

ESTRATIGRAFÍA Y AMBIENTES DE DEPÓSITO DE LA ARENISCA DE CHIQUINQUIRÁ EN LOS ALREDEDORES DE LA LOCALIDAD TIPO

Roberto Terraza Melo¹

RESUMEN

La Arenisca de Chiquinquirá se puede dividir en cinco segmentos litológicamente contrastantes de base a techo denominados A, B, C, D y E; los segmentos A, C y E son arenosos o con alta proporción de arenitas y los segmentos B y D son lutíticos. Las facies arenosas (81% cuarzoarenitas, 19% sublitoarenitas) se acumularon en ambientes marinos someros progradantes con dominio de mareas (zona submareal y llanura intermareal principalmente) en régimen hidráulico de flujo inferior; las facies lutíticas representan fondos marinos tranquilos de costa afuera con acumulaciones rápidas de sedimentos arenosos o mixtos (arena y restos de conchas) a partir de flujos de sedimento por gravedad, relacionados con tempestades (tormentitas). Ocasionalmente, sobre la llanura intermareal, las tormentas depositaban arena o sedimentos mixtos en canales o depresiones transversales a la costa a partir de flujos masivos.

El espesor mínimo de la Arenisca de Chiquinquirá es de 780 m. Los segmentos A y B representan el Albiano superior y los segmentos C, D y E el Cenomaniano. En el Cenomaniano temprano hubo subsidencia tectónica diferencial posiblemente relacionada a fallamiento normal (NW-SE) concomitante con la sedimentación.

Palabras clave: Arenisca de Chiquinquirá, estratigrafía, facies, marino somero, tormentitas, Albiano tardío-Cenomaniano.

STRATIGRAPHY AND DEPOSIT ENVIRONMENTS OF THE ARENISCA DE CHIQUINQUIRA AROUND ITS TYPE LOCALITY

ABSTRACT

The Arenisca de Chiquinquirá can be divided and mapped into five contrasted lithological segments, which have been denominated from base to top as A, B, C, D and E. Segments A, C and E are predominantly sandy, whereas segments B and D are lutaceous. Sandy facies are composed of 81% of quartzarenites and 19% of sublithoarenites. These rocks accumulated into a progradating shallow marine, tide-dominated environment (subtidal zone and intertidal flat), under a lower flow hydraulic regime. Lutaceous facies represent a calm marine offshore bottom, which was affected by quick accumulations of sandy or mixed sediments (sandy clastic material and shell remains). These quick accumulations of sediments occurred as a result of sediment gravity flows related to storms (storm beds). Occasionally, the storms deposited massive flows of sand or mixed sediments in channels or traverse depressions to the coast over the intertidal flat.

The measured thickness of the Arenisca de Chiquinquirá is 780 m. Upper Albian is represented along the segments A and B, while segments C, D and E represent the Cenomanian. Differential tectonic subsidence related to NW-SE normal faulting took place during the early Cenomanian, which was concomitant with sedimentation of the lower part of the segment C.

Keywords: Arenisca de Chiquinquirá, stratigraphy, facies, shallow marine environment, storm beds, Upper Albian-Cenomanian.

¹Servicio Geológico Colombiano, Diag. 53 No. 34-53, Bogotá, D. C., Colombia,
rteraza@ingominas.gov.co

INTRODUCCIÓN

Con el propósito de aportar datos que contribuyeran al entendimiento de la paleogeografía e historia geológica del intervalo de tiempo Albiano medio alto o Albiano tardío bajo - Cenomaniano, se realizó un estudio estratigráfico, sedimentológico y de cartografía geológica detallada de la Arenisca de Chiquinquirá (Terraza, 2004), en los alrededores de la localidad tipo en cercanías al municipio de Chiquinquirá (FIGURA 1).

Esta unidad denominada originalmente como Arenisca(s) de Chiquinquirá o Formación Areniscas de Chiquinquirá (Ulloa y Rodríguez, 1979, 1991) tiene su sección tipo por la carretera Sutamarchán-Chiquinquirá (plancha 190-Chiquinquirá, cuadrículas 8B- 9B, sección ST de la FIGURA 2), no obstante, dicha sección se encuentra cubierta en un 95% por lo cual fue necesario levantar tres secciones estratigráficas adicionales amarradas mediante cartografía geológica detallada de los distintos segmentos estratigráficos que conforman la formación (secciones SMS, VM y GPG de la FIGURA 2 localizadas entre el municipio de Puente Nacional-Santander, al norte, y San Miguel de Sema-

Boyacá, al sur) con el objetivo de obtener una sección compuesta y poder hacer comparaciones entre ellas para el análisis facial.

Adicionalmente, en las secciones levantadas se realizó muestreo para petrografía y paleontología entre 2 y 20 m estratigráficos, se analizaron 64 secciones delgadas, se prepararon 100 superficies pulidas, 11 muestras para palinología, 125 muestras para foraminíferos y 64 muestras para macropaleontología (24 lamelibrancos y 40 amonitas). Las secciones delgadas y las superficies pulidas se utilizaron para complementar y refinar la descripción macroscópica realizada en campo. Los bivalvos fueron estudiados por la geóloga Tatiana Gaona (2002, 2003) y las amonitas fueron determinadas por el Dr. Fernando Etayo Serna. Se utilizó la clasificación genética de concentraciones de conchas de Fürsich (1995) como herramienta indicadora de paleoprofundidad para las facies lutíticas presentes en la Arenisca de Chiquinquirá.

Este trabajo sintetiza la estratigrafía y los ambientes de depósito interpretados para la Arenisca de Chiquinquirá en los alrededores de la localidad tipo.



FIGURA 1. Localización geográfica del área de estudio. El recuadro gris corresponde a la localidad tipo de la Arenisca de Chiquinquirá en los alrededores de la carretera Sutamarchán-Chiquinquirá.

MARCO GEOLÓGICO GENERAL

La Arenisca de Chiquinquirá ha sido reconocida y cartografiada por INGEOMINAS en cinco planchas geológicas a escala 1:100.000: -151: Pulido, 1979, 1980;

-170: Ulloa y Rodríguez, 1978a, 1979; -189: Rodríguez y Ulloa, 1984, 1994; -190: Ulloa y Rodríguez, 1978b, 1979, 1991; -208: Ulloa *et al.*, 1998, Ulloa y Acosta 1993, las cuales abarcan sectores de los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Santander (FIGURA 2).

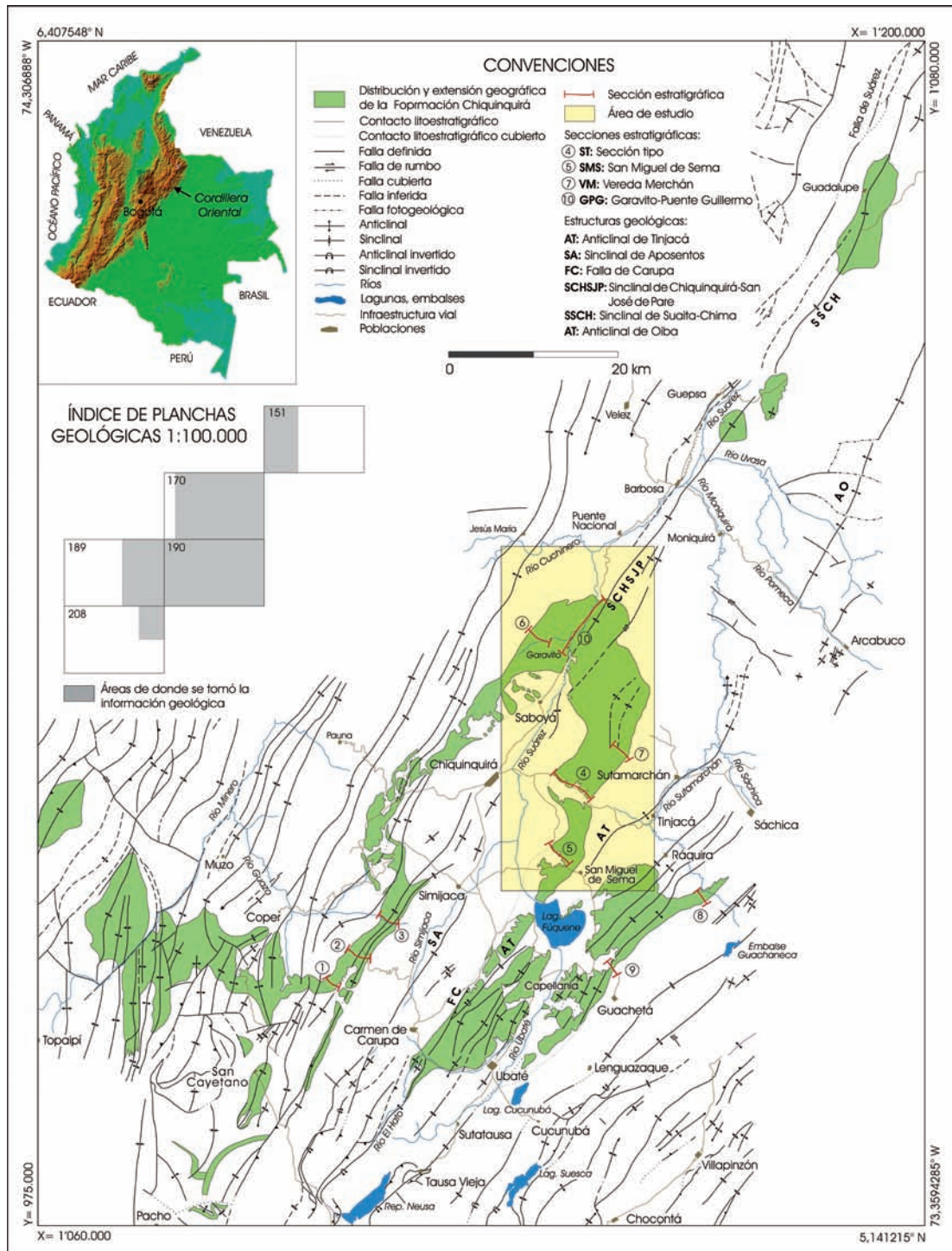


FIGURA 2. Marco geológico regional para la Arenisca de Chiquinquirá. El recuadro amarillo representa a localidad tipo de la Arenisca de Chiquinquirá.

