



## IDENTIFICACIÓN DE LAS ÁREAS DE APORTE DE LOS SEDIMENTOS AFLORES DEL CRETÁCEO TEMPRANO EN LA SERRANÍA DEL PERIJÁ

### DIRECTOR

José María Jaramillo Mejía. PhD.  
[jjaramillo@laef.com](mailto:jjaramillo@laef.com)

**Nova Rodriguez Eduer Giovanni**

Codigo:142445  
[gionovar@hotmail.com](mailto:gionovar@hotmail.com)

### FIRMA \_\_\_\_\_

### CODIRECTOR

Uwe Martens. PhD.  
[uwe.martens@yahoo.com](mailto:uwe.martens@yahoo.com)

### RESUMEN

En el presente trabajo se evalúa la procedencia de los sedimentos del Cretáceo Temprano aflorantes en la Serranía del Perijá. El área de trabajo se encuentra ubicada en las cercanías del municipio de Codazzi (Departamento del Cesar), en esta localidad se midieron 210 m de columna estratigráfica de rocas aflorantes que pertenecen a la Formación Río Negro. Se elaboraron cinco secciones delgadas de estas rocas y se encontró que están compuestas por cuarzo monocristalino y policristalino, feldespato potásico (microclina y ortoclasa), plagioclasa y fragmentos de roca; los fragmentos líticos corresponden en su mayoría a cuarcitas, rocas volcánicas, filitas y lodolitas. De estas rocas se separaron granos de circones para análisis isotópicos U/Pb. Se obtuvieron imágenes de cátodo luminiscencia de estos circones y posteriormente se realizaron 35 dataciones isotópicas U/Pb con la técnica de ablación laser y espectrometría de masas en un plasma inductivamente acoplado (LA-ICP-MS) en el laboratorio de geocronología de la Universidad de Arizona.

Las mediciones de paleocorrientes realizadas en campo indican que las áreas de aporte se encontraban al sureste de los afloramientos. Los análisis de geocronología, indican como mínimo tres eventos: (Meso Proterozoico, Cámbrico -Ordovícico y Triásico-Jurásico). Se sugiere que el área de aporte con mayor incidencia en la composición litológica de la Formación Río Negro corresponde al Macizo de Santander, siendo el Neiss de Bucaramanga y los plutones Triásicos (Batolito de Río Negro, Tonalita de Paramo Rico etc.) las unidades litológicas que probablemente estaban expuestas en superficie para el Cretáceo Temprano.

**Palabras clave.** Serranía Perijá, Procedencia, Geocronología U/Pb, LA-ICP-MS

### ABSTRACT

In this paper I tested the provenance the Early Cretaceous sediments that outcrop onto Serrania del Perija. The work area is placed near to town Codazzi (Department of Cesar), in this site I measure 210 m of stratigraphic section of outcrops rocks that I think were the Rio Negro Formation. I studied thin sections were made for these rocks and they consists of mono crystalline and polycrystalline quartz, potasic feldspar (microcline, ortoclose), plagioclase; the lithic fragments are mainly quartzite, volcanic rocks, phylites and mudstones. We separated the zircons from this. We obtained cathode luminescence images was of the zircons and 35 U/Pb isotopic ages using laser ablation and inductive coupled plasma mass spectrometer (LA-ICP-MS) at the Arizona University geochronology laboratory.

The measurements of paleo-currents on beds of Early Cretaceous sediments in Perija indicate that the source area was placed in the southeastern. The geochronological analysis indicates at least three events: (Mesoproterozoic, Cambrian-Ordovician and Triassic-Jurassic). I suggest that the most likely supply area was the Santander Massif, especially the Bucaramanga Neiss and the Triassic plutons (Rio Negro Batholith, Paramo Rico Tonalite etc.) which possibly were exposed in surface for Early Cretaceous.

