

ANÁLISIS DE PETROGRAFÍA Y MINERALES PESADOS DE LA SUCESIÓN PALEÓGENA EN EL SINCLINAL DE USME Y CONTRIBUCIONES A LA EVOLUCIÓN TECTÓNICA DEL ÁREA.

Omar Camilo Montenegro Castillo.¹

Ph.D Nadejda Tchegliakova²
DIRECTOR

¹ Universidad Nacional de Colombia, camimonk@web.de

² Universidad Nacional de Colombia, ORI, Oficina de Relaciones Internacionales.

RESUMEN

Con el objetivo de suministrar nuevos elementos para la identificación litológica en el sinclinal de Usme y evaluar los modelos tectónicos propuestos para la cordillera Oriental y Central, se realizó un análisis petrográfico y de minerales pesados, en las Formaciones Guaduas, Cacho, Bogotá, Regadera y Usme ya que se presentan drásticos cambios composicionales entre estas unidades. Los resultados permitieron identificar las composiciones de las áreas fuente de las rocas, así como indicar la distancia relativa de estas al sitio de depósito. Según la variación en la composición, se indica que el área fuente para las Formaciones Guaduas, Cacho y Bogotá difiere con respecto al área fuente para las formaciones Regadera y Usme, debido al alto contenido de cuarzo y reducción de líticos totales. En la parte media de la Formación Bogotá hay registros de procesos de magmatismo que afectaron el área fuente para la edad de depósito. Además, la madurez textural de las rocas junto con el contenido de intraclastos, líticos mecánicamente inestables y glauconita retrabajada sugieren un área de aporte cercana.

Palabras clave: Cordilleras Oriental y Central, Modelo tectónico, Paleógeno, Petrografía, Procedencia.

Analysis of petrography and heavy minerals of Usme syncline Paleogene section and its contribution to the tectonical evolution of the area.

ABSTRACT

With the goal to aim new elements to the litologic identification on the Usme syncline and evaluate old tectonical models for the Eastern and Central Cordilleras, a detailed petrography and study of heavy minerals was carried out, along the Guaduas, Cacho, Bogota, Regadera and Usme Formations. An significant compositional change was identified between those Formations. The provenance analysis in fluvial tropical sandstones may characterize both the composition and the distance of source area. According with the compositional change, the source area for the Guaduas, Cacho and Bogota Formations is not the same as for the Regadera and Usme Formations because of the high amount of Quartz and the reduction of mechanical unstable fragments. In the middle section of Bogota Formation exist the record of magmatic processes, which had an influence on the source area concerning the deposition time. The textural mature of the rocks, the mechanical unstable fragments as well as the reworking glauconite, suggest a near source area.

Key words: Eastern and Central Cordilleras, Tectonical models, Paleogene, Petrography, Provenance.

INTRODUCCION

Con el estudio sistemático de los procesos sedimentarios y composición de los sedimentos en un área determinada se sugieren las posibles áreas fuente de dichos sedimentos y a la vez se hace un aporte a la configuración paleogeográfica y el posible entorno tectónico para la época de depositación. Para este estudio se realizó una revisión documental y se elaboró una sección estratigráfica en el sinclinal de Usme (ARES- STRI, 2007), en donde fueron tomadas diferentes muestras para petrografía y minerales pesados (Figura 1).

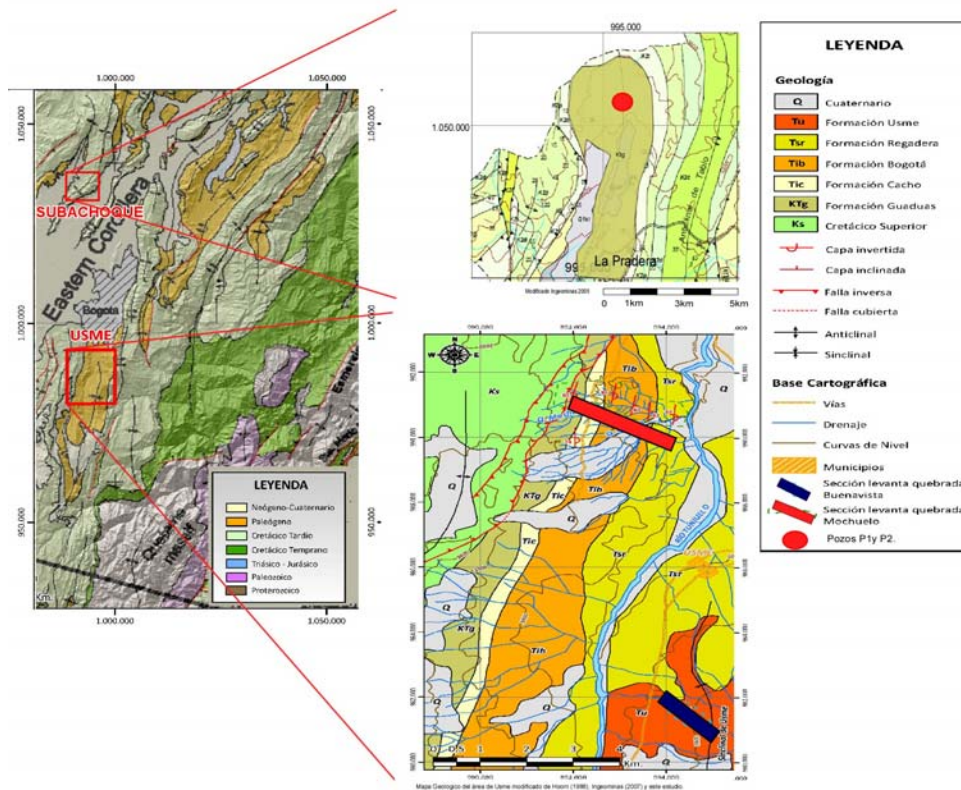


Figura 1. Ubicación de las secciones estratigráficas en la Quebradas Mochuelo, Buenavista (Sinclinal de Usme, Tomado de ARES-STRI, Reporte Interno) y dos pozos de la sección Río Tinto. (STRI, 2006).