Los afloramientos de esta unidad se localizan hacia la región central de la Cordillera Oriental de Colombia, en una franja con sentido SW-NE de aproximadamente 150 km de longitud por 70 km de ancho, que se extiende desde la represa de Neusa (Cundinamarca), al sur, hasta más allá de la población de Guepsa (Santander), al norte. La zona se encuentra fuertemente plegada y afectada por fallas inversas o de cabalgamiento; estas estructuras se orientan predominantemente en sentido SW-NE (FIGURA 2).

Las estructuras geológicas más importantes que involucran a esta unidad son los sinclinales de Aposentos, Chiquinquirá-San José de Pare y de Suaita-Chima; el Anticlinal de Tinjacá y la Falla de Carupa (FIGURA 2).

SUCESIÓN ESTRATIGRÁFICA EN LA ARENISCA DE CHIQUINQUIRÁ

En la Arenisca de Chiquinquirá aparecen cinco segmentos con carácter litológico contrastante, de base a techo denominados informalmente como A, B, C, D y E, de los cuales los segmentos A, C y E son arenosos

o con alta proporción de arenitas (contenido de arenitas entre 34 y 66%) y los segmentos B y D son lutíticos (contenido de lutitas > 90%). Las unidades infrayacente y suprayacente son las formaciones Simití y Simijaca, respectivamente.

La edad de la Arenisca de Chiquinquirá basada en amonitas está comprendida entre el Albiano tardío (porción temprana) y el Cenomaniano, haciendo falta el intervalo correspondiente a la porción más tardía del Albiano tardío, de acuerdo a las determinaciones paleontológicas realizadas por el Dr. Fernando Etayo. Los segmentos A y B corresponden al Albiano tardío y los segmentos C, D y E al Cenomaniano. Los segmentos A y B correlacionan con el segmento B y posiblemente con la porción superior del segmento A de la Formación San Gil Superior y los segmentos C, D y E con la Formación Churuvita del área de Villa de Leyva (TABLA 1). En la TABLA 1 se muestra un cuadro con las edades asignadas por otros autores y la edad obtenida en este estudio, así como la nomenclatura estratigráfica utilizada para el lapso Albiano-Santoniano en la región central de la Cordillera Oriental.

TABLA 1. Cuadro comparativo que muestra las edades asignadas a la Arenisca de Chiquinquirá por distintos autores versus la edad obtenida en este estudio, así como la nomenclatura estratigráfica utilizada para el lapso Albiano-Santoniano en la región central de la Cordillera Oriental.

EDAD (M.a)	Plancha 171 Duitama	Plancha 170 Vélez	Plancha 151 Charalá	Plancha 190 Chiquinquirá	Plancha 189 La Palma	Plancha 208 Villeta	Plancha 209 Ubaté	Este trabajo	Región de Villa de Leyva
International stratigraphic chart, 2000	Renzoni & Rosas, 1967	Ulloa & Rodríguez, 1978a	Pulido, 1980	Ulloa & Rodríguez, 1991	Rodríguez & Ulloa, 1994	Ulloa & Acosta, 1993	Montoya & Reyes, 2004	Terraza, 2004	Etayo, 1968b
83,5									
SANTONIANO									
85,8									
CONIACIANO	Fm. Conejo	Grupo Chipaque Fm. Conejo		Grupo Chipaque Fm. Conejo	Grupo Chipaque Fm. Conejo	Grupo Villeta Fm. Conejo	Fm. Conejo	Fm. Conejo	Fm. Conejo
89,0									
TURONIANO									
93,5	Grupo Churuvita Fm. San Rafael	Fm. La Frontera Fm. Simijaca		Fm. La Frontera Fm. Simijaca	Fm. La Frontera Fm. Simijaca	Grupo Villeta Fm. La Frontera Fm. Simijaca	Fm. La Frontera Fm. Simijaca	Fm. La Frontera Fm. Simijaca	Fm. San Rafael A
CENOMANIANO									
98,9	Grupo Churuvita Fm. Churuvita	Arenisca de Chiquinquirá	Arenisca de Chiquinquirá	Arenisca de Chiquinquirá Fm. Churuvita	Fm. Areniscas de Chiquinquirá Fm. Simití	Grupo Villeta Fm. Simijaca Arenisca de Chiquinquirá Fm. Churuvita	Fm. Churuvita	Fm. Churuvita	Grupo Churuvita Fm. Churuvita
112,2	Fm. San Gil Superior	Fm. Simití	Fm. Simití	Fm. Simití	Fm. Simití (Conjunto Lutítico)	Fm. Hilos Fm. Simití	Fm. Simití	Fm. Simití	Fm. San Gil Superior B A

En la FIGURA 3 se muestra una columna estratigráfica compuesta de la Arenisca de Chiquinquirá construida a partir del amarre bioestratigráfico y cartográfico de las

diferentes secciones estratigráficas levantadas de los segmentos que constituyen la unidad en la localidad tipo. El segmento A y el techo de la unidad infrayacente

(Fm. Simití) se levantaron en la sección 7 (VM= Vereda Merchán), los segmentos B y C en la sección 10 (GPG= Garavito-Puente Guillermo) y los segmentos D y E en la sección 5 (SMS= San Miguel de Sema); el segmento C también se levantó en la sección 5 (SMS), lo cual permitió la correlación de este segmento entre los sectores de Puente Nacional (sección GPG) y San Miguel de Sema (SMS); para la localización de estas secciones véase la FIGURA 2. El amarre cartográfico de las secciones levantadas se realizó a partir de la sección tipo de la Arenisca de Chiquinquirá (sección 4 o ST de la FIGURA 2) donde Ulloa y Rodríguez (1979, 1991) identificaron cinco conjuntos litológicos designados por ellos, en orden estratigráfico ascendente, como A, B, C, D y E, de los cuales los conjuntos A, C y E los asignaron como arenosos y los conjuntos B y D como lutíticos por lo cual presentan buen contraste morfológico facilitando su delimitación cartográfica; los espesores reportados por estos autores fueron: A= 166 m, B= 30 m, C= 46 m, D= 35 m y E= 60 m, para un total de 337 m. Con base en estos criterios se identificaron en campo los límites litológicos de estos conjuntos en la sección tipo los cuales se extendieron cartográficamente a las demás secciones teniendo en cuenta la información estratigráfica levantada y el control bioestratigráfico realizado, lográndose de esta forma la cartografía geológica detallada a escala 1:25.000 de los cinco segmentos que componen la unidad en el área de estudio; dichos segmentos fueron denominados informalmente, de manera similar, como A, B, C, D y E, los cuales tienen la categoría de miembros dentro de la clasificación litoestratigráfica formal. En total se cartografiaron 600 km² que involucran a las formaciones Simití (unidad infrayacente) y Simijaca, La Frontera y Conejo (unidades suprayacentes); estas unidades abarcan desde el Albiano hasta el Santoniano en edad (TABLA 1).

FACIES, ASOCIACIONES DE FACIES E INTERPRETACIÓN PALEOAMBIENTAL DE LA ARENISCA DE CHIQUINQUIRÁ

El análisis facial de la Arenisca de Chiquinquirá se realizó de base a techo, iniciándose con el segmento A en la sección VM; se continuó con los segmentos B y C en la sección GPG; en la sección SMS se interpretó el segmento E, nuevamente el C y lo que afloraba del A y B para comparación; el segmento D se interpretó con base en los datos tomados en algunas estaciones de campo debido a que en las secciones estaba cubierto. Las facies se definieron con base principalmente en características texturales (granulometría y madurez textural), estructuras sedimentarias inorgánicas (tipo de

laminación y estratificación) y contenido fosilífero, para lo cual los análisis petrográficos fueron definitivos en la determinación de la madurez textural.

Una vez establecidas las primeras facies en la sección VM, se interpretaron facialmente de manera independiente, para posteriormente agruparlas en asociaciones, sucesiones o conjuntos de facies que tuvieran algún significado paleoambiental coherente, al compararlas con ambientes sedimentarios recientes y antiguos, documentados en la literatura geológica especializada asequible. Un objetivo adicional de la agrupación de facies fue el de facilitar la descripción de las secciones estratigráficas.

Las facies previamente definidas en la sección VM, se fueron identificando y asociando en cada una de las secciones estratigráficas restantes levantadas; como en este proceso resultaron nuevas facies, se procedió a su descripción, interpretación y agrupación; adicionalmente, si aparecía alguna característica no relacionada en la descripción inicial de alguna de las facies, se complementaba.

Facies en la Arenisca de Chiquinquirá

En total se identificaron 13 facies siliciclásticas, de las cuales seis corresponden a facies arenosas (Arenitas Heterolíticas Laminadas-AHL, Arenitas Heterolíticas con Estratificación Ondulada-AHEO, Arenitas Inmaduras Laminadas-AIL, Arenitas Fosilíferas y Macizas-AFM, Arenitas Maduras y Macizas-AMM, Arenitas Maduras Laminadas-AML) y siete a facies lutíticas (Arcillolitas Laminadas-AL, Arcillolitas Silíceas Laminadas-ASL, Arcillolitas Arenosas Laminadas-AAL, Lodolitas Laminadas-LOL, Lodolitas Arenosas Laminadas-LOAL, Limolitas Laminadas-LL, Limolitas Arenosas Laminadas-LAL). Las facies arenosas representan el 28,8% del espesor total aflorante en las diferentes secciones estratigráficas analizadas, mientras que las facies lutíticas constituyen el 71,2% de este espesor.