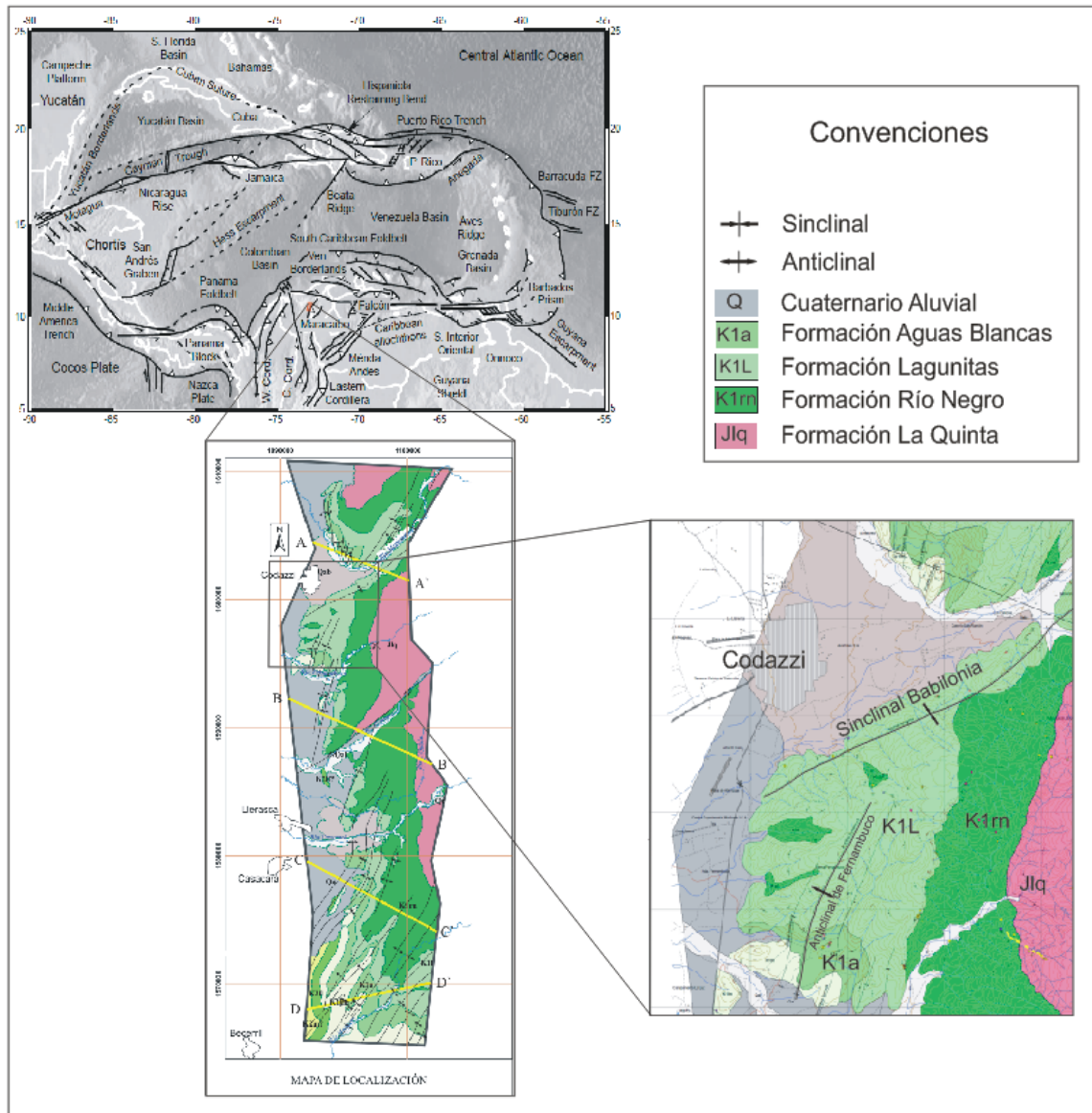
**Palabras clave.** Serranía Perijá, Provenance, Geochronology U/Pb, LA-ICP-MS

