



La Formación La Frontera, Sección Vereda Tóriba: Una propuesta para la designación del Lectoestratotipo

JOHANA PAOLA BLANCO¹

PAULA ANDREA MEDINA²

PEDRO PATARROYO³

¹ E-mail: jpbblanncom@unal.edu.co

² E-mail: pamedinaa@unal.edu.co

³ E-mail: Departamento de Geociencias, Univesidad Nacional de Colombia. Bogotá.

Grupo de Investigación en Estratigrafía.

BLANCO, J.P., MEDINA, P.A. & PATARROYO, P. (2004): La Formación La Frontera, Sección Vereda Tóriba: Una propuesta para la designación del Lectoestratotipo.- GEOLOGIA COLOMBIANA, 29, pp. 23-40, 8 Figs., Bogotá.

RESUMEN

Se describe la sucesión sedimentaria de la Formación La Frontera, que aflora en el carretable Vereda Tóriba – Cerro El Tablazo, al noreste de San Francisco, Cundinamarca. La sección está compuesta por 109 m de biomicritas wackestone, lodolitas carbonosas fosilíferas y liditas diagenéticas, con intercalaciones de láminas de posibles bentonitas, las cuales son agrupadas en dos segmentos: el inferior (70 m), que se divide en los niveles I, II y III y el superior (39 m), que incluye los niveles IV y V. La bioestratigrafía de la Formación La Frontera, permite establecer una edad Cenomaniano tardío – Turoniano medio.

Históricamente y desde el punto de vista litoestratigráfico, la Formación La Frontera ha sido interpretada de diversas maneras, por lo que una revisión a este nivel se hace necesaria.

La secuencia carece de complicaciones estructurales, presenta una buena exposición de sus contactos inferior, con la Formación Pacho, y superior, con la Formación Conejo y en ella aflora toda la sucesión estratigráfica equivalente a la descrita en la literatura. Con base en lo anterior y teniendo en cuenta que no existe una adecuada designación y descripción del estratotipo de la unidad, ubicado en la Calera La Frontera (Albán, Cundinamarca), se propone a la sección Vereda Tóriba como un lectoestratotipo de la Formación La Frontera.

Palabras clave: Estratigrafía, Lectoestratotipo, Límite Cenomaniano – Turoniano, Formación La Frontera, Sección Vereda Tóriba.

ABSTRACT

The sedimentary succession of La Frontera Formation located on the road Tóriba – El Tablazo hill, northeast of San Francisco, Cundinamarca, is described.

The stratigraphic section, with a late Cenomanian – middle Turonian age, consists of 109 m of wackestone biomicrites, carbonaceous fossiliferous mudstones, diagenetic lidites and possible bentonite layers. Two segments were identified. The inferior segment (70 m) is divided in the levels I, II and III, and the superior one (39 m) includes the levels IV and V.

Along the time, the lithostratigraphy of La Frontera Formation has been interpreted in several ways and for that reason a new revision is necessary.

This sedimentary sequence is not affected tectonically and it has good exposure of its lower (with Pacho Formation) and upper (with Conejo Formation) limits. Besides, the section includes the whole equivalent stratigraphic succession to equivalent one described in geologic literature.

Based on this information and because there is not any appropriate description of the stratotype, located in the Calera La Frontera, Alban – Cundinamarca, the Vereda Tóriba section is proposed as a lectostratotype of La Frontera Formation.

Key words: Stratigraphy, Lectostratotype, Cenomanian –Turonian boundary, La Frontera Formation, Vereda Tóriba section.

INTRODUCCIÓN

La amplia aceptación del término “Formación La

Frontera” (Hubach 1957b) hace presumir que los trabajos publicados sobre la unidad, documentan concretamente sus aspectos litológicos y paleontológicos, así como

la información acerca de sus contactos y espesor. Sin embargo, y debido a que su reconocida sección tipo “Calera La Frontera” (Albán, Cundinamarca) carece, a lo largo de la literatura geológica difundida, de una clara y completa descripción de estas características, la propuesta de una nueva sección de referencia que se constituya en un lectoestratotipo, definido por la IUGS (1994) como “a stratotype for a previously described stratigraphic unit selected later in the absence of an adequately designated original stratotype (holostratotype)”, se hace necesaria.

Con base en el proyecto de investigación “Estratigrafía de las Sedimentitas del Turoniano de los Andes Centrales Colombianos” (803724) financiado por la División de Investigaciones de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, y durante las prácticas del curso de Geología de Campo 2002, del Departamento de Geociencias, se reconoció y describió detalladamente una sucesión sedimentaria aflorante al noreste del municipio de San Francisco, Cundinamarca, en los límites de las veredas Tóriba y San Miguel (Fig. 1) y la cual fue seleccionada por su excelente exposición, carencia de complicaciones estructurales y por incluir toda la secuencia litológica, cumpliendo así con los requisitos establecidos para una nueva sección de referencia.

Localización y Metodología

La sección estudiada se localiza al noreste de San Francisco, Cundinamarca (Vereda Tóriba, plancha IGAC 208 IV C), entre las coordenadas planas $X = 1.043.107$, $Y = 978.942$ y $X = 1.043.137$, $Y = 979.151$, en el flanco occidental de una estructura denominada por Blanco & Medina (2003) como Anticlinal Río San Miguel (Fig.1). San Francisco se halla a 42 Km al NW de Bogotá con la que se comunica por la vía Bogotá – La Vega. La sucesión Vereda Tóriba, que incluye, además de la Formación La Frontera, la parte superior de la Formación Pacho y los primeros metros de la Formación Conejo, aflora en un carreteable (Lám. 1A) paralelo al Río San Miguel, a 1840 msnm, el cual une las veredas Tóriba y San Miguel y conduce hacia la parte baja del Cerro El Tablazo.

La metodología descriptiva seguida en este trabajo (ver Blanco & Medina 2003), tiene en cuenta la nomenclatura propuesta por Ingram (1954 en Friedman et al.,1992), para el espesor de los estratos, Friedman et al. (op.cit.), para la forma externa de las capas y Campbell (1967), para la representación de los distintos tipos de laminación. El color macroscópico de las muestras fue determinado mediante la tabla de colores de la G. S. A. (1963).

El contenido de materia orgánica se evaluó cualitativamente considerando si la roca al contacto con

el papel lo mancha con un polvo oscuro que lógicamente está asociado al color de la roca. Con base en ello, se determinó si éste es alto, medio o bajo.

Microscópicamente, los nombres asignados a las rocas calcáreas se basan en las clasificaciones de Folk (1962) y Dunham (1962). Para las rocas terrígenas se usa la clasificación textural de Wentworth (1922) y la composicional sugerida por Lewan (1978). El término lidita se aplica a aquellas rocas cuyas características macroscópicas cumplen las establecidas por Boggs (1995 en Terraza 2003).

La presencia de estructuras sedimentarias secundarias de origen biológico asociadas con posible microbioperturbación, fue determinada gracias a los análisis petrográficos y evaluada cualitativamente comparando las secciones delgadas con el esquema planteado por Moore & Scruton (1957) en el que se observa la progresiva alteración que sufren los sedimentos por acción de los organismos.

LA FORMACIÓN LA FRONTERA

El nombre “La Frontera” deriva de un horno de cal ubicado al norte de Albán – Cundinamarca (Hubach 1957a), municipio al cual se refiere Bürgl (1957) al describir el “miembro de La Frontera” que aflora en los alrededores de Subachoque (Cundinamarca). Cáceres et al. (1970), Etayo et al. (1983), Martínez (1990), Ulloa et al. (1991), Villamil et al. (1993), Acosta & Ulloa (1997), Martínez & Vergara (1999) y Acosta & Ulloa (2001), mencionan que Hubach (1931b) señala a Albán como localidad en donde se encuentra la sección tipo de la Formación La Frontera; sin embargo, en Hubach (op.cit.) no se realiza tal afirmación. Conforme a esto, en ninguna publicación consultada se especifican las características litológicas y el espesor de la sucesión de Albán, ampliamente aceptada como sección tipo.

El primer autor en referirse a La Frontera, en una columna estratigráfica anexa al trabajo, fue Hubach (1931a), quien la usó para denominar un nivel de liditas y esquistos arcillosos de edad Turoniano y Coniaciano temprano, perteneciente a la “Formación de Guadalupe”.

Bürgl & Dumit (1954) describen en la sección Girardot – Nariño, 25 m de “margas arenosas” estratificadas en bancos de hasta 50 cm de espesor los cuales contienen “caliza arenosa” y algunas capas de lidita rica en concreciones calcáreas pertenecientes a un horizonte llamado “Horizonte La Frontera” de edad Turoniano – Coniaciano.