En las FIGURAS 4 y 5 se muestran los minerales más comunes presentes en las facies lutíticas y arenosas, respectivamente, de la Arenisca de Chiquinquirá. En la FIGURA 6 aparece la composición de las facies arenosas de acuerdo a Folk (1974).

En la TABLA 2 se resumen las características principales de cada una de las facies, la proporción en la sucesión total medida (1.265 m, teniendo en cuenta las distintas secciones estratigráficas consideradas en el análisis facial), los paleoambientes que representan y las condiciones hidrodinámicas de acumulación.

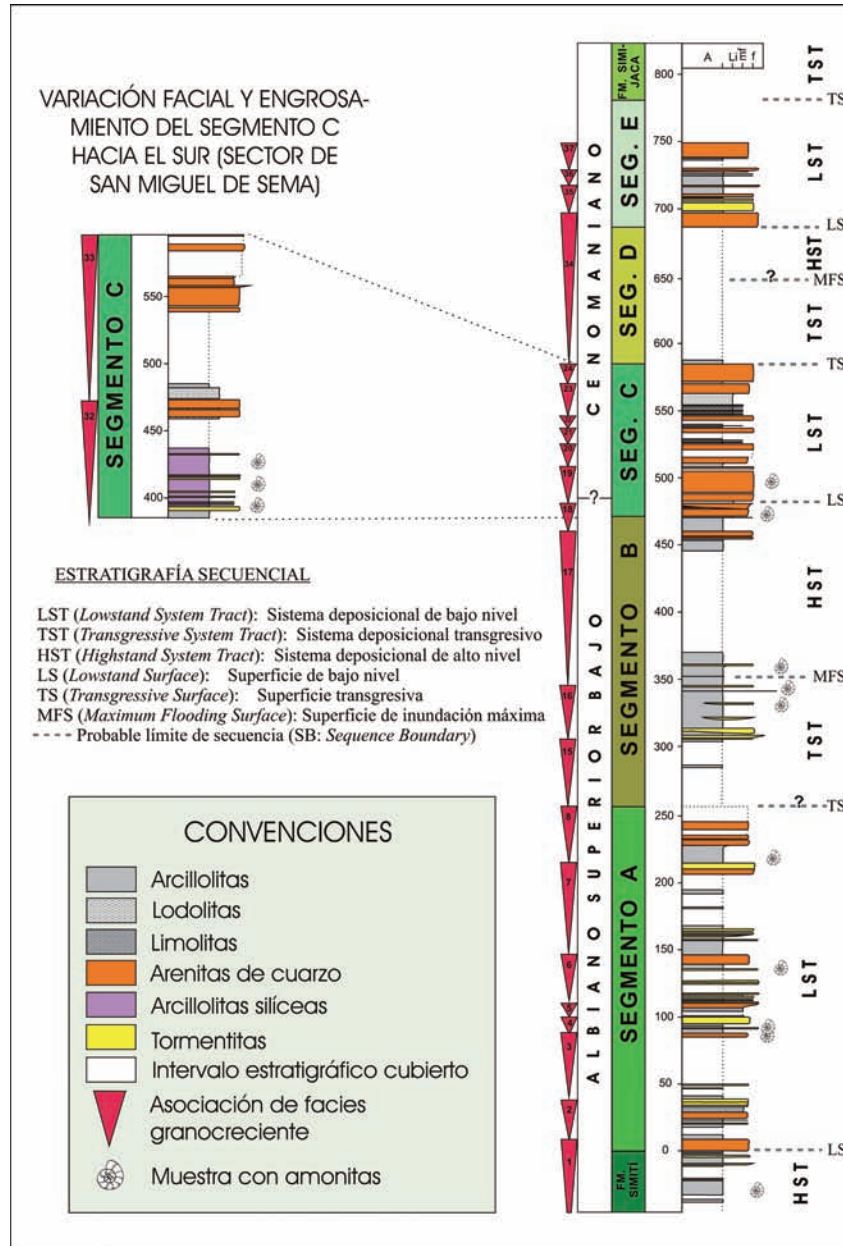


FIGURA 3. Columna estratigráfica compuesta de la Arenisca de Chiquinquirá construida a partir del amarre bioestratigráfico y cartográfico de las diferentes secciones estratigráficas levantadas de los segmentos que constituyen la unidad en la localidad tipo. El segmento A y el techo de la unidad infrayacente (Fm. Simiti) se levantaron en la sección 7 (VM= Vereda Merchán), los segmentos B y C en la sección 10 (GPG= Garavito-Puente Guillermo) y los segmentos D y E en la sección 5 (SMS= San Miguel de Sema); el segmento C también se levantó en la sección 5 (SMS) lo cual permitió la correlación de este segmento entre los sectores de Puente Nacional (sección GPG) y San Miguel de Sema (SMS); para la localización de estas secciones véase la FIGURA 2.

Asociaciones de Facies

Para el análisis facial se consideraron las secciones estratigráficas SMS, GPG y VM, en las cuales se diferenciaron 37 asociaciones de facies que en total sumaron 1.265 m de espesor del cual hay varios intervalos estratigráficos cubiertos pertenecientes, en orden de importancia, a las facies AL, AML, ASL, AAL,

AHL y LAL; en total el intervalo cubierto representa el 40% del espesor total medido. Las asociaciones de facies resultantes se numeraron en orden consecutivo ascendente; las ocho primeras asociaciones pertenecen a la sección VM, las siguientes 16 a la sección GPG y las 13 restantes a la sección SMS.

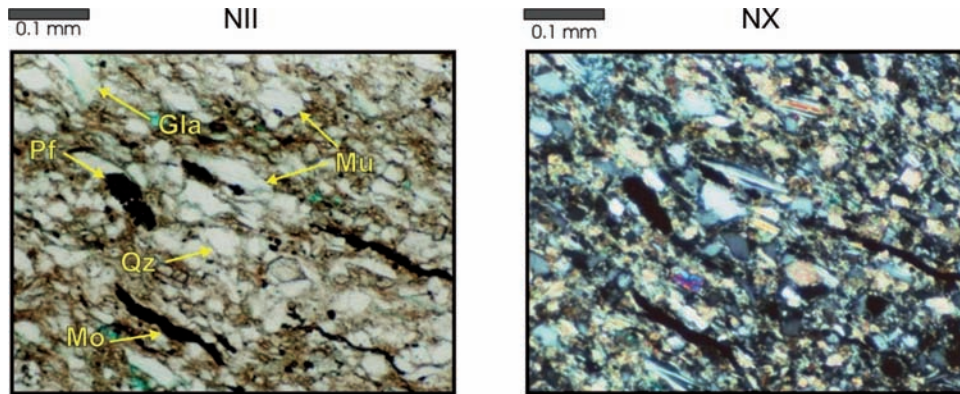


FIGURA 4. Minerales más comunes en las facies lutíticas de la Arenisca de Chiquinquirá. Mo: Materia orgánica carbonosa; Pf: Pirita autigénica framboidal; Qz: Cuarzo detritico; Gla: Glauconita; Mu: Muscovita detritica. Facies de Arcillolitas Arenosas Laminadas (AAL), Sección estratigráfica Vereda Merchán (VM). NII: Nicos paralelos; NX: Nicos cruzados.

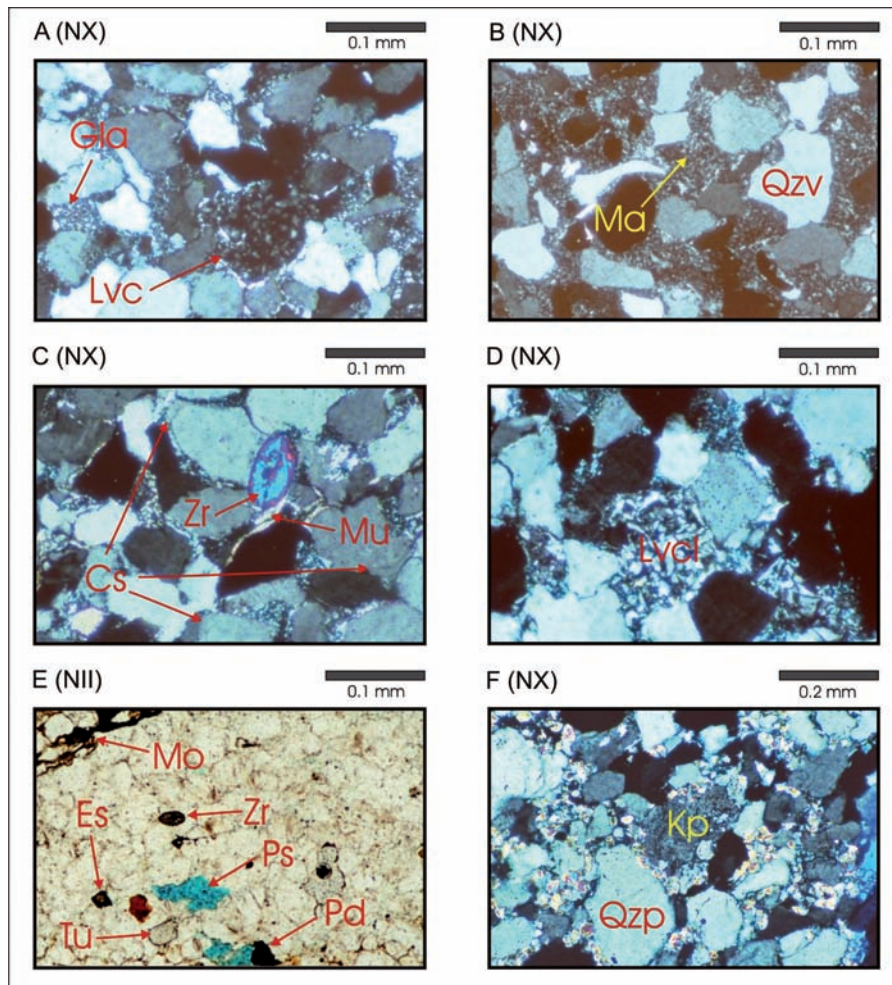


FIGURA 5. Minerales más comunes en las facies arenosas de la Formación Chiquinquirá. **A.** Gla: Glauconita, Lvc: Lítico volcánico caolinizado-Facies de Arenitas Heterolíticas Laminadas (AHL); **B.** Qzv: Cuarzo volcánico, Ma: Matriz arcillosa-Facies de Arenitas Inmaduras Laminadas (AIL); **C.** Zr: Zircón detritico, Mu: Muscovita detritica, Cs: Cemento silíceo-Facies de Arenitas Maduras Laminadas (AML); **D.** Lvcl: Lítico volcánico cloritizado-Facies de Arenitas Maduras Laminadas (AML); **E.** Mo: Materia orgánica carbonosa, Zr: Zircón detritico, Ps: Porosidad secundaria, Pd: Pirita detritica, Es: Esfena, Tu: Turmalina-Facies de Arenitas Heterolíticas Laminadas (AHL); **F.** Qzp: Cuarzo plutónico, Kp: Feldespato potásico policristalino-Facies de Arenitas Inmaduras Laminadas (AIL). NII: nicos paralelos; NX: nicos cruzados.