La composición del área fuente de los sedimentos es la principal causa de las diferencias composicionales entre estratos de la misma edad. Sin embargo el tiempo de residencia temporal previo al enterramiento y las distancias que fueron transportados estos mismos

influyen en la composición final de la arenisca (Johnsson et.al 1991). Con el objetivo de evaluar las diferencias composicionales, en este estudio analizaron muestras de 3 sitios específicos; flanco occidental del sinclinal de Usme en la Quebrada El Mochuelo, parte axial del sinclinal de Usme en la Quebrada Buenavista y en la sección Río Tinto (Sinclinal de Subachoque), de la parte inferior de la Formación Guaduas (ver figuras 1 y 2).

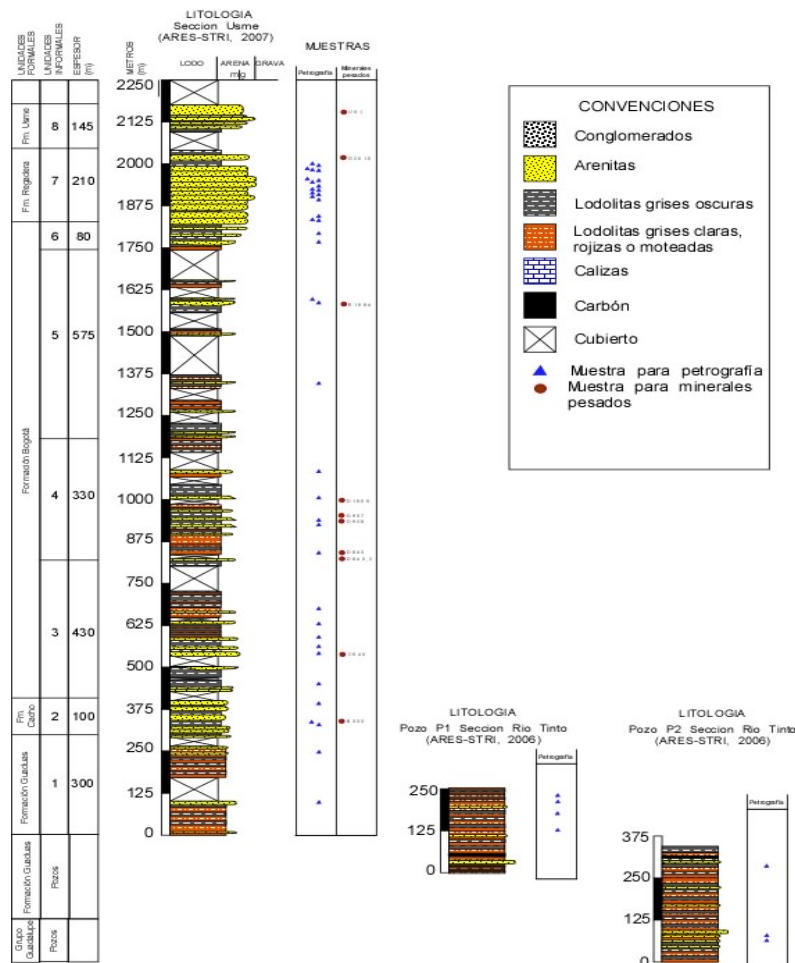


Figura 2. Columna estratigráfica generalizada de las secciones Quebrada El Mochuelo, Quebrada Buenavista en el Sinclinal de Usme y de los pozos T1 y T2.

ANTECEDENTES

Los resultados de estudios petrográficos en areniscas sugieren una composición de cuarzoareniscas para los niveles inferiores de la Formación Guaduas mientras que en los superiores se clasifican como sublitoarenitas. (Sarmiento 1992). La baja cantidad de

líticos, tanto metamórficos como volcánicos, demuestra la influencia de la proto-Cordillera Central (Calderón, 2007). La Formación Cacho presenta sublitoarenitas y litoarenitas de grano medio. El cemento existente es de sobrecrecimiento y ferruginoso, y el aumento en el contenido lítico con respecto a la infrayacente Formación Guaduas, indica un evento orogénico del Cenozoico, condicionado a pulsos de levantamiento tanto de la misma Cordillera Oriental como de proto-Cordillera Central (Calderón, 2007). Otros autores sugieren específicamente, según datos litológicos y de transporte, al macizo de Quetame y el Grupo Guadalupe como rocas fuente de los sedimentos para las Formaciones Cacho y Bogotá expuestas en el Sinclinal de Usme (Hoorn, 1988). Teniendo en cuenta los contenidos de fragmentos líticos como Chert, esquisto y cuarzo policristalino, sugiere una erosión de niveles de chert en y rocas metamórficas, respectivamente. Además, las direcciones de transporte de sedimentos reportadas para estas unidades indican una dirección de flujo hacia el norte. Las formaciones Regadera y Usme tienen un alto contenido de cuarzo por lo que sus áreas fuente fueron posiblemente el cratón (Acosta y Beltrán, 1987; Hoorn, 1988).

Para el estudio se tuvo en cuenta la sección estratigráfica en el sinclinal de Usme cuyas unidades aflorantes se describen brevemente a continuación (Fig 2.). El tope de la Formación Guaduas (Unidad 1), es lodoso con algunas intercalaciones de areniscas liticas, la Formación Cacho (Unidad 2) es arenosa y presenta en menor proporción lodolitas grises. La Formación Bogotá, (Unidades 3, 4, 5 y 6) predominantemente lodosa presenta intercalaciones de areniscas con una granulometría más gruesa hacia el tope y un suministro de material volcánico (unidad 4). La Formación Regadera (Unidad 7) está compuesta por areniscas macizas mientras que la Formación Usme (Unidad 8) presenta

hacia la base lodolitas grises y hacia el tope areniscas blancas de grano fino a grueso (ARES-STRI, 2007).

