

Estratigrafía Cuantitativa de las Formaciones Tablazo y Simití en las localidades de Sáchica (Boyacá) y Barichara - San Gil (Santander), Colombia.

GIOVANNI MORENO⁽¹⁾

GUSTAVO SARMIENTO⁽²⁾

Grupo de Investigación en Estratigrafía, Sedimentología y Paleontología. Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia. Apartado Aéreo 14490, Bogotá, Colombia.

(1) E-mail: Gmoreno@Geologist.com

(2) E-mail: gsarmiento@ciencias.unal.edu.co.

G. MORENO & G. SARMIENTO (2002): Estratigrafía Cuantitativa de las Formaciones Tablazo y Simití en las localidades de Sáchica (Boyacá) y Barichara - San Gil (Santander), Colombia.- GEOLOGIA COLOMBIANA, 27, pp. 51-76, 21 Figs., 2 Tablas, Bogotá.

RESUMEN

Se presentan las columnas estratigráficas, petrografía y ambientes de depósito de las Formaciones Tablazo y Simití en las secciones de Barichara – San Gil (Santander) y Sáchica (Boyacá), con una revisión de la nomenclatura estratigráfica empleada. La Formación Tablazo representa principalmente medios de depósito someros con marcada influencia bioclástica, mientras la Formación Simití registra mayoritariamente ambientes tranquilos de costa afuera, con el esporádico establecimiento de ambientes costeros de aguas poco profundas.

Las curvas de variación de espesor de los ciclos (parasecuencias) y las curvas de espesor acumulado de los ciclos representan el comportamiento de la generación del espacio de acomodación. Los ciclos generados en la sección de Barichara - San Gil (Santander) son en promedio un 30% menores que los de la sección de Sáchica (Boyacá). Por lo tanto se concluye que los primeros fueron depositados en ambientes más someros y correspondientes a profundidades de agua menores. Se identifica una inclinación relativa de la cuenca hacia el sur de 0.067° . Se presentan las curvas de Desviación Acumulada del Espesor Promedio (DAEP) o diagramas de Fischer, para las formaciones Tablazo y Simití en las dos secciones y a partir de estas se registran las tendencias de generación del espacio de acomodación. Las variaciones de las curvas muestran las tendencias de las sucesiones y se constituyen en una valiosa herramienta para la delimitación de los segmentos litológicos.

Mediante el estudio de series de datos sedimentarios (señal estratigráfica), y del empleo del análisis espectral de Fourier se demuestra como los ciclos medidos en las unidades estudiadas, representan una periodicidad de 50m (Sáchica) y 26m (Barichara - San Gil). Dicha periodicidad se interpreta como la influencia del parámetro orbital de Milankovitch correspondiente principalmente a la excentricidad larga (400ka). Los índices orbitales se utilizan para calcular tasas de depósito de 12.7cm/ka (Sáchica) y 6.5cm/ka (Barichara - San Gil) para las formaciones Tablazo – Simití.

Palabras clave: Formación Tablazo, Formación Simití, Petrografía Sedimentaria, Medios de Depósito, Estratigrafía Cuantitativa, Ciclo, Diagramas de Fischer, Periodo, Análisis Espectral de Fourier, Periodicidad de Milankovitch, Tasas de Sedimentación.

ABSTRACT

This paper will discuss the stratigraphic sections, petrographic and sedimentary environment of Tablazo and Simiti formation in sections of Barichara - San Gil (Santander) and Sachica (Boyaca), with a review of the stratigraphic nomenclature. The Tablazo Formation is mainly comprised of shallow deposits marked with bioclastic fragments. Proximal offshore deposits characterize Simiti Formation with sporadic formation influenced by the shallow coastal environment.

The variation thickness of cycles (parasequences) and accumulated thickness of cycles mark the trans-generational behavior of the accommodation space. The cycles generated in Barichara—San Gil (Santander) are thirty percent (30%) below average when compared to Sachica (Boyaca). This concludes that the first cycles were deposited in a shallower environment. The basin is shown to have a relative slope of 0.067 degrees facing south. The curves of Accumulated Deviation of Thickness Average or Fisher diagram shown for Tablazo and Simití formations in two sections register trans-generation of the accommodation space. The variation of curves registers tendencies of the successions and can constitute a valuable tool for the delimitation of the lithological segments.

The stratigraphic data from the present study and use of the spectral analysis of Fourier demonstrate cycles measured in the observed units. Results show a periodicity of fifty meters (50m) in Sachica and twenty-six meters (26m) in Barichara, which can be interpreted as following the orbital parameter of Milankovitch, thus corresponding to its long eccentricity (400ka). Using the orbital indexes, the calculated rate of deposit is 12.7cm/ka in Sachica and 6.5cm/ka in Barichara-San Gil for the Tablazo Formation and Simití Formation.

Keywords: *Tablazo Formation, Simití Formation, Sedimentary Petrography, Sedimentary Environments, Quantitative Stratigraphy, Cycle, Fischer Plots, Period, Fourier Transform, Milankovitch Periodicity, Sedimentation Rates.*

INTRODUCCIÓN Y DISCUSIÓN DE LA NOMENCLATURA ESTRATIGRÁFICA

La estratigrafía de las sedimentitas correspondientes al Aptiano Superior - Albiano de la cuenca del Valle Medio del Magdalena (VMM) y la Subregión de Villa de Leiva (SVL) (ETAYO 1964), se constituye en una variable importante para la delimitación de conjuntos litológicos sincrónicos que reflejan tanto profundizaciones como somerizaciones regionales en la Cuenca Cretácica Colombiana en el sentido de GUERRERO *et al.* (2000).

La presente investigación trata los conjuntos litológicos Formación Tablazo y Formación Simití en la cuenca del VMM y SVL. WHEELER (1929, inédito, según MORALES *et al.* 1958) define la Formación Tablazo en la localidad de El Tablazo (Santander), donde la carretera Bucaramanga - San Vicente de Chucurí atraviesa el Río Sogamoso. La Formación Simití es definida por un grupo de geólogos de Intercol en 1953 (en MORALES *et al.* 1958) en el margen S de Ciénaga Simití (Bolívar).

HUBACH (1953) designa desde San Gil (Santander) hasta Sutamarchán (Boyacá) a las formaciones Tablazo y Simití como "Conjunto San Gil" y "Conjunto San Gil Superior". Posteriormente HUBACH (1957), eleva al rango de "Formación San Gil" el "Conjunto San Gil", admitiendo la sinonimia de este con la Formación Tablazo, y designa al "Conjunto San Gil Superior" como Formación de Simití; de esta forma queda restablecida en el área de San Gil la nomenclatura previa del VMM de WHEELER (1929, en MORALES *et al.* 1958). HUBACH (1957) apunta que: "El Tablazo de la cuenca del Carare es el equivalente de la Formación San Gil del Valle del Suárez que forma los escarpes en la zona de San Gil - Socorro y de las mesetas del fondo del Valle del Suárez".

JULIVERT (1958 a y b) designa a la Formación Tablazo como "Caliza del Tablazo" y acepta la sinonimia de esta con la "Caliza de San Gil" ("Formación San Gil" en el sentido de HUBACH 1957).

Las unidades definidas por WHEELER (1929, en MORALES *et al.* 1958), como Formación Tablazo y por un grupo de geólogos de Intercol en 1953 (en MORALES *et al.* 1958) como Formación Simití, han sido posteriormente denominadas por JULIVERT (1961) como Formación Tablazo y Formación Simití, por ETAYO (1964), como "Formación Calizas del Tablazo" y "Formación Lutitas de Simití", y por TÉLLEZ (1964) como Formación Tablazo y Formación Simití.

En virtud de la continuidad cartográfica del "Conjunto San Gil" y el "Conjunto San Gil Superior" de HUBACH (1953) desde el Municipio de San Gil (Santander) hasta el Municipio de Sutamarchán (Boyacá), ETAYO (1968a) los importa al Valle Medio del Magdalena (VMM), Subregión de Villa de Leiva (SVL) (ETAYO 1964) y los eleva al rango de "Formación San Gil Inferior" y "Formación San Gil Superior", y además a la unión de ambas formaciones las designa como "Grupo de San Gil". No obstante, ETAYO (1968a) no toma en consideración el abandono de la nomenclatura de HUBACH (1953) propuesta por HUBACH (1957). Por otro lado se tiene que en el área de San Gil (Santander) donde fueron definidos los conjuntos de HUBACH (1953), ya se encontraba establecida la nomenclatura de WHEELER (1929, en MORALES *et al.* 1958) y de MORALES *et al.* (1958). JULIVERT (1968) indica que: "La Caliza de San Gil se encuentra bien representada por todo el valle del Suárez, aunque no es más que la misma Formación Tablazo (o Caliza del Tablazo) conocida con otro nombre en el valle del Suárez" y que "La Caliza del Tablazo equivale exactamente a la Caliza de San Gil (o Formación San Gil)". Respecto al Conjunto San Gil Superior JULIVERT

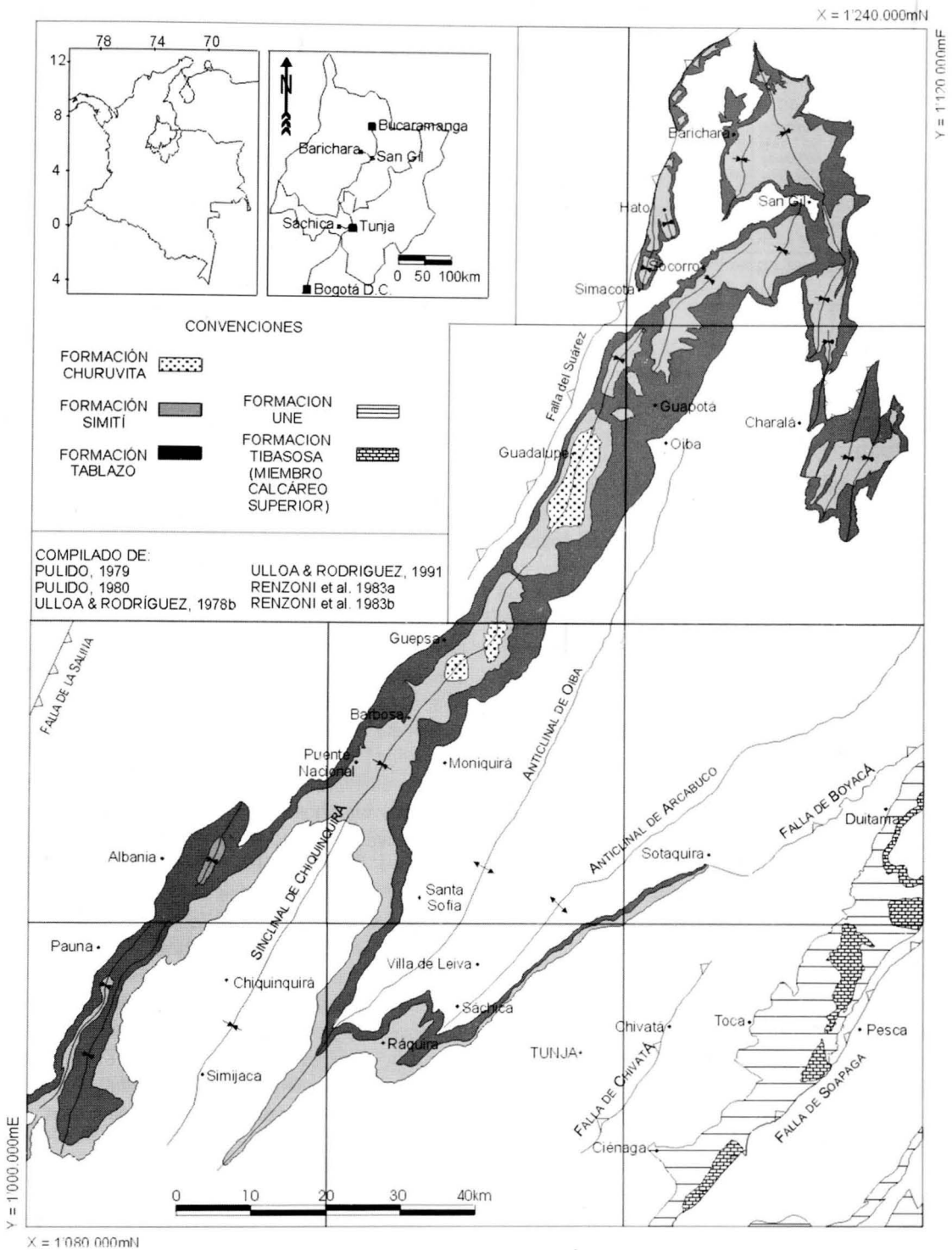


Fig. 1. Distribución geográfica de las formaciones Tablazo y Simití.

(1968) indica que corresponde a la parte baja de la Formación Simití. ETAYO (1968a, 1972) sustenta la nomenclatura mediante un cambio lateral de facies de la Formación Tablazo a la "Formación San Gil Inferior" y de la Formación Simití a

la "Formación San Gil Superior".

Respecto a la extensión regional de la nomenclatura estratigráfica, los nombres "Formación San Gil Inferior" y

TABLA 1
Desarrollo histórico de la nomenclatura estratigráfica para las unidades de estudio.

WHEELER 1929 (Según MORALES et al 1958). Valle Medio del Magdalena	HUBACH 1953. Región de Arcabuco - Barbosa - Oiba	HUBACH 1957. Valle de Suarez (San Gil), Cuenca del Carare	JULIVERT 1958a, b. SW de Bucaramanga y San Gil - Chiquinquirá	JULIVERT 1961. Valle Medio del Magdalena	TELLEZ 1964. Mesa de Barichara	ETAYO 1964. Valle Medio del Magdalena	RENZONI et al 1983a y b, Plancha 191 Tunja y 171 Duitama		ETAYO 1968. Villa de Leiva	ULLOA & RODRÍGUEZ 1978b, 1991. Planchas 170 Vélez y 190 Chiquinquirá. PULIDO 1979b & 1980. Plancha 135 San Gil y 151 Charalá	MORENO & SARMIENTO 2002. Sáchica y Barichara - San Gil	
Salto Limestone	Arenisca de Une	Arenisca de Une	Salto	Formación Salto		Formación Calizas del Salto	Grupo Churuvita		Formación Churuvita	Formación Areniscas de Chiquinquirá	Formación Churuvita	
Simití Shale	Conjunto San Gil Superior	Formación de Simití	Simití	Formación Simití	Formación Simití	Formación Lutitas de Simití	Grupo de San Gil	Formación San Gil Superior	Grupo de San Gil	Formación San Gil Superior	Formación Simití	Formación Simití
Tablazo Limestone	Conjunto San Gil	Formación Tablazo	Caliza del Tablazo	Formación Tablazo	Formación Tablazo	Formación Caliza del Tablazo		Formación San Gil Inferior		Formación San Gil Inferior	Formación Tablazo	Formación Tablazo
Paja Formation	Piso del Aptiano	Formación Paja	Paja	Formación Paja	Formación Paja	Formación La Paja	Formación Paja	Formación Paja	Formación Paja	Formación Paja	Formación Paja	

“Formación San Gil Superior” son empleados en los cuadrángulos 171 - Duitama y 191 - Tunja, mientras los nombres Formación Tablazo y Formación Simití se emplean hacia el N (cuadrángulos 135 - San Gil y 151 - Charalá) y W (cuadrángulos 170 - Vélez y 190 - Chiquinquirá) de los anteriores. Además en el Mapa Geológico Generalizado del Departamento de Boyacá (INGEOMINAS 1997), las unidades antedichas son referidas como Formación Tablazo (Kit) y Formación Simití (Kis). Queda de manifiesto la sinonimia entre la Formación Tablazo y la “Formación San Gil Inferior” y de la Formación Simití con la “Formación San Gil Superior”. Dadas las anteriores consideraciones referentes a la evolución histórica de la nomenclatura estratigráfica para este par de unidades, empleamos los nombres de Formación Tablazo y Formación Simití para su designación formal. La distribución geográfica de las unidades de estudio se presenta en la Fig. 1 y la evolución histórica referente a la nomenclatura de las unidades en la Tabla 1.

