

**ESTRATIGRAFÍA Y PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS DE LA  
SECUENCIA QUEBRADA LA NARANJALA – MUNICIPIO DE  
FREDONIA MIEMBRO INFERIOR DE LA FORMACIÓN AMAGÁ.**

JORGE ESTEBAN HENAO BETANCUR

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de geólogo

Asesora: Ing. Geóloga – MSc. Gloria María Sierra Lopera

MEDELLÍN  
UNIVERSIDAD EAFIT  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA  
2012

*"No Te Quasiveris Extra"*

*Ralph Waldo Emerson*

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
1. OBJETIVO.....	3
2. JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE DEL PROYECTO.....	4
3. LOCALIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO.....	5
4. MARCO REGIONAL.....	8
4.1 GEOLOGÍA REGIONAL.....	8
4.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	9
4.3 GEOLOGÍA LOCAL – FORMACIÓN AMAGÁ.....	11
5. METODOLOGIA.....	15
5.1 TRABAJO DE CAMPO.....	15
5.2 PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS Y DESCRIPCIÓN DE LA SECUENCIA ESTRATIGRAFICA.....	16
6. CARACTERIZACIÓN E INTERPRETACIÓN DE LA SECCIÓN QUEBRADA LA NARAJALA.....	17
6.1 INTERPRETACIÓN DE AMBIENTES SEDIMENTARIOS.....	21
6.1.1 SEGMENTO 1.....	21
6.1.2 SEGMENTO 2.....	23
6.1.3 SEGMENTO 3.....	23
6.1.3 SEGMENTO 4.....	25
6.2 SÍNTESIS PALEOAMBIENTAL.....	25
7. CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA DE LAS ARENISCAS.....	31
7.1 SEGMENTO 1.....	32
7.2 SEGMENTO 2.....	33
7.3 SEGMENTO 3.....	35
7.4 SEGMENTO 4.....	35
8. DIAGÉNESIS.....	38
9. PROVENIENCIA DE LOS SEDIMENTOS.....	41
10. ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN LA SECCIÓN QUEBRADA LA NARANJALA.....	44

11. CONCLUSIONES .....	48
REFERENCIAS .....	50



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del Área de Estudio.....	6
Figura 2. Área de estudio.....	7
Figura 3. Mapa geológico de la zona de estudio.....	10
Figura 4. Estructuras regionales del Noroccidente Colombiano .....	11
Figura 5. Mapa Geológico del área de estudio (Eafit – ANH, 2011). .....	12
Figura 6. Metodología aplicada en el presente estudio.....	15
Figura 7A y 7B. Contacto erosivo entre Esquistos Negros y la sección sedimentaria La Naranjala .....	17
Figura 8. Esquistos Negros (Metasedimentitas de la Sinifaná).....	18
Figura 9. Zona de falla .....	18
Figura 10. Afloramiento sobre la Quebrada La Naranjala .....	19
Figura 11. Puntos GPS sobre la Quebrada La Naranjala .....	19
Figura 12. Sección Estratigráfica La Naranjala .....	20
Figura 13. Segmento 1 secuencia Quebrada La Naranjala .....	22
Figura 14. Segmento 2 secuencia Quebrada La Naranjala .....	24
Figura 15. Segmento 3 secuencia Quebrada La Naranjala .....	26
Figura 16. Segmento 4 secuencia Quebrada La Naranjala .....	27
Figura 17. Ambientes sedimentarios de la sección Quebrada La Naranjala.....	28
Figura 18. Correlación de la sección La Naranjala dentro de secuencia estratigráfica general del Miembro Inferior de la Formación Amagá.....	30
Figura 19. Diagrama composicional de las areniscas de la sección Quebrada La Naranjala.....	31
Figura 20. Secciones delgadas del segmento 1 de la sección Quebrada La Naranjala .....	33

Figura 21. Secciones delgadas del segmento 2 de la sección Quebrada La Naranjala .....	34
Figura 22. Secciones delgadas del segmento 3 de la sección Quebrada La Naranjala .....	36
Figura 23. Secciones delgadas del segmento 4 de la sección Quebrada La Naranjala .....	37
Figura 24. Características diagenéticas de la sección Quebrada La Naranjala.....	39
Figura 25. Características diagenéticas de la sección Quebrada La Naranjala.....	40
Figura 26. Relación generalizada entre la diagénesis y enterramiento/temperatura observado en las areniscas de la sección Quebrada La Naranjala.....	40
Figura 27. Proveniencias de los sedimentos en la sección Quebrada La Naranjala .....	42
Figura 28. Evolución geológica de la Cuenca Amagá durante la depositación de la Formación Amagá y su correlación con la sección La Naranjala .....	43
Figura 29. Localización de cortes geológicos .....	45
Figura 30. Cortes Geológicos. ....	46
Figura 31. Estructura sinclinal (?) sobre la quebrada La Naranjala .....	47

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Porcentajes Composicionales de las areniscas de la sección Quebrada La Naranja.....	32
--	----

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Sección Estratigráfica Quebrada La Naranjala (Escala 1:100).....	53
---	----

## RESUMEN

Pese al incremento de los trabajos realizados sobre la Formación Amagá en los últimos años la información se concentra en las áreas de mayor explotación de carbón siendo La Quebrada La Naranja un punto en donde dicha explotación no ha sido reportada. La sección Quebrada La Naranjala presenta una sucesión de facies sedimentarias continuas de bases a techo correspondientes a ambientes fluviales continentales intermedios entre ríos trezados y meándricos hacia la base y ambientes fluviales de ríos meándricos sinuosos hacia el techo. Estratigráficamente la secuencia La Naranjala es concordante entre las Unidades 1 y 2 definidas por Silva y Sierra (2008), correspondientes al Miembro Inferior de la Formación Amagá. Las características diagenéticas de la sección Quebrada La Naranjala sugieren temperaturas entre 80°C - 130°C y un enterramiento somero aproximadamente entre 2,7km – 3,5km. Sin embargo en base a la clasificación de los carbones (bituminosos), los enterramientos corresponderían a profundidades y temperaturas mayores, este fenómeno puede ser explicado por el efecto térmico sobre la materia orgánica por parte de pórfidos intrusivos de la Formación Combia. Los análisis composicionales de las secciones delgadas pertenecientes a las areniscas sugieren las siguientes áreas fuentes: hacia la base y parte media de la sección, las áreas fuentes son posiblemente el Stock de Amagá y el complejo Quebradagrande. Dada la presencia de glauconita, el incremento de fragmentos líticos sedimentarios y volcánicos, las áreas fuentes hacia el techo de la secuencia serían posiblemente las sucesiones sedimentarias marinas del complejo Arquía y el aporte volcánico de la formación Combia. Los elementos estructurales encontrados sobre la secuencia Quebrada La Naranjala, sugieren que la Formación Amagá ha sido afectada por más de un evento tectónico.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se enmarca en el proyecto de CMB (Coal Bed Methane) que desarrolló la Universidad EAFIT en conjunto con Ecopetrol; el cual tuvo como objeto evaluar el potencial del gas asociado al carbón en la cuenca de Amagá.

Con este estudio se pretende reconstruir tanto los ambientes sedimentarios en el sur de la cuenca Amagá en el sector de La Pintada, como los procesos diagenéticos, que permiten entender el estado de maduración de la materia orgánica en la secuencia de la Formación Amagá.

Para llevar a cabo este objetivo, se levantó la sección estratigráfica de la Quebrada La Naranjala a la cual se analizaron 8 secciones delgadas pertenecientes a las areniscas más representativas de la sección.

Además se realizó la identificación de facies sedimentarias con base en los modelos de Miall (1994) y a partir de los diagramas de Folk (1951) se clasificaron las areniscas. Los procesos diagenéticos fueron analizados con base en el análisis petrográfico y características texturales de las areniscas según Lewis y McConchie (1994).

El análisis composicional realizado de acuerdo al método de Dickinson (1985) permitió determinar el área fuente y ambiente tectónico de los sedimentos que conforman las areniscas de la sección La Naranjala.

Al unificar la anterior información e integrando análisis de otros estudios realizados en el área norte, se definieron el ambiente tectónico y depositación de los sedimentos de la sección.

## **1. OBJETIVO**

Levantar de la columna estratigráfica de la Formación Amagá sobre la Quebrada La Naranjala que permita el la reconstrucción de los ambientes depositacionales, diagénesis y área fuente de los componentes que caracterizan la secuencia.

## 2. JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE DEL PROYECTO

Pese al incremento de los trabajos realizados sobre la Formación Amagá en los últimos años la información se concentra en las áreas de mayor explotación de carbón (Fredonia, Amagá, Titiribí, Angelópolis, Venecia), siendo La Quebrada La Naranja un punto en donde dicha explotación no ha sido reportada.

Dada la extensión y complejidad de la Formación Amagá, los resultados obtenidos que se tienen, apenas cubren un área local de la misma, exponiendo la falta de información en otros lugares debido a la ausencia de mantos de carbón explotable.

Gracias al proyecto que desarrolló la Universidad Eafit y Ecopetrol, el cual tuvo como objetivo evaluar al potencial de gas asociado al carbón en la cuenca de Amagá, es posible complementar la información de la cuenca sobre áreas en donde no se tienen registros.

El presente estudio, analizarla sección estratigráfica levantada sobre la Quebrada la Naranjala (Municipio de Fredonia) con el fin de reconstruir los ambientes depositacionales, diagénesis y área fuente de los sedimentos.

Estos resultados permitirán complementar la relación tectono-sedimentarias en el área sur de la Cuenca Amagá.



### 3. LOCALIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO.

El área de estudio se encuentra en el flanco occidental de la Cordillera Central de Colombia, en el Departamento de Antioquia, al suroeste de Medellín (Figura 1). La Quebrada La Naranjala hacia su desembocadura sobre el río Poblano, corta la secuencia sedimentaria de la Formación Amagá en un recorrido de 4.5km (Figura. 2). A 1km aguas arriba desde el río Poblano, aflora el contacto de la Formación Amagá con un cuerpo metamórfico mostrando una exposición lateral óptima para el levantamiento de la sección estratigráfica en forma continua.

Todo el conjunto se sitúa al sureste del Municipio de Fredonia, y está delimitado por las siguientes coordenadas (Fig.2):

**X = 1'156.000**

**X = 1'161.500**

**Y = 1'147.000**

**Y = 1'144.000**

Sistema de Coordenadas: Colombia Zona Oeste.

Datum: GSC\_Bogotá.

El área de estudio solo cuenta con una vía de acceso desde el Municipio de Fredonia hasta la "Hacienda Poblano". Atravesando los potreros de esta hacienda se puede acceder al río Poblano, o a la Quebrada La Naranjala por medio de uno de sus afluentes (Figura. 2).

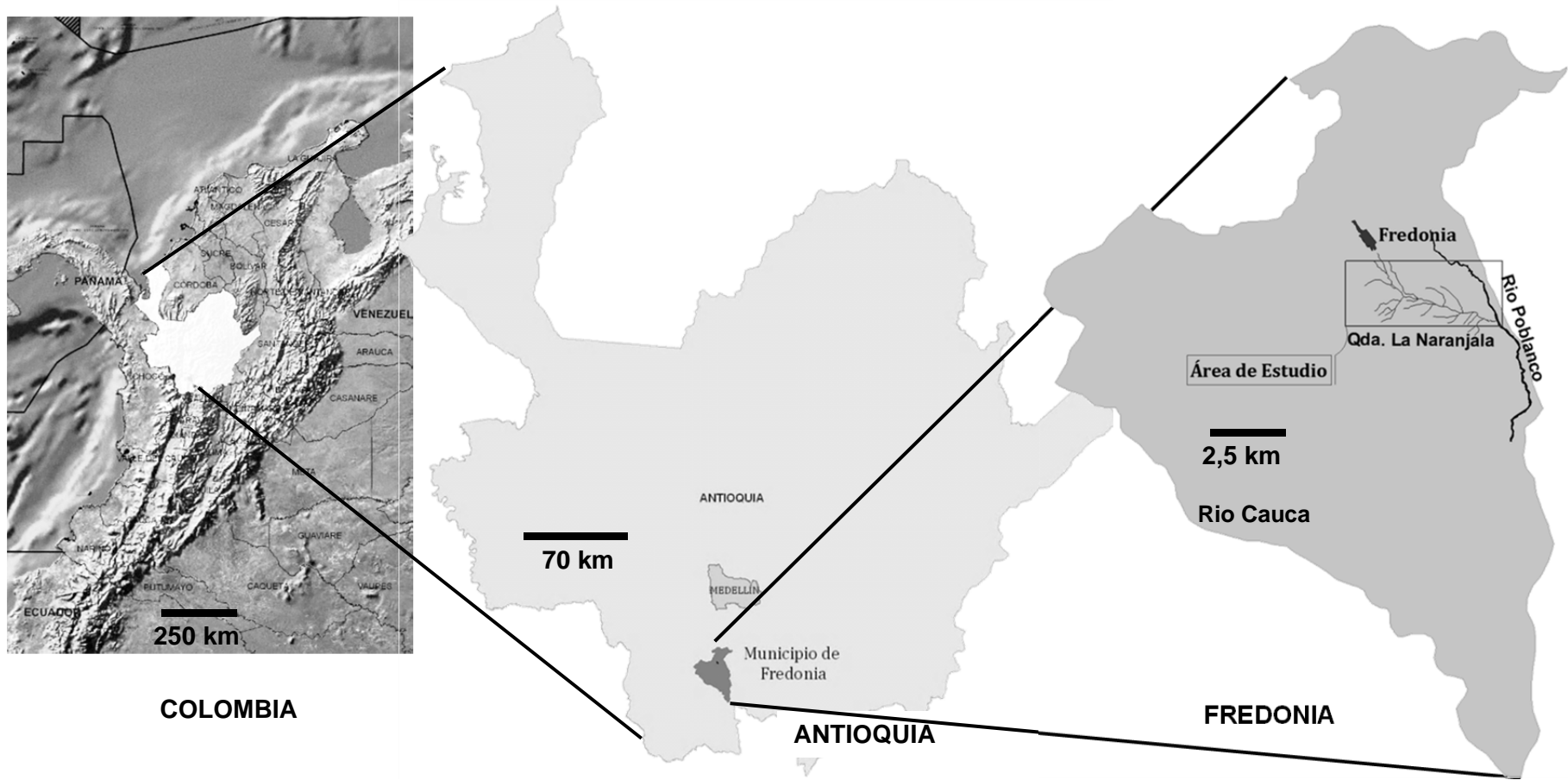
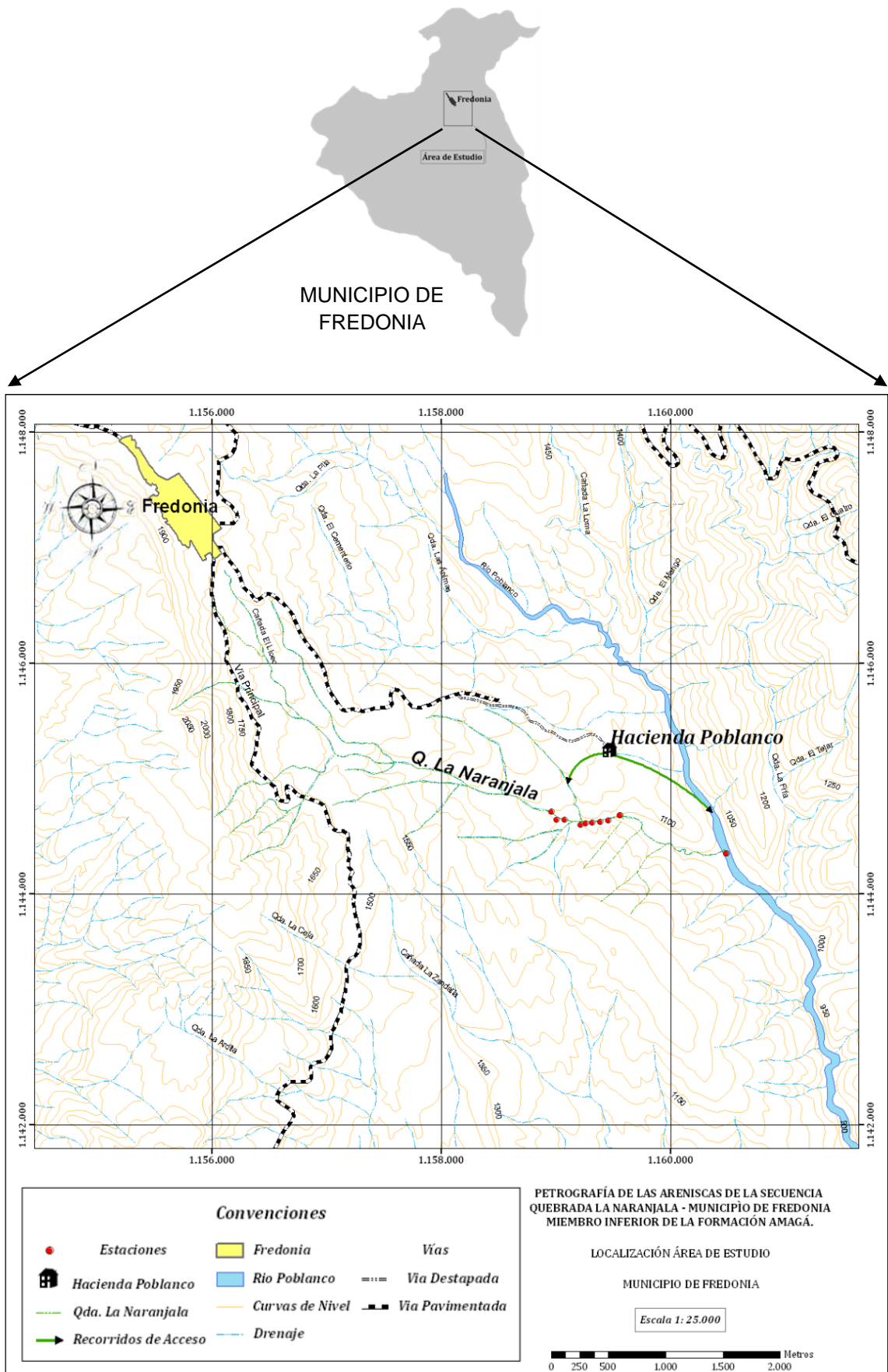


Figura 1. Localización del Área de Estudio (base cartográfica tomada de SIGOT). Diagrama no a escala.



