

CAMBIOS COMPOSICIONALES Y PROCEDENCIA DE LAS ARENISCAS DEL PALEOCENO EN LA CORDILLERA ORIENTAL Y PARTE OESTE DEL BLOQUE MARACAIBO

(Compositional and provenance changes of paleocene sandstones in the eastern cordillera and western side of the Maracaibo block.)

Omar Montenegro*, **Germán Bayona****, **Carolina Ayala***, **Carolina Ojeda***, **Agustín Cardona****, **Felipe Lamus***, **Albeiro López*****, **Víctor Valencia******

* Corporación Geológica ARES, Colombia, ** Smithsonian Tropical Research Institute, Panamá *** Ecopetrol S.A., Colombia, **** Universidad de Arizona, EEUU, camimonk@web.de

(Recibido el 20 de mayo de 2009 y aceptado el 25 de junio de 2009)

<p>Resumen: En la cordillera oriental de Colombia y el oeste del bloque Maracaibo, las unidades arenosas del paleoceno presentan diferencias composicionales significativas, sugiriendo cambios de régimen tectónico en las áreas de aporte o en las condiciones de acumulación. Entre las unidades del paleoceno inferior hay un cambio en la cantidad de líticos totales que decrece de Usme a Tunja, y vuelve a aumentar significativamente hacia la cuenca del Catatumbo y Cesar (líticos totales entre 20%-50%). Para las unidades del paleoceno superior, en todas las localidades estudiadas, hay un aumento en los contenidos de líticos totales (entre 35%- 60%), siendo más significativo en las regiones de Usme, Medina y en la Cuenca de Cesar - Ranchería. El área de aporte para los detritos en Bogotá y Cesar-Ranchería incluye rocas metamórficas y volcánicas (Cordillera central, SNSM). En la zona axial de la cordillera oriental, el aporte detrítico procede del retrabajamiento de una cobertera sedimentaria. En el piedemonte central y zona axial de la cordillera oriental permanece la incógnita en la procedencia de los fragmentos metamórficos, debido a la lejanía de los macizos expuestos, mientras en el Catatumbo los fragmentos metamórficos podrían proceder del Macizo de Santander. La persistencia de los líticos metamórficos en todas las unidades del paleoceno en la zona axial de la cordillera, y como en algunas áreas se mezclan con líticos volcánicos y feldespatos, es un tópico que requiere más estudio (clima, tectónica, volcanismo). Otros métodos adicionales son necesarios para complementar la información existente y llegar a una mejor comprensión de la procedencia de las unidades paleocenas en las zonas estudiadas.</p>	<p>Abstract: In the eastern cordillera of Colombia and western of Maracaibo block, paleocene sandy units show significant compositional and provenance differences, suggesting either changes in the tectonic regimen in the source areas or in depositional conditions. Lower paleocene units show a decrease of total lithic fraction from Usme to Tunja, whereas significantly increases in the Catatumbo and Cesar Basin (total lithic fraction 20%-50%). For the upper paleocene units, in all the studied localities there is an increase in the total lithic fragments (between 35%- 60%), being Usme, Medina, and the Cesar - Ranchería basins, the areas with the highest values. Source areas for detritus in Bogotá and Cesar - Ranchería include volcanic and metamorphic rocks (Central cordillera, SNSM). In the axial eastern cordillera, the principal source area consists of a sedimentary cover. In Medina, and the axial part of the east cordillera remains the question about the provenance of metamorphic fragments, whereas metamorphic fragments recorded in the Catatumbo basin may come from the Santander Massif. The constant content of metamorphic lithic fragments in paleocene units, and the mixing with feldspars and volcanic fragments in some areas, are topics that need further study. Other methods are necessary to complete the existing information for better understanding about the provenance of paleocene units in the studied zones.</p>
<p>Palabras Clave: Paleoceno, petrofacies, procedencia, cordillera oriental, cordillera central.</p>	<p>Key words: Paleocene, petrofacies, provenance, eastern cordillera, central cordillera.</p>

