

## Sedimentación del mioceno superior plioceno en el flanco norandino de los Andes centrales venezolanos

### Sedimentation of miocene upper-pliocene in the north flank of the central venezuelan Andes

Guerrero, Omar\*; Jiménez, Darcy; Laya, Juan; Monsalve, Maria y Alvarado, Miguel

Facultad de Ingeniería. Grupo Terra-ULA

Mérida 5101, Venezuela

\*oguerre@ula.ve

Recibido: 20-01-2008

Revisado: 30-01-2009

#### Resumen

*La sedimentación del Mioceno Superior- Plioceno en el Flanco Norandino de los Andes centrales de Venezuela corresponden con los depósitos de la Formación Betijoque, su evaluación sedimentaria se logró mediante la aplicación de técnicas metodológicas para estudio de ambientes fluviales, que toma en cuenta aspectos litoestratigráficos; caracterizando facies, articulando secuencias, estableciendo relaciones geométricas dentro de los cuerpos sedimentarios, por medio del estudio de los litosomas y elementos de arquitectura, lo que permitió establecer su significado sedimentológico y el modelo sedimentario. Los sedimentos del Mioceno Superior – Plioceno se dividen en tres secuencias sedimentarias; Unidad I: caracterizada por barras y canales con acreción lateral, predominantemente arenosas y algunas gravas en la base de sus depósitos; que corresponden a modelos de ríos meandriformes de arena; Unidad II: cuya característica más resaltante es el incremento en la granulometría de los sedimentos y la presencia de canales y barras de gravas que se identifican con ríos meandriformes de gravas y arenas y la Unidad III: definida por el incremento en la fracción de los conglomerados que forman depósitos amalgamados típicos de ríos trenzados de gravas. En conclusión la articulación vertical y lateral de los modelos antes mencionados sirvió para definir una dinámica sedimentaria de abanicos aluviales en posiciones medios y distales progradantes.*

**Palabras clave:** Sedimentología de clásticos, elementos de arquitectura, mioceno superior, formación Betijoque, andes venezolanos.

#### Abstract

*A sedimentary model of Betijoque Formation (Upper Miocene – Pliocene) is proposed from the outcrops of Betijoque - Sabana de Mendoza zone. This research was carried out through fluvial facies analysis taking into account facies associations, architectural elements and geometric relationships. The interpretation allows to define their sedimentology meaning and their palaeogeography position within the proposed model. In the present study Betijoque Formation was divided into three units: Unit I (base), which has been characterized by bars and channels with lateral accretion, mainly sands and sometimes gravels. This Unit is interpreted as a meandering river formed mostly by sand. Unit II (middle) whose most important feature is an upwards coarsening of grains in the channels and bars. Accordingly, it has been interpreted as a meandering gravel river. And finally Unit III, which is represented as the top of the sequence and has been defined as fluvial and amalgamated colluvial deposits, which are adjusted to a braided deep gravel river system. In conclusion, the vertical sequence of Betijoque Formation is interpreted as a prograding alluvial fan system and the three units are located in middle and distal parts of the model.*

**Key words:** Clastics sedimentology, architecture elements, Betijoque formation, upper miocene, venezuelan andes.

## 1 Introducción

El presente artículo forma parte de un proyecto que lleva a cabo el Grupo de Ciencias de la Tierra "Terra", el cual intenta elaborar modelos sedimentológicos y estratigráficos de las secuencias neógenas en el Flanco Norandino (FNA), con el propósito de revisar la cartografía geológica del Terciario de los Andes venezolanos, donde se intenta redefinir desde punto de vista sedimentológico y estratigráfico, las espesas secuencias de siliciclásticos de la Formación Betijoque, aflorantes en la sección Betijoque – Sabana de Mendoza, mediante la aplicación de una metodología propuesta por Miall (1990), para evaluar los ambientes fluviales, la cual se ajustó a nuestras observaciones, con la finalidad de definir: facies, secuencias y elementos de arquitectura de sedimentarios, con el propósito de definir modelos sedimentológicos para la unidad en estudio

## 2 Localización del área de estudio

La zona de interés se extiende a lo largo del FNA en el estado Trujillo, localizada entre las coordenadas UTM: N.1.038.000-1.043.000 y E.310.000-306.000, y con una variación altitudinal entre los 120 a 470 msnm. (Fig.1).



Fig. 1. Localización del área de estudio

## 3 Metodología

El método de trabajo se sintetiza en cuatro etapas: La preliminar, consistió en la recopilación del material bibliográfico, cartográfico y fotos aéreas. En este sentido, se utilizó el mapa geológico de la región de Valera, estados Trujillo y Zulia a escala 1:50.000, además de las fotografías aéreas correspondientes a la misión 103080 (año 1973) del sureste del Lago de Maracaibo, a escala 1:50.000, vistas 269-271 y 254-255.

La etapa de campo, se inició con la ubicación y reconocimiento previo de las áreas de afloramiento. Luego, se procede al levantamiento estratigráfico para la elaboración de las columnas, basado en el levantamiento de perfiles estratigráficos y esquemas de afloramientos, para la identificación de facies sedimentarias y sus relaciones; litología,

estructuras sedimentarias, texturas, geometría de los cuerpos, paleocorrientes y el establecimiento de las relaciones laterales de los cuerpos. Posteriormente, se procede a elaborar paneles fotográficos de afloramientos para observar en su totalidad la geometría de los cuerpos y sus relaciones laterales, finalmente se tomaron 9 secciones de 1m<sup>2</sup> donde se obtuvieron 100 clastos por sección, considerando los diferentes litosomas estudiados; canalizados y no canalizados.

Las actividades de laboratorio se orientaron al estudio de los sedimentos y rocas sedimentarias, las cuales fueron evaluadas y clasificadas en campo, debido a su naturaleza conglomerática y a su condición deleznable, con lo cual se discriminaron los sedimentos de la siguiente manera: fracción fina; incluye los granos tamaño arena de grano grueso y menores (< 2,00 mm. Ø), a los cuales se les realizaron ensayos de granulometría y los estudios de polen correspondientes; y una fracción gruesa que incluye granos tamaño gránulo y mayores (>2,00 mm. Ø), a la cual se le analizó mediante el empleo de diagramas de clasificación (Limarino *et al.*, 1996).

