

## **ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LA PETROLOGIA DE LA FORMACIÓN AMAGA**

**Inés CARMONA LOPEZ.\***

### **RESUMEN**

La secuencia sedimentaria que se conoce como Formación Amagá de edad Terciaria está constituida principalmente por rocas detríticas (areniscas, conglomerados y lutitas) en menor proporción por rocas con predominio de constituyentes químicos (micritas) y rocas organógenas representadas por mantos de Carbón.

Las rocas detríticas particularmente las areniscas son texturalmente inmaduras, están cementadas con carbonatos y son clasificadas composicionalmente según Folk (1974) dentro de la familia de las sublitharenitas. A partir de la clasificación de Dickinson y Suczek (1979) se estableció para los sedimentos una proveniencia asociada a bloques continentales y orógenos reciclados con base en lo cual se proponen como unidades fuentes: el Plutón de Amagá, la Formación Quebradagrande y el Complejo Polimetamórfico de la Cordillera Central.

El ambiente de constitución para estas rocas fue de energía alta a intermedia, pudiendo asociarse a ambientes continentales fluviales o deltáicos.

La Siderita carbonato común en todas las rocas, probablemente se generó bajo unas condiciones ambientales anóxicas no sulfhídricas, metánicas.

Las rocas presentan una historia diagenética simple que no llegó a producir cambios marcados en los caracteres petrográficos sedimentogénicos.

### **ABSTRACT**

The sedimentary rocks of the Amaga Formation of Tertiary age are conformed by sandstones, siltstones, conglomerates and coal beds.

The sandstones are immature textural, they are cemented by carbonates and they are classified in sublitharenite. Based on the classification of Dickinson and Suczek (1979), the sediments have an origin associated with recycled orogenic and continental blocks, the regional geology is represented by Amaga Granite, The Quebradagrande Formation and polymetamorphic complex of the Central Chain. The sedimentary environment was probably fluvial and deltaic.

---

\* Profesora Asociada, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, A.A 1027, Medellín.

The siderit probably was generated by environmental conditions anoxic no sulfides, metanic.

The diagenesis was easy and it was not to yield marked changes in the petrographics characters of the rocks.

## **INTRODUCCION**

El estudio de un paleoambiente sedimentario es una tarea que se basa en la información proporcionada por los productos resultantes de los procesos generadores del ambiente. Tales productos son las rocas sedimentarias, las cuales encierran un universo de datos, texturales y composicionales, que junto con las estructuras sedimentarias permiten la reconstrucción ambiental.

Las condiciones ambientales pueden resultar enmascaradas por el conjunto de procesos posdeposicionales que afectan el sedimento (procesos diagenéticos y tectónicos) razón por la cual se hace necesario efectuar el estudio detallado de las rocas para establecer tales variaciones.

Con el presente trabajo, se busca iniciar el estudio petrográfico de las rocas de la Formación Amagá; tendiente a la obtención de datos que corroboren las interpretaciones ambientales propuestas.

Las muestras analizadas son en su mayoría areniscas pertenecientes al miembro inferior. Se presenta una descripción petrográfica de las rocas y se intenta interpretar la sedimentogénesis y la historia diagenética aplicando el concepto de fases diagenéticas de Fairbridge (1967)

## **METODOLOGÍA**

El trabajo se efectuó con base en el análisis macroscópico y microscópico, de 15 muestras tomadas en dos afloramientos pertenecientes al miembro inferior de la Formación Amagá.

Las muestras 9777, 9778, 9779, 9780, 9781, 9782, 9783, 9784, 9785, fueron tomadas en un afloramiento denominado por Guzmán y Sierra, (1984) columna de Sabaletas, localizado en la carretera que conduce de la vereda la Albania a Bolombolo en el Km 42, en inmediaciones de la mina el Líbano.

La selección de éstas se hizo teniendo en cuenta en general su carácter detrítico, bajo estado de alteración y textura media a fina, con el fin de poder efectuar su estudio

microscópico. Por tal razón el muestreo de la columna no fue sistemático sino acomodado a las características de las distintas unidades. En la Fig. 1 se indican aproximadamente los puntos de muestreo.

Las muestras 9786, 9787, 9789, 9790, 9791, 9792, fueron colectadas en un afloramiento situado en la Quebrada La Naranjala localizada al SE. del municipio de Fredonia.

Los criterios utilizados para la selección de las muestras fueron los mismos empleados en la columna de Sabaletas. En la Fig. 2 se indican aproximadamente los sitios de muestreo. El carácter de aproximado obedece al hecho de que no se efectuó un levantamiento detallado de la secuencia sino que sólo se procedió a la toma de las muestras teniendo en cuenta los parámetros establecidos anteriormente. El estudio macroscópico incluyó el detalle de los rasgos físicos observados en los ejemplares de mano tales como, color, textura, grado de alteración y estructura. El color se determinó a partir de la tabla de colores de Munsell (Rock Color Chart).

El estudio microscópico incluyó el análisis de la composición, la madurez textural y fábrica diagenética tendiente a una clasificación siguiendo el esquema propuesto por Folk, (1974).

Para las rocas detríticas la composición de los clastos se efectuó por el método de conteo de puntos a razón de 250 por sección delgada, estableciéndose el porcentaje para los constituyentes principales, cuarzo, feldespatos, fragmentos de roca. En lo posible se determinó la composición prediagenética de los granos.

Las variedades de cuarzo se establecieron a partir de la clasificación propuesta por Blatt y Christie, (1963) y Folk, (1974).

Se agruparon los cuarzos según el tipo de extinción en ondulatorios o no ondulatorios observándose que los últimos son escasos ya que las rocas tienen ondulidad secundaria deformacional.

El estado de madurez textural se determinó siguiendo los criterios propuestos por Folk, (1974). El grado de selección se estableció con base en la medida de granos individuales en orden de 150 a 200 por sección.