**Figura 2.** Área de estudio (base cartográfica plancha 166-II-C. IGAC, 1979)

## 4. MARCO REGIONAL

### 4.1 GEOLOGÍA REGIONAL

En la zona de estudio, comprendida entre las cordilleras Central y Occidental de Colombia, en la región del sur-occidente antioqueño, afloran rocas con rangos de edades desde el Paleozoico hasta el Terciario, cubiertas en algunas zonas por materiales del Cuaternario (Figura. 3) Las rocas más antiguas, de edad Paleozoica, son aquellas pertenecientes al Complejo Polimetamórfico de la Cordillera Central (Restrepo y Toussaint, 1987) que afloran hacia el flanco occidental de la zona de estudio. De edad Pérmica se presenta el Stock de Amagá que aflora en las inmediaciones de la población de Amagá, y se clasifica como un cuerpo intrusivo de composición intermedia-ácida (Vinasco et al., 2006). Limítrofe a este se encuentra la Diorita de Pueblito, de edad Jurásica y definida inicialmente por Grosse (1926). El Complejo Arquía presenta edades que van desde Paleozoica hasta Cretácica, se localiza al occidente de la zona de estudio, limitado por las fallas Silvia-Pijao y Cauca Romeral está constituido por rocas de origen ígneo y sedimentario (Restrepo et al., 1991). Asociados al metamorfismo Cretácico del Grupo Arquía están los cuerpos pertenecientes al Complejo Ofiolítico del Cauca y el Complejo Ofiolítico de Heliconia (Restrepo et al., 1991). Igualmente, dentro del Cretácico, también se presenta la Formación Barroso, de origen volcánico (Álvarez y González, 1978), y limítrofe con el Complejo Quebradagrande (Álvarez, 1983), que aflora al Oriente de la zona de estudio. Estas dos unidades están directamente relacionadas con un arco de islas que colisionó con el Occidente colombiano durante el Cretácico tardío (González, 2001). Posiblemente asociados a este evento y al magmatismo ocurrido en el Cretácico, se encuentra el Batolito Antioqueño, y el Stock de Altavista, localizados al Norte y Nor-orientes del área de estudio.

De edad Terciaria se presenta la Formación Amagá, objeto de este estudio, la cual se define más en detalle a continuación en el apartado Geología Local.

Intruyendo a la Formación Amagá, se presentan los pórfidos de la Formación Combia, asociados al magmatismo Terciario originado por un evento transpresional relacionado con la acreción de cuerpos de origen oceánico en el Occidente colombiano (González, 1976). Esta Formación aflora al Occidente de la zona de estudio. Finalmente, el Cuaternario se presenta como aluviones y coluviones dispersos que cubren parte de las formaciones mencionadas anteriormente. Estos depósitos se localizan en zonas de laderas y a lo largo de los cauces principales.

## **4.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

Loa Andes noroccidentales están divididos en dos dominios diferentes, litológicos y genéticos separados por el sistema de fallas Romeral, el cual se extiende desde Guayaquil en Ecuador hasta el Caribe (Paris et al., 2000; Paris y Romero, 1994 en Sutter, 2008). Las estructuras de fallas principales en el área se localizan entre la cordillera Central y la cuenca del río Cauca. Estas fallas son (Figura 4):

1. Sistema de Fallas Romeral (RFS)
2. Zona de falla Uramita (UFZ)

Localmente, se encuentra la falla Piedecuesta que afecta la Formación Amagá (Figura 5). Estas fallas fueron definidas por Grosse (1926), y presentan un comportamiento inverso (Maya y González 1995).



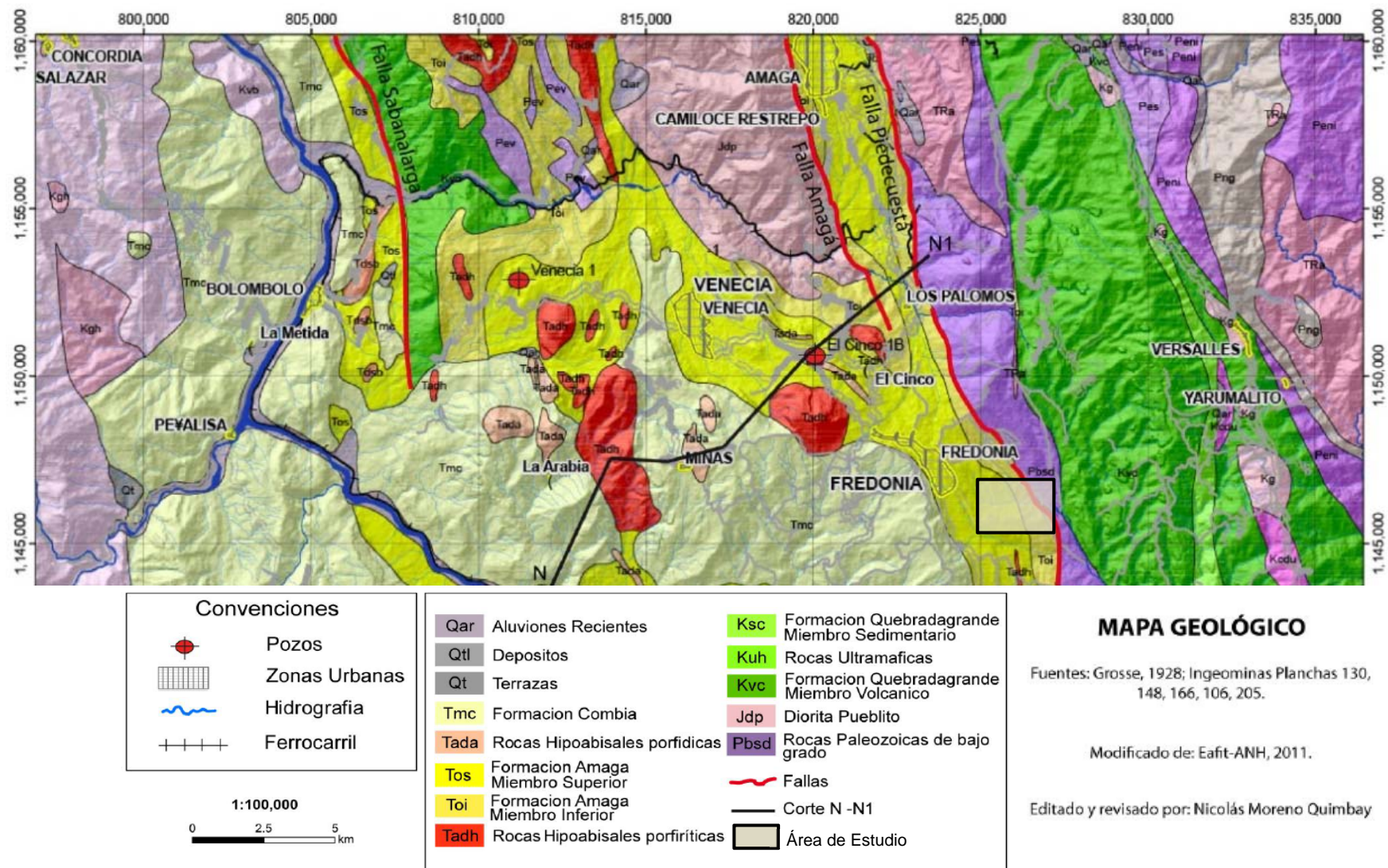
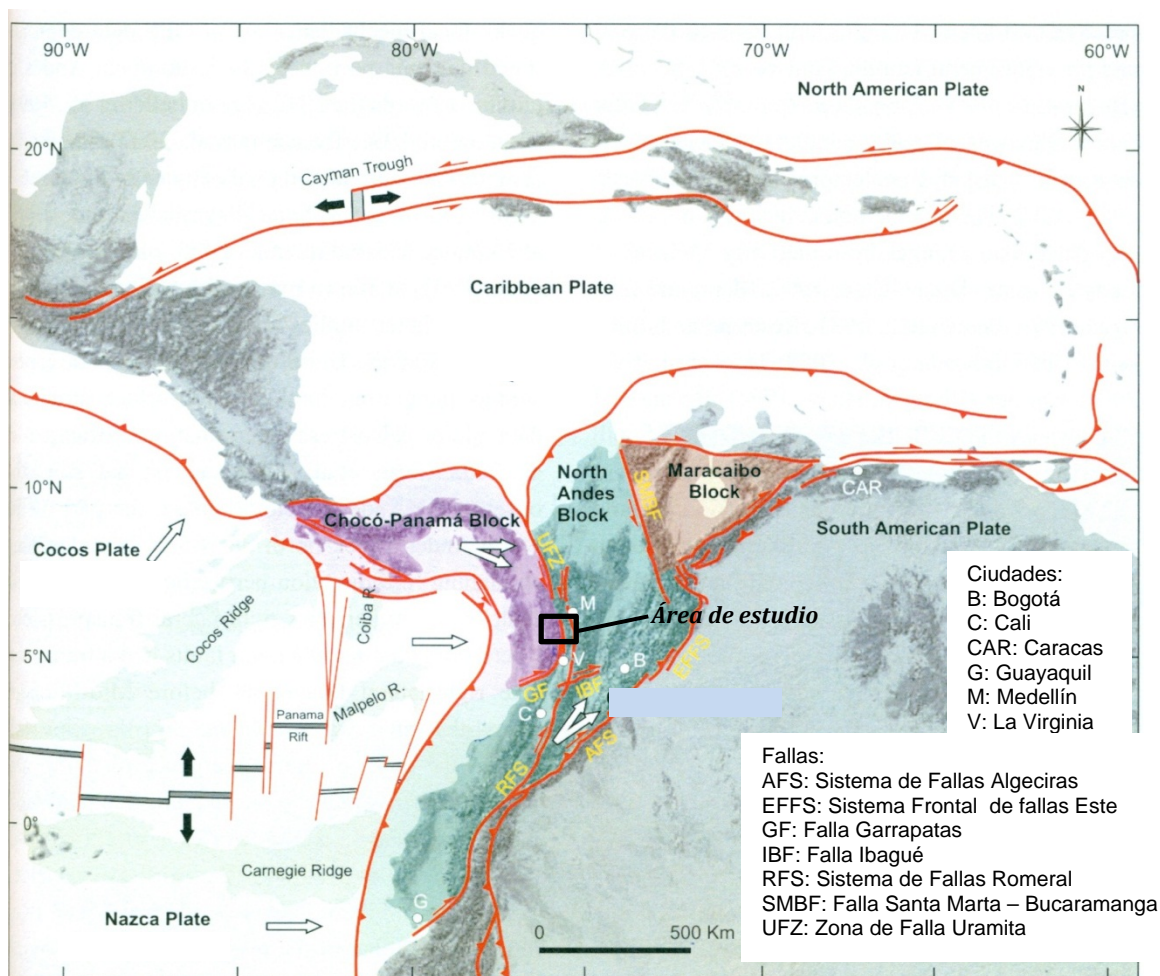


Figura 3. Mapa geológico de la zona de estudio (Eafit- ANH, 2011 en Moreno 2011)



**Figura 4.** Estructuras regionales del noroccidente colombiano (Bloques definidos por Freymuller et al.,1993; Kellogg et al.,1985; Pennington, 1981; Trenkamp et al., 2002 en Sutter, 2008. Datos tectónicos modificados de Cortes y Angelier., 2005; Gutscher et al., 1999; Taboada et al., 2000 en Sutter, DEM de USGS., 2005 en Sutter, 2008).

### 4.3 GEOLOGÍA LOCAL – FORMACIÓN AMAGÁ

La Formación Amagá fue definida inicialmente por Grosse (1926) como Terciario Carbonífero de Antioquia, la cual subdividió en pisos de acuerdo al contenido de carbón explotable y no explotable. Fue elevada al grado de Formación por Van der Hammen (1958), siguiendo la nomenclatura expuesta inicialmente por Grosse y la renombró como Formación Antioquia. Posteriormente, González (1980) la renombra Formación Amagá por la sección tipo descrita en las cercanías de la población de Amagá en el departamento de Antioquia y la subdivide en tres miembros. Finalmente a partir de estudios



petrográficos, análisis de facies, procedencia de sedimentos entre otros, Sierra et al., (2001), subdivide la Formación Amagá en 2 miembros, de acuerdo a las asociaciones de facies que se presentan y las características petrográficas.

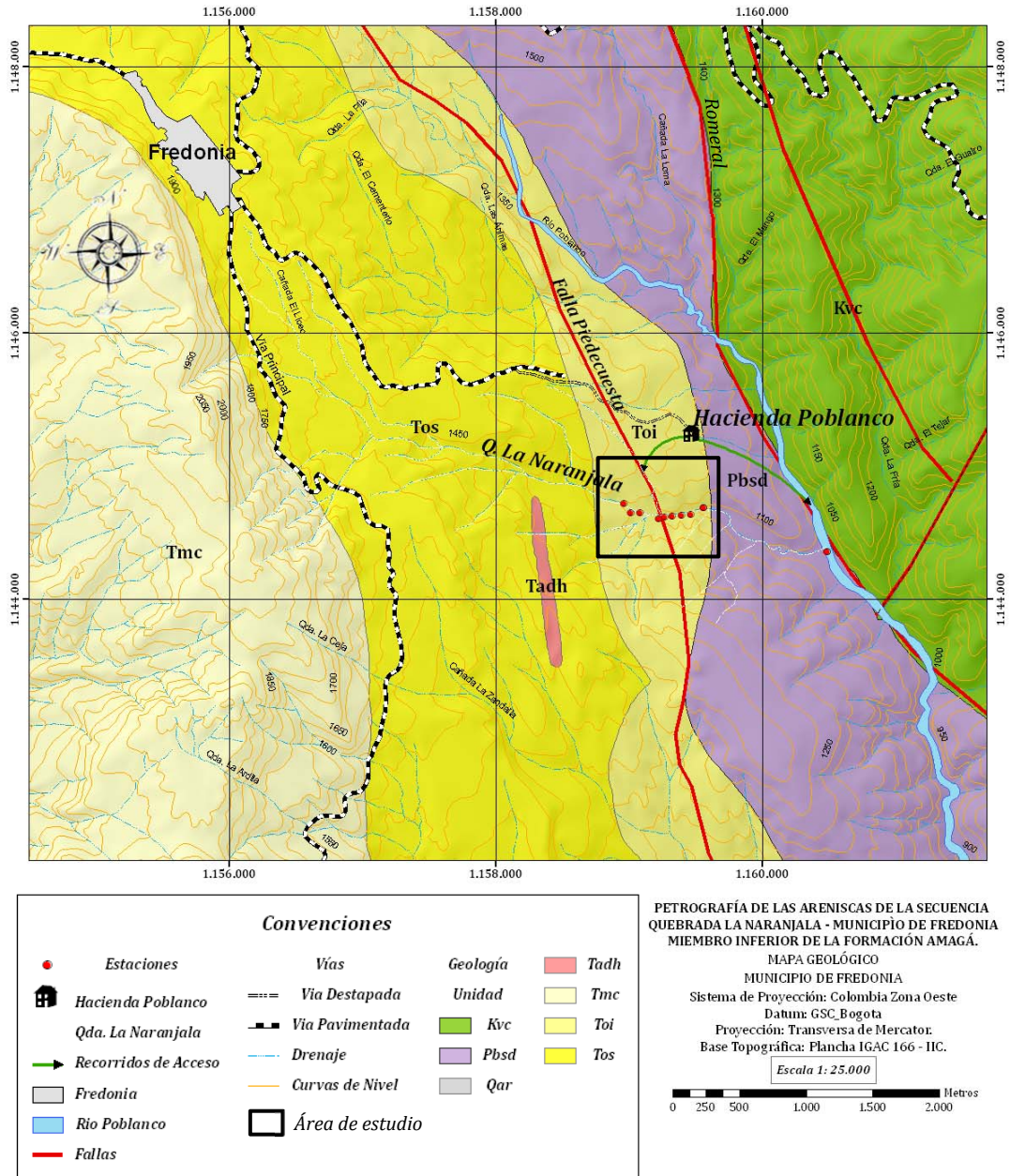


Figura 5. Mapa Geológico del área de estudio.



La Formación se localiza entre la cordillera Central y la cordillera Occidental, y cubre un área aproximada de 400 km<sup>2</sup>. Presenta una forma alargada con dirección S-N estrechándose hacia el Norte y es discontinua en toda su extensión. En cuanto a sus límites geológicos, esta reposa discordante sobre el Complejo Polimetamórfico de la Cordillera Central y la diorita de Pueblito, y presenta contactos fallados con el Stock de Amagá y las rocas volcánicas básicas de la Formación Barroso. Es suprayacida discordantemente por la secuencia volcano-sedimentaria de la Formación Combia (González, 2001).

La unidad presenta aproximadamente 750 m de espesor y está compuesta principalmente por sedimentos continentales y marino marginales, asociados a facies de ríos meándricos y trenzados (Sierra et al., 2001). Está caracterizada por la presencia de areniscas conglomeráticas cuarzosas, sub-litoarenitas, wackas líticas y litoarenitas feldespáticas, así como la presencia de mantos de carbón de espesor variable (Sierra et al., 2001).