En esta investigación se presentan las columnas estratigráficas de las formaciones Tablazo y Simití levantadas en las áreas de Barichara - San Gil (Santander) y Sáchica (Boyacá), la petrografía sedimentaria, sus conjuntos litológicos característicos y ambientes de depósito, para de esta forma establecer una caracterización petrográfica y ambiental precisa de las mismas y así correlacionar los respectivos segmentos de una sección con los de la otra tomando como base el trabajo de MORENO & PÉREZ (2001). Se determinan las curvas de Desviación Acumuladas del Espesor Promedio (DAEP) o diagramas de Fischer y se emplean métodos numéricos en el estudio cuantitativo de datos estratigráficos. Dichas herramientas permiten obtener el máximo provecho a las observaciones de campo y por ende nos brindan un mejor entendimiento de la secuencia estratigráfica estudiada.

Una de las ventajas de la aplicación de los métodos numéricos en estudios estratigráficos es el de permitirnos relacionar parámetros cuantitativos registrados en función de la distancia (espesor estratigráfico), con su contraparte temporal. Por otro parte las curvas de desviación acumulada del espesor promedio o diagramas de Fischer (DAY 1997; MARTÍN - CHIVELET *et al.* 2000), encuentran una aproximación conceptual inicial en las curvas de variación ambiental deducidas del análisis de los medios de depósito de una secuencia estratigráfica dada.

El presente trabajo pretende ser una contribución conceptual y metodológica en el campo de la estratigrafía cuantitativa, para lo cual se explican las consideraciones inherentes a la naturaleza de los datos estratigráficos, los métodos de análisis, su potencial de aplicación, al igual que sus limitaciones. Se utiliza en conjunto el método de análisis espectral de Fourier y los diagramas de Fischer con el objetivo de delimitar conjuntos litológicos sincrónicos (correlacionables) y que a su vez se encuentren limitados por ascensos y descensos contrastantes del nivel del mar. En cada etapa se define el contexto estratigráfico y su correspondiente interpretación ambiental, y de esta forma se estructura un modelo de evolución geológica.

MÉTODOS Y CLASIFICACIONES

Los levantamientos estratigráficos se realizaron a escala 1:100, siguiendo una poligonal abierta con brújula y cinta métrica. Se empleó en campo el término lodolita para designar estratos en los que se presentaban fracciones equivalentes de partículas sedimentarias tamaño arcilla y limo. El término limolita y arenita fosilífera se empleó en campo para aquellas rocas en las que se presentaban predominantemente partículas terrígenas y fragmentos

fósiles y que algunas de ellas texturalmente en sección delgada se clasifican como grainstones. Para la clasificación textural y composicional de las rocas sedimentarias terrígenas y calcáreas en sección delgada se siguió a FOLK (1959, 1962, 1974). Para las rocas calcáreas adicional a la clasificación textural y composicional de FOLK (1962) se utilizó la clasificación textural de DUNHAM (1962).

A todas las capas de una sección estratigráfica dada les fueron determinadas en campo, de una forma sistemática, sus propiedades sedimentológicas, a saber: espesor, tamaño de grano, selección, esfericidad, contenido, tamaño y tipo de bioclastos, estructuras sedimentarias y relaciones estructurales. Para el posterior análisis numérico las propiedades sedimentológicas de capas de diferentes espesores eran expresadas como múltiplos de la unidad referencia de 10cm.

FORMACION TABLAZO - FORMACION SIMITI

Según MORALES *et al.* (1958), la localidad tipo de la Formación Tablazo, se ubica en el sitio El Tablazo, donde la carretera Bucaramanga - San Vicente de Chucurí atraviesa el Río Sogamoso; allí presenta un espesor de 150m y se encuentra constituida por «capas macizas de caliza extremadamente fosilíferas y margas, las primeras predominando en su parte superior y las últimas en la inferior». Apunta además que: «las margas son muy calcáreas y que las calizas son macizas, de textura gruesa, extremadamente fosilíferas, opacas y de color gris azuloso». Diferentes espesores han sido reportados para la unidad, al N de Bucaramanga 277m (WARD *et al.* 1973), en Barichara 330m (TÉLLEZ 1964), en los alrededores de Simacota, W de Guadalupe y Suaita, 239m, 272m y 354m de espesor respectivamente (PULIDO 1979a). Para la región de Villa de Leiva, ETAYO (1968a) determina para la Formación Tablazo («Formación San Gil Inferior» - conjunto arenoso - calcáreo), un espesor de 480m. Así, se puede evidenciar el aumento progresivo de espesor que presenta la Formación Tablazo de N a S, aspecto que ya había sido manifestado por algunos autores (ULLOA & RODRÍGUEZ 1978a; PULIDO 1979a).

MORALES *et al.* (1958) indica la localidad tipo de la Formación Simití a lo largo de la margen izquierda de Ciénaga de Simití (Bolívar); allí su espesor es de 410m y está constituida por «arcillolitas negras laminadas, carbonáceas y localmente calcáreas y concrecionales. Las concreciones son comúnmente fosilíferas y localmente contienen aceite liviano en las cámaras de las amonitas. Las concreciones son más numerosas hacia el tope de la unidad donde alcanzan un tamaño de 3m en su máxima dimensión». En el área de Villa de Leiva, ETAYO (1968a) determina para la Formación Simití («Formación San Gil Superior» - conjunto lutítico oscuro) un espesor de 620m.

Para la Formación Tablazo en el área de Ciénaga Simití, MORALES *et al.* (1958) asigna una edad Aptiano superior - Albiano Inferior, con base en los géneros *Uhligella*, *Chelonicerias*, *Parahoplites* y más arriba *Douvilleicerias*. ETAYO (1968a) reporta en la parte baja de la Formación Tablazo («Formación San Gil Inferior») en el área de Villa de Leiva, *Colombicerias alexandrium* (D'ORBIGNY) y *Colombicerias riedelli* CANTU - CHAPA? y en la parte media *Colombicerias obliquum* (RIEDEL) y *Rhytidohoplites* (?) sp. Para ETAYO (1968a) la edad de la Formación Tablazo es Aptiano superior - Albiano Inferior.

En el área de la Ciénaga Simití MORALES *et al.* (1958) indica que la edad de la Formación Simití comprende del Albiano medio al Albiano Superior con base en *Douvilleicerias*, *Parahoplites*, *Uhligella*, *Lyelliceras*, *Oxytropidoceras*, *Brancocherias* y *Pervinqueria*. En la Formación Simití («Formación San Gil Superior») ETAYO (1968a) en el área de Villa de Leiva reporta en la parte media de su segmento B (ETAYO 1968a), *Knemiceras semicostatum* SOMMERMEIER; *Engonoceras* cf. *E. gr. gibbosum*; cf. *Parengonoceras guadalupaeforme* (SOMMERMEIER); *Lyelliceras pseudolyelli sensu* BENAVIDES CÁCERES (non PAR & BON); *Platinknemiceras* sp. y cf. *Desmoceras chimuense* BENAVIDES CÁCERES. Por encima de las formas anteriores reporta *Prollyelliceras prorsocurvatum* (GERHARDT). ETAYO (1968a y b) concluye que esta formación abarcaría el Albiano inferior y el Albiano superior probablemente.

SECCIÓN ESTRATIGRÁFICA BARICHARA - SAN GIL (SANTANDER) (FIGS. 2 Y 3)

La sección estratigráfica correspondiente a la Formación Tablazo se levantó por la carretera que del Municipio de Barichara conduce al Corregimiento de Guane; allí presenta un espesor de 360m (Figs. 2 y 3). La sección estratigráfica correspondiente a la Formación Simití se levantó al SW de San Gil, por la carretera a la Vereda El Alto, donde se midieron 266m sin encontrarse el contacto con la unidad suprayacente, ya que en esta área es la Formación Simití la unidad más joven aflorante.

FORMACIÓN PAJA

La Formación Paja en su parte superior (últimos 34m) constituye una sucesión de lodolitas en capas muy gruesas con intercalaciones de bioesparitas, arenitas de cuarzo fosilíferas y limolitas de cuarzo. Las lodolitas son negras con laminación paralela y contienen nódulos arcillosos hasta de 5cm o concreciones calcáreas hasta de 30cm. Las arenitas de cuarzo fosilíferas son grises, compactas y con bivalvos de hasta 1cm. Las bioesparitas son grises y violetas, compactas y con bivalvos de hasta 10cm. Las limolitas de cuarzo

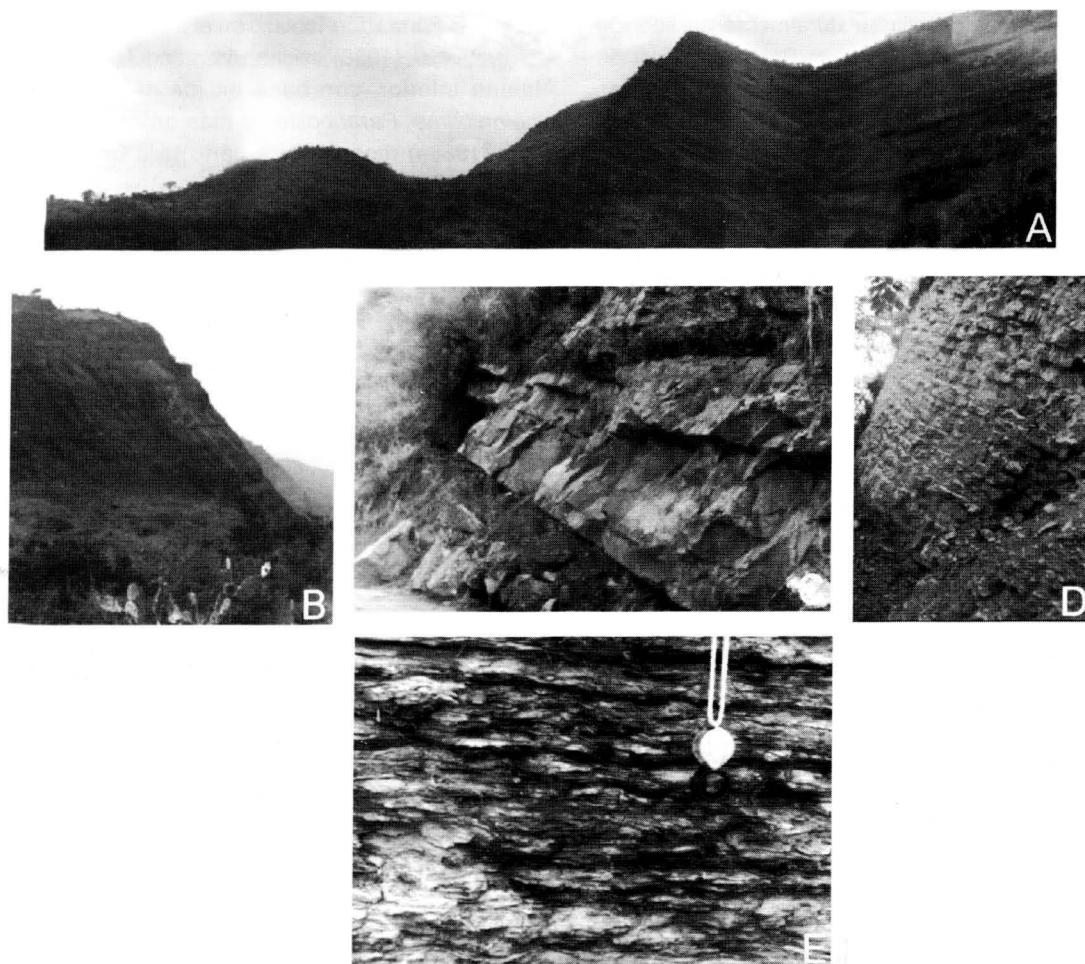


Fig. 2. Formación Tablazo en el área de Barichara. A, B: Contrafuerte estructural constituido por la Formación Tablazo visto desde el camino de herradura a Cabrera y la carretera Guane - Barichara (panorámicas mirando al E y SE). C, D: Aspecto macizo de las arenitas de cuarzo fosilíferas de la Formación Tablazo por la carretera Guane - Barichara. E: Lodolita con lentes de arenita de cuarzo limpia en la Formación Simití en la sección al S del Municipio de San Gil.

zo contienen siderita y corresponden a continuos niveles de concreciones de color gris con parches rojizos.

FORMACIÓN TABLAZO

Segmento A. Constituido por 30.9% de arenitas de cuarzo fosilíferas, 30.1% de bioesparitas, 13.8% de limolitas de cuarzo fosilíferas, 9.6% de arenitas de cuarzo, 15% de lodolitas y 0.6% de limolitas de cuarzo. Las limolitas y arenitas de cuarzo fosilíferas de grano muy fino a medio son compactas, de colores gris y violeta, con fragmentos de bivalvos, muscovita, láminas de material carbonoso y hacia el tope del segmento presentan glauconita. Las bioesparitas son arenosas, de color gris claro a violeta, compactas y con bivalvos hasta de 15cm. Las limolitas y arenitas de cuarzo de grano muy fino a medio son compactas, de color gris y

negro, presentan láminas de arenita de cuarzo limpia y muscovita. Las lodolitas son negras, con laminación paralela y a menudo presentan lentes de arenita de cuarzo limpia o de arenita de cuarzo calcárea limpia. Espesor: 128.8m.

