áreas vecinas durante el Paleógeno*. Boletín de la Sociedad Venezolana de Geólogos*, 23 (1), 28-45.

- ✓ **Pettijohn, F., Potter, y Siever, R.,** (1987) Sand and Sandston. Editorial Springer-Verlag, Segunda edición, 553 p.

- ✓ **Piovano, E., Ross, G., Guevara, S., Arribére, M., Depetris, P.,** (1999) Geochemical tracers of source rocks in a Cretaceous to Quaternary sedimentary sequence (Eastern Sierras Pampeanas, Argentina). *Journal of South American Earth Sciences* 12, 489-500.

- ✓ **Plant, J. y Raiswell, R.,** (1983) Principles of environmental Geochemistry. London, Applied EnviromentalGeochemistry, Academic Press Geology Series, 501p.

- ✓ **Reiman,C y Filmoser,P**., (1999) Normal and lognormal data distribution in geochemistry: death of a myth. Consequences for the estatistical treatment of geochemical and environmental data. *Environmental Geology* 39(9) 1001-1014.

- ✓ **Reinhardt, L**. **y Ricken, W.,** (2000) The stratigraphic and geochemical record of Playa Cycles: monitiring a Pangaean monsoon-like system (Triassic, Middle Keuper, S. Germany). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecolgy* 161. 205-227.

- ✓ **Saito, S.,** (1998) Major and trace element geochemistry of sediments from east Greenland continental rise: an implication for sediment provenance and source area weathering. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results,* 152, 19-28.

- ✓ **Salvador, A.,** (1994) International Stratigraphic Guide: International subcommission on stratigraphic classification of IUGS, second editión.

- ✓ **Smosna, R., Bruner, K., y Burns, A.,** (1999) Numerical analysis of sandstone composition, provenance, and paleogeography. *Journal of Sedimentary Research,* 69 (5), 1063-1070.

- ✓ **Sinclair, A.,** (1980) Statistical Analisys of Trace Elements Data. Applied Soil Trace Elements. pp 131-153.

- ✓ **Stat Soft,** (2001) Electronic Textbook: Stat Soft, Inc. http://www.statsoftinc.com

- ✓ **Sugitani, K., y Mimura, K.,** (1998) Redox change in sedimentary environments of Triassic bedded cherts, central Japan: possible reflection of sea-level change: *Geological Magazine,* 135(6), 735-753.

- ✓ **Skoog, D., y Leary, J.,** (1994) Análisis Instrumental: México, Mc Graw-Hill, 4ta Edición, 935 p.

- ✓ **Villamil, T.,** (1996) Depositional and geochemical cyclicity in the cretaceous fine-grained strate of Colombia. A model for organic matter content. *Ciencia, Tecnología y Futuro,* 1(2), 5-23.

- ✓ **Willard, H., Merritt, L., Dean, J., Settle, F.,** (1991) Métodos Instrumentales de Análisis: Grupo Editorial Iberoamérica S.A. de C.V., 879 p.

- ✓ **Winchester, J., y Max, M.,** (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.

- ✓ **Yarincik, K., y Murray R.,** (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 (2), 210-228.

- ✓ **Zubillaga, K., Carranza, A., Rosales, L.,** (1999) Petrography and geochemistry of Holocene sands in the Western Gulf of Mexico: implications for provenance and tectonic setting. *Journal of Sedimentary Research,* 69 (5), 1003-1010.

APÉNDICES

APÉNDICE N° 1:Método de Walkley-Black, para la determinación de materia oxidable.

Procedimiento:

Se introduce en un matraz erlenmeyer de 500 ml la muestra de 0,5 g de suelo (0,05 g en el caso de turba; 2 g para suelos que tengan menos del 1% de materia orgánica), a continuación añadir 10 ml de $K_2Cr_2O_7$ 1N sobre la muestra, mezclando suavemente, se añade seguidamente 20 ml de H_2SO_4 concentrado y se sigue mezclando durante un minuto; se deja la mezcla en reposo durante 20 a 30 minutos. Se diluye la disolución a 200 ml con agua y se añaden 10 ml de H_3PO_4 al 85%, 0,2 g de NaF y 30 gotas de disolución de indicador difenilamina. La disolución se valora por retroceso con una solución de sulfato ferroso 1N; el color inicial es verde oscuro y se desplaza hacia un azul turbio, en el punto final este color cambia bruscamente a verde brillante.

Cálculos:

$$\textbf{\% M.O=} \frac{(Vb-Vm)}{1000} \times N_{K2Cr2O7} \times \frac{Peq\ (C)}{Peso\ muestra} \times 100$$

Vb = volumen de valoración del blanco

Vm = volumen de valoración de la muestra

$N_{K2Cr2O7}$ = normalidad de la solución de dicromato de potasio

Peq (C) = peso equivalente de carbono = 3g/eq

APÉNDICE N° 2

Disolución de las muestras a partir del sinterizado con peróxido de sodio

La reacción entre la muestra y el peróxido de sodio es eficiente a una temperatura inferior a la fusión ya que esta última resulta en la adhesión de la muestra a las paredes del crisol. Se emplean crisoles de zirconio los cuales son resistentes a la acción peróxido de sodio; la temperatura de 450 °C es la temperatura crítica para que la muestra no funda y por el contrario forme una “torta” que luego es fácilmente retirada del crisol; una relación de 1:3 de muestra: peróxido de sodio es óptima para la digestión de la muestra y para asegurar una concetración mínima de sales totales en la solución final.

Procedimento:

Pesar 0,3 g de muestra y 1 g de peróxido de sodio, previamente pulverizados en un mortero de ágata, en un crisol de zirconio en forma intercalada para asegurar que toda la muestra este en contacto con el peróxido; calentar a 450 °C por 1 hora, dejar enfriar y luego verter el crisol dentro de una solución de 15 ml agua acidificada con HCl (aproximadamente HCl 0,6N), agitar la solución por 5

min. burbujeando aire dentro de esta. Verter 10 ml de HCL 6N mientras se continúa la agitación; transvasar la solución a un balón aforado de 50 ml y aforar con agua desionizada.

APÉNDICE N°3: Patrones para los análisis de EEA-ICP

	Patrón 1(ppm)	*Patrón 2(ppm)*
Cr	0,5	1
Zn	0,25	0,5
B	0,1	0,2
P	1,13	2,26
Ni	0,1	0,2
Si	100	250
Mn	0,5	1
Cu	0,1	0,5
Ti	10	25
Y	0,25	0,5
Ba	1	2
Rb	0,1	0,2
Fe	50	100
Hf	0,1	0,2
Mo	0,1	0,2
Mg	10	15
V	0,5	1
Ca	10	25
Al	100	250
Sr	0,1	0,5
La	0,1	0,5
Ce	1	2
Li	0,1	0,2
K	50	100

APÉNDICE N°4:

Cálculo del Coeficiente de Variación (C.V.):

Se sometió una misma muestra al proceso de sisterización 6 veces, luego se determino su concentración y para cada elemento se determinó la desviación estándar y la media, y se aplicó la siguiente fórmula en cada caso:

$$C.V.: \frac{STD}{\overline{X}} \times 100$$

Donde: STD: desviación estándar

$\overline{X}$: media de las seis muestras /elemento

APÉNDICE N° 5: Descripción de muestras de mano:

MUESTRA N°	COLOR FRESCO	METEOR.	ESTRUCTURAS	GRANU.	ESCOG.	REDONDEZ	ESF.	MATRIZ	CEMENTO	MINERALOGÍA	AUTIG.	NOMBRE	OBSERVACIONES
TSPM 5	gris claro- verdusco y pardo	crema verdusco y pardo	laminación paralela de color verdusco y pardo	arena media	medio	sub-redondeado	baja	5-8%	HCl= -, no desprende olor de H2S	Qz= 80-85 % F.L/opacos = 7-8 %,FeO= 5 %	no	Sublitoarenita	laminación por acumulación de F.L y óxidos de Fe. Arenisca muy friable
TSPM 10	pardo claro-crema	pardo anaranjado	laminación paralela	arena media	medio	sub-angular	baja	5-7 % arcilla y FeO	no H2S	Qz= 80-85 %,f.l/opacos= 5% óxidos de Fe= 8%	no	Cuarzoarenisca	laminación de fragmentos de FeO, mica muscovita
TSPM 15	crema	pardo claro	laminación paralela	arena media	bueno	sub-redondeado	baja	10% arcilla y de FeO	no H2S	Qz= 90%,f.l/opacos= 3% FeO= 3-2 %	no	Cuarzoarenisca	laminación interna de los f.l y de FeO. algunas micas
TSPM20	crema oscuro	pardo	laminacion paralela	arena media-	bueno	redondeados	baja	7-10% limosa	cierto olor	Qz= 90-95%		Cuarzo arenisca	zonas localizadas de óxidos de Fe
TSPM 25	gris claro-blanco	crema	no se observan	arena media	moderado	sub-redondeado	baja	5-10% limo	no	Qz= 90%,f.l/opacos= 1-2% óxidos de Fe	no	Cuarzoarenisca	arenas algo friables, muy porosas algunas micas
TSPM 30	gris claro-blanco	crema-pardo	no se observan	arena media	medio	sub-redondeado	alta	2-3% arcilla y FeO	no H2S	Qz= 90-95%,f.l/opacos= 2-3%		Cuarzoarenisca	arenisca friable y altamente porosa
TSPM 35	crema oscuro	gris verdusco	laminación paralela	arena fina-media	alto	redondeado	alta	7-8% arcilla y FeO	no H2S	Qz= 75-80 %,f.l/opacos= 10% óxidos de Fe= 2-3%	no	Sub-litoarenita	laminación producida por conc de opacos y oxidos de Fe
TSPM 40	crema	crema-anaranjado	laminación paralela	arena media	medio	sub-redondeado	alta	10% de Fe2O3 y arcilla	no	Qz= 85-90%,f.l/opacos= 3% óxido de Fe= 1%	no	Cuarzo arenisca	laminación de color rojo y de f.l muy tenue alto contenido de óxidos de Fe
TSPM 45	gris claro	crema	no se observa	arena fina-media	alto	sub-redondeado	media	3-5% arcilla	no	Qz= 90-95%,f.l/opacos= 7-10% óxidos de Fe= 1%	no	Sub-litoarenita	algunos pequeños frag. de mica
TSPM 50	gris oscuro- verdoso	pardo- oscuro	no se observan	arena fina- muy fina	no	no	no	10-15 % limosa	algo de H2S	Qz= 90-95% f.l/opacos> 15%	no	Grauvaca- lítica	huellas de M.O. Localizada
TSPM 55	gris pardo	pardo-anaranjado	lentes de arcilla gris	arena fina	alto	redondeados	alta	10% limosa y de FeO	desprende H2S	mica= 1%,Qz= 90-95% f.l/opacos= 5%	no	Cuarzoarenisca	lentes de arcilla gris oscura, algunos fragmentos de mica
TSPM 60	crema-pardo	pardo anaranjado	no se observa	arena fina-media	medio	sub-redondeado	media	5-7% limosa y de Fe2O3	no H2S	Qz= 85-90%,f.l/opacos= 5% óxidos de Fe= 2%	no	Cuarzo arenisca	areniscas muy friables y porosas
TSPM 65	gris claro	crema	no se observan	arena fina	alto	redondeados	alta	3-5% arcillosa	no H2S	Qz= 85-90%,f.l/opacos=5% mica= 1%	no	Cuarzo arenisca	altamente porosa, algunos lentes de lutitas gris oscuro
TSPM 70	gris-crema	crema-pardo	no se observan	arena media	medio	sub-redondeado	alta	2-3% limosa	no H2S	Qz= 85-90%,f.l/opacos= 3-5%	no	Cuarzoarenisca	altamente porosa y friable
TSPM 75	crema oscuro	crema-grisaceo	no se observan	arena media	alto	redondeado	media	7-10% arcilla y Fe2O3	no	Qz= 85-90%,f.l/opacos= 3-5%	no	Cuarzoarenisca	arena muy friables,alto de FeO,frag. de mica
TSPM 80	crema claro	crema anaranjado	no se observa	arena media-fina	medio	sub-redondeado	baja	5-7% limosa y de FeO	no	Qz= 90-95%,f.l/opacos= 1-2%	no	Cuarzo arenisca	altamente friable y porosa
TSPM 85	crema	pardo amarillo	no se observan	media-gruesa	bajo	sub-redondeado	baja	5-7% limosa y de FeO	no	Qz= 85-90%,f.l/opacos= 3%	no	Cuarzo arenisca	esporádicos y pequeños, lentes de lutitas
TSPM 90	crema	pardo amarillo	no se observa	arena gruesa	medio	redondeado	media	3-5 % de FeO	no	Qz= 95%,f.l/opacos=2%,mica=1%	no	Cuarzo arenisca	
TSPM 95	crema	crema amarillento	no se observan	arena gruesa	medio	sub-redondeada	baja	3 % Fe2O3	no	Qz= 85-90%,f.l/opacos= 2%	no	Cuarzo arenisca	
TSPM 100	crema	amarillo pardo	no se observan	arena gruesa-media	medio	sub-redondeado	baja	3-5 %	no	Qz= 85-90% f.l/opácos= 2%,mica= 1%	no	Cuarzo arenisca	muy porosa y altamente friable
TSPM 105	gris oscuro	pardo	laminación paralela	arena media-fina	alto	sub-redondeado	baja	3-5%	algo de olor a H2S	Qz= 85-90%,f.l/opacos= 3-5% mica= 1%	no	Cuarzo arenisca	finas láminas de M.O.
TSPM 110	crema	crema amarillento	no se observan	arena media	alto	sub-redondeada	baja	3-5%	no	Qz= 85-90%,F.l/opacos= 2-3%	no	cuarzo arenisca	
TSPM 115	crema oscura	pardo anaranjado	no se observa	arena media	bajo	sub-angular	baja	2-3%	no	Qz= 90-95%,f.l/opacos= 3%	no	Cuarzo arenisca	algunos fragmentos de mica
TSPM 120	crema grisaceo	crema amarillento	no se observan	arena media-fina	medio	sub-redondeada	media	5-7% de FeO	no	Qz= 85-90%,f.l/opacos= 3%	no	Cuarzo arenisca	
TSPM 125	gris pardusco	crema	no se observan	arena fina-	medio	sub-redondeada	alta	3-5%	no	Qz= 90% f.l/opacos= 3%	no	Cuarzo arenisca	alto contenido de óxidos de Fe
TSPM 130	crema	crema	no se observa	arena media-gruesa	bajo	sub-redondeado	baja	5-7 de FeO y limosa	no	Qz= 95%,f.l/opacos= 2%	no	Cuarzo arenisca	arenisca friable y muy porosa
TSPM 135	crema	crema anaranjado	no se observan	arena fina-media	alto	sub-redondeado	alta	5-7% limosa y de FeO	no	Qz= 85-90%,f-l/opacos= 3-5%	no	Cuarzo arenisca	Láminas de material arcilloso gris
TSPM 140	crema verdoso	pardo anaranjado	laminación paralela	arena media-gruesa	bajo	sub-angular	baja	7-10 %arcillosa; FeO	no	Qz= 85-90%,f.l/opacos= 3% mica=1%	no	Cuarzo arenisca	Laminas paralelas de óxidos de Fe
TSPM 145	gris oscuro- negro	pardo oscuro	no se observan	arena muy fina	no	no	no	>20%	desprende H2S	algunas micas	marca- sita	Grawaca Cuarzosa	se observa cierta fisilidad mineral de brillo metálico dorado
TSPM 150	gris oscuro-negro	pardo rojizo	no se observan	arena muy fina-limo	no	no	no	no	desprende H2S	algunos opacos y mica=2%	no	arenisca limosa	alto contenido de óxido de Fe
TSPM 155	gris oscuro-negro	pardo	no se observa	arena muy fina- limosa	no	no	no	no	desprende algo de H2S	no	marcasita	arenisca limosa	
TSPM 160	gris	pardo	no se observan	limo	no	no	no	no	desprende algo de H2S	algo de mica muscovita	no	limolita	
TSPM 165	gris claro	pardo anaranjado	pelotillas de arcilla	arcilla	no	no	no	no	desprende algo de H2S	alto contenido de Fe,muscovita	marcasita	lutita	
TSPM 170	gris claro	crema negrusco	no se observan	limo	no	no	no	no	no	no	no	limolita gris	
TSPM 175	gris claro-blanco	muestra friable	no se observan	arena conglomerática	bajo	sub-angular	baja	arena fina	no	Qz= 90%,f.l/opacos= 2%	no	Cuarzo arenisca	altamente friable
TSPM 180	gris claro-blanco	crema	no se observan	arena gruesa- conglomerado	medio	sub-redondeada	baja	2%	no	Qz>= 90% f.l/opácos= 1-2%	no	Cuarzo arenisca	altamente friable
TSPM 185	gris claro	gris oscuro	no se observan	conglomerado hacia el tope arena fina-muy fina	malo	sub-redondeado	baja	10-15% arena muy fina	desprende un fuerte olor a H2S	Qz= 90% f.l/opacos= 2-3%	marcasita pirita sulfato	Cuarzo arenisca	
TSPM 190	gris-crema	crema oscuro	no se observan	arena media-fina	alto	sub-redondeado	media	2-3% arena fina-limo	no	Qz= 90%,f.l/opacos= 3-5%	no	Cuarzo arenisca	manchas de M.O.,friable
TSPM 195	gris claro-blanco	pardo anaranjado	no se observan	arena media	alto	sub-angular	baja	2-1% arena muy fina	no	Qz= 80-90%,f.l/opacos= 5-7%	no	Cuarzo arenisca	
TSPM 200	gris claro blanco	crema	no se observan	arena media	alto	sub-redondeado	baja	1-2%	no	Qz= 90%,f.l/opacos= 3-5%	no	Cuarzo arenisca	
TSPM 205	gris claro-blanco	pardo anaranjado	no se observan	arena media-gruesa	alto	sub redondeado	baja	1-2%	no	Qz= 90%,f.l/opacos= 5%,FeO= 1%	no	Cuarzo arenisca	
TSPM 210	gris claro-blanco	pardo anaranjado	no se observan	arena media- fina	alto	sub-redondeado	media	3-5%	no	Qz= 85-90%,f.l/opácos= 5-7% mica= 1%	no	Cuarzo arenisca	
TSPM 215	gris	pardo anaranjado	lentes de arcilla gris	arena fina-media	alto	sub-redondeado	media	3-5% arcilla y FeO	no	Qz=90%,f.l/opácos=5%,FeO=1-2%	no	Cuarzo arenisca	lentes de lutita gris
TSPM 220	gris claro-blanco	crema	no se observa	arena fina-media	alto	sub-angular	media	1-2%	no	Qz= 75-80%,f.l/opácos= 7-10%	no	Sub-litoarenisca	
TSPM 225	crema	crema oscuro-marrón	no se observa	arena media	alto	sub-redondeado	alta	5% limosa y de FeO	no	Qz= 80%,f.l/opácos= 7% algo de mica	no	Cuarzo arenisca	alto contenido de óxidos de Fe
TSPM 230	gris claro-blanco	crema	no se observan	arena fina-media	alto	sub-redondeado	alta	7% limosa	no	Qz= 80%,f.l/opácos= 7%	no	Cuarzo arenisca	
TSPM 235	gris claro-crema	crema	no se observan	arena media	alto	sub-redondeado	alta	7-10 % limosa	no	Qz= 85-80%,f.l/opácos= 15%	no	Sublitoarenisca	
TSPM 240	gris oscura	pardo	no	arcilla	no	no	no	limosa	desprende olor	no	no	Lutita gris limosa	manchas de M.O.
TSPM 245	gris	pardo-rojiza	lentes de arcilla	arcilla	no	no	no	arenosa 10%	desprende algo de H2S	no	no	lutita arenosa	semi-laminacióndelutitas grises entre las arenas manchas de M.O.
TSPM 250	crema grisaceo	crema amarillento	no se observa	arena fina	alto	sub-redondeada	alta	5-7 % arcillosa y FeO	no	Qz= 90%,f.l/opácos= 10%	no	Sublitoarenisca	manchas negras de M.O.
TSPM 255	gris oscuro	pardo	no se observa	arena muy fina	no	no	no	limosa	desprende algo de H2S	no	no	arenisca limosa	
TSPM 260	gris oscuro	pardo oscuro	no se observan	arena muy fina	no	no	no	limosa	desprende algo de H2S	no	no	arenisca limosa	