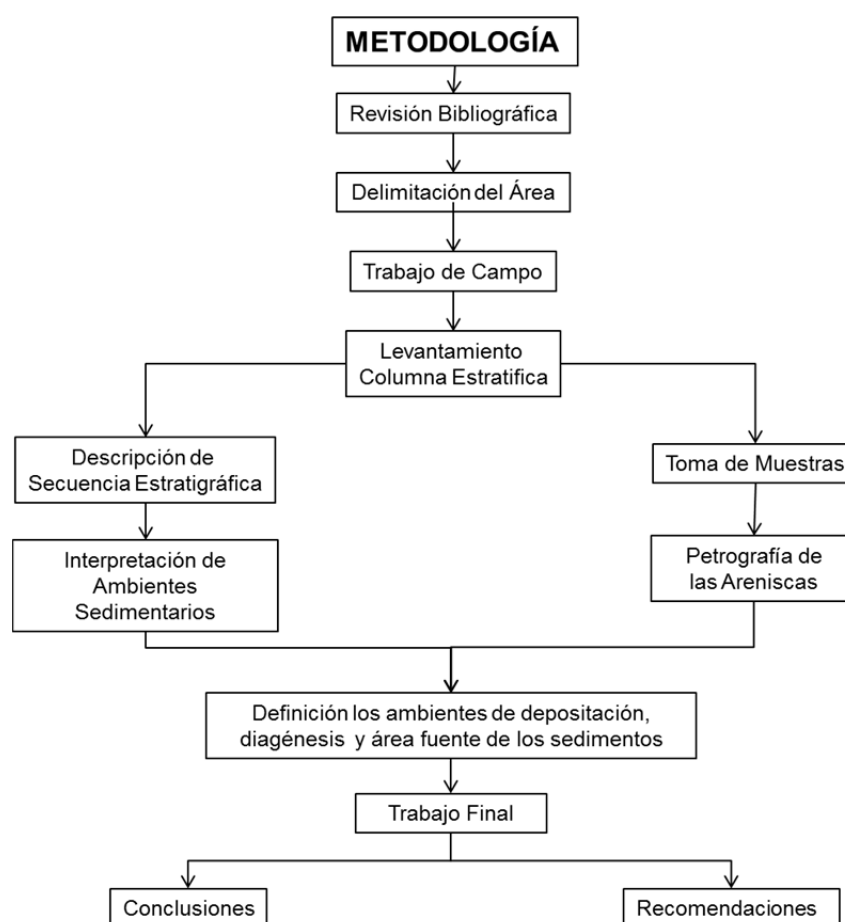
La Formación Amagá esta subdividida en dos miembros (inferior y superior) de acuerdo a las asociaciones de facies y características petrográficas que presenta cada miembro (Silva y Sierra, 2008):

- El miembro inferior, subdividido en las unidades 1 y 2, presenta asociaciones faciales de ríos meándricos y trenzados con una buena preservación de las características morfológicas. Este miembro está conformado principalmente por areniscas conglomeráticas cuarzosas y sub-litoarenitas, acompañadas de mantos de carbón.
- El miembro superior se subdivide en las unidades 3 y 4, con asociaciones faciales de ríos meándricos y trenzados, respectivamente. Presenta una baja preservación de las características morfológicas, en contraste con el miembro inferior. Está compuesto principalmente por wackas líticas con fragmentos de rocas volcánicas y litoarenitas feldespáticas, con ausencia de carbón.

En cuanto a la edad, autores como Van der Hammen (1958) señalan una edad del Oligoceno Medio por correlación con la Formación Cauca, para el miembro inferior, y del Mioceno Tardío para el miembro superior, con base en la correlación de la Formación Cauca en el Sur de Colombia. Sierra et al., (2011), le asigna una edad Eoceno Medio al Miembro Inferior, a partir de un estudio de palinomorfos realizado en la zona de Camilo-C (Mina Nechi).

## 5. METODOLOGIA

El presente estudio fue desarrollado de acuerdo al siguiente esquema (Figura 6)



**Figura 6.** Metodología aplicada en el presente estudio.

### 5.1 TRABAJO DE CAMPO

Consistió en la localización del área de estudio, descripción de la secuencia estratigráfica, recolección de muestras y toma de fotografías. La descripción de la secuencia estratigráfica se realizó con base en los parámetros propuestos por Tucker (2003) a una escala 1:100 (Ver anexo 1).

## **5.2 PETROGRAFÍA DE LAS ARENISCAS Y DESCRIPCIÓN DE LA SECUENCIA ESTRATIGRAFICA**

Para la descripción de las secciones delgadas de las areniscas se realizó un conteo de 450 granos en cada sección. Una vez obtenida la suma del conteo, se clasificaron las areniscas en triángulo QFL propuesto por Folk (1951) y se realizó un análisis de la diagénesis.

Los resultados obtenidos en esta fase permitieron determinar el área fuente de los sedimentos de acuerdo al triángulo de Dickinson (1985).

Aplicando la metodología propuesta por Miall (1994) se asociaron estructuras sedimentarias, relaciones verticales y laterales para la definición de las facies y con base en ellas la interpretación de los ambientes depositacionales.

## 6. CARACTERIZACIÓN E INTERPRETACIÓN DE LA SECCIÓN QUEBRADA LA NARAJALA.

La descripción de la secuencia se inició 1km aguas arriba (Punto GPS 04 Figura 11) de la desembocadura de la Quebrada La Naranjala sobre el río Poblano, donde aflora la secuencia en contacto erosivo con esquistos negros (Figura 7A y 7B).



Figura 7A.

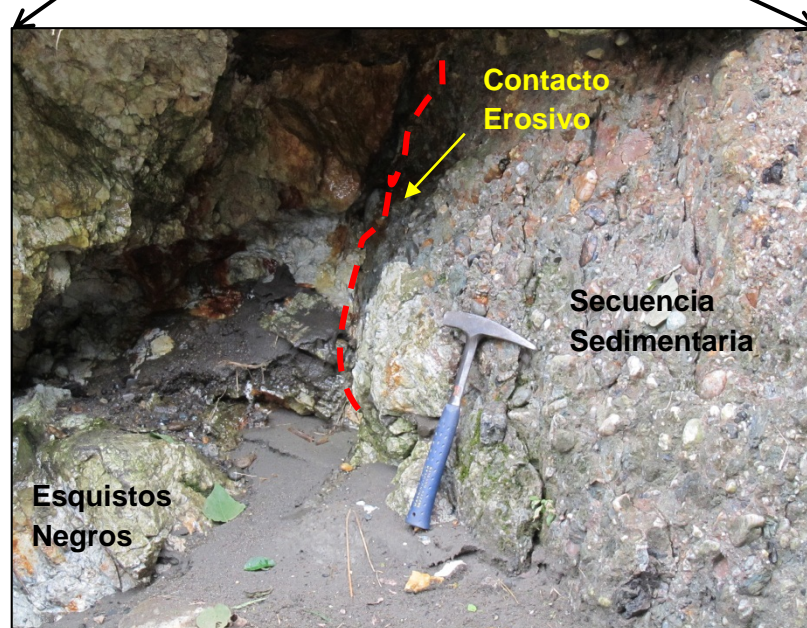


Figura 7B

**Figura 7.** (Superior) Contacto erosivo entre Esquistos Negros y la sección sedimentaria La Naranjala. Figura 7B (Inferior) Detalle del contacto. (Punto GPS 04. Ver figura 11).



Los esquistos negros se correlacionan con las Metasedimentitas Paleozoicas de la Sinifaná (Bustamant et al., 1999) (Figura 8, Punto GPS 02 en Figura 11). A partir de este contacto se inició el levantamiento de la columna de forma continua por 364 m longitudinales sobre la quebrada. Sobre el punto GPS 09 (Figura 11) se encontró la expresión de la falla Piedecuesta sobre la secuencia (Figura 9). Dado que no se tenía definido la magnitud y movimiento de dicha falla, la descripción de la sección se suspendió en este punto. Una descripción más amplia de los elementos estructurales encontrados en campo se presenta en el capítulo 10.



**Figura 8.** Esquistos Negros, (Metasedimentitas de la Sinifaná), punto GPS 02 (Figura 11).



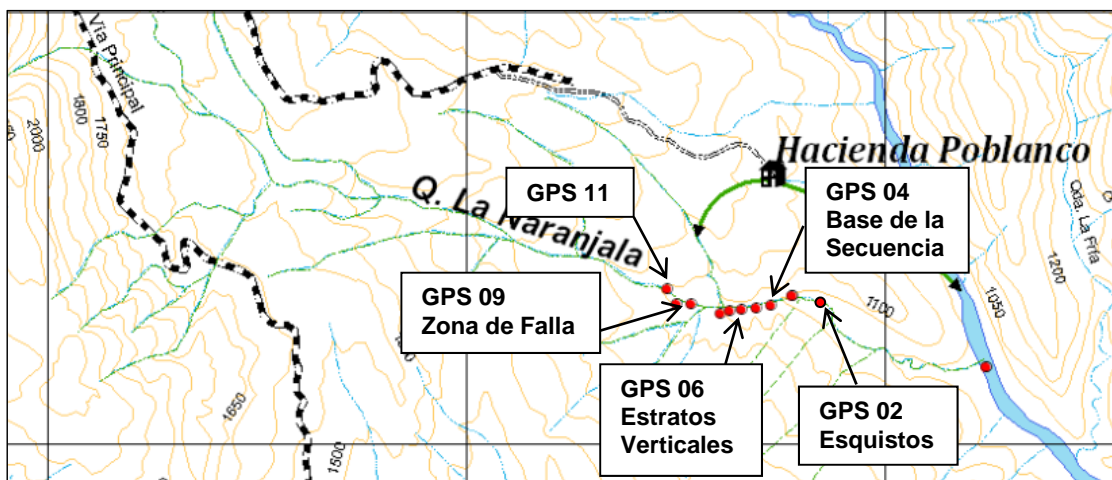
**Figura 9.** Zona de falla, punto GPS 09 (Figura 11).

Los estratos tienen una disposición estructural de N20E°/vertical y conservan su buzamiento a lo largo de toda la sección (Figura 10), reflejando la importancia del control estructural en la zona. Solo su dirección cambia a N10°W hacia el techo (afloramiento zona de falla).



**Figura 10.** Afloramiento sobre la Quebrada La Naranjala. Nótese la verticalidad de los estratos, punto GPS 06 (Figura 11).

La secuencia levantada posee un espesor total de 345m (corregidos) de afloramiento casi continuos sobre los flancos de la quebrada a excepción de dos zonas cubiertas por depósitos de vertiente (Figura 12 y Anexo 1).



**Figura 11.** Puntos GPS sobre la Quebrada La Naranjala.



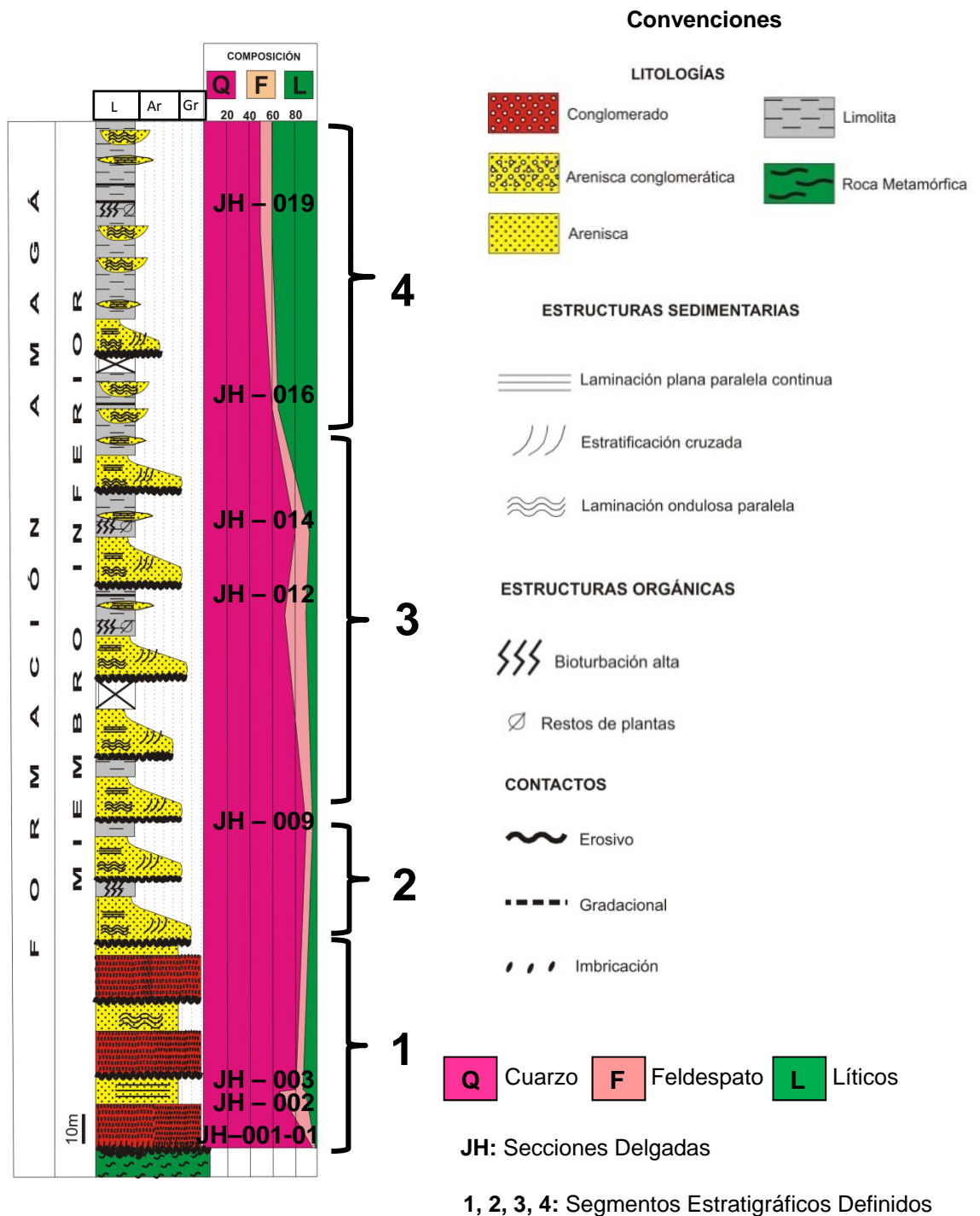


Figura 12. Sección Estratigráfica La Naranja (Columna Generalizada, Ver Anexo 1).



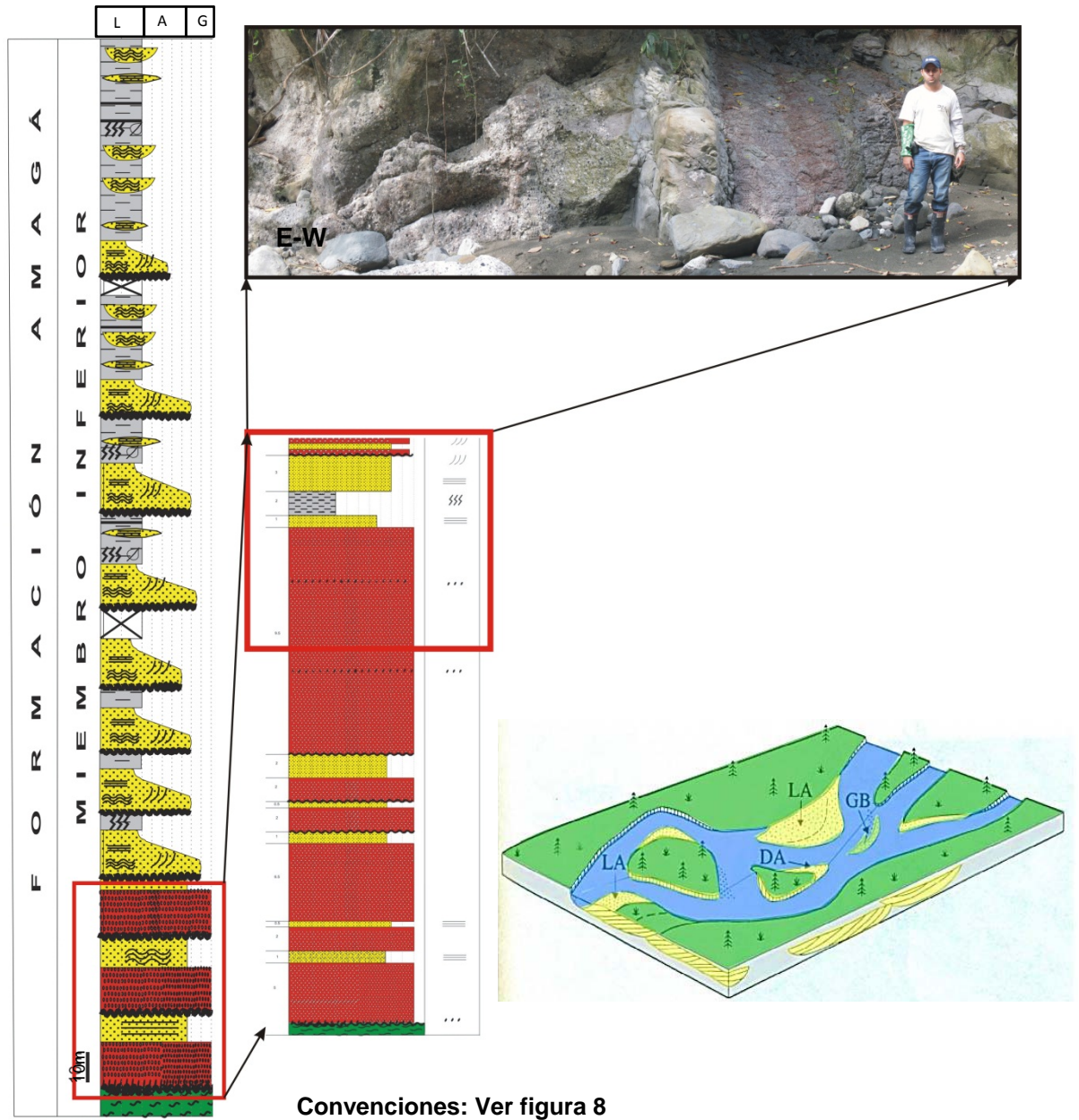
## 6.1 INTERPRETACIÓN DE AMBIENTES SEDIMENTARIOS

Para la interpretación de los ambientes sedimentarios de la sucesión La Naranjala fueron tomados los modelos propuestos por Miall (1994) a partir de la asociación de facies y preservación de elementos geomorfológicos (i.e., depósitos de llanura de inundación, depósitos de *crevasse*, entre otros.).