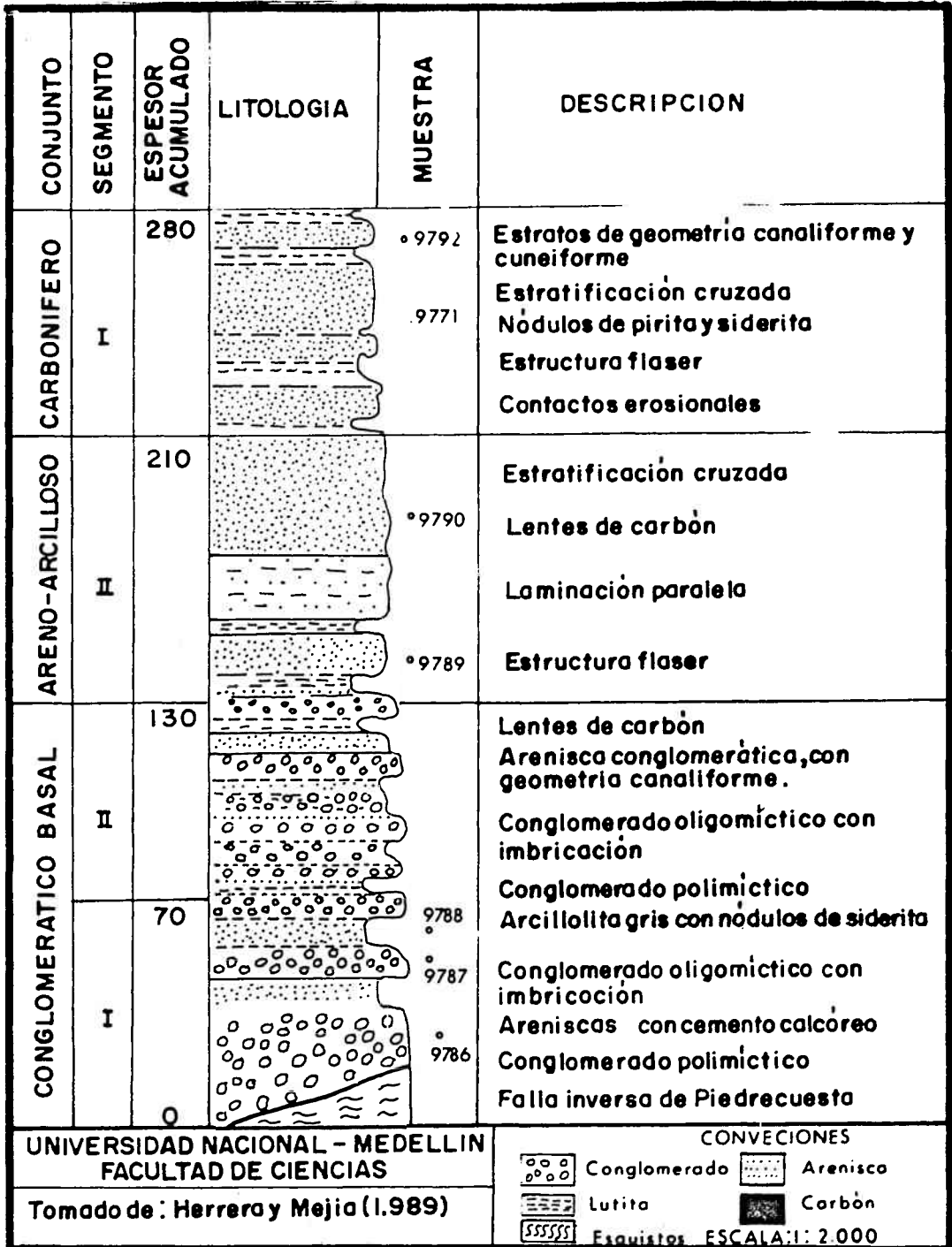


FIG. 2. Columna estratigráfica Generalizada Quebrada La Naranjala. (Tomada de Herrera y Mejía (1989)).

La redondez se obtuvo por el método de comparación a partir de las gráficas visuales de redondez de Russell y Taylor, (1937) para un número de granos igual al empleado para la determinación del tamaño.

El contenido de matriz se estimó para cada sección a partir de la densidad de empaquetamiento de los granos y los tipos de contacto entre ellos.

Dentro del análisis microscópico se incluyó además la identificación de los caracteres petrográficos diagenéticos como sobrecrecimientos, efectos de compactación mecánica (fracturamiento) tipos de contactos, cementaciones, disoluciones, precipitaciones y reemplazamientos.

## **PETROGRAFIA**

Las rocas analizadas pueden dividirse composicionalmente en dos grupos así:

- Rocas con predominio de materiales detríticos o rocas detríticas propiamente dichas.
- Rocas con predominio de constituyentes carbonatados.

### **Rocas detríticas**

Estas rocas macroscópicamente se clasifican texturalmente en el rango de arenisca conglomerática a arenisca fina, se presentan con colores que varían de gris claro (5Y6/1) a pardo amarillento (10YR4/2) producido este último por la concentración de óxidos de hierro, el cementante es carbonatado y la estructura interna homogénea.

Las características petrográficas de las rocas detríticas se encuentran tabuladas en el Anexo 1.

### **Procedencia de los constituyentes detríticos**

En las rocas analizadas los constituyentes indicativos de la naturaleza del área fuente (índices de procedencia) son el cuarzo y los fragmentos de roca.

El cuarzo unicristalino por sus características petrográficas: extinción recta a ligeramente ondulatoria, su tamaño arena, su alta esfericidad, la presencia de

inclusiones vacuolares y minerales podría atribuírsele un origen plutónico. (Blatt y Christie, (1963); Folk, (1974).

Los cuarzos policristalinos presentan extinción ondulatoria, forma generalmente alargada y cristales de micas intercristalinos lo cual permite asignarles a estos cuarzos un origen metamórfico.

Los fragmentos de rocas volcánicas básicas y sedimentarias (chert) indican un origen volcánico y sedimentario respectivamente. De la Geología Regional se tiene que en la zona afloran rocas que van desde el Paleozóico hasta el Cenozóico.

El Complejo Polimetamórfico de la Cordillera Central, Paleozóico Tardío (Restrepo y otros 1978); El plutón de Amagá, Triásico (Giraldo y Toro, 1985; Pérez, 1967); La Diorita de Pueblito, Jurásica (Toussaint y Restrepo, 1978). La Formación Quebradagrande, Cretácica (Aptiano- Albiano) (Botero, 1963). Por lo tanto es muy probable que los granos detríticos de las rocas estudiadas se hayan derivado de algunas de estas unidades.