Síntesis sobre los paleoambientes sedimentarios en la Arenisca de Chiquinquirá y aspectos paleogeográficos

Las diferentes facies identificadas en la Arenisca de Chiquinquirá (ver TABLA 2) reflejan ambientes marinos someros dominados por mareas, que involucran desde fondos de costa afuera distales hasta planicies intermareales lodosas; las hojuelas de plantas fósiles halladas en facies lutíticas de mar abierto (AAL, AL) o los restos carbonizados de tallos encontrados en la base de algunas tormentitas arenosas sugieren desarrollo de vegetación en la línea de costa; tanto los bivalvos

fósiles de facies arenosas someras (submareal a llanura intermareal baja) como las amonitas y foraminíferos planctónicos de facies tranquilas de costa afuera, indican condiciones de salinidad normal en el agua del mar. En todos estos ambientes, en mayor o menor proporción, se identificaron acumulaciones de sedimentos predominantemente arenosos, relacionados con eventos rápidos de sedimentación que se asocian con tormentas. Al final de la acumulación del segmento A (FIGURA 3: Asociación 8) se reconocieron ambientes de frente deltaico, posiblemente influenciados por mareas donde se pudo distinguir fondos de prodelta, barra distal y barras de desembocadura de canales distributarios.

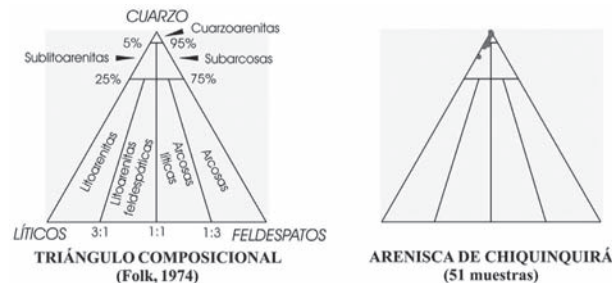


FIGURA 6. Clasificación composicional de las facies arenosas en la Arenisca de Chiquinquirá de acuerdo a Folk (1974). Se plotearon 51 muestras de las cuales nueve corresponden a sublitoarenitas y 42 a cuarzoarenitas.

Las estructuras sedimentarias físicas presentes en las facies arenosas que conforman la Arenisca de Chiquinquirá reflejan acumulación de sedimentos predominantemente en condiciones hidráulicas de régimen de flujo inferior; sólo en muy baja proporción (< 7% del espesor total aflorante en las distintas secciones estratigráficas) se registra acumulación de sedimentos en regímenes de flujo superior, relacionadas esencialmente con depósitos de tormentas, lo cual sugiere una paleocosta con baja energía actuando sobre los fondos de acumulación.

Los segmentos considerados como arenosos o con alta proporción de arenitas como los segmentos A, C y E representan fondos marinos someros progradantes (con alto suministro de sedimentos donde las facies arenosas costeras avanzaban sobre las facies arcillosas de costa afuera), en los cuales se desarrollaron extensas planicies intermareales arenosas hasta mixtas (areno-lodosas), con lapsos de exposición subaérea y barras arenosas en los fondos submareales (FIGURA 7E); por acción de las tormentas se produjeron acumulaciones arenosas o “mixtas” (arenas y conchas) sobre los ámbitos de costa afuera (FIGURA 7H); también se desarrollaron canales (que probablemente sobrepasaron los 5 m de profundidad con anchura superior a 0,5 km), excavados por acción de las mareas, tanto sobre las llanuras intermareales como sobre los fondos submareales arenosos, especialmente durante la acumulación de los segmentos C y A (FIGURA

7E, F). Al final de la acumulación del segmento A se desarrolló un delta influenciado por mareas, el cual geográficamente estaría restringido a la región de Chiquinquirá, puesto que hacia la región de Villa de Leyva aparentemente no hay registro estratigráfico de esta geoforma (FIGURA 7C). Esporádicamente sobre las llanuras intermareales, las tormentas acumularon capas arenosas o “mixtas”, posiblemente en depresiones o canales transversales a la costa (FIGURA 7G).

Los segmentos B y D considerados litológicamente como lutíticos, representan esencialmente fondos marinos de costa afuera con acumulaciones arenosas o “mixtas” producto de las tormentas.

La orientación de paleocanales de marea en sentido general E-W, sugiere una línea de costa con dirección N-S, por lo menos entre San Miguel de Sema al sur y Puente Nacional al norte. Varios autores, entre ellos Hubach (1957), Julivert (1968), Fabre (1985), Acosta (1993), Villamil (1999) y Villamil *et al.* (1999) han inferido áreas de aporte de sedimentos desde el oriente colombiano (Llanos orientales y Cratón de Guyana o Amazónico) para las unidades del Albiano-Cenomaniano como la Arenisca de Chiquinquirá y las formaciones Churuvita, Une y Aguardiente, así como también cambios faciales hacia el W, de facies arenosas a facies arcillosas para estas unidades, lo cual indica que la paleopendiente de la línea de costa para la Arenisca de Chiquinquirá era al W (FIGURAS 7A, B, D)

TABLA 2. Características principales de las facies en la Arenisca Chiquinquirá.

FACIES	TEXTURA	MADUREZ	COLOR	ESTRATIFICACIÓN	LAMINACIÓN	FÓSILES E ICNÓFÓSILES	BIOTURBACIÓN	COMPOSICIÓN	% EN LA SUCESIÓN	PALEOAMBIENTE Y CONDICIONES DE ACUMULACIÓN
Arcillolitas Laminadas (AL)	Arcillosa	No aplica	Negro a gris oscuro (fresco); gris claro, pardo claro o amarillento (alterado)	Plana paralela, delgada a media	Plana paralela, muy delgada a delgada	En general estéril; presenta niveles delgados con amonitas, bivalvos, restos de cangrejos, hojuelas de plantas y/o foraminíferos (bentónicos y/o planctónicos)	No muestra, muy ocasionalmente baja	Filosilicatos microcristalinos (< 10 µm), pirita autigénica, muscovita detrítica, materia orgánica carbonosa, cuarzo detrítico	57,3	Costa afuera proximal (87,4%) Costa afuera distal? (7,5%) Costa afuera sin diferenciar (1,8%) Llanura intermareal alta (0,3%) Prodelta (3%) *Acumulación por suspensión en fondos cohesivos con baja oxigenación (disaeróbicos) y con altas velocidades de sedimentación
*Muestra asociación con eventos de caída de cenizas volcánicas ríofíticas de textura fina										
Arcillolitas Arenosas Laminadas (AAL)	Arcillo-arenosa (5-40% de arena muy fina)	No aplica	Negro a gris oscuro (fresco); gris claro, pardo claro o morado rojizo claro (alterado)	Plana paralela, delgada	Lenticular, a veces plana paralela, delgada a media	Algunos niveles con foraminíferos bentónicos; ocasionales restos de plantas; a veces madrigueras horizontales (ichnofacies <i>Glossifungites</i>)	No muestra o es baja	Filosilicatos microcristalinos (< 10 µm), pirita autigénica, muscovita detrítica, materia orgánica carbonosa, cuarzo detrítico, minerales pesados detríticos, glauconita, sericita fina (recristalización de arcilla)	3,9	Costa afuera proximal (49,4%) Zona de transición (44,5%) Llanura intermareal media (2,3%) Frente delataico distal (3,8%) *Acumulación por suspensión en fondos cohesivos con periodos alternantes de energía ligeramente mayores donde hubo acumulación por tracción debido a olas y/o corrientes marinas
Lodolitas Laminadas (LOL)	Lodosa (35-40% arcilla, 60-65% limo)	No aplica	Gris oscuro a negro verdoso (fresco); gris claro, pardo claro o amarillento (alterado)	Plana paralela, delgada	Plana paralela, delgada a media o muy delgada por alternancia de limo y arcilla (ritimitas)	Ocasionalmente restos de plantas, bivalvos, restos de cangrejos, foraminíferos bentónicos, madrigueras horizontales	No muestra	Filosilicatos, cuarzo detrítico, muscovita detrítica, materia orgánica carbonosa	1,6	Zona de transición (28,3%) Costa afuera proximal (65,7%) Llanura intermareal media (1,2%) Llanura intermareal alta (4,8%) *Acumulación por suspensión alternando con periodos regulares de acumulación por tracción en régimen de flujo inferior por olas y/o corrientes
Lodolitas Arenosas Laminadas (LOAL)	Lodo-arenosa (10-45% de arena muy fina)	No aplica	Gris oscuro (fresco); gris claro a gris pardusco claro (alterado)	Ligeramente ondulosa para-leta y no plana paralela, delgada	Lenticular hasta ondulosa	Ocasionalmente madrigueras horizontales o amonitas	Baja a nula	Filosilicatos microcristalinos, cuarzo detrítico, muscovita, glauconita, pirita autigénica, materia orgánica carbonosa, siderita, trazas de feldespatos (NaCa)	1,8	Costa afuera proximal (67,1%) Zona de transición (31,9%) Llanura intermareal media (1%) *Acumulación por suspensión alternando con periodos de sedimentación por tracción en régimen de flujo inferior con niveles energéticos un tanto mayores que en la facies anterior de Lodolitas Laminadas

TABLA 2. Características principales de las facies en la Arenisca Chiquinquirá (continuación).