1. INTRODUCCIÓN

Los análisis de procedencia en las unidades sedimentarias permiten reconstruir los procesos orogénicos y/o magmáticos que actúan en el momento de depósito de las unidades y, por ende, las áreas fuente de los detritos (Dickinson, 1985). Las unidades del paleoceno en Colombia registran el cambio de ambientes predominantemente marinos del cretácico tardío a ambientes transicionales y continentales característicos del cenozoico (Villamil, 1999). El movimiento relativo de la placa del caribe sobre la esquina noroeste de Suramérica (e.g., Pindell *et al.*, 2005) genera actividad tectónica contraccional, que se manifiesta en cambios en los ambientes de acumulación y nueva distribución de cuencas y bloques levantados. Asociado a esta actividad tectónica se genera magmatismo entre el cretácico tardío y el eoceno temprano (Cardona *et al.*, 2009).

Las observaciones sobre la composición de las areniscas del paleoceno en la cordillera oriental y el valle del

Magdalena-Cesar-Ranchería han conducido a diversas interpretaciones, como es el caso de la Sabana de Bogotá. Recientes estudios realizados en rocas del paleoceno sugieren una mezcla de detritos derivados de las cordillera oriental y central (Calderón, 2007; Montenegro, 2009). Jaramillo *et al.* (1993) y Hoorn (1988) sugieren al Macizo de Quetame y el Grupo Guadalupe como rocas fuente de los sedimentos para las unidades del paleoceno expuestas en el Sinclinal de Usme. Aalto (1971) indica procedencia del Escudo de Guyana para algunas unidades del paleoceno expuestas en cercanías de la Sabana de Bogotá.

En este estudio se realiza una comparación en la composición de las areniscas para diferentes unidades del paleoceno expuestas en la cordillera oriental y parte oeste del Bloque Maracaibo. Tiene como objetivo determinar los cambios composicionales que se tienen en 12 localidades y establecer las posibles causas de esta variación composicional. Las localidades, unidades estudiadas y referencias de estudios previos se presentan en la figura 1.

2. METODOLOGÍA

Este trabajo compila la información petrográfica de areniscas del paleoceno, presentada en Bayona *et al.* (2007), López (2007), Montenegro (2009), Ojeda (2009) y Ayala (2009), cuya metodología está descrita en Bayona *et al.* (2007). Los datos petrográficos de otros estudios (ver Fig. 1) fueron recalculados según los parámetros establecidos en Bayona *et al.* (2007) para los diagramas QtFL y QmFLt, si los datos reportados lo permitían. Los resultados se graficaron en diagramas de composición QtFL y de procedencia QmFLt (Dickinson, 1985). Adicionalmente, se incorporan los resultados de análisis geocronológicos (U/Pb en circones detríticos) en los sectores de Usme, piedemonte central, Catatumbo, Cesar y Ranchería, siguiendo la metodología presentada en Cardona *et al.* (2009). Este método es útil, siempre y cuando exista una caracterización de edades de las posibles fuentes de aporte consideradas. Diferentes estudios de los macizos de Santander (Dörr *et al.*, 1995; Cordani *et al.*, 2005), Santa Marta (e.g., Cordani *et al.*, 2005; Cardona *et al.*, 2006), Cordillera Central (Vinasco *et al.*, 2006; Ibañez *et al.*, 2007), Serranía de Perijá (Dasch *et al.*, 1982; Maze, 1984) y Escudo de Guayana (Tassinari *et al.*, 1999) permiten establecer una correlación entre área fuente/sedimento al comparar las edades de los circones. Cuando existe actividad volcánica contemporánea con los depósitos es posible encontrar también circones volcánicos que permiten datar la unidad.

3. RESULTADOS

En total se compiló la información de 12 secciones, que se agruparon en dos zonas de la cordillera oriental y una zona en el Bloque Maracaibo. Los resultados se muestran de sur a norte siguiendo el orden de las zonas (ver figura 1).