TSPM 265	gris oscuro	pardo oscuro	no se observa	arena muy fina	no	no	no	limosa	desprende algo de H2S	no	no	arenisca limosa	
TSPM 270	gris oscura	pardo oscuro	no se observa	arena muy fina	no	no	no	limosa	desprende algo de H2S	no	no	arenisca limosa	
TSPM 275	gris oscuro	pardo anaranjado	laminación paralela laminas negras y grises	arena muy fina	no	no	no	limosa	desprende poco H2S	algunos fragmentos de mica	no	arenisca limosa	
TSPM 280	gris claro	gris crema	laminación semi-paralela	arena fina-muy fina	alto	sub-redondeado	baja	1-2% arena muy fina a limo	desprende algo de H2S	Qz= 95%,f.l/opácos= 1-2% algunas micas	marca-sita	Cuarzo arenisca	láminas gris oscuro de arena muy fina con matrizlimosa, algunas huellas de M.O.
TSPM 285	gris oscuro	pardo rojizo	laminación paralela	arena fina-muy fina	alto	redondeado	alta	3-2% arena muy fina-limo	desprende olor de H2S	Qz= 95%,f.l/opácos= 2-3% algo de mica	no	Cuarzo arenisca	láminas grises oscuras de limo. presenta cierta fisilidad
TSPM 290	gris-crema	pardo rojizo	laminación paralela	arena fina-muy fina	alto	redondeado	alta	3-5 % limosa	no	Qz= 95% f.l/opácos= 2-3%	no	Cuarzo arenisca	láminas grises oscuras y anaranjadas alto contenido de óxido de Fe,fisilidad
TSPM 295	blanco-crema claro	pardo anaranjado	no se observan	arena media	medio	sub-redondeado	medio	menos de 1%	no	Qz= 95% f.l/opácos= 1-2%	no	Cuarzo arenisca	pequeñas láminas de M.O. arenisca friable
TSPM 300	gris claro-blanco	crema anaranjado	no se observan	arena gruesa-media	bajo	sub-redondeado	media	1-2%	no	Qz= 90-95% f.l/opácos= 1-2%	no	Cuarzo arenisca	muy friable
TSPM 305	crema	anaranjado	no se observan	conglomerado-arena muy gruesa	malo	sub-redondeado	baja	3-5% limo y de Fe2O3	no	Qz= 90% f.l/opácos= < 1%	no	cuarzoarenisca conglomerática	alto contenido de óxido de Fe
TSPM 310	crema rosado	pardo rojizo	no se observan	arena gruesa-muy gruesa	alto	sub-angular	baja	1-2%	no	Qz= 90-95% f.l/opácos= 1%	no	Cuarzo arenisca	altamente friable
TSPM 315	blanco	crema	no se observan	arena media	alto	sub-angular	media	menos del 1%	no	Qz= 95% f.l/opácos= < 1%	no	Cuarzo arenisca	altamente friable
TSPM 320	blanco	crema anaranjado	no se observan	arena gruesa	alto	sub-angular	baja	no	no	Qz= 90-95% f.l/opácos=1%	no	Cuarzo arenisca	altamente friable
TSPM 325	crema	pardo rojizo	no se observan	arena media-fina	aalto	sub redondeado	media	2-3% arena muy fina y de Fe2O3	no	Qz= 95% f.l/opácos= 1-2%	no	Cuarzo arenisca	alto contenido de óxido de Fe
TSPM 330	gris claro-blanco	crema	no se observan	arena media-fina	alto	sub-angular	baja	1-2%	no	Qz= 90-95% f.l/opácos= 3%	no	Cuarzo arenisca	algo friable
TSPM 335	gris claro-blanco	crema	no se observan	arena media	alto	sub-redondeado	alta	1-2%	no	Qz= 90% f.l/opácos= 5-7%	no	Sub-litoarenita	algunas láminas negras de M.O
TSPM 340	blanco	crema rojizo	no se observan	arena media-fina	alto	sub-redondeado	baja	3-5%	no	Qz=90% f.l/opácos= 5%	no	Cuarzo arenisca	algunas láminas gris verdoso y rojo granate opaco
TSPM 345	blanco-gris claro	crema	no se observan	arena media-fina	alto	sub-redondeado	media	5-7%	no	Qz= 90% f.l/opácos= 5%	no	Cuarzo arenisca	areniscas friables
TSPM 350	crema	crema anaranjado	no se observan	arena media	alto	sub-redondeado	media	1-2%	no	Qz= 95% f.l/opácos= 2%	no	Cuarzo arenisca	
TSPM 355	crema	crema anaranjado	no se observa	arena media-fina	alto	sub-redondeado	media	1-2%	no	Qz= 95% f.l/opácos= 1-2%	no	Cuarzo arenisca	algunas láminas de M.O
TSPM 360	blanco	crema	no se observan	arena fina-	alto	sub-redondeado	media	2-3%	no	Qz= 95%,f.l/opácos= 1%	no	Cuarzo arenisca	algunas láminas pequeñas
TSPM 365	crema-blanco	pardo anaranjado	no se observan	arena gruesa-conglomerado	malo	sub-redondeado	alta	5-7%	no	Qz= 90% f.l/opácos=<1%	no	Cuarzoarenisca	
TSPM 370	blanco	pardo anaranjado	no se observa	arena media-gruesa algunos conglom.	malo	sub-redondeado	media	2-3% limosa y de Fe2O3	no	Qz= 90% f.l/opácos= < 1%	no	Cuarzoarenisca	algunas láminas de M.O alto contenido de óxido de Fe
TSPM 375	gris-gris pardo	pardo	laminación paralela	limo-arcilla	no	no	no	no	desprende algo de H2S	no	no	lutita limosa	intercalación con algunas capas de arena muy fina
TSPM 380	blanco	pardo anaranjado	no se observan	arena gruesa	alto	redondeado	alta	1-2%	no	Qz= 95% f.l/opácos= < 1%	no	Cuarzo arenisca	algunas láminas de óxido de Fe altamente friable
TSPM 385	crema	crema anaranjado	no se observan	arena gruesa	alto	sub-redondeada	media	1%	no	Qz= 95% f.l/opácos= < 1%	no	Cuarzo arenisca	muy friables
TSPM 390	blanco	crema anaranjado	no se observan	arena media-gruesa	alto	sub-redondeada	media	1%	no	Qz= 95% f.l/opácos= <1%	no	Cuarzo arenisca	altamente friable
TSPM 395	crema	anaranjado	no se observan	arena media-gruesa	alto	su-redondeado	alta	menor a 1%	no	Qz= > 95%	no	Cuarzo arenisca	altamente friables alto contenido de óxido de Fe
TSPM 400	rosado	rojo purpura	no se observan	arena media	alto	sub-redondeado	media	no	no	Qz= 90% feld= 7-10%	no	Cuarzoarenisca	
TSPM 405	crema	anaranjado-rojizo	no se observan	arena media-gruesa	alto	sub-redondeada	media	< 1%	no	Qz= 90% f.l/opácos=< 1%	no	Cuarzoarenisca	
TSPM 410	crema rosado	pardo anaranjado	láminas de color rojo	arena gruesa-media conglomerática	malo	sub-angular	baja	< 1%	no	Qz= 85% f.l/opácos= < 1%	no	Cuarzoarenisca	
TSPM 415	crema rosado	crema anaranjado claro	láminas paralelas de color rojo	arena media-gruesa	alto	redondeado	alta	< 1%	no	Qz= 95-90% f.l/opácos= <1%	no	Cuarzo arenisca	altamente friable
TSPM 420	blanco	amarillo-anaranjado	no se observan	arena media-fina	alto	sub-angular	alta	1-2% con Fe2O3	desprende algo de H2S	Qz= 90%	no	Cuarzo arenisca	
TSPM 425	crema	crema anaranjado	no se observan	arena media-fina	alto	sub-redondeados	baja	2-3%	no	Qz= 90%,f.l/opácos= 2-3% óxidos de Fe= 1-2%	no	Cuarzo arenisca	
TSPM 430	blanco	pardo anaranjado	no se observan	arena media	alto	sub-angular	baja	1%	no	Qz= 95% f.l/opácos= <1%	no	Cuarzo arenisca	
TSPM 435	crema	anaranjado	no se observan	arena gruesa-muy gruesa y conglomerado	malo	sub-redondeado	media	<1%	no	Qz= 95% f.l/opácos=<1%	no	Cuarzo arenisca	altamente friable
TSPM 440	crema	anaranjado	no se observan	arena media-gruesa	alto	sub-angular	media	< 1%	no	Qz=95% f.l/opácos= 1%	no	Cuarzo arenisca	
TSPM 445	crema	anaranjado amarillo	no se observan	arena media -gruesa	alto	sub-redondeado	alta	< 1%	no	Qz= 95% f.l/opácos= 1-2%	no	Cuarzo arenisca	muy friable

APÉNDICE N° 6: Tabla de resultados de la descripción petrográfica

	$\%Q_{(M)}$	$\%Q_{(P)}$	$\%Q_t$	%F	%L	%M	NOMBRE	CONTACTOS	OBSERVACIONES
TSPM 5	57	15	72	0	28	3-5%	Arenita lítica	Longitudinal y grano-matriz	epidoto,pirita,glauconita estaurolita y rutilo,Ox.Fe
TSPM 50	70	12	82	0	18	15%	Grawaca lítica	grano-matriz y tangencial	glauconita y Ox.Fe(5%)
TSPM145	91	4	96	0	4	20%	Grawaca cuarzosa	Grano-matriz	glauconita y/o chamosita materia orgánica
TSPM180	87	5	93	0	7	<1%	Sublitarenita	concavo-convexo	materia orgánica y Ox.Fe(1%)
TSPM235	66	16	82	1,5	16	2%	Sublitarenita	longitudinales	rutilo, glauconita y Ox.Fe(1-2%)
TSPM250	65	4	69	0	31	<1%	Arenita lítica	grano-cemento concavo-conv.	muscovita, Ox.Fe(15%) materia orgánica
TSPM305	98	1	99	0	1	0%	Cuarzo arenita	longitudinal	Ox. Fe(1-2%)
TSPM385	94	3	97	0	3	0%	Cuarzo arenita	tangencial y longitudinal	Ox. de Fe(<1%)

Q_m: cuarzo monocristalino F: feldespato
Q_p: cuarzo policristalino M: matriz
Q_t: cuarzo total L: líticos