METODOLOGIA

Para el análisis petrográfico y de minerales pesados se realizaron 54 secciones delgadas (44 secciones para petrografía y 10 montajes de grano para minerales pesados). Para las secciones petrográficas se hizo un reconocimiento de fragmentos del armazón teniendo en cuenta su origen extracuenca, intracuenca, volcánico sin-deposicional y material intersticial (Tabla 1). Las secciones con posible contenido de feldespato potásico fueron teñidas con sodio cobaltinitro para su posterior identificación. Posteriormente se realizó un conteo de 300 puntos de armazón utilizando el método Gazzi-Dickinson para eliminar los problemas de la variación de la composición por el tamaño de grano (Ingersoll et al., 1984). El conteo se realizó teniendo en cuenta la fracción arenosa excluyendo láminas de lodolitas. Los granos del armazón fueron agrupados en 3 grupos según su origen, no-carbonato extracuenca (NCE), no-carbonato intracuenca (NCI) y carbonato intracuenca (CI) (sensu Zuffa, 1980) (Tabla 1) (Figura 3). El cálculo modal para los triángulos QtFL y QmFLt (Triángulos de Folk y Dickinson 1985) se incluyen las secciones con un armazón menor al 60%. El detalle del conteo para cada sección delgada se presenta en los Anexos 1a y 1b. Para el análisis cuantitativo entre los fragmentos líticos se consideraron las muestras con contenido líticos totales (Lt) mayor o igual a 20%, y fueron graficadas posteriormente en el triángulo líticos sedimentarios totales (St), líticos volcánicos totales (Vt), líticos metamórficos totales (Mt) (Figura 4). Con los resultados obtenidos en el cálculo modal se realizó, un gráfico para agrupar características similares de fragmentos y así obtener las petrofacies en toda la sección Paleógena.

Para los montajes de minerales pesados se identificaron los principales minerales constituyentes y se realizó un conteo de 300 puntos incluyendo los minerales opacos (Mange y Maurer 1992). Debido a la fragilidad mecánica de la biotita y a su potencial sobre-estimación, se indicó su presencia pero no se incluye en el conteo. Con el conteo elaborado se obtuvo el porcentaje de cada constituyente y se graficó para analizar las diferencias entre sus constituyentes.

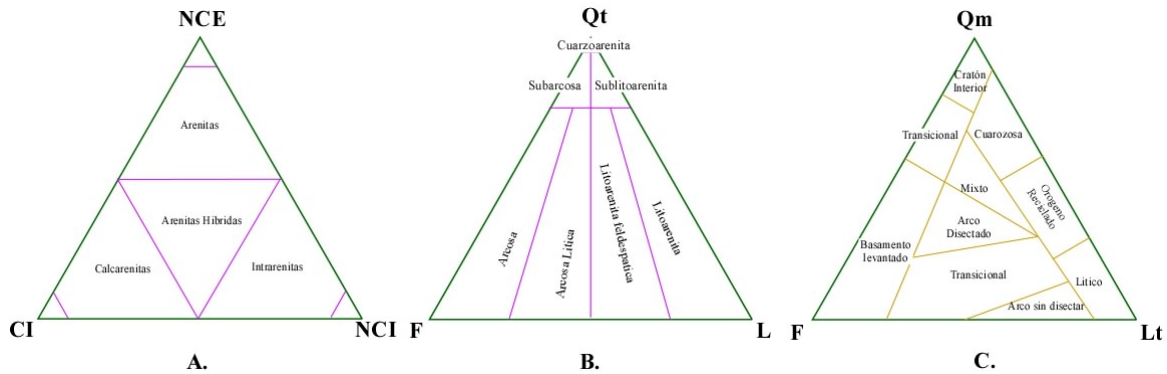


Figura 3. A. Triángulo de no-carbonato extracuenca (NCE), no-carbonato intracuenca (NCI) y carbonato intracuenca (CI) (sensu Zuffa, 1980). B. Triángulo de Folk et. al. para composición. C. Triángulo de Dickinson 1985, para procedencia.

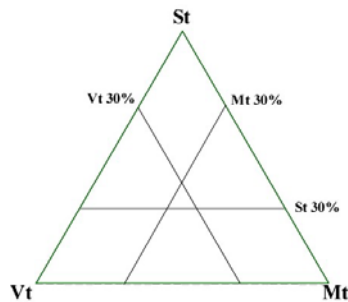


Figura 4. Triángulo de líticos sedimentarios (St), Líticos volcánicos (Lv), Líticos metamórficos (Mt).

RESULTADOS

A continuación se presentan en la Tabla 1 los principales tipos de grano identificados para este estudio, como fueron realizados los cálculos modales (Tabla 2), tipos de cristales identificados para minerales pesados (Tabla 3), resultados en el conteo modal y de minerales pesados (Tablas 4 y 5).

Textura	Genesis	Q	CODIGO	NOMBRE	DESCRIPCION
COMPONENTES DEL ARMAZON	EXTRACUENCA	NO CARBONATO	Qm	Cuarzo Monocristalino	Granos de caras sucias (en ocasiones fracturados por la elaboración de la sección) con extinción ligera a muy ondulosa.
			Qpf	Cuarzo policristalino foliado	Cristales alargados y orientados en una dirección preferencial (con cuña de cuarzo es más clara la orientación y la extinción intercalada).
			Qpd	Cuarzo policristalino de bordes difusos	Contactos suturados entre los cristales de cuarzo, dando una apariencia policristalina pero no se presenta orientación en dirección preferencial.
			Qps	Cuarzo policristalino sedimentario	Tamaño de grano limo grueso a arena muy fina dentro del fragmento homogéneo. En nicoles paralelos se alcanzan a diferenciar los granos de menor tamaño en el interior.
			Qc	Cuarzo Chert	Sílice criptocristalina de textura bastante homogénea, en nicoles paralelos el grano posee material arcilloso.
			Pl	Plagioclasa	Granos angulares y redondeados con meteorización parcial o completa en ocasiones con altos grados de sericitización.
			Fk	Feldespató Potásico	Granos reconocibles por tinción de color amarillo, su cara no es limpia totalmente y en ocasiones presentan micas en la superficie.
			Fi	Feldespató indiferenciable	Granos difícilmente diferenciables por su grado de alteración o por estar parcialmente disueltos.
			Ls	Lítico sedimentario	Fragmentos con granos tamaño limo y arcilla, en ocasiones con micas diseminadas, en nicoles paralelos presentan una coloración opaca por arcillas en superficie. Algunos de estos fragmentos tienen minerales pesados en el interior.
			Lm	Lítico Metamórfico	Fragmentos tabulares con fabrica esquistosa-grafítica. Constituidos por Cuarzo orientado, micas y/o grafito. En nicoles paralelos se observa claramente el grafito.
			Lv	Lítico Volcánico	Fragmentos de textura porfírica en los que se distinguen cristales embebidos en matriz microcristalina, vidrio devitrificado.
			Li	Lítico indiferenciados	Fragmentos inestables que por su alto grado de meteorización o tamaño resultan indiferenciables.
			MP	Minerales Pesados	Granos con alto relieve y altos colores de interferencia.
	INTRACUENCA O DE ORIGEN VOLCÁNICO	NO CARBONATO	Qmin	Cuarzo monocristalino intracuena	Cuarzos de caras limpias, con bahías, angulares a euhedrales.
			Plin	Plagioclasa intracuena	Fragmentos euhedrales, en ocasiones angulares, se observan claramente maclados.
			Fkin	Feldespató Potásico intracuena	Fragmentos de superficie gris oscuro, limpios.
			Fin	Feldespató indiferenciable	Fragmentos grises, manchados con micas o serpentina.
			Lvin	Lítico Volcánico intracuena	Fragmentos de vidrio volcánico en ocasiones se observan feldespatos y/o plagioclasas en su interior. También se tienen en cuenta solo los compuestos únicamente por la fracción vítrea.
			Gl	Glaucónita	Mineral de color verde en nicoles paralelos y en nicoles cruzados. Posible origen extracuena o intracuena.
			CARBONATO	Ca	Fragmentos de carbonato
	Sid	Siderita		Granos de siderita con halos de oxidación.	