Segmento B. Conformado por 51.2% de arenitas de cuarzo, 25.6% de arenitas de cuarzo fosilíferas, 13.4% de lodolitas, 5.2% de limolitas de cuarzo fosilíferas y 4.6% de bioesparitas. Las arenitas de cuarzo de grano muy fino a medio son compactas, de colores blanco, gris y negro, todas ellas contienen muscovita. Las arenitas de cuarzo negras son lodosas y presentan lentes de arenita de cuarzo limpia, mientras las de color gris y blanco son limpias y pueden presentar intraclastos de lodolita. Las limolitas y arenitas de cuarzo fosilíferas de grano muy fino a fino son compactas, de color gris y violeta, con bivalvos completos hasta de

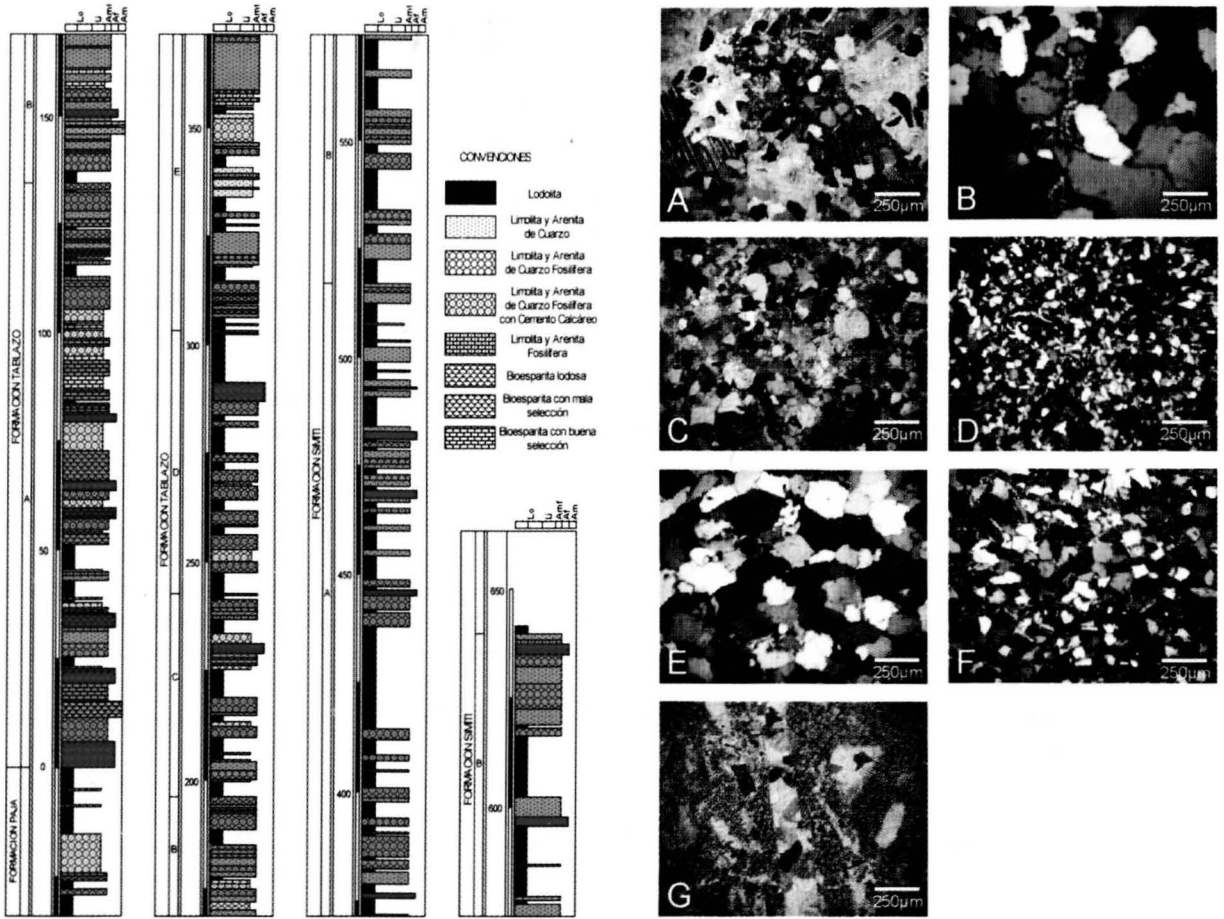


Fig. 3. Izquierda. Columna estratigráfica de las formaciones Tablazo y Simití en la sección de Barichara - San Gil (Santander). Derecha. Secciones delgadas de las formaciones Tablazo y Simití. A: Arenita de cuarzo de grano muy fino con cemento calcáreo (m10). B: Arenita de cuarzo de grano medio (m145). C: Arenita de cuarzo de grano muy fino fosilífera (m248). D: Limolita de cuarzo (m385). E: Arenita de cuarzo de grano medio (m595). F: Arenita de cuarzo de grano fino (m618). G: Bioesparita - Grainstone (m638).

5cm o fragmentados, contienen muscovita y ocasionalmente glauconita. Las lodolitas son negras, con laminación paralela y presentan láminas muy delgadas de limolita de cuarzo limpia. Las bioesparitas son compactas, de color violeta y presentan bivalvos hasta de 5cm. Espesor: 57.2m.

Segmento C. Constituido por 49.9% de lodolitas, 22.6% de arenitas de cuarzo fosilíferas, 14.1% de arenitas de cuarzo, 10.6% de limolitas de cuarzo fosilíferas y 2.8% de bioesparitas. Las lodolitas son de color negro, con laminación paralela y láminas delgadas de arenita de cuarzo limpia. Las limolitas y arenitas de cuarzo fosilíferas de grano muy fino y fino son compactas, violetas, con fragmentos de bivalvos y muscovita. Las arenitas de cuarzo son de grano muy fino, compactas, con muscovita y de color negro y gris. Las arenitas de cuarzo de grano muy fino negras presentan

láminas medias a gruesas de arenita de cuarzo limpia y arenita de cuarzo calcárea limpia. Las bioesparitas son compactas, violetas y con bivalvos hasta de 3cm. Espesor: 43.8m.

Segmento D. Conformado por 48.2% de lodolitas, 43.3% de arenitas de cuarzo fosilíferas, 5.4% de limolitas de cuarzo fosilíferas y 3.1% de bioesparitas. Las lodolitas son negras, con laminación paralela y láminas muy delgadas de arenita de cuarzo limpia, si bien en algunas se presentan lentes y láminas gruesas de arenita de cuarzo calcárea limpia. Las limolitas y arenitas de cuarzo fosilíferas de grano muy fino a fino son de color violeta y negro, compactas, presentan fragmentos de bivalvos además de muscovita. Las arenitas y limolitas de cuarzo fosilíferas de color violeta son limpias y con glauconita, mientras las de color negro son lodosas y presentan lentes de arenita de cuarzo calcárea

limpia. Espesor: 59.9m.

Segmento E. Constituido por 31.4% de lodolitas, 27.2% de arenitas de cuarzo, 20.1% de arenitas de cuarzo fosilíferas, 13.7% de limolitas de cuarzo fosilíferas y 7.6% de limolitas de cuarzo. Las lodolitas son negras, con laminación paralela y ocasionales concreciones calcáreas hasta de 20cm o láminas delgadas y medias de arenita de cuarzo limpia. Las limolitas y arenitas de cuarzo fosilíferas de grano muy fino son compactas, de color gris y negro, con fragmentos de bivalvos y muscovita. Las limolitas y arenitas de cuarzo fosilíferas grises son limpias y contienen glauconita, mientras las negras son lodosas y presentan láminas medias de arenita de cuarzo limpia. Espesor: 70m.

FORMACIÓN SIMITÍ

Segmento A. Conformado por 50.2% de lodolitas, 24.7% de arenitas de cuarzo, 19.2% de arenitas de cuarzo fosilíferas, 4.7% de limolitas de cuarzo fosilíferas, 0.7% de limolitas de cuarzo y 0.5% de bioesparitas. Las lodolitas son negras, presentan laminación paralela, muscovita, lentes y láminas medias y gruesas de arenita y limolita de cuarzo limpia y algunas veces concreciones calcáreas hasta de 20cm. Las arenitas de cuarzo son de grano muy fino y fino, compactas, con muscovita y de color negro y gris. Las arenitas de cuarzo negras presentan láminas lodosas oscuras, láminas delgadas de arenita de cuarzo limpia y algunas veces fragmentos carbonosos. Las arenitas y limolitas de cuarzo grises son limpias, con ocasionales láminas de material carbonoso y bioturbación. Las limolitas y arenitas de cuarzo de grano fino a muy fino fosilíferas son compactas, de color violeta, con fragmentos de bivalvos, material carbonoso, muscovita y glauconita. Algunas de las arenitas y limolitas fosilíferas presentan bivalvos completos hasta de 8cm. Las escasas bioesparitas de este segmento son compactas, de color violeta y con bivalvos hasta de 2cm. Espesor: 141.5m.

Segmento B. Constituido por 55% de lodolitas, 38.8% de arenitas de cuarzo y 6.2% de arenitas de cuarzo fosilíferas. Las lodolitas presentan siempre láminas de arenita de cuarzo limpia que oscilan de muy delgadas a gruesas, las cuales inclusive llegan a constituirse en verdaderos canales. Las lodolitas contienen muscovita y ocasionalmente concreciones calcáreas hasta de 20cm y láminas de material carbonoso. Las arenitas de cuarzo son de grano muy fino y fino, compactas, de color blanco y negro, con muscovita y fragmentos de material carbonoso. Las arenitas de cuarzo blancas son limpias y presentan láminas delgadas de material carbonoso e incluso láminas constituidas esencialmente por hojuelas de muscovita. Las arenitas de cuarzo negras presentan lentes lodosos oscuros, fragmentos de ma-

terial carbonoso y láminas delgadas de arenita de cuarzo limpia. Las arenitas de cuarzo fosilíferas son de grano muy fino, de color gris y negro, compactas, con fragmentos de bivalvos, muscovita y láminas de material carbonoso. Espesor: 124.6m.

SECCIÓN ESTRATIGRÁFICA SÁCHICA (BOYACÁ). FIGS. 4, 5 Y 6

La sección estratigráfica correspondiente a la Formación Tablazo y la Formación Simití en el área de Sáchica, se localiza al SE de esta población siguiendo el curso aguas arriba de la Quebrada Arriba y la Quebrada Honda (Fig. 3). La Formación Tablazo presenta un espesor de 490m y La Formación Simití un espesor de 1030m. Por la carretera que de Sáchica conduce a Puente Samacá la Formación Simití presenta un espesor de 620m (ETAYO 1968a) y su contacto con la Formación Churuvita es fallado y corresponde con la falla de cabalgamiento de El Pasito 2 reportada por AGUILERA & LÓPEZ (1995); por consiguiente no aflora la parte superior de la unidad.

FORMACIÓN PAJA

43.3m de lodolitas en capas muy gruesas con intercalaciones menores de limolitas de cuarzo y bioesparitas. Las lodolitas son negras y con laminación paralela, contienen muscovita y concreciones calcáreas hasta de 50cm, algunas con pirita. Las limolitas de cuarzo son negras y compactas, con muscovita, pirita y bivalvos de hasta 5cm. Las bioesparitas son de color gris, macizas y contienen bivalvos de hasta 5cm.

FORMACIÓN TABLAZO

Segmento A. Constituido por 44.8% de limolitas de cuarzo, 27.6% de lodolitas, 11.5% de limolitas fosilíferas, 6.7% de bioesparitas, 4.8% de arenitas de cuarzo y 4.6% de arenitas fosilíferas. Las limolitas de cuarzo son de color negro y gris, compactas y con muscovita. Las limolitas de cuarzo negras son lodosas y presentan concreciones calcáreas hasta de 25cm y láminas muy delgadas de limolita de cuarzo limpia. Las limolitas y arenitas de cuarzo de grano muy fino a fino de color gris son limpias, compactas y con bioturbación. Las lodolitas son negras, con laminación paralela, muscovita, concreciones calcáreas hasta de 15cm y esporádicas láminas muy delgadas de limolita de cuarzo limpia. Las limolitas y arenitas de grano muy fino a fino fosilíferas son friables, de color negro, cuarzosas, con muscovita y bivalvos fragmentados y completos hasta de 5cm. Las bioesparitas son de color negro y gris, compactas y con bivalvos hasta de 5cm. Espesor: 212.6m.

Segmento B. Conformado por 57.4% de lodolitas, 18.1% de limolitas de cuarzo, 9.8% de arenitas fosilíferas, 5.3% de arenitas de cuarzo, 4.9% de bioesparitas y 4.5% de limolitas fosilíferas. Las lodolitas son negras, con laminación paralela, muscovita, concreciones calcáreas hasta de 20cm y algunas presentan láminas delgadas a medias de arenita de cuarzo limpia. Las limolitas y arenitas de cuarzo de grano muy fino a fino son compactas, de color gris y negro, con muscovita y concreciones calcáreas hasta de 30cm. Las limolitas y arenitas de cuarzo negras son lodosas y algunas veces calcáreas, mientras las grises son limpias. Las arenitas de grano muy fino a fino y limolitas fosilíferas son negras, cuarzosas, friables, con muscovita, fragmentos de bivalvos y algunas capas están conformadas casi en su totalidad por pequeñas conchas en un armazón calcáreo. Las bioesparitas son negras, compactas y con bivalvos hasta de 5cm. Espesor: 101.2m.

Segmento C. Constituido por 48.7% de limolitas de cuarzo, 22.4% de lodolitas, 13.3% de arenitas de cuarzo, 5.8% de arenitas fosilíferas, 5.4% de bioesparitas y 4.4% de limolitas fosilíferas. Las limolitas y arenitas de cuarzo de grano muy fino a fino son de color gris y negro, compactas, con muscovita y ocasionalmente son calcáreas. Las de color negro son lodosas y pueden presentar concreciones calcáreas hasta de 20cm, mientras las grises son limpias y compactas. Las lodolitas son negras, con laminación paralela, muscovita y concreciones calcáreas hasta de 30cm. Las arenitas de grano muy fino a fino y limolitas fosilíferas son negras, cuarzosas, friables, con muscovita, bivalvos hasta de 5cm y ocasionales concreciones calcáreas hasta de 30cm. Las bioesparitas son negras, compactas y presentan bivalvos hasta de 6cm. Espesor: 75.1m.

Segmento D. Conformado por 54.4% de lodolitas, 21.2% de arenitas de cuarzo, 8.7% de limolitas de cuarzo, 8.3% de bioesparitas, 7.7% de lodolitas, 4.1% de limolitas fosilíferas y 3.3% de arenitas fosilíferas. Las lodolitas presentan laminación paralela, muscovita, concreciones calcáreas, láminas delgadas de limolita de cuarzo limpia y algunas veces láminas gruesas de arenita de cuarzo limpia. Las arenitas de grano muy fino a fino y limolitas de cuarzo son de color negro y gris, compactas con muscovita y algunas veces calcáreas. Las de color negro son lodosas y presentan lentes medios de arenita de cuarzo limpia y concreciones calcáreas hasta de 30cm, mientras las de color gris son limpias, compactas y pueden presentar ondulitas y variación lateral de espesor. Las bioesparitas son negras, compactas y con bivalvos hasta de 10cm y algo cuarzosas. Espesor: 83.2m.

Segmento E. Constituido por 51.1% de limolitas de cuarzo, 26.4% de arenitas de cuarzo, 12.7% de arenitas de cuarzo

calcáreas, 6.9% de lodolitas y 2.9% de bioesparitas. Las limolitas y arenitas de cuarzo de grano muy fino a medio son de color gris y negro, compactas, con muscovita y algunas veces calcáreas. Las limolitas y arenitas de cuarzo negras son lodosas y presentan casi siempre lentes delgados a gruesos de limolita y arenita de cuarzo limpia, concreciones calcáreas y algunas veces lentes gruesos de pirita. Las arenitas de cuarzo de color gris son limpias, compactas y presentan restos de material carbonoso e incluso estratificación inclinada y estructuras tipo canal, con variación lateral de espesor y bases erosivas. Las arenitas de grano muy fino a fino fosilíferas son de color negro, compactas, cuarzosas, con bivalvos fragmentados y completos hasta de 3cm y concreciones calcáreas hasta de 15cm. Las bioesparitas son negras, compactas y con bivalvos hasta de 3cm. Espesor: 52.8m.

FORMACIÓN SIMITÍ

Segmento A. Conformado por 64.3% de lodolitas, 15.1% de arenitas fosilíferas, 10.4% de arenitas de cuarzo, 4.1% de bioesparitas, 3.8% de limolitas fosilíferas y 2.3% de limolitas de cuarzo. Las lodolitas son negras, con laminación paralela, muscovita, láminas muy delgadas a gruesas de limolita de cuarzo limpia y concreciones sideríticas alargadas; además en el contacto con el segmento anterior las lodolitas son calcáreas. Las arenitas de grano muy fino a fino y limolitas fosilíferas son de color negro y gris, compactas, cuarzosas, con muscovita, bivalvos fragmentados y otros completos hasta de 5cm, concreciones calcáreas y en algunas ocasiones lentes medios de arenita de cuarzo limpia. Las limolitas y arenitas de cuarzo de grano muy fino a medio y limolitas son de color gris y negro, compactas, con muscovita y pueden ser algo calcáreas. Las arenitas y limolitas de cuarzo negras son lodosas, presentan lentes delgados a gruesos de arenita de cuarzo limpia y eventualmente de pirita y concreciones calcáreas hasta de 30cm, mientras las de color gris son limpias, compactas y algunas corresponden a canales en los que se observa variación lateral de espesor. Las bioesparitas son negras, compactas, algo cuarzosas y con bivalvos hasta de 10cm. Espesor: 284.9m.