APÉNDICE N° 7: Tabla de concentración de los elementos determinados

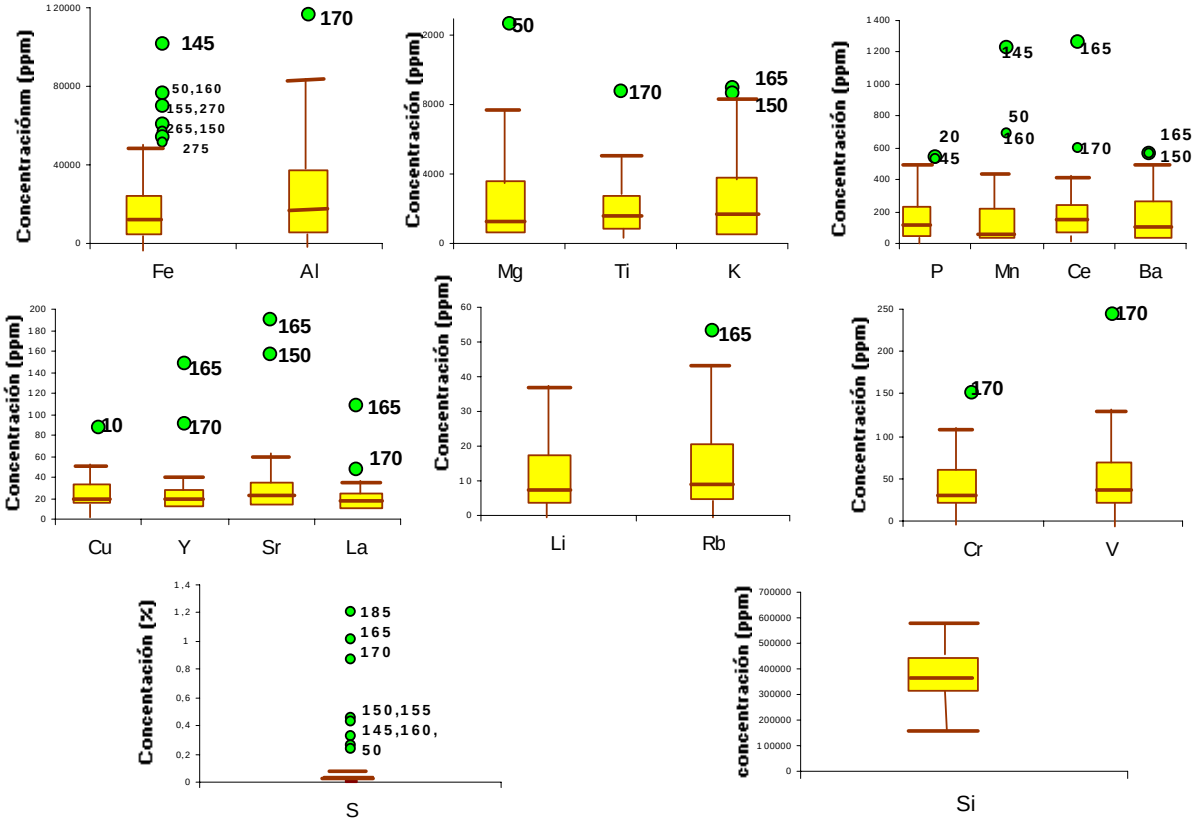
m.	*Muestra*	*%S* +/-3%	*%COT* +/-5%	*Li ppm* +/-7%	*Rb ppm* +/-7%	*Cr ppm* +/-7%	*Zn ppm* +/-0,8%	*B ppm* +/-9%	*P ppm* +/11%	*Ni ppm* +/-10,5%	*Si ppm*	*Mn ppm* +/-8,7%	*Fe ppm* +/-8%
1	TSPM5	0,00249	<0,00561	9	6	29	63	<10	183	15	335241	60	13700
2	TSPM10	0,00471	<0,00561	8	6	20	196	<10	242	26	351694	69	12100
3	TSPM15	0,01080	<0,00561	12	10	49	197	<10	377	41	326780	88	16100
4	TSPM20	0,04040	0,0615	9	12	41	394	<10	535	33	325658	83	21800
5	TSPM25	<0,002	<0,00561	4	5	21	2	<10	180	<10	363193	53	8930
6	TSPM30	<0,002	<0,00561	5	4	17	84	<10	148	10	379974	63	7790
7	TSPM35	0,03620	0,0896	15	19	44	102	<10	353	23	309626	145	21100
8	TSPM40	0,02360	<0,00561	15	18	36	163	<10	316	36	330286	146	20500
9	TSPM45	0,02240	<0,00561	19	28	56	247	16	531	52	311636	204	31400
10	TSPM50	0,23200	0,3353	25	25	69	208	16	404	69	256385	689	76300
11	TSPM55	0,06360	0,1063	14	15	51	142	15	269	220	305232	218	25300
12	TSPM60	0,02680	<0,00561	12	15	34	118	<10	226	27	316544	187	17600
13	TSPM65	0,01150	0,1122	16	23	44	162	<10	266	36	307616	203	20200
14	TSPM70	0,03490	0,1111	15	21	98	151	<10	285	93	330239	195	20000
15	TSPM75	<0,002	<0,00561	8	11	26	44	<10	182	18	358145	133	12200
16	TSPM80	0,00455	<0,00561	10	9	26	103	<10	183	21	348329	106	12800
17	TSPM85	0,00382	<0,00561	10	11	75	92	<10	195	47	347908	162	15700
18	TSPM90	0,00298	<0,00561	5	5	18	14	<10	96	<10	352162	58	6750
19	TSPM95	0,00641	<0,00561	10	5	24	93	<10	107	23	359921	86	8480
20	TSPM100	0,00766	<0,00561	7	6	18	17	<10	120	<10	354172	79	13100
21	TSPM105	0,04170	0,0952	7	7	17	18	<10	105	<10	299015	112	11600
22	TSPM110	0,03070	0,056	13	15	39	81	<10	245	16	325986	215	17300
23	TSPM115	0,01990	<0,00561	5	5	17	211	<10	97	13	358893	149	8840
24	TSPM120	0,02340	<0,00561	9	10	23	69	<10	129	15	326500	197	15500
25	TSPM125	0,02040	<0,00561	9	12	27	125	<10	153	14	340383	181	12500
26	TSPM130	0,00953	<0,00561	6	<4	15	64	<10	121	20	330707	112	9450
27	TSPM135	0,03170	<0,00561	7	9	30	97	<10	180	34	322153	233	15800
28	TSPM140	0,06190	0,0617	9	9	25	182	<10	178	17	311729	284	22600
29	TSPM145	0,32500	0,4746	27	39	82	340	23	399	55	269894	1230	101000
30	TSPM150	0,45100	0,1995	26	49	105	478	32	477	90	283263	443	53600
31	TSPM155	0,42400	0,32	18	27	69	863	16	333	72	284478	489	60200
32	TSPM160	0,25400	0,2786	21	37	77	958	24	366	117	274335	521	69600
33	TSPM165	1,10000	0,1222	21	53	99	67	29	436	40	292658	63	46500
38	TSPM170	0,87700	0,2805	36	20	151	47	<10	314	20	279570	13	12300
39	TSPM175	<0,002	0,0448	<1	<4	11	< 1	<10	<20	<10	434663	5	862
40	TSPM180	<0,002	0,0056	2	<4	17	< 1	<10	<20	<10	438356	4	1750
41	TSPM185	1,20000	0,4236	2	<4	48	< 1	<10	70	15	400634	13	13100
42	TSPM190	0,00567	0,028	3	6	12	< 1	<10	25	<10	399606	3	1780
43	TSPM195	<0,002	<0,00561	3	6	12	< 1	<10	53	<10	371280	7	1130
44	TSPM200	<0,002	<0,00561	3	5	16	< 1	<10	<20	<10	409188	4	617
45	TSPM205	0,00283	<0,00561	4	5	20	< 1	<10	38	<10	381236	4	736
46	TSPM210	0,01690	<0,00561	4	9	16	< 1	<10	42	<10	363754	2	1480
47	TSPM215	0,01490	<0,00561	15	14	40	< 1	<10	66	10	313365	12	10800
48	TSPM220	<0,002	<0,00561	3	6	18	< 1	<10	35	<10	384321	2	655
49	TSPM225	0,04060	0,0224	3	10	20	< 1	<10	29	<10	375720	3	4580
50	TSPM230	<0,002	<0,00561	4	9	16	< 1	<10	59	<10	367680	7	959