Tabla 1. Definición de los tipos de granos del armazón, teniendo en cuenta su origen extracuena, intracuena o de origen volcánico. Abreviaciones: NCE= No calcáreo extracuena; NCI= No calcáreo intracuena (incluye material volcánico), CI= Calcáreo intracuena.

Abreviado	Calculo
	$Qt = ((Qm+Qpf+Qps+Qpd+Qc)*100/(Qm+Qpf+Qps+Qpd+Qc+Pl+Fk+Fi+Ls+lm+lv+li))$
	$Qm = ((Qm)*100)/(Qm+Qpf+Qps+Qpd+Qc+Pl+Fk+Fi+Ls+lm+lv+li)$
	$Fk = ((Pl+Fk+Fi)*100)/(Qm+Qpf+Qps+Qpd+Qc+Pl+Fk+Fi+Ls+Lm+Lv+Li)$
	$L = (Ls+lm+lv+li)*100/(Qm+Qpf+Qps+Qpd+Qc+Pl+Fk+Fi+Ls+Lm+Lv+Li)$
	$Lt = (Qpf+Qpd+Qc+Ls+Lm+Lv+Li)*100/(Qm+Qpf+Qps+Qpd+Qc+Pl+Fk+Fi+Ls+Lm+Lv+Li)$
	$Mt = (Qpf+Lm)*100/(Qpf+Qps+Qc+Ls+Lm+Lv+Li)$
	$Vt = (Vt)*100/(Qpf+Qps+Qc+Ls+Lm+Lv+Li)$

Tabla 2. Calculo modal realizado para la interpretación de los triángulos.

Mineral	Codigo	Descripcion
Apatito	Ap	Cristales de alto relieve, Transparentes. Figuras euhedrales prismaticas, colores anormales de interferencia
Circon	Zr	Cristales de alto relieve, Euhedrales y redondeados. Colores anormales de interferencia
Rutilo	Rt	Cristales de alto relieve, Color rojo, con clivaje en ocasiones
Turmalina	Tr	Cristales prismaticos, pleocroismo café-café claro, verde-verde claro, azul-azul claro. Altos colores de interferencia
Epidota	Ep	Cristales de alto relieve, color verde, altos colores de interferencia.
C/zoisita	C/z	Cristales tabulares transparentes a grises, con clivaje, colores anormales de interferencia.
Hematita	Hm	Cristales de color rojo. Isotropicos.
Talco	Tl	Cristales de bajo relieve, incoloro a amarillo. Colores grises de primer orden anormales.
Granate	Gr	Cristal de alto relieve, incoloro. Isotropico.
Biotita	Bi	Cristales euhedrales de color verde oscuro y café.
Hornblenda	Hn	Cristales prismaticos, pleocroismo verde-verde claro. Colores anormales de interferencia
Opacos	Op	Cristales opacos, en ocasiones euhedrales.

Tabla 3. Principales minerales pesados identificados en los montajes de grano.

Seccion	Puntos	Ap(%)	Zr(%)	Rt(%)	Tr(%)	Ep(%)	C/z(%)	Hm(%)	Tl(%)	Gr(%)	Bt	Hn(%)	Op(%)
B333	226	55	9	5	4	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	40
C540	300	19,3	32,3	4,3	14,3	2	N/I	2,7	N/I	N/I	N/I	N/I	25
D840,2	270	14,8	11,1	1,9	9,3	29,6	N/I	N/I	N/I	N/I	P	0	33,3
D843	312	22,1	15,7	1,6	9	23,7	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	27,9
D928	346	5,8	17,9	2,3	7,8	7,2	2,9	N/I	N/I	0,6	P	13,3	42,2
D937	40	14,5	10,9	1,8	7,3	9,1	N/I	N/I	N/I	N/I	P	9,1	50,9
D1005	205	15,1	36,1	2,4	8,3	14,1	1,5	0,5	1	N/I	P	N/I	21
E1584	308	8,4	29,2	2,6	13	14,6	3,2	1,9	N/I	N/I	P	N/I	26,9
G2010	327	13,8	27,5	4,6	15	5,8	N/I	2,1	N/I	N/I	N/I	N/I	31,2
US 1	235	8,5	10,6	8,5	12,8	2,1	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	51,1

P= Presencia de Biotita. N/I = No identificado.

Tabla 5. Resultados del conteo de minerales pesados.

La ubicación de las muestras en el triángulo NCE, CI y NCI indica que los componentes de las areniscas de las secciones de las formaciones Guaduas (Unidad 1), Cacho (Unidad 2) y la Formación Bogotá (Unidad 4 parte inferior y Unidad 6), Formación Regadera (Unidad 7) y Formación Usme (Unidad 8) son de origen extracuenca (Grupo 1, Fig, 5). En la parte media de la Formación Bogotá (Unidad 4 parte superior y Unidad 5) hay un cambio a arenitas híbridas con carbonato intracuenca (Grupo 2, Fig, 5) e intrarenitas no carbonato intracuenca (Unidad 4 parte superior, Grupo 3, Fig 5).