Segmento B. Constituido por 43.9% de lodolitas, 31.1% de arenitas de cuarzo, 9.4% de arenitas fosilíferas, 8.9% de limolitas de cuarzo, 3.6% de limolitas calcáreas y 3.1% de bioesparitas. Las lodolitas son negras, con laminación paralela, muscovita, concreciones sideríticas alargadas y aplanadas y lentes medios a gruesos de limolita de cuarzo limpia. Las arenitas de grano muy fino a medio y limolitas de cuarzo especialmente hacia la base del segmento son blancas y grises, limpias, compactas, con fragmentos de material carbonoso dispuestos en láminas, escasa muscovita

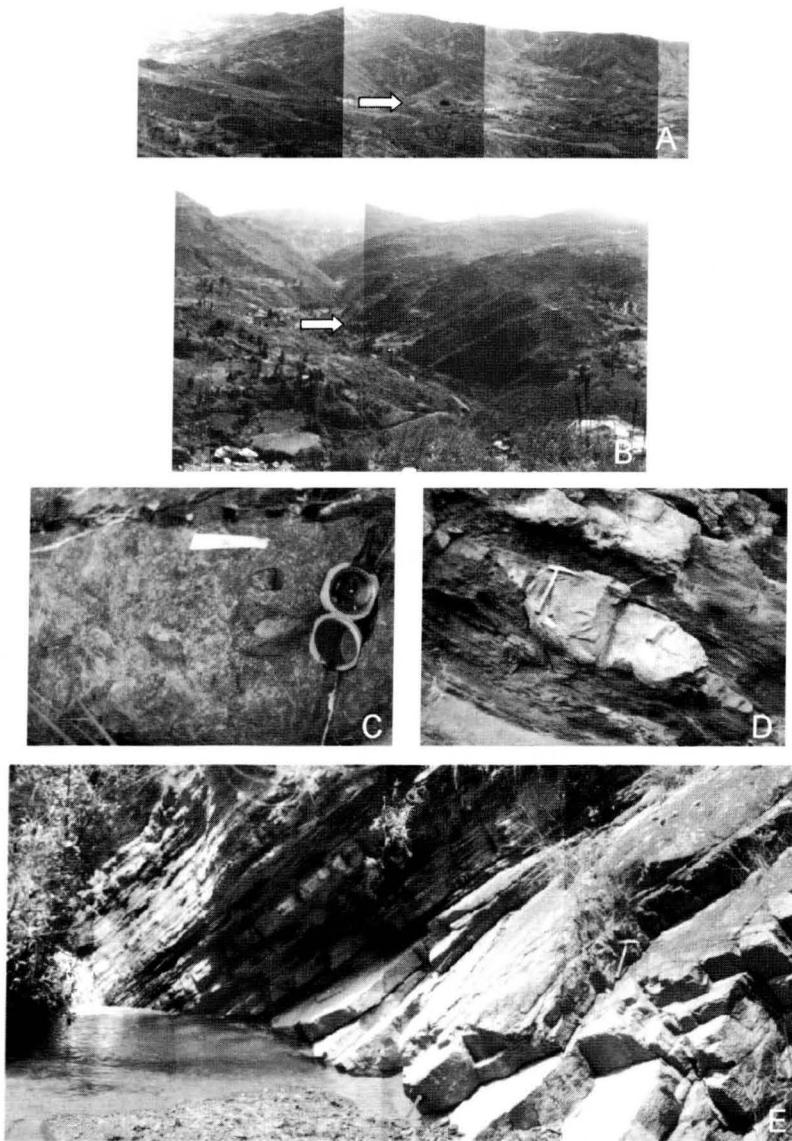


Fig. 4. Formaciones Tablazo y Simití en el área de Sáchica por la Sección de Quebrada Arriba. A: Contacto neto entre las formaciones Paja y Tablazo. B: Contacto neto entre las formaciones Tablazo y Simití. C: Bioesparitas compactas con bivalvos grandes de concha gruesa de la Formación Tablazo. D: Arenitas de cuarzo de grano fino compactas a manera de canales en la parte superior de la Formación Tablazo. E: Arenitas de cuarzo de grano muy fino a medio, compactas y con fragmentos de material carbonoso en la base del segmento B de la Formación Simití.

y las capas se disponen a manera de canales. Las arenitas y limolitas de cuarzo negras son lodosas, algunas veces calcáreas y presentan láminas gruesas e incluso capas muy delgadas de arenita de cuarzo limpia que pueden llegar a ser calcáreas y en las que se concentra material carbonoso, mientras

en otros casos presentan concreciones calcáreas hasta de 25cm. Las bioesparitas son negras, compactas, cuarzosas y con bivalvos hasta de 2cm. Espesor: 190.1m.

Segmento C. Conformado por 80.4% de lodolitas, 10.7% de arenitas

de cuarzo, 4.9% de limolitas de cuarzo, 3.3% de arenitas de cuarzo fosilíferas y 0.7% de bioesparitas. Las lodolitas son negras con laminación paralela, muscovita, concreciones calcáreas aplanadas y alargadas hasta de 120cm, presentan láminas y lentes delgados a gruesos de arenita de cuarzo limpia y ocasionalmente capas muy delgadas de arenita de cuarzo limpia en forma de canales que presentan internamente laminación inclinada y algunas veces ondulitas. Las arenitas de grano muy fino a fino y limolitas de cuarzo son de color gris y negro, compactas y con muscovita. Las de color negro son lodosas, algunas veces calcáreas, con fragmentos de bivalvos y pueden presentar láminas gruesas de arenita de cuarzo limpia. Las de color gris son limpias, compactas y contienen algunas veces intraclastos de lodolita. Las bioesparitas son de color gris, compactas y con bivalvos hasta de 2cm. Espesor: 155.2m.

Segmento D. Constituido por 43.7% de lodolitas, 24.3% de arenitas de cuarzo, 17.4% de limolitas de cuarzo, 6.4% de arenitas fosilíferas, 6.1% de bioesparitas y 2.1% de limolitas fosilíferas. Las lodolitas son negras, con laminación paralela, muscovita y niveles de concreciones calcáreas aplanadas y algunas veces láminas delgadas de arenita de cuarzo limpia. Las arenitas de grano muy fino y limolitas de cuarzo son negras, compactas, con muscovita, lentes delgados de arenita de cuarzo limpia, algunas veces con niveles de bivalvos dispuestos a manera de bandas y concreciones calcáreas hasta de 30cm. Las arenitas de cuarzo grises son compactas, con muscovita, algunas veces calcáreas y hacia el tope del segmento presentan intraclastos de lodolitas. Las arenitas de grano fino y limolitas fosilíferas son de color negro, compactas, cuarzosas, con muscovita y fragmentos de bivalvos. Las bioesparitas son grises, compactas,

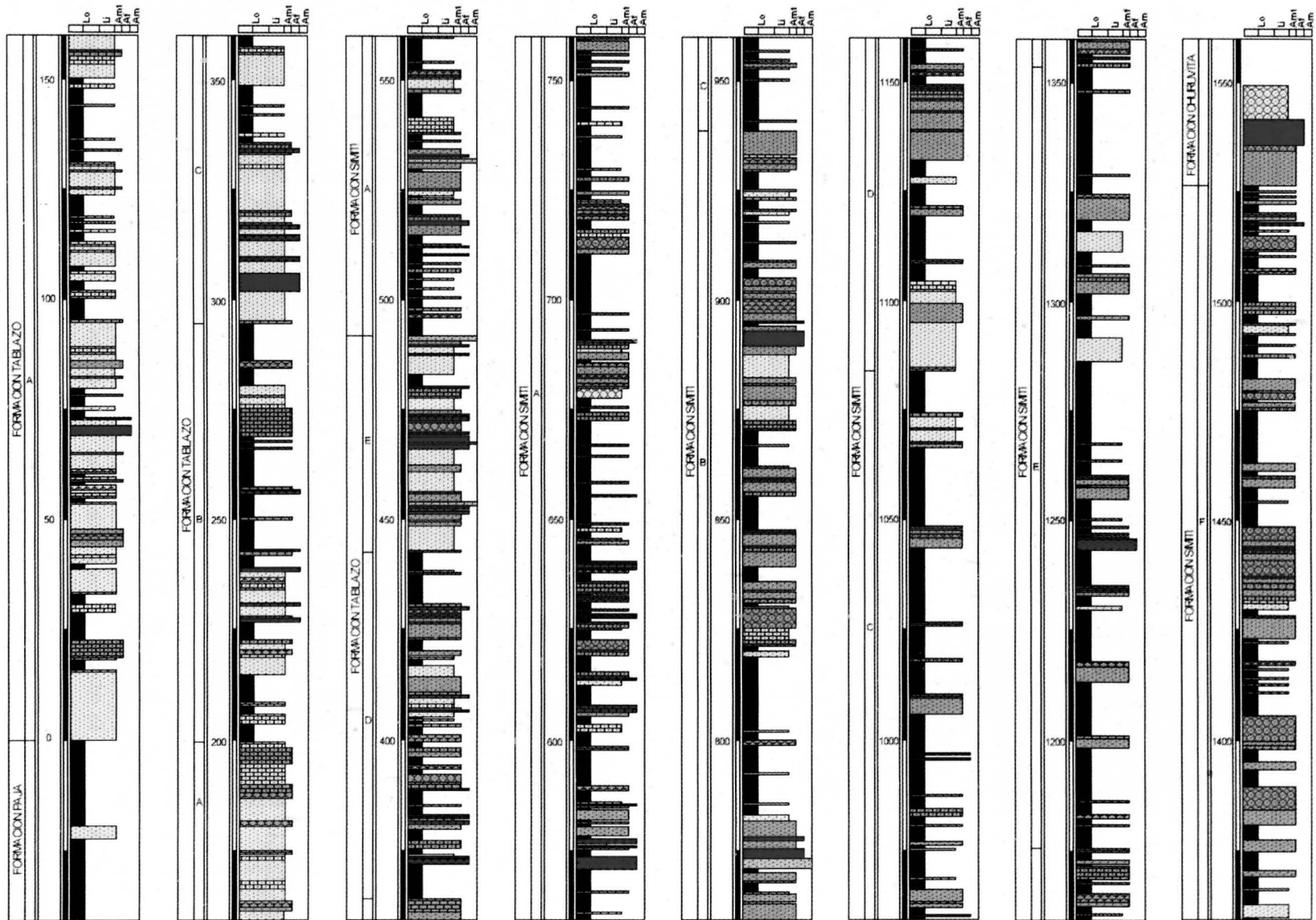


Fig. 5. Columna estratigráfica de las formaciones Tablazo y Simití en la sección de Sáchica

cuarzosas y con bivalvos y turrítidos hasta de 10cm y algunas presentan intraclastos de lodolitas. Espesor: 98.6m.

Segmento E. Conformado por 75.9% de lodolitas, 12.1% de arenitas de cuarzo, 6.1% de limolitas de cuarzo, 3.4% de arenitas de cuarzo calcáreas y 2.5% de bioesparitas. Las lodolitas son negras, con laminación paralela, muscovita, concreciones calcáreas alargadas hasta de 100cm y algunas veces láminas delgadas a gruesas de arenita de cuarzo limpia. Las arenitas de grano muy fino a fino y limolitas de cuarzo son negras, compactas, lodosas, unas veces calcáreas y otras con lentes muy gruesos de arenitas de cuarzo limpias y concreciones calcáreas hasta de 20cm y fragmentos de bivalvos. Las arenitas de cuarzo son de color gris, con muscovita, comúnmente calcáreas y con bivalvos completos hasta de 5cm. Las bioesparitas son compactas, de color gris, cuarzosas y con bivalvos hasta de 12cm. Espesor. 188.5m.

Segmento F. Constituido por 51.9% de lodolitas, 19.9% de arenitas de cuarzo calcáreas, 18.9% de arenitas de cuarzo, 8.5% de limolitas de cuarzo, 0.5% de limolitas fosilíferas y 0.3% de bioesparitas. Las lodolitas son de color negro, con muscovita y su carácter compacto está dado por la común ocurrencia de lentes medios de arenita de cuarzo limpia y hacia el tope del segmento lentes gruesos y capas muy delgadas de arenita de cuarzo limpia a manera de pequeños canales. Las lodolitas con laminación paralela presentan concreciones calcáreas hasta de 30cm y con centros piritosos. Las arenitas de cuarzo de grano muy fino fosilíferas son de color negro, compactas, con bivalvos fragmentados y completos hasta de 1cm. Las arenitas de grano muy fino y limolitas de cuarzo son de color negro y blanco, compactas, con muscovita y frecuentemente calcáreas. Las de color blanco son limpias, compactas, con láminas de muscovita, fragmentos material carbonoso e intraclastos de lodolitas, los cuales se hacen más comunes hacia la parte superior del segmento. Las arenitas de cuarzo negras son lodosas, compactas y presentan lentes de arenita de cuarzo calcárea limpia. Las bioesparitas son grises, compactas, con intraclastos de lodolitas y bivalvos hasta de 2cm. Espesor. 184.3m.

CURVAS DE VARIACIÓN BATIMÉTRICA

Ciclicidad y periodicidad

El término ciclo en una sucesión estratigráfica, según WILKINSON *et al.* (1996), se refiere a un conjunto de capas que ocurren en un orden específico y que definen un patrón energético indicativo de las condiciones hidrodinámicas (energéticas) actuantes sobre el fondo del depósito. Dicho patrón registra la progresiva disminución de la profundidad

del agua durante la acumulación de sedimentos. El término período se refiere, según los mismos autores, a un conjunto de ciclos que se repiten en función de un intervalo de espacio (espesor) constante. La periodicidad, por lo tanto, debe ser indicativa de regularidad espacial o temporal y en una secuencia estratigráfica la presencia de periodicidades se valida mediante el análisis espectral de Fourier (WILKINSON *et al.* 1996).

Las formaciones Tablazo y Simití (Figs. 3 y 5) representan sucesiones normales de frente costero progradacionales y retrogradacionales en las que cada sucesión individual lodo - limo - arena define un ciclo, caracterizado por un aumento de la energía actuante sobre el fondo de sedimentación y la disminución progresiva de la profundidad de agua. Cada ciclo por el hecho de estar separado por superficies de inundación marina se constituyen en equivalentes a parasecuencias en el sentido de VAN WAGONER *et al.* (1988) de espesor variable. Es por tanto que el término ciclicidad no trae consigo ninguna implicación en cuanto a regularidad espacial o temporal, ya que la ciclicidad es una consecuencia lógica de la existencia de estados de transición finitos. Se debe aclarar que la sola presencia de orden litológico (ciclicidad), no asegura el argumento de acumulación periódica (WILKINSON *et al.* 1997) y que la distorsión producida por la desaparición de ciclos durante la caída del nivel del mar que se registra al inicio de la Formación Tablazo no es importante al no presentarse una superficie erosiva. Adicionalmente la regularidad de los ciclos independientemente de su espesor está relacionada a un origen alogénico sin que ocurran mayores distorsiones introducidas por cambios de facies; aspectos considerados por algunos autores como limitantes para el uso de los diagramas de Fisher (MIALL 1997).

Las Formaciones Tablazo y Simití, con relación a la Cuenca Cretácica Colombiana (GUERRERO *et al.* 2000), representan unidades ubicadas en posiciones proximales, aspecto deducido de las facies, y con áreas de aporte provenientes del oriente según el componente petrográfico de los líticos. Al correlacionar las secciones estratigráficas de Sáchica y San Gil – Barichara reconocemos que las unidades litológicas están limitadas por cambios relativos del nivel del mar y que la sección norte representa una posición más somera con relación a la posición de la paleolínea de costa. A su vez estos conjuntos están constituidos por “episodios somerizantes” o parasecuencias que forman entidades regulares limitadas por una superficie de inundación a partir de la cual se desarrollan capas de granulometría más gruesa hasta la siguiente inundación.