51	TSPM235	0,00726	<0,00561	4	12	16	< 1	<10	42	<10	375206	5	2320
52	TSPM240	0,03880	0,3292	41	39	72	631	<10	138	249	253207	226	37400
53	TSPM245	0,02100	0,3292	27	40	63	150	18	159	33	255965	250	39100
54	TSPM250	<0,002	0,0952	10	12	25	115	<10	42	16	323041	69	14200
55	TSPM255	0,02180	0,3069	35	39	71	561	19	129	132	299950	242	36000
56	TSPM260	0,01670	0,3473	24	34	60	183	14	146	22	286535	250	40400
57	TSPM265	0,01490	0,3191	25	26	45	187	10	301	16	273119	327	53900
58	TSPM270	0,01690	0,3853	22	30	57	329	16	395	29	284618	341	56500
59	TSPM275	0,01270	0,3854	17	23	52	266	15	332	24	313973	318	51000
60	TSPM280	0,01180	0,3414	16	21	50	223	12	204	22	297566	283	48800
61	TSPM285	0,01730	<0,00561	21	28	62	193	20	141	29	286955	253	39900
62	TSPM290	0,00584	<0,00561	18	21	50	154	<10	125	26	314814	50	12400
63	TSPM295	<0,002	<0,00561	1	<4	21	<1	<10	29	<10	422136	2	1230
64	TSPM300	<0,002	<0,00561	<1	<4	11	<1	<10	<20	<10	417368	2	1550
65	TSPM305	0,00216	<0,00561	<1	<4	16	<1	<10	24	<10	403766	5	6070
66	TSPM310	0,00206	<0,00561	<1	<4	18	<1	<10	<20	<10	419799	2	5540
67	TSPM315	<0,002	<0,00561	<1	<4	8	<1	<10	<20	<10	426904	4	1690
68	TSPM320	<0,002	<0,00561	<1	<4	15	<1	<10	<20	<10	446068	14	1490
69	TSPM325	<0,002	<0,00561	2	<4	23	<1	<10	28	<10	421762	4	4580
70	TSPM330	<0,002	<0,00561	2	<4	10	<1	<10	<20	<10	435411	2	725
71	TSPM335	0,00309	0,084	2	<4	14	<1	<10	42	17	381236	2	335
72	TSPM340	0,00721	<0,00561	3	<4	17	<1	<10	45	<10	376889	3	2740
73	TSPM345	<0,002	<0,00561	3	7	27	<1	<10	69	<10	365016	5	775
74	TSPM350	<0,002	<0,00561	<1	<4	11	<1	<10	<20	<10	431391	7	1430
75	TSPM355	<0,002	0,0729	1	<4	12	<1	<10	<20	<10	442796	1	1410
76	TSPM360	<0,002	0,0672	1	<4	11	<1	<10	<20	<10	405355	7	667
77	TSPM365	<0,002	<0,00561	<1	<4	11	<1	<10	<20	<10	409141	5	2290
78	TSPM370	0,00249	0,1346	<1	<4	10	<1	<10	<20	<10	420500	2	1890
79	TSPM375	0,00858	0,3315	21	30	65	193	12	165	29	328510	35	6750
80	TSPM380	<0,002	<0,00561	1	<4	11	<1	<10	22	<10	383106	2	1540
81	TSPM385	<0,002	<0,00561	<1	<4	10	<1	<10	<20	<10	424333	2	1190
82	TSPM390	<0,002	<0,00561	<1	<4	11	<1	<10	<20	<10	433682	2	1350
83	TSPM395	0,00348	<0,00561	<1	<4	11	<1	<10	<20	<10	426390	3	4690
84	TSPM400	0,00237	<0,00561	<1	<4	5	<1	<10	<20	<10	414003	<1	2400
85	TSPM405	<0,002	<0,00561	<1	<4	8	<1	<10	<20	<10	437561	4	1400
86	TSPM410	<0,002	<0,00561	<1	<4	9	<1	<10	<20	<10	461073	2	3220
87	TSPM415	0,00504	<0,00561	<1	<4	1	<1	<10	<20	<10	422417	<1	361
88	TSPM420	0,00428	<0,00561	2	<4	13	<1	<10	26	<10	409375	6	2200
89	TSPM425	0,00266	<0,00561	<1	<4	8	<1	<10	<20	<10	440646	<1	514
90	TSPM430	<0,002	<0,00561	1	<4	15	<1	<10	21	<10	407973	4	1250
91	TSPM435	0,00284	<0,00561	<1	<4	13	<1	<10	<20	<10	428119	2	2570
92	TSPM440	0,00415	<0,00561	<1	<4	8	<1	<10	<20	<10	437748	<1	2090
93	TSPM445	<0,002	<0,00561	<1	<4	15	<1	<10	<20	<10	457334	2	3330

m.	*Muestra*	*V ppm* +/-3,5%	*Ca ppm* +/-7,5%	*Cu ppm* +/-4%	*Ti ppm* +/-3%	*Y ppm* +/-5%	*Al ppm* +/-5,6%	*Sr ppm* +/-10%	*La ppm* +/-4%	*Ce ppm* +/-6%	*Ba ppm* +/-5%	*K ppm* +/-5%	*Mg ppm* +/-9%
1	TSPM5	41	109	8	2660	12	21000	34	13	161	117	1660	1930
2	TSPM10	33	284	87	1080	11	16700	17	<10	112	100	1310	1320
3	TSPM15	40	1740	13	1820	12	22300	22	11	170	124	1890	1750
4	TSPM20	49	815	11	2470	12	28700	25	12	166	163	2490	2660
5	TSPM25	26	214	3	1200	9	13000	15	<10	104	77	892	877
6	TSPM30	22	299	5	967	13	13000	13	12	179	65	723	678
7	TSPM35	59	690	10	2550	20	36400	25	16	222	247	3930	4240
8	TSPM40	50	629	11	2230	12	31800	18	<10	127	212	3280	3160
9	TSPM45	69	721	20	3730	23	42600	28	18	234	293	5280	5320
10	TSPM50	123	1360	26	3920	18	45700	26	17	233	323	5210	12700
11	TSPM55	63	3320	24	2440	14	34000	21	11	145	191	3270	4390
12	TSPM60	51	330	11	2310	14	30500	18	14	157	188	3040	3400
13	TSPM65	65	455	14	2570	16	38800	24	16	199	260	4210	4590
14	TSPM70	60	1450	13	2660	17	37400	25	15	190	238	3910	4470
15	TSPM75	46	276	7	1470	12	22400	15	12	148	133	2080	2330
16	TSPM80	48	421	8	1440	15	20900	16	10	143	122	1990	2200
17	TSPM85	53	336	9	1480	13	24800	15	13	143	137	2070	2340
18	TSPM90	27	276	6	643	10	11200	24	<10	109	70	848	923
19	TSPM95	28	1830	16	706	10	12400	12	<10	81	71	873	1150
20	TSPM100	39	263	10	806	11	16800	15	<10	99	86	1240	1430
21	TSPM105	35	341	6	810	11	15900	8	<10	96	67	870	1640
22	TSPM110	50	1440	8	2000	14	33500	17	12	137	178	2900	4030
23	TSPM115	34	89	10	512	9	9030	6	<10	110	46	483	1040
24	TSPM120	35	697	11	942	12	18700	11	<10	78	97	1460	2720
25	TSPM125	41	309	12	1430	13	24500	13	<10	165	158	1950	2190
26	TSPM130	20	965	12	582	9	14300	8	<10	83	43	284	1170
27	TSPM135	41	311	20	1940	16	17900	13	12	189	115	1390	1770
28	TSPM140	40	471	19	1470	11	18400	15	11	147	113	1470	2790
29	TSPM145	96	974	28	4620	24	54900	42	23	261	419	5830	8760
30	TSPM150	115	1100	32	5550	26	67500	59	28	322	560	8630	7370
31	TSPM155	83	920	22	3890	18	45800	65	31	332	313	4250	4790
32	TSPM160	97	813	31	4720	20	54200	49	20	243	396	5590	6530
33	TSPM165	129	211	51	5540	147	76500	190	107	1260	565	8960	1620
38	TSPM170	243	353	34	8720	91	1E+05	156	47	593	255	2420	426
39	TSPM175	14	<1	3	442	7	2530	4	<10	85	9	0	<1
40	TSPM180	18	9,83	3	785	7	5790	6	<10	84	30	266	27
41	TSPM185	34	104	13	889	20	11700	24	13	180	77	274	38
42	TSPM190	21	<1	10	1530	10	13200	11	<10	104	75	1100	85
43	TSPM195	21	3320	6	1810	10	13900	17	<10	124	66	1170	178
44	TSPM200	18	<1	2	1330	9	10800	9	<10	71	47	768	78
45	TSPM205	19	255	6	1140	8	14500	12	<10	81	62	932	112
46	TSPM210	29	<1	5	1980	11	22800	13	<10	106	99	1840	165
47	TSPM215	49	<1	22	3070	18	51900	23	13	168	142	2590	449
48	TSPM220	22	<1	3	1960	14	14900	13	<10	99	76	1180	105
49	TSPM225	29	<1	5	2220	13	17600	15	12	136	97	1840	157

50	TSPM230	26	<1	5	1980	15	18200	13	12	143	90	1700	185
51	TSPM235	27	<1	1	2260	13	23000	18	11	132	129	2610	239
52	TSPM240	92	<1	32	5240	26	88800	63	40	412	321	6780	4110
53	TSPM245	83	<1	30	5190	30	81900	66	37	392	321	6990	3730
54	TSPM250	39	<1	14	2270	15	31700	17	11	121	123	2220	1460
55	TSPM255	94	<1	33	5310	27	77900	54	35	370	343	6920	4580
56	TSPM260	79	<1	26	4550	26	70600	64	33	374	317	6170	3480
57	TSPM265	63	156	23	4560	34	77000	57	29	345	229	4970	3270
58	TSPM270	76	574	27	4770	30	73900	63	31	379	294	5900	3480
59	TSPM275	68	320	23	4680	32	64500	52	28	287	257	5220	3080
60	TSPM280	66	<1	22	4640	29	60000	51	26	277	241	4620	2970
61	TSPM285	82	<1	28	5550	35	78900	66	36	352	302	6260	3540
62	TSPM290	73	<1	31	4750	27	65100	43	28	296	233	4810	2030
63	TSPM295	19	<1	9	1380	11	7590	10	<10	72	42	600	45
64	TSPM300	13	<1	12	809	7	4260	6	<10	47	15	40	<1
65	TSPM305	16	<1	20	1320	6	3990	6	<10	52	10	<1	<1
66	TSPM310	17	<1	14	2170	7	2510	3	<10	35	10	<1	<1
67	TSPM315	11	<1	13	387	6	1790	4	<10	33	10	<1	<1
68	TSPM320	12	<1	7	896	6	1980	2	<10	23	5	<1	<1
69	TSPM325	19	<1	19	647	9	9400	7	<10	53	31	337	21
70	TSPM330	18	<1	4	1710	11	10100	7	<10	77	35	310	21
71	TSPM335	21	<1	8	1210	11	17600	11	<10	62	44	545	61
72	TSPM340	26	<1	37	1880	14	23000	16	<10	78	54	856	111
73	TSPM345	34	<1	10	3390	20	28100	19	17	209	84	1390	144
74	TSPM350	11	<1	6	696	7	3500	4	<10	44	10	<1	<1
75	TSPM355	13	<1	7	895	7	5570	4	<10	58	18	47	<1
76	TSPM360	13	<1	3	700	7	6700	8	<10	65	13	<1	<1
77	TSPM365	14	<1	11	1180	8	2870	4	<10	44	11	<1	<1
78	TSPM370	12	<1	14	398	6	4230	4	<10	21	11	<1	<1
79	TSPM375	79	<1	40	5230	29	75300	53	33	385	264	6060	1750
80	TSPM380	15	<1	6	1290	12	6620	<1	13	146	4	<1	<1
81	TSPM385	9	<1	2	238	6	1700	3	<10	27	2	<1	<1
82	TSPM390	10	<1	<1	870	6	1330	<1	<10	22	4	<1	<1
83	TSPM395	10	<1	4	665	6	1640	2	<10	28	5	<1	<1
84	TSPM400	9	<1	2	555	6	1340	4	<10	35	2	<1	<1
85	TSPM405	10	<1	1	1270	17	1210	<1	<10	31	2	<1	<1
86	TSPM410	9	<1	2	476	5	1900	1	<10	36	4	<1	<1
87	TSPM415	8	<1	2	152	5	1300	<1	<10	23	3	<1	<1
88	TSPM420	16	<1	8	940	7	10600	5	<10	60	28	288	21
89	TSPM425	13	<1	5	814	6	3640	2	<10	41	9	<1	<1
90	TSPM430	14	<1	3	1050	8	6310	4	<10	58	25	115	<1
91	TSPM435	13	<1	6	443	7	3770	4	<10	57	6	<1	<1
92	TSPM440	9	<1	3	339	6	767	<1	<10	7	2	<1	<1
93	TSPM445	11	<1	5	684	7	2470	4	<10	30	12	<1	<1