En los triángulos QtFL se grafica la composición de cada sección delgada analizada, y se presentan tendencias composicionales a lo largo de la sección estratigráfica, las cuales se resumen a continuación. La Formación Guaduas en el Sinclinal de Usme se presenta como sublitoarenitas mientras que en el sector de Subachoque presentan composiciones altamente cuarzosas para la parte inferior y aumenta levemente el contenido de líticos al tope (Tabla 4). La Formación Cacho son cuarzoarenitas cambiando a sublitoarenitas hacia el tope (figura 6 A). Las areniscas de la Formación Bogotá, la composición de las areniscas varia de sublitoarenitas a litoarenitas y se presentan rocas de composición litoarenitas feldespáticas en la unidad 4 (figuras 6C y 6E). En la Formación Regadera las areniscas se

presentan en su mayoría como cuarzoarenitas con leves variaciones a sublitoarenitas y los dos secciones delgadas analizadas para la Formación Usme son de composición cuarzoarenitas (Figura 6G).

Para los triángulos de procedencia (Figura 6 B, D, F, H), las areniscas de las formaciones Guaduas y Cacho proceden de un orógeno de composición cuarzosa, mientras que las areniscas de la parte inferior de la Formación Bogotá varían entre un orógeno de composición de origen cuarzoso y de material reciclado. La parte media de la Formación Bogotá presenta rocas cuya área fuente es de un arco disectado a origen transicional, pasando de nuevo a procedencia de orógeno reciclado. El tope de la Formación Bogotá presenta una variabilidad de orógeno reciclado a orógeno cuarzoso. Las areniscas de las formaciones Regadera y Usme indican una procedencia de orógeno cuarzoso. La variación de la fracción de fragmentos líticos indica un incremento del contenido de líticos metamórficos hacia el tope de la unidad 5 (hacia el tope de la Formación Bogotá), mientras los líticos de origen sedimentario dominan en las formaciones Guaduas, Cacho, base y tope de la Formación Bogotá, Regadera y Usme. (ver anexo 1, detritos comunes).

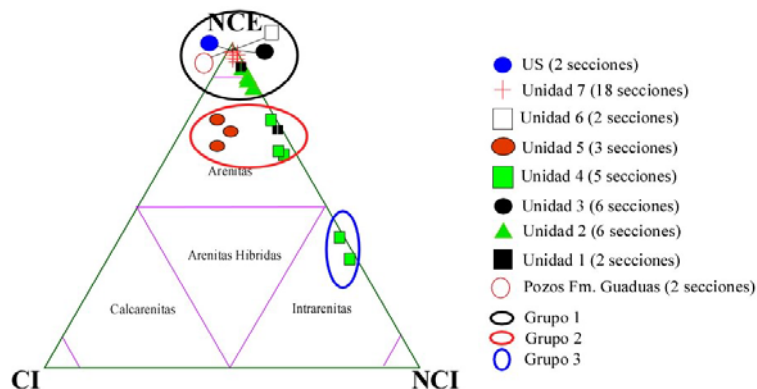


Figura 5. Triángulo NCE, CI y NCI para todas las muestras analizadas.

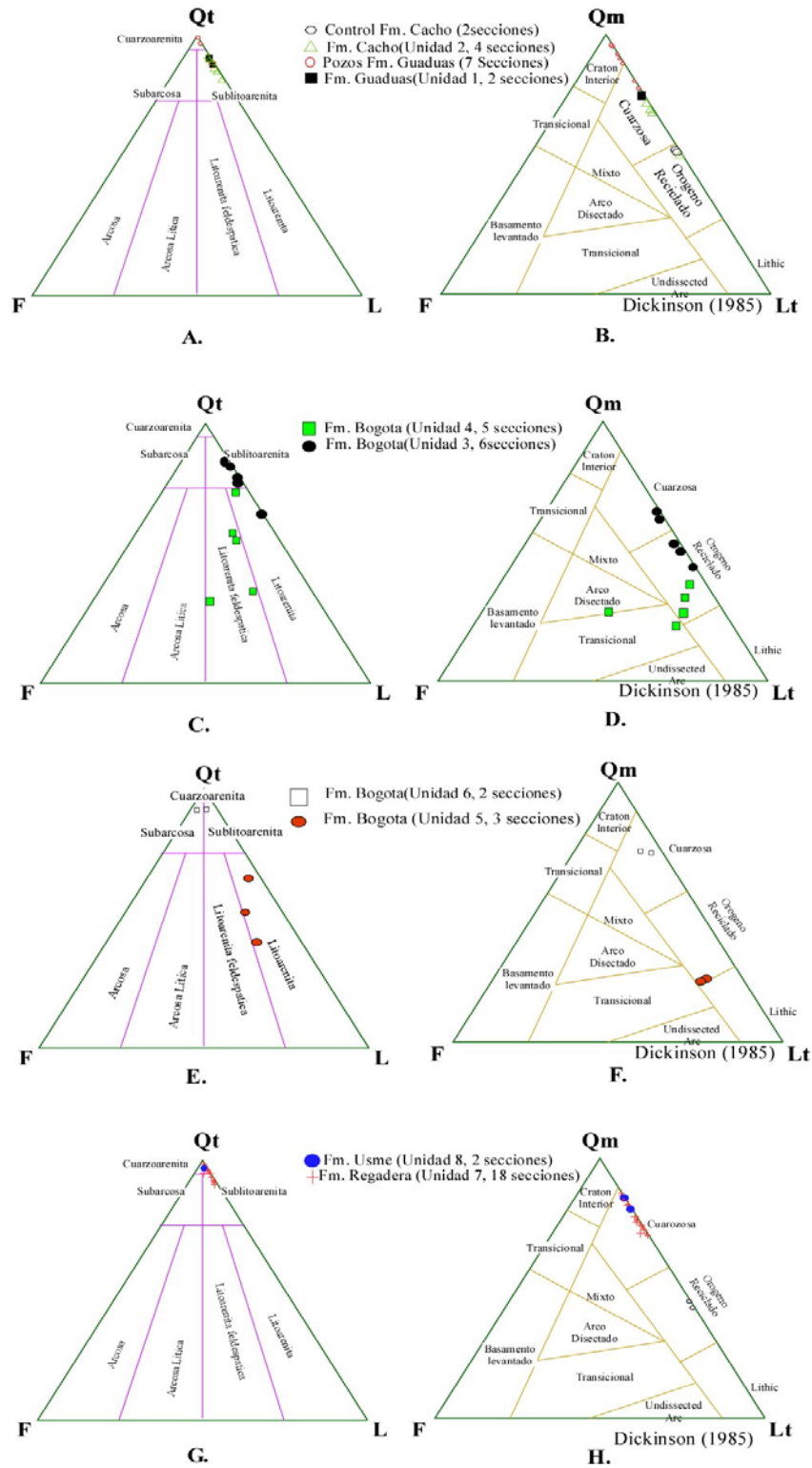


Figura 6. A, C, E, G Triángulos de Composición, B, D, F, H Triángulos de Procedencia.