En cuanto a la morfología de la fracción gruesa, se obtuvieron; litología de los clastos y los diámetros de los granos, empleando los diagramas para clases de formas de granos según Zingg (1935), y relación con la esfericidad de Krumbein (1934). Los parámetros físicos obtenidos en campo para el estudio de las gravas y conglomerados, son los aplicados por el Departamento de Estratigrafía de la Universidad de Salamanca.

Los resultados obtenidos de las actividades de campo y laboratorio se integraron en facies sedimentarias y elementos de arquitectura, basado en el código de Miall (1990) con la finalidad de reconocer ciclos, secuencias y medios de depósito.

## 4 Evolución paleogeográfica del mioceno en los andes venezolanos: sucesión sinorogénica

La sucesión sinorogénica comienza con la supersecuencia F de Parnaud *et al.* (1995). En la fig. 2A-, se puede apreciar los procesos sedimentarios más resaltantes ocurridos durante el período Mioceno Temprano e inicios del Mioceno Medio, considerando que el levantamiento de los Andes venezolanos ya se había iniciado en el Mioceno Temprano con evidencias de que pulsaciones orogénicas ya ocurrían en el Oligoceno Tardío. Los macizos andinos se encontraban flanqueados por depósitos próximos costeros de estuario (Formación Palmar) y llanuras de meandros con depósitos de arenas y fangos (Formación Isnotú). En el área del Lago de Maracaibo, la subsidencia continuó permitiendo la incursión marina (lutitas y areniscas basales) de la Formación La Rosa, seguida por la regresión y el desarrollo de un complejo deltaico o de llanura meandriformes con lagos y turberas, en los que se depositaron las areniscas, lutitas y carbones de la Formación Lagunillas (Parnaud *et al.*, 1995). Mientras hacia la cuenca de Barinas - Apure, se depositan los sedimentos clásticos de la Formación Parángula.

Desde finales del Mioceno Medio hacia el Mioceno Tardío y Plioceno, se incrementó la tasa de levantamiento de los Andes venezolanos (Audemard & Audemard, 2002), lo que trajo como resultado, la formación y consolidación de un cinturón de abanicos aluviales en ambos flancos de los Andes (Fig. 2B), la mayor parte del cual fue erosionado por la subsiguiente expansión de las montañas. Sin embargo, un remanente se ha preservado al sur del FNA denominado Formación La Cope, estos conglomerados muestran evidencias sedimentológicas de haber sido derivados del NO, lo que es consistente con la reconstrucción paleogeográfica. Los abanicos aluviales postulados pasaron hacia la cuenca en llanuras aluviales donde se depositaron arenas, lodos y cantidades sustanciales de gravas, representadas por las formaciones Betijoque, La Villa y La Puerta en la cuenca de Maracaibo, y la Formación Río Yuca en la cuenca de Barinas-Apure.

## 5 Formación Betijoque

El término Formación Betijoque fue propuesto por primera vez por Garner (1926 *en* CVET, 1997), en Betijoque (estado Trujillo), en "las colinas bajas al oeste del pueblo". Liddle (1946 *en* CVET, 1997) aplicó el término Formación Betijoque para los depósitos que representan la sedimentación del Mioceno Superior-Plioceno en los Andes de Mérida. González de Juana *et al.* (1980) recogen todas las propuestas anteriores y consideran que la Formación Betijoque representa el tope del Grupo Guayabo. El intervalo inferior de esta unidad geológica es menos conglomerático y se denomina Miembro Vichú y el intervalo superior, se caracteriza por contener más conglomerados en capas macizas, se conoce con el nombre de Miembro Sanalejos.

La Formación Betijoque tiene un espesor máximo de 4.325 m (CVET, 1997) que corresponde a los espesores sumados de los Miembros Vichú (2.100 m) y Sanalejos (2.225 m). Sin embargo, la unidad se caracteriza por fuertes variaciones de los espesores, así como cambios en sus facies en la región de El Vigía - Estanques (sur del FNA), donde esta compuesta por areniscas, conglomerados y lutitas que representan las molas andinas. La misma se hace progresivamente más conglomerática en dirección NE, hasta convertirse en facies totalmente conglomeráticas en la región de Betijoque -Isnotú (estado Trujillo). Ramírez y Campos (1972) estudian la Formación Betijoque al sur del FNA (San Cristóbal, estado Táchira) y consideran que las características petrológicas son muy similares a las descritas por Sutton (1946) y destacan la presencia de conglomerados mal cementados, mal escogidos y de arcillas (paraconglomerados). Aquino (1992) estudió el Miembro Vichú en las cercanías de la ciudad de Valera, identificando una serie de litofacies compuestas por; conglomerados, arenas y limos, todas ellas depositadas en canales de carga mixta y de alta sinuosidad.

Taheri *et al.* (1991), En base a la geometría y textura de los litosomas de esta unidad en la región de Valera (es-

tado Trujillo), consideran que el ambiente de depósito es fluvial con desarrollo de canales de direcciones preferenciales E y migración NE, ubicados en el borde externo de un abanico aluvial de cuenca intermontana asociado al levantamiento andino, siendo sus litofacies de marcada heterogeneidad interna.

Recientemente, Jiménez *et al.*, (2005) revisaron la localidad tipo de la Formación Betijoque en los afloramientos del río La Vichú, hacia el NO del pueblo de Betijoque, obtuvieron en una secuencia de 88,6 metros distribuida a lo largo del río La Vichú, facies de conglomerados con soporte de matriz arenosa de grano medio, mal escogida, con estratificación cruzada planar y en surco a gran escala, que pasan a areniscas cuarzo - micáceas de grano grueso a fino con estratificación horizontal, cruzada plana y en surco, areniscas cuarzosas con clastos aislados y areniscas cuarzo micáceas con laminación en *ripples*, de color gris que meteorizan a ocre, friables, con cantidades importantes de limo a tope, presenta a veces clastos de variados tamaños; la forma de estos cuerpos arenosos, son lenticulares amalgamados con intervalos de lutitas gris oscuro laminadas, lutitas masivas, bioturbadas y con restos de plantas.

### 5.1 Características estructurales del Sector Betijoque - Sabana de Mendoza

La unidad estructural de Betijoque se extiende al NO de la parte norte del FNA, a lo largo de una franja amplia donde sus mejores afloramientos se sitúan en los taludes de corte del eje vial que comunica a las poblaciones de Betijoque y Sabana de Mendoza, y en los márgenes del río La Vichú. Esta sección estratigráfica se encuentra localizada dentro del Bloque IV de Maraven (1990), que comprende la región entre Caja Seca - Motatán.