APÉNDICE N° 8: Análisis exploratorio de datos. Cajas gráficas

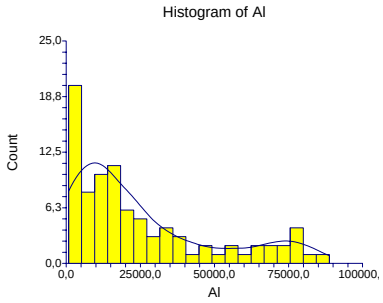


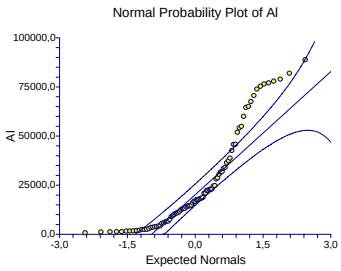
APÉNDICE N° 9: Estadística descriptiva

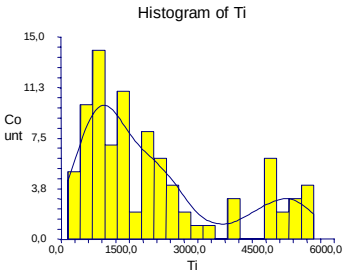
	Media ppm	*STD ppm*	*Mediana ppm*	*K.S.*	*log K.S.*
Al	25058,84	24184,42	16800	0,186	0,083
Ti	2045,63	15,68,92	1470	0,168	0,0682
Mn	91,83	122,49	12,8	0,255	0,117
Fe	10117,93	11493,19	5540	0,194	0,0891
K	1894,43	2081,91	1170	0,170	0,24
Mg	1527,14	1932,56	204,85	0,231	0,20
P	124,74	126,85	68,9	0,186	0,117
Li	8,96	9,49	5	0,175	0,109
Rb	11,25	11,53	6,11	0,199	0,169
Cr	30,78	24,17	19,6	0,202	0,091
V	39,06	29,19	28,8	0,154	0,0682
Cu	13,25	10,65	10,1	0,157	0,0599
Y	13,62	7,54	11,5	0,154	0,083
Sr	19,12	18,67	12,8	0,209	0,11
La	12,26	9,20	9,15	0,208	0,157
Ce	141,19	104,67	110	0,137	0,059
Ba	115,97	110,50	77	0,154	0,127
S	90,07	110,74	38,2	0,258	0,142
Si	360818,7	56714,97	359921,1	0,0955	0,0911

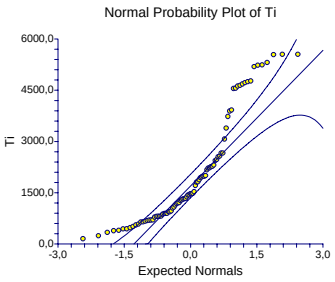
K.S: test de normalidad (Kolmogorov-Smirnov), debe ser < 0,093
Log K.S.: test a los valores transformados a log.

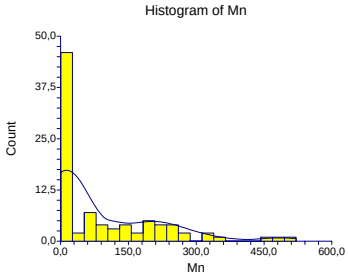
Ejemplos de curvas de probabilidad e histogramas de frecuencia para algunos elementos:

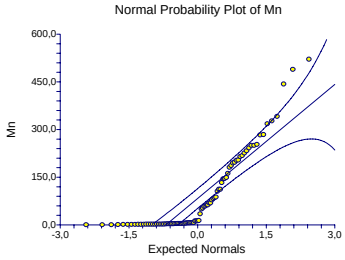












APÉNDICE N° 10: Normalización de los datos logarítmicos

$$Z = \frac{(X - \overline{X})}{STD}$$

Donde: X = valor de la variable

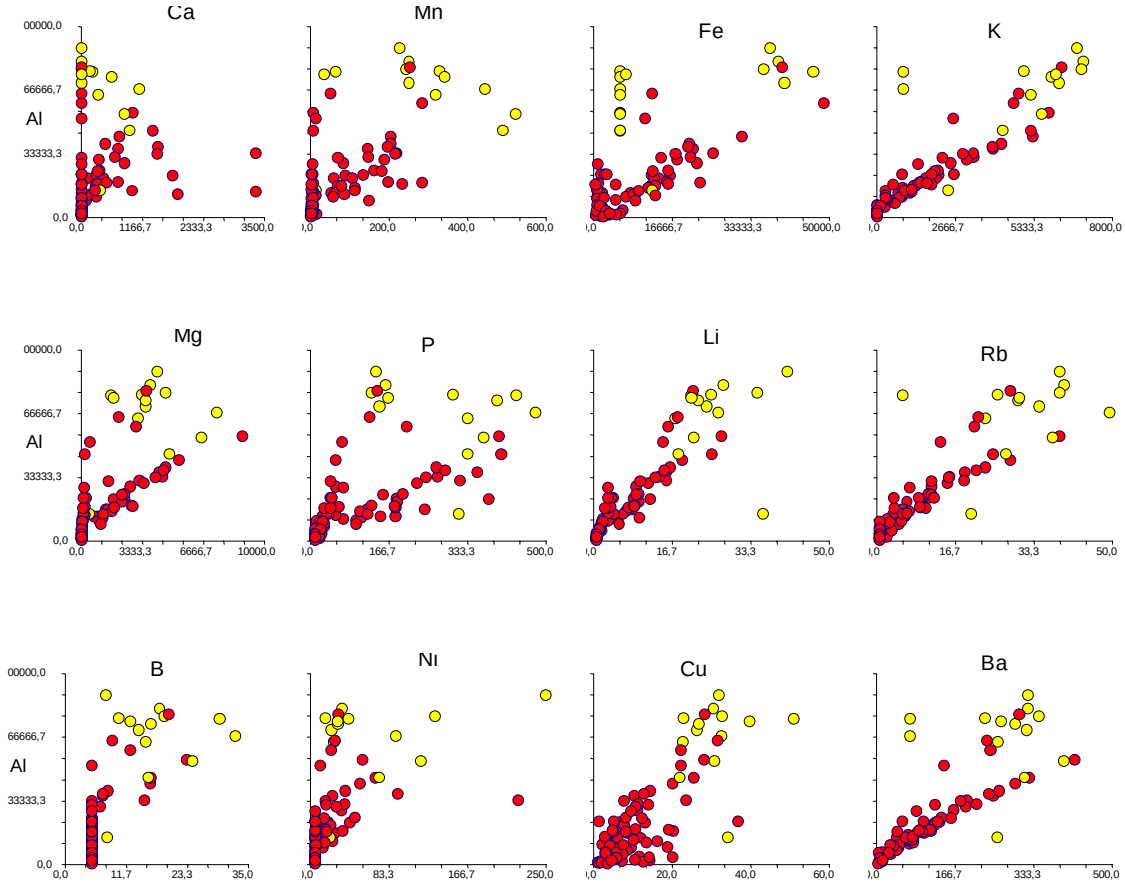
$\overline{X}$ = media de la población

STD= desviación estándar

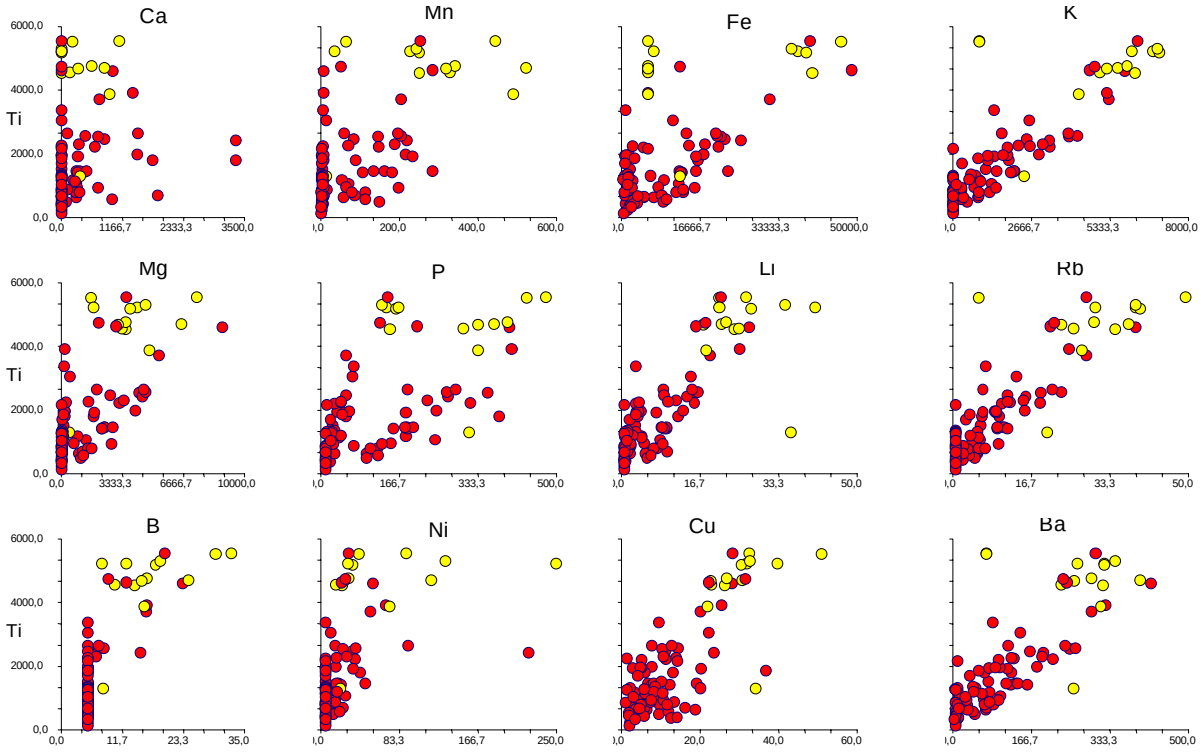
Nota: esta fórmula se aplicó a los datos logarítmicos, únicamente para el análisis cluster; se determinó la media y la desviación estándar en cada una de las tres zonas en que se dividieron los datos.