Las parasecuencias en el sentido de VAN WAGONER *et al.* (1988) las encontramos equivalentes a los ciclos de

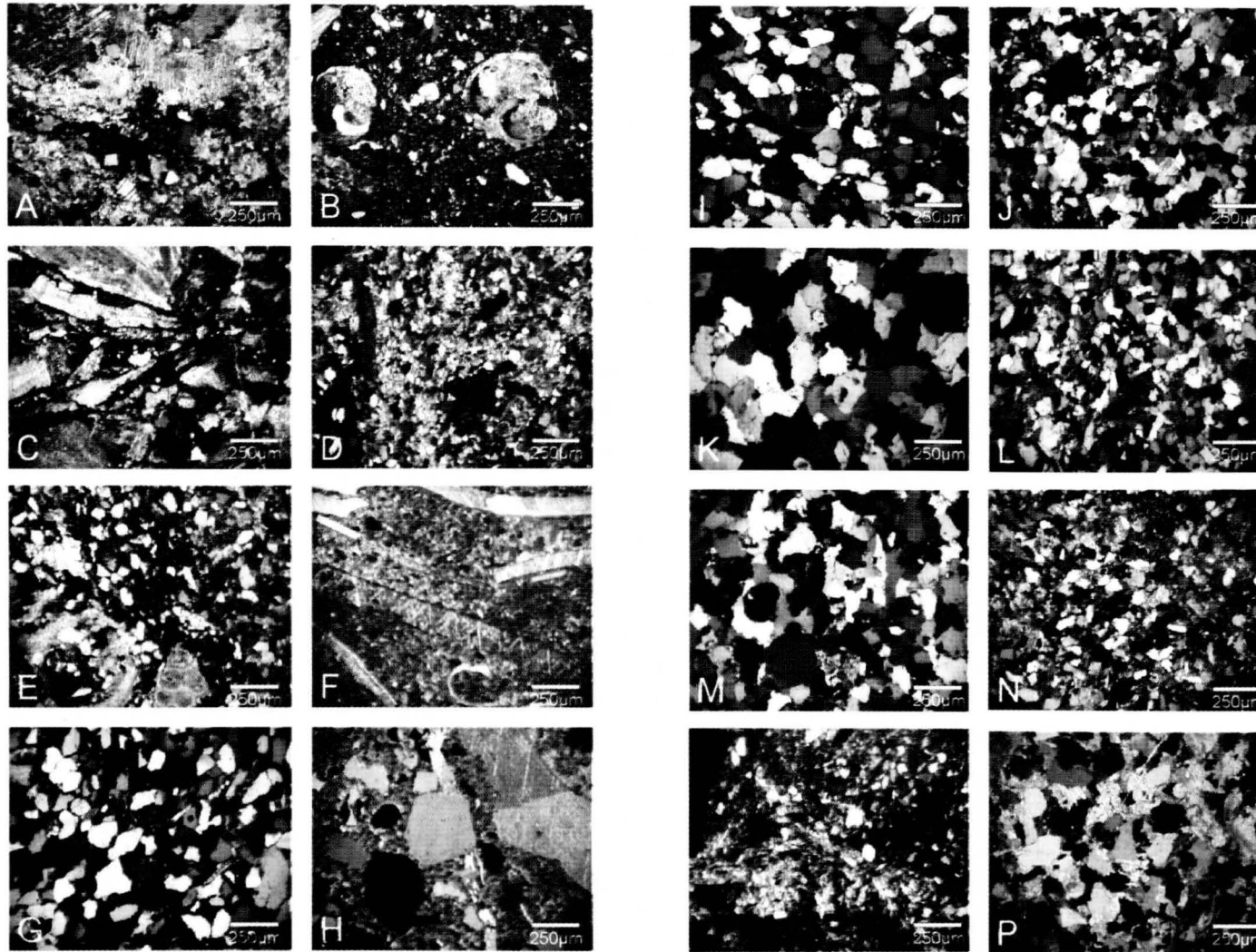


Fig. 6. Petrografía sedimentaria de las formaciones Tablazo y Simití (Sección Sáchica). A: Bioesparita - Grainstone (m18). B: Bioesparita arenosa - Grainstone (m20). C: Bioesparita - Grainstone (m22). D: Arenita de cuarzo de grano muy fino, fosilífera con cemento calcáreo (m30). E: Arenita de cuarzo de grano muy fino fosilífera (m90). F: Bioesparita - Grainstone (m180). G: Arenita de cuarzo de grano fino (m488). H: Bioesparita arenosa - Grainstone (m480). I: Arenita de cuarzo de grano fino (m488). J: Arenita de cuarzo de grano muy fino (m532). K: Arenita de cuarzo de grano fino (m760). L: Arenita de cuarzo de grano muy fino (m770). M: Arenita de cuarzo de grano fino (m774). N: Arenita de cuarzo de grano muy fino fosilífera con cemento calcáreo (m830). O: Arenita de cuarzo de grano muy fino fosilífera con cemento calcáreo (m978). P: Arenita de cuarzo de grano fino con cemento calcáreo (m1218).

WILKINSON *et al.* (1996) y a su vez se valida la presencia o ausencia de periodicidad en la aparición de los mismos. La determinación de los ciclos litológicos, además de la información inherente de las condiciones energéticas actuantes sobre el fondo de depósito y las asociaciones faciales resultantes, trae consigo la señal referente a la amplitud de permanencia de dichas condiciones, la cual está representada en el espesor de cada ciclo litológico (MUTO & STEEL 2000). Por lo tanto la pendiente de la curva de subsidencia se deduce a partir de la diagramación de los ciclos y la ciclicidad litológica resulta de la tendencia a la colmatación del espacio de acomodación. Dado que los ciclos se generan en función de la colmatación del espacio de acomodación, el cual a su vez es una respuesta conjugada entre subsidencia y eustacia, la representación de la variación del espesor de los ciclos, en función de su orden de aparición (número de ciclo), nos da información acerca de las variaciones en la generación del espacio de acomodación.

Para las formaciones Tablazo y Simití en la sección Sáchica fueron delimitados 460 ciclos representativos de 1520m de espesor (Fig. 7) y en la sección Barichara - San Gil 150 ciclos los cuales equivalen a 660m de espesor (Fig.8). En promedio los ciclos de las formaciones Tablazo y Simití en la sección de Sáchica presentan un espesor 30% mayor que aquellos correspondientes a las formaciones Tablazo y Simití en la sección Barichara - San Gil, por lo tanto se realiza un cambio de escala en la gráfica de estas últimas de 30% (Fig. 8), con el fin de efectuar comparaciones directas. El cambio de escala se aplica para todas las gráficas de este capítulo.

El hecho que el espesor de los ciclos de las formaciones Tablazo y Simití en la sección Barichara - San Gil sean un 30% menores que los correspondientes a la sección de Sáchica, se debe a que los primeros fueron depositados en ambientes más someros representativos de condiciones ambientales más energéticas y una profundidad de agua, representativa del espacio de acomodación, mucho menor. Este comportamiento se explica en función de una plataforma con pendiente relativa hacia el S de 0.067° (123km de separación horizontal entre secciones y una diferencia de espesor de 130m para la Formación Tablazo), la cual a su vez da respuesta al progresivo aumento de espesor de la Formación Tablazo de N a S (Fig. 9). Mediante el cambio de escalas observamos, por ejemplo, que el ciclo 165, perteneciente al tope de la Formación Tablazo en Sáchica, corresponde al ciclo 100 perteneciente al tope de la Formación Tablazo en Barichara (Figs. 7 & 8).

Curvas de espesor acumulado

Una curva de espesor acumulado es una representación de la variación del espacio de acomodación creado y colmatado a medida que las asociaciones litológicas somerizantes (ciclos) son depositadas. La construcción de dicha curva involucra el conocimiento del espesor de todos los ciclos (Figs. 10 & 11), luego de lo cual se comienza a graficar el espesor acumulado en función del número del ciclo. Es decir, al ciclo uno va asociado el espesor del ciclo uno, al ciclo dos va asociado el espesor del ciclo uno más el ciclo dos y así sucesivamente.

Si la curva de espesor acumulado de los ciclos en un intervalo dado muestra un incremento lineal, entonces la densidad promedio de ciclos es constante y por lo tanto la tasa de sedimentación (SCHWARZACHER 2000). El comportamiento de la curva será indicativo del espacio de acomodación creado mediante subsidencia y eustacia el cual posteriormente es colmatado. En las Figs. 10 y 11 se observa la presencia de una tendencia lineal en la generación de espacio de acomodación relacionada al espesor de los ciclos, la cual corresponde a una combinación de eustacia y subsidencia.

Al analizar las columnas estratigráficas de las formaciones Tablazo y Simití (Figs. 3 & 5), se observa que el cambio más evidente en cuanto a litología y espesor de ciclos se presenta en el contacto Tablazo - Simití, el cual corresponde a una profundización de la cuenca. En las curvas de espesor acumulado, los cambios de pendiente positivos y negativos son indicativos tanto de aumento como disminución en la generación de espacio de acomodación relacionado al aumento o disminución en el espesor de los ciclos. En la sección de Sáchica (Fig. 10), la curva de espesor acumulado muestra un comportamiento bastante regular hasta el ciclo 165 relacionado al tope de la Formación Tablazo, y otros 2 dominios lineales en la Formación Simití, siendo el superior indicativo de los ciclos más espesos presentes en tal formación y registrados en la columna estratigráfica (Figs. 5 & 10). Para la sección Barichara - San Gil, la curva de espesor acumulado presenta en general una tendencia lineal bastante marcada, la cual es indicativa de espesor de ciclos constante y generación constante de espacio de acomodación (Fig. 11). Se concluye que la profundización al límite Tablazo - Simití presenta ciclos más espesos o una respuesta más contrastante en posiciones relativamente más distales (Sáchica) que en las proximales (Barichara - San Gil), donde si bien aumenta el espesor promedio de los ciclos respecto a la Formación Tablazo, estos son en promedio un 30% menores que los de la Formación Simití en Sáchica. Tales diferencias son explicadas en función de la posición de cada sección en la cuenca.

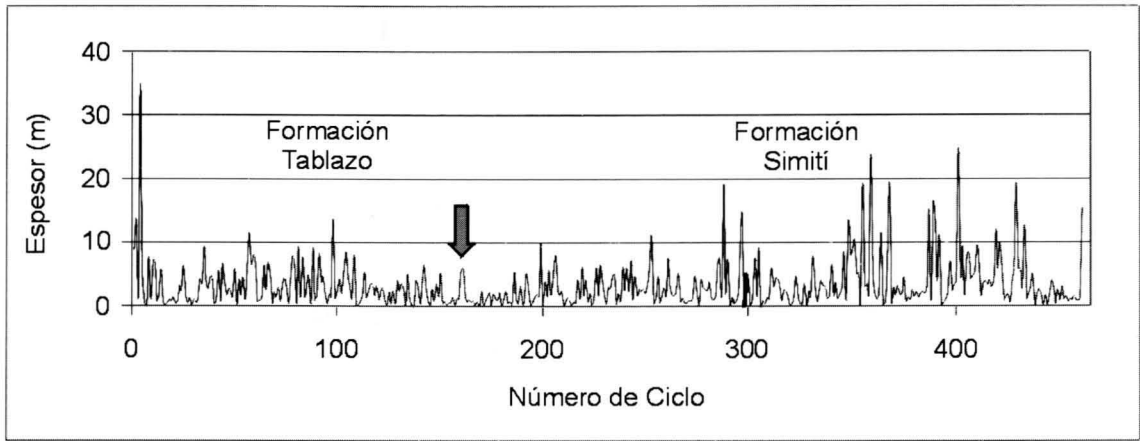


Fig. 7. Curva de Espesor de Cada Ciclo Formación Tablazo - Formación Simití. Sección Sáchica. La flecha marca el contacto entre las dos unidades.

Diagramas de Fischer

Los diagramas de Fischer son una herramienta utilizada en el análisis estratigráfico con el objetivo de resaltar la presencia de asociaciones litológicas profundizantes o somerizantes en función del espacio de acomodación creado en una cuenca sedimentaria (DAY 1997; MARTÍN - CHIVELET *et al.* 2000). Dada una sección estratigráfica se delimitan conjuntos litológicos o parasecuencias que evidencian reducción en la profundidad del agua (ciclos). Cada ciclo como tal representa el espacio de acomodación presente al momento del depósito. Teniendo en cuenta que la totalidad de ciclos presentes en una sección estratigráfica representan el espesor total de la misma, el espesor total se divide por el número de ciclos, con lo cual obtenemos un espesor promedio. Al comparar la profundidad a la que se presenta el tope del ciclo con aquella a la cual debiera estar si todos

los ciclos fuesen de igual espesor, obtenemos una diferencia, la cual si es positiva indica condiciones de aumento de espacio de acomodación y si es negativa disminución. Uniendo todos los residuos correspondientes a todos los ciclos se obtiene la curva de Desviación Acumulada del Espesor Promedio (DAEP). El valor de esta curva radica en que permite delimitar conjuntos litológicos con predominio de aumento o disminución de espacio de acumulación, resultante en asociaciones litológicas profundizantes o somerizantes.

El diagrama de Fischer es un método bastante robusto siempre y cuando el espesor real de ciclos o litologías individuales no se aparte extremadamente del promedio (DRUMMOND & WILKINSON 1993; WILKINSON *et al.* 1996). La controversia generada por este método radica en que algunos investigadores lo utilizan como evidencia de

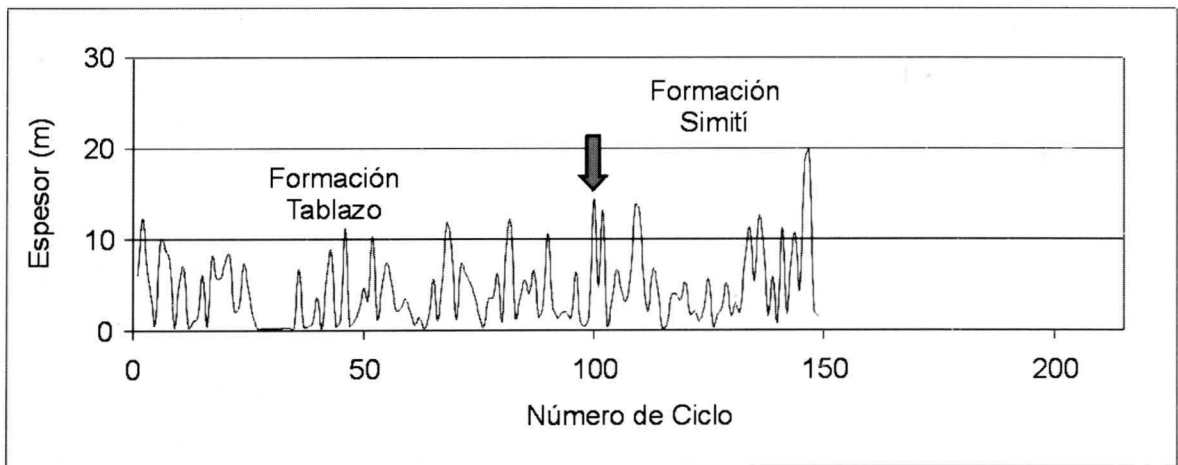


Fig. 8. Curva de Espesor de Cada Ciclo Formación Tablazo - Formación Simití. Sección Barichara - San Gil. La flecha marca el contacto entre las dos unidades.