## INTRODUCCIÓN.

La evolución geológica del noroccidente de Suramérica aun es materia de debate; especialmente a partir del momento de formación de la placa Caribe. Durante el Jurásico Temprano cuando Pangea comienza a separarse, se inicia un periodo de rifting, el cual se extiende hasta el Jurásico Tardío formando cuencas en numerosos lugares (Venezuela, Colombia, Georgia, Florida, Yucatán) Pindell & Kennan (in press). Estas cuencas son llenadas por secuencias de rocas clásticas rojas (red beds) durante todo este periodo; en Venezuela y Colombia uno de los lugares donde aflora una de estas secuencias corresponde a la Serranía del Perijá.

En la Serranía de Perijá la depositación de sedimentos clásticos se extienden hasta el Aptiano; a diferencia de otras zonas adyacentes como el Valle Medio del Magdalena cuando depósitos marinos ya existían para esta época (Fm. Paja) y donde el mar va avanzando hacia el norte en Colombia (Etayo *et al.* 1976, Fabre 1985, Sarmiento-Rojas 2002), y en Venezuela la transgresión viene desde el noroccidente González de Juana *et al.*(1980). Esta sucesión clástica Pre-Aptiana es conocida en la Serranía del Perijá como la Formación Río Negro y se extiende hasta los Andes de Mérida y el lago de Maracaibo. Si bien su extensión, composición litológica y ambiente de depósito están bien establecidos, aun existe incertidumbre sobre las áreas tectónicamente elevadas que aportaban los sedimentos que corresponden a la Formación Río Negro.

El presente trabajo se desarrolla sobre una sucesión de sedimentos clásticos del Cretáceo Temprano y los cuales corresponden a la Formación Río Negro (Geoestudios 2006), que afloran en cercanías del municipio de Codazzi (Departamento de Cesar) en el área colombiana de la Serranía del Perijá (Figura 1).



**Figura 1.** Localización del área de estudio. Modificado de Pindell & Kennan (In Press) y Geoestudios (2006)

## MARCO GEOLÓGICO

Durante el Triásico los continentes de Suramerica y Norteamérica se ubican en el área noroccidental del súper continente Pangea (Sarmiento-Rojas 2002). A través del Jurásico Pangea inicia su separación, como consecuencia Norteamérica se desplaza hacia el norte, el bloque Yucatan gira 30° a 40° en sentido horario relativo al presente y en Suramerica y México grandes sistemas de rifts son formados (Pindell & Kennan In Press). En el área

que comprende Venezuela y el norte de Colombia estos rifts corresponden a los denominados por Erlich *et al.* (1999) como Surco Machiques, Surco Uribante, Surco Barquisimeto con una dirección preferencial hacia el norte y nororiente. Estos grabens fueron llenados por sedimentos rojos y rocas volcánicas (Fm. La Quinta) (Feo-Codecido *et al.* 1984, Maze 1984; Lugo & Mann, 1995). En lo que corresponde a los Surcos Machiques ubicado en la actual Serranía de Perijá y Uribante ubicado en los Andes de Mérida, posterior al evento de rifting Jurásico, sedimentos correspondientes a la Formación Rio Negro son depositados sobre rocas Jurásicas, Paleozoicas y Pre-Cámbricas. En el Cretáceo Temprano (Etayo *et al.* 1976, Fabre 1985, Sarmiento-Rojas 2002) han interpretado que el Macizo de Santa Marta y el Macizo de Santander en Colombia y (Lugo & Mann 1995, Erlich *et al.* 1999) el Bloque Paraguana, Arco de Mérida y el Arco del Baúl en Venezuela, actuaban como zonas topográficamente altas que actuaban como áreas de aporte.