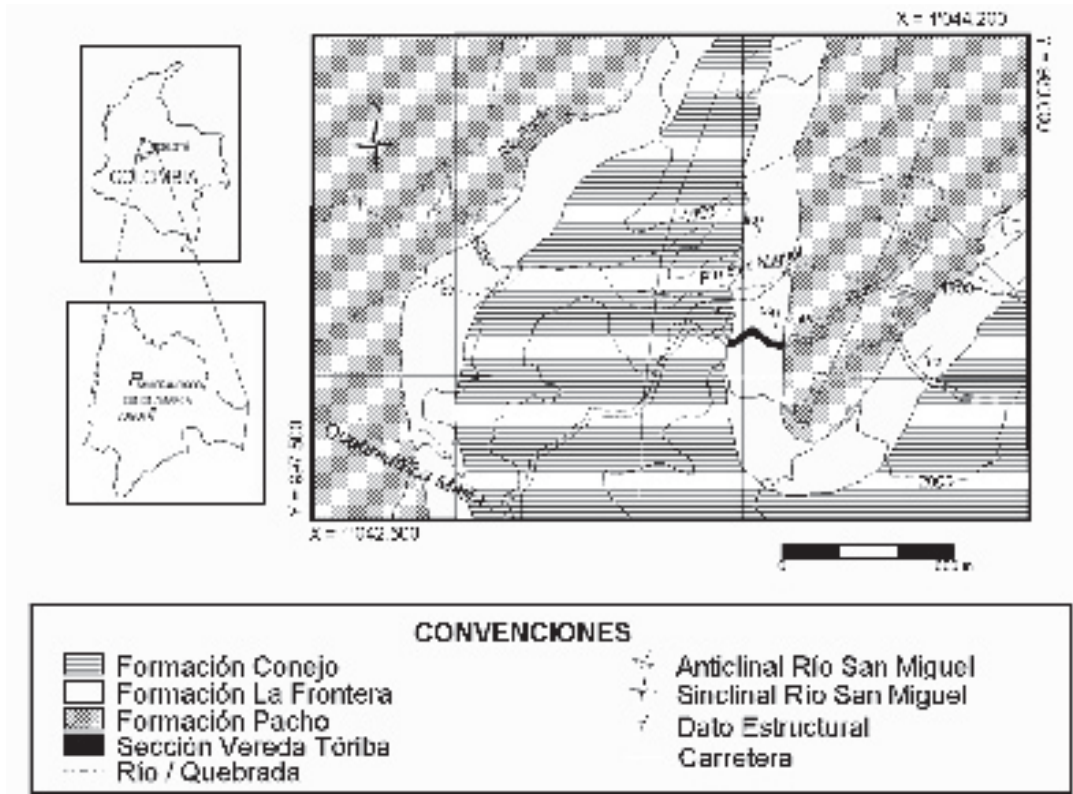


Fig. 1. Ubicación Sección Vereda Tóriba, Formación La Frontera (Base topográfica plancha IGAC 208 IV C).

Hubach (1957a), hace referencia al nivel guía de La Frontera, que corresponde a la parte inferior de la “Formación de Guadalupe” y que consta de liditas concrecionarias (calosas y piríticas), con intercalación de asphaltita muy dura; le asigna una edad Turoniano – Coniaciano con base al contenido de amonitas. Hubach (1957b), publica la recopilación de sus trabajos geológicos previos, en donde menciona, en el periodo comprendido entre 1953 y 1954, al miembro La Frontera (localidad Horno de Cal al N de Albán, Cundinamarca occidental) como un nivel lidítico, algo calcáreo perteneciente a la parte baja del Grupo Guadalupe, cuya edad abarca desde el Turoniano hasta el Coniaciano temprano. Este segmento calcáreo – lidítico forma la denominada “Tercera Lidita” del alto Magdalena (Hubach, op.cit. p. 41 – 42). No obstante lo anterior y dentro de la información compilada sobre la geología del Grupo Villeta entre 1933 y 1955, Hubach sugiere que el rango de las liditas turonianas – coniacianas de la parte baja del Grupo Guadalupe ubicadas al norte de Chitagá, sobre la faja Chipaque – Gachetá – Guateque – Sogamoso – Chita – río Margua, no son del miembro La Frontera, sino de la Formación La Frontera, equivalente, según el autor, a “La Luna” (Hubach 1957b. p. 49). Este

cambio de rango de la unidad no incluye una descripción detallada de su litología.

Bürgl (1957), en los alrededores de Subachoque (Cundinamarca), señala la presencia de areniscas de grano fino correspondientes al Miembro de La Frontera, el cual, cerca de Albán, contiene además bancos de caliza; le asigna una edad Turoniano tardío y afirma que está suprayacida conformemente por “esquistos” del Coniaciano.

Etayo (1964) incluye por primera vez, dentro del Grupo Villeta, al Horizonte de La Frontera. Igualmente presenta la definición litológica realizada por Hubach (1957a) y cita las amonitas descritas por Bürgl & Dumit (1954) para dicho horizonte, en el área de Girardot.

Julivert et al. (1968), realiza una síntesis de los trabajos previamente publicados por Bürgl & Dumit (1954), Hubach (1957b), Morales (1958) y Etayo (1964), sin hacer mayores aportes a la geología de la unidad.

Cáceres & Etayo (1969) postulan como localidad de referencia para la Formación La Frontera, el sitio de La

Gran Vía, en la carretera Bogotá – Mesitas del Colegio. Allí describen hacia la parte baja 40 m de shales calcáreos con grandes concreciones fosilíferas ricas en inocerámidos y en amonitas (Vascocereras, Thomasites, Hoplitoides), y en la parte superior, 12 m de limolitas silíceas con lentes y a veces con lechos de chert, y con impresiones de inocerámidos y Hoplitoides. Esta unidad pertenece a la parte superior del Grupo Villeta, suprayace a los “Shales ind denominados” e infrayace los “Shales grises ind denominados” y representa el Turoniano temprano.

Cáceres et al. (1970), proponen como localidades de referencia, en la Plancha L – 10, dos afloramientos, uno al margen de la carretera Bogotá – El Colegio y otro cerca de Cumacá (Cundinamarca). Así mismo, afirman que la Formación La Frontera conforma un “paquete de 70 m de lutitas calcáreas finamente laminadas, gris oscuras, con concreciones calcáreas y calizas, areniscas hacia el oriente, con su parte superior compuesta por limolitas silíceas delgadamente estratificadas”. En cuanto a los límites, indican que el inferior “lo constituye los primeros bancos de caliza (al oeste) o de arenisca (al este) que descansan sobre los shales del tope de la Formación Hiló”. Sin embargo, en el mismo trabajo se menciona que la unidad “Shales ind denominados” reposa sobre la Formación Hiló (p. 15) sin justificar la razón por la cual estos “Shales” no yacen estratigráficamente por debajo de la Formación La Frontera. Su límite superior se encuentra en las últimas capas de limolitas silíceas que infrayacen a lutitas grises laminadas pertenecientes a la unidad “Shales Grises Ind denominados”. Igualmente, los autores precisan que la Formación La Frontera es isópica y coeva con la Formación San Rafael del Cuadrángulo J – 12.

Reyment (1971) con base en amonitas colectadas por R. Wrigth–Baeker, en un afloramiento de calizas cerca a “La Frontera”, en Albán, trata el dimorfismo del género *Benueites*, del Turoniano temprano, en Africa y Sudamérica. Dentro de las formas colombianas, colectadas cita *B. spinosus* Reyment, *B. benueensis* Reyment e introduce las nuevas especies *B. frontieriensis* y *B. colombiensis*; del mismo modo incluye *Hoplitoides* sp., *Neoptychites* cf. *telingaeformis* Solger, *Mammites* sp. e *Inoceramus* sp. Posteriormente, Reyment (1972), describe algunas amonitas del Turoniano temprano de Colombia y Trinidad; de los ejemplares colombianos de la Formación La Frontera menciona *Hoplitoides wohlthmanni* (von Koenen), *Mammites* spp., y *Neoptychites crassus* Solger.

Etayo (1979) describe para la Formación La Frontera, las secciones Cumacá – Viotá y Hacienda La Giralda (Cundinamarca); la primera sección con 45 m de espesor, consta de intercalaciones de shales y porcelanitas con

algunas concreciones calcáreas y la segunda (13 m), de shales con algunos lentes de caliza, shales silíceos y porcelanitas.

Reyment (1981), incluye la Formación La Frontera dentro del Grupo Villeta, asignándole una edad Turoniano temprano – Coniaciano, con base en el hallazgo de *Mammites* spp., *Hoplitoides ingens* (Von Koenen), *Fagesia* ? sp. y *Prionocycloceras* spp.

Rubiano (1989) da a conocer la Formación La Frontera en el Alto de Los Micos, al norte de Pacho, Cundinamarca. Allí la unidad está compuesta por 120 m distribuidos en dos segmentos: el inferior consiste de shales arcillosos calcáreos con nódulos de micrita, y el superior, de cherts y cherts calcáreos con nódulos huecos. Además realiza análisis petrográficos y composicionales (difracción de rayos X), indicando que el tamaño de grano decrece hacia el tope, el cuarzo actúa como cemento en los cherts y que la illita es el principal constituyente de las lodolitas. Le asigna una edad Turoniano temprano – tardío.

Martínez (1990) y Martínez & Vergara (1999) se refieren a dos sucesiones de la Formación La Frontera (Río Curí y Anolaima – La Florida, Cundinamarca), que son propuestas como eventuales sustitutos de la sección tipo, debido a que esta se halla en avanzado estado de degradación. La secuencia del Río Curí mide 46 m y fue dividida por los autores en tres segmentos: el primero contiene lodolitas calcáreas con intercalaciones de calizas biomicríticas y con concreciones micríticas, hacia el tope se da una litología calcáreo – silícea; el segmento intermedio está formado por cherts negros y el último, por liditas, lodolitas calcáreo – silíceas y una capa de caliza micrítica, usada para correlación con la otra sección. En Anolaima – La Florida, afloran únicamente los últimos 20 m del segmento superior de la sección del Río Curí. El contacto inferior de la unidad se define en la primera aparición de lodolitas calcáreas negras; el superior es transicional con la unidad “Lodolitas Ind denominadas”. En cuanto a la edad, abarca desde el Turoniano temprano (a partir del estudio de foraminíferos realizado por Martínez 1990 y Martínez & Vergara 1999) hasta el Coniaciano medio (de acuerdo con Búrgl 1957).