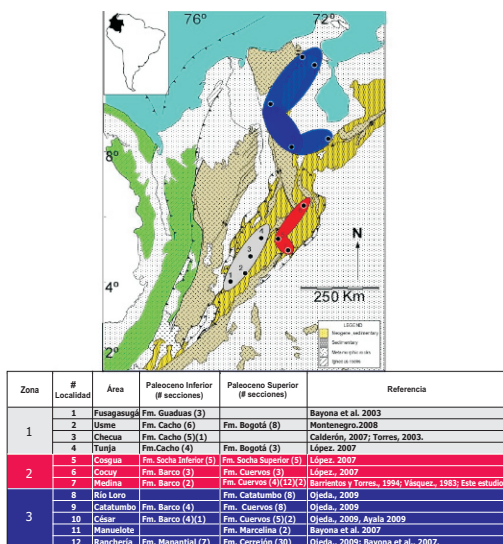


Figura 1. Localidades estudiadas, número de secciones y referencias bibliográficas.

En la zona 1 se encuentran las formaciones Guaduas (segmento superior), Cacho y Bogotá. Para el paleoceno inferior se observan en la formación Guaduas cuarzoarenitas a sublitoarenitas, mientras en Usme, Checua y Tunja, para la formación Cacho se presentan sublitoarenitas a cuarzoarenitas. En general, se observa un alto contenido de cuarzo total (entre 70%-100%). En el paleoceno superior se observa en la formación Bogotá litoarenitas a sublitoarenitas en Usme, mientras en Tunja se presentan sublitoarenitas. En Usme hay un aumento en el contenido de líticos totales (entre 20%-50) al igual que la presencia de feldespatos bien preservados. En Tunja, hay un aumento en el contenido de fragmentos líticos; sin embargo, éstos son sedimentarios y metamórficos entre 8%-16% y 0%- 3% respectivamente (ver figura 2).

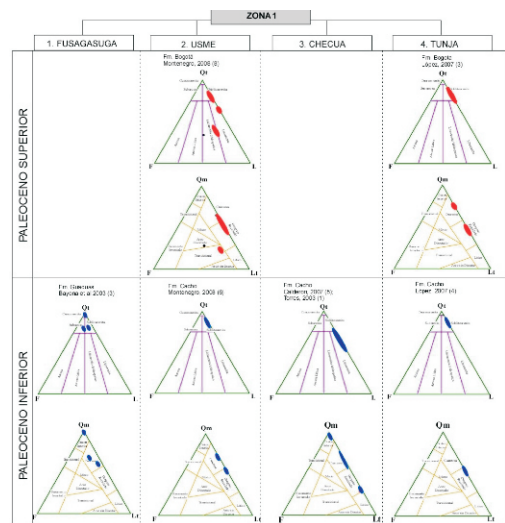


Figura 2. Triángulos de composición QtFL y procedencia QmFLt para las unidades del Paleoceno Inferior y Superior en la Zona 1. Formación, referencia y número de secciones en paréntesis.

López (2007) reconoce un alto contenido de fragmentos de chert y otros líticos sedimentarios y metamórficos para esta zona.

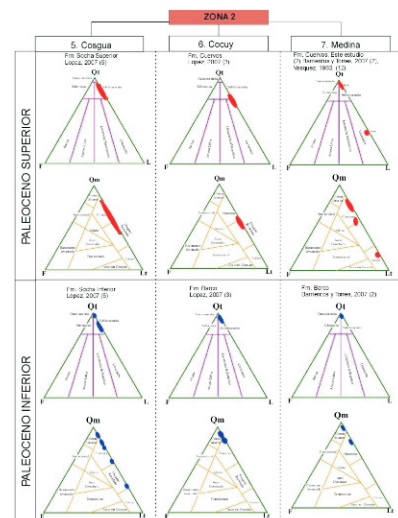


Figura 3. Triángulos de composición QtFL y procedencia QmFLt para las unidades del Paleoceno Inferior y Superior para la Zona 2. Formación, referencia y número de secciones en paréntesis.

En la zona 2 (ver figura 3), se encuentran las formaciones Socha Inferior y Barco para el paleoceno inferior y las formaciones Socha Superior y Cuervos para el paleoceno superior.