Los cuarzos unicristalinos podrían provenir de las rocas cuarzomonzoníticas a granodioríticas del Granito de Amagá. Los cuarzos policristalinos y los fragmentos de rocas esquistosas provendrían de los esquistos de la unidad denominada Complejo Polimetamórfico de la Cordillera Central.

Los clastos representados por fragmentos de rocas volcánicas básicas y chert posiblemente se derivaron de la Formación Quebrada Grande (Volcano - Sedimentaria).

La clasificación de Dickinson y Suczek (1979), permite establecer la procedencia de los sedimentos en función de las condiciones tectónicas del área fuente.

Al plotear las muestras estudiadas en los diagramas QFL y QmFLt, propuestos por éstos autores, se encuentra que los sedimentos proceden de dos dominios de carácter tectónico: bloques continentales y orógenos reciclados. (ver Fig. 3).

El origen a partir de bloques continentales es corroborada por el hecho de que el plutón de Amagá, fue fuente de sedimentos; la composición de éste cuerpo (cuarzomonzonítica-granodiorítica), indica que corresponde a unas condiciones continentales.

La procedencia de orógenos reciclados se puede interpretar, considerando el aporte de material volcánico y sedimentario de la Formación Quebradagrande.

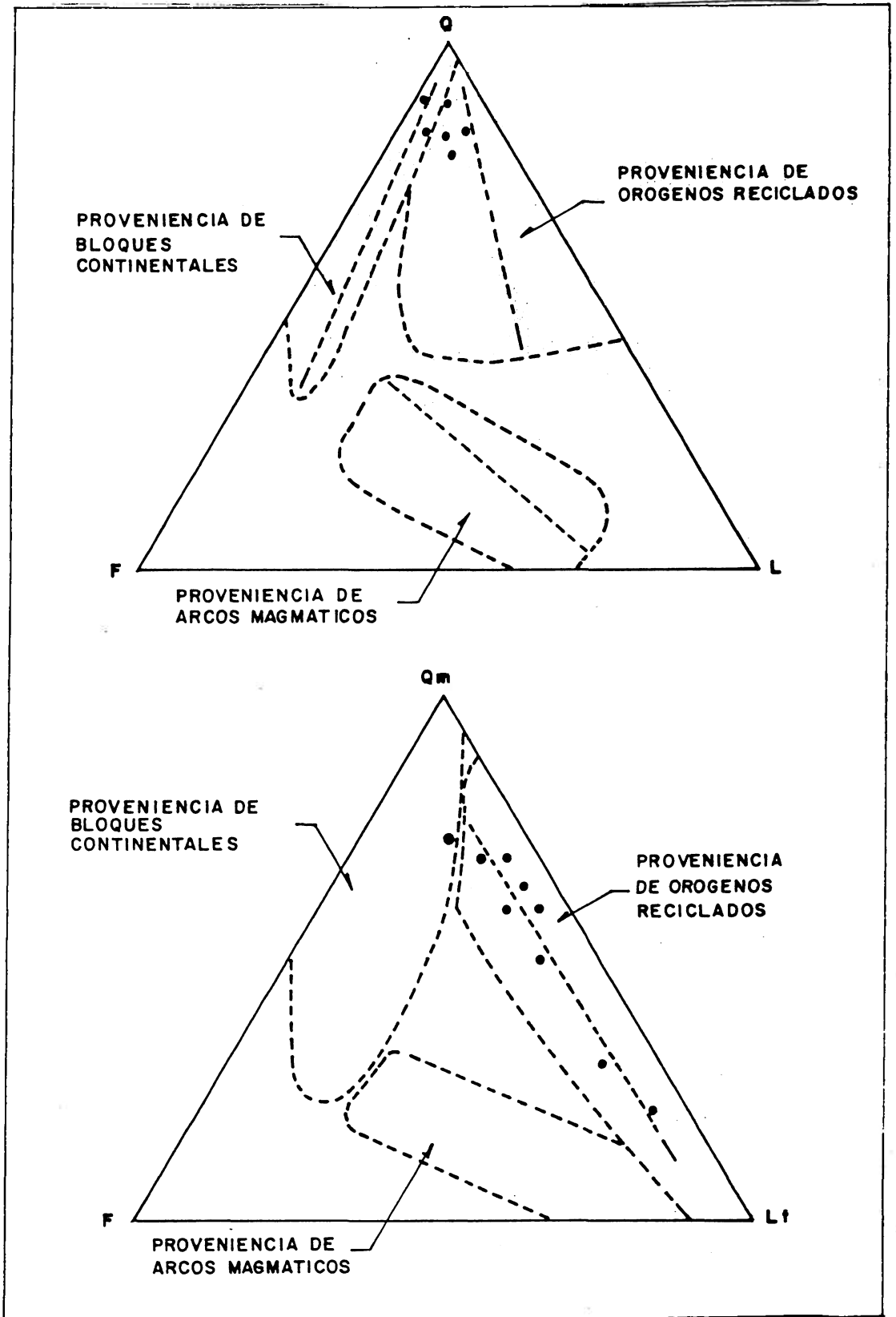


FIG. 3. Clasificación de Dickinson y Suczek (1979).



## **Sedimentogénesis**

Transporte: La inmadurez textural de las rocas indica que el transporte sufrido por las partículas sedimentarias no fue muy prolongado, constituyéndose estos por lo tanto como materiales de primer ciclo de sedimentación.

El bajo contenido de feldespatos y de constituyentes inestables podría explicarse considerando que los procesos hipergénicos fueron muy intensos, para lo cual el área fuente debió sufrir una evolución lenta favorecida por unas condiciones climáticas fuertes (húmedas y cálidas) y bajo unas condiciones tectónicas estables en una zona de relieve suave (Folk, 1974).

Lo anterior podría corresponderse dado que a partir del Eoceno la zona comprendida entre el flanco occidental de la Cordillera Central y del Valle del río Cauca conocida como la depresión del Río Cauca se convierte en una región de actividad tectónica mas suave ya que la acreción de la Cordillera Occidental al continente sudamericano permitió al conjunto actuar de manera mas unida. Durante el Eoceno y el Oligoceno los movimientos son esencialmente tensionales con formación de grabenes o semigrabenes (Toussaint, 1978). En estas depresiones se depositan los sedimentos (continentales) de la Formación Amagá datados del Oligoceno - Mioceno temprano (Campuzano, 1.977), o del Eoceno Medio a Oligoceno (Escobar y Roza, 1984).