### **Estratigrafía**

El Macizo de Santa Marta esta constituido por tres cinturones tectonoestratigráficos alineados hacia el nororiente (Tschanz *et al.* 1969, 1974). Los dos cinturones mas noroccidentales son esquistos pelíticos de bajo grado intruídos por rocas plutónicas calco alcalinas del Triásico-Jurásico y del Terciario. El cinturón mas suroriental esta constituido por migmatitas en facies granulita y gneises compuestos por bandas de granulitas con cuarzo-granate-ortopiroxeno-biotita de edad Pre-Cámbrica (Tschanz *et al.* 1969, Restrepo-Pace 1997).

El Macizo de Santander está compuesto por el Gneis de Bucaramanga que la unidad más antigua de edad grenviliana constituida por gneises cuarzo-feldespáticos intercalados por gneises anfibolíticos y rocas metacalcosilicatadas compuestas por diopsido-tremolita-epidota Restrepo-Pace (1997). La Formación Silgará está compuesta por filitas, cuarcitas, esquistos, metareniscas y menores cantidades de pizarra y filita calcárea de edad Cambro-Ordovícica (Royero & Clavijo 2001). Sedimentos marinos del Devónico y del Permico-Carbonifero (Paleozoico Rio Nevado, Formación Diamante) cubren a la Formación Silgará (Royero & Clavijo 2001). Plutones Triásico-Jurásicos calcoalcalinos intruyen el

basamento (Batolito de Rio Negro, Batolito Santa Bárbara, Tonalita de Paramo Rico, Batolito de Pescadero) Ward *et al.* (1973).

Los Andes de Mérida en Venezuela los constituyen rocas metamórficas precámbricas (Grupo Iglesias), y plutónicas Cámbricas (Granito el Cambur, Granito La Soledad etc.) Gonzalez de Juana *et al.* (1980) y Triásico-Jurásicas (Granito el Baúl, Granodiorita el Carmen); sedimentarias Paleozoicas (Formación Mucuchachi) (Feo-Codecido *et al.* 1984, Ostos *et al.* 2005).

En la Serranía del Perijá el Paleozoico es representado por la Formación Series de Perijá, compuestas por esquistos néisicos, filitas y cuarcitas de edad Cambro-Ordovícica (Forero, 1972); el Grupo Cachiri compuesto por un conglomerado basal con guijos de composición cuarzosa, supra yacido por una secuencia alternante de areniscas ferruginosas, areniscas arcillomícáceas y lutitas areno - calcáreas. La parte superior está constituida por una alternancia clástica calcárea con shale gris claro o negros, areniscas arcillosas rojas, calizas cristalinas con restos orgánicos y capas de chert de edad Devónico (Sutton 1946, Miller 1962, Hernández 2003).

EL Triásico-Jurásico de la Serranía del Perijá está compuesto por la Formación La Quinta que aflora tanto en Venezuela como en Colombia. Esta unidad está compuesta por una sucesión de limolitas rojas silíceas, ocasionalmente arenosas, macizas con estratificación plano paralela. Presentan laminación interna de plana paralela a ligeramente ondulada, algunas veces de arena fina, con venas de calcita y manifestaciones de malaquita. Están intercaladas con estratos medianos a gruesos de areniscas blancas, pardas y rojizas de grano fino a grueso, y niveles conglomeráticos con estratificación inclinada, cruzada y capas acuñadas. En ocasiones, esta unidad es intercalada por ignimbritas oscuras con fragmentos volcánicos de 2 a 20 cm; hacia el techo se encuentran localmente intercalaciones de tobas líticas Hernández (2003). La edad de la Formación La Quinta en el área de Venezuela es Jurásico Tardío, en tobas soldadas se hallaron edades U/Pb en circones del orden de  $150 \pm 10$  Ma, Dasch (1982), edades en trazas de fisión en circones de las mismas tobas son del orden de  $127 \pm 20$  Ma Shagam *et al.* (1984). Infra yace de forma discordante a la Formación Río Negro.