La sucesión estratigráfica Betijoque, se enmarca dentro de un escenario tectónico, afectado por las fallas de rumbo de Río Momboy y Valera - Motatán, dispuestas de manera paralelas una con respecto a la otra, resultado de la compresión regional, estas fallas se emplazan y controlan los ríos del mismo nombre hacia la región central y NE de la cuenca del río Motatán. La actividad de estas fallas tiene un componente normal e inverso de ángulo bajo, producto del régimen compresivo (Stephan, 1995), lo cual ocasiona en la Formación Betijoque plegamiento local generando zonas deprimidas (tipo graben) donde se depositaron los sedimentos de la Formación Carvajal (Pleistoceno), que hoy día sirven de base a las ciudades de Valera y Carvajal. Según (Audemard, 1993), estas estructuras son el producto de los movimientos de reajuste del Corrimiento Las Virtudes y en parte, por los efectos compresivos regionales de la Falla de Bocono.

El corte geológico A-A' (Fig. 3) de la sección estratigráfica levantada entre las poblaciones de Betijoque y Sabana de Mendoza esta definido por un conjunto litológico dominado por secuencias clásticas, que en el sentido SSE -

NNO incrementa el contenido de sedimentación gruesa, los rumbos son NE-SO y los buzamientos varían N35° - 50°O. Las capas sedimentarias

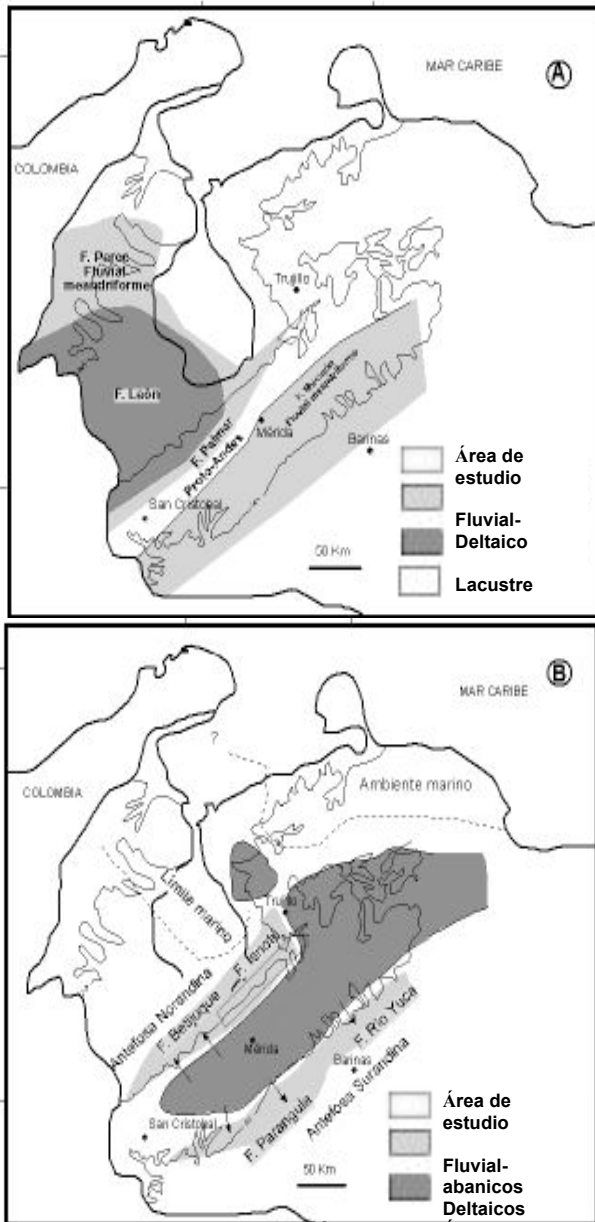


Fig. 2. Paleogeografía. (A) Mioceno Inferior-Mioceno Medio. (B) Mioceno Medio hasta el reciente.

se propagan desde el SE a NO, limitadas por discordancias progresivas con buzamientos predominante NNO hacia el contacto con los depósitos cuaternarios de la llanura aluvial del río La Vichú, afluente del río Motatán.

### 5.2 Características petrológicas de la sucesión Betijoque

Las secuencias estratigráficas corresponden con las rocas y sedimentos de los Miembros Vichú y Sanalejos de la

Formación Betijoque, donde se midió un espesor de 625,3 m, interrumpidos por intervalos cubiertos. Del conjunto sedimentario se reconocieron cinco facies (Tabla 1); facies de gravas (32,4%); facies de arenas (57%); facies heterolíticas (0,5%); facies de lutitas (8,5%) y facies no clásticas (1,6%).

Con el propósito de caracterizar la petrología de los depósitos clásticos aflorantes en la sección Betijoque a lo largo del río La Vichú y los cortes de taludes de la vía que comunica al pueblo de Betijoque con Sabana de Mendoza, se realizaron ensayos granulométricos a la matriz de los conglomerados (fracción fina) y descripción petrológica y morfométrica de clastos gruesos (>2 mm.) de los afloramientos de la Formación Betijoque.

### 5.3 Análisis granulométrico de la fracción fina

Como se mencionó anteriormente, la fracción fina corresponde con las tallas tamaño arena, limos y arcillas. Se le practicó el ensayo granulométrico a muestras de matriz de conglomerados pertenecientes a muros de canales y barras fluviales a lo largo de los afloramientos, los resultados se presentan en la tabla 2, en base a estos datos podemos concluir, que existe un alto porcentaje de conglomerados con matriz arenas - fango-gravosas, y menores contenidos de conglomerados clastos -soportados. Esta variabilidad granulométrica se expresa al comparar las medias de los granos para cada muestra, las cuales tiene un rango que oscila entre 0,35 mm. (Arena media) - 1,7 mm. (Arena muy gruesa).

En cuanto al escogimiento de los granos, las muestras Tmpba 1 a 6 (Tabla 1), el escogimiento es pobre, mientras que las muestras Tmpba 7 a 9, tienen escogimiento bueno (<4). El coeficiente de asimetría de las series de sedimentos presenta valores negativos desplazados hacia los tamaños de 1,65 mm. (Arena muy gruesa).