La singénesis se produjo en un ambiente caracterizado por unas condiciones dinámicas de energía alta a intermedia en un medio poco viscoso y muy fluido. Estas condiciones son evidenciadas por la separación neta de tamaños y la relativa escasez de material finogranular.

Las anteriores condiciones caracterizan diferentes medios sedimentarios entre los que se pueden mencionar el eólico, el fluvial, el deltáico, etc.

Con base en los estudios efectuados sobre los paleoambientales de la Formación Amagá, la deposición de los sedimentos estaría asociada a medios continentales, fluviales y deltáicos (Campuzano, 1977, Delsahut y Tejada, 1982, Guzmán y Sierra, 1984, Guzmán, 1991).

## **ROCAS CON PREDOMINIO DE CONSTITUYENTES QUÍMICOS**

Dentro de éste grupo se incluyen rocas que se encuentran íntimamente relacionadas con las rocas detríticas de las

secuencias, no fue posible en el campo separarlas dado que están asociadas con areniscas finas a muy finas.

Macroscópicamente se presentan de color oscuro 5YR 3/4 (Pardo) y 5Y 4/1 (gris oliva), masivas, con estructura homogénea y fractura concoidea.

Las rocas de este grupo proceden de la columna de Sabaletas y fueron tomadas de niveles arenosos (areniscas finas a muy finas) lo que podría llevar a suponer que tales rocas corresponderían a concentraciones de carbonatos dentro de las areniscas producidas por procesos diagenéticos de precipitación (Fig. 4).

Las características petrográficas y la clasificación de las rocas se encuentran tabuladas en el Anexo 2.

### **Ambiente de generación de los constituyentes químicos**

Berner, (1981) propuso una clasificación geoquímica de los ambientes sedimentarios basada en la presencia o ausencia de oxígeno disuelto y sulfuro disuelto en los sedimentos al momento de la formación de minerales autógenos.

Los ambientes son divididos en: Ambientes óxicos y anóxicos dependiendo de la presencia o ausencia de oxígeno disuelto medible.

Los ambiente anóxicos se dividen en: ambiente sulfhídrico y ambiente no sulfhídrico dependiendo de la presencia de ( $H_2S$ ) disuelto medible.

Los ambientes anóxicos no sulfhídricos son divididos en: post-óxicos y metánicos.

Los post-óxicos son resultantes de la remoción de oxígeno sin remoción de sulfato.

Los metánicos son resultantes de una completa reducción de sulfatos con formación consecuente de metano.

Los anteriores ambientes pasan sucesivamente de uno a otro durante las etapas diagenéticas tempranas en el siguiente orden: óxico, post-óxico, sulfhídrico y metánico.

La tabla 1, muestra los minerales autógenos de hierro y manganeso característicos y estables en cada ambiente.

**TABLA 1.** Clasificación geoquímica de los ambientes sedimentarios con los minerales autígenos característicos de cada ambiente (tomada de Berner, 1981).

| AMBIENTE   | FASES MINERALES CARACTERISTICAS  |
|--|--|
| I. Oxico ( $\text{CO}_2 \geq 10^{-6}$ )  | Hematita, goethita, Minerales del tipo $\text{MnO}_2$<br>Sin materia orgánica.   |
| II. Anóxico ( $\text{CO}_2 < 10^{-6}$ )<br>A. Sulfhídrico ( $\text{CH}_2\text{S} \geq 10^{-6}$ ) | Pirita, marcasita, rodocrosita, alabandita.<br>Materia orgánica.   |
| B. No sulfhídrico<br>( $\text{CH}_2\text{S} < 10^{-6}$ )<br>1-Post-óxico<br><br>2- Metánico      | Glauconita y otros silicatos de hierro.<br>Siderita, vivianita, rodocrosita.<br>Sin sulfuros.<br>Materia orgánica poca.<br><br>Siderita, vivianita, rodocrosita, minerales sulfurosos de formación anterior, materia orgánica. |

Con base en la tabla anterior se puede plantear para la siderita y la materia orgánica presentes en las rocas tanto detríticas como químicas, unas condiciones de formación correspondientes a un ambiente anóxico -no sulfhídrico probablemente metánico; teniendo en cuenta además que la siderita no es estable en ambientes óxicos ni sulfhídricos. (Berner, 1981).

En la escala de Teodorovitch (tomada de Mingarro y Ordoñez, 1982) (ver tabla 2). en la que se definen los medios por su potencial de oxidación - reducción; la siderita se encuentra asociada a medios débilmente reductores asociada con vivianita y ankerita y a medios reductores asociada con pirita.

La Formación de siderita y vivianita en ambientes anóxicos no sulfhídricos y metánicos parece estar asociada a sedimentos no marinos ya que para la generación de estos minerales todo el sulfato puede ser removido del agua intersticial por reducción bacteriana.

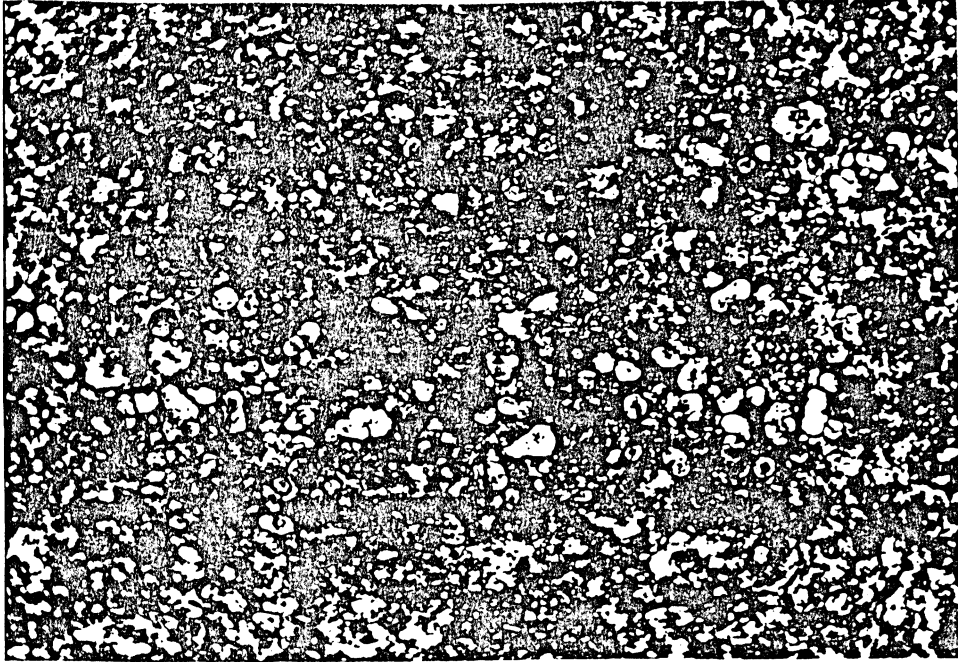


Fig. 4. Microfotografía de la sección 9777 (296x, nicoles paralelos) (1006x, nicoles paralelos). Correspondiente a una roca micrítica con estructuras globulares distribuidas al azar.