En el paleoceno inferior se observa un alto contenido de cuarzo total (entre 84%-98%), siendo cuarzoarenitas y sublitoarenitas, con un contenido mayor de chert y líticos sedimentarios en el sector de Cosgua (entre 15%- 33%). Otros autores registran el aumento de cuarzo total hacia el sector de El Cocuy (Fabre, 1981; Aalto 1971; Céspedes y Peña, 1995) contrastando con un aumento de chert y líticos sedimentarios presentado por Fabre (1981).

Para el paleoceno superior, en el sector de Cosgua, se mantiene el alto contenido de cuarzo (entre 76% y 90%), mientras que en los sectores de El Cocuy y Medina hay un aumento en los líticos totales (entre 14% - 38%), encontrándose sublitoarenitas a litoarenitas. Además, hay un aumento en los líticos metamórficos hasta un 43% (ver figura 3). Estudios previos presentan cuarzoarenitas para las areniscas del paleoceno superior (Vásquez, 1983) y sublitoarenitas (Barrientos y Torres, 1994).

Para la zona 3 se tienen las formaciones Barco y Manantial para el paleoceno inferior, y para el paleoceno superior se tienen las formaciones Catatumbo, Cuervos, Marcelina y Cerrejón. Para el paleoceno inferior se observa una disminución en el contenido de cuarzo total, encontrando litoarenitas a sublitoarenitas ($Qt < 95\%$) y un aumento leve en el contenido de feldespato en la región de Cesar, entre 0%-10% (ver figura 4).

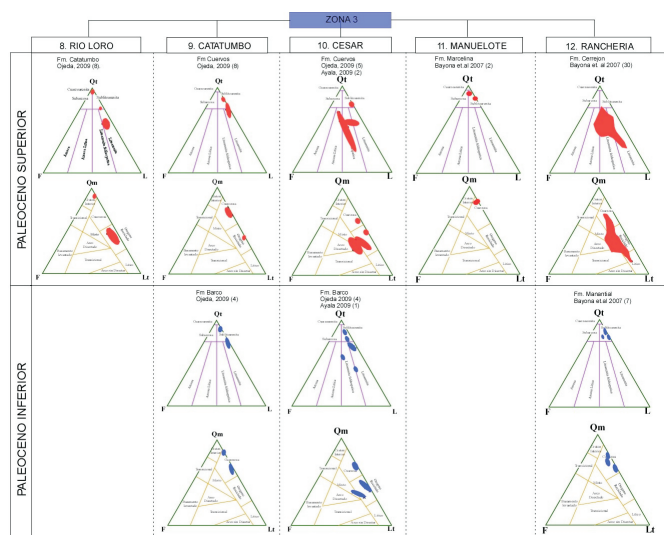


Figura 4. Triángulos de composición QtFL y procedencia QmFLt para las unidades del paleoceno inferior y superior. Formación, referencia y número de secciones en paréntesis.

En el paleoceno superior hay una disminución mayor en el contenido de cuarzo total y se encuentran altos contenidos de feldespatos (entre 0%-35%).

4. GEOCRONOLOGÍA

Se tienen resultados de geocronología para 5 secciones: Usme, Medina, Catatumbo, Cesar y Ranchería (ver figuras 1 y 5).

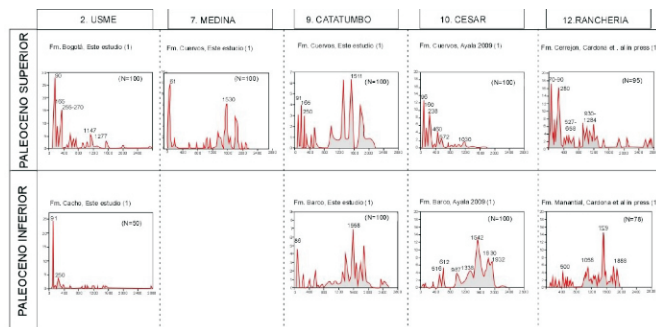


Figura 5. Histogramas de distribución de los circones analizados, resaltando las poblaciones más representativas para el paleoceno inferior y superior. Formación, referencia y número de secciones en paréntesis.