Ulloa & Rodríguez (1991), miden dos columnas estratigráficas de la Formación La Frontera, una al oeste de Simijaca y otra en la carretera Candelaria – Samacá. La primera muestra 67 m de limolitas silíceas con nódulos arcillosos y piritosos e intercalación de shales negros. La segunda presenta 20 m de limolitas y lutitas, de donde se asume que correlacionan a la Formación La Frontera con el segmento superior de la Formación San Rafael. Así,

que de los dos segmentos de la Formación San Rafael que reconocen Etayo (1968) y Ulloa & Rodríguez (op. cit.), introducen las denominaciones Formación Simijaca y Formación La Frontera dentro de la esquina nororiental de la Plancha 190, Chiquinquirá.

Acosta & Ulloa (1997), en el Anticlinorio de Villeta, describen la Formación La Frontera como una sucesión de lodolitas calcáreas intercaladas con capas de lidita y micrita con concreciones y de limolitas silíceas ligeramente calcáreas y liditas, hacia el tope. El contacto inferior de la unidad lo ubican en la base de un nivel de lodolitas que suprayace a limolitas silíceas de la “Formación Simijaca”.

Avendaño & Tovar (1998) se refieren informalmente, entre Yacopí (Cundinamarca) y Puerto Boyacá (Boyacá), al Grupo La Frontera (Cenomaniano tardío – Coniaciano temprano) el cual está integrado por las Formaciones La Frontera, “Lutitas Intermedias” y “Ruedas de Carreta”. La Formación La Frontera (100 m) abarca desde el Cenomaniano tardío hasta el Turoniano temprano y consiste de una alternancia de capas de chert negro, shales silíceos y calcáreos y micritas. Estos autores reconocen el Grupo La Frontera en el Valle Medio del Magdalena (VMM), área en la cual la unidad es formalmente identificada como Formación La Luna.

Arce (2000) menciona las columnas estratigráficas de la vía Bogotá – Mesitas del Colegio kilómetro 28, con un espesor de 21 m y vía Zipaquirá – Pacho, kilómetro 20 (70 m de espesor), ubicadas en el departamento de Cundinamarca. En dichas localidades, la Formación La Frontera se compone de biomicritas wackestone (diseminadas) y packstone (empaquetadas) con concreciones calcáreas, algunas fosilíferas. Además reporta varias capas delgadas (13 a 18 niveles) de posibles bentonitas, que también han sido descritas por Villamil et al. (1993) y Villamil & Arango (1998).

Acosta & Ulloa (2001) describen las secciones de la Formación La Frontera en las vías Pacho – Bogotá y San Cayetano – Vereda Pinipay. La primera, con 165 m, es dividida en cuatro segmentos, los cuales contienen “limolitas calcáreas”, arenitas muy finas con cemento calcáreo, limolitas calcáreas con concreciones, “limolitas calcáreas” negras, “limolitas cuarzosas” y cherts. También reconocen tres segmentos en la sección San Cayetano – Vereda Pinipay: El primero (57 m) está compuesto por lodolitas calcáreo – arcillosas y “limolitas calcáreas”, el intermedio (57 m) muestra limolitas calcáreas ligeramente silíceas con lodolitas calcáreas y el superior (102 m) contiene lodolitas laminadas. En esta última sucesión, definen el contacto inferior de la Formación La Frontera

en la base de una lodolita calcárea negra, que suprayace a una secuencia de lodolitas de la “Formación Simijaca”; el límite superior se definió en el techo de una capa de lodolita silícea, que está en contacto con arcillolitas de la Formación Conejo. Le asignan una edad Turoniano y Cenomaniano – Turoniano siguiendo las observaciones realizadas por Etayo (1979) y Martínez (1990), respectivamente. De acuerdo con la litología y con los espesores citados para la unidad por estos autores, no es claro, si se incluye parte del tope de la Formación “Simijaca” o la zona basal de la Formación Conejo.

Guerrero (2002) incluye la Formación La Frontera, dentro de la Aloformación Chipaque, que abarca desde el Turoniano hasta el Santoniano; así mismo realiza una síntesis de la litología y de los trabajos previos referentes a dicha unidad litoestratigráfica. Además, considera la Formación San Rafael (área de Villa de Leyva) como un sinónimo inválido de la Formación La Frontera, de edad Turoniano, sin exponer las razones que sustenten esta apreciación.

En este trabajo, y debido a la confusión ocasionada por las múltiples definiciones de la unidad, la Formación La Frontera en el área de San Francisco, se debe entender como una unidad de 109 m de espesor descrita a continuación, cuyo contacto inferior está definido en la base de la primera capa de biomicritas wackestone negras que suprayacen a las arcillolitas terrígenas negras de la Formación Pacho; el contacto superior es transicional con la Formación Conejo y está marcado al tope de la última capa de liditas (Blanco & Medina 2003 y Patarroyo et al., 2003).

ESTRATIGRAFÍA FÍSICA–SECCIÓN VEREDA TÓRIBA

Previamente a la descripción estratigráfica de la Sección Vereda Tóriba, se presenta una síntesis de las observaciones realizadas a varias capas de posibles bentonitas incluidas en la secuencia, partiendo de los trabajos de Villamil & Arango 1998; Villamil 1998 y Arce 2000.

En la sucesión estudiada, se encontraron 36 láminas arcillosas de color rojo piritizadas, 1 en la parte superior de la Formación Pacho, 33 dentro de la Formación La Frontera y 2 entre las rocas que conforman la Formación Conejo.

Algunas de estas láminas pertenecientes a la unidad de interés (Lám. 1B) fueron sometidas a una descripción macroscópica general y a un análisis de fluorescencia de rayos X (RFX). En el primero se determinó que los

niveles rojos en general están compuestos por cuarzo bipiramidal, moscovita, yeso, pirita (en la mayoría de los casos, alterada a óxidos de hierro) y por una abundante fracción arcillosa.

Los resultados semicuantitativos de los análisis de fluorescencia de rayos X muestran una clara diferencia entre los niveles rojos piritizados y las rocas pertenecientes a la unidad, basada en el contraste de la concentración de los óxidos mayores, principalmente Na_2O , Al_2O_3 , K_2O , TiO_2 , Fe_2O_3 y CaO . De igual manera, los altos contenidos de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 y K_2O , posiblemente reflejan la composición de los minerales arcillosos neoformados en el proceso de alteración y sustentarían los cambios texturales observados a nivel macroscópico con respecto a la litología en la que las capas rojas se hallan intercaladas. Esto permite afirmar que los niveles piritizados constituyen láminas arcillosas que probablemente corresponden a la alteración de depósitos de bentonitas (ver Blanco & Medina 2003).

Formación Pacho

Corresponde a la unidad infrayacente a La Frontera. En términos generales, la Formación Pacho es considerada como una unidad grueso-granular y siliciclástica del Cenomaniano. En este estudio se describen los 7 m superiores de la formación, conformados por arcillolitas negras, en láminas delgadas, onduladas discontinuas no paralelas (Fig. 2), con pirita diseminada y color gris medio oscuro (N4). En el sector más alto, se encontraron restos de peces, amonitas y bivalvos aplastados, mal preservados y deformados, así como una lámina delgada posiblemente de bentonita. Microscópicamente, estas rocas presentan escasos foraminíferos planctónicos, totalmente reemplazados por sílice y pirita autigénica diseminada en la matriz (SF – 44, Lám. 1C).

El contacto entre esta unidad y la Formación La Frontera, es neto, ligeramente ondulado y paralelo.

Formación La Frontera

Las características litológicas determinaron la subdivisión de la Formación La Frontera en dos segmentos (Lám. 1A), que a su vez se diferenciaron en niveles de acuerdo con su homogeneidad petrográfica.

Segmento inferior

Compuesto por 70 m de intercalaciones de biomicritas wackestone con lodolitas y lodolitas calcáreas que pueden ser divididas en 3 niveles: I - II

Nivel I: Los 9 m más bajos de la unidad (Fig. 2), comprenden intercalaciones de capas delgadas a medias, de biomicritas wackestone carbonosas y capas gruesas y muy gruesas de lodolitas carbonosas calcáreas, con láminas gruesas, onduladas paralelas. Las capas son tabulares y los contactos entre ellas son netos y ligeramente ondulados. Los estratos inferiores de biomicritas, en algunos sectores, son macizos, mientras que en otros, se observan láminas medias onduladas discontinuas.

Las lodolitas, que se desmenuzan fácilmente, contienen concreciones de diámetro menor a 20 cm, singenéticas, calcáreas, carbonosas, con pirita, restos de amonitas y bivalvos, que están total o parcialmente reemplazados por pirita o calcita. En ellas se encuentran abundantes fragmentos de troncos vegetales en volumen, reemplazados por carbonato, así como impresiones de inocerámidos, que aparecen hacia la parte superior del nivel.

Tanto las lodolitas como las calizas se caracterizan por el alto contenido de materia orgánica, pirita diseminada en proporciones variables, venas de calcita y yeso, y por presentar colores que varían de gris medio (N3) a gris medio oscuro (N4).

Dentro de este nivel se reconocieron 10 láminas medias a gruesas de posibles bentonitas.

Petrográficamente las calizas corresponden a biomicritas wackestone, cuyo armazón está compuesto por foraminíferos planctónicos y calcisferas, con sus cámaras rellenas por cristales de esparita y fragmentos de conchas de bivalvos mal preservados; una proporción menor al 0.8% de estas partículas poseen un reemplazamiento total o parcial por sílice. La matriz, determinada a partir de los análisis petrográficos y de microsonda (ver Blanco & Medina 2003) corresponde a materia orgánica, lodo calcáreo y lodo calcáreo recristalizado.