De manera general, los resultados obtenidos del muestreo de la Formación Betijoque para la fracción fina indican que el tamaño promedio de los granos, varía entre arena media a gruesa y muy gruesa. El escogimiento de los granos varía de mal escogida en la base de la secuencia y de moderada a normalmente escogida para el tope de la secuencia. Por otra parte, es patente un incremento de los porcentajes de arcillas y limos, y un decrecimiento de la fracción gruesa hacia el tope de la secuencia

### 6 Morfología de granos para la fracción gruesa

La morfología presente en los clastos tamaño grava (>2 mm) para 900 muestras de clastos de gravas obtenidas en diferentes niveles de la Formación Betijoque, fueron procesados a través de la clasificación de relación forma-esfericidad de Krumbein (1934), las muestras se localizan en los tipos esférico y discoidal, lo que se interpreta de manera general, como alta redondez y esfericidad de los granos. De la misma manera, los datos fueron evaluados a través de clases de forma de granos y su relación con la esfericidad efectiva de sedimentación o esfericidad proyecta-

da máxima de Sneed & Folk (1958) en Tucker (1990), donde se desprende morfologías tipo esférico tabular y esférico aplanado.

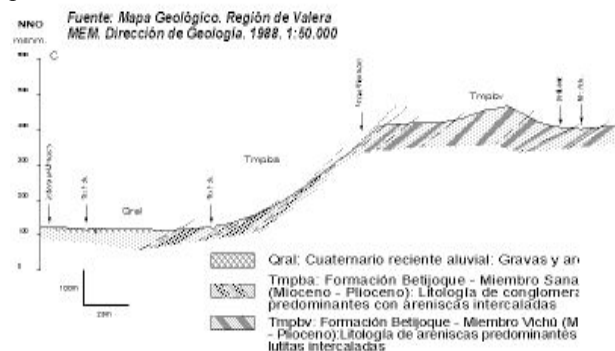


Fig. 3. Corte geológico A-A'. Sección Betijoque a Sabana de Mendoza.

Las facies de conglomerados están compuestas por clastos polimícticos metaestables e inestables (granito, feldespato pegmatítico, etc.). Este contenido de clastos se interpreta como reactivaciones de fuentes ígneas cercanas, quizá debido al levantamiento del sistema andino, mientras que las morfologías obtenidas son resultado, en parte, de granos que han sufrido al menos un ciclo sedimentario.

Tabla 1. Resultados de las granulometrías sobre la matriz de los conglomerados de la sucesión Betijoque. G: grava; g: gravosa; A: arena; a: arenosa; F: fango; f: fangosa; (g): con gravas.

Muestra	Facies	Grava (%)	Arena (%)	Arcilla+Limo (%)	Folk, et al. (1970)
Tmpba1	Gh	23,4	67,4	9,2	Afg
Tmpba2	Gt	4,3	52,6	4,4	Gaf
Tmpba3	Gh	28,3	61,3	10,4	Afg
Tmpba4	Gt	20,9	68,1	11	Afg
Tmpba5	Gt	23,4	67	9,6	Afg
Tmpba6	Gt	18,9	68,6	12,5	Afg
Tmpba7	Gh	10,6	76,9	12,5	Afg
Tmpba8	Gp	9,7	80,3	10	Af(g)
Tmpba9	Gp	8,7	78,8	12,5	Af(g)

Considerando las composiciones obtenidas para los conglomerados, estos se clasifican según Limarino, *et al.* (1996) dentro de la clase de ortoconglomerados polimícticos, con matriz arenosa a clastos soportados.

Las características petrológicas de las facies muestreadas de la sección Betijoque arrojaron las siguientes características:

- **Facies Gcm y Gmm:** Estas facies representan 1,1% del total de la secuencia. La facies Gcm son conglomerados con soporte de clastos, mientras que la facies Gmm son conglomerados con soporte de matriz, ambas facies tienen ausencia de estructuras internas y en ocasiones presentan gradaciones sin imbricación evidente de clastos, el contenido de arenas muy gruesas alcanzan hasta un 20%,

con espesores de hasta 4 m, geometrías tabulares y canaliformes. Estos depósitos con facies Gmm se interpretan como flujo de detritos de intensidad alta, mientras que las facies Gcm se consideran depósitos de intensidad baja (Miall, 1990).

- **Facies Gh:** los sedimentos muestreados en esta facies se distribuyen en un 21% de gravas, un 69% de arenas y un 10% de arcillas (incluye limos), constituyen conglomerados con matriz arena-fango gravosa (Folk, *et al.* 1970). La fracción gruesa (>2 mm) se compone de fragmentos de cuarzo (32%), cuarcitas (25%), feldespatos (12%), fragmentos líticos sedimentarios (12%). Son estratos de gravas con estratificación horizontal, multihistóricas, con estructuras internas escasamente definidas a masivas, tienen clastos imbricados de fragmentos de rocas y cuarzoes que alcanzan hasta 9 cm de diámetro, subredondeados y subangulosos, con lentes y matriz arenosa de granos medios, gruesos y muy gruesos, contienen fragmentos blandos de arcillas y estructuras de carga. Los cuerpos canaliformes multihistóricos y tabulares amalgamados, tienen espesores que varían entre 2 a 4,8 m y valores promedios de 3,5 m, siendo el color característico el blanco moteado ocre. Esta facies representa el 4,8% de la secuencia. Se interpreta como depósitos de flujos de intensidad variable que forman cuerpos laminados de crecimiento hacia arriba y aguas abajo se observan barras longitudinales.

- **Facies Gt:** Esta compuesta por un 27% de gravas, 64% de arena y 9% de arcilla, la clasificación de Folk *et al.* (1970) ubica a estos sedimentos entre gravas arena fangosas y arenas fango gravosas. Los estratos de gravas tienen estratificación cruzada en surcos multihistóricas, soporte de matriz, con estructuras internas en forma de cucharas e imbricaciones de clastos con rellenos de fondos (*lag*), geometrías canaliformes amalgamadas y tabulares con espesores entre 2 a 5,2 m y un promedio de 3,6 m. Generalmente tiene clastos de chert, fragmentos de rocas y cuarzo de 8 cm de diámetro, subredondeados y en ocasiones angulosos. Estas facies contienen entre un 10% a 50% de lentes y capas de arenas de grano grueso y muy grueso. Los colores son principalmente ocre y blancos. Esta facies representa el 8,5% de la secuencia.