FACIES	TEXTURA	MADUREZ	COLOR	ESTRATIFICACIÓN	LAMINACIÓN	FÓSILES ICNÓFÓSILES	BIOTURBACIÓN	COMPOSICIÓN	% EN LA SUCESIÓN	PALEOAMBIENTE Y CONDICIONES DE ACUMULACIÓN
Limolitas Laminadas (LL)	Limoso	No aplica	Gris oscuro (fresco); gris claro o amarillado oscuro (alterado)	Plana paralela o ligeramente ondulada paralela delgada a media	Delgada a media, plana paralela (horizontal) en tor- mentitas; plana paralela a ondulada no paralela, delgada a gruesa, en condiciones de mar en calma	Ocasionalmente foraminíferos bentónicos	No muestra	Cuarzo, muscovita, filossilicatos, cemento silíceo	0,7	Capa-eventos de tormenta costeros (3,8%) Capa-eventos de tormenta proximal (26,9%) Zona de transición (22,3%) Llanura intermareal mixta (47%) *Acumulación por tracción en régimen de flujo bajo (fase de capas planas) en tormentitas proximales y distales. *Por tracción en régimen de flujo bajo por acción de olas y/o corrientes en condiciones de mar en calma
Limolitas Arenosas Laminadas (LAL)	Limo-arenosa (20-40% de arena muy fina)	No aplica	Gris rosáceo, gris claro o amarillado (alterado)	Plana paralela o ligeramente ondulada paralela, delgada a gruesa (alterado)	Flaser, cruzada de pequeña escala o "hummocky" en tormentitas	Muy esporádicamente restos de bi- valvos	No muestra	Cuarzo, muscovita, glauconita, materia orgánica carbonosa, minerales pesados, trazas de feldespatos (NaCa), filossilicatos y carbonato muy fino en láminas, cemento silíceo, clorita (hidrotermal?)	0,9	Capa-eventos de tormenta proximal (18%) Zona de transición (35%) Submareal-Llanura intermareal baja (47%) *Acumulación por tracción en régimen de flujo bajo con o sin alternancia de períodos quietud donde hubo acumulación por suspensión, en condiciones de mar en calma. *Acumulación por flujo combinado (régimen hidráulico inferior) en tormentas, aso- ciada a flujos de granos subacuáticos
Arenitas Heterofíticas Laminadas (AHL)	Generalmente arenosa muy fina (inferior o superior) a veces entre muy inferior; rara vez fina inferior (5-40% de fracción finogranular)	Submadura o madura	Gris medio (fresco); gris claro hasta amarillado oscuro (alterado)	Plana paralela, media a muy gruesa; a veces, plana paralela a ondulada paralela y no paralela, delgada a media; curvada no paralela, media a muy gruesa	Flaser hasta ondulosa y cruzada de pequeña escala; ondulada no paralela, delgada a media, con orientación de conchas y fragmentos de bivalvos en tormentitas	Bivalvos y madrigueras horizontales a subhorizontales (<i>Thalassinoides</i> sp. principalmente, a veces <i>Chondrites</i> sp.); esporádicamente, restos de tallos de plantas en la base de tormentitas	Baja a moderada, pocas veces nula o alta	Cuarzo, líficos (principalmente volcánicos), muy poco feldespatos (NaCa, K), muscovita, minerales pesados, glauconita, materia orgánica carbonosa, filossilicatos microcristalinos en láminas o como poca matriz	11,8	Llanura intermareal media (6,4%) Canales de marea (21,9%) Submareal-Llanura intermareal baja (32,6%) Submareal interno-Llanura int. baja (16%) Llanura intermareal baja (0,8%) Frente deltaico distal (6,5%) Submareal externo (3,9%) Zona de transición (0,4%) Capa-eventos de tormenta proximal (5,6%) Capa-eventos de tormenta distal (0,6%) Eventos amalgamados de tormenta proximal (5,1%) Capa-eventos de tormenta costeros (0,2%) *Acumulación por tracción en régimen de flujo bajo con períodos alternantes de quietud con acumulación por suspensión, por acción de corrientes de marea, olas o combinación de ambas, en condiciones de mar en calma. *Acumulación de capas heterofíticas de arenaarilla (varias involucrando restos de conchas), a partir de flujos de granos, canalizados y no canalizados, inducidos por tormentas, donde hubo fluctuación en la velocidad del flujo. *Muy ocasionalmente, acumulación rápida (transporte en masa) con algo de tracción y fluctuación en el flujo, en llanuras intermareales, por tormentas

TABLA 2. Características principales de las facies en la Arenisca Chiquinquirá (continuación).

FACIES	TEXTURA	MADUREZ	COLOR	ESTRATIFICACIÓN	LAMINACIÓN	FÓSILES ICNOFÓSILES	E BIOTURBACIÓN	COMPOSICIÓN	% EN LA SUCESIÓN	PALEOAMBIENTE Y CONDICIONES DE ACUMULACIÓN
Arenitas Inmaduras Laminadas (AML)	Arenosa muy fina (inferior o superior o entre estos dos rangos); a veces, fina inferior	Inmadura por bioturbación o sedimentación rápida	Gris medio (fresco); gris claro o anaranjado amarillento oscuro (alterado)	Plana paralela, media a muy gruesa, ocasionalmente delgada	Flaser principalmente; en menor proporción plana paralela, delgada a media u ondulada no paralela, delgada muy delgada	Ocasionalmente restos de bivalvos	Moderada o nula	Cuarzo, trazas de feldespato (NaCa, K), a veces líticos (principalmente volcánicos), muscovita, minerales pesados, glauconita, materia orgánica carbonosa, cemento síliceo, filossilicatos microcristalinos en láminas y como matriz del armazón	1,6	Eventos amalgamados de tormenta proximal (1,4%) Capa-eventos de tormenta proximal (1,9%) Capa-eventos de tormenta costeros (3,4%) Submareal interno-Llanura int. baja (41,5%) Submareal-Llanura int. baja (51,8%) * Acumulación por tracción en régimen de flujo bajo con períodos alternantes de quietud con acumulación por suspensión, en fondos mejor oxigenados que en la facies FAHL, por acción de corrientes de marea, olas o combinación de ambas, en condiciones de mar en calma.* Acumulación rápida a partir de flujos de sedimento por gravedad, que involucra tracción que orienta restos de conchas o produce "ritmitas gradadas" debido a tormentas. * Acumulación rápida en régimen de flujo superior en zonas costeras por tempestades
	Arenitas Inmaduras con Estratificación Ondulada (AHEO)	Arenosa muy fina (inferior o superior) hasta fina inferior (5-40% de fracción finogranular)	Submadura a supermadura	Gris oscuro a medio (fresco); gris claro, pardo claro o anaranjado amarillento oscuro (alterado)	Ondulada a ligeramente ondulada paralela, delgada a media, a veces gruesa	Madrigueras horizontales (<i>Thalassirónides</i> sp., <i>ichnofósiles</i> <i>Glossifungites</i>)	Baja o moderada	Cuarzo, líticos (volcánicos), trazas de feldespato (NaCa o K), muscovita, glauconita, minerales pesados, materia orgánica carbonosa, cemento síliceo, filossilicatos microcristalinos como láminas y algo de matriz; sericita fina o clamosita (hidrotermal ?)	3,7	Llanura internareal baja (27,1%) Llanura internareal media (36,5%) Llanura internareal baja-media (5,1%) Submareal-Llanura int. baja (8,1%) Submareal externo (9,6%) Submareal-Llanura int. media (13,6%) * Acumulación por tracción en régimen de flujo inferior con períodos regulares de quietud con acumulación por suspensión debido a la acción de mareas en combinación con oleaje suave; a veces lapsos de exposición subáerea
Arenitas Maduras Laminadas (AML)	arenosa muy fina (inferior o superior) hasta fina inferior	Madura o submadura	Gris medio (fresco); gris claro, anaranjado grisáceo o anaranjado amarillento oscuro (alterado)	Curvada no paralela, delgada a muy gruesa; plana paralela o ligeramente ondulada paralela, media a muy gruesa	Laminación cruzada de pequeña escala por ondulitas de flujo combinado o por ondulitas de corriente; rara vez laminación cruzada tangencial de gran escala	No se encontraron	Alta o no presenta	Cuarzo, líticos volcánicos, muy poco feldespato, muscovita, glauconita, minerales pesados, a veces materia orgánica carbonosa, cemento síliceo; pirita y sericita fina (hidrotermal ?)	5,8	Canales de marea (57%) Submareal interno-Llanura int. baja (11,4%) Frente delataco proximal (16,3%) Eventos amalgamados de tormenta proximal (9,3%) Capa-eventos de tormenta distal? (3,8%) Capa-eventos de tormenta proximal (2,2%) * Acumulación por tracción sobre fondos no cohesivos debido a la acción de corrientes unidireccionales (mareales) en acción combinada o no con olas, en condiciones de mar en calma. * Tracción en flujos de granos, canalizados y no canalizados, inducidos por tormentas

TABLA 2. Características principales de las facies en la Arenisca Chiquinquirá (continuación).