Hacia la base de la sucesión de la Quebrada La Naranjala presenta facies de alta energía y pobre preservación de elementos geomorfológicos. Este comportamiento es opuesto hacia el techo en donde gradualmente las facies son de menor energía y existe una buena preservación de elementos geomorfológicos. Con base en lo anterior se dividió la sucesión en 4 segmentos (Figura 12).

### 6.1.1 SEGMENTO 1

Con un espesor de 68,5m este segmento presenta canales con poca preservación de elementos geomorfológicos, conservando solamente laminaciones paralelas sobre las areniscas de grano grueso con espesores máximos de 3m y hacia el techo 2m de lodolita entre areniscas hacia la base y techo. Las superficies de erosión de los canales mas jóvenes sobre los antiguos es repetitiva (característico de canales agradacionales). Hacia la base se encuentran espesores gruesos de barras conglomeráticas grano soportados de matriz arenosa (con un rango de espesores de 9m) intercaladas con areniscas de grano grueso. Este segmento es correlacionable con un ambiente de “río sinuoso de lecho gravoso” (*wandering gravel-bed river* - Miall, 1994) (Figura 13).



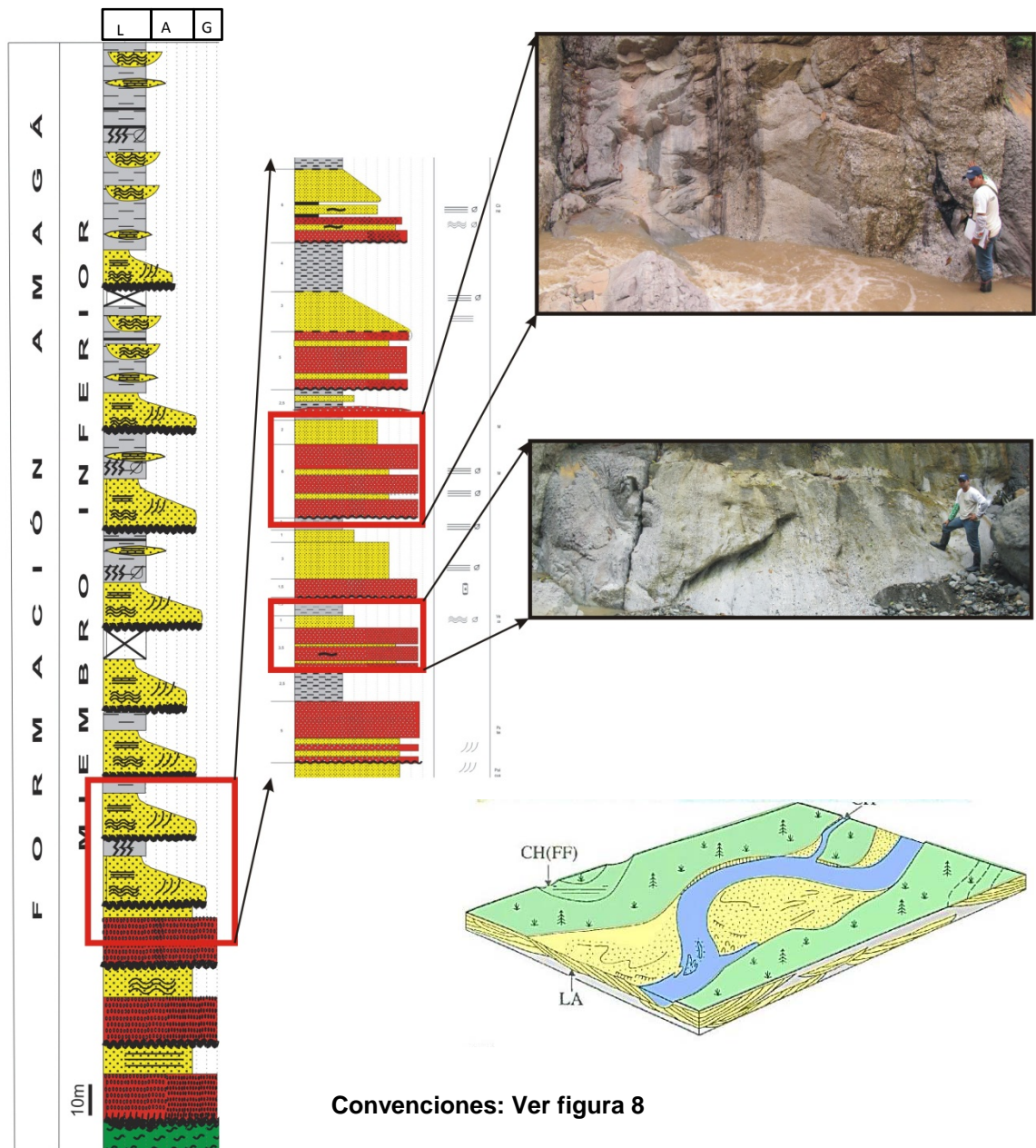
**Figura 13.** Segmento 1 secuencia Quebrada La Naranjala. Río Sinuoso de lecho gravoso (*wandering gravel – bed*). LA: Acreción lateral. DA: Acreción de flujo. GB: Barras de gravas (Modificado de Miall 1994).

### 6.1.2 SEGMENTO 2

El segmento 2 tiene un espesor de 49m (desde los 68,5m hasta los 117m sobre la sección). En este segmento se encuentran 4 estructuras de canales limitados por contactos erosivos hacia la base y techo (Figura 14). A diferencia del anterior segmento existe una mejor conservación de los elementos geomorfológicos, los conglomerados disminuyen considerablemente y aumentan los espesores de areniscas (espesores de 5m) con laminaciones planares y onduladas paralelas. Las lodolitas presentes de color gris, se encuentran bioturbadas y poseen un espesor máximo de 4m. Adicionalmente entre los 73 y 80m se registran canales granodecrecientes (FUS) continuos. El ambiente depositacional interpretado para este segmento corresponde a un “río meándrico con barras gravosas” (*gravel-bed meandering river* – Miall, 1994) (Figura 14).

### 6.1.3 SEGMENTO 3

Con un espesor de 132,5m (desde los 117m hasta 250m sobre la sección) el segmento 3 es dominado por areniscas (espesores de 14 m) con laminación planar paralela y presencia de materia orgánica (restos de hojas en depósitos de *crevasse*). Los conglomerados en este segmento son escasos, a diferencia de las lodolitas que aumenta su espesor con valores hasta de 8m exponiendo una buena preservación de elementos geomorfológicos (llanuras de inundación). Igualmente se observa la presencia de capas de carbón (hasta 1m) a lo largo del segmento entre las areniscas y lodolitas. El ambiente depositacional sugerido para este segmento es “río meándrico arenoso-gravoso” (*gravel – sand meandering river* – Miall, 1994) (Figura 15).



**Figura 14.** Segmento 2 secuencia Quebrada La Naranjala. Río meándrico con barras gravosas (*gravel-bed meandering river*). LA: Acreción lateral. CH (FF): Llanura de inundación (Canal abandonado). CH: Canal (Modificado de Miall 1994).

### 6.1.3 SEGMENTO 4

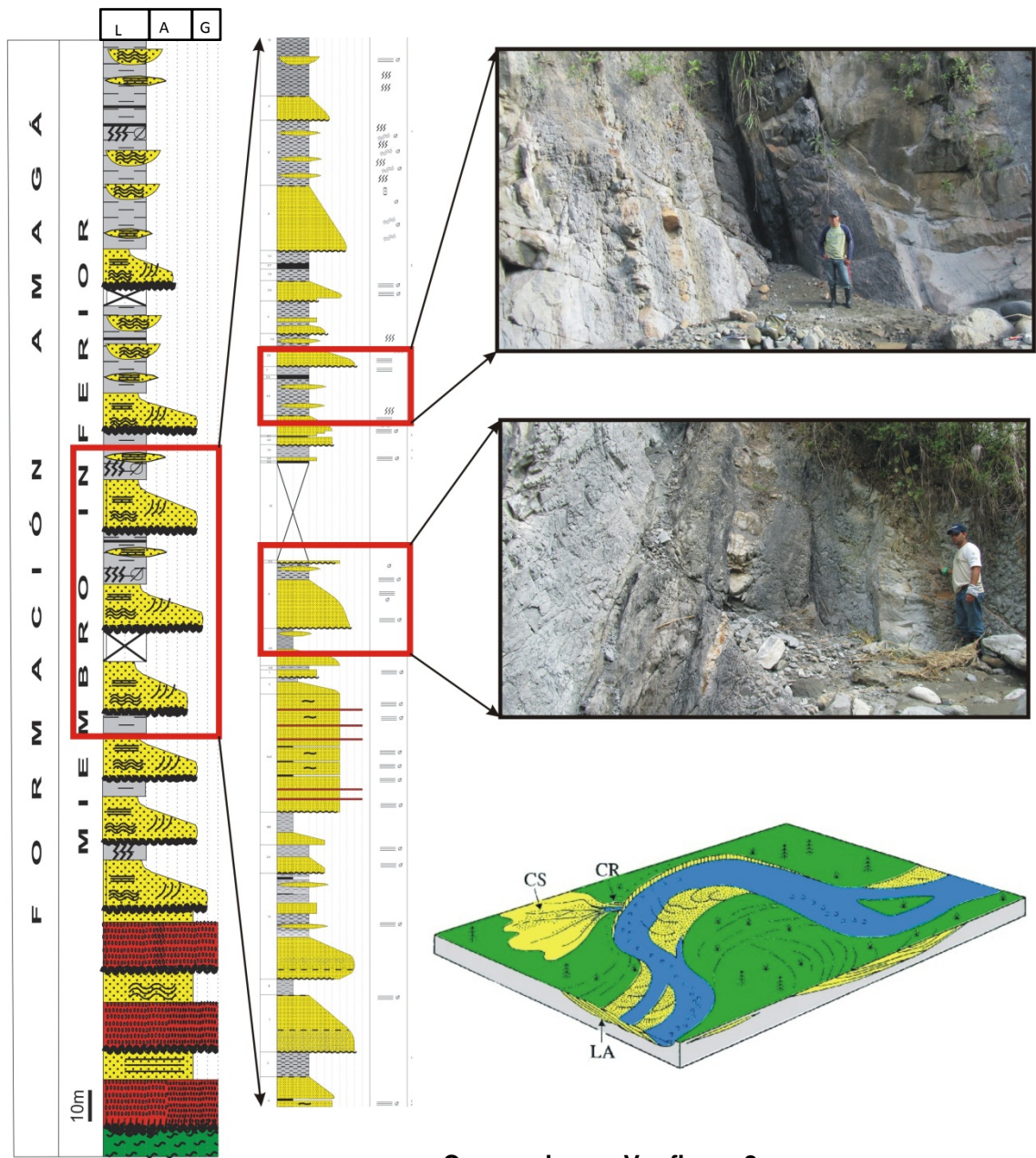
Este segmento posee un espesor de 96m (desde 249m hasta los 345m en la sección) el cual se localiza hacia el techo de la sección levantada. Las arenicas con laminaciones onduladas y planar paralelas se conservan pero decrecen en sus espesores (espesores de 9m) respecto al segmento anterior (segmento 3), por otro lado los espesores de las lodolitas aumentan (espesores de 12m). Se observa una buena preservación de elementos geomorfológicos en este segmento tanto en las arenicas (depósitos de *crevasse*) como en las lodolitas (llanuras de inundación). Las capas de carbón presentes (con espesores hasta 0,7m) se encuentran interestratificadas con las lodolitas. La interpretación depositacional para este segmento es “río meándrico arenoso” (*sand-bed meandering river* – Miall, 1994) (Figura 16).

## 6.2 SÍNTESIS PALEOAMBIENTAL

En general la sección Quebrada La Naranjala, se caracteriza por presentar una transición de ambientes asociados a ríos tronzados (base) a ríos meándricos (techo) (Figura 14). Lo anterior es evidenciado por el segmento 1 (base de la sección) el cual corresponde a un “río sinuoso de lecho gravoso” (*wandering gravel-bed river*), referido por Miall (1994) como un ambiente fluvial intermedio entre ríos tronzados y meándricos.

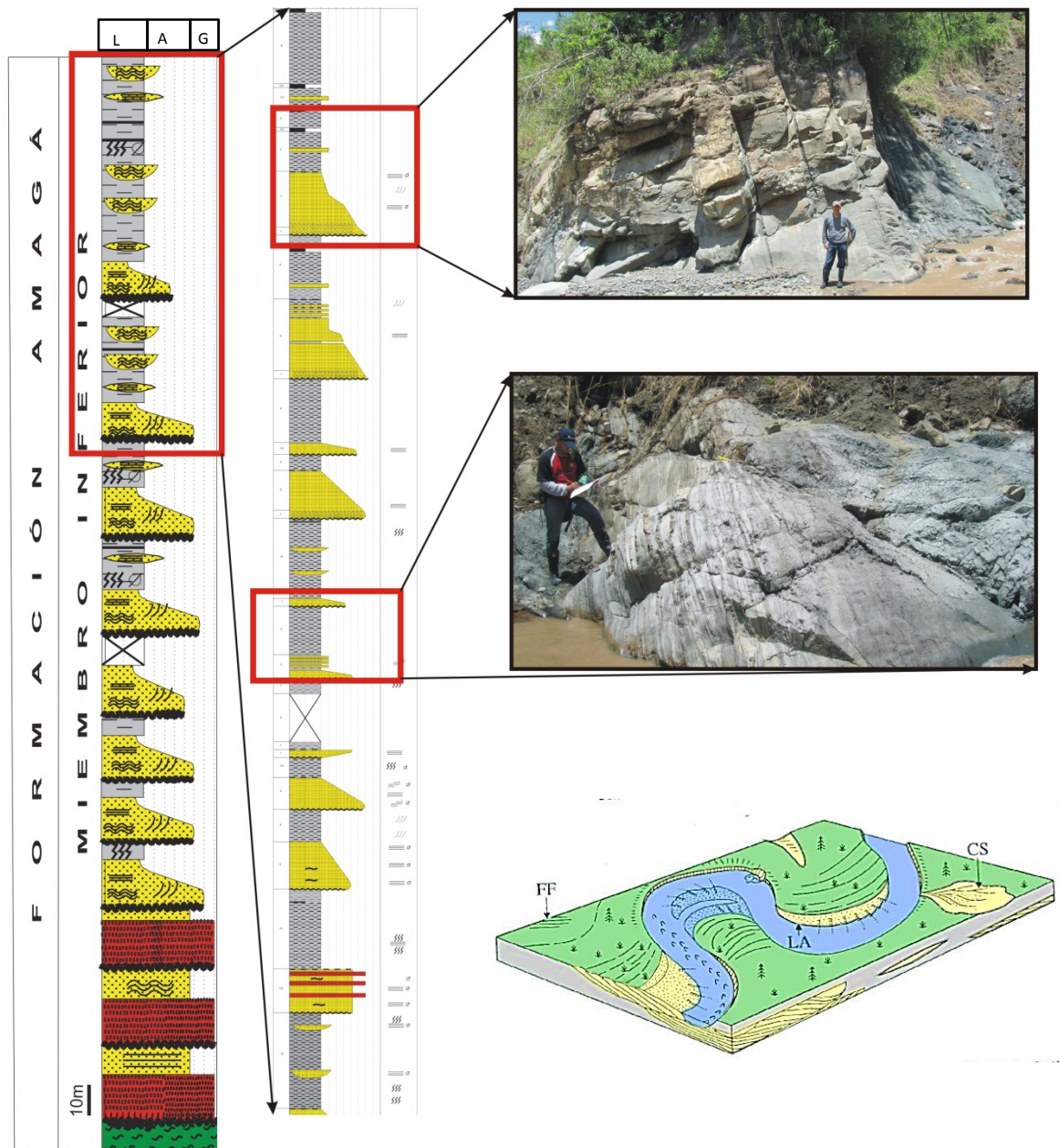
De manera gradual y continua se observa sobre la sección una disminución en la energía desde la base hacia techo, en donde el segmento 1 es dominado por conglomerados y muestra una pobre conservación de elementos geomorfológicos (llanuras de inundación, depósitos de *crevasse*, etc.) (Figura 13), el segmento 2 dominado por conglomerados y areniscas (Figura 14), el segmento 3 por areniscas y una buena conservación de elementos geomorfológicos (Figura 15) y finalmente el segmento 4 donde predominan las lodolitas y una buena preservación de elementos geomorfológicos (Figura 16).