Estos cuerpos se forman por depósitos de flujo de intensidad variable, amalgamados, disceptados lateral y verticalmente formando inclinaciones de foresets de hasta 25°, son característicos de base la de canales.

- **Facies Gp:** esta facies solo tiene un 9% de clastos tamaño grava, 80% de arenas y 11% de arcillas, clasificadas como arenas fangosas con gravas (Folk *et al.* 1970). Los clastos son principalmente de cuarzo, feldespato y fragmentos líticos, se aprecia una disminución de los fragmentos de granito, gneis y cuarcitas. Se tratan de gravas con estratificación cruzada plana, multihistóricas, con estructura interna variable, matriz soportada con tendencia a formar clastos-soportados en el tope, tiene imbricaciones de clastos

feldespáticos y cuarzosos de hasta 7 cm de diámetro, subredondeados a subangulosos, son abundantes los lentes y láminas de arenas de grano grueso y ocasionalmente arenas de grano fino y medio con restos de plantas, los estratos presentan gradaciones positivas y en ocasiones gradaciones inversas, concreciones, nódulos de óxido de hierro y estructuras de carga. Los espesores medidos de los cuerpos canaliformes multihistóricos, amalgamados y tabulares, varían entre 0,8 – 7,4 m con promedio de 3,8 m. Esta facies representa el 18% de la secuencia y tiene colores variables; blancos, ocre, grises y blancos moteados ocre.

Estos depósitos son el resultado de flujos de intensidad variable, así como la textura de los *sets*, debido a las variaciones del escogimiento de los clastos por variaciones de las condiciones hidráulicas.

- *Facies de arenas (S):*

a) *Facies de arena: con estratificación cruzada en surco (St):* Son areniscas cuarzosas, feldespáticas y líticas con fragmentos de chert, subredondeados a angulosos, de grano muy fino, grano fino y grano grueso a muy grueso, tienen clastos de fragmentos de rocas y cuarzo de hasta 5 cm de diámetro, subredondeados a subangulosos, en ocasiones imbricados, con estratificación o laminaciones cruzada en surco, aisladas o amalgamadas, gradaciones normales, láminas de carbón y de hierro, clastos imbricados, tapices de fangos, lentes de gravas esporádicos y estructuras de carga. Los espesores de los estratos varían entre 8 cm a 5,8 m, con promedio de 2,9 m, los cuerpos tienen geometrías canaliformes o lenticulares, multihistóricos y amalgamados, o tabulares de hasta 2,0 m de espesor. Esta facies representa 13,9% del total de la secuencia, posee colores que varían entre ocre, blanco, blanco moteado ocre, moteado ocre – rojo y ocasionalmente gris. Hacia el tope de los cuerpos es común la presencia de restos de plantas. Se interpreta como depósitos de migración de dunas y megaripples de cresta recta y sinuosa de escala variable, están muy vinculados a litosomas canaliformes y barras fluviales hacia el tope.

b) *Facies de areniscas con estratificación cruzada plana de ángulo alto (Spa) y bajo (Spb):* Son areniscas cuarzosas, líticas con fragmentos de rocas y feldespáticos, de grano fino, grano muy fino, grano grueso a muy grueso, escasos niveles con granos tamaño grava dispuestos en capas subhorizontales, con estratificación o laminación cruzada plana tabular y en cuñas de ángulos alto ( $>15^\circ$ ) y de ángulo bajo ( $<15^\circ$ ), en estratos aislados y en el muro las capas tienen una geometría canaliforme, multihistóricas, irregulares y tabulares con un máximo de 2,0 m de espesor, en ocasiones amalgamadas. Los bancos de areniscas tienen clastos de cuarzo y fragmentos de rocas de hasta 3 cm de diámetro, subangulosos a subredondeados, tienen gradación normal, nódulos de óxido de hierro y concreciones en el tope, estructuras de carga e intraclastos blandos (se refiere a clastos de sedimentos finos que provienen de la intracuena

por erosión ocasionada por corrientes tractivas), estructuras flasser asociadas con láminas de carbón y tapices de fangos. Son de color muy variable, donde se distinguen blanco, gris, ocre y blanco moteado ocre.

Los espesores de los estratos para las facies Spa, varían entre 1,6 cm – 8 m, con promedios de 3,8 m, y representan el 22,5% de la secuencia. Los espesores medidos de las facies Spb varían entre 8 cm – 6,2 m, con promedios de 2,4 m y representan el 6,6% de la secuencia. Tienen abundantes restos de plantas y perforaciones, especialmente la facies Spb, mientras que para la facies Spa estas características son poco frecuentes observarlas. Estas facies se asocian con niveles decimétricos de paleosuelos oxidados y conforman secciones intercaladas con arenas de grano medio con estratificación horizontal. Son depósitos dominados por flujos intermitentes tractivos y por suspensión que ocasionan ripples de cresta recta y sinuosa de escala variable y migración de dunas.

c) *Facies de arenas con estratificación y laminación horizontal (Sh):* Se trata de areniscas cuarzosas, líticas y feldespáticas con estratificación o laminación horizontal o paralela y en ocasiones ondulada, con geometría tabular amalgamada, en estratos de 2 m de espesor en promedio y morfologías canaliformes multihistóricas y amalgamadas. Los estratos tienen espesores que varían entre 8 cm a 6,0 m, se caracterizan por tener lentes de gravas con clastos imbricados de fragmentos de rocas y cuarzo de hasta 3 cm de diámetro, subredondeados y subangulosos, tienen láminas de carbón y de óxidos de hierro y nódulos de óxidos de hierro (hematita), concreciones, tapices de fangos, estructuras flasser y lenticular en el tope, gradaciones y estructuras de cargas. Los colores son muy variados entre blanco, ocre y moteado ocre-rojo y blanco moteado ocre. Los estratos tienen abundantes restos de plantas y perforaciones. Esta facies representa el 9,8% de la secuencia sedimentaria. Se interpreta como estratos planos de régimen alto o bajo en las transición de flujos de corriente subcríticos a supercríticos y olas, se presenta además en eventos individuales de inundación (flash floods).

d) *Facies de arenas con estratificación y laminación cruzadas de ripples (Sr) y ondulantes (Sl):* Son areniscas cuarzosas y micáceas con estratificación y laminación cruzada de ripples de corriente y laminaciones ondulantes de grano fino y grano medio, los estratos tienen espesores entre 8 cm – 5,6 m y un promedio de 2,1 m, con geometría irregular y lenticular. Son frecuentes los lentes de gravas de chert y fragmentos de rocas de hasta 2 cm de diámetro y subredondeados, estructuras flasser y lenticular, laminaciones de carbón, láminas, nódulos de óxidos de hierro y la gradación normal. Los colores presentes varían entre blanco y blanco moteado ocre. Los niveles arenosos tienen abundantes restos de plantas hacia el tope. Esta facies representa el 4,2% de la secuencia sedimentaria. Son depósitos con migración de trenes de ripples desarrollados por baja velocidad de flujo, estas facies ocurren en la

transición de flujos supercríticos y subcríticos, ocasionando la formación de láminas de diferentes geometrías.