FACIES	TEXTURA	MADUREZ	COLOR	ESTRATIFICACIÓN	LAMINACIÓN	FÓSILES ICNIOFÓSILES	BIOTURBACIÓN	COMPOSICIÓN	% EN LA SUCESIÓN	PALEOAMBIENTE Y CONDICIONES DE ACUMULACIÓN
Arenitas Fosilíferas y Macizas (AFM)	Arenosa muy fina superior o fina inferior	Madura, submadura o inmadura	Gris rosáceo, gris claro o anaranjado amarillento (alterado)	Estratos individuales a muy gruesos, ocasionalmente en conjuntos de capas medianas a gruesas plano-paralelas	No presenta (maciza)	Abundantes bivalvos (desde fragmentos hasta conchas completas); rara vez restos de amonitas o gastrópodos	No se observaron evidencias	Cuarzo, trazas de feldespatos y de líticos, filossilicatos microcristalinos como matriz, glauconita, materia orgánica car-bonosa, trazas de muscovita, clorita (hidrotermal?)	1,1	Capa-eventos de tormenta proximal (94,3%) Eventos amalgamados de tormenta costeros (5,7%) *Acumulación rápida (arena y conchas) a partir de flujos de granos subacuados en zonas de costa afuera donde hubo algo de tracción que tendió a orientar restos de conchas. * Ocasionalmente, transporte en masa y depósito rápido de arena y restos de conchas en canales o depresiones costeras por flujos masivos originados por tormentas
Arenitas Maduras y Macizas (AMM)	Arenosa muy fina superior, a veces fina inferior o muy fina inferior	Madura, supermadura o submadura	Gris claro, anaranjado grisáceo o amarillento oscuro (alterado)	Generalmente capas individuales gruesas hasta muy gruesas; a veces en conjuntos de capas delgadas hasta muy gruesas, plano-paralelas u onduladas paralelas	No presenta (maciza)	Algunos restos de bivalvos	No se observaron evidencias	Cuarzo, líticos volcánicos, trazas de feldespatos (NaCa, a veces K), minerales pesados, poca muscovita, ocasionalmente materia orgánica	4,8	Capa-eventos de tormenta proximal (21,2%) Eventos amalgamados de tormenta proximal (26,4%) Capa-eventos de tormenta costeros (9%) Submareal o Anteplaya (43,4%) *Acumulación rápida de arena a partir de flujos de sedimento por gravedad (flujos de granos) en zonas de costa afuera o en canales o depresiones en llanuras intermareales a partir de flujos masivos de sedimento (transporte en masa de arena en suspensión) originados por tormentas. * Acumulación en condiciones de mar en calma en zona de anteplaya o submareal, posiblemente por tracción y posterior destrucción de la laminación interna por bioturbación y/o a procesos físicos durante la diagénesis
Arcillolitas Silíceas Laminadas (ASL)	Arcillosa terrígena con aspecto de porcelanita macroscópicamente	No aplica	Negro pardusco (fresco); gris claro a gris pardusco claro (alterado)	Plana paralela, delgada	Plana paralela, delgada	Algunos niveles con abundantes impresiones de amonitas	No presenta	Filosilicatos microcristalinos (sericita fina por recristalización de arcilla), microcuarzo autígenico, pirita autígenica, materia orgánica carbonosa	5	Costa afuera distal (100%) *Acumulación de arcilla terrígena por suspensión con precipitación simultánea (inorgánica?) de sílice sobre un fondo colectivo con bajos niveles de oxígeno (disaeróbicos) y/o con altas velocidades de sedimentación

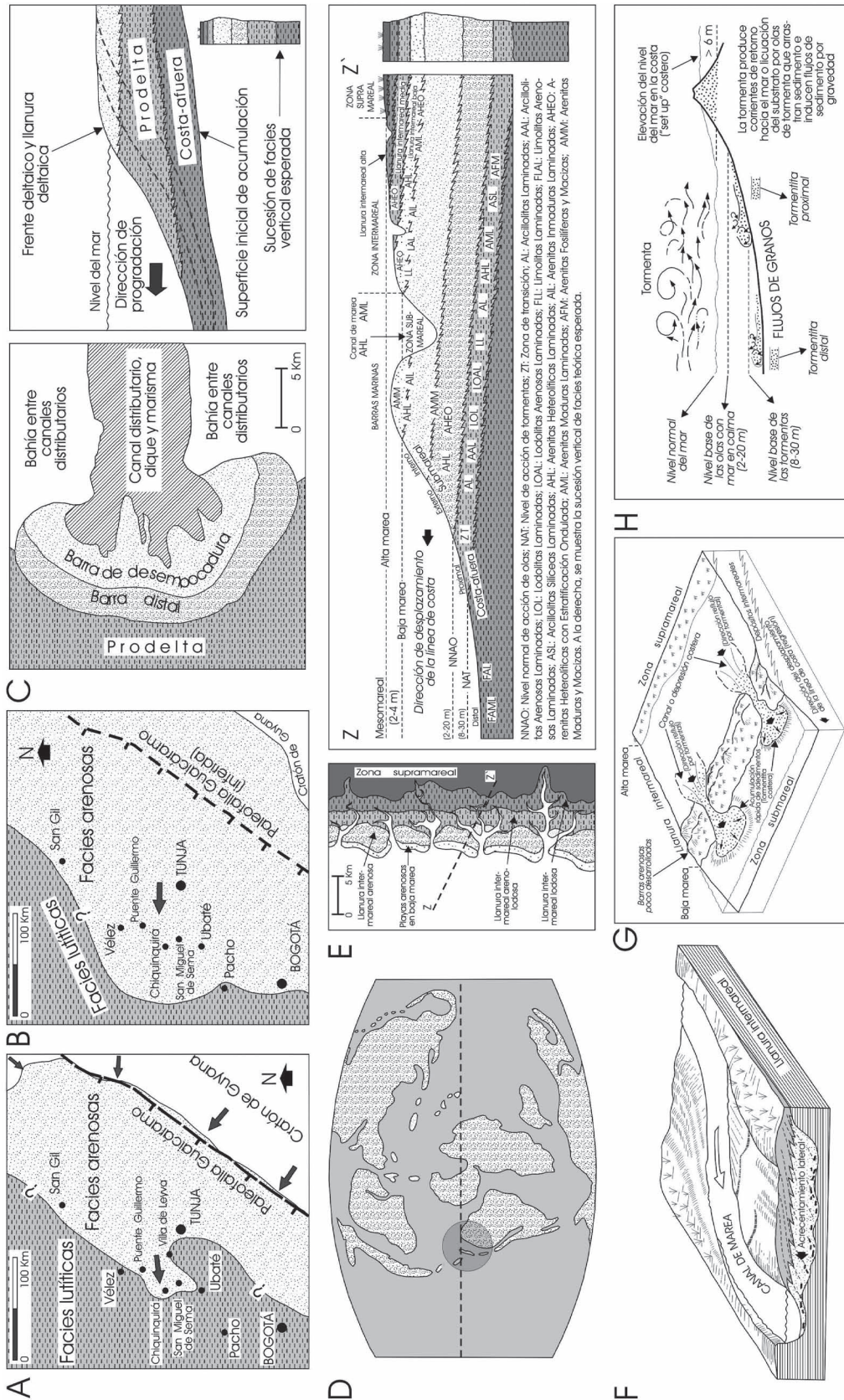


FIGURA 7. (A, B): Esquemas paleogeográficos que ilustran la posible distribución de facies arenosas y lutificas al final de la acumulación de los segmentos A (Albiano superior) y C (Cenomaniano superior) de la Arenisca de Chiquinquirá; **(C):** Modelo de frente deltaico interpretado para la Asociación de facies 8; **(D):** Mapa paleogeográfico mundial para el Cretáceo superior donde se muestra la configuración de la cuenca colombiana donde se acumuló la Arenisca de Chiquinquirá; **(E):** Modelo de costa lineal progradante, con dominio de mareas, propuesto para las distintas facies de la Arenisca de Chiquinquirá; **(F):** Modelo de acumulación en canales de marea por migración y acrecentamiento lateral; **(G, H):** Modelo ilustrando los mecanismos de acumulación de tormentas costeras, proximales y distales. Fuentes de información: (A, B) -Fabre (1985), Etayo *et al.* (1997), Villamil *et al.* (1999); (C) -Coleman (1976); (D) -Scotese (2002); (E, F) -Reineck and Singh (1980), Scholle and Spearing (1982), Friedman *et al.* (1992), Dalrymple (1992), Galloway and Hobday (1996); (G) -Brenner and Davis (1992); (H) -Walker (1984).

Tanto en el segmento A, del Albiano superior bajo, como en el segmento D, del Cenomaniano medio?, aparecen intercalaciones que probablemente correspondan a cenizas volcánicas riolíticas devitrificadas, dentro de la facies AL de costa afuera, lo cual indicaría vulcanismo félsico concomitante con la sedimentación, relacionado posiblemente con erupciones volcánicas explosivas que formaron flujos piroclásticos pumíticos con lluvia de cenizas sobre las cuencas oceánicas. Al respecto, vale la pena continuar realizando muestreo y análisis de estos materiales con difracción de rayos X y microscopía electrónica para confirmar esta hipótesis (FIGURA 8).



FIGURA 8. Afloramiento conformado por la Facies de Arcillolitas Laminadas (AL) de color oscuro donde se intercalan varias capas delgadas de posibles cenizas volcánicas (cv) que contrastan por su coloración más clara. Segmento D, punto con coordenadas N= 1°105.310, E= 1°036.030, Cota= 2.570, vereda Sabaneca, carretera Chiquinquirá-San Miguel de Sema.