APÉNDICE 11: Diagramas de discriminación geoquímica (Fralick y Kronberg, 1997)

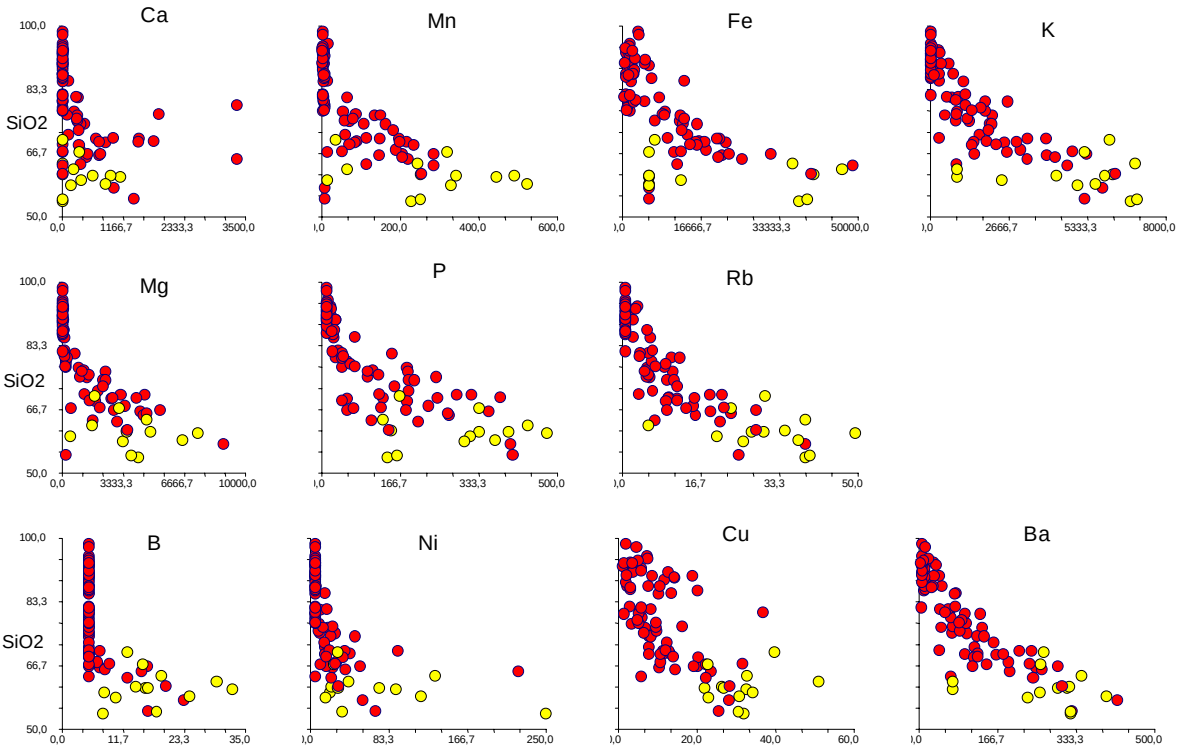
Diagramas de Al vs elementos



Diagramas de Ti vs elementos



Diagramas de SiO2 vs elementos



APÉNDICE N° 12: Resúmen de las macroformas litoestratigráficas definidas por Paparoni (1993).

Paparoni definió 5 superficies limitantes de macroformas nombradas de norte a sur, de base a tope, dividiendo a la secuencia en 6 intervalos discretos; la ubicación de la primera superficie está desplazada 6 m por encima del inicio de la zona de muestreo en este estudio:

Intervalo 1: desde el contacto Fm. Los Cuervo-Fm. Mirador, hasta 23,7 m. Ambiente de poca profundida y extensión lateral, depósitos de canal con clara interacción con el mar.

Intervalo 2: desde 23,7m hasta 31,7m. Los depósitos de canal pasan a depósitos de frente de prodelta con influencia marina; en el tope se origina una superficie de inundación.

Intervalo 3: desde 31,7m hasta 45,7m. Inicio de una nueva invasión fluvial, representando, en la base, sedimentación fluvial del estuario, desarrollándose hacia el tope los depósitos del canal fluvial.

Intervalo 4: desde 45,7m hasta 56,6m. Representa la zona de menor energía presente en un estuario dominado por olas, en donde actúa el máximo de turbidez, el cual avanza y retrocede conforme se mueve la cuña de agua salada proveniente del mar, situándose por debajo del agua dulce proveniente del río.

Intervalo 5: desde 56,6m hasta 67,1m. Generación y avance de un delta de cabecera con marcada influencia mareal.

Intervalo 6: desde 67,1 hasta 87,3m. La base del intervalo representa la deriva del ambiente estuarino, en el cual se aprecia un aumento en la profundización de las aguas; hacia el tope se observan facies próximo costeras con desplazamiento lateral de un canal estuarino.

APÉNDICE 13: Matrices de correlación de variables

Intervalo estratigráfico comprendido entre la base(0m) hasta 38 m (muestras TSPM5-TSPM170). Se resaltan las correlaciónes superiores a 0,700

	Si	S	Li	Rb	Cr	P	Mn	Fe	Mg	V	Cu	Ti	Y	Al	Sr	La	Ce	Ba	K
Si	1,000																		
S	-0,036	1,000																	
Li	**-0,826**	0,011	1,000																
Rb	**-0,732**	0,119	**0,835**	1,000															
Cr	-0,595	0,004	**0,720**	**0,729**	1,000														
P	-0,550	-0,264	0,638	0,505	0,576	1,000													
Mn	0,154	0,294	-0,132	0,135	0,141	-0,087	1,000												
Fe	0,127	0,414	0,042	-0,091	0,103	-0,128	0,224	1,000											
Mg	-0,210	0,263	0,320	0,567	0,528	0,172	0,602	0,219	1,000										
V	**-0,717**	-0,017	**0,747**	**0,740**	**0,897**	0,561	0,084	0,055	0,461	1,000									
Cu	**-0,771**	-0,028	**0,801**	0,562	0,603	0,467	-0,025	0,059	0,215	0,649	1,000								
Ti	**-0,704**	-0,041	**0,775**	**0,780**	**0,886**	0,593	0,071	0,132	0,509	**0,896**	0,627	1,000							
Y	-0,601	0,104	0,671	**0,854**	**0,734**	0,428	0,142	-0,153	0,567	**0,742**	0,475	**0,768**	1,000						
Al	**-0,702**	0,051	**0,785**	**0,773**	**0,907**	0,585	0,145	0,160	0,581	**0,937**	0,632	**0,941**	**0,762**	1,000					
Sr	-0,516	-0,211	0,577	**0,734**	0,694	0,443	0,113	-0,270	0,519	0,655	0,378	**0,763**	**0,728**	0,691	1,000				
La	-0,560	-0,124	0,598	**0,819**	**0,754**	0,465	0,184	-0,216	0,543	**0,731**	0,394	**0,814**	**0,863**	**0,739**	**0,872**	1,000			
Ce	-0,516	-0,047	0,534	**0,766**	0,694	0,424	0,177	-0,214	0,477	0,682	0,385	**0,771**	**0,869**	0,684	**0,807**	**0,957**	1,000		
Ba	-0,602	0,105	**0,718**	**0,827**	0,582	0,414	-0,067	0,049	0,396	0,584	0,412	0,682	0,664	0,632	0,626	0,680	0,641	1,000	
K	-0,532	0,138	0,674	**0,812**	0,613	0,379	-0,008	0,136	0,444	0,623	0,341	0,694	0,668	0,654	0,629	0,684	0,634	**0,977**	1,000

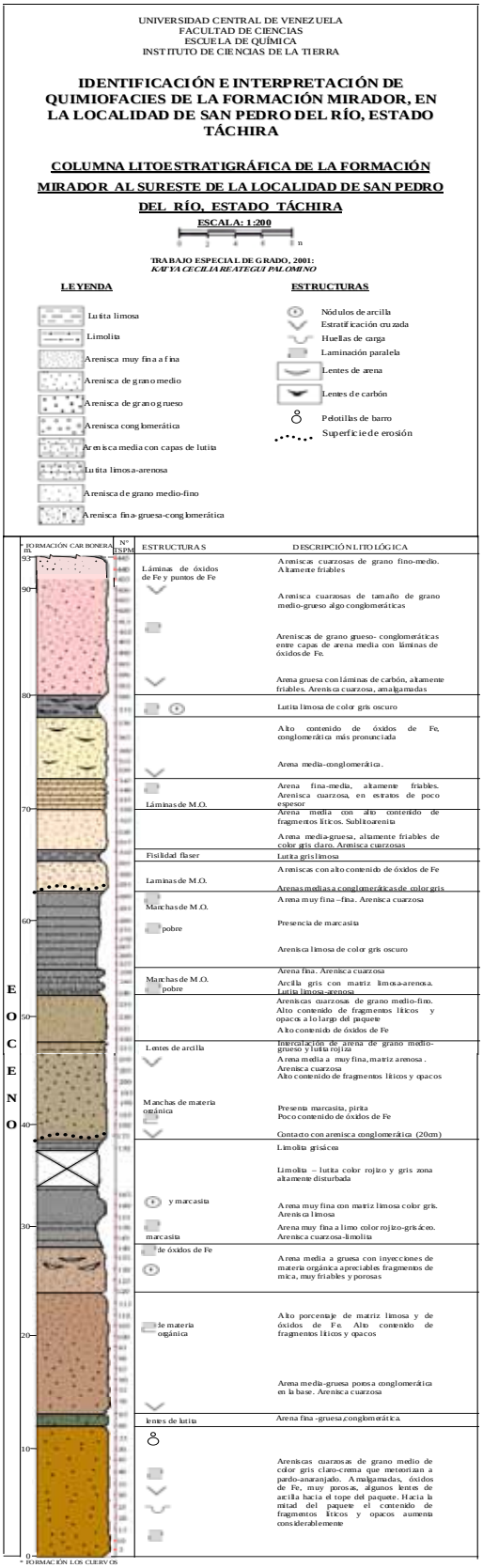
Intervalo estratigráfico comprendido entre 39m hasta 62 m (muestras TSPM175-TSPM290). Se resaltan las correlaciónes superiores a 0,800