- *Facies heterolíticas de limos dominantes (Hti)*: Esta facies representa solo el 0,5% de la secuencia observada de Betijoque. Se trata de una facies heterolíticas con limo dominante intercalados con una mezcla de areniscas de grano muy fino, grano fino y arcillas en relaciones proporcionales 2 a 2 (2:2) El espesor de la facies es en promedio de 2,7 m, de geometría tabular, internamente está caracterizada por la presencia de laminación cruzada de ripples (en *italica*) simétricos, convolutas y estructuras de escapes (llamas). En ocasiones tienen lentes de arenas de grano fino. Esta facies se presenta intercalada entre niveles decimétricos de carbón, esta alternancia da un aspecto de estratificación ondulante, los restos de plantas son abundantes en las intercalaciones de grano fino y hacia el tope de los estratos. La facies presenta un color ocre.

- *Facies de Lutitas (L)*: Representan el 8,5% de la sección de Betijoque. Tienen geometrías tabulares e irregulares, con abundantes restos de plantas y perforaciones, los colores en roca fresca son grises y ocre, y los colores meteorizados son blanco moteado ocre y rojo.

a) *Lutitas laminadas (Fl)*: Son fangos laminados con abundantes láminas de carbón y de óxidos de hierro, láminas de arena de grano fino y grano grueso, moteados hidromórficos, láminas de partición, nodulizaciones ferruginosas, estructuras columnares hacia el tope y los espesores observados varían entre 0,6- 8,6 m y representan el 5,6 % de la sección en estudio.

b) *Lutitas bioturbadas (Fr)*: Consiste de fangos con abundantes restos de plantas *in situ* o retrabajados y perforaciones, también tienen nódulos de carbón y de óxidos de hierro (hematita), ocasionales lentes de arena de grano fino y microconcreciones. Representan el 2,4% de la secuencia, los espesores varían entre 0,6 – 2,2 m, con promedio de 1,5 m.

c) *Lutitas masivas (Fm)*: Son fangos con estructuras internas no visibles o escasamente expresivas, tiene lentes de arena de grano fino y granos de cuarzos dispersos de hasta 0,5 cm de diámetro, redondeados a subredondeados. Representan el 0,5 % de la secuencia y tiene espesores entre 0,2 – 2m y espesor promedio de 0,9 m.

- *Facies no clásticas*: Estas facies corresponden con superficies de emergencia y representan el 0,9% de la secuencia de Betijoque, las capas tienen geometría irregular, con restos de plantas y perforaciones, los colores mas resaltantes son negro, rojo y gris. Dentro de estas facies se reconocen los paleosuelos (P) y las capas de carbón (C). Los paleosuelos se caracterizan por tener niveles centimétricos a decimétricos de nódulos y costras lateríticas. Los niveles de carbón se encuentran asociados a las lateritas y a los fangos grises amalgamados o aislados. Estas facies se caracterizan en la sección por los siguientes aspectos:

a) *Paleosuelos (P)*: Representan el 85% de las facies de no clásticas de la sección de Betijoque, tienen espesores entre 0,4 – 0,8 m con abundantes láminas enrejadas de óxidos de hierro, estructuras masivas y disyunción prismáticas en niveles de arcillas. Los niveles de paleosuelos son frecuentes sobre arenas de grano fino, grano medio y grano muy grueso.

b) *Carbón (C)*: Representan el 25% de las facies no clásticas de la secuencia sedimentaria, espesores promedios de 0,8 m., las capas contienen láminas y granos de carbón, nódulos de óxidos de hierro mezclados con arcillas y limos con abundantes restos de plantas.

## 7 Secuencias sedimentarias

En la Formación Betijoque que aflora entre las poblaciones de Betijoque y Sabana de Mendoza se reconocen cuatro (4) secuencias de abanicos aluviales. En la secuencia de muro se interpretan las zona dístales, medias y proximales que constituyen este complejo ambiente sedimentario, mientras que para las secuencias media y superior no se observaron facies que caracterizan las zonas dístales de los abanicos aluviales (Colombo, 1992 *en Arche*, 1992).

De manera general las secuencias I, que caracterizan la base de la sección presenta facies de areniscas de grano medio a fino con algunos limos y carbones, pertenecientes a depósitos de pantano o de llanura aluvial distal, con ocasionales lentes de gravas dispersas, especialmente en la parte superior de la secuencias, Los depositos de pantano o de llanura aluvial distal representan la zona de contacto transicional entre los miembros Vichú y Sanalejos. La secuencia II, en la que afloran sedimentos clásticos de granos gruesos a muy gruesos y algunas paquetes de gravas de espesores variables entre 1 a 4 m; se interpreta como depósitos formados por ríos meandriformes y trezados dominados por arenas. Mientras que las secuencias III y IV, ambas con un comportamiento sedimentario muy similar. En el tope de la secuencia III es notoria la presencia de gravas de diámetro promedio de hasta 20 cm, que definen ortoconglomerados polimícticos, estos depósitos puntualizan el contacto entre la Formación Betijoque (Mioceno Tardío) y la Formación Carvajal (Pleistoceno) se interpretan como flujos de detritos y canales trezados de gravas en zonas proximales de los abanicos aluviales.

Para los afloramientos evaluados se interpretaron tres tipos de litosomas: a) cuerpos lenticulares con elementos de arquitectura conformados por canales de gravas, canales de arena y acreciones laterales; b) estratos tabulares de barras de gravas y arena, canales de abanicos de gravas y arena, y c) depósitos de llanura de inundación.