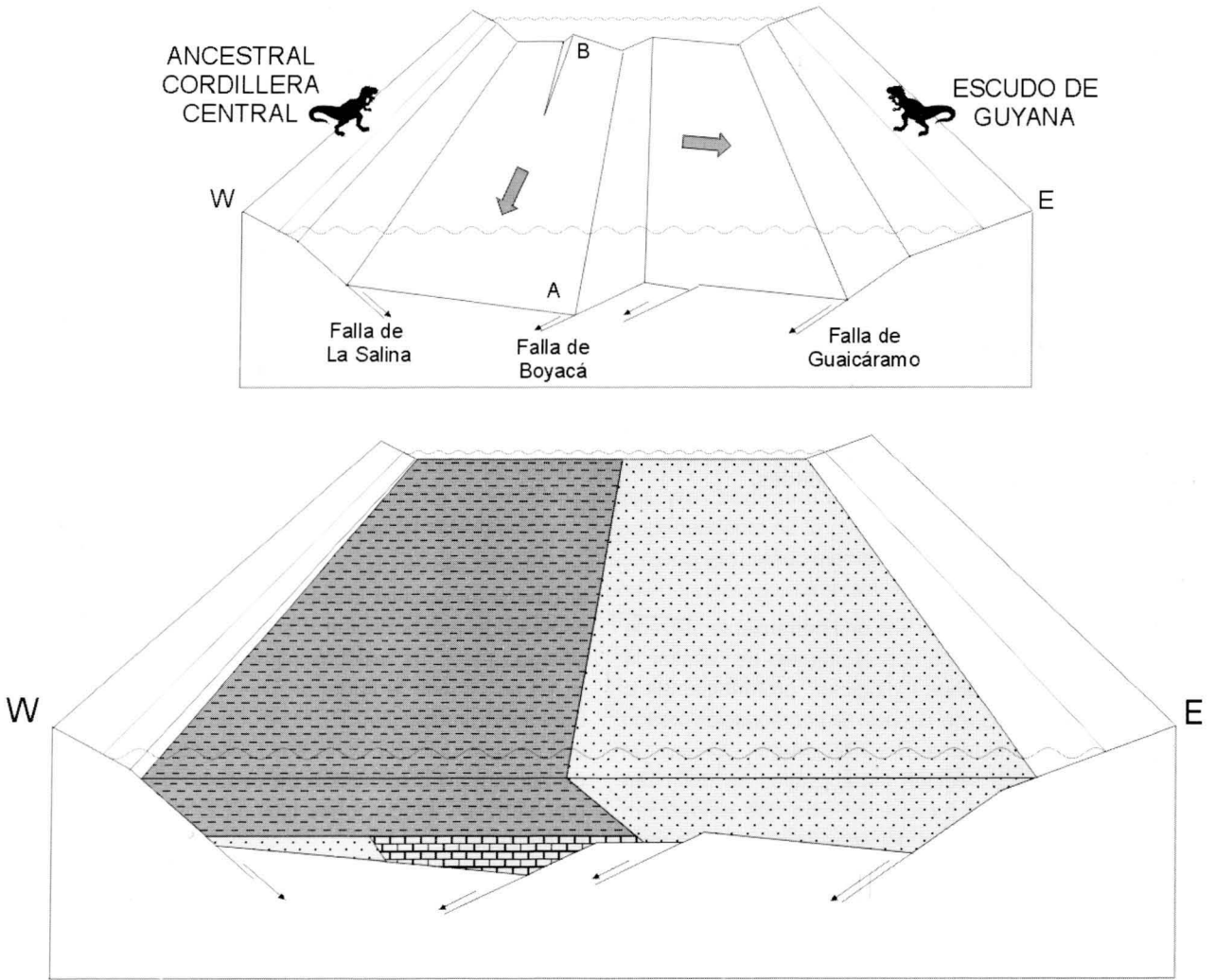


Fig. 9. Una plataforma con buzamiento hacia el S y una tectónica distensiva explican las variaciones de espesor presentes en las formaciones Tablazo y Simití en Barichara - San Gil (B) y Sáchica (A). Las flechas indican los gradientes de espesor más relevantes.

generación de espacio de acomodación mediante eustacia controlada por cambios climáticos de alta frecuencia en la banda de Milankovitch (GOLDHAMER *et al.* 1990), mientras que otra tendencia trata de explicar la generación de espacio de acomodación en función de eustacia y subsidencia constante (DRUMMOND & WILKINSON 1993; WILKINSON *et al.* 1996). Un conocimiento adecuado del marco geológico y paleogeográfico general y la posibilidad de poder comparar secciones correlacionables permite evitar concepciones infundadas respecto al mecanismo generador del espacio de acomodación.

El valor de la curva de Desviación Acumulada del Espesor Promedio (DAEP) en el tope de cualquier ciclo es la diferencia entre la profundidad real a la cual el tope del ciclo ocurre y la

profundidad a la cual el ciclo habría ocurrido si el tope de cada ciclo fuese de igual espesor a través de todo el intervalo de interés. Algebráicamente el valor de la curva DAEP para el tope del ciclo i es (DAY 1997):

$$DAEP = (D_0 - \frac{i}{N} T) - D_i$$

Donde i , el número del ciclo comienza con $i = 1$ para el ciclo completo más profundo; D_i es la profundidad real del tope del ciclo i , y D_0 , la profundidad al tope del ciclo cero, es simplemente la profundidad a la base del primer ciclo. N es el número de ciclos en el intervalo y T es el espesor total del intervalo y es igual a $D_0 - D_N$. DAEP y $DAEP_N$ son iguales a cero debido a que los diagramas de Fischer comienzan y terminan a elevación cero (DAY 1997).

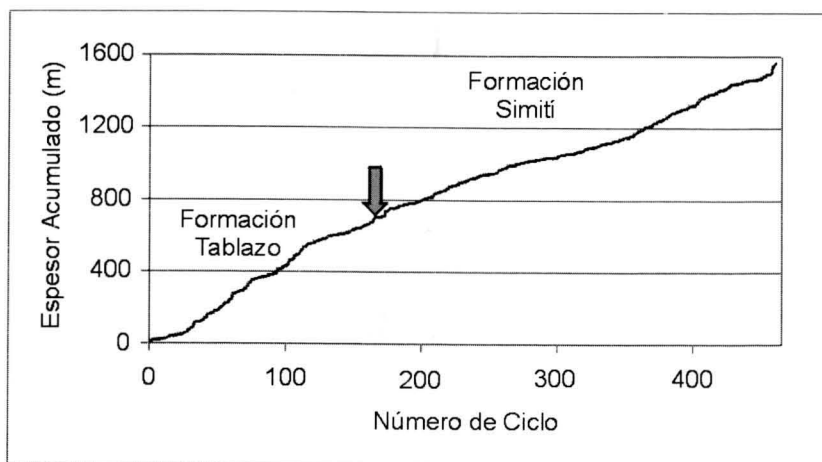


Fig. 10. Curva de Espesor Acumulado Formación Tablazo - Formación Simití. Sección Sáchica. La flecha marca el contacto entre las dos unidades.

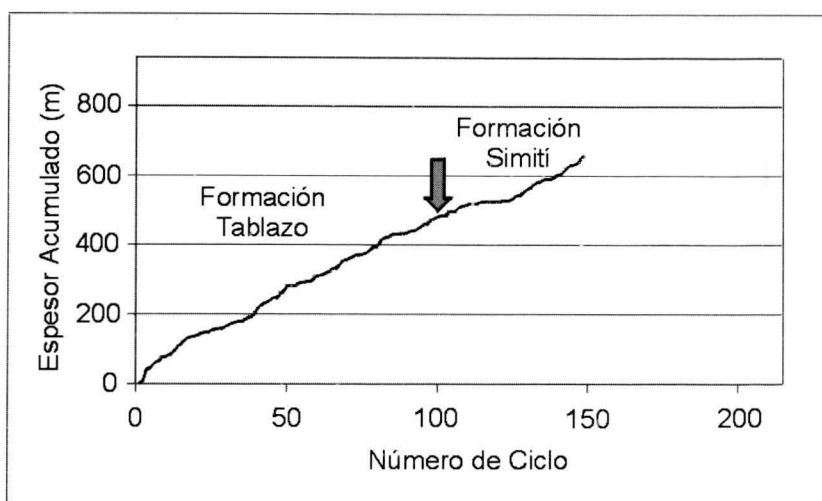


Fig. 11. Curva de Espesor Acumulado Formación Tablazo - Formación Simití. Sección Barichara - San Gil. La flecha marca el contacto entre las dos unidades.

Al comparar las secciones correlacionables de Sáchica y Barichara - San Gil se observa que la variación de la curva de Desviación Acumulada del Espesor Promedio es comparable (Figs. 12 & 13), si bien desplazada hacia valores positivos o negativos. De allí que se constituya en una valiosa herramienta en el análisis estratigráfico para delimitar segmentos con predominancia de asociaciones litológicas finas o gruesas, los cuales corresponden a los 5 segmentos de la Formación Tablazo y los 6 segmentos

de la Formación Simití (Figs. 3 & 5).

En la delimitación de los segmentos se tuvo en cuenta que la base de la Formación Tablazo (segmento A, contacto Formación Paja - Formación Tablazo) y la base de la Formación Simití (segmento A, contacto Formación Tablazo - Formación Simití) para ambas secciones (VMM y SVL), se consideran como límites sincrónicos y como tal representan líneas de tiempo. El mismo significado se le dio al contacto Formación Simití -

Formación Churuvita en la SVL. Sin ser una condición inicial, se cumple que en promedio, el espesor de los segmentos es un 30% menor en la sección Barichara - San Gil comparados con los de Sáchica. Esta condición presente en la Formación Tablazo (490m en Sáchica y 360m en Barichara - San Gil) parece cumplirse también con la Formación Simití que con 1030m en Sáchica tendría hacia el N (donde la sección esté completa), un espesor cercano a los 650m, el cual es el máximo reportado por MORALES *et al.* (1958) para el VMM. De esta forma se comprueba la importancia del control eustático en la generación de espacio de acomodación en sentido N - S.

Como se indicó anteriormente, las curvas de Desviación Acumulada del Espesor Promedio (diagramas de Fischer) (Figs. 12 & 13) para las formaciones Tablazo - Simití en las secciones de Sáchica y Barichara - San Gil, evidencian una gran similitud en cuanto a las tendencias de aumento y disminución de espacio de acomodación y pueden a su vez tomarse como aproximación a curvas eustáticas.

Resalta la buena correspondencia entre el contacto Formación Paja - Formación Tablazo (base del segmento A de la Formación Tablazo) para ambas secciones, a partir del cual se evidencia una tendencia de disminución de espacio de acomodación que litológica y ambientalmente equivale al paso de las lodolitas de la Formación Paja (fondos tranquilos de costa afuera) a las arenitas fosilíferas y bioesparitas de la Formación Tablazo (fondos costeros agitados de aguas poco profundas tipo frente de playa). El paso de la Formación Paja a la Formación Tablazo indica el inicio de un sistema de bajo nivel.

En el contacto Formación Tablazo - Formación Simití (base del segmento A de la Formación Simití) para ambas

secciones (Figs. 12 & 13) se inicia una tendencia marcada en el aumento de espacio de acomodación, la cual corresponde al paso de las arenitas fosilíferas y bioesparitas de la Formación Tablazo (fondos costeros agitados de aguas poco profundas tipo frente de playa) a las lodolitas (litología predominante) conformando ciclos más espesos de la Formación Simití (ambientes de costa afuera con esporádico establecimiento de condiciones costeras). El paso de la Formación Tablazo a la Formación Simití indica el inicio de un sistema transgresivo y su evolución a un sistema de alto nivel.

Las condiciones ambientales de costa afuera, iniciadas en la base de la Formación Simití y mantenidas en términos generales durante toda su duración hasta el tope del segmento F, acaban con la depositación de la de las arenitas de cuarzo en capas muy gruesas de la Formación Churuvita en la sección de Sáchica, a partir de la cual se evidencia una disminución en el espacio de acomodación y la predominancia de ambientes someros de frente de playa. El paso de la Formación Simití a la Formación Churuvita indica el inicio de un nuevo sistema de bajo nivel.

Debido a la continuidad de la curva de DAEP para la sección de Sáchica puede tomarse como equivalente a la curva de variación eustática del nivel del mar y como tal se constituye en un registro de su evolución esencialmente durante el Albiano.

La transición Formación Paja - Formación Tablazo en el VMM y SVL corresponde con el paso Unidad de Lodolitas Indenominadas K2 - Formación Socotá en la Región del Tequendama, Miembro Lodoso Medio y el Miembro Arenoso Superior de la Formación Caballos en el Valle Superior del Magdalena (VSM), Formación Apón - Segmento K4A de la Formación Une en el Cocuy y entre la Formación Fômeque - Miembro Arenoso Inferior de la Formación Une en los Llanos. Dicha transición es indicativa de una caída del nivel del mar y según GUERRERO *et al.* (2000) corresponde a un límite de secuencia de edad cercana al límite Aptiano - Albiano (Tabla 2).

El paso Formación Tablazo - Formación Simití en el VMM y SVL equivale con la transición Formación Socotá - Formación Capotes en la Región del Tequendama y entre el Miembro Arenoso Superior de la Formación Caballos - Formación Tetuán en el VSM. Esta transición corresponde con una elevación del nivel del mar que se inicia en el Albiano temprano tardío (VILLAMIL 1998; GUERRERO *et al.* 2000) (Tabla 2).

La transición Formación Simití - Formación Churuvita en el VMM y SVL corresponde con la de la Formación Tetuán

- Formación Hondita en el VSM. Esta transición es un límite de secuencia cercana al límite Albiano - Cenomaniano y es indicativa de una caída puntual y abrupta del nivel del mar (VILLAMIL 1998; GUERRERO *et al.* 2000) (Tabla 2).

ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LAS SERIES DE DATOS ESTRATIGRÁFICOS

En el presente capítulo se hace referencia a las propiedades de las cadenas de datos en estratigrafía, su naturaleza, características, métodos de análisis y sus aplicaciones en la zona de estudio.

Una serie de datos que represente valores de una propiedad física que fluctúa de forma variable en el tiempo o espacio - $F(X)$ - y cuyo muestreo y medición se realiza a una tasa constante (X), se denomina serie de tiempo, cadena de datos o señal (Davis 1986) (Fig. 14). En un contexto estratigráfico, una serie de tiempo estratigráfica o señal estratigráfica es un conjunto de mediciones discretas realizadas a intervalos iguales de espacio representado en espesor o de tiempo de una propiedad sedimentológica o ambiental (SCHWARZACHER 2000) (Fig. 15).

El análisis de una serie de tiempo tiene por finalidad la cuantificación, caracterización y descripción de las componentes principales constituyentes de una señal (MERRIAM & ROBINSON 1997). El estudio de series de datos estratigráficos hace parte de la rama de la estratigrafía denominada estratigrafía cuantitativa (PROKOPH 1999).

En los análisis cuantitativos de series de datos estratigráficos los datos fundamentales son los relacionados con la roca misma tal como litología, granulometría y en general número de estados litológicos presentes en una secuencia de rocas sedimentarias (DAVIS 1986; XU & MACCARTHY 1998; PARKS *et al.* 2000; SCHWARZACHER 2000). Por otro lado, datos derivados de propiedades geofísicas de las rocas sedimentarias tales como valores de rayos gamma y potencial espontáneo son igualmente utilizados (PROKOPH & BARTHELMES 1996; PROKOPH 1999; PROKOPH & AGTERBERG 1999).