**TABLA 2.** Escala de Teodorovitch definiendo los medios por su potencial Redox según los minerales presentes. (tomado de Mingarro y Ordoñez, 1982.).

| MEDIOS - _REDOX     | MINERALES CARACTERISTICOS         | VALOR APROXIMADO DE pH |
|---------------------|-----------------------------------|------------------------|
| Oxidante            | Limonita<br>Hematita<br>Goethita  | 5-7                    |
| Débilmente oxidante | Glauconita                        | 8-6,6                  |
| Neutro              | Leptocloritas                     | 8-6,6                  |
| Débilmente reductor | Siderita<br>Ankerita<br>Vivianita | 8-6,5                  |
| Reductor            | Siderita<br>Pirita                | 8-6,5                  |
| Muy reductor        | Pirita<br>Marcasita               | 5-7                    |

Esto ocurre más fácilmente en aguas frescas porque la concentración inicial de sulfato en éstas al momento del enterramiento está por debajo del promedio de la concentración encontrada en las aguas marinas, en las que es del orden del uno por ciento. Por lo tanto los minerales metánicos y el metano pueden encontrarse mas abundantemente en sedimentos no marinos. (Boog, 1987).

Las posibles condiciones ambientales de generación de la siderita corroboran las interpretaciones ambientales dadas por los distintos autores, para las rocas de la Formación Amagá como asociadas a ambientes continentales, fluviales y deltáicos (Campuzano, 1977, Delsahut y Tejada, 1982, Guzmán y Sierra, 1984, Guzmán, 1991),

Los Carbonatos que se encuentran como esparita y micrita cuya composición no fue exactamente determinada en el presente trabajo, pudieron igualmente generarse bajo las condiciones ambientales propuestas, pues la precipitación inorgánica del carbonato de calcio al menos en sedimentos recientes, experimentalmente ha sido demostrado que no ocurre en condiciones naturales en aguas marinas (Boog, 1987).

## **DIAGENESIS**

Los procesos diagenéticos juegan un importante papel en las características finales de las rocas sedimentarias, la interpretación de la historia singenética (transporte y depositación) precisa del reconocimiento de los distintos rasgos primarios (texturas, estructuras y composición) generadas como resultado de los procesos sedimentogenéticos y de los rasgos secundarios resultantes de los procesos diagenéticos (fábricas petrográficas).

En las rocas analizadas de la Formación Amagá se identificaron elementos texturales y composicionales que reflejan la diagénesis en sus diferentes etapas.

En las rocas detríticas se observa un empaquetamiento apretado de los granos, evidente a partir de los tipos de contactos presentes, lineales, puntuales y cóncavo - convexos. (Fig. 5), además en su mayoría se presentan deformados, las partículas micáceas flexionadas así como los cuarzos microfracturados.

Los espacios entre los granos y la matriz se encuentran rellenos por carbonato micrítico, esparítico y/o globular.

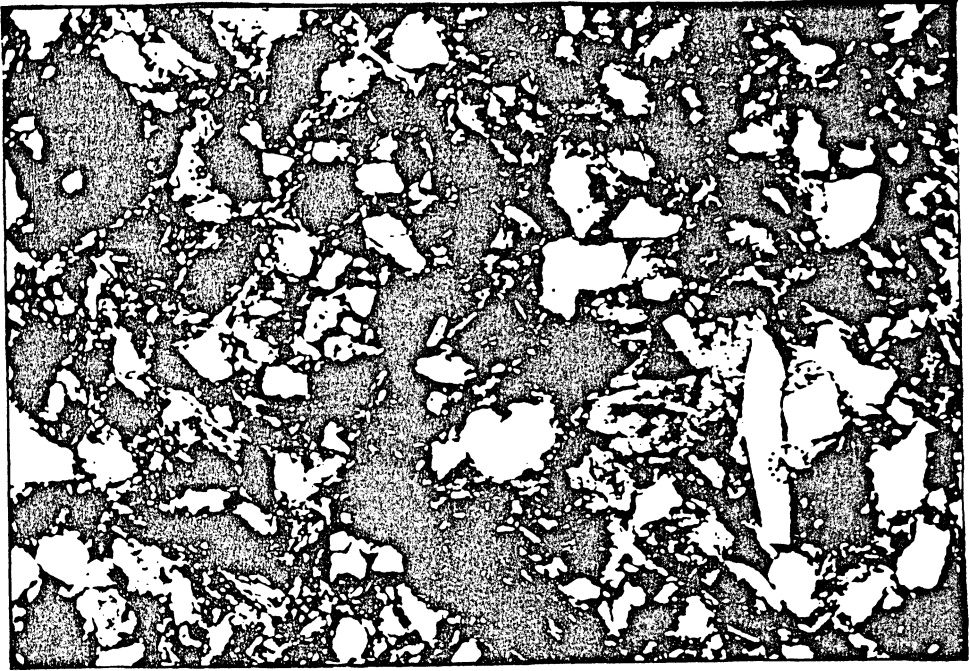


FIG.5. Microfotografía de la sección 9789 (1006x, nicoles cruzados) diferentes tipos de contactos: A. puntuales. B. lineales. C. cóncavo - convexas. Se observa además la matriz detrítica.

Es frecuente observar las microfracturas de los granos rellenas por carbonato en continuidad óptica con el carbonato de los poros.

Se presenta solución parcial y reemplazamiento de la plagioclasa y el cuarzo por carbonato, observándose en los granos manchas o parches irregularmente distribuidos.