Convenciones: Ver figura 8

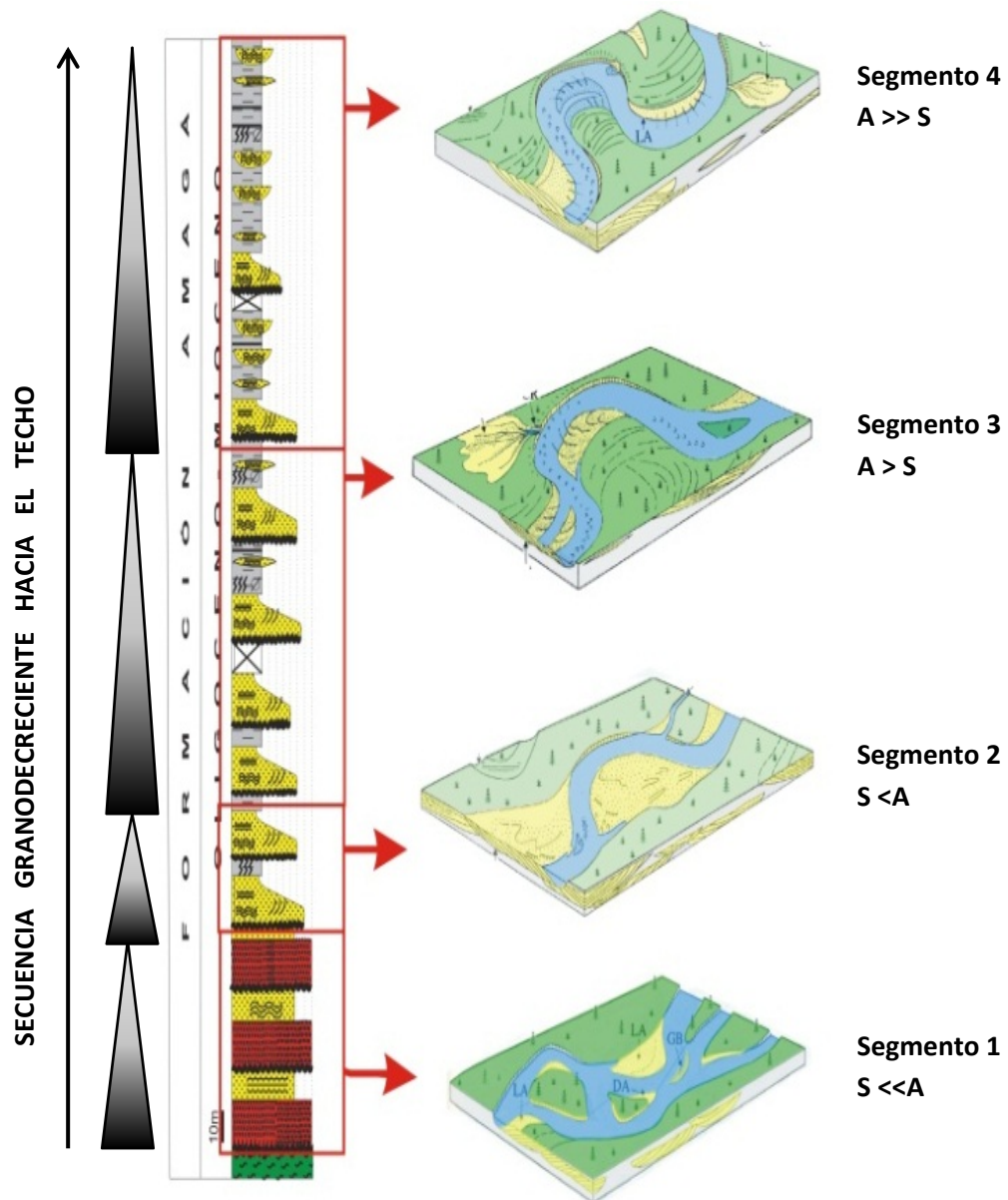
**Figura 15.** Segmento 3 secuencia Quebrada La Naranjala. Río meándrico areno-gravoso (*gravel-sand meandering river*). LA: Acreción lateral. CR: Canal crevasse. CS: Depósito de crevasse (Modificado de Miall 1994).



Convenciones: Ver figura 8

**Figura 16.** Segmento 4 secuencia Quebrada La Naranjala. Río meándrico de barras arenosas (*sand-bed meandering river*). LA: Acreción lateral. FF: Llanura de inundación. CS: Depósito de crevasse (Modificado de Miall 1994).

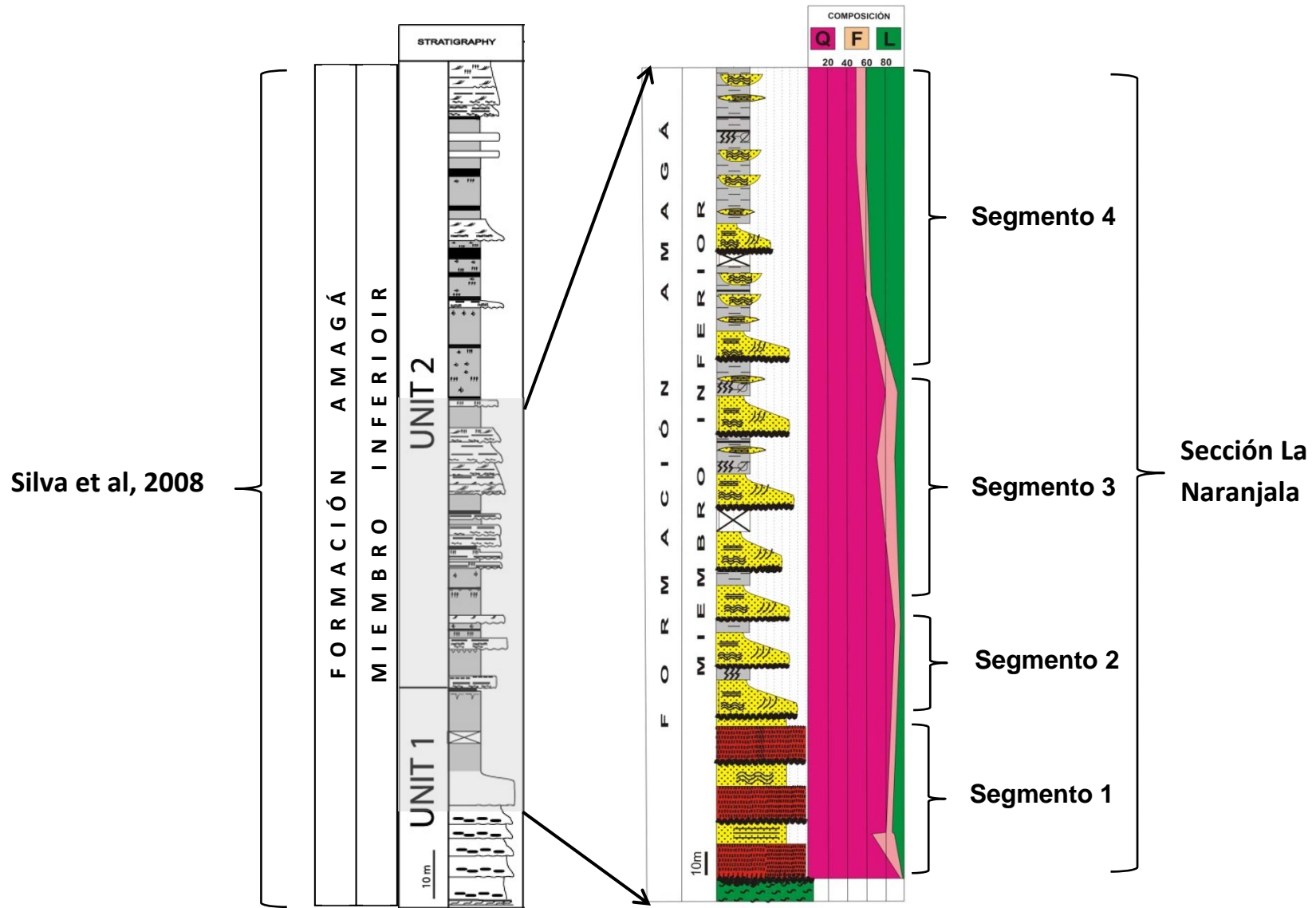
A partir del segmento 2 hasta el segmento 4, los ambientes se asocian a ríos meándricos, diferenciándose en sus facies sedimentarias, las cuales muestran una disminución gradual en la energía y aumento del espacio de acomodación de los sedimentos de base a techo (Figura 17).



**Figura 17.** Ambientes sedimentarios de la sección Quebrada La Naranjala. Segmento 1: ambiente fluvial intermedio entre ríos trenzados y ríos meándricos. Segmentos del 2 al 4: ríos meándricos. Relación entre S: Suministro de sedimentos y A: Acomodación.



Con base en la estratigrafía, Silva y Sierra (2008) definen dos unidades dentro del miembro inferior de la Formación Amagá. La Unidad 1 comprendida por facies típicas asociadas a ríos trezados y la Unidad 2 con características asociadas a ríos meándricos. Estratigráficamente la secuencia La Naranjala es concordante con estas unidades lo que permite correlacionarla entre la Unidad 1 (ambientes de ríos trezados) y la Unidad 2 (ambientes de ríos meándricos) (Figura18).

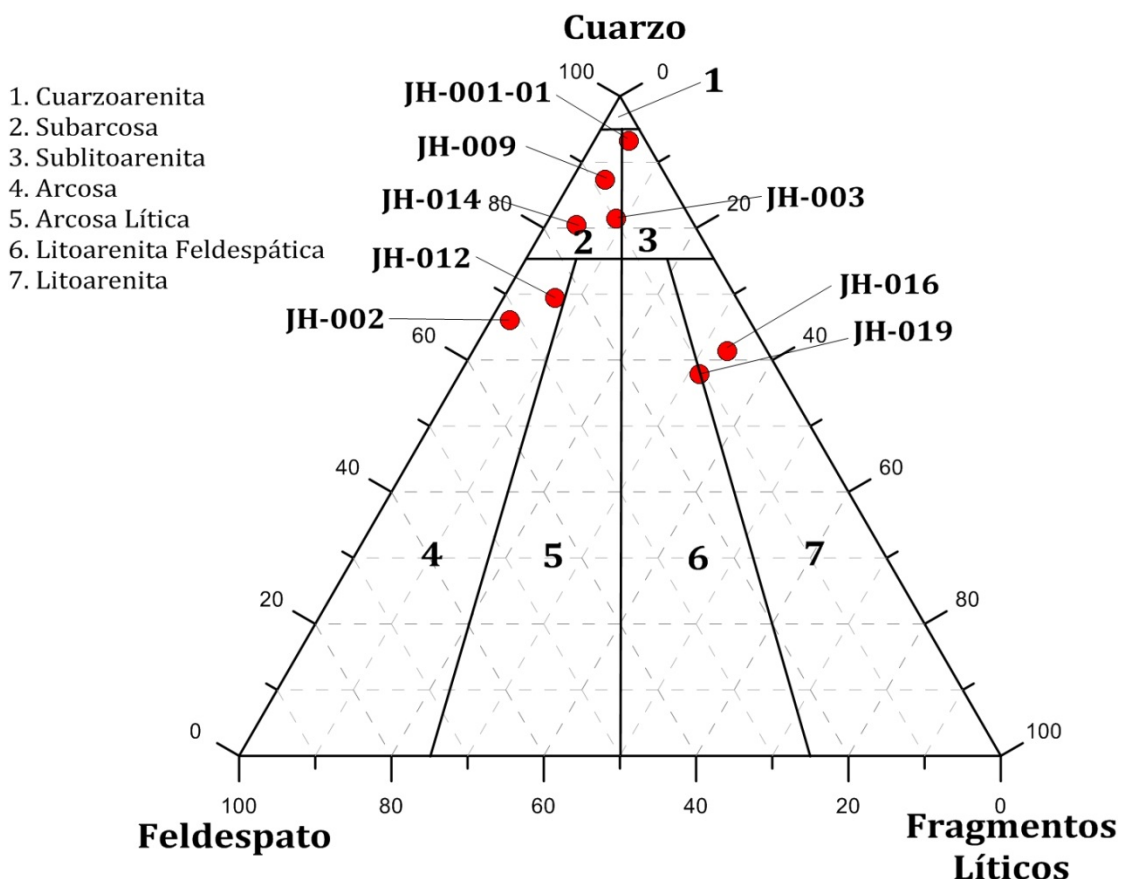


**Figura 18.** Correlación de la sección La Naranja dentro de secuencia estratigráfica general del Miembro Inferior de la Formación Amagá (Modificado de Silva y Sierra, 2008).

## 7. CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA DE LAS ARENISCAS.

Para las areniscas de secuencia La Naranjala se analizaron en total 8 secciones delgadas distribuidas sobre la secuencia (Figura 11). La clasificación se realizó por medio de un conteo de 450 puntos por sección a partir del cual se identificaron 4 grupos de areniscas; subarcosas (JH-003, JH-009, JH-014), arcosas (JH-002, JH-012), litoarenitas (JH-016, JH-019) y sublitoarenita (JH-001-01), compuestas principalmente por cuarzo, feldespatos y fragmentos líticos (fragmentos volcánicos, fragmentos sedimentarios, esquistos) (Figura 19, Tabla 1).

Los granos de las areniscas van de angulosos a subredondeados y presentan una esfericidad baja.



**Figura 19.** Diagrama composicional (según Folk, 1951) de las areniscas de la sección Quebrada La Naranjala, Miembro inferior de la Formación Amagá.

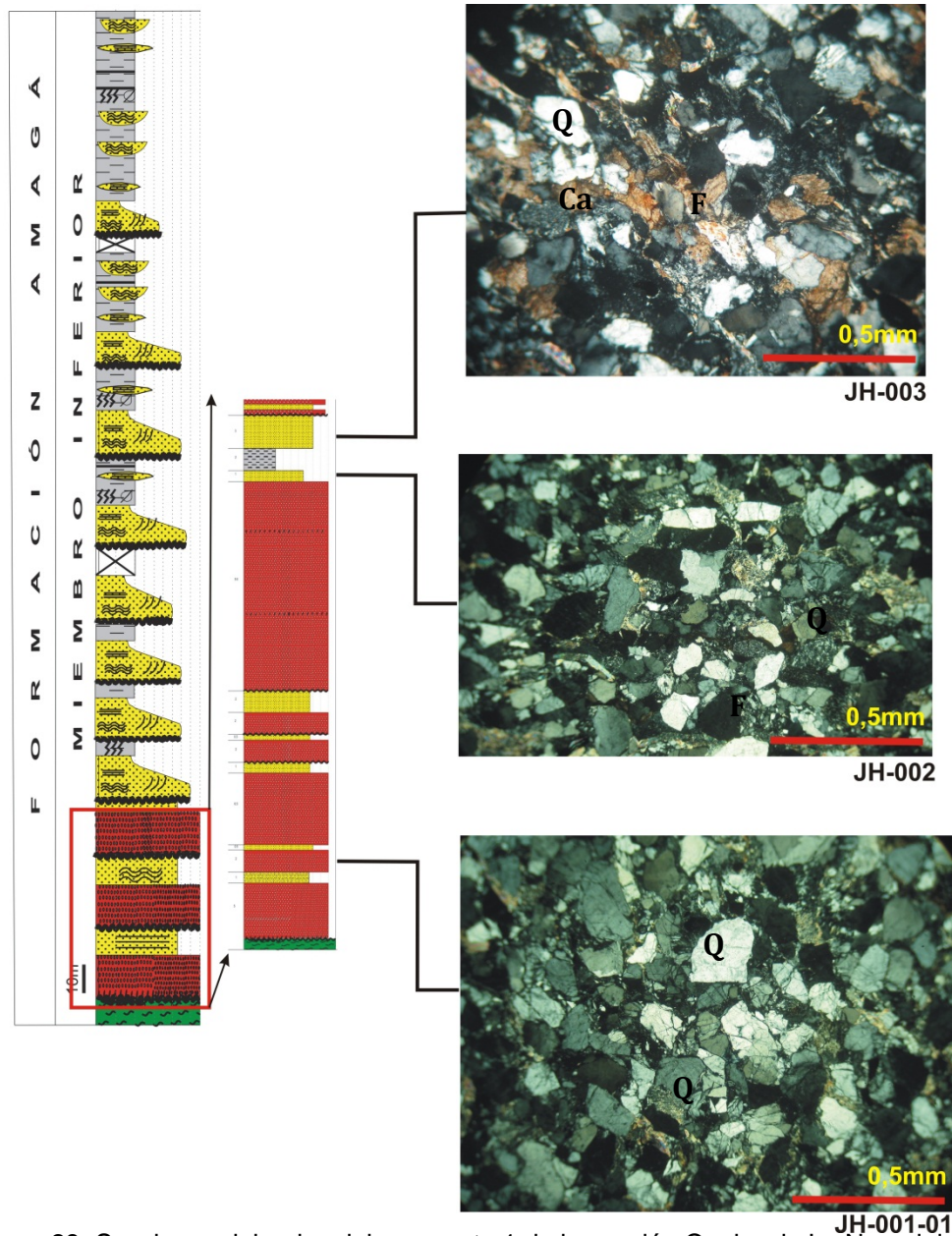
**Tabla 1.** Porcentajes de las areniscas de la sección Quebrada La Naranjala, Miembro Inferior de la Formación Amagá, Fredonia (Antioquia). Cuarzo (Q), Feldespatos (F), Fragmentos Líticos (FL).

Segmento	Altura dentro de la sección(m)	Nº de muestra	Composición (%)			Clasificación
			Q	F	L	
1	8	<b>JH-001-01</b>	93	2,2	4,6	<i>Sublitoarenita</i>
	33	<b>JH-002</b>	65	31	2,5	<i>Arcosa</i>
	35	<b>JH-003</b>	81	9,7	8,8	<i>Subarcosa</i>
2	119	<b>JH-009</b>	87,2	8,2	4,4	<i>Subarcosa</i>
	171	<b>JH-012</b>	69,3	23,7	6,8	<i>Arcosa</i>
3	201	<b>JH-014</b>	80,3	15,4	4,1	<i>Arcosa</i>
	251	<b>JH-016</b>	61,4	5,2	33,4	<i>Litoarenita</i>
4	308	<b>JH-019</b>	57,8	10,6	31,5	<i>Litoarenita</i>

## 7.1 SEGMENTO 1

Petrográficamente se encuentran 3 tipos de areniscas dentro de las barras de areniscas conglomeráticas. La sublitoarenita (JH-001-01) localizada hacia la base del segmento y secuencia (8m) compuesta por un 93% de cuarzo (Q), 4,6% de fragmentos líticos (FL) y 2,21% de feldespatos (F), con un porcentaje de matriz del 8-12%. Lo granos de cuarzo son en su mayoría monocristalinos están altamente fracturados y predominan granos angulares a subangulares (Figura 20).