Las clases de datos más comunes empleados en geología se clasifican en 4 tipos de escalas que son: nominal, ordinal, de intervalo y de relación (DAVIS 1986). En las escalas nominal y ordinal las observaciones se clasifican en categorías mutuamente excluyentes, mientras en las escalas de intervalo y de relación se trata con la determinación de magnitudes de atributos. La medición en una escala nominal consiste en clasificar observaciones en categorías mutuamente excluyentes de igual rango. Las categorías pueden ser clasificadas por nombres (A, B, C, etc.) o números

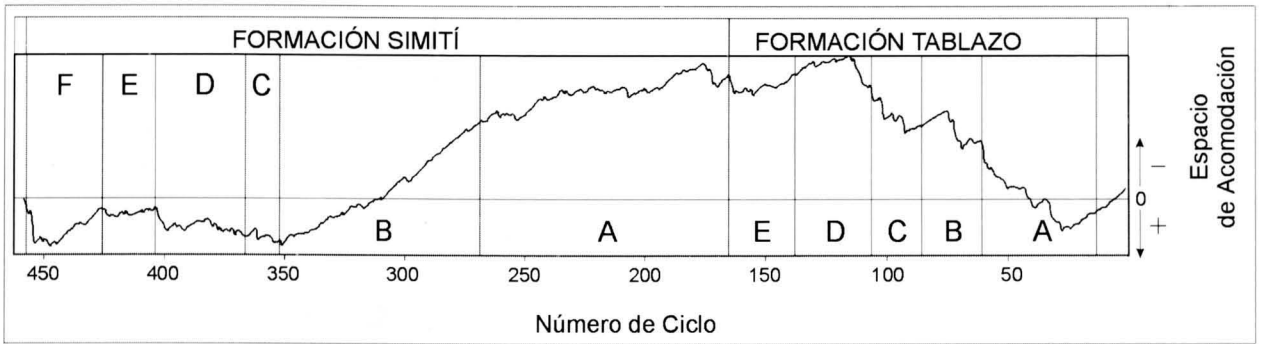


Fig. 12. Diagrama de Fischer para las formaciones Tablazo y Simití (sección Sáchica)

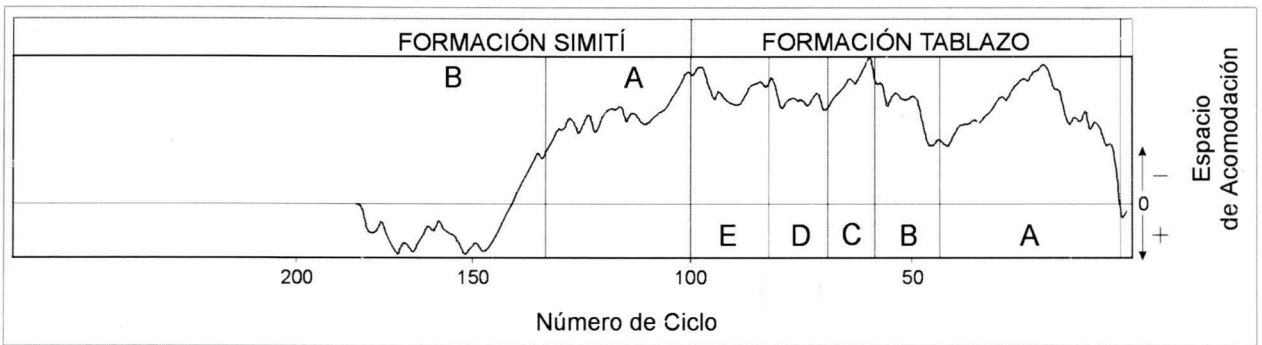


Fig. 13. Diagrama de Fischer para las formaciones Tablazo y Simití (sección Barichara - San Gil)

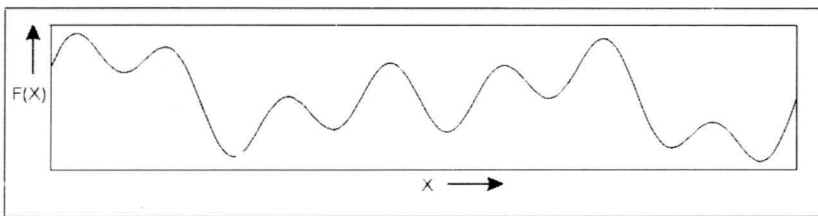


Fig. 14. Serie de tiempo o señal. Los valores de F(X) representan la variación de una propiedad dada en función del intervalo de muestreo (X)

(1, 2, 3, etc.). Sin embargo en esta categoría los números se usan solo como clasificadores pero sin ninguna connotación en cuanto a magnitud. En la escala ordinal, las observaciones se clasifican de acuerdo a estados jerárquicos, sin precisar el rango absoluto de una categoría a otra. De esta forma queda implícito que, por ejemplo, una clase dada designada mediante el identificador 5 es mayor que otra designada 4. En la escala ordinal se encuentra la escala de dureza de Mohs o el grado de metamorfismo

de una roca dada (Pizarra - Filita - Esquisto - Neis). En la escala de intervalo y de relación el valor absoluto entre dos mediciones sucesivas es constante. La escala de temperaturas pertenece a la categoría de intervalo mientras la de longitudes a la de relación. La diferencia entre la escala de intervalo y de relación radica en que la primera no tiene un cero absoluto mientras la segunda sí.

Transformada de Fourier

La transformada de Fourier es una herramienta matemática que sirve para expresar una señal dada como la suma de ondas sinusoidales (BRACEWELL 1989) (Fig. 16). Esta herramienta puede ser usada para determinar la presencia de eventos periódicos en una realización uniformemente muestreada de tiempo o espacio (MERRIAM & ROBINSON 1997).

La transformada de Fourier se puede asimilar como un prisma a través del cual pasa luz blanca (señal estratigráfica en función de la profundidad o espesor), y del cual emergen los colores del arco iris (espectro de sinusoidales en función del período, constituyentes de la señal estratigráfica) (Fig. 16).

Las secciones geológicas pueden ser utilizadas como entrada para el análisis de Fourier, codificando numéricamente las litologías en intervalos igual-

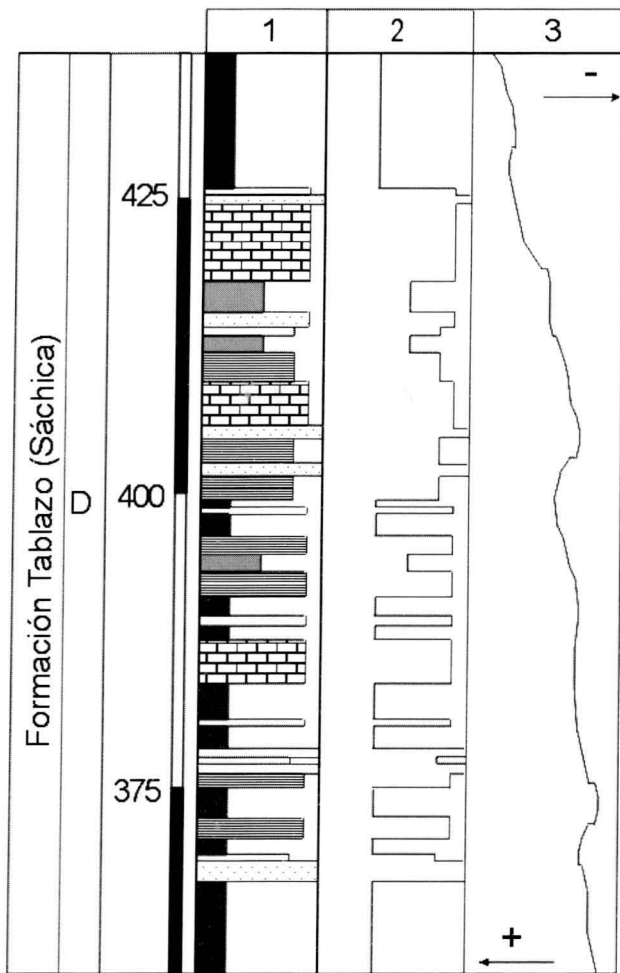


Fig. 15. Señal estratigráfica. Variación litológica (1), granulométrica (2) y ambiental (3) en función del espesor estratigráfico

mente espaciados. El análisis resultante enfatizará secuencias que se repiten en términos de igual espesor y litología similar. Una Transformada Rápida de Fourier (FFT) unidimensional se usa para analizar funciones de valor discreto registradas en tiempo o distancia, con la distancia expresada como espesor estratigráfico. De estos datos una serie de ondas sinusoidales definidas por su longitud de onda y amplitud pueden ser extraídas. El objetivo es aislar la longitud de onda (espesor) de cualquier unidad periódica presente en la cadena de valores. Estos intervalos pueden ser correlacionados con la sección estratigráfica y entonces pueden relacionarse a unidades litológicas (MERRIAM & ROBINSON 1997).

La transformada usada para extraer rasgos periódicos de una señal se denomina transformada de Fourier. En el caso de una señal continua $f(x)$ la transformada de Fourier

es (PROKOPH & BARTHELMES 1996; HSU 1987):

$$P(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} p(x) \cdot e^{i2\pi f(x)} dx$$

en donde:

$$i = \sqrt{-1}$$

x representa localización y f es frecuencia.

Para interpretar $p(x)$ se estudia la amplitud $A(t)$, la cual es:

$$A(t) = \sqrt{(\text{Re}[P(f)])^2 + (\text{Im}[P(f)])^2}$$

Método de captura y análisis de datos

El sistema de clasificación y codificación utilizado en el presente trabajo se basa en el concepto de energía actuante sobre el fondo de depósito, el cual se encuentra fielmente representado en la granulometría de la capa analizada. Es decir aquellas capas con granulometrías más gruesas son representativas de condiciones energéticas mayores y viceversa. Una vez realizado el levantamiento de una columna estratigráfica, la información obtenida puede ser calibrada mediante petrografía sedimentaria en secciones delgadas, con el fin de afinar las observaciones en campo y así los datos obtenidos entran a la categoría de escala ordinal como de relación.

Otra de las ventajas es que independiente del número dado de litologías diferentes que pueden aparecer en posiciones equivalentes dentro de una asociación cíclica (substitución litológica, WILKINSON *et al.* 1996) y presumiblemente acumulados a profundidades de agua comparables, el estado granulométrico es indicativo de condiciones energéticas y ambientales similares en las cuales diferentes tipos litológicos se depositaron a una misma profundidad.

El sistema de clasificación empleado consta de 6 estados granulométricos denominados arcilla, lodo, limo, arena muy fina, arena fina y arena media, los cuales representan los seis estados granulométricos presentes en ambas secciones. Los estados de energía actuante sobre el fondo de depósito fueron entonces denominados cuantitativamente en milímetros en función del tamaño de grano que representan como sigue: arcilla (1/256), lodo (1/64), limo (1/16), arena muy fina (1/8), arena fina (1/4) y arena media (1/2) y registrados en función a un intervalo de muestreo de 10cm de acuerdo al levantamiento estratigráfico a escala 1:100 (Fig. 17).

La señal estratigráfica así obtenida a manera de perfil granulométrico, fue estudiada mediante el análisis espectral de Fourier con el fin de descartar o verificar la presencia de

TABLA 2

Correlación de unidades. ST: Sistema transgresivo, SAN: Sistema de Alto Nivel, SBN, Sistema de Bajo Nivel

Edad	Unidad Aloestratigráfica (Segun GUERRERO et al 2000)	Secuencia	VSM (GUERRERO et al 2000)	Tequendama (MARTÍNEZ & VERGARA 1999)	Cocuy (FABRE, 1981, 1983a, 1983b, 1985; ETAYO, 1985)	Llanos (GUERRERO & SARMIENTO 1996)	VMM & SVL (MORENO & SARMIENTO 2002)	Sistemas Deposicionales			
Cenomaniano	Alomembro Une Superior	SK5	Formación Hondita	Formación Simijaca	Formación Une	K4C	Formación Une	Formación Churuvita	SBN		
Albiano	Tardío	Alomembro Une Medio	Formación Tetuán	Formación Hiló			K4B	Formación Une	Formación Une	Formación Simití	SAN
	Medio			Formación Capotes					Formación Une	Formación Simití	ST
	Temprano	Alomembro Une Inferior	Formación Caballos	Miembro Arenoso Superior	Formación Socotá	K4A	Formación Une	Miembro Lodoso Medio	Formación Tablazo	SBN	
Aptiano	Tardío	Aloformación Fómeque	SK3	Formación Caballos	Miembro Lodoso Medio	Lodolitas Indenominadas K2	Formación Apón	Formación Fómeque	Formación Paja	SAN	
	Medio				Miembro Arenoso Inferior	Formación Trincheras	Formación Arenisca de las Juntas			Formación Fómeque	Formación Paja

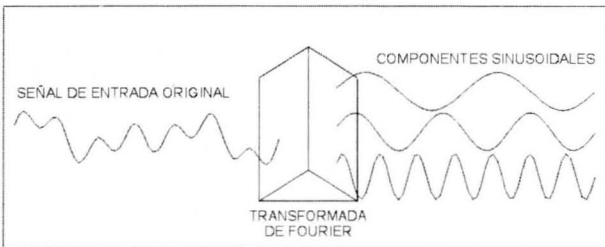


Fig. 16. El prisma actúa como un operador que transforma una señal dada en su espectro de componentes sinusoidales constituyentes

En el espectro de amplitud en función del periodo de las formaciones Tablazo y Simití, sección Sáchica (Fig.18), se observa que el pico de amplitud más alta corresponde aproximadamente al de 50m, es decir, se presenta periodicidad en los ciclos cada 50m. Por otro lado el espectro de amplitud en función del periodo de las formaciones Tablazo y Simití, sección Barichara - San Gil (Fig. 20), muestra el pico de amplitud más alta a los 26m, es decir, en esta sección se presenta periodicidad de los ciclos cada 26m. Se evidencia de esta forma la presencia de periodicidad en los ciclos correspondientes a la secuencia estratigráfica estudiada.

periodicidad en los ciclos de las secuencias estratigráficas estudiadas.

Interpretación de resultados

La señal estratigráfica obtenida mediante el registro de la variación granulométrica en función del espesor (profundidad) para las formaciones Tablazo y Simití en las secciones de Sáchica y Barichara - San Gil (Figs. 18 y 20), fue sometida al análisis espectral de Fourier y registrada en función del periodo (inverso de la frecuencia) (Figs. 19 y 21).

Las formaciones Tablazo y Simití se encuentra limitadas en la base y tope por límites de secuencias de edad cercana al límite Aptiano - Albiano y Albiano - Cenomaniano, es decir, la secuencia estratigráfica abarca todo el Albiano. Dado que el espesor conjunto de las formaciones Tablazo y Simití en Sáchica es de 1520m y la duración del Piso Albiano es en promedio de 12Ma (IMMENHAUSER & SCOTT 1999), se puede considerar que la tasa de sedimentación promedio para esta sección fue de 127m/Ma o de 12,7cm/ka. En este contexto la periodicidad de los ciclos cada 50m (Fig. 18), presentes en la sección de Sáchica se explica como la influencia del parámetro orbital de Milankovitch correspondiente a

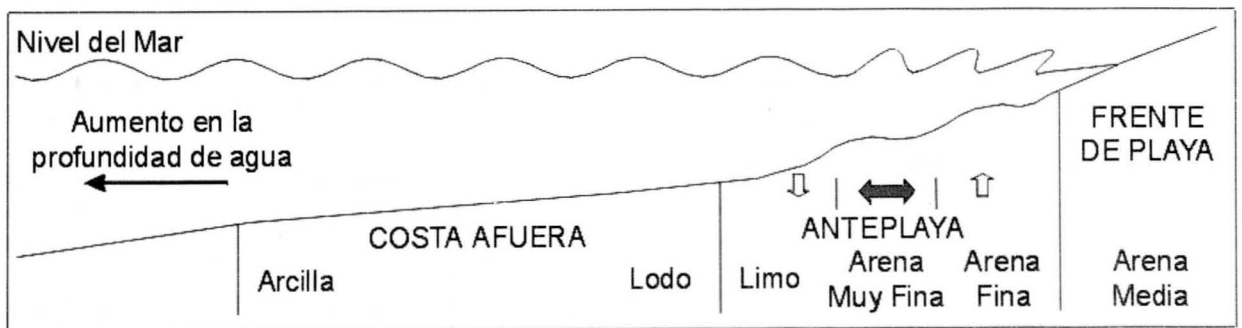


Fig. 17. En el perfil batimétrico capa tipo litológico y granulométrico representa un fondo de depósito

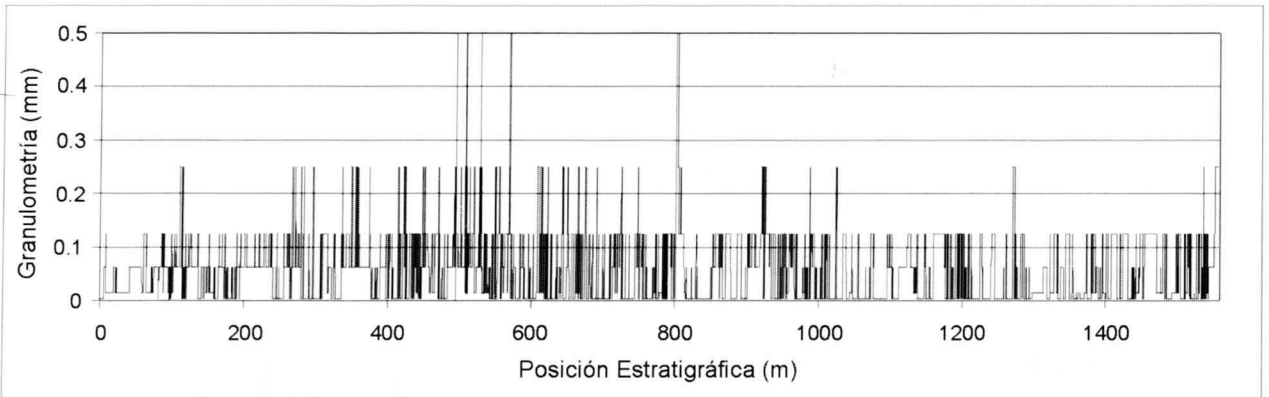


Fig. 18. Variación granulométrica en función del espesor (Formación Tablazo - Formación Simití), sección Sáchica

excentricidad larga de 400ka en el registro estratigráfico. El pico prominente de periodicidad de los ciclos cada 26m en la sección de Barichara - San Gil se explica en los mismos términos y mediante ella se deduce una tasa de sedimentación promedio de 6.5cm/ka.