	Si	S	Li	Rb	Cr	P	Mn	Fe	Mg	V	Cu	Ti	Y	Al	Sr	La	Ce	Ba	K
Si	1,000																		
S	-0,725	1,000																	
Li	**-0,958**	0,709	1,000																
Rb	**-0,936**	0,755	**0,955**	1,000															
Cr	**-0,852**	0,691	**0,867**	0,778	1,000														
P	**-0,859**	0,638	**0,853**	**0,813**	**0,843**	1,000													
Mn	**-0,889**	0,581	**0,864**	**0,819**	**0,888**	**0,876**	1,000												
Fe	-0,794	0,702	0,775	0,723	**0,880**	0,672	**0,814**	1,000											
Mg	**-0,899**	0,666	**0,961**	**0,938**	0,794	**0,850**	**0,814**	0,728	1,000										
V	**-0,938**	0,768	**0,946**	**0,915**	**0,949**	**0,890**	**0,913**	**0,883**	**0,897**	1,000									
Cu	**-0,843**	0,650	**0,846**	0,735	**0,883**	**0,812**	**0,850**	**0,832**	0,763	**0,895**	1,000								
Ti	**-0,915**	0,729	**0,952**	**0,973**	0,785	**0,849**	0,796	0,718	**0,963**	**0,917**	0,752	1,000							
Y	**-0,885**	0,686	**0,878**	**0,847**	**0,914**	**0,931**	**0,886**	0,798	**0,864**	**0,949**	**0,836**	**0,894**	1,000						
Al	**-0,945**	0,756	**0,981**	**0,958**	**0,853**	**0,882**	**0,830**	0,769	**0,971**	**0,949**	**0,819**	**0,977**	**0,916**	1,000					
Sr	**-0,923**	0,730	**0,930**	**0,895**	**0,917**	**0,937**	**0,895**	**0,817**	**0,919**	**0,961**	**0,852**	**0,921**	**0,961**	**0,948**	1,000				
La	**-0,932**	0,746	**0,914**	**0,910**	**0,919**	**0,920**	**0,900**	**0,829**	**0,881**	**0,977**	**0,849**	**0,916**	**0,965**	**0,931**	**0,975**	1,000			
Ce	**-0,911**	0,733	**0,882**	**0,871**	**0,922**	**0,913**	**0,916**	**0,839**	**0,831**	**0,967**	**0,865**	**0,868**	**0,946**	**0,888**	**0,960**	**0,985**	1,000		
Ba	**-0,894**	0,758	**0,944**	**0,936**	**0,836**	**0,870**	0,790	0,768	**0,972**	**0,928**	0,776	**0,966**	**0,908**	**0,980**	**0,951**	**0,924**	**0,879**	1,000	
K	-0,702	0,593	**0,814**	**0,801**	0,594	0,682	0,529	0,527	**0,914**	0,701	0,545	**0,861**	0,691	**0,856**	0,765	0,693	0,620	**0,902**	1,000

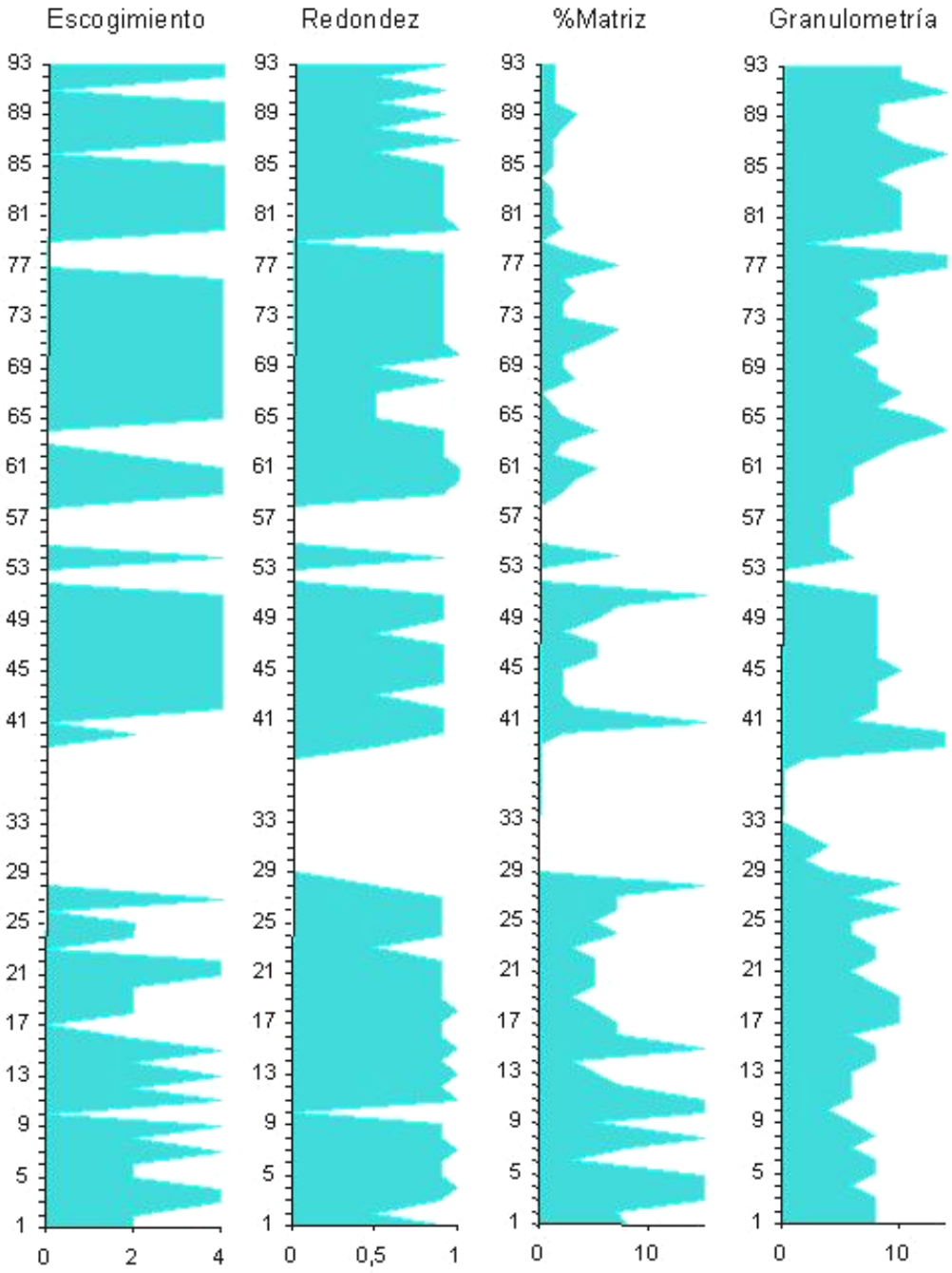
Intervalo estratigráfico comprendido entre 63m hasta el tope (93m) (muestras TSPM295-TSPM445). Se resaltan las correlaciónes superiores a 0,700

	Si	S	Li	Rb	Cr	P	Mn	Fe	Mg	V	Cu	Ti	Y	Al	Sr	La	Ce	Ba	K
Si	1,000																		
S	-0,437	1,000																	
Li	**-0,818**	0,368	1,000																
Rb	**-0,802**	0,422	**0,855**	1,000															
Cr	-0,512	-0,004	0,654	0,604	1,000														
P	**-0,862**	0,302	**0,884**	**0,823**	0,678	1,000													
Mn	-0,464	-0,069	0,523	0,519	0,688	0,520	1,000												
Fe	-0,079	0,178	0,050	0,151	0,463	0,126	0,355	1,000											
Mg	**-0,708**	0,373	**0,897**	**0,788**	0,619	**0,895**	0,413	0,026	1,000										
V	**-0,837**	0,308	**0,918**	**0,868**	**0,783**	**0,930**	0,563	0,188	**0,869**	1,000									
Cu	-0,542	0,318	0,562	0,460	0,608	0,656	0,433	0,400	0,534	0,699	1,000								
Ti	-0,616	0,042	0,677	0,631	**0,761**	**0,715**	0,527	0,221	0,638	**0,828**	0,489	1,000							
Y	**-0,726**	0,121	**0,783**	**0,763**	0,611	**0,795**	0,474	0,038	**0,760**	**0,834**	0,401	**0,806**	1,000						
Al	**-0,773**	0,244	**0,932**	**0,728**	0,694	**0,868**	0,498	-0,001	**0,855**	**0,915**	0,652	**0,708**	**0,739**	1,000					
Sr	-0,633	0,157	**0,752**	0,647	**0,705**	**0,753**	0,581	0,167	**0,743**	**0,803**	**0,718**	0,601	0,577	**0,840**	1,000				
La	**-0,820**	0,301	**0,841**	**0,891**	0,568	**0,823**	0,411	0,069	**0,773**	**0,849**	0,415	0,683	**0,831**	**0,748**	0,543	1,000			
Ce	**-0,758**	0,056	**0,811**	0,696	0,610	**0,790**	0,510	0,043	0,692	**0,844**	0,476	**0,734**	**0,773**	**0,875**	**0,710**	**0,794**	1,000		
Ba	-0,677	0,199	**0,883**	**0,737**	0,679	**0,859**	0,513	0,020	**0,880**	**0,891**	0,628	0,694	**0,717**	**0,923**	**0,889**	0,659	**0,777**	1,000	
K	-0,593	0,208	**0,828**	0,626	0,591	**0,829**	0,325	-0,054	**0,893**	**0,792**	0,497	0,604	0,678	**0,853**	**0,737**	0,595	0,672	**0,908**	1,000

Apéndice 14: Columna litoestartigráfica de la Fma. Mirador, ubicada en la localidad de San Pedro del Río, Estado-Táchira



Apéndice N° 15: Resultados del análisis textural



Granulometría: Arcilla = 0; Grava = 14

Matriz: 0-15%

Redondez: angular = 0,1; redondeado = 1

Escogimiento: mal escogido = 0; bien escogido = 4

Apéndice N° 16: Análisis cluster constrained