La Formación Río Negro fue designada por Hedberg (1931) quien la denominó como “Conglomerados de Río Negro” a los depósitos del Cretáceo Temprano de la Serranía del Perijá, en el Estado de Zulia (Venezuela), conformados por conglomerados y areniscas de grano grueso. En Colombia este nombre fue usado por Trumpy (1943) en la Serranía de Perijá y en el valle del río Cesar.

La Formación Río Negro tiene un espesor 3000 m en la sección tipo en la Sierra de Perijá, Venezuela, aunque varía sustancialmente según Miller (1962). Ecopetrol en el Pozo Cesar A-1X reporta un espesor de 203 m para el área al occidente de La Jagua de Ibirico. Cáceres et al. (1980) definen en su localidad tipo 1500 m de espesor. Hernández (2003) encontró un espesor de 200 m a 250 m compilando datos de campo y datos de pozos perforados en el área. Geoestudios (2006) reporta un espesor aproximado de 1000m calculado a partir de secciones estructurales.

La Formación Río Negro está compuesta en su parte basal por secuencias granodecrecientes incompletas que inician con conglomerados de matriz y clasto soportados, seguidos por arenitas conglomeráticas y termina con arenitas de grano grueso con estratificación cruzada planar; mientras que en la parte media y alta la unidad está compuesta por secuencias granodecrecientes completas que inician con arenitas de grano medio con estratificación cruzada planar y continúan con arenitas bioturbadas y terminan con lodolitas y limolitas bioturbadas, además en esta parte se encuentran varias intercalaciones de limolitas rojas y arenitas arcóscicas.

Con base en la composición litológica y las estructuras sedimentarias presentes en la Formación Río Negro Geoestudios (2006) interpreta un ambiente de depósito de ríos trezados correspondiente a la parte basal y media inferior de la unidad y un ambiente de ríos meandriformes y condiciones estuarinas para la parte media superior a alta de la unidad.

Con base en los palinomorfos *Odontochtina operculata*, *Callialasporites dampieri*, *Subtilisphaera pirnaensis* y *Oligospheridium albertainense* encontrados en capa de lodolita

negra hacia la base de la Formación Río Negro, Ramos *et al.* (1986) proponen una edad Barremiano Aptiano.

La Formación Río Negro infra yace a la Formación Lagunitas, que está compuesta por capas gruesas de wackestone fosilíferos bioturbados intercalados con mudstone fosilíferos bioturbados y lodolitas calcáreas bioturbadas Geostudios (2006). Con base en amonitas *Acanthohoplites cf. pulcher* (Riedel) Rojas (1968) le asigna una edad Aptiano. El contacto con la Formación Río Negro es transicional (Hernández 2003). En el área de Venezuela la Formación Río Negro infra yace a la Formación Apon, la cual compuesta por capas gruesas de calizas fosilíferas grises a grises azules intercaladas con shales calcáreos y shales arenosos grises oscuros Sutton (1946). La edad de la Formación Apon se basa en amonitas *Cheloniceras cf. cornuelli* (d'Orbigny) recolectadas en shales negros hacia la parte media de la unidad, que indican una edad Aptiano Tardío; y en los equinoideos *Phymosomas cf. texanum* (Roemer) ubicados en la parte superior de la unidad que corresponden al Albiano Medio Sutton (1946). El contacto con la Formación Río Negro es transicional Sutton (1946).

## **METODOLOGIA**

En la Vereda Fernambuco, ubicada al suroriente del municipio de Codazzi (Cesar) se levantó una sección estratigráfica de 210 m sobre el Arroyo Alberto, que corresponde a la Formación Río Negro. Se tomaron cinco muestras a lo largo de la sección. Se fabricaron las respectivas secciones delgadas y se hizo un análisis petrográfico de las mismas. Se realizó un conteo de al menos 300 granos en aquellas muestras que tuvieran un tamaño de grano predominante entre arena media a arena muy gruesa; cuando el tamaño predominante era arena muy fina a media se realizó un conteo de al menos 500 granos, cuando la proporción de matriz y/o cemento superaba el 30% no se realizó conteo de granos; el conteo se realizó con base en el método Gazzi-Dickinson (Ingersoll *et al.* 1984). En la Tabla 1 se muestra la definición de los tipos de granos contados y en la Tabla 2 los cálculos realizados para el análisis modal y de procedencia de los sedimentos.