4.1 Paleoceno Inferior

En Usme se obtuvieron, para la formación Cacho, densidades de circones para el cretácico (89-93 Ma) y menores densidades para el permo-triásico (250- 275 Ma). Los picos de edades más antiguas están presentes, pero en muy baja densidad. Para las formaciones Barco y Manantial (cuencas de Catatumbo, Cesar y Ranchería) se observa un fuerte predominio de circones con edades mayores a 900 Ma, y varios picos hacia los 1500 Ma. En el Catatumbo, se resalta la presencia de un pico a 86 Ma (ver figura 5).

4.2 Paleoceno Superior

En Usme, para la formación Bogotá, se observan poblaciones de circones del cretácico (89- 93 Ma) y menores poblaciones para el permo-triásico (250- 275 Ma) y edades >1147 Ma. En el sector del Catatumbo se presentan densidades de circones jóvenes del cretácico (80-95 Ma), junto con circones del jurásico (160-180 Ma), y en esta zona hay mayor densidad de circones de edades entre 1100 - 1300 millones de años. Para la formación Cuervos, en la región de Medina, se obtuvieron circones con una población de 61 Ma, y otra población más amplia entre los 1400 y 1600 Ma. En las muestras de la formación Cuervos, en la región del Cesar, la población de circones cambia significativamente. La fracción proterozoica forma los picos menores, incluso en menor proporción que en la formación Cerrejón, en el área de Ranchería (Cardona *et al.*, 2009). Los picos mayores corresponden al permo-triásico (275 y 238 Ma), cretácico (83, 95-96 Ma) y, en menor proporción, al jurásico inferior (160-183 Ma). Hay picos menores de edad neoproterozoico - ordovícico (450-582 Ma). Se resalta una edad obtenida por circones volcánicos de 58

Ma. Esta edad es acorde con los resultados palinológicos, que indican que el miembro inferior se depositó en el paleoceno medio, y el miembro medio ya corresponde al paleoceno tardío (ver figura 5).

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Según los análisis petrográficos realizados, para las zonas 1 y 2 se observa como las unidades del paleoceno inferior tienen contenido de cuarzo total constante en sentido oeste - este, aumentando en algunos casos los contenidos de chert y líticos sedimentarios (ver figura. 2). Esto indica un retrabajamiento de la cobertera sedimentaria de las áreas de aporte. En la zona 3 hay una disminución en el contenido de cuarzo total, y predominan los líticos sedimentarios y líticos metamórficos, lo que explica la erosión de una cobertera sedimentaria, junto con un macizo metamórfico.

Para el paleoceno superior, la composición de las areniscas cambia significativamente a más inmaduras. Para la zona 1 (ver figura 2) hay un aumento en el contenido de líticos totales, y se encuentran líticos volcánicos y feldespatos preservados, lo que indica una fuente volcánica en la región de Usme. Sin embargo, hacia Tunja, aunque el contenido de líticos aumenta, éstos son de origen sedimentario y metamórfico, totalmente diferentes a los encontrados en Usme. Esta relación sugiere dos áreas de aporte para la misma edad; sin embargo, en ambas regiones se encuentran líticos metamórficos de manera constante.