La laminación difusa en algunas zonas, y la identificación de parches de esparita (SF – 40, Lám. 1D) están asociadas a posible microbioperturbación (Boggs 1992), cuya intensidad es moderada de acuerdo con Moore & Scruton (1957).

Nivel II: Tiene un espesor de 39 m en los cuales se observan capas muy gruesas de lodolitas carbonosas, que se desmenuzan fácilmente, de color gris oscuro (N3), con contenido lateral y verticalmente variable de calcita (Fig. 3). Los estratos son tabulares con contactos netos ligeramente ondulados y muestran una laminación interna

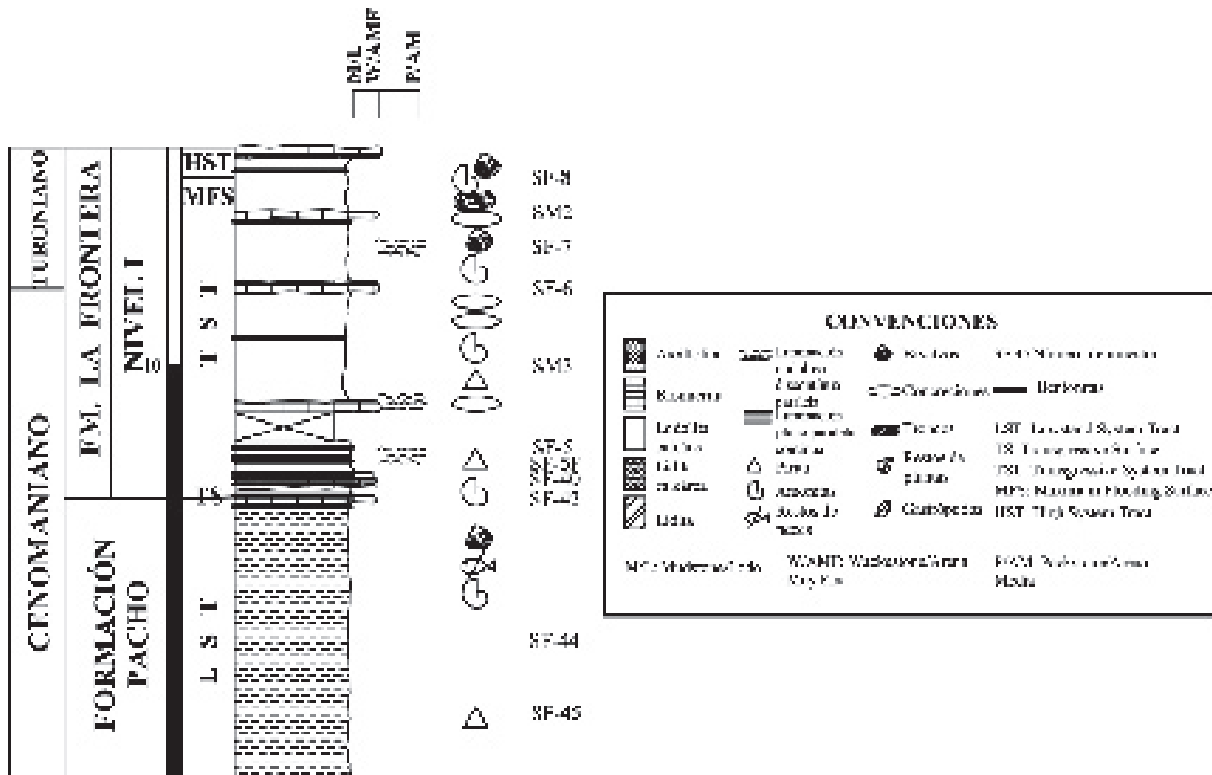


Fig. 2. Columna estratigráfica correspondiente a la parte superior de la Formación Pachó y al Nivel I de la Formación La Frontera. Escala 1:200.

dispuesta en láminas medias onduladas discontinuas paralelas.

Presentan un alto contenido de materia orgánica, venas de calcita y pocas concreciones singenéticas de diámetro menor a 15 cm, carbonosas, calcáreas y piritosas. Dentro de estas concreciones se encuentran amonitas y bivalvos en volumen, mientras que en las capas de lodolita, estos organismos están aplastados y sólo algunos conservan su ornamentación.

Dentro de este nivel se observó una lámina media posiblemente de bentonita.

Petrográficamente, el armazón de estas lodolitas carbonosas fosilíferas, consta de foraminíferos planctónicos, calcisferas y fragmentos de conchas de bivalvos de tamaño arena muy fina a media. En las secciones delgadas ubicadas hacia la parte media y superior del nivel, la proporción de los foraminíferos y calcisferas que presentan o no cristales de esparita dentro de sus cámaras, es variable, mientras que la totalidad de estos organismos en la base de dicho conjunto están rellenos de calcita. Este hecho puede explicarse

por el proceso de cementación temprana y disolución heterogénea o por el fenómeno de cementación temprana heterogénea.

En el primero, el carbonato precipitado al interior de los fragmentos aloquímicos es disuelto selectivamente dependiendo de la geoquímica del agua y de la mineralogía del carbonato que esté relleno a los bioclastos (Boggs, 1992 en Blanco & Medina 2003).

En el segundo, la mezcla entre los fragmentos biogénicos que involucran o no cristales de esparita dentro de sus cámaras, estaría reflejando un proceso de cementación temprana heterogéneo sin disolución (ver Blanco & Medina 2003).

Esta falta de relleno calcáreo en algunas de las partículas aloquímicas origina una porosidad de tipo intrapartícula de acuerdo con Choquet e & Pray (1970).

La silicificación, ya sea parcial o total, afecta cerca del 16% de las partículas del armazón, especialmente el de las muestras ubicadas en la zona media y en el tope del nivel (SF - 16, Lám. 1E).

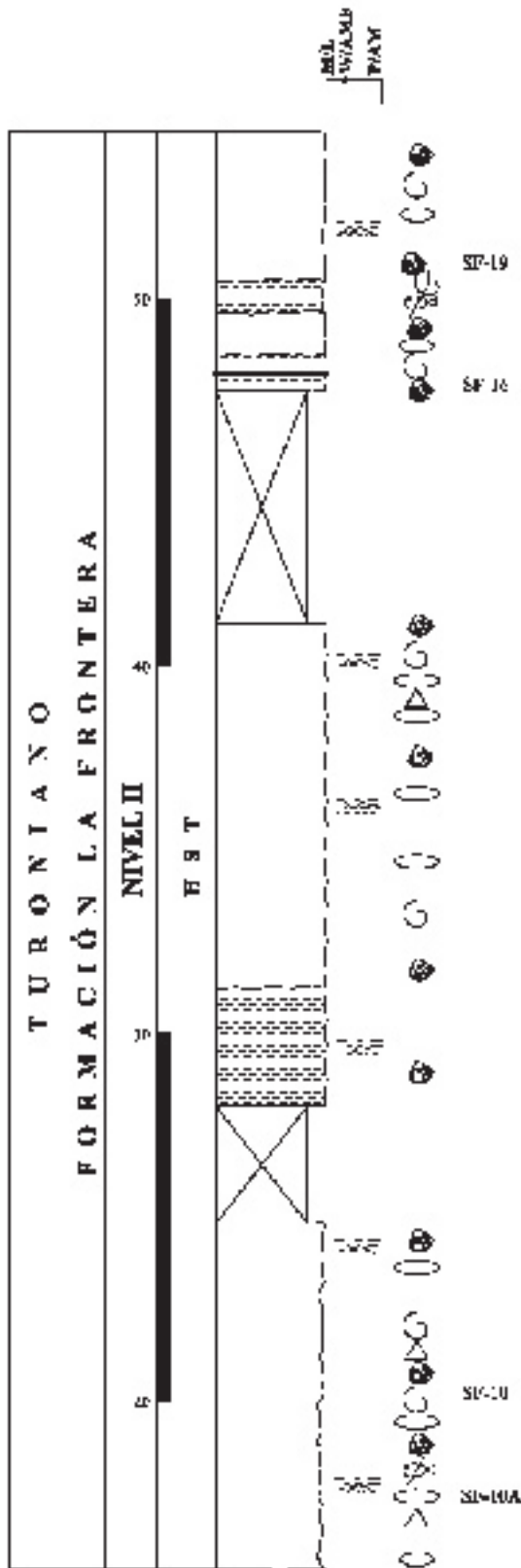


Fig. 3. Columna estratigráfica del Nivel II. Escala 1:200.

La matriz, determinada a partir de petrografía y de microsonda comprende materia orgánica, minerales arcillosos (predominantemente illita) dispersos y en forma de flóculos, sílice detrítica y diagenética.

Nivel III: Está conformado por 22 m de capas muy gruesas de biomicritas wackestone con partición tabular y con estratificación en láminas medias y delgadas, onduladas paralelas discontinuas, intercaladas con capas gruesas de biomicritas wackestone macizas, con láminas delgadas paralelas y continuas (Fig. 4). Los estratos son tabulares y los contactos entre ellos son netos plano paralelos y en algunos casos ligeramente ondulados.

Dentro de las capas muy gruesas de biomicritas wackestone, se hallan troncos en volumen, reemplazados por carbonato, moldes de bivalvos (inocerámidos) aplastados y concreciones carbonosas, calcáreas, cuyo tamaño varía entre 2 - 20 cm con bandas concéntricas de pirita, con bivalvos y amonitas en volumen y restos de plantas. En la parte superior abundan capas gruesas concrecionales de biomicritas packstone, con dimensiones entre 40 a 60 cm de espesor y 1 m de longitud.