Código	Nombre	Descripción
Qmo	Cuarzo monocristalino con extinción ondulosa	Granos con caras limpias, de bajo relieve, que no se extinguen completamente.
Qmr	Cuarzo monocristalino con extinción recta	Granos con caras limpias, de bajo relieve, que se extinguen completamente.
Qp	Cuarzo Policristalino	Granos con contactos suturados difíciles de distinguir, sin orientación.
Fk	Feldespatos potásico	Granos con macla microclina, caras sucias, ligeramente alterados, tinción amarilla.
Fpl	Feldespatos plagioclasa	Granos de relieve medio, con macla polisintética
Fi	Feldespatos indiferenciado	Granos muy alterados, sericitizados.
Lp	Líticos plutónicos	Granos que presentan texturas mirmerquíticas, y en su interior pequeños cristales de cuarzo y feldespatos
Lv	Líticos Volcánicos	Granos con cristales embebidos en una matriz vítrea.
Lmq	Cuarcitas	Cuarcos orientados en una dirección con algo de micas.
Lmf	Filitas	Granos con abundantes micas muy finas orientadas.
Lmes	Esquistos	Granos con abundantes micas medias orientadas
Lmgn	Gneises	Granos orientados de tamaño medio a grueso
Lsd	Sedimentarias detríticas	Granos sin orientación con contactos suturados claros, cemento silíceo.
Lsc	Sedimentarias calcáreas	Granos con fragmentos de fósiles o minerales, cemento calcáreo.
Lsch	Chert	Variedad criptocristalina de sílice, muy homogéneo.

**Tabla 1.** Categorías de granos contados en el análisis petrográfico

Código	Cálculos
Armazón	$\% \text{Armazón} = (300 / \text{Total de puntos}) * 100$
Cemento-matriz-poros	$\% \text{Material Intersticial} = (\text{Cemento} + \text{Matriz} + \text{Poros} / \text{Total de puntos}) * 100$
Qt	$\% \text{Cuarzo Total} = \% \text{Qmr} + \% \text{Qmo} + \% \text{Qp} + \% \text{Lmq} + \% \text{Lsd} + \% \text{Lsch}$
Qm	$\% \text{Cuarzo monocristalino} = \% \text{Qmr} + \% \text{Qmo}$
F	$\% \text{Feldespatos} = \% \text{Fpl} + \% \text{Fk} + \% \text{Fi}$
L	$\% \text{Líticos} = \% \text{Lp} + \% \text{Lv} + \% \text{Lmf} + \% \text{Lmgn} + \% \text{Lsc}$
Lt	$\% \text{Líticos totales} = \% \text{Lp} + \% \text{Lv} + \% \text{Lmq} + \% \text{Lmf} + \% \text{Lmgn} + \% \text{Lsd} + \% \text{Lsc} + \% \text{Lsch} + \% \text{Qp}$

**Tabla 2.** Cálculos realizados para el análisis modal



Mediciones de paleocorrientes fueron hechas en capas gruesas a muy gruesas de areniscas, cuya estructura sedimentaria en general corresponde a estratificación cruzada en artesa, correspondiente a depósitos de canal; corrección por buzamiento fue hecha sobre estas mediciones siguiendo los parámetros de Potter & Pettijohn (1963).

### **Geocronología U/Pb y Minerales Pesados**

En la sección levantada sobre el arroyo Alberto se tomaron cuatro muestras para geocronología detrítica y minerales pesados, estas muestras corresponden a areniscas de grano medio a conglomeráticas, con una masa inicial en promedio de 7 Kg. Posteriormente fueron trituradas, tamizadas y separadas por gravedad en la mesa Wilfley® en el laboratorio Gmas Ltda.