La subarcosa feldespática (JH-002) localizada a los 33m está compuesta por 65% de Q, 31% de F y 2,5% de FL, con un porcentaje de matriz del 6-9%. (Figura 20). Los granos siguen conservando la angularidad y se observa un incremento de los feldespatos. La subarcosa (JH-003) (a los 35m) relacionada a esta barra tiene un 81% de Q, 9,7% de F y 8,8% de FL, esta sección a diferencia de la JH-002, los feldespatos se encuentran alterados a calcita (Figura 20)



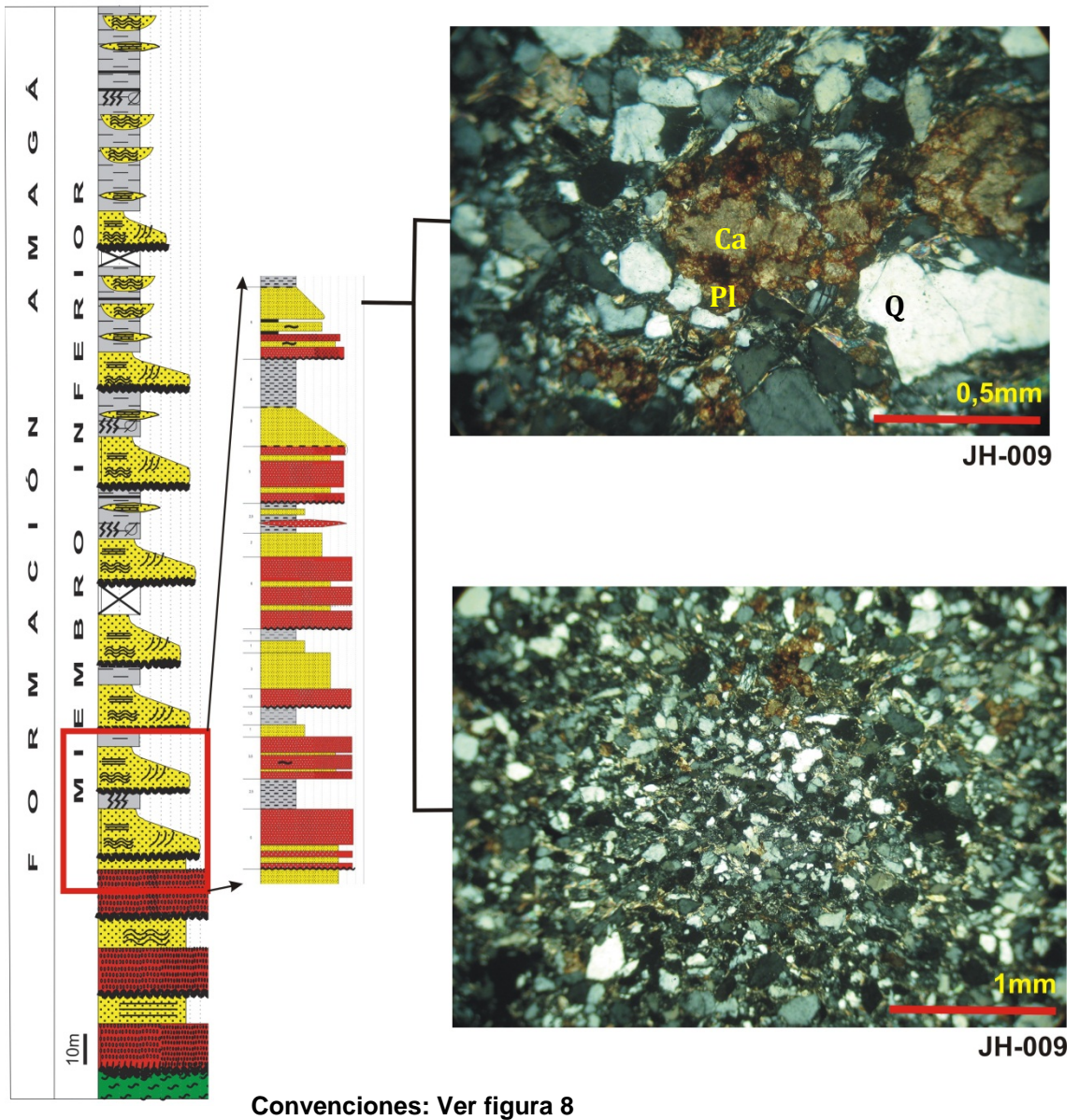
**Figura 20.** Secciones delgadas del segmento 1 de la sección Quebrada La Naranjala (Fredonia – Antioquia). Cuarzo (Q), Feldespato (F), Feldespato alterado (Fa), Carbonato (Ca).

## 7.2 SEGMENTO 2

En este segmento se encuentra representado por una subarcosa (JH-009) a los 119m compuesta por 87,2% de Q, 8,2% de F y 4,4% de FL, con un porcentaje de matriz del 10-12%. Sugerido como un ambiente de río meándrico de barras gravosas (Figura 14). Su composición es similar del segmento anterior diferenciándose por el tamaño de grano el cual es más fino y su angularidad, la



cual es predominantemente subangular a subredondeado. El cuarzo es en su mayoría monocristalino el cual se encuentra fracturado y los feldespatos, alterados calcita la cual se presenta entre el 10 y 12% (Figura 21).



**Figura 21.** Secciones delgadas del segmento 2 de la sección Quebrada La Naranjala (Fredonia – Antioquia). Cuarzo (Q), Feldespato (Pl), Plagioclasas, Carbonato (Ca). Foto superior sección en 10x, foto inferior vista general 4x.

### **7.3 SEGMENTO 3**

Caracterizado por canales meándricos areno-gravosos (Figura 15), este segmento presenta dos tipos de areniscas; arcosa y subarcosa.

La arcosa JH-012 (localizada a los 171m) contiene un 63,3% de Q, 23,7% de F y 6,8% de FL, con un porcentaje de matriz del 8-12%. El cuarzo tanto monocristalino como policristalino, se encuentra fracturado. Los feldespatos se encuentran algunos alterados a arcilla y en ocasiones a calcita (menos del 2%), por otro lado los FL son en su mayoría de origen sedimentario en los cuales se pueden diferenciar algunos fragmentos de cuarzo (Figura 22). En general los granos presentan una redondez que va desde subangulares a subredondeados.

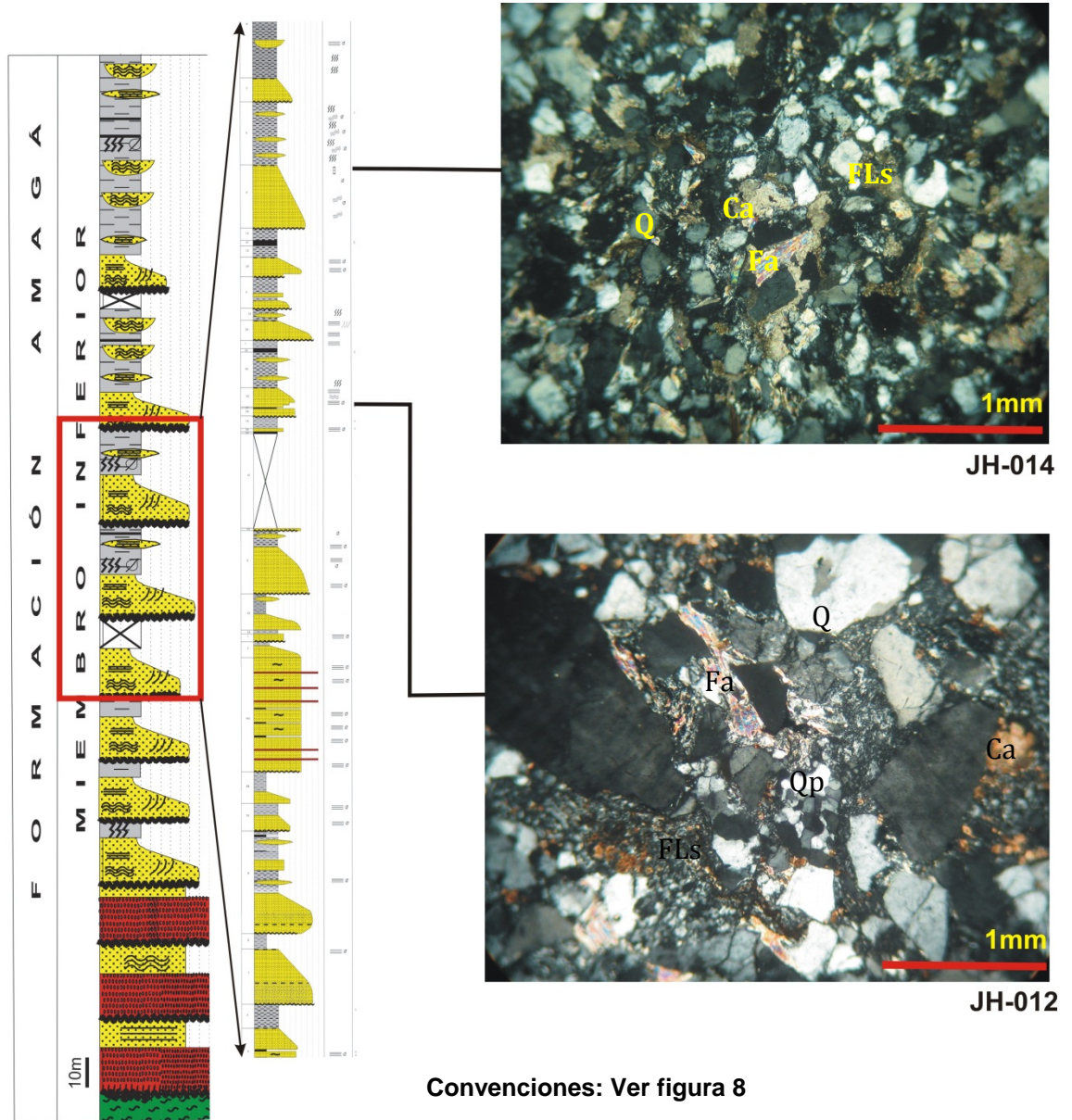
La subarcosa JH-014 (a los 201m) es compuesta por un 80% de Q, 15,4% de F y 4,1% de FL, con un porcentaje de matriz del 10-12%. Como en la sección anterior el Q en su mayoría monocristalino se encuentra fracturado. A excepción de algunos granos la mayoría de los feldespatos se encuentran alterados, algunos a calcita la cual se encuentra entre un 12 y 15%. El tamaño de grano es más fino y su redondez más alta (granos subredondeados) (Figura 22).

### **7.4 SEGMENTO 4**

Este segmento localizado, en el techo de la sección estratigráfica, e interpretado como producto de canales de ríos meándricos de barras arenosas (Figura 11) presenta un tipo de arenisca; Litoarenitas.

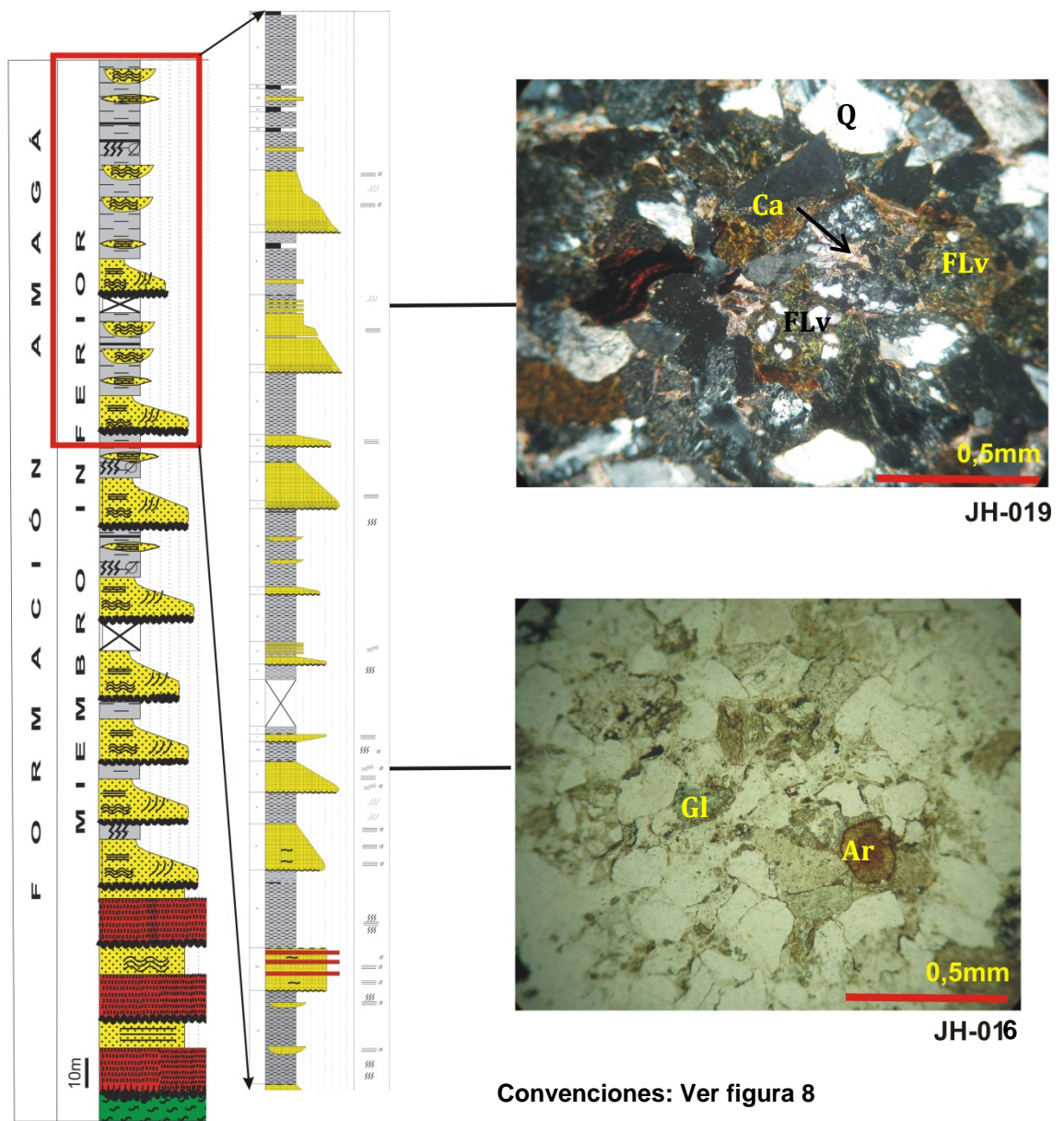
Las litoarenitas JH-016 (a los 251m) y JH-019 (a los 308) presentan porcentajes de Q entre 57,8%- 61,4%, FL entre 31,5%-33,4% y F entre 5,2%-10,6%, con un porcentaje de matriz del 10%-14% - 12%-14% respectivamente, con un porcentaje de matriz del 8-12%. A diferencia de los demás segmentos, estas areniscas presentan una disminución significativa de F aumentando FL, al igual que cambios importantes en su composición como lo es la presencia de

glaucionita, aragonita y FL volcánicos (Figura 23). Existe igualmente un aumento tanto en la redondez (redondeados) como en la selección de los granos.



**Figura 22.** Secciones delgadas del segmento 3 de la sección Quebrada La Naranjala (Fredonia – Antioquia). Cuarzo (Q), Cuarzo Policristalino (Qp), Feldespato Alterado (Fa), Carbonato (Ca), Fragmento Lítico Sedimentario (FLs).





**Figura 23.** Secciones delgadas del segmento 4 de la sección Quebrada La Naranjala (Fredonia – Antioquia). Cuarzo (Q), Carbonato (Ca), Fragmento Lítico Volcánico (FLv), Glauconita (Gl), Aragonito (Ar).

## 8. DIAGÉNESIS

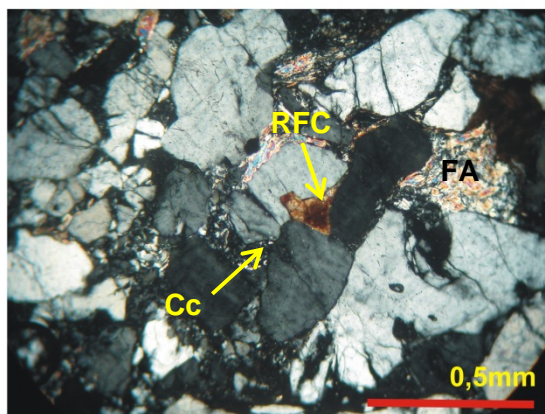
El término diagénesis incluye todos los procesos que afectan los sedimentos después de su depositación (Packman y Crook, 1960 en Lewis y McConchie, 1994). Los procesos y consecuencias son variados y pueden influenciar fuertemente en las características de las rocas.

La diagénesis física resulta inicialmente del incremento de presiones a medida que los sedimentos son progresivamente sometidos al enterramiento (en algunos casos resultan sobrepresiones del sedimento cuando los fluidos no pueden escapar). La diagénesis química, como lo es la disolución y alteración, es el resultado de la interacción química entre los minerales y las soluciones acuosas que ocupan los espacios intersticiales (Runnels 1969 en Lewis y McConchie, 1994).

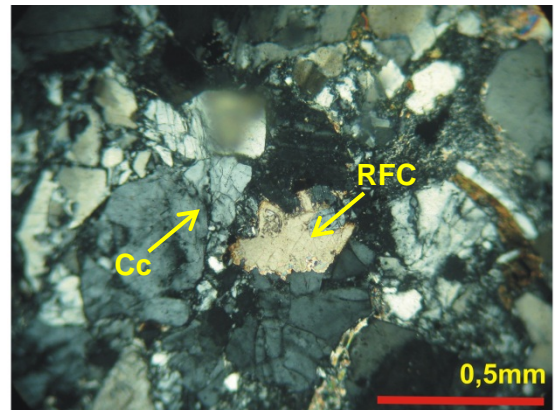
Para la sección Quebrada La Naranjala, las principales características diagenéticas fueron la alteración y reemplazamiento parcial o total de feldespatos (Figura 24), el fracturamiento y plegamiento de los granos (cuarzos y feldespatos respectivamente) (Figura 25), contactos cóncavo-convexos y suturados entre cuarzos y la presencia de cemento calcáreo con estructura de calcita fibrorradiada alrededor del aragonito (Figura 24). Este hecho puede deberse a que originalmente estaba compuesto por aragonito y parte de los detalles de la estructura se han perdido durante la inversión a calcita. Este cemento es característico de la precipitación a partir de aguas meteóricas o de aguas connatas, en condiciones relativamente profundas en el subsuelo, ya que la incorporación de hierro divalente en la red de la calcita, es decir, la formación de una calcita rica en hierro (siderita) se produce en condiciones reductoras, que se alcanzan más fácilmente en las zonas profundas que en los niveles próximos a la superficie (Adams et al., 1997).