En las capas gruesas de biomicritas wackestone macizas, se encuentran impresiones mal preservadas de inocerámidos y amonitas.

Las rocas de este conjunto tienen alto contenido de materia orgánica, color gris oscuro (N3) y venas de calcita.

Se reconocieron 10 láminas medias de posibles bentonitas.

Petrográficamente, los niveles macizos de caliza corresponden a biomicritas wackestone, cuyo armazón que está formado por foraminíferos planctónicos, calcíferas y fragmentos de conchas de bivalvos, tiene un tamaño promedio de arena muy fina. Las cámaras de foraminíferos y calcíferas involucran cristales de esparita en su interior y solamente el 6.4% de ellas presenta silicificación parcial de sus conchillas. La matriz está constituida por materia orgánica, lodo calcáreo y lodo calcáreo recristalizado.

De las capas concrecionales se analizó microscópicamente una biomicrita packstone muy recristalizada, cuyo armazón está compuesto por fragmentos de conchas de bivalvos, de tamaño

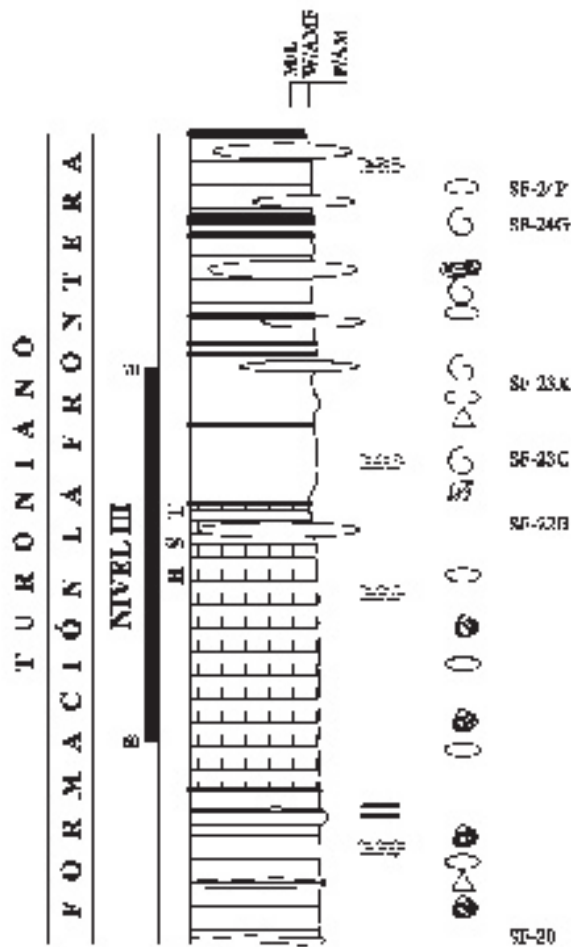


Fig. 4. Columna estratigráfica del Nivel III. Escala 1:200.

arena media a muy gruesa y foraminíferos planctónicos y calcíferas con sus cámaras rellenas por cristales de esparita. La matriz, determinada a partir de los análisis petrográficos y de microsonda, está caracterizada por lodo calcáreo, lodo calcáreo recristalizado, materia orgánica, minerales arcillosos (predominantemente illita) y sílice diagenética en proporciones variables.

La roca muestra una alternancia de láminas delgadas a gruesas de colores negros, grises y blancos, dentro de las cuales, la matriz se dispone en estructuras lenticulares (SF - 22B, Lám. 1F) asociadas a microbioperturbación moderada (Moore & Scruton 1957).

Dentro de varias de estas estructuras se identificaron cristales de albíta autigénica (SF - 22B, Lám. 1F). El origen de la albíta autigénica se encuentra asociado a los ácidos producidos por la degradación de la materia orgánica

(Moore 1950) o a la circulación de aguas intersticiales en el sedimento, saturadas con sílice amorfa y potasio, provenientes de la interacción agua - minerales arcillosos (ver Blanco & Medina 2003).

A nivel petrográfico los niveles de calizas con partición tabular, se clasifican como biomicritas wackestone impuras con armazón biogénico conformado por foraminíferos planctónicos, calcíferas y fragmentos de conchas de bivalvos, cuyo tamaño predominante es de limo grueso y arena muy fina. Los foraminíferos y calcíferas contienen en sus cámaras cristales de esparita y menos del 11% de las partículas del armazón están parcial o totalmente silicificadas. La matriz, determinada a partir de los análisis petrográficos y de microsonda comprende materia orgánica, lodo calcáreo, lodo calcáreo recristalizado, minerales arcillosos (predominantemente illita), sílice detrítica y diagenética. Dado el mayor porcentaje de minerales arcillosos de la matriz se denominan impuras estas biomicritas.

Segmento superior

Formado por 39 m de intercalaciones de liditas, liditas calcáreas y arcillolitas, cuyo grado de silicificación aumenta gradualmente hacia el tope. Se divide en 2 niveles: (IV y V):

Nivel IV: Agrupa 18 m de capas muy delgadas, delgadas y medias de liditas calcáreas, macizas, con láminas medias a gruesas que varían de onduladas discontinuas paralelas (en la base) y plano paralelas continuas (hacia el tope). Los estratos son tabulares y los contactos entre ellos son netos, plano paralelos (Fig. 5). Entre estos se encontraron 3 capas medias, concrecionales de biomicritas wackestone con laminación plano paralela y algunas impresiones de inocerámidos.

Se presentan escasas concreciones calcáreas y no calcáreas, piritizadas, cuyo tamaño varía de 2-15 cm; algunas de ellas son poco fósilíferas. Las concreciones contienen restos de peces, gastrópodos, hojas, y troncos y amonitas en volumen.

El contenido de materia orgánica de las liditas es medio, mientras que el calcáreo disminuye hacia el tope y varía lateralmente. Su color es gris oscuro (N4) a gris medio oscuro (N3) en la muestra fresca; al alterarse proporcionan una tonalidad gris café (5YR 4/1).

En el metro 3 se observa una capa delgada de biomicrita wackestone, maciza, con contenido medio de materia orgánica, láminas delgadas paralelas continuas

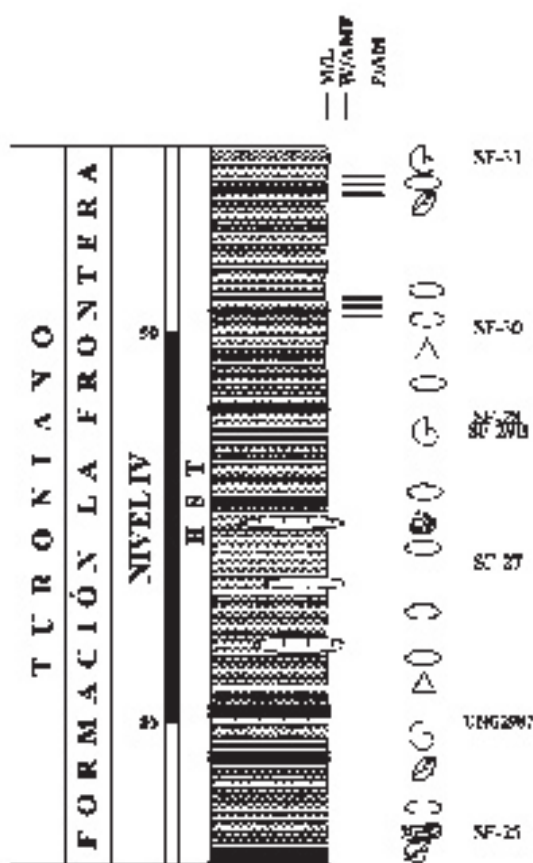


Fig. 5. Columna estratigráfica del Nivel IV, segmento superior. Escala 1:200.

y color gris oscuro (N3), en muestra fresca y café pálido amarillento (10YR 6/2), en roca alterada. Su contacto es neto y poco ondulado.

En este conjunto las posibles bentonitas forman 5 láminas medias a gruesas y 3 capas muy delgadas.

Las liditas calcáreas de este nivel corresponden a lodolitas carbonosas fosilíferas, silicificadas, cuyo armazón está compuesto de foraminíferos planctónicos, calcisferas y fragmentos de conchas de bivalvos.

El contenido variable de calcita dentro de este nivel se evidencia en la distribución aleatoria de foraminíferos y calcisferas con y sin relleno de esparita en sus cámaras, hecho que origina una porosidad de tipo intrapartícula (Choquet e & Pray 1970).

La matriz, determinada a partir de los análisis petrográficos y de microsonda, está integrada por materia orgánica, minerales arcillosos (predominantemente illita), sílice detrítica y diagenética. En las secciones de este

nivel, los flóculos arcillosos alcanzan el 5% del total de la matriz (SF - 30, Lám. 1G).

Una de las rocas de la capa tabular de caliza, microscópicamente se clasifica como una biomicrita wackestone impura cuya armazón se compone de foraminíferos planctónicos, calcisferas y fragmentos de conchas de bivalvos. La totalidad de foraminíferos y calcisferas tienen cristales de esparita en su interior y menos de 1% de estos muestran sus conchillas parcialmente silicificadas.

La matriz consta de materia orgánica, lodo calcáreo, lodo calcáreo recristalizado y minerales arcillosos (predominantemente illita).

Nivel V: Reúne 21 m de capas medias y gruesas de liditas intercaladas con capas delgadas a gruesas de arcillolitas, las cuales son más abundantes hacia la parte superior (Fig. 6). Estos estratos son tabulares y los contactos entre ellos son netos y ondulosos.