En la matriz de las rocas es frecuente la presencia de sericita y a lo largo de las márgenes de los granos es frecuente también encontrar la moscovita en cristales. Estos minerales podrían haberse generado a partir de reacciones con intercambio de iones y de reemplazamiento entre minerales arcillosos. (Corrales y otros, 1977)

Los rasgos referenciados pueden interpretarse siguiendo a Fairbridge (1.967) quien divide la diagénesis en tres etapas: La sindiagénesis o etapa de sedimentación, la anadiagénesis o etapa de maduración y compactación, y la epidiagénesis o etapa pre-erosiva (Corrales y otros 1977).

## **La Sindiagénesis**

Esta fase comienza al momento de la sedimentación y se caracteriza por la gran cantidad de fluido intergranular y su lenta expulsión, así como por su alto contenido de materia orgánica, prevaleciendo unas condiciones oxidantes.

En la etapa de enterramiento temprano las condiciones son reductoras, siendo característica la reducción de sulfatos a sulfuros. La disminución de  $\text{CO}_2$  permite la precipitación de carbonato cálcico (Corrales y otros, 1.977).

Para las rocas estudiadas la sindiagénesis estuvo representada probablemente por la precipitación del cemento carbonatado.

## **La Anadiagénesis**

Es la etapa en que se compacta el sedimento es característico de la anadiagénesis la compactación con expulsión de fluido, los fenómenos de solución, precipitación que incluyen la cementación, el reemplazamiento y el metasomatismo a bajas temperaturas, además procesos de intercambio de iones asociados con minerales arcillosos y micáceos (Corrales y otros, 1977).

La anadiagénesis en las muestras analizadas comprometió los distintos elementos texturales de las rocas (granos, matriz y cemento).

Las alteraciones de la matriz implicaron en gran medida reacciones de intercambio de iones y de reemplazamiento entre minerales arcillosos, evidenciadas por la formación de sericita que se encuentra constituyendo la matriz de las rocas y de la moscovita encontrada en cristales a los largo de las márgenes de los granos.

Durante ésta etapa el carbonato micrítico debió recrystalizar gradualmente para convertirse en esparrítico. Probablemente también durante esta fase se formaron por precipitación los carbonatos globulares presentes, tanto en las rocas detríticas como en las rocas químicas.

La alteración más notoria en los granos corresponde a la solución parcial y reemplazamiento de plagioclasa y cuarzo por carbonato, provocados probablemente por el aumento de temperatura y del pH durante el progresivo enterramiento (Bogg, 1987).

La solución de los granos y el reemplazamiento por carbonato pudo ocurrir de la siguiente manera:

1. Reemplazamiento parcial del grano con manchas o parches irregularmente distribuidos (Fig. 6).
2. Reemplazamiento a lo largo de fracturas intergranulares (Fig. 7).



FIG. 6. Microfografía de la sección 9791 (1006x, nicoles cruzados). Se observa un reemplazamiento grande del grano de feldespatos por carbonato con manchas o parches irregularmente distribuidos.

Los tipos de contactos encontrados en las rocas estudiadas y que en orden de abundancia son: Puntuales, lineales, y cóncavo-convexos indican para las rocas una historia diagenética deformacional poco intensa.

### **La Epidiagénesis**

La epidiagénesis es la fase emergente, preerosiva e incluye aquellos cambios que ocurren cuando el agua meteórica vuelve a entrar en contacto con la roca, el aporte de oxígeno y anhídrido carbónico de estas aguas hacen aparecer condiciones oxidantes y variaciones en el pH (Corrales y otros, 1977).



Durante esta fase se produjo la oxidación parcial de la siderita presente en las rocas estudiadas.

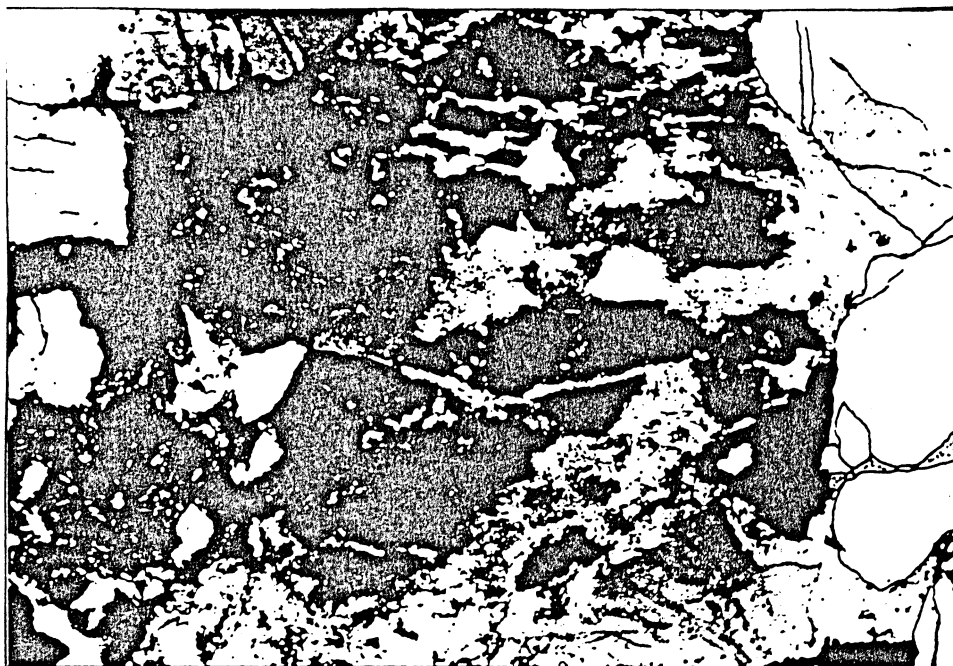


FIG. 7. Microfotografía de la sección 9791 (1006x, nicoles cruzados). Se presenta un reemplazamiento de cuarzo por carbonato a lo largo de fracturas intergranulares.

### **IMPORTANCIA DE LOS CAMBIOS DIAGENETICOS**

Considerando los distintos cambios diagenéticos ocurridos a las rocas durante las distintas fases diagenéticas puede plantearse que dichos cambios no produjeron marcadas modificaciones sobre los caracteres originales de los sedimentos en cuanto a la textura detrítica (madurez textural) y la composición de las partículas, pero sí un efecto modificador en cuanto a la naturaleza de la matriz (micácea) la textura del cemento original y la formación de los carbonatos globulares.