En los espectros de amplitud en función del periodo de las formaciones Tablazo y Simití para ambas secciones (Fig. 18 y 20), pueden observarse picos menores de amplitud importante, que pudieren ser interpretados como periodicidad de alta frecuencia, temporalmente correspondientes a duraciones de 20ka, 40ka y 100ka. No obstante, consideramos que son las periodicidades prominentes de 50m y 26m, interpretadas como excentricidad larga de 400ka, las que dejaron su huella en el registro estratigráfico. Dicha periodicidad de 400ka sería la responsable de las oscilaciones menores del nivel del mar que en ambientes someros, como el correspondiente a la Formación Tablazo,

permite la transición a ambientes algo más distales en los cuales se deposita un mayor espesor de lodolitas. De igual forma la periodicidad de 400ka en el registro estratigráfico de la Formación Simití en Sáchica, permite explicar la periodicidad de ciclos aproximadamente cada 50m y en la Formación Simití en Barichara San Gil cada 26m. Una periodicidad de Milankovitch de 400ka ha sido reportada por SAGEMAN *et al.* (1997), PROKOPH & BARTHELMES (1996) y PROKOPH & AGTEGGERG (1999) en secuencias estratigráficas de edad Albiano.

Las tasas de sedimentación deducidas a partir de las consideraciones de espesor y duración de la secuencia estratigráfica están acorde con la litología, ambientes sedimentarios y resultados obtenidos de las curvas de espesor de los ciclos, de espesor acumulado y diagramas de Fischer para las formaciones Tablazo y Simití en ambas secciones.

CONCLUSIONES

- El contacto entre la Formación Paja y la Formación Tablazo en Sáchica y Barichara - San Gil corresponde a una superficie de somerización.
- El contacto entre la Formación Tablazo y la Formación Simití en Sáchica y Barichara - San Gil corresponde a una profundización o elevación del nivel del mar la cual es sincrónica en toda la cuenca.
- La Formación Tablazo registra principalmente fondos de depósito energéticos y oxigenados con marcada influencia calcárea, correspondientes a ambientes de frente de playa que se desarrolla en un patrón de ciclos o parasecuencias donde las superficies de profundización se mantienen en mar abierto proximal.
- La Formación Simití registra principalmente fondos de depósito tranquilos y reductores,

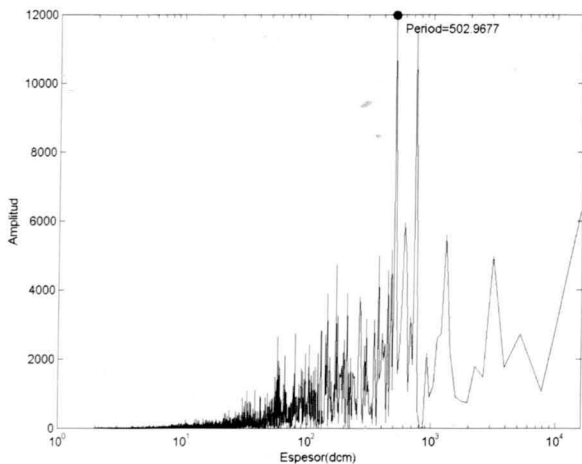


Fig. 19. Espectro de amplitud en función del período de la variación granulométrica (Formación Tablazo - Formación Simití), sección Sáchica

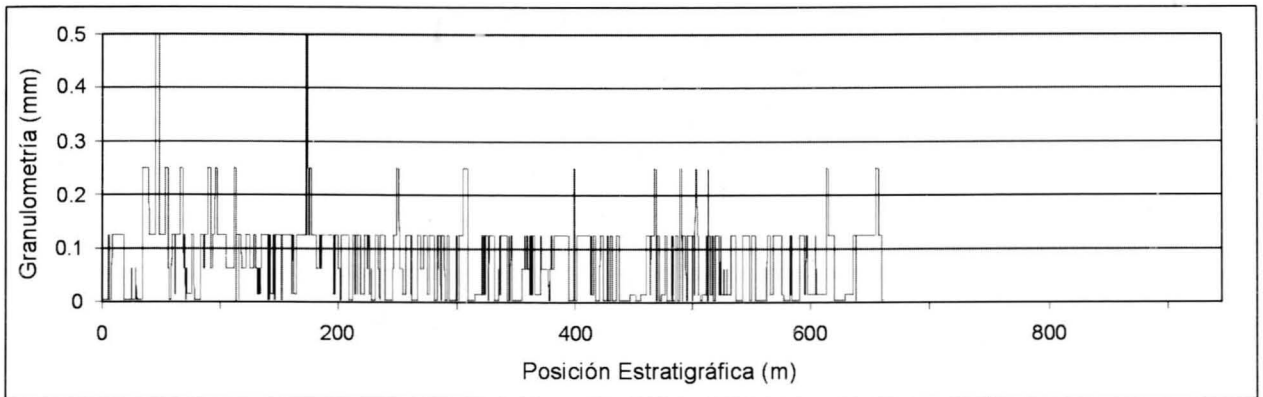


Fig. 20. Variación granulométrica en función del espesor (Formación Tablazo - Formación Simití), sección Barichara - San Gil

correspondientes a ambientes de costa afuera definiendo ciclos o parasecuencias que somerizan hasta frentes de playa.

- En términos generales la facies de las formaciones Tablazo y Simití en el sector de Sáchica registra fondos de depósito ligeramente menos energéticos y correspondientes a profundidades de agua mayor que aquellos del sector Barichara - San Gil.
- La depositación de las formaciones Tablazo y Simití se dio en una plataforma marina con inclinación relativa hacia el S de unos 0.067° . Dicha pendiente explica las variaciones ambientales y de espesor presentes en las unidades de estudio.
- La delimitación de ciclos en una secuencia estratigráfica y los diagramas de Fischer se constituyen en una herramienta útil para el estudio de las tendencias de generación de espacio de acomodación y su respuesta en cuanto a

asociaciones litológicas y ambientes de depósito.

- Las curvas de Desviación Acumulada del Espesor Promedio (DAEP) de las formaciones Tablazo - Simití para las secciones de Sáchica y Barichara - San Gil presentan una gran semejanza y permiten establecer las tendencias en la generación de espacio de acomodación en función de tectonismo y eustacia y así analizar la respuesta litológica y ambiental representada en el registro estratigráfico.
- El registro estratigráfico más completo se encuentra en el sector de Sáchica y de allí que la curva de DAEP sea la más completa. Dado que las tendencias de generación de espacio de acomodación a nivel eustático se registran con más homogeneidad en dirección N - S, y como se ha demostrado, las curvas de DAEP para las formaciones Tablazo y Simití en Sáchica y Barichara - San Gil presentan respuestas comparables, ambas curvas, pero por su continuidad y por estar limitada a base y tope por límites de secuencia, en especial la curva de DAEP de Sáchica se constituye en un elemento de comparación y en una aproximación a la curva de variación eustática del nivel del mar para el intervalo Aptiano - Albiano a Albiano - Cenomaniano.
- La identificación de periodicidad en el proceso de sedimentación mediante el uso del análisis espectral y su herramienta, la transformada de Fourier, se caracteriza por ser una aproximación mediante la cual no se hace ningún tipo de consideración a priori referente a la señal estratigráfica, sino más bien se somete dicha señal a un método de análisis universal y luego se analizan los resultados.
- En el presente trabajo, cadenas de datos correspondientes a la variación granulométrica en función del espesor de las unidades de interés fueron analizadas mediante el análisis de Fourier y

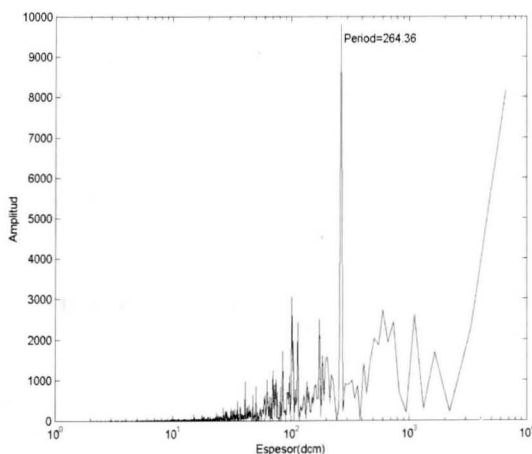


Fig. 21. Espectro de amplitud en función del período de la variación granulométrica (Formación Tablazo - Formación Simití), sección Barichara - San Gil

los espectros de amplitud en función del periodo (espesor estratigráfico) fueron interpretados.

- Mediante el análisis espectral de Fourier se pueden validar o descartar los postulados referentes a la periodicidad en la depositación de los ciclos.
- Se presenta periodicidad de los ciclos de las Formaciones Tablazo y Simití cada 50m (Sáchica) y 26m (Barichara - San Gil). Dicha periodicidad se interpreta como la huella del parámetro orbital de Milankovitch correspondiente a excentricidad larga de 400ka en el registro estratigráfico.
- En las formaciones Tablazo y Simití en las localidades de Sáchica y Barichara - San Gil se observa periodicidad de los ciclos cada 50m y 26m y otro grupo cada 13m y 7.5m respectivamente (Figs. 18 & 20). La determinación de un ciclo como tal no es algo nuevo ya que es fácilmente cuantificable en campo o aún en la columna estratigráfica. Lo realmente importante es el hecho que: (1) los ciclos son reales, tangibles y observables en las secuencias estratigráficas antedichas para el intervalo de tiempo estudiado, (2) se presenta periodicidad de los ciclos correspondientes a las formaciones Tablazo y Simití en las secciones estudiadas, (3) dicha periodicidad en función del espesor estratigráfico puede explicarse en función de cambios eustáticos orbitalmente influenciados y de esta forma relacionarse a duraciones temporales. Tal y como lo indica SCHWARZACHER (2000) la repetición de eventos estratigráficos es inevitable, pero aquella que sigue un patrón definido necesita una explicación. De allí que postulamos que los cambios eustáticos del nivel del mar responsables de la génesis de la secuencia estratigráfica estudiada y aquellas temporalmente equivalentes estuvieron influenciadas principalmente por el parámetro orbital de Milankovitch correspondiente a excentricidad larga con valor temporal de 400ka.
- Las tasas de sedimentación promedio que dieron lugar a las formaciones Tablazo y Simití son de 12.7cm/ka (Sáchica) y 6.5cm/ka (Barichara - San Gil).

AGRADECIMIENTOS

GMS reconoce de forma especial el constante apoyo y ánimo brindado por Julia Sánchez y Gustavo Moreno durante las diferentes etapas de esta investigación.

Al Geólogo Oscar García por las discusiones referentes a los métodos de análisis cuantitativo de series de tiempo estratigráficas.

Al Geólogo Andrey Pérez quien participó en las labores de campo y en el trabajo de grado base de la presente investigación.

A los revisores Profesores Pedro Patarroyo y Nadejda Tchegliakova por sus valiosas observaciones.

A la Dirección Nacional de Investigación (DINAIN) de la Universidad Nacional de Colombia por la financiación del presente proyecto de investigación según código DI00C398 y al Grupo de Investigación en Estratigrafía y Sedimentología del Departamento de Geociencias.

REFERENCIAS

AGUILERA, R. & LÓPEZ, E. (1995): Modelo geométrico estructural de la sección geológica aflorante en la vía Sáchica - Puente Samacá, sureste de Villa de Leiva, Boyacá.- *Revista Facies Colombia* 4: 22 - 34.

BRACEWELL, R. (1989): La Transformación de Fourier.- *Investigación y Ciencia*, No. 155. p. 65 - 64.

DAVIS, J. (1986): *Statistics and Data Analysis in Geology*.- 646 p., John Wiley & Sons, New York.

DAY, P. (1997): The Fischer Diagram in the Depth Domain: A Tool for Sequence Stratigraphy.- *Journal Of Sedimentary Research*, 67 (5): 982 - 984.

DRUMMON, C. & WILKINSON, B. (1993): On the Use of Cycle Thickness Diagrams as Records of Long - Term Sea level Change during Accumulation of Carbonate Sequences.- *The Journal of Geology*, 101: 687 - 702.

DUNHAM, R. (1962): Classification of carbonate rocks according to their depositional texture.- Ham W.E., ed. *Classification of Carbonate Rocks*, p.108 - 121, AAPG Memoir 1, Tulsa.

ETAYO, F. (1964): Posición de las Faunas en los depósitos cretácicos colombianos y su valor en la subdivisión cronológica de los mismos.- *Boletín de Geología UIS*, Ns. 16- 17, 141 pgs., Bucaramanga.

ETAYO, F. (1968a): El Sistema Cretáceo en la Región de Villa de Leiva y Zonas Próximas.- *Geología Colombiana*, No. 5, p. 5 - 74, Bogotá.

ETAYO, F. (1968b): Sinopsis Estratigráfica de la Región de Villa de Leiva y Zonas Próximas.- *Boletín de Geología UIS*, N.21, p. 19 - 32, Bucaramanga.

ETAYO, F. (1972): Cretaceous section: Villa de Leiva to Loma Piedra Gorda.- *Colombian Society of Petroleum Geologists and Geophysicists. Thirteenth Annual Field Conference*, p. 349 - 396, Bogotá.

ETAYO, F. (1985): Paleontología Estratigráfica del Sistema Cretáceo en la Sierra Nevada del Cocuy.- Etayo F. & Laverde F., eds. *Proyecto Cretáceo*. Publicaciones Geológicas Especiales de Ingeominas No. 16, Capítulo XXIV, p. 1 - 47.

FABRE, A. (1981): Estratigrafía de la Sierra Nevada del Cocuy, Boyacá y Arauca, Cordillera Oriental (Colombia).- *Geología Norandina*, N. 4, p. 3 - 12, Bogotá.

FABRE, A. (1983a): La Subsistencia de la Cuenca del Cocuy (Cordillera Oriental de Colombia) durante el Cretáceo y Terciario Inferior. Primera parte: Estudio Cuantitativo de la Subsistencia.- *Geología Norandina*, N. 8, p. 49 - 61, Bogotá.

FABRE, A. (1983b): La Subsistencia de la Cuenca del Cocuy (Cordillera Oriental de Colombia) durante el Cretáceo y Terciario.