Las liditas son macizas, con partición rectangular, dispuestas en láminas medias a gruesas, ondulosas discontinuas, su color es gris oscuro (N3) a negro grisáceo (N2) y se alteran dando tonalidades gris café (5YR 4/1) a café claro (5YR 5/6). En ellas se observan, en la parte basal, concreciones piritosas completamente oxidadas, cuyo diámetro varía entre 2 y 20 cm; en el tope se encontraron sólo los huecos, que evidencian su ocurrencia.

Las arcillolitas son fisiles, tienen láminas medias a gruesas, ondulosas, discontinuas, e impresiones mal preservadas y diaclasadas de amonitas e inocerámidos.

En este nivel las rocas presentan un contenido medio de materia orgánica.

Se reconocieron 3 láminas gruesas de posibles bentonitas.

Las liditas corresponden a lodolitas carbonosas fosilíferas silicificadas, cuyo armazón está compuesto principalmente de foraminíferos planctónicos, calcisferas y fragmentos de conchas de bivalvos. La gran mayoría de foraminíferos y calcisferas no contienen relleno en su interior, dando lugar a una porosidad de tipo intrapartícula (SF - 33, Lám. 1H); menos del 40% de dichos organismos conserva parcialmente su conchilla, la cual se encuentra silicificada. Los fragmentos de conchas de bivalvos están total o parcialmente reemplazados por sílice.

TABLA 1
Fósiles colectados en la Sección Vereda Tóriba (ver Blanco & Medina 2003)

Unidad	Muestra	Fósil	Edad
Formación La Frontera	SF-31 SF-29B SF-23C	<i>Hoplitoides</i> sp. <i>Colepoceras</i> sp. <i>Komeruoceras</i> sp.	Turoniano medio
	SF-8, SF-10A	<i>Hedbergella delrioensis</i> , <i>H. simplex</i> , <i>Dicarinella</i> cf. <i>algeriano</i> , <i>D. imbricato</i>	Turoniano temprano
	SM-3 SF-5F	<i>Anomia colombiana</i> Villamil <i>Vincoceras venezolanum</i> (Renz)	Turoniano temprano
	SM-2	<i>Wrightoceras muniteri</i> (Collignon)	Turoniano temprano- Cenomaniano tardío
	SF-2	<i>Hedbergella delrioensis</i> , <i>H. planispira</i> , <i>Whiteinella</i> cf. <i>ballica</i> , <i>Heterohelix reussi</i> , <i>H. moenensis</i>	Cenomaniano

La matriz, determinada a partir de los análisis petrográficos y de microsonda comprende materia orgánica, minerales arcillosos, predominantemente illita y sílice detrítica y diagenética (ver Blanco & Medina, 2003). En las secciones de este nivel, los flóculos arcillosos exceden el 5% del total de la matriz.

Hacia la parte superior del nivel, las intercalaciones de arcillolitas con las capas de liditas son menos frecuentes. La última aparición de estos niveles silíceos marca el contacto transicional entre las formaciones La Frontera y Conejo.

Formación Conejo

Se identifican los 5.4 m inferiores de la unidad, que constan de capas delgadas a medias de arcillolitas con láminas medias a gruesas, onduladas discontinuas. Presenta restos aplastados y mal preservados de amonitas, inocerámidos y restos de plantas; y concreciones calcáreas y piritosas, de 4 a 15 cm de diámetro, las cuales contienen bivalvos en volumen reemplazados por pirita y moldes de amonitas.

Se identificaron dos niveles de posibles bentonitas, una lámina media y una capa delgada a 0.7 m y 1.6 m de la base, respectivamente.

EDAD

La información paleontológica que se encuentra resumida en la Tabla 1 confirma que los estratos de la Formación La Frontera abarcan desde el Cenomaniano tardío hasta el Turoniano medio; la presencia de Turoniano

tardío hacia la parte alta de la unidad, sugerida por Villamil (1998) y Villamil & Arango (1998) no fue corroborada debido a la ausencia de macrofósiles representativos de dicha edad.

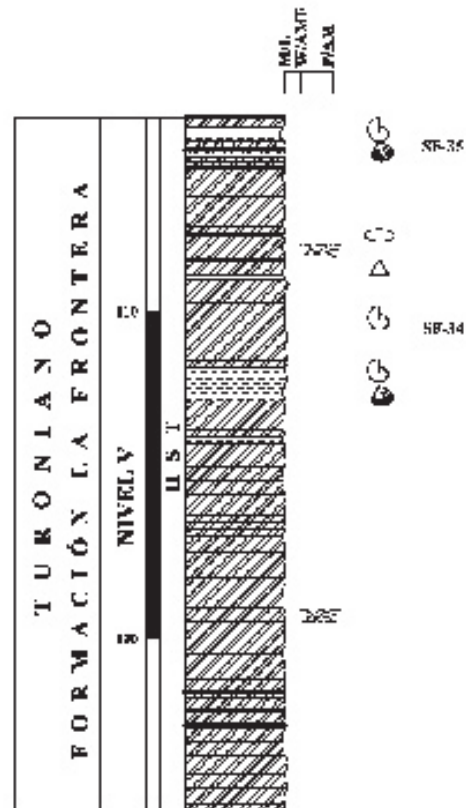


Fig. 6. Columna estratigráfica del Nivel V.
Escala 1:200.

CONSIDERACIONES GENERALES

De acuerdo con Villamil (1996 y 1998), en el límite de las formaciones Pacho (TS) y La Frontera se encuentra la superficie transgresiva, que separa las facies areno – arcillosas del sistema de bajo nivel del mar (LST) propias del Cenomaniano tardío, de las rocas calcáreas típicas del Cenomaniano más alto – Turoniano temprano. En la secuencia trabajada dichos cambios faciales son claramente establecidos a escala litológica y petrográfica (Fig. 2), dado que se observa el paso de sedimentos terrígenos (arcillolita pirítica, sección delgada SF – 44) a calcáreos (biomicrita wackestone, sección delgada SF – 40).

Los primeros 7,8 m de la unidad fueron depositados en el sistema transgresivo (TST) del límite Cenomaniano – Turoniano y corresponden a la mayoría de las intercalaciones entre biomicritas wackestone y lodolitas carbonosas calcáreas descritas en el nivel I. Estas interdigitaciones son asociadas a parasecuencias (Vail & Mitchum 1977 y Van Wagoner et al. 1990) o a épocas de humedad y sequía atribuidas a los ciclos de Milankovitch (Lee 1969 y Villamil et al. 1993).

La máxima superficie de inundación (MFS) del Turoniano temprano se establece a 0.9 m por debajo del techo del nivel I y se caracteriza por la abundancia de concreciones calcáreas ricas en amonitas y bivalvos, troncos en volumen y fragmentos de bioclastos. Unos centímetros por debajo de esta superficie se observó la última aparición de *Anomia colombiana* (SF – 8, Fig. 2), que de acuerdo con Villamil (1996), marca el límite entre el Turoniano temprano y medio. Este hecho indicaría que los 2,4 m de sucesión ubicados en el nivel I, por encima del límite Cenomaniano – Turoniano representan la sección condensada del Turoniano bajo (Villamil 1996 y 1998; Villamil & Arango 1998 y Villamil & Pindell 1998).

La secuencia acumulada por encima de la MFS, que está integrada por las rocas que afloran desde la parte superior del nivel I hasta el tope del nivel V, conforma un sistema de alto nivel del mar (HST), cuyo carácter terrígeno – calcáreo – terrígeno, probablemente es la consecuencia de variaciones en el régimen climático o de ligeras fluctuaciones en el nivel del mar.

Relacionando las características litológicas, petrográficas, sedimentológicas y paleontológicas determinadas en la sucesión analizada de la Formación La Frontera y las citadas por Scholle et al. (1983), se sugiere que el segmento inferior corresponde a depósitos de ámbitos pelágicos y el superior, a medios hemipelágicos.

El color oscuro, el alto contenido de materia orgánica, la laminación, en su mayoría, ondulosa paralela discontinua, la asociación de foraminíferos planctónicos – calcíferas y la ocurrencia de pirita autigénica y de microbioperturbación moderada (Moore & Scruton 1957) en algunas biomicritas de los niveles I y III, sugieren que la secuencia estratigráfica de la Formación La Frontera, aflorante al noreste de San Francisco, se acumuló en un ambiente nerítico de plataforma continental, interna, profunda (offshore), alejada de la (s) zona (s) de aporte y bajo condiciones disóxicas, en el sentido de Rhoads & Morse, 1971 (en Cluff 1980) o anóxicas para la interfase agua – sedimento, de acuerdo con Demaison & Moore (1980). Los fragmentos de conchas de bivalvos de diferentes tamaños observados en las secciones delgadas inferiores del nivel I, indicarían la acción de débiles corrientes sobre el fondo. El ambiente estuvo influenciado por variaciones relativas en el nivel del mar y / o diferencias en el volumen de aporte de sedimentos terrígenos.

LECTOESTRATOTIPO

Martínez & Vergara (1999, p. 110) proponen como sección de referencia principal para la Formación La Frontera, “la sección compuesta del Río Curí – Anolaima – La Florida”. Igualmente, reconocen que esta secuencia, al ser incompleta, no puede ser postulada como un neoestratotipo, ya que la sección tipo de la calera La Frontera se halla en proceso de degradación y está cubierta en un 80%.