### **CONCLUSIONES**

1. La composición de las rocas detríticas corresponde a la familia de las sublitarenitas.
2. La madurez textural de las rocas es en general baja, lo que refleja una evolución corta de los materiales.

3. El cementante común a todas las rocas es de naturaleza calcárea.
4. Las unidades fuentes de los sedimentos serian: El plutón de Amagá, la Formación Quebradagrande, El Complejo Polimetamórfico de la Cordillera Central.
5. El ambiente de sedimentación se caracterizó por unas condiciones continentales asociadas probablemente a dominios fluviales y deltáicos.
6. Las rocas carbonatadas se clasifican texturalmente como micritas.
7. El ambiente diagenético bajo el cual se generaron carbonatos particularmente la siderita correspondió posiblemente a un ambiente anóxico, no-sulfhídrico, metánico.

## **BIBLIOGRAFIA**

- BERNER, R. A., 1981. A new geochemical classification of sedimentary environments. Jour. Sedimentary Petrol. 51:359-365.
- BLATT, H. AND CHRISTIE, J. M., 1963. Ondulatory extinction in quartz of igneous and metamorphic rocks and its significance in provenance studies in Sedimentary Rocks. Jour sed. petrol. 33: 559-579.
- BOTERO, G., 1963. Contribución al conocimiento de la Geología de la zona Central de Antioquia. Anales de la Facultad de Minas. Medellín: (57) 169-170.
- BOOG. J. R. SAM., 1987. Principles of sedimentology and stratigraphy, Merrill Publ. Comp. Columbus, Ohio: 771p.
- CAMPUZANO, J., 1977. Facies en los pisos inferior y medio del Terciario Carbonífero. Titiribí Antioquia, Bol. de Ciencias de la Tierra. Med. 2:123-146
- CORRALES, I., 1977. Estratigrafía. Madrid, Rueda: 718p.
- DELSAHUT, B. y TEJADA, E., 1982. Utilización de análisis litoestratigráficos detallados para correlación de mantos de carbón en la Formación Amagá, Antioquia. IV Cong. Col. Geol., Cali: 8p.

DICKINSON. y SUCZEK, C., 1979. A. Plate tectonics and Sandstone Composition. Bul. Am. Asoc. Petro. Geol. 63: 2164-2182.

ESCOBAR, E. y ROZO, T., 1984. Investigación palinológica de la Formación Amagá. Tesis de grado, Ing. Geol. Univ. Nal. Fac. de Minas. Medellín: 180p.

FOLK, R., 1974. Petrology of sedimentary Rocks. Hemphill Publ. Co. Austin: 181p.

GIRALDO, B. y TORO, L., 1985. Cartografía detallada del stock de Amagá. Tesis de grado Ing. Geol. Univ. Nal. Fac. de Minas, Medellín: 200p.

GUZMAN, C. y SIERRA, G., 1984. Ambientes sedimentarios en la Formación Amagá. Tesis de grado, Ing. de Geología. Univ. Nal., Fac. de Minas. Medellín: 303p.

GUZMAN, C. A., 1991. Condiciones de depositación de la Formación Amagá entre Amagá y Angelópolis. Tesis de Posgrado en Ciencia y Técnica del Carbón. Univ. Nal. Fac. de Minas. Medellín: 213p.

HERRERA, H. M. y MEJIA, J. C., 1989. Estudio geomorfológico y estructural de la cuenca del río Poblano. Tesis de grado Ing. de Geol. Univ. Nal. Fac. de Minas, Medellín: 253p.

MINGARRO, F. y ORDOÑEZ, S., 1982. Petrología exógena I. Editorial Rueda Madrid: 387p.

PEREZ, G., 1967. Determinación de la edad absoluta de algunas rocas de Antioquia por métodos radioactivos. Revista Dyna. Fac. de Minas. Medellín: (84). pp 27-31.

RESTREPO, J. J., 1978. Datación de metasedimentos del Grupo Ayurá-Montebello. Publ. Esp. de Geología. No. 10. Facultad de Ciencias, Univ. Nal. Medellín: 5p.

TOUSSAINT, J. F., 1978. Grandes rasgos geológicos de la parte septentrional del Occidente Colombiano. Bol. Ciencias de la Tierra. Univ. Nal., Medellín: (3). 231p.

ANEXO 1. PETROGRAFIA MICROSCOPICA

| No. de muestra | Unidad Estratigráfica | Localidad           | Micras    | Tamaño de granos Clasi. textural | Estimación de Matriz | Selección | Redondez (1) | Madurez text. | Cemento    | Composición según Folk (1974) (2) |    |    |                | Clasific. de los cuartzos según su extinción(3) |    |    |
|----------------|-----------------------|---------------------|-----------|----------------------------------|----------------------|-----------|--------------|---------------|------------|-----------------------------------|----|----|----------------|---|----|----|
|                |                       |                     |           |                                  |                      |           |              |               |            | Q                                 | F  | L  | Clasif. Campos | N   | LO | FO |
| 9786 (M01)     | Miembro inf.          | Quebr. La Naranjala | 250-2.000 | Arenisca media a muy gruesa      | Mayor 5%             | Moderada  | SR-R         | Inmadura      | Carbonatos | 78                                | 10 | 12 | Sublarenita    | 10  | 75 | 15 |
| 9787 (M02)     | Miembro inf.          | Quebr. La Naranjala | 1.000-500 | Arenisca gruesa                  | Menor 5%             | Buena     | SA-SR        | Inmadura      | Carbonatos | 80                                | 5  | 15 | Sublarenita    | 15  | 65 | 20 |
| 9789 (M04)     | Miembro inf.          | Quebr. La Naranjala | 125-62    | Arenisca muy fina                | Mayor 5%             | Moderada  | SA-SR        | Inmadura      | Carbonatos | 76                                | 10 | 14 | Sublarenita    | 10  | 80 | 10 |
| 9790 (M05)     | Miembro inf.          | Quebr. La Naranjala | 500-250   | Arenisca media                   | Mayor 5%             | Moderada  | SA-SR        | Inmadura      | Carbonatos | 78                                | 5  | 17 | Sublarenita    | 8   | 80 | 12 |
| 9791 (M06)     | Miembro inf.          | Quebr. La Naranjala | 1.000-500 | Arenisca gruesa                  | Mayor 5%             | Moderada  | SA-SR        | Inmadura      | Carbonatos | 80                                | 10 | 10 | Sublarenita    | 10  | 75 | 15 |
| 9792 (M07)     | Miembro inf.          | Quebr. La Naranjala | 250-125   | Arenisca fina                    | Mayor 5%             | Moderada  | SA           | Inmadura      | Carbonatos | 80                                | 10 | 15 | Sublarenita    | 20  | 75 | 5  |
| 9778 (SED03)   | Miembro inf.          | Sabaletas           | 125-62    | Arenisca muy fina                | Mayor 5%             | Moderada  | SA-SR        | Inmadura      | Carbonatos | 80                                | 5  | 15 | Sublarenita    | 10  | 70 | 20 |
| 9785 (SED07)   | Miembro inf.          | Sabaletas           | 500-250   | Arenisca de media a gruesa       | Mayor 5%             | Moderada  | SA-SR        | Inmadura      | Carbonatos | 80                                | 5  | 15 | Sublarenita    | 20  | 55 | 25 |
| 9784 (SED08)   | Miembro inf.          | Sabaletas           | 1.000-500 | Arenisca gruesa                  | Mayor 5%             | Moderada  | SA-SR        | Inmadura      | Carbonatos | 85                                | 5  | 10 | Sublarenita    | 20  | 60 | 20 |
| 9781 (SED06)   | Miembro inf.          | Sabaletas           | 500-125   | Arenisca media a fina            | Mayor 5%             | Mala      | SA-SR        | Inmadura      | Carbonatos | 75                                | 15 | 10 | Sublarenita    | 25  | 60 | 15 |