El triángulo de líticos St, Vt y Mt, indica la presencia de al menos 3 grupos de muestras. El primer grupo muestra la afinidad de las Formaciones Guaduas, Cacho parte inferior de la Formación Bogotá, Regadera y Usme a un material sedimentario, el segundo grupo muestra el aumento de líticos metamórficos hacia la parte media de la Formación Bogotá (tope Unidad 4 y unidad 5). El tercer grupo (2 secciones de la unidad 4) presenta líticos volcánicos en cantidad considerable. Los dos últimos grupos sugieren afinidades con materiales metamórficos y volcánicos.

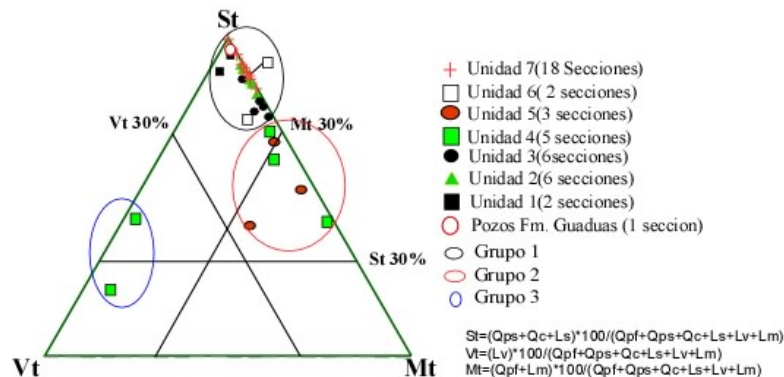


Figura 7. Triángulo de líticos St, Vt y Mt, para inferir las afinidades del área fuente.

En la Figura 8 se ilustra la variación vertical de los principales componentes del arcén con el objeto de establecer la asociación de algunos componentes detríticos (petrofacies) y definir como varían verticalmente.

A continuación se hace una breve descripción de las 6 petrofacies definidas en este estudio:

Petrofacies 1: Corresponde a los pozos P2 y parte media de P1, Caracterizado por un alto contenido de cuarzo monocristalino y una baja proporción de chert (0-5%), ausencia de plagioclasas y feldspatos y baja proporción de líticos sedimentarios (0-5%).

Petrofacies 2: Corresponde al tope de la Formación Guaduas (Pozo 1 y Unidad 1) y a la Formación Cacho (Unidad 2). Caracterizado por un alto contenido de chert (1%- 16%), ausencia de feldespatos, presencia de líticas sedimentarios y metamórficos y una variable abundancia de intraclastos silíceos (1%-21%).

Petrofacies 3: Esta petrofacies agrupa las areniscas de la unidad 3 y la parte inferior de la unidad 4 de la Formación Bogotá. Estas areniscas se caracterizan por la disminución de cuarzo chert (5%-8%), la aparición de plagioclasas (0%- 2%) y el aumento en los líticas sedimentarios (5%-18%). Los intraclastos silíceos aumentan a la base de la unidad 4.

Petrofacies 4: Corresponde a la parte media de la Unidad 4 de la Formación Bogotá, y corresponde a las rocas acumuladas o asociadas a procesos volcánicos (ARES-STRI, 2007). El contenido de detríticos NCI varía entre 57%- 66%. Además, tienen un alto contenido de líticas volcánicos intracuena y la presencia de plagioclasas macladas.

Petrofacies 5: Corresponde a las rocas de la parte superior de la Formación Bogotá (Tope Unidad 4 y Unidad 5). Son rocas con altos contenidos de detritos NCI (10%-30%), en especial intraclastos silíceos y de carbonato. Los contenidos de cuarzo disminuyen (11%-15%) y se presenta variedad de líticas sedimentarios, metamórficos y volcánicos.

Petrofacies 6: Las areniscas pertenecientes a estas petrofacies son el tope de la Formación Bogotá (Unidad 6), Formación Regadera (Unidad 7) y Formación Usme. Estas rocas presentan un aumento en el contenido de chert y los contenidos de líticas sedimentarios y líticas metamórficos son constantes. La presencia de feldespato potásico es irregular en estas unidades, mientras el contenido de plagioclasa es en la fracción traza.