La comparación de secciones estratigráficas con asociaciones de facies contemporáneas o casi contemporáneas, permitió inferir tramos de paleolínea de costa morfológicamente variable, con desarrollo simultáneo en sentido norte-sur, por ejemplo, de amplias zonas con canales mareales meandriformes, lóbulos deltaicos influenciados por mareas y playas arenosas asociadas a llanuras intermareales o frentes de playa dominados por olas (como ocurre en el techo del segmento A) o al contrario, el desarrollo de extensas llanuras intermareales arenosas al norte, hacia Puente Nacional (sección GPG), mientras que al sur en San Miguel de Sema (sección SMS) se producía acumulación de sedimentos en canales activos de marea (como ocurre hacia el techo del segmento C). Estas características geomorfológicas de la línea costera corresponden a costas lineales progradantes dominadas por mareas mesomareal (entre 2-4 m de altura) y desarrollo de llanuras intermareales e islas barrera poco desarrolladas de acuerdo con Barwis y Hayes, 1979 (en: Galloway and Hobday, 1996, p. 129-130) (ver FIGURA 7E).

Un hecho para destacar es el engrosamiento que presenta el intervalo estratigráfico correspondiente al segmento C de la Arenisca de Chiquinquirá (ver FIGURA 3), el cual en la sección estratigráfica de San Miguel de Sema se encuentra entre 89% y 47% más grueso (aproximadamente entre 100 y 68 m más grueso), respecto al espesor medido hacia Puente Nacional y en la sección tipo; además, su porción más inferior muestra variación litológica de facies predominantemente arenosas hacia Puente Nacional a facies predominantemente arcillosas y silíceas en San Miguel de Sema (ver FIGURA 3), lo cual indica profundización de los fondos de acumulación hacia este último sector. La variación facial sugiere cambios morfológicos en la línea de costa en sentido norte-sur (p.e. desarrollo de una bahía hacia el sector sur, en San Miguel de Sema, con acumulación de sedimentos arcillo-silíceos en fondos de costa afuera, mientras que al norte, en Puente Nacional, existía acumulación de arenitas en llanuras intermareales y canales de marea). Las diferencias de espesor se pueden explicar por subsidencia tectónica diferencial, la cual debió ser mayor hacia San Miguel de Sema produciendo engrosamiento del intervalo estratigráfico correspondiente al segmento C; lo más probable, es que esta diferencia en la subsidencia entre los sectores mencionados esté relacionada al movimiento de algún tipo de falla normal que afectaba la cuenca cretácica en la región de Chiquinquirá, la cual debió atravesar el área de estudio en algún punto situado entre la sección tipo y San Miguel de Sema, posiblemente orientada NW-SE, que es la dirección que se ha inferido para algunas de las fallas normales desarrolladas durante la fase de extensión de la cuenca durante el Cretáceo temprano (Etayo *et al.*, 1997; Villamil, 1998; Villamil *et al.*, 1999; Sarmiento, 2001).

Se identificaron tormentitas costeras, proximales y distales que representan acumulaciones rápidas de sedimento, debidas a las tempestades o tormentas que afectaron a los distintos medios de sedimentación de la Arenisca de Chiquinquirá; las facies relacionadas con estos eventos son las facies LL (Limolitas Laminadas), LAL (Limolitas Arenosas Laminadas), AHL (Arenitas Heterolíticas Laminadas), AIL (Arenitas Inmaduras Laminadas), AML (Arenitas Maduras Laminadas), AFM (Arenitas fosilíferas y Macizas) y AMM (Arenitas Maduras y Macizas). En la TABLA 2 se muestra las características principales de estas facies. Terraza y Tchegliakova (2005) ilustran y describen detalladamente estas acumulaciones e interpretan los posibles mecanismos de formación.

Se plantea el siguiente esquema estratigráfico secuencial para la Arenisca de Chiquinquirá (ver FIGURA 3), con base en Villamil (1998), Guerrero *et al.* (2000) y

Guerrero (2002): Se interpretaron los segmentos A, C y E como sistemas deposicionales de bajo nivel del mar (LST= *Lowstand Systems Tract*); en los segmentos B y D se deben encontrar los sistemas deposicionales transgresivo (TST= *Transgressive Systems Tract*) y de alto nivel del mar (HST= *Highstand Systems Tract*). Para el caso del segmento B, la superficie de inundación máxima (MFS= *Maximum Flooding Surface*) que separa el sistema transgresivo (TST) del sistema de alto nivel (HST) probablemente se localiza hacia la parte media superior del segmento, donde se tiene evidencia de inanición (“*starvation*”) de sedimentos debido seguramente a que fue el lugar donde el fondo marino presentaba máxima profundidad, poco suministro de sedimentos y mayor lejanía de la línea de costa. El intervalo estratigráfico faltante hacia la base del segmento C, correspondiente al Albiano superior alto y probablemente parte del Cenomaniano más inferior, se interpreta como una paraconformidad (lapso de no acumulación de sedimentos sin evidencias de erosión) en vista de que en la sucesión de estratos donde se presenta esta discontinuidad no se tienen evidencias de ningún proceso erosivo o tectónico que le dé explicación; esta superficie paraconforme podría corresponder al límite de secuencia que Villamil (1998) sitúa en la base de la Formación Churuvita (o techo de la Formación San Gil Superior) del área de Villa de Leyva y en el techo de la Formación Hiló de la región del Tequendama, como consecuencia de una regresión forzada causada por un descenso relativo del nivel del mar; Guerrero *et al.* (2000) y Guerrero (2002) también ubican un límite de secuencia de naturaleza similar, en la base de lo que ellos denominan Alomiembro Une Superior, que involucra, según ellos, a estratos del Cenomaniano depositados durante una caída del nivel del mar.

La composición mineralógica de las arenitas (ver FIGURAS 5 y 6) indica aporte de sedimentos a partir de varios posibles tipos de rocas félsicas intrusivas y volcánicas, así como también de varias clases de rocas metamórficas y de rocas sedimentarias siliciclásticas pero en mucha menor proporción, de acuerdo a lo observado en las secciones delgadas. La composición de estas arenitas es similar a la descrita por Fabre (1985) para las arenitas cretácicas de la Sierra Nevada del Cocuy; la diferencia fundamental radica en que las arenitas descritas por este autor, presentan menor contenido de líticos volcánicos y el cuarzo muestra claras evidencias de un origen a partir de arenitas preexistentes, mientras que las arenitas de la región de Chiquinquirá, revelan mayor contenido de cuarzo volcánico y el cuarzo retrabajado es evidente solo en algunas muestras. A pesar de estas diferencias puede aceptarse la conclusión a la

que llegó Fabre (1985) en la serranía del Cocuy, de que la principal fuente del cuarzo proviene de la destrucción y reciclamiento de antiguas arenitas cuarzosas del Precámbrico y Paleozoico (Cambro-Ordovícico) que cubrían el Cratón de Guyana (Amazónico) y que la muscovita presente también pudo haber provenido de rocas del mismo cratón; la mayor proporción de cuarzo y de líticos volcánicos en la Arenisca de Chiquinquirá no implica necesariamente la existencia de una fuente de sedimentos distinta a la del cratón, puesto que hacia la región de la orinoquía colombiana existen extensos afloramientos de rocas volcánicas riolíticas-andesíticas precámbricas que hacen parte del cratón de Guyana o Amazónico (INGEOMINAS, 1988, 1997), sin embargo, habría que hacer trabajos adicionales estratigráficos y petrográficos específicos para resolver estas incógnitas.

CONCLUSIONES

En la unidad litoestratigráfica Arenisca de Chiquinquirá aparecen cinco segmentos con carácter litológico contrastante, de base a techo denominados informalmente como A, B, C, D y E, de los cuales los segmentos A, C y E son arenosos o con alta proporción de arenitas (contenido de arenitas entre 34 y 66%) y los segmentos B y D son lutíticos (contenido de lutitas > 90%).

Se identificaron 13 facies siliciclásticas de las cuales seis corresponden a facies arenosas (Arenitas Heterolíticas Laminadas-AHL, Arenitas Heterolíticas con Estratificación Ondulada-AHEO, Arenitas Inmaduras Laminadas-AIL, Arenitas Fosilíferas y Macizas-AFM, Arenitas Maduras y Macizas-AMM, Arenitas Maduras Laminadas-AML) y siete a facies lutíticas (Arcillolitas Laminadas-AL, Arcillolitas Silíceas Laminadas-ASL, Arcillolitas Arenosas Laminadas-AAL, Lodolitas Laminadas-LOL, Lodolitas Arenosas Laminadas-LOAL, Limolitas Laminadas-LL, Limolitas Arenosas Laminadas-LAL).

Las facies arenosas representan el 28,8% del espesor total aflorante en las diferentes secciones estratigráficas analizadas, mientras que las facies lutíticas constituyen el 71,2% de este espesor.

Las diferentes facies reflejan ambientes marinos someros dominados por mareas que involucran desde fondos de costa afuera distales hasta planicies intermareales lodosas.

Las facies se acumularon en condiciones de salinidad normal.

En los distintos ambientes, en mayor o menor proporción, aparecen acumulaciones de sedimentos, predominantemente arenosos, asociados con eventos rápidos de sedimentación relacionados con tempestades (tormentitas).

El techo del segmento inferior de la Arenisca de Chiquinquirá (segmento A) representa ambientes de frente deltaico, posiblemente influenciados por mareas, donde se pudo distinguir fondos de prodelta, barra distal y barras de desembocadura de canales distributarios.

Las estructuras sedimentarias físicas reflejan una paleocosta con niveles bajos de energía actuando sobre los fondos de acumulación.

Los segmentos considerados como arenosos o con alta proporción de arenitas (A, C y E) representan fondos marinos someros progradantes.

Los segmentos B y D de carácter lutítico, representan esencialmente fondos marinos de costa afuera con acumulaciones arenosas o "mixtas" (arena y restos de conchas fósiles) producto de las tormentas.