La relación entre las anteriores características definen las temperaturas a las cuales estuvo sometida la sección las cuales se encuentran entre 80°C - 130°C y a un enterramiento somero a aproximadamente entre 2,7km – 3,5km

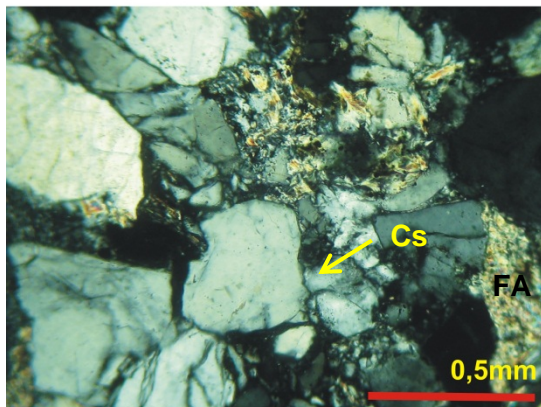
(Runnels 1969 en Lewis y McConchie, 1994) (Figura 26). Sin embargo con base a las características de los carbones, los cuales son clasificados como bituminosos, los enterramientos corresponderían a profundidades mayores y temperaturas más altas, este fenómeno puede ser explicado por el efecto térmico sobre la materia orgánica por parte de pórfidos correlacionables a la vulcanismo de la Formación Combia los cuales intruyen la Formación Amagá. Para el área de estudio, existe la presencia de un cuerpo intrusivo cerca de la sección Quebrada la Naranjala, reforzando la idea del posible efecto térmico de los intrusivos sobre la materia orgánica presente en la sección (Figura 29 y 30).



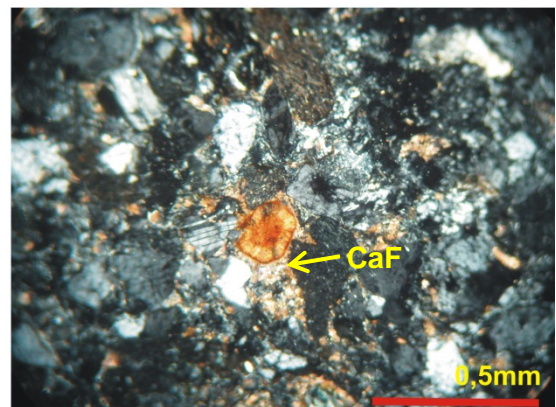
JH-016



JH-001-01



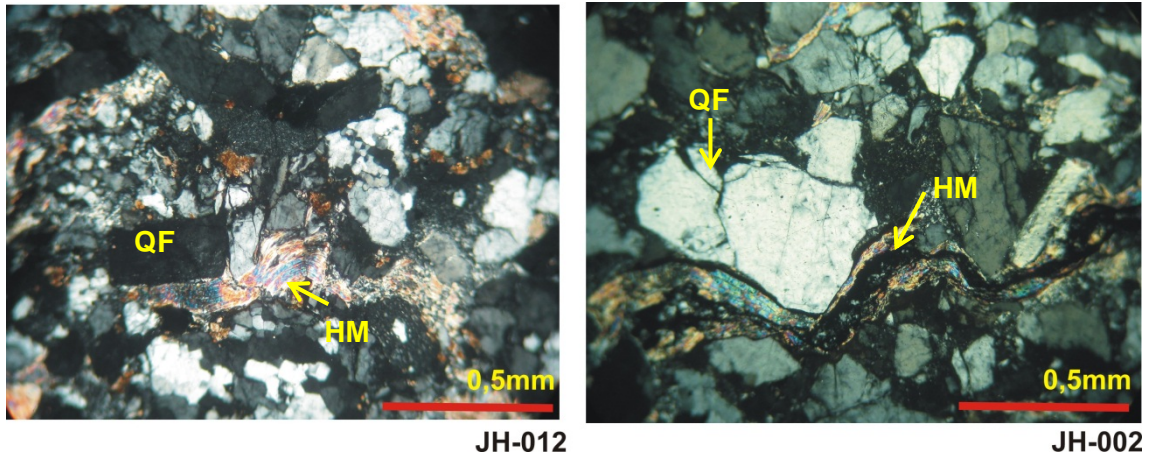
JH-002



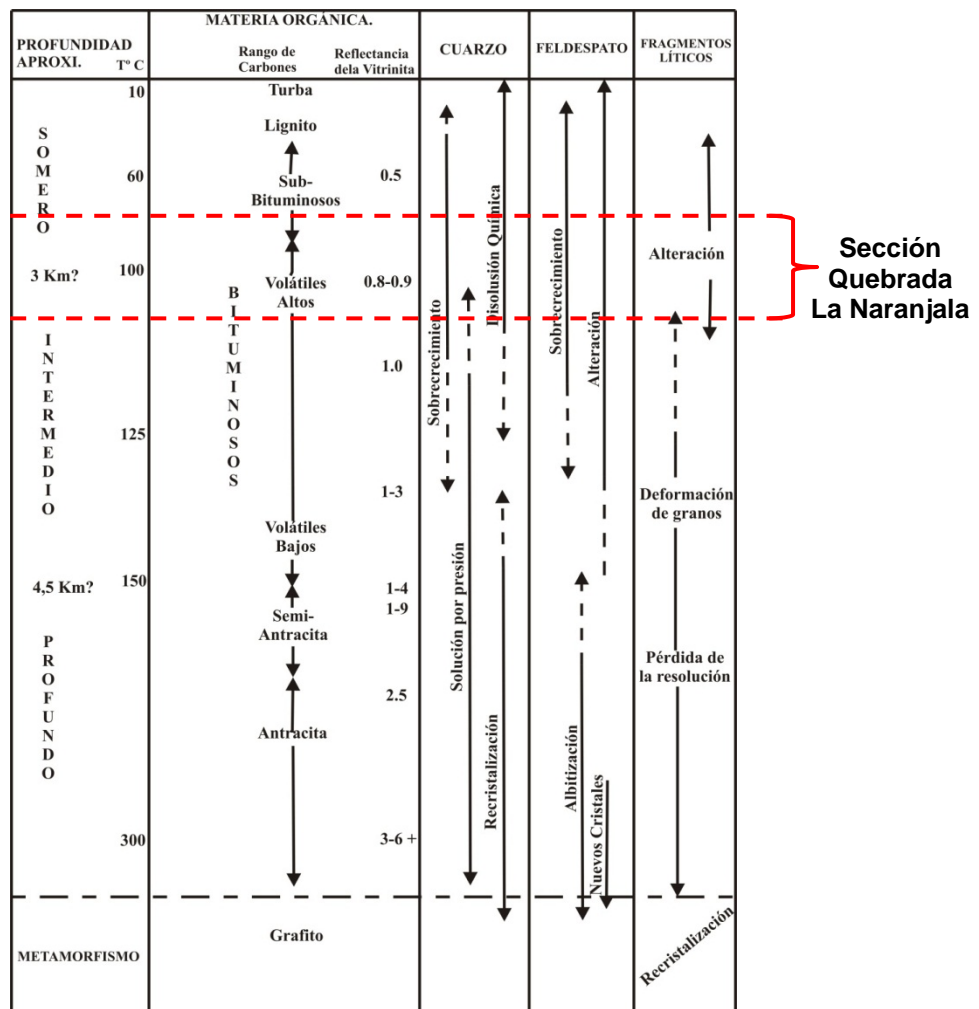
JH-019

**Figura 24.** Características diagenéticas de la sección Quebrada La Naranjala (Fredonia – Antioquia). Remplazamiento parcial y total de feldspatos por carbonatos (RFC), Contacto cóncavo-convexo (Cc), Contacto suturados (Cs), Calcita con estructura fibrorradiada (CaF) Feldspatos Alterados (FA).





**Figura 25.** Características diagenéticas de la sección Quebrada La Naranjala (Fredonia – Antioquia). Fracturamiento del Cuarzo (FQ), Feldespatos deformados (Hojuelas de Mica) (HM),



**Figura 26.** Relación generalizada entre la diagénesis y enterramiento/temperatura observado en las areniscas de la sección Quebrada La Naranjala (Modificado de Lewis y McConchie, 1994).

## 9. PROVENIENCIA DE LOS SEDIMENTOS

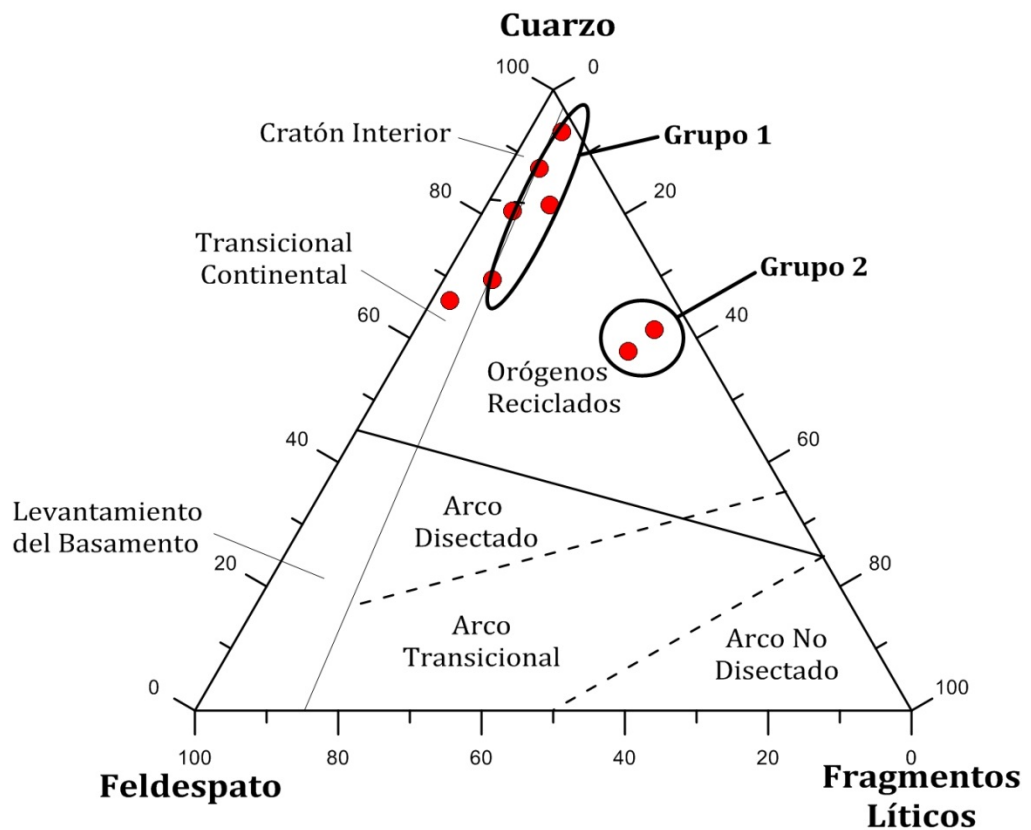
A partir de los análisis composicionales de las secciones delgadas pertenecientes a las areniscas recolectadas a lo largo la secuencia, se plotearon en el diagrama de Dickinson (1985) los resultados en contenido de cuarzo, feldespatos y fragmentos líticos, con el fin de determinar las áreas fuentes de los sedimentos. Una vez ploteados los datos, arrojaron como resultado sedimentos producidos en la categoría de proveniencia de “transicional continental” y “orógenos reciclados” (Figura 27).

Para el campo de transicional continental, Dickinson (1985) expone que las principales áreas fuentes son exposiciones graníticas y gnéisicas de baja altitud, complementada por plataformas asociadas a sedimentos sub horizontales retrabajados. En el área la posible proveniencia de los sedimentos serían del stock de Amagá el cual se clasifica como un cuerpo intrusivo de composición intermedia-ácida (Vinasco et al., 2006).

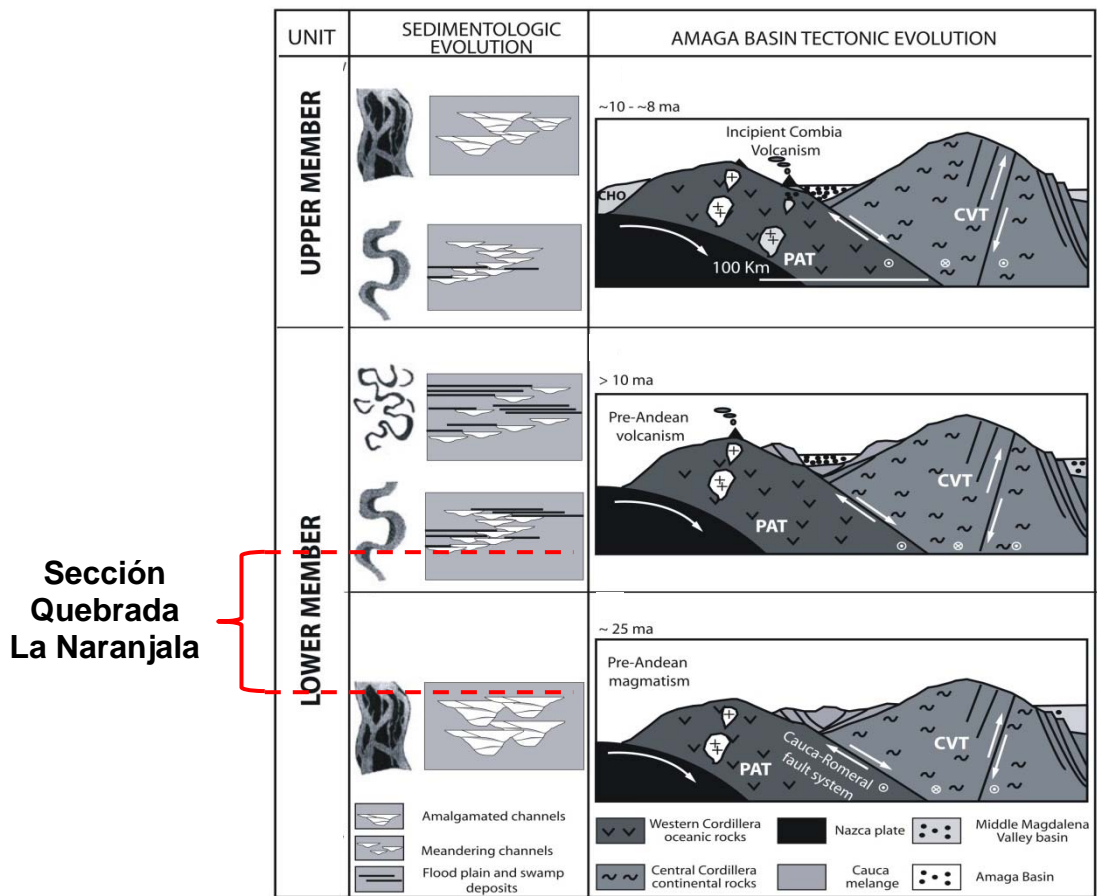
En cuanto al campo de los orógenos reciclados una de las principales áreas fuentes son los cinturones de backarc, representadas por rocas sedimentarias plegadas y por metasedimentos, ambas de origen continental (Dickinson, 1985). Este campo a su vez se podría dividir en 2 grupos. El grupo 1 localizado hacia la base y parte media de la sección y el grupo 2 representado por el techo de la misma (Figura 27).

El primer grupo correspondería a un área fuente proveniente del basamento expuesto de la cordillera central y del complejo Quebradagrande. Para el segundo grupo el área fuente cambia dada la presencia de glauconita, fragmentos líticos de origen volcánico y un aumento en fragmentos líticos de origen sedimentario (Figura 23). La glauconita es el producto final transportado de una formación autigénica submarina retrabajada, las cuales forman una secuencia que va desde esmectita glauconítica hasta mica glauconítica (Carozzi, 1993). La glauconita se encuentra entonces, restringida a ambientes marinos lo cual sugiere como posible área fuente las sucesiones sedimentarias

marinas del complejo Arquía. La presencia de fragmentos líticos volcánicos, exponen un aporte volcánico probablemente originado en la Formación Combia (Silva y Sierra, 2008). Estas áreas fuentes son concordantes estratigráficamente tanto con la evolución sedimentológica como tectónica propuesta por Silva et al (2008) (Figura 28).



**Figura 27.** Esquema gráfico de la proveniencias de los sedimentos en la sección Quebrada La Naranjala (Fredonia – Antioquia) según metodología de Dickinson (1985).



**Figura 28.** Evolución geológica de la Cuenca Amagá durante la depositación de la Formación Amagá y su relación con la sección La Naranjala (Modificado de Silva y Sierra, 2008). Cortes estructurales tomados de Villamil., 1999; Cediell et al., 2003 en Silva y Sierra, 2008.