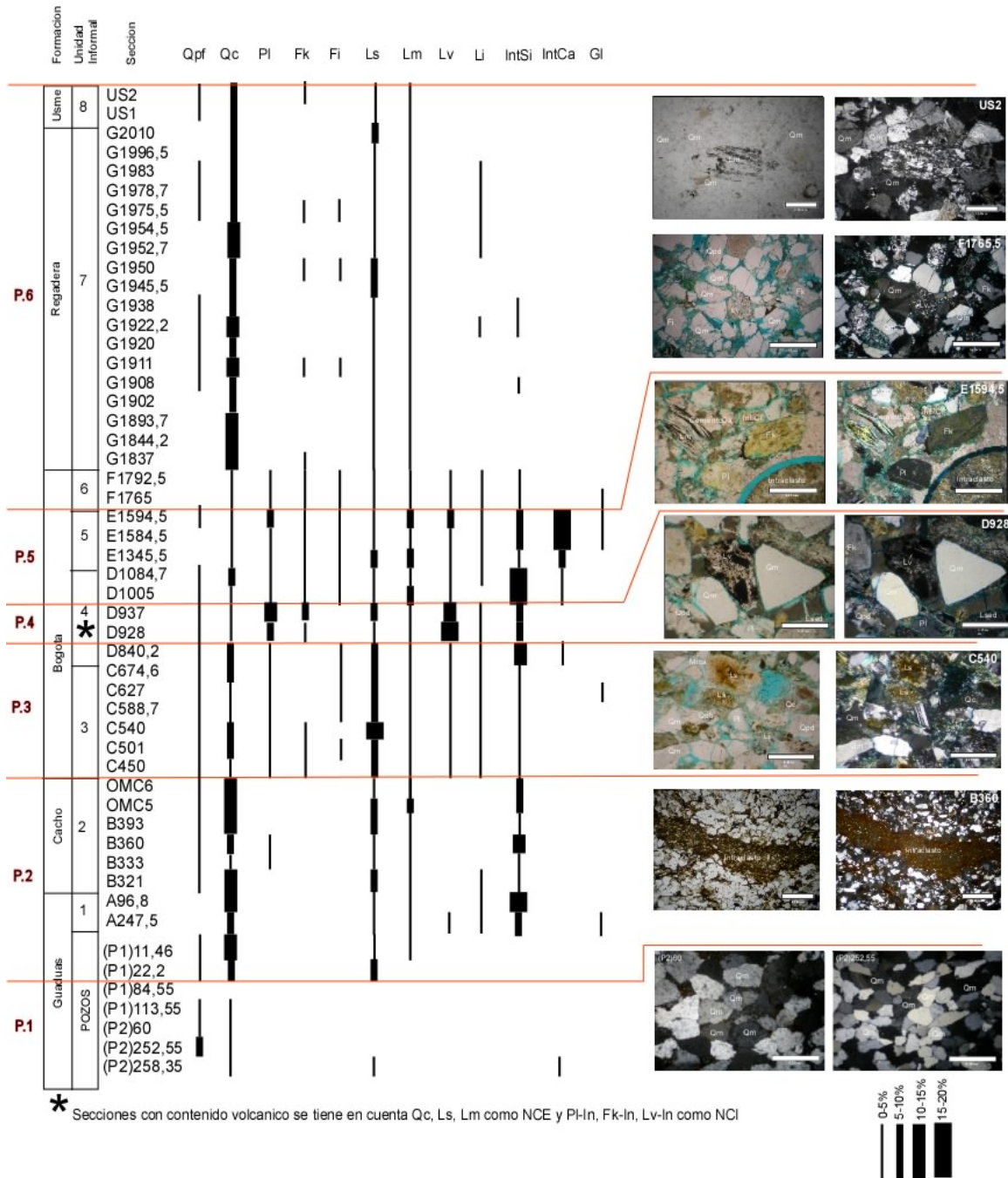


Figura 8. Petrofacies de la sucesión paleógena en el sinclinal de Usme y fotografías de las secciones representativas de cada petrofacies.

MINERALES PESADOS

En general es posible identificar algunas variaciones significativas en el contenido de minerales pesados que reflejan la madurez composicional de la roca y el aporte de fuentes con características contrastantes. La Formación Cacho se caracteriza por la abundancia de apatito de carácter anhedral desgastado, así como el contenido de opacos redondeados. La característica de los primeros es semejante a los apatitos afectados por procesos de disolución (Mange y Maurer, 1982).

Las principales variaciones composicionales dentro de la secuencia incluyen:

(1) la mayor abundancia de rutilo y turmalina en las rocas de mayor madurez composicional, como lo son las Formaciones Cacho y Regadera;

(2) la hornblenda, biotita y una serie minerales opacos aparentemente euhedrales (posiblemente ilmenita o magnetita), que son normalmente inestables, se presentan asociados con las rocas con alto contenido de material volcánico, lo que sugiere una relación entre ambas.

(3) es claro el incremento en el contenido de minerales del grupo de la epidota en la Formación Bogotá (a partir de la muestra C540 de la unidad 3) disminuyendo nuevamente en la Formación Regadera (valores del 5,8%);

(4) en la muestra D1005 de la Formación Bogotá fue identificado talco. Esta muestra presenta igualmente un incremento significativo en los fragmentos de rocas metamórficas (Figura 9), lo que sugiere una posible relación entre ambas. (ver Anexo 2, Principales minerales pesados identificados).

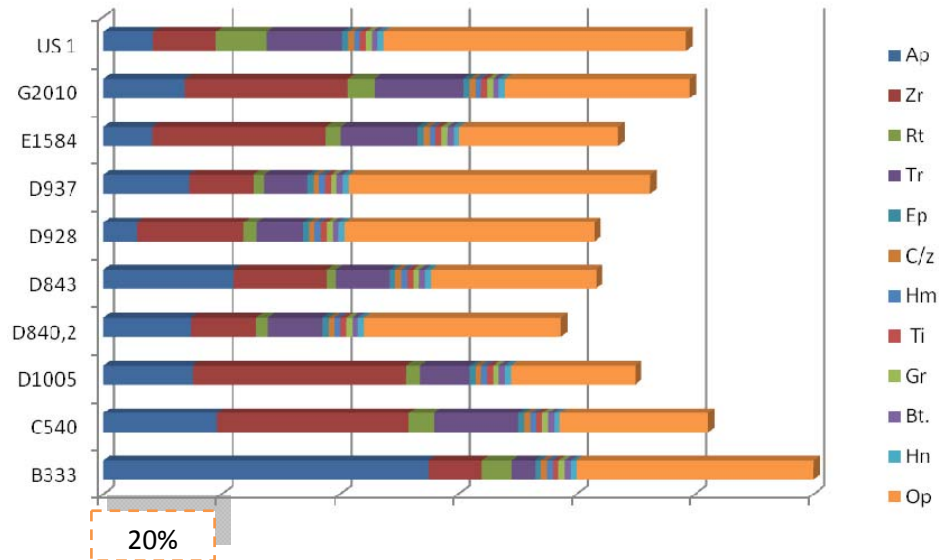


Figura 9. Contenido de minerales pesados en las secciones analizadas, el valor porcentual incrementa a la izquierda.

DISCUSION

Las muestras de los pozos analizadas en el sector del Sinclinal de Subachoque de la parte inferior de la Formación Guaduas tienen un alto contenido cuarzoso, lo que indicaría un retrabajamiento de la cobertera cuarzosa de las áreas fuente. La composición del tope de la Formación Guaduas en el sinclinal de Usme es similar a la reportada por Sarmiento (1992) para el tope de esta misma unidad.