Desde el punto de vista de la estratigrafía secuencial se interpretaron los segmentos A, C y E como sistemas deposicionales de bajo nivel del mar (LST= *Low System Tract*); en los segmentos B y D se encuentran los sistemas deposicionales transgresivo (TST= *Transgressive System Tract*) y de alto nivel del mar (HST= *High System Tract*).

La orientación de paleocanales de marea en sentido general E-W, sugiere una línea de costa con dirección N-S, por lo menos entre San Miguel de Sema al sur y Puente Nacional al norte, con fuente de sedimentos desde el oriente colombiano (Llanos Orientales y Cratón de Guyana) y paleopendiente hacia el W.

Existe la posibilidad de vulcanismo riolítico simultáneo con la sedimentación asociado a la facies arcillosa AL.

Se infiere una línea costera lineal progradante dominadas por mareas, posiblemente con rango de mareas mesomareal (2-4 m de altura) y desarrollo de extensas llanuras intermareales e islas barrera poco desarrolladas.

La edad de la Arenisca de Chiquinquirá está comprendida entre el Albiano tardío (porción temprana) y el Cenomaniano. Los segmentos A y B corresponden al Albiano tardío y los segmentos C, D y E al Cenomaniano.

Los análisis petrográficos realizados en la Arenisca de Chiquinquirá indican que las arenitas composicionalmente están representadas mayoritariamente por cuarzoarenitas (42 muestras= 81,4%) y en menor proporción por sublitoarenitas (9 muestras= 18,6%).

En el Cenomaniano temprano (segmento C) hubo subsidencia tectónica diferencial posiblemente relacionada a fallamiento normal (NW-SE) concomitante con la sedimentación.

AGRADECIMIENTOS

A las directivas del Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS), hoy en día Servicio Geológico Colombiano, por su apoyo económico y logístico; al Dr. Fernando Etayo Serna por las dataciones paleontológicas y valiosa asesoría, y finalmente, a los revisores anónimos del manuscrito por sus comentarios y sugerencias.

REFERENCIAS

- Acosta, J. 1993. Cambios laterales en la Formación Hiló. Memorias VI Congreso Colombiano de Geología, Tomo I, Medellín, Colombia, pp. 182-195.
- Boyd, R., Dalrymple, R. and Zaitlin, B.A. 1992. Classification of clastic coastal depositional environments. *Sedimentary Geology*, 80 (3-4): 139-150.
- Brenner, R.L. and Davis, K.D. 1973. Storm-generated coquinooid sandstone: Genesis of high-energy marine sediments from the Upper Jurassic of Wyoming and Montana. *Geological Society of America Bulletin*, 84 (5): 1685-1698.
- Coleman, J.M. 1976. Deltas: Processes of deposition & models for exploration. Continuing Education Publication Company, Inc. United States of America, 102p.
- Dalrymple, R.W. 1992. Tidal Depositional systems. En: *Facies Models*. Walker, R. G. and James, N. P. (Ed.), Geological Association of Canada, pp. 195-218.
- Etayo, F., Cediel, F. y Cáceres C. 1997. Mapa de distribución de facies y ámbito tectónico a través del Fanerozoico de Colombia. Escala 1:1'500.000. KL Albiano Medio-Superior & KU Cenomaniano. GEOTEC LTDA. Editor INGEOMINAS.
- Etayo, F. 1968b. El sistema Cretáceo en la región de Villa de Leiva y zonas próximas. *Universidad Nacional de Colombia, Geología Colombiana*, (5): 3-74. Bogotá.

- Fabre, A. 1985. Dinámica de la sedimentación Cretácica en la región de la Sierra Nevada del Cocuy (Cordillera Oriental de Colombia). En: Proyecto Cretácico, Publicación Geológica Especial INGEOMINAS No. 16. Bogotá, pp. XIX-1 a XIX-20.
- Folk, R.L. 1974. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Publishing Co. Austin, 182p.
- Fürsich, F. 1995. Shell concentrations. Swiss Journal of Geosciences, 88 (3): 643-655.
- Friedman, G.M; Sanders, J.E. and Kopaska-Merkel, D.C. 1992. Principles of sedimentary deposits. Macmillan Publ. Co., New York, 717p.
- Galloway W.E. and Hobday, D.K. 1996. Terrigenous clastic depositional systems. Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg-New York, 490p.
- Gaona, N.T. 2002. Apoyo bioestratigráfico en las formaciones Churuvita y Areniscas de Chiquinquirá. Informe inédito, INGEOMINAS, 79p.
- Gaona, N.T. 2003. Les Bivalves de l'Albien et du Cénomanién de Colombie (Amérique du Sud). Taxonomie, Paléobiogéographie et Paléoécologie. Tesis de maestría, Université Claude Bernard-Lyon1, Francia.
- Guerrero, J. 2002. A proposal on the classification of systems tracts: Application to the allostratigraphy and sequence stratigraphy of the Cretaceous Colombian Basin. Part 2: Barremian to Maastrichtian. Geología Colombiana, Universidad Nacional de Colombia, (27): 27-49.
- Guerrero, J., Sarmiento, G. y Navarrete, R. S. 2000. The stratigraphy of the W side of the Cretaceous Colombian Basin in the Upper Magdalena Valley. Reevaluation of selected areas and type localities including Aipe, Guaduas, Ortega, and Piedras. Geología Colombiana, Universidad Nacional de Colombia, (25): 45-110.
- Hubach, E., 1957. Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y sus alrededores. Boletín Geológico, Servicio Geológico Nacional, V (2): 93-112.
- INGEOMINAS 1988. Mapa Geológico de Colombia. Escala 1:1'500.000. Bogotá.
- INGEOMINAS 1997. Atlas Geológico Digital de Colombia. Escala 1:500.000. Bogotá.
- International Union of Geological Sciences 2000. Internacional stratigraphic chart.
- Julivert, M. 1968. Lexique Stratigraphique International. Colombie (primiere partie). Volumen 5, Fascicule 4a. Centre Nat. Rech. Sci. Paris.
- Montoya, D y Reyes, G. 2004. Mapa geológico de la Plancha 209-Ubaté. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. Bogotá.
- Pulido, O. 1979. Geología de las planchas 135-San Gil y 151-Charalá, Departamento de Santander. Boletín Geológico, INGEOMINAS, 23 (2): 39-78.
- Pulido, O. 1980. Mapa geológico preliminar de la Plancha 151-Charalá. Publicada en 1985. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. Bogotá.
- Reineck, H.E. and Singh, I. B. 1980. Depositional Sedimentary Environments. Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg-New York, 439p.
- Renzoni, G. y Rosas, H., 1967. Mapa geológico de la Plancha 171-Duitama. Publicada en 1983. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. Bogotá.
- Rodríguez, E. y Ulloa, C. 1984. Mapa geológico de la Plancha 189-La Palma. Publicada en 1994. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. Bogotá.
- Rodríguez, E. y Ulloa, C. 1994. Memoria explicativa de la Plancha 189-La Palma. INGEOMINAS. Bogotá, 57p.
- Sarmiento, L.F. 2001. Mesozoic Rifting and Cenozoic Basin Inversion History of the Eastern of the Cordillera, Colombian Andes. Inferences from tectonic models. Tesis Ph. D., Netherlands Research School of Sedimentary Geology. Amsterdam, 295p.
- Scholle, P.A. and Spearing, S. 1982. Sandstone Depositional Environments. American Association of Petroleum Geologists. Tulsa, 410p.
- Scotese, C.R. 2002. Consultado el 15 de junio de 2003. <http://www.scotese.com> (página web PALEOMAP).
- Terraza, R. 2004. Significado facial y cartografía geológica de la Arenisca de Chiquinquirá en alrededores de la localidad tipo. Universidad Nacional de Colombia, Tesis de Maestría. Bogotá, 218p.
- Terraza, R. y Tchegliakova, N. 2005. Registro de tormentitas en la Formación Areniscas de Chiquinquirá, región central de la Cordillera Oriental, Colombia. Geología Colombiana, Universidad Nacional de Colombia, (30): 41-48.

Ulloa, C. y Acosta, J. 1993. Geología de la Plancha 208-Villeta. Informe Interno I-2200, INGEOMINAS. Bogotá, 118p.

Ulloa, C., Acosta, J., Reyes, G., Hernández, O. y Camargo, G. 1998. Mapa geológico de la Plancha 208-Villeta. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. Bogotá.

Ulloa, C. y Rodríguez, E., 1978a. Mapa geológico preliminar de la Plancha 170-Vélez. Publicada en 1984. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. Bogotá.

Ulloa, C. y Rodríguez, E. 1978b. Mapa geológico de la Plancha 190-Chiquinquirá. Publicada en 1991. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. Bogotá.

Ulloa, C. y Rodríguez, E. 1979. Geología de las planchas 170-Vélez y 190-Chiquinquirá. Informe interno I-1794, INGEOMINAS. Bogotá, 45p.

Ulloa, C. y Rodríguez, E. 1991. Memoria explicativa de la Plancha 190-Chiquinquirá. INGEOMINAS, Bogotá, 26p.

Villamil, T. 1998. Chronology, relative sea-level history and new sequence stratigraphic model for basinal Cretaceous facies de Colombia. En: SEPM Special Publication (58): 161-216.

Villamil, T. 1999. Campanian-Miocene tectonostratigraphy, depocenter evolution and basin development and western Venezuela. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 153 (1-4): 239-275.

Villamil, T., Arango, C. and Hay, W.W., 1999. Plate tectonic paleoceanographic hypothesis for Cretaceous source rocks and cherts of northern South America. *Geological Society of America Special Paper*, (332): 191-202.

Walker, R.G. 1984. Shelf and shallow marine sands. En: *Facies Models*. Walker, R. G. (Ed.), Second Edition. Geological Association of Canada, p: 141-170.

Trabajo recibido: Agosto 12 de 2012
Trabajo aceptado: Diciembre 14 de 2012