Los líticos volcánicos se podrían explicar con actividad volcánica hacia la cordillera central, pero la poca abundancia hacia la región de Tunja y la relativa abundancia de los líticos metamórficos generan una incógnita con respecto a la configuración paleogeográfica y las áreas de aporte. En la zona 2 (ver figura 3) se observa un aumento en el contenido de líticos al llegar Medina (Piedemonte central) y se encuentran areniscas con composiciones variadas (Cuarzoarenitas - Litoarenitas). En este sector es importante la abundancia de líticos metamórficos a la base de la formación Cuervos, mientras hacia el tope dominan los líticos sedimentarios, acentuando la incógnita acerca de la procedencia de estos fragmentos, ya que la relación de erosión de un basamento con cobertera sedimentaria es inversa, lo que podría ser un indicio de paleoaltos. El paleoceno superior para la zona 3 muestra el incremento en el contenido de líticos totales, siendo mayor hacia el sector de Cesar - Ranchería, en donde predomina el contenido de feldespatos y líticos volcánicos, siendo esta área comparable con lo encontrado en Usme, en la Sabana de Bogotá. Lo anterior sugiere un proceso volcánico que afectó la depositación en ambas zonas, cercanas a la cordillera central y a la Sierra Nevada de Santa Marta.

Para los resultados de geocronología obtenidos en Usme en las formaciones Cacho y Bogotá, se tienen edades cretácicas (entre 83-95 Ma), jurásicas (160-183 Ma) y permo-triásicas (250- 275 Ma), lo que sugiere un aporte de la cordillera central como área fuente. En la región de Medina se encuentran sólo dos poblaciones de circones, entre 1400 a 1550 Ma y 61 Ma, sugiriendo una mezcla de circones de origen cratónico y circones más jóvenes originados en el paleoceno inferior.

Para la formación Barco en el área del Catatumbo, la edad de 86 Ma indica una fuente de aporte de edad campaniano, coincidente con las edades de importantes plutones de la cordillera central (ej. Batolito de Antioquia, Batolito de Buga). La asociación de circones obtenida en las unidades del paleoceno superior en la subcuenca del Cesar y Ranchería (Formaciones Cuervos y Cerrejón), muestra características típicas de la Sierra Nevada de Santa Marta y la cordillera central. Las edades entre 460 a 572 Ma en la formación Cuervos, en la región del Cesar, muestran un origen de los circones del macizo de Santander; sin embargo, la procedencia puede ser por retrabajamiento de una cobertera sedimentaria. Se sugiere un aporte procedente del occidente para Cesar y Ranchería, y un evento de levantamiento hacia el norte, que causa el cambio de las poblaciones de circones entre las unidades del paleoceno inferior y superior en las áreas más cercanas a la cordillera central y a la Sierra Nevada de Santa Marta.

Estas diferencias composicionales a nivel regional al norte de Suramérica, así como las diferentes edades arrojadas por los estudios de geocronología, entre unidades de igual edad, se podrían explicar por efectos de erosión de bloques, por cambios climáticos o por un evento tectono-volcánico. Eventos tectónicos contraccionales en el paleoceno tardío generaron el levantamiento de bloques que involucran basamento, como lo sugerido por varios autores para la cordillera oriental (e.g., Fabre, 1981; Hoorn, 1988; Bayona *et al.*, 2008), cordillera central (Gómez *et al.*, 2005), y Sierra Nevada de Santa Marta (Bayona *et al.*, 2007). Esta hipótesis explicaría el aumento de la fracción de líticos sedimentarios y metamórficos inestables debido a la denudación de un basamento con cobertera sedimentaria. Sin embargo, estudios recientes de termocronología indican que las rocas con basamento en la cordillera oriental se exhumaron a partir del eoceno tardío-oligoceno (Parra *et al.*, 2009), o en los últimos 5 Ma para los basamentos en el piedemonte (Mora *et al.*, 2008); sin embargo, existe la posibilidad de que el registro de eventos más antiguos se haya perdido por erosión de los mismos.

La segunda alternativa es por efectos climáticos, en la que se considera la conservación del material inestable, a

causa de un posible clima seco. Sin embargo, se sabe que para el paleoceno se tenía un clima tropical húmedo para la zona axial de la cordillera oriental y la cuenca de Ranchería (Carlos Jaramillo, comunicación oral), complementando las condiciones de humedad necesarias para la formación del carbón abundante en el paleoceno superior en el área de Ranchería. La tercera alternativa incluye procesos volcánicos asociados a la tectónica de la cordillera central y bloques levantados en una proto-cordillera oriental, con lo que se explicarían los contenidos de líticos volcánicos en ciertos intervalos de las unidades del paleoceno superior. Sin embargo, no se podría explicar claramente la mezcla de estos fragmentos con fragmentos metamórficos.