## 8 Modelo sedimentario

La sección estudiada se dividió en tres grandes unidades de depósito, en función de las similitudes entre los litosomas, las relaciones de la arquitectura sedimentaria y la

distribución de las unidades considerando el comportamiento de las secuencias sedimentarias, la cual se obtuvo a partir de la aplicación del modelo de Fisher, en donde se estima que el tiempo promedio de acumulación de sedimentos en la formación Betijoque es de 8,6 millones de años (Ma), considerando un intervalo de sedimentación entre 10,6 Ma (Mioceno Tardío) a 1,6 Ma (Plioceno), estos límites de edad fueron obtenidos por dataciones en polen (Guerrero *et al*, 2006) y ajustada al modelo de Lorente (1996), cada ciclo de 5to. orden, se asimila a un ciclo con duración media de 120 ka., el cual se calcula dividiendo el tiempo total estimado de sedimentación (8,6 Ma) entre el total de ciclos sedimentarios obtenidos del análisis de campo (72 ciclos).

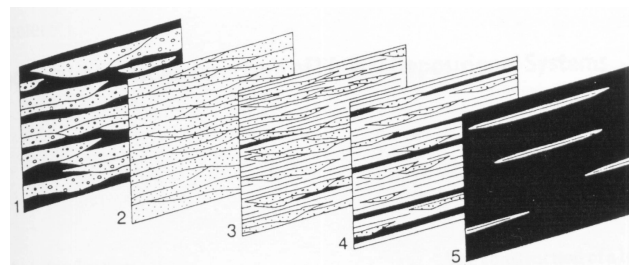
Las tres unidades estratigráficas que caracterizan la Formación Betijoque, son las siguientes:

- *Unidad Estratigráfica I:* Corresponde con el muro de las secuencias sedimentarias, localizado en la quebrada Miquimbós, donde se expone el contacto entre los miembros Vichú (infrayacente) y Sanalejos (suprayacente), se compone principalmente de areniscas y sedimentos de arena de grano fino a arcilla de la llanura aluvial que pueden llegar a formar depósitos de carbón muy localizados. Esta unidad presenta un comportamiento granodecreciente-estrato-decreciente, los ciclos sedimentarios presentan un amalgamamiento y barras fluviales, producto de una disminución en la subsidencia y migración lateral de los sistemas fluviales, debido a posibles escenarios de estabilidad tectónica. que asimilan un proceso de progradación-agradación en los sistemas fluviales, con posterior estabilización relativa de la cuenca, la cual es mas patente en la unidad estratigráfica I. Los elementos de arquitectura dominantes son la presencia de canales principales con acreción lateral y canales secundarios, esta articulación de facies y elementos de arquitecturas corresponde al modelo de ríos meandriiformes de arena.
- *Unidad Estratigráfica II:* Esta unidad se caracteriza por un aumento en la granulometría, con una distribución granodecreciente y estrato-decreciente. En esta unidad se determinó un patrón progradante con pequeños intervalos agradantes, producto de leves variaciones en la tasa de subsidencia, creando tendencias de retrogradación-agradación. El patrón de acomodación de litosomas se caracteriza por la presencia de canales meandriiformes de arenas y gravas con depósitos complejos de llanuras de inundación, láminas de arenas y gravas, y barras de meandro. Por tal motivo se interpreta bajo un modelo de ríos meandriiformes de gravas y arenas.
- *Unidad Estratigráfica III:* Corresponde a la secuencia compuesta por abundante contenido de gravas y menor contenido de arenas de grano grueso, relacionadas con facies Gp interpretadas como depósitos de barras fluviales. Estas facies se distribuyen en secuencias granodecreciente-estrato-decreciente, sometido a una posible disminución relativa en la tasa subsidencia, que implica un avance importante de la progradación de sedimentos

fluviales hacia la cuenca sedimentaria definida por espesos ciclos sedimentarios, la cual se puede interpretar de manera general, como un comportamiento progradante continuado de los sistemas fluviales hacia las cuencas sedimentarias marginales del Mioceno Superior – Plioceno en los Andes venezolanos, que experimentaban un proceso regresivo de sus líneas de costa.

Los litosomas tienen geometrías amalgamadas de cuerpos canaliformes y no canaliformes en patrones progradantes. Esta articulación de elementos de arquitectura define modelos de ríos trenzados de gravas.

Finalmente, se puede señalar que las características de las facies, elementos arquitectónicos y litosomas de la Formación Betijoque, forman parte de abanicos aluviales progradantes implantados bajo condiciones climáticas húmedo-cálido. Esto último debido al contenido de especies de polen y esporas que definen estas condiciones (Tabla 2). Además, se define una edad Mioceno Tardío-Plioceno a estos depósitos por la presencia conjunta de las especie de polen *Bombacacidites ciriloensis* la cuál tiene un rango de edad de Mioceno Tardío-Plioceno y la especie de spora *Polypodiaceoisporites pseudopsilatus* la cuál tiene un rango de edad Mioceno Temprano-Reciente (Lorente, 1986), que se relaciona con la edad obtenida por Berry (1920) en Sutton (1946) en la localidad tipo, en base a la presencia de *Blechum betijoquensis*, *Ficus betijoquensis*, y *Entrada boweni*. La distribución espacial de las unidades estratigráficas, corresponde con las asociaciones de facies de abanicos terminales propuesta por Kelly & Olsen (1993), en la (Fig. 4) donde la Unidad estratigráfica I pertenece a las zonas 3 y 4, equivalente a la zona de pie interno del abanico (MacGowen & Groat, 1971, en Miall, 1990). La unidad estratigráfica II corresponde con la zona 2 dominado por canales distributarios, que corresponde con el cuerpo del abanico en su parte externa y la unidad estratigráfica III: se relaciona con la zona 2 y 1 con dominio de canales de alimentación del abanico, que corresponde con el cuerpo del abanico en su parte media a proximal.