En el sinclinal de Usme la variación de la fracción de fragmentos líticos indica un incremento del contenido de líticos metamórficos hacia el tope de la unidad 5 (hacia el tope de la Formación Bogotá), mientras los líticos de origen sedimentario dominan en las formaciones Guaduas, Cacho, base y tope de la Formación Bogotá, Regadera y Usme. Entre el tope de la Formación Guaduas hasta la parte media de la Formación Bogotá (Unidad 6), se sugiere un proceso de erosión de un área fuente con una cobertera sedimentaria predominantemente cuarzosa que reposa sobre un basamento metamórfico de bajo-medio grado (predominio de esquistos y filitas grafitosas). El aumento en los líticos

metamórficos en relación a los sedimentarios, así como la aparición de plagioclasa maclada sugiere que niveles más profundos del área de aporte estarían siendo levantados, exhumados. Lo anterior explica el incremento de la fracción de líticos, en especial de origen metamórfico, a medida que ascendemos estratigráficamente sin embargo no explica la presencia de líticos metamórficos y cuarzo policristalino foliado desde el tope de la Formación Guaduas.

Para la parte media de la Formación Bogotá (Unidad 4) se sugiere que el área fuente fue afectada por un periodo de volcanismo, lo que explicaría el contenido de plagioclasas macladas y un aumento de líticos volcánicos producto de la actividad magmática. Las distancias de las áreas fuente para las formaciones Guaduas, Cacho y base de Bogotá son cercanas debido a la baja madurez textural de la roca (i.e, contenido de material lodoso), la presencia de fragmentos líticos e intraclastos lodosos. Además, se reporta la presencia de glauconita retrabajada en la Unidad 3 de la Formación Bogotá, dinoflagelados y polen del cretácico (ARES-STRI, 2007).

En el tope de la Formación Bogotá, y en las formaciones Regadera y Usme disminuyen los líticos metamórficos y aumenta la fracción de detritos procedentes de rocas sedimentarias (Ls, Qc). Por lo tanto deducimos que el área fuente expone una cobertera sedimentaria, y por consiguiente esta área fuente difiere del área que suministro los sedimentos de las formaciones Guaduas, Cacho y parte inferior de la Formación Bogotá lo anterior difiere con la hipótesis de una sola área fuente para las formaciones Cacho y Bogotá (Hoorn 1988).

CONCLUSIONES

Las áreas fuente para las formaciones Guaduas, Cacho y Bogotá difieren de las áreas fuente de las Formaciones Regadera y Usme, debido al alto contenido de cuarzo y reducción de líticos totales. La presencia de material de origen metamórfico (Lm, Qpf) desde la base de la sección permite sugerir un posible reabajamiento de las facies conglomerática sinorogénicas procedentes de la Cordillera Central y acumuladas en lo que actualmente corresponde al cinturón de deformación del flanco Oeste de la Cordillera Oriental. La relativa cercanía del área fuente se soporta por la presencia de glauconita reabajada presencia de fragmentos inestables como feldespatos biotita y hornblenda. Existe un aporte magmático Paleógeno relativamente contemporáneo con la sedimentación que tentativamente se relaciona a un arco de esta edad, formado en la margen continental.

Las características de los minerales pesados reflejan el paso de una fuente madura donde predominan especies estables (circón, rutilo, apatito y turmalina), a un material inestable, caracterizado por minerales del grupo de la epidota, anfíbol y biotita, hasta regresar a especies de minerales estables. El anfíbol en conjunto con la biotita estarían relacionados con aporte magmático, probablemente plutónico

AGRADECIMIENTOS

En memoria de Jorge Montenegro Delgado, abuelo y ejemplo de vida. A mis Padres y a la familia Bechem en Alemania (das nennt man Schicksal!) por su incondicional apoyo y enseñanzas. A Germán Bayona de la Corporación Geológica Regional ARES y Agustín Cardona por sus aportes y enseñanzas. A la Asociación Colombiana de Geólogos y Geofísicos del Petróleo (ACGGP)- Fondo Corrigan- ARES y al Instituto Smithsonian para Investigaciones Tropicales por sus aportes económicos para la consecución del proyecto. A Ingeominas por el préstamo de equipos para el conteo, al Instituto Colombiano de Petróleo (ICP) por la tinción de las secciones y elaboración de algunas de ellas, al laboratorio GMAS por la facilitación de equipos. A los Geólogos Albeiro Lopez, Sara Morón, Felipe Lamus.

REFERENCIAS

ACOSTA, J. & BELTRÁN, W., (1987), Estratigrafía de la Formación Regadera en el flanco occidental del sinclinal de Usme (Trabajo de Grado). 81p. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Geociencias.

CALDERÓN, J. (2007), Sedimentología, proveniencia y diagénesis en el área de Samacá. Formación Cacho y Guaduas (Trabajo de Grado). 20p. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Geociencias, Bogotá.

DICKINSON, W.(1985), Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones- Zuffa, G.G. Eds. Provenance of Arenites, p 333-361.

HOORN C. Kaandorp, M. Roele, J. (1987) Tertiary sediments of the Usme Valley, Colombia: A palynological and stratigraphical approach. University of Amsterdam. pp. 1-15.

HOORN C. (1988): Quebrada del Mochuelo, type locality of the Bogotá formation: a sedimentological, petrographical and palynological study. University of Amsterdam. pp. 1-22.

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.

JARAMILLO, L., ROA, E., & TORRES, M. (1993). Relaciones estratigráficas entre las unidades arenosas del paleógeno del piedemonte Llanero y la Parte Media de la Cordillera Oriental. Tesis de Grado número 335 Universidad Nacional de Colombia.

MANGE, A. M., MAURER, W. H. (1992). Heavy minerals in colour. Chapman and Hall. p. 11-28.

SARMIENTO, G., (1992). Estratigrafía y Medio de Depósito de la Formación Guaduas: *Boletín Geológico Ingeominas.*, v. 32, no. 1-3, p. 3-44.

VAN DER HAMMEN, T. (1957) Estratigrafía palinológica de la Sabana de Bogotá. *Boletín de Geología del Ingeominas.* Volumen V Numero 2. 187-203p.

ZUFFA, G.G. (1980). Hybrid Arenites: Their composition and classification. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 50, No, 1, p. 21-29.