6. CONCLUSIONES

En las unidades del paleoceno inferior hay un decrecimiento en los contenidos de líticos en sentido oeste-este, a lo largo de la cordillera oriental, con un aumento de los mismos en la cuenca de Cesar- Ranchería y Catatumbo. Para el paleoceno superior hay un aumento notable en el contenido de líticos respecto a las unidades del paleoceno inferior, lo que sugiere un posible cambio en las áreas de aporte, sumado a la variedad de líticos presentes para estas unidades del paleoceno superior. Los fragmentos volcánicos y feldespatos presentes en las formaciones del paleoceno superior en Usme y Cesar Ranchería indican una actividad volcánica posiblemente de la cordillera central. Sin embargo, la presencia de material metamórfico sugiere un aporte a la vez metamórfico. Estudios de Ar-Ar en micas, análisis químicos para arcillas y feldespatos, junto con catodoluminiscencia en cuarzos, para analizar orígenes metamórficos y volcánicos de los mismos, pueden mejorar las interpretaciones y el entendimiento de este rango de edad para el oriente colombiano.

7. AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos especiales a Ingeominas y al Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, por sus aportes.

8. REFERENCIAS

- Bayona, G., Cortés, M., Jaramillo, C., and Llinás, R., (2003), The Fusagasugá succession: a record of the complex latest cretaceous-pre-miocene deformation between the Magdalena valley and Sabana de Bogotá areas. *Asociación Colombiana de Geólogos y Geofísicos del Petróleo, Memorias del VIII Simposio Bolivariano de Cuencas Subandinas*, v. 2, p. 180-193.
- Bayona, G., Cortés, M., Jaramillo, C., Ojeda, G., Aristizabal, J., and Reyes-Harker, A., (2008), An integrated analysis of an orogen-sedimentary basin pair: latest cretaceous-cenozoic evolution of the linked eastern cordillera orogen and the llanos foreland basin of Colombia. *Geological Society of America Bulletin*, v. 120, p. 1171-1197.
- Calderón, J. (2007). *Sedimentología, proveniencia y diagénesis en el área de Samacá. Formación Cacho y Guaduas (Tesis de Pregrado)*. 20 p. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Geociencias, Bogotá.
- Cardona, A., Valencia, V. A., Bayona, G., Duque, J., Ruiz, J., Jaramillo, C., Montes, C., Ojeda, G., submitted to *Geology* (2006). Late cretaceous to eocene accretion and subduction initiation in the Sierra Nevada of Santa Marta and adjacent Ranchería basin, northern Colombia: implications for northern andes orogeny and caribbean-south american plate tectonic interactions.
- Cardona, A., Valencia V. A., Bayona, G., Duque, J., Jaramillo C., Montes, C., Ojeda, G., Ruiz, J., (2009), Late cretaceous to eocene accretion and subduction in the Sierra Nevada of Santa Marta and adjacent Ranchería basin, northern Colombia: implications for northern andes orogeny and caribbean-south american plate tectonic interactions. *Geology*, in press.
- Cordani, U. G., Cardona, A., Jiménez, D., Liu, D., Nutman, A. P., (2005). Geochronology of proterozoic basement inliers from the colombian andes: tectonic history of remnants from a fragmented greenville belt. In: Vaughan, A. P. M., Leat P. T., Pankhurst, R. J. (Eds), *Terrane processes at the margins of Gondwana*. Geological Society [London] Special Publication 246, 329-346.
- Dasch, L. E., and P. Banks, (1981), Zircon U-Pb ages from the Sierra of Perijá, Venezuela (abs): *GSA Abstracts with Programs*, v. 13, p. 436.
- Dickinson, W. (1985). Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones- Zuffa, G.G Eds. *Provenance of arenites*, p. 333-361.
- Dörr, W., Grosser, J. R., Rodriguez, G. I., (1995). Zircon U-Pb age of the paramo Rico tonalite-granodiorite, Santander massif (Cordillera oriental, Colombia) and its geotectonic significance. *Journal of South American Earth Sciences*. 8, 187-194.
- Fabre, A., (1981). *Geología regional de la Sierra Nevada de El Cocuy*, plancha 137 "El Cocuy" Departamento de Boyacá e Intendencia de Arauca. Informe número 1877 Ingeominas Bogotá. 270 p.
- Gómez, E., Jordan, T., Allmendinger, R.W., Hegarty, K. & Kelley, S. (2005). Syntectonic cenozoic sedimentation in the northern middle Magdalena valley basin of Colombia and implications for exhumation of the northern andes. *Geological Society of America Bulletin*, 117, 547-569; doi: 510.1130/B25454.25451.
- Ibáñez-Mejía M., Tassinari C.C.G., Jaramillo J.M. (2007). U-Pb zircon ages of the "Antioquian