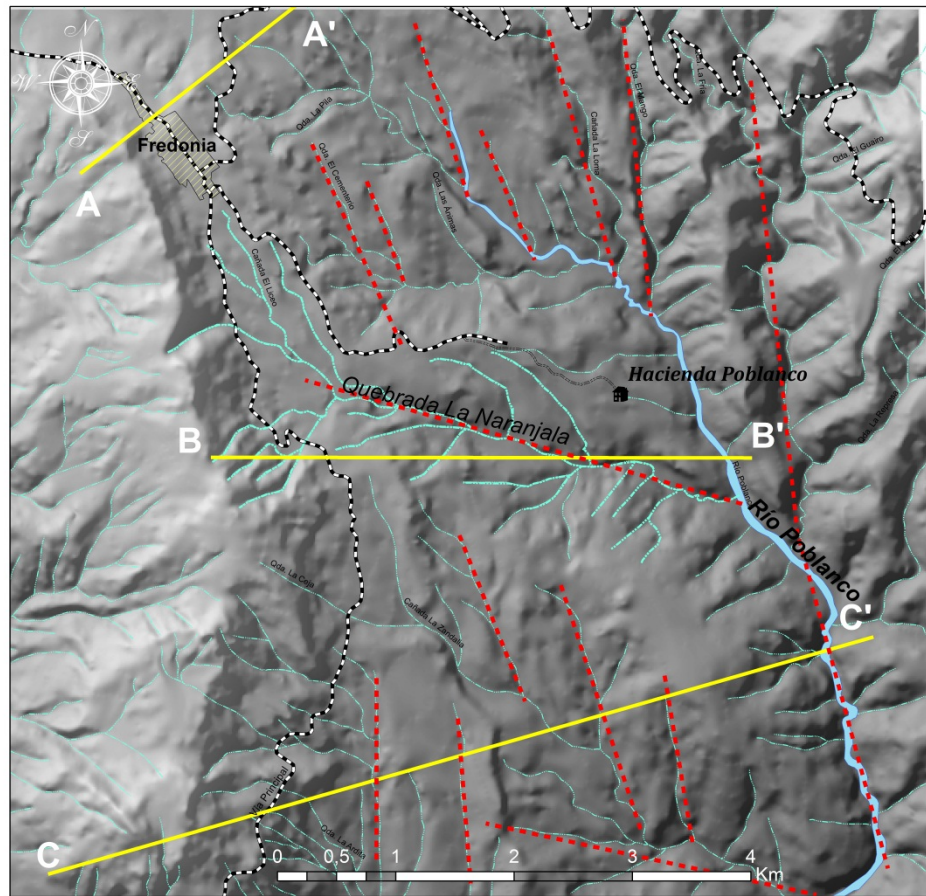
## 10. ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN LA SECCIÓN QUEBRADA LA NARANJALA

En la sección Quebrada la Naranjala, los estratos presentan una disposición estructural N20E<sup>0</sup>/vertical, conservando su buzamiento a lo largo de toda la sección (Foto 4), solo su dirección cambia a N10<sup>0</sup>W hacia el techo, punto en donde aflora una zona de falla (Foto 3), la cual es correlacionable con la falla Piedecuesta. Dicha falla no fue caracterizada en dirección y buzamiento. En este punto el levantamiento estratigráfico de la sección se suspendió debido a la discontinuidad de los estratos a causa de la falla Piedecuesta. La verticalidad de los estratos y el alto fracturamiento de los granos (Figura 20) pueden ser explicados por la presencia de pliegues ocasionados por esta falla la cual tiene un comportamiento de cabalgamiento hacia el interior del miembro inferior de la Formación Amagá (Maya y González 1995)..

A partir de datos estructurales (Grosse 1926) se observa un comportamiento similar hacia el norte y sur de la sección Quebrada la Naranjala (Figura 29 y 30), fortaleciendo el control estructural de la falla sobre la Formación Amagá en el área. Aguas arriba de la zona de falla, sobre el punto GPS 11 (Figura 11), se observó un cambio la dirección de la estratificación la cual indicaba la geometría de un posible sinclinal con su eje con la dirección de la corriente de la quebrada La Naranjala (Figura 30 y Figura 31).

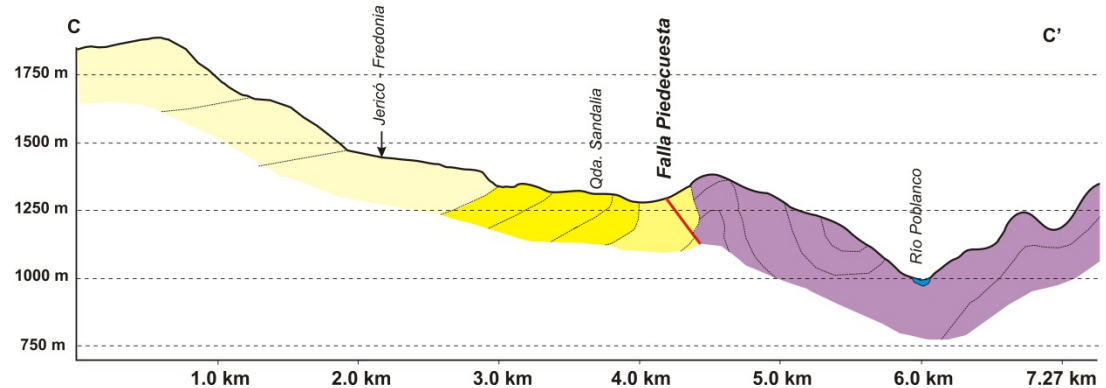
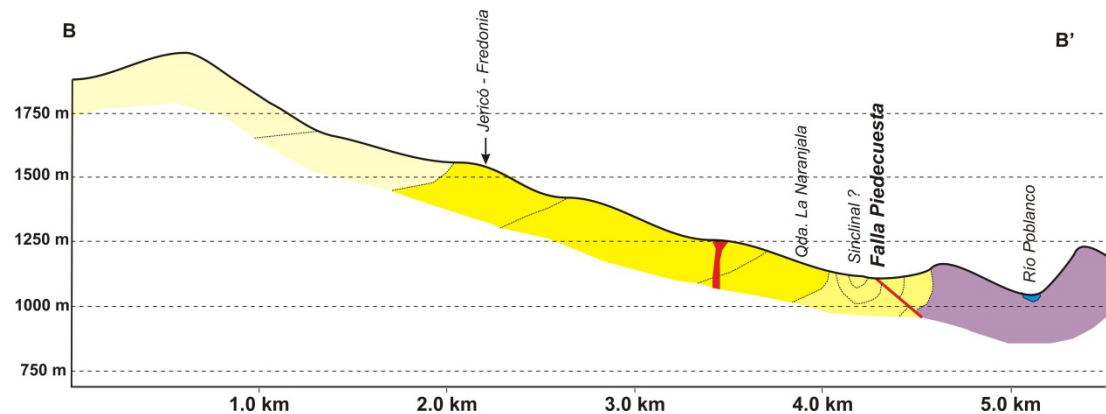
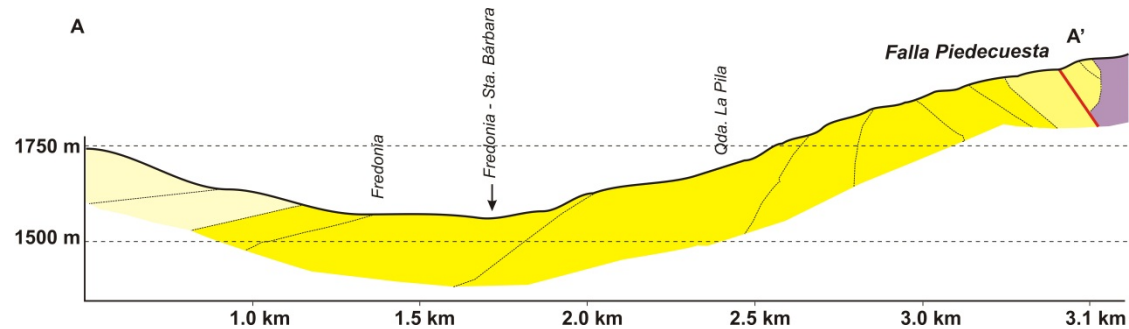
La variación de la relación de espacio de acomodación vs suministro de sedimentos, la zona de falla y el pliegue (sinclinal) encontrado sobre la secuencia Quebrada La Naranjala, sugieren que la Formación Amagá ha sido afectada por más de un evento tectónico.





Convenciones		
<span style="color: red;">---</span> Lineamientos	<span style="color: blue;">■</span> Rio Poblanco	<span style="border: 1px solid black; background-color: yellow;"> </span> Fredonia
<span style="color: yellow;">—</span> Cortes	<span style="color: cyan;">—</span> Drenaje	Vías
<span style="color: cyan;">—</span> Qda. La Naranjala	<span style="border-bottom: 1px dotted black;"> </span> Via Destapada	<span style="border-bottom: 1px dashed black;"> </span> Via Pavimentada

**Figura 29.** Localización de cortes geológicos (base cartográfica plancha 166-II-C. IGAC, 1979). Líneas A-A', B-B' y C-C' representan los cortes de la Figura 30.



**CONVENCIONES**

- Formación Combia
- Roca Hipoabisales Porfídicas
- Formación Amagá Miembro Superior
- Formación Amagá Miembro Inferior
- Metasedimentitas de la Sinifaná
- Estratificación
- Falla Piedecuesta

**Figura 30 . Cortes Geológicos.**  
**Corte A-A'** al norte de la sección Quebrada La Naranjala. Dirección del corte W-E  
**Corte B-B'** sobre la sección Quebrada La Naranjala. Dirección del corte W-E  
**Corte C-C'** al sur de la sección Quebrada La Naranjala. Dirección del corte W-E  
 Geología y datos estructurales de tomados de Grosse (1926).

E

W



**Figura 31.** Estructura sinclinal (?) sobre la quebrada La Naranjala. Nótese el cambio de la dirección de la estratificación y la coincidencia de la quebrada con el posible eje.

## 11. CONCLUSIONES

1. La sección Quebrada La Naranjala presenta una sucesión de facies sedimentarias continuas de bases a techo correspondientes a ambientes fluviales continentales intermedios (entre ríos trezados y meándricos hacia la base) y ambientes fluviales de ríos meándricos sinuosos (hacia el techo).

2. Estratigráficamente la secuencia La Naranjala es concordante entre las Unidades 1 (ambientes de ríos trezados) y 2 (ambientes de ríos meándricos) definidas por Silva et al (2008), las cuales correponden al Miembro Inferior de la Formación Amagá.

3. Las características diagenéticas de la sección Quebrada La Naranjala sugieren temperaturas entre 80°C - 130°C y un enterramiento somero aproximadamente entre 2,7km – 3,5km. Sin embargo en base a las características de los carbones, los cuales son clasificados como bituminosos, los enterramientos corresponderían a profundidades mayores y temperaturas más altas, este fenómeno puede ser explicado por el efecto térmico sobre la materia orgánica por parte de pórfidos correlacionables a la vulcanismo de la Formación Combia los cuales intruyen la Formación Amagá. Para el área de estudio, existe la presencia de un cuerpo intrusivo cerca de la sección Quebrada la Naranjala, reforzando la idea del posible efecto térmico de los intrusivos sobre la materia orgánica presente en la sección.

4. A partir de los análisis composicionales de las secciones delgadas pertenecientes a las areniscas de la sección Quebrada La Naranjala se definieron las siguientes áreas fuentes: hacia la base y parte media de la sección, las áreas fuentes son posiblemente el Stock de Amagá y el complejo Quebradagrande. Dada la presencia de glauconita, el incremento de fragmentos líticos sedimentarios y volcánicos, las áreas fuentes hacia el techo de la secuencia serían posiblemente las sucesiones sedimentarias marinas del complejo Arquía y el aporte volcánico de la formación Combia.

5. Los elementos estructurales encontrados sobre la secuencia Quebrada La Naranjala, sugieren que la Formación Amagá ha sido afectada por más de un evento tectónico.

## REFERENCIAS

- Adams, E., MacKenzie, W.S., Guilford, C.,** 1997. Atlas de Rocas Sedimentarias. Masson. Londres. 55p.
- Álvarez, J.,** 1983. Geología de la Cordillera Central y del Occidente Colombiano y Petroquímica de los intrusivos granitoides Meso-Cenozoicos. Boletín Geológico. Ingeominas, 26,2. Bogotá. 173 p.
- Álvarez, J. y González, H.,** 1978. Geología y geoquímica del cuadrángulo I-7 Urrao. Ingeominas, Informe 1761. 347 p.
- Bustamante, A. Cardona, A y Durán, C.,** 1999. Estratigrafía y Petrogénesis de las Sedimentitas Paleozoicas en el Flanco Occidental de la Cordilleras Central, Departamento de Antioquia. Proyecto de grado. Universidad Eafit. Medellín.
- Carozzi, A.V.,** 1993. Sedimentary Petrography. Prentice Hall. New Jersey. 12p.
- Cortes, M., Angelier, J.,** 2005. Current states of stress in the northern Andes as indicated by focal mechanisms of earthquakes. Tetonophysics, 403, 29-58p.
- Dickinson, W.R.,** 1985. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. En: Zuffa, G.G., (Ed.) Provenance of arenites. D. Reidel. 333-361p.
- Folk, R.L.,** 1951. Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill's. Austin. Texas. 150p.
- Frey Mueller, J.T., Kellog, J.N., Vega, V.,** 1993. Plate motions in the North Andean region. Journal of Geophysical Research, B, Solid Earth and Planets, 98, 21, 853-21p.
- González, H.,** 1976. Geología del cuadrángulo J-8 Sonsón. Informe 1704. Ingeominas Bogotá. 421p.

**González, H.**, 1980, Geología de las planchas 167 (Sonsón) y 168 (Salamina), Boletín Geológico Ingeominas 23. 174p.

**González, H.**, 2001. Memoria explicativa del mapa geológico del departamento de Antioquia. Igeominas. Bogotá. 256p.

**Grosse, E.**, 1926. El Terciario Carbonífero de Antioquia Ed. Reimer. Berlín. 361 p.

**Gutscher, M.A., Malavieille, J., Lallemand, S., Collot, J.Y.**, 1999. Tectonic segmentation of the North Andean margin: impact of the Carneige Ridge collision. Earth and Planetary Science Letters, 168, 255-270p.

**Kellogg, J.N., Ogujiofor, I.J., Kansakar, D.R.**, 1985. Cenozoic tectonics of the Panamá and North Andes Block. In Sixth Lat. Am. Geol. Congr., 1, 40-59p, Bogotá, Colombia.

**Lewis, D. W. y McConchie, D.**, 1994. Practical Sedimentology. Chapman & Hall. New York.

**López, A., Sierra, G. M., Ramírez, D. A.**, 2006. Vulcanismo Neógeno en el Suroccidente Antioqueño y sus Implicaciones Tectónicas. Proyecto de grado. Universidad Eafit. Medellín.

**Maya, M. y González, H.**, 1995. Unidades litodémicas de la Cordillera Central de Colombia. Igeominas. Medellín. 45 – 52p.

**Miall, A. D.**, 1994. The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology. Springer – Verlag. New York- 215p.

**Moreno, N.**, 2011. Análisis de la petrología área fuente y diagénesis de las areniscas de la Formación Amagá en los pozos Venecia 1 y El Cinco (1b). Universidad Eafit. Medellín.



**Pennington, W.D.**, 1981. Subduction of the eastern Panama Basin and seismotectonics of northwestern South America, *Journal of Geophysical Research*. B, 86, 10753-10770p.

**Pettijohn, F. J.**, 1957, *Sedimentary Rocks*. Harper and Row publishers. 628 p.

**Restrepo, J. Toussaint, J. F.**, 1987. ¿El grupo Ayurá- Montebello tiene todavía validez estratigráfica?. *Memorias Seminario Gerardo Botero Arango*, Medellín, 167-173p.

**Restrepo, J., Toussaint, J. F., González, H., Cordani, U., Kawashia, K., Linares, E y Parica, C.**, 1991. Precisiones Geocronológicas sobre el Occidente Colombiano. *Simp. Magmatismo andino. IGCP-UNESCO-IUGS*, Manizales. 1-21p.

**Sierra, G., Silva, J. C. y Correa, L. G.**, 2001. Estratigrafía Secuencial de la Formación Amagá. *Boletín Ciencias de la Tierra*. 15, 9-22p. Medellín.

**Sierra, G., Dueñas, H. y Marín, M. I.**, 2011. Palinomorfos del Eoceno medio, Formación Amagá, Cordillera Central de Colombia. *Memorias XIV Congreso Latinoamericano de Geología y XIII Congreso Colombiano de Geología*. Medellín

**Silva, J.C., Sierra, G., y Correa, L.G.**, 2008. Tectonic and climate fluctuations in the stratigraphic base level of Cenozoic continental coal basin, northwestern Andes. *Journal of South American Earth Sciences*. 26. 369-382p.

**Sutter, F.**, 2008. Tectono-Sedimentary Study of the Interandean North Cauca Valley Basin, Central Western Colombia. *Terre & Environnement*. 78. Université de Geneve. Suiza.

**Taboada, A., Rivera, L.A., Fuenzalida, A., Cisternas, A., Philip, H., Bijwaard, H., Olaya, J., Rivera, C.**, 2000. Geodynamics of the Northern Andes; subductions and intracontinental deformation (Colombia). *Tectonics*, 19, 787-813p.

**Toussaint, J. y Restrepo, J.**, 1974. Algunas consideraciones sobre la evolución de los Andes Colombianos. Esp. Geol.4. Facultad de Minas. Medellín.

**Trenkamp, R., Kellogg, J.N., Freymueller, J.T., Mora, H.P.**, 2002. Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America. CASA GPS observations. Journal of South American Earth Sciences, 15, 157-171p.

**Tucker, E.M.**, 2003. Sedimentary Rocks in the Field. Wiley. Third Edition. 229 p.

**U.S.G.S.**, 2005 <http://edc.usgs.gov/products/elevation.html>.

**Van Der Hammen, T.**, 1958. Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano y Tectogénesis de los Andes Colombianos. Bol. Geol. Bogotá. 1-15p.

**Vinasco, C.J., Cordani, U.G., González, H., Weber, M y Peláez, C.**, 2006. Geochronological, isotopic, and geochemical data from Permo-Triassic granitic gneisses and granitoids of the Colombian Central Andes: Journal of South American Earth Sciences, 21, 355-371p.

## **ANEXOS**