En tal sentido, la sucesión de la Vereda Tóriba, sin complicaciones estructurales, con una buena exposición de sus contactos, con la Formación Pacho y con la Formación Conejo, en la que aflora la totalidad de la secuencia estratigráfica equivalente a la descrita en la literatura, podría proponerse como neoestratotipo. Sin embargo, en nuestro concepto, esta sección más bien se constituye en un lectoestratotipo, dado que no existe una adecuada designación y descripción del estratotipo (NACSN 1983, p. 853, IUGS 1994, p. 28). Asimismo, se debe tener en cuenta que la sección tipo de la Formación La Frontera en Albán, aunque mal expuesta, sigue siendo accesible.

CONCLUSIONES

La sección de la Formación La Frontera del noreste de San Francisco, que se caracteriza por una buena y completa exposición de 109 m de rocas calcáreas, calcáreo – terrígenas y terrígenas, es divisible en dos segmentos, el inferior (70 m) y el superior (40 m). Estos segmentos, a su vez son diferenciados en cinco niveles teniendo en cuenta, además de los aspectos litológicos,

los análisis petrográficos y de microscopía electrónica (ver Blanco & Medina 2003).

El segmento inferior consta, en general de intercalaciones de biomicritas wackestone carbonosas y lodolitas carbonosas calcáreas (nivel I), de lodolitas carbonosas con concentraciones variables de calcita (nivel II) y de biomicritas wackestone con capas concrecionales hacia el tope (nivel III).

El segmento superior muestra liditas calcáreas y tres capas concrecionales de biomicritas wackestone impuras (nivel IV), así como intercalaciones de liditas y arcillolitas (nivel V).

El contacto de la Formación La Frontera con la subyacente Formación Pacho es neto, paralelo, ligeramente ondulado y se marca al tope de la última aparición de arcillolitas terrígenas y a la base de la primera capa calcárea, constituyendo la superficie transgresiva (TS) del Cenomaniano más alto. El contacto superior con la Formación Conejo, es transicional y se sitúa al tope de la última aparición de los niveles silíceos (liditas), propios del segmento superior.

La piritita autigénica diseminada en la matriz está distribuida a lo largo de toda la sección, en forma framboidal y cúbica y como revestimiento superficial en algunos de los fragmentos biogénicos. Su origen está relacionado al proceso de oxidación de la materia orgánica y a la reducción de los sulfatos por acción bacteriana en un ambiente anóxico.

La concentración variable (tanto lateral y vertical) de calcita observada en campo, se explica por la distribución aleatoria de bioclastos con y sin relleno de esparita en sus cavidades, hecho que origina una porosidad tipo intrapartícula y refleja que el proceso diagenético de precipitación y/o disolución de carbonato de calcio no fue homogéneo.

El proceso de recristalización es especialmente evidente en las rocas que conforman el segmento inferior, y en la mayoría de las amonitas y troncos recolectados.

Particularmente en las secciones petrográficas del segmento superior de la formación, se observa un reemplazamiento parcial de carbonato por SiO_2 en las conchillas de foraminíferos y calcíferas y en las conchas de bivalvos, así como sílice diagenética en la matriz. La fuente principal de SiO_2 posiblemente es inorgánica, teniendo en cuenta la ausencia de organismos silíceos en la unidad.

Los niveles rojos piritizados identificados en la sección Vereda Tóriba probablemente corresponden a láminas de bentonitas. Dicho material insinúa una influencia volcánica en la sedimentación de estos depósitos cretácicos.

De acuerdo con los fósiles colectados a lo largo de la sección descrita al noreste de San Francisco (Cundinamarca), se asegura que la Formación La Frontera representa depósitos sedimentarios del Cenomaniano tardío, Turoniano temprano y Turoniano medio. La presencia de Turoniano tardío hacia la parte alta de la unidad, sugerida por Villamil (1998) y Villamil & Arango (1998) no fue corroborada en ese sector de la secuencia, debido a la ausencia de macrofósiles representativos de dicha edad.

Conforme a la literatura consultada, la Formación La Frontera, perteneciente al Grupo Villeta, puede ser correlacionada total o parcialmente con las formaciones Lomagorda (Valle Superior del Magdalena), La Luna (Valle Medio del Magdalena) y San Rafael del Grupo Churuvita (área de Villa de Leyva), a pesar de que ésta última sinonimia sea cuestionada por Guerrero (2002), dada la invalidez del término "Formación San Rafael".

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a la DIB de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, por la financiación del proyecto, a los profesores del Departamento de Geociencias Nadejda Tchegliakova, Gloria Inés Rodríguez y Ana Elena Concha por sus valiosos aportes que enriquecieron el trabajo y a los geólogos Medardo Chacón y Carlos Sánchez por la asesoría petrográfica.

REFERENCIAS CITADAS

- ACOSTA, J. & ULLOA, C. (1997): Mapa Geológico del Departamento de Cundinamarca, Memoria Explicativa.- 115 p., Ingeominas, Bogotá.
- ACOSTA, J. & ULLOA, C. (2001): Geología de la Plancha 208 - Villeta Escala 1:100.000, Memoria explicativa.- 83 p., Ingeominas, Bogotá.
- ARCE, C. (2000): Análisis del límite Cenomaniano - Turoniano en la Cordillera Oriental y el Valle Superior del Magdalena: Paleogeografía, estratigrafía secuencial y ambiente deposicional (Trabajo de grado). - 72 p., Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Bogotá.
- AVENDAÑO, F. & TOVAR, D. (1998): Cartografía geológica y geometría estructural del sector Río

- Chirche – Terán, Valle Medio del Magdalena. (Trabajo de grado) – 65 p., Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Bogotá.
- BLANCO, J. & MEDINA, P. (2003): Estratigrafía de la Formación La Frontera al noreste del municipio de San Francisco, Cundinamarca. (Trabajo de grado).– 145 p., Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Bogotá.
- BOGGS, S. (1992): Petrology of sedimentary rocks.– 771p., MacMillan Publishing Company, New York.
- BÜRGL, H. & DUMIT, Y. (1954): El Cretáceo Superior en la región de Girardot.– Boletín Geológico, v. 2, 1, p. 23-48, Bogotá.
- BÜRGL, H. (1957): Geología de los alrededores de Subachoque, Cundinamarca.– Ingeominas, Compilación de Estudios Geológicos Oficiales en Colombia, Tomo XVI, p. 47 – 83, Bogotá.
- CÁCERES, C. & ETAYO, F. (1969): Bosquejo Geológico de la Región del Tequendama.-1er Congreso Colombiano de Geología, Opúsculo guía, Excursión pre-congreso, 22 p., Bogotá.
- CÁCERES, C., ETAYO, F., LLINÁS, R., RUBIANO, M., & PEREZ, L.J. (1970): Memoria geológica del Cuadrángulo L-10, Fusagasugá.– 49p., Realizado por la Universidad Nacional de Colombia para Ingeominas, Inédito, Bogotá.
- _____(1970): Mapa Geológico del Cuadrángulo L-10, Fusagasugá. Escala 1:100.000.– Realizado por la Universidad Nacional de Colombia para Ingeominas. 4 planchas, Bogotá.
- CAMPBELL, C. (1967): Lamina, laminaset, bed and bedset.- Sedimentology, v. 18, p 7 – 26, Amsterdam.
- CHOQUETTE, P. & PRAY, L. (1970): Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates.- The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 54, 2, p. 207 – 250, Tulsa, Oklahoma.
- CLUFF, R. (1980): Paleoenvironment of the New Albany Shale Group (Devonian–Mississippian) of Illinois.– Journal of Sedimentary Petrology, v. 30, 3, p. 767 – 780, Tulsa, Oklahoma.
- DEMAISON, G. & MOORE, G. (1980): Anoxic environments and oil source bed genesis.– The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 64, 8, p. 1179 – 1209, Tulsa, Oklahoma.
- DUNHAM, R. (1962): Classification of carbonate rocks according to depositional texture.– Classification of carbonate rocks, a symposium, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 1, Tulsa, Oklahoma.
- ETAYO, F. (1964): Posición de las faunas y los depósitos cretácicos colombianos y su valor en la subdivisión cronológica de los mismos.– Boletín de Geología, Universidad Industrial de Santander, 16 – 17, p. 12 – 19, Bucaramanga.
- _____(1979): Zonation of the Cretaceous of Central Colombia by Amonites.– Publicación Especial de Ingeominas, 2, p. 11 – 12, Bogotá.
- FOLK, R. (1962): Spectral subdivision of Limestone types.-Classification of carbonate rocks, a symposium, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 1, Tulsa, Oklahoma.
- FRIEDMAN, G., SANDERS, J. & KOPASKA-MERKEL, D. (1992): Principles of sedimentary deposits.- MacMillan Publishing Company, New York.
- G.S.A. (1963): Rock-color chart. – G.S.A., Boulder, Colorado.
- GUERRERO, J. (2002): A Proposal on the Classification of System Tracts: Application to the Allostratigraphy and Sequence Stratigraphy of the Cretaceous Colombian Basin. Part 2: Barremian to Maastrichtian.– Geología Colombiana, 27, p. 27 – 49, Bogotá.
- HUBACH, E. (1931a): Geología petrolífera del Departamento de Norte de Santander.– Servicio Geológico Nacional. Informe 176 (Inédito), Anexo “Columnas estratigráficas de la Sabana de Bogotá”, Bogotá.
- _____(1931b): Exploración en la región de Apulo – San Antonio – Viotá.– Boletín de Minas y Petróleos, v. IV, 25 – 27, p. 41 – 60, Bogotá.
- _____(1957a): Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y Alrededores.– Boletín Geológico, v. V, 2, p. 93 – 103, Bogotá.
- _____(1957b): Contribución a las Unidades Estratigráficas de Colombia.– Servicio Geológico Nacional, Informe No. 1212. (Inédito), p. 41 – 54, Bogotá.
- IUGS INTERNATIONAL COMMISSION ON STRATIGRAPHY (1994): Internacional Stratigraphic Guide. – 214 p., Geological Society of America, Boulder, Colorado.
- JULIVERT, M., BARRERO, D., BOTERO, G., DUQUE, H., HOFFSTETTER, R., NAVAS, J., DE PORTA, J., ROBBINS, R., TABORDA, B., TELLEZ, N. & ZAMARREÑO, L. (1968): Lexique Stratigraphique International, Amérique Latine. – Precambrien, Paléozoïque, Mésozoïque e intrusions d’âge

- mésozoïque – Tertiaire.- v. 5, fascicule 4a. Colombie (première partie) p.296 – 298, Centre National de la Recherche Scientifique, Paris.
- KENNEDY, W., & WRIGHT, C. (1979): On Kamerunoceras Reyment, 1954 (Cretaceous: Ammonoidea).– Journal of Palaeontology, v. 53, p.1165 – 1178, Kansas.
- KENNEDY, W., WRIGHT, C. & HANCOCK, J. (1987): The Cretaceous ammonite *Ammonites reyerianus* D'Orbigny, 1841.- Palaeontology, v. 27 (2), p. 281 – 293, London.
- LEE, J. (1969): Microfacies and sedimentary structures in “Deeper water” lime mudstones. – Depositional environments in carbonate rocks, a symposium, Society of Economic Paleontologist and Mineralogists, Special Publication 14, p. 4 – 17, Tulsa, Oklahoma.
- LEWAN, M. (1978): Laboratory classification of very fine grained sedimentary rocks. – Geology, v. 6, 12, p. 745 – 748, Boulder, Colorado.
- MARTÍNEZ, J. (1990): Estratigrafía de la Plancha 227 – La Mesa.– Ingeominas, p. 32 – 39, Bogotá.
- MARTÍNEZ, J. & VERGARA, L. (1999): La Sucesión Paleambiental del Cretácico de la Región de Tequendama y Oeste de la Sabana de Bogotá, Cordillera Oriental Colombiana.– Geología Colombiana 24, p. 107 – 147, Bogotá.
- MOORE, F. (1950): Authigenic albite in the Green River oil shales.– Journal of Sedimentary Petrology, v. 20, 4, p. 227 – 230, Tulsa, Oklahoma.
- MOORE, D. & SCRUTON, P. (1957): Minor internal structures of some recent unconsolidated sediments.- The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 41, 12, p. 2723 – 2751, Tulsa, Oklahoma.
- MORALES, L. G. et al. (1958): General Geology and oil occurrence of Middle Magdalena Valley, Colombia. – Habitat of Oil Symposium, American Association of Petroleum Geologists, p. 641 - 695, Tulsa, Oklahoma.
- NORTH AMERICAN COMMISSION ON STRATIGRAPHIC NOMENCLATURE (1983): North American Stratigraphic code.– The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 67, 5, p. 841 – 875, Tulsa, Oklahoma.
- PATARROYO, P., BLANCO, J. & MEDINA, P. (2003): La Formación La Frontera en San Francisco, Cundinamarca.– IX Congreso Colombiano de Geología. Resúmenes, p. 100 – 101, Medellín.
- REYMENT, R. (1971): Vermuteter Dimorphismus beider Ammonitengattung *Benuceites*.– Bulletin of the Geological Institutions of the University of Upsala, v. 3 (1), p. 1-18, Upsala.
- _____ (1972): Some lower Turonian Ammonites from Trinidad and Colombia.- Geologiska Förening - I Stockholm Föerhandl., v. 94, p. 357-368, Estocolmo.
- _____ (1981): Colombia. – Reyment, R. & Bengtson, P. (eds.), Aspects of Mid-Cretaceous Regional Geology , Acad. Press, p. 175 – 195, Londres.
- RUBIANO, J. (1989): Petrography and Stratigraphy of the Villeta Group, Cordillera Oriental, Colombia, South America. (Tesis de Maestría).– 95 p., University of South Carolina, Department of Geological Sciences, South Carolina.
- SCHOLLE, P., ARTHUR, M. & EKDALE, A. (1983): Pelagic environment.– Scholle, P., Bebout, D. & Moore, C., (eds.), Carbonate Depositional Environments, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 33, p. 620 – 691, Tulsa, Oklahoma.
- TERRAZA, R. (2003): Origen diagenético de cherts y porcelanitas en las formaciones Lidita Inferior y Lidita Superior (Grupo Oliní), al sur de San Luis (Tolima), Valle Superior del Magdalena, Colombia.– Geología Colombiana, 28, p. 79 – 94, Bogotá.
- ULLOA, C. & RODRIGUEZ, E. (1991): Mapa Geológico de Colombia, Plancha 190 – Chiquinquirá. Escala 1:100.000. Memoria Explicativa.– 26 p., Ingeominas, Bogotá.
- VAIL, P. & MITCHUM, R. (1977): Seismic stratigraphy and global changes of sea level.- In: Seismic stratigraphy – applications to hydrocarbon exploration.– American Association of Petroleum Geologists, Memoir 26, p. 49 – 212, Tulsa, Oklahoma.
- VAN WAGONER, J., MITCHUM, R., CAMPION, K. & RAHMANIAN, V. (1990): Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops: Concepts for high – resolution correlation of time and facies.– 55 p., American Association of Petroleum Geologists, Methods in Exploration Series, 7, Tulsa, Oklahoma.
- VILLAMIL, T., ARANGO, C., CASTILLO, D., JARAMILLO, C. & MOJICA, D. (1993): Correlación gráfica y cambio de facies entre dos localidades de la Formación La Frontera, vía Bogotá – Mesitas del Colegio, Colombia. – Revista Facies, Universidad Nacional de Colombia, año 4, 3, p. 1 – 10, Bogotá.
- VILLAMIL, T. (1996): Paleobiology of two new species of bivalve *Anomia* from Colombia and Venezuela and the importance of the genus in recognition of the base of the Turonian.– Cretaceous Research 17, p. 607 – 632, London.

- _____ (1998): Chronology, Relative sea level history and a new Sequence Stratigraphic Model for Basinal Cretaceous facies of Colombia.– Pindell, J. & Drake, C., (eds.), Paleogeographic Evolution and Non – glacial Eustasy, Northern South America, Society for Sedimentary Geology Special Publication, 58, p. 161 – 216, Tulsa, Oklahoma.
- VILLAMIL, T. & ARANGO, C. (1998): Integrated Stratigraphy of the Latest Cenomanian and Early Turonian Facies of Colombia.– Pindell, J. & Drake, C., (eds.), Paleogeographic Evolution and Non – glacial Eustasy, Northern South America. Society for Sedimentary Geology Special Publication, 58, p. 129 – 159, Tulsa, Oklahoma.
- VILLAMIL, T. & PINDELL, J. (1998): Mesozoic paleogeographic evolution of northern South America: Foundations for sequence stratigraphic studies in passive margin strata deposited during non–glacial times.– Pindell, J. & Drake, C., (eds.), Paleogeographic Evolution and Non–glacial Eustasy, Northern South America. Society for Sedimentary Geology Special Publication, 58, p. 283 – 318, Tulsa, Oklahoma.
- VILLAMIL, T., ARANGO, C. & HAY, W. (1999): Plate tectonic paleoceanographic hypothesis for Cretaceous source rocks and cherts of northern South America.– Geological Society of America, Special Paper 332, Boulder, Colorado.
- WENTWORTH, C. (1922): A scale of grade and class terms for clastic sediments.– Journal of Geology, v. 30, 5, p. 377 – 392, Chicago, Illinois.
- Manuscrito recibido, Julio de 2004; aprobado, Octubre de 2004

LÁMINA 1

A. Vista panorámica de la sección Vereda Tóriba, carretable San Francisco – Cerro El Tablazo, en la que claramente se diferencian los segmentos Inferior y Superior de la Formación La Frontera. FP: Formación Pacho. FC: Formación Conejo.

B. Lámina roja piritizada correspondiente a una posible capa de bentonita (Be). Muestra SF-5.

C. Arcillolita pirítica de la Formación Pacho que contiene foraminíferos planctónicos (F) totalmente silicificados, así como pirita autigénica (P) diseminada en la matriz. Sección delgada SF-44, nicoles cruzados.

D. Biomicrita wackestone perteneciente a la base del nivel I, cuya matriz recristalizada forma parches de esparita (Pe), asociados con microbioperturbación moderada. Sección delgada SF-40, nicoles cruzados.

E. Foraminífero planctónico con conchilla silicificada (Cs). Lodolita carbonosa fosilífera, sección delgada SF-16, nicoles cruzados.

F. Biomicrita packstone intensamente recristalizada de una de las capas concrecionales del nivel III, en la que se observan varias estructuras lenticulares (L) relacionadas posiblemente a microbioperturbación. A: Albita autigénica. Sección delgada SF – 22B, nicoles cruzados.

G. Lodolita carbonosa fosilífera silicificada, en la que parte de los minerales arcillosos de la matriz se disponen en forma de flóculos (Fl). Sección delgada SF-30, nicoles paralelos.

H. La ausencia de relleno en algunas de las partículas del armazón origina una porosidad intrapartícula (F_p). Lodolita carbonosa fosilífera silicificada, sección delgada SF-33, nicoles cruzados.

Leyenda: C: Calcisfera. B: Concha de bivalvo. Mo: Materia orgánica. LCR: Lodo calcáreo recristalizado. Ma: Minerales arcillosos. Ms: Matriz parcialmente silicificada.