- Batholith": geochronological constraints of late cretaceous magmatism in the central andes of Colombia. Resúmenes XI Congreso Colombiano de Geología. Bucaramanga. Colombia.
- Ingersoll, R. V., Bullard, T. F., Ford, R. L., Grimm, J. P., Pickle, J. D., and Sares, S. W., (1984), The effect of grain size on detrital modes: A test of the Gazzi-Dickinson point-counting method: *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 54, p. 103-116.
- López, A. (2007). Procedencia de sedimentos paleoceno-oligoceno en la zona axial de la cordillera Oriental de Colombia, y aportes a la evolución tectónica del área. Trabajo de Grado. Universidad Nacional de Colombia. 20 p.
- Maze, W. (1984). Jurassic La Quinta formation in the Sierra de Perijá, northwestern Venezuela: geology and tectonic environment of red beds and volcanic rocks: *GSA Memoir* 162, p. 263-282
- Montenegro, O. (2008). Análisis de Petrografía y minerales pesados de la sucesión paleógena en el sinclinal de Usme y sus contribuciones a la evolución tectónica del área. Trabajo de Grado. Universidad Nacional de Colombia. 20 p.
- Mora, A., Parra, M., Strecker, M. R., Sobel, E., Hooghiemstra, H., Torres, V., Jaramillo, J., (2008), Climatic forcing of asymmetric orogenic evolution in the eastern cordillera of Colombia: *Geological Society of America Bulletin*, v. 120, p. 930-949.
- Parra, M., Mora, A., Jaramillo, C., Strecker, M. R., Sobel, E. R., Quiroz, L. I., Rueda, M., and Torres, V., (2009), Orogenic wedge advance in the northern Andes: evidence from the oligocene-miocene sedimentary record of the Medina basin, Eastern cordillera, Colombia: *Geological Society of America Bulletin*, v.121, p. 780-800. doi:10.1130/B26257.1
- Pindell, J.L., Kennan, L., Maresch, W.V., Stanek, K.-P., Draper, G. and Higgs, R. (2005). Plate kinematics and crustal dynamics of circum-caribbean arc-continent interactions: tectonic controls on basin development in proto-caribbean margins. In: *caribbean-south american plate interactions*, Venezuela (Ed. by H. G. Ave Lallemand & V. B. Sisson). *Geological Society of America Special Paper* 394, 7-52.
- Tassinari, C.G., Macambira, M. (1999). Geochronological provinces of the amazonian craton. *Episodes*, Vol. 22
- Torres, R, J. (2003). Caracterización petrográfica de la discordancia pre-eocénica en el área de la Sabana de Bogotá. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Geociencias. Bogotá.
- Villamil, T. (1999). Campanian-miocene tectonostratigraphy, depocenter evolution and basin development of Colombia and western Venezuela. *palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, 153, 239-275.
- Vinasco, C. J., Cordani, U. G., González, Weber, M., Pelaez, C., (2006). Geochronological, isotopic, and geochemical data from permo-triassic granitic gneisses and granitoids of the colombian central andes. *Journal of South American Earth Sciences*. 21, 355-371