NOTAS

- (1) SR: Subredondeado  
SA: Subangular
- (2) Folk (1974)  
Q Cuarzo monocristalino + cuarzo policristalino + metacuarcita  
F Feldespato + plagioclasa + fragmentos de granito y neis  
L Fragmentos de roca incluido el chert
- (3) Tipos de extinción  
N Extinción neta  
LO Extinción levemente ondulataria  
FO Extinción fuertemente ondulataria
- (4) Dickinson (1979)  
Gm Cuarzo monocristalino  
Qp Cuarzo policristalino + chert + cuarcita  
Q Om + Qp  
P Plagioclasa  
K: Feldespato potásico  
F: P + K  
Lv Líticos volcánicos  
Lm Líticos metamórficos  
L: Lv + Ls (Lm)  
L: L + Qp

ANEXO 1. PETROGRAFIA MICROSCOPICA (Continuación).

| No. de muestra | Inclusiones de los cuartzos | Compos según Dickinson (1979) (4) |    |    |     | Clasific. Kackinson 1979 (Recalculados al 100%) |   |    |        |    |    |    |    |    |
|----------------|-----------------------------|-----------------------------------|----|----|-----|---|---|----|--------|----|----|----|----|----|
|                |                             | Gm                                | Qp | F  | L   | Q   | F | L  | Om F L |    |    |    |    |    |
| 9786 (M01)     | Vacuolares - Mineralos      | 30                                | 50 | 80 | 6-4 | 10  | 3 | 7  | 10     | 60 | 10 | 30 | 10 | 60 |
| 9787 (M02)     | Vacuolares - Mineralos      | 20                                | 70 | 90 | 5-3 | 8   | 2 | 0  | 2      | 72 | 90 | 8  | 2  | 8  |
| 9789 (M04)     | Vacuolares - Mineralos      | 60                                | 20 | 80 | 3-2 | 5   | 3 | 12 | 15     | 35 | 80 | 5  | 15 | 60 |
| 9790 (M05)     | Vacuolares - Mineralos      | 60                                | 25 | 85 | 6-4 | 10  | 2 | 3  | 5      | 30 | 85 | 10 | 5  | 60 |
| 9791 (M06)     | Vacuolares - Mineralos      | 60                                | 30 | 80 | 6-4 | 10  | 2 | 8  | 10     | 40 | 80 | 10 | 10 | 40 |
| 9792 (M07)     | Vacuolares - Mineralos      | 70                                | 20 | 90 | 3-2 | 5   | 2 | 3  | 5      | 25 | 90 | 5  | 70 | 5  |
| 9778 (SED03)   | Vacuolares - Mineralos      | 65                                | 15 | 80 | 3-2 | 5   | 4 | 11 | 15     | 30 | 80 | 5  | 15 | 65 |
| 9785 (SED07)   | Vacuolares - Mineralos      | 75                                | 10 | 85 | 4-1 | 5   | 4 | 6  | 10     | 20 | 85 | 5  | 10 | 75 |
| 9784 (SED08)   | Vacuolares - Mineralos      | 20                                | 65 | 85 | 3-2 | 5   | 3 | 7  | 10     | 75 | 85 | 5  | 10 | 20 |
| 9781 (SED06)   | Vacuolares - Mineralos      | 70                                | 15 | 85 | 4-5 | 9   | 2 | 4  | 6      | 21 | 85 | 9  | 6  | 70 |

**ANEXO 2. Petrografía microscópica de las Rocas con predominio de constituyentes químicos.**

| No de Muestra.   | Unidad Estratigráfica | Localidad | Textura |     |           | Clas.     |
|------------------|-----------------------|-----------|---------|-----|-----------|-----------|
|                  |                       |           | Al      | Esp | Mic Text. |           |
| 9777<br>(Sed 01) | Miembro Inferior.     | Sabaletas | 0       | 0   | 100       | Micrítica |
| 9782<br>(Sed 6A) | Miembro Inferior.     | Sabaletas | 0       | 0   | 100       | Micrítica |
| 9780<br>(Sed 05) | Miembro Inferior.     | Sabaletas | 0       | 0   | 100       | Micritica |

**ANEXO 2. Petrografía Microscópica de las rocas con predominio de constituyentes químicos. (Continuación)**

| No de Muestra  | Composición |            | Clasificación según Folk (!974)      |
|----------------|-------------|------------|--------------------------------------|
|                | Carbonato   | Czo Detrit |                                      |
| 9777 ( Sed 01) | 90          | 10         | Micrita cuarzosa                     |
| 9782 (Sed 06A) | 100         | 0          | Micrita parcialmente recristalizada  |
| 9780 (Sed 05)  | 100         | 0          | Micrita parcialmente recristalizada. |