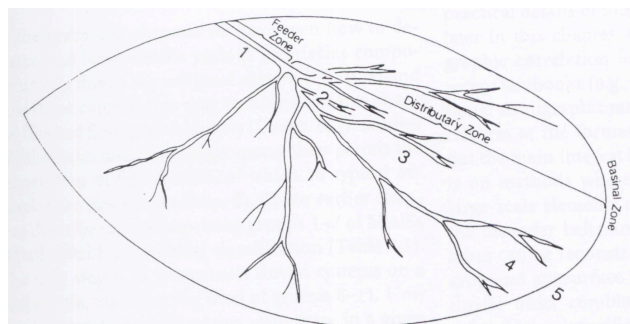


Fig. 4. Modelo de facies de abanicos terminales. 1: zona de alimentación, posiblemente con más de un canal. 2,3 y 4, corresponden con zonas de abanico proximal, media y distal. 5: Llanuras de inundación en la cuenca, según Kelly & Olsen (1993).

Tabla 2. Contenido de polen y esporas de la Formación Betijoque en la sección de Betijoque – Sabana de Mendoza.

CONTENIDO FLORAL	ABUNDANCIA
<i>Bombacacidites sp.</i>	3
<i>Polypodiaceoisporites sp.</i>	17
<i>Psilatriteles sp.</i>	11
<i>Bombacacidites ciriloensis sp.</i>	4
<i>Chomotriteles sp.</i>	1
<i>Polypodiaceoisporites pseudopsilatus sp.</i>	3

## 9 Conclusiones

La articulación vertical y lateral de los modelos estudiados permite estudiar y definir una dinámica sedimentaria de abanicos aluviales en posiciones medias y distales progradantes en climas áridos y húmedos.

## Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del Consejo de Desarrollo Científico Humanístico y Tecnológico de la Universidad de Los Andes por el financiamiento a través del Proyecto: I-772-04-02-B.

## Referencias

- Arche A, 1992, Sedimentología, Vol. I, Editorial Raicar, Madrid, pp. 211.
- Aquino R, 1992, Modelaje de geometría de cuerpos sedimentarios en ambientes fluvio – deltaico, Tesis de Magister Scient. UCV. Caracas, Venezuela, pp. 120 (inédito).
- Audemard F, 1993, Triangle zones of the Maracaibo, Basin (abs.). AAPG Bull, 77, pp. 303.
- Audemard FE, y Audemard FA, 2002, Structure of the Andes, Venezuela relations with the South America-Caribbean geodynamic interaction, Tectonophysics, 345, pp. 299-327.
- Berry EW, 1921, Tertiary fossil plants from Venezuela. U.S. Nat. Mus, Proc. 59 (2388), pp. 553-579.
- Comisión Venezolana de Estratigrafía y Terminología-CVET, 1997 Léxico Estratigráfico de Venezuela. 3era. Edición. Ministerio de Energía y Minas. Bol. Geo. Pub. Especial N°12. Caracas. pp. 368p.
- Eberth DA y Miall AD, 1991, Stratigraphy, sedimentology and evolution of vertebrate-bearing, braided to anastomosed fluvial system. Cutler Formation (Permian Pennsylvanian), north-central New Mexico, Sedimentary Geology 72 pp. 225-252.
- Folk RL, Andrews P y Lewis D, 1970, Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zeland, Journal of Geology and Geophysics 13 pp. 937-968.
- González JC, Iturralde J y Picard X, 1980, Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas, Tomo I y II. Foninves. Venezuela, pp. 1031.
- Guerrero O, Rivas CR y Corrochano A, 2006, Aportación al conocimiento palinológico del Mioceno del Flanco Norte de los Andes venezolanos. Grupo del Terciario de España. Revista Geotemas, Salamanca (en prensa).
- Jiménez D, Guerrero O y Sánchez E, 2005, Modelo Sedimentológico de la Formación Betijoque en el Flanco Norte de los Andes Centrales Venezolanos, I Simposio de Estratotipos de Venezuela, ULA. Mérida. (Modo digital).
- Kelly, S.B. & Olsen, H.O. 1993. Terminal fans-a review with reference to Devonian examples. Sedimentary Geology. 85: 339-374.
- Limarino C, Caselli A, Net L y Gagliardo M, 1996, A propose of sepfite classification relationed to sand and sandstones composition. Asociación Argentina de Sedimentología pp.170.
- Lorente MA, 1986, Palynology and palynofacies of the upper Tertiary in Venezuela, Univ. Amsterdam, J. Cramer, Berlín-Stuttgart, Tesis, PhD. pp. 225 (inédito).
- MARAVEN 1991, Informe final del levantamiento geológico de las líneas sísmicas del flanco nor-andino. MEM-servigeomin. Caracas, Reporte interno, pp. 109 (inédito).
- Miall AD, 1990, Principles de Sedimentary Basin Analysis. Springer Verlag. pp. 651.
- Miall AD, 1996, The geology of fluvial deposits. Springer-Verlag, pp. 575.
- Parnaud F Gou Y, Pascual JC, Capello MA, Truskowski I y Passalacqua H, 1995, Stratigraphic synthesis of western

- Venezuela. In: Tankard, A.J., Suárez, R. and Welsink, H.J. (Eds.) Petroleum basins of South America. A.A.P.G. Mem. 62 pp. 681-698.
- Ramírez C y Campos V, 1972, Geología de la región de La Grita-San Cristóbal, Estado Táchira. IV Cong. Geol. Venez., Caracas, 2 pp. 861-897.
- Sutton FA, 1946, Geology of Maracaibo basin, Venezuela. Bull. AAPG. Vol. 10 (30) pp. 1621-1741.
- Scasso R y Limarino C, 1997, Petrología y diagénesis de rocas clásticas, Asociación Argentina de Sedimentología Pub. Esp. 1. pp. 258.
- Stephan JF, (1985), Andes et chaîne Caraïbe sur la transversale du Barquisimeto (Venezuela), Evolution Geodynamique. Symposium Geodynamique des Caribes, Paris. A. Masdle (Ed). Eds. Technip., pp. 505-530.
- Sneed E y Folk R, 1958, Pebbles in the lower Colorado River, Texas, a study in particle morphogenesis. Journal of Geology 66, pp. 114-150.
- Taheri M; Aquino R y Yoris F, 1991, Geometría y textura de los litosomas de la Formación Betijoque, aflorantes en la región de Valera. Estado Trujillo. III Simposio Interfilial de Geología, Petrofísica y Sísmica de la Producción. Maracaibo. Venezuela pp. 26-49.
- Tucker M, (1990), Techniques in sedimentology. Blackwell & Oxford, pp. 394
- Vera TJ, 1994. Estratigrafía Principios y Métodos. Editorial Rueda SL, Madrid-España. pp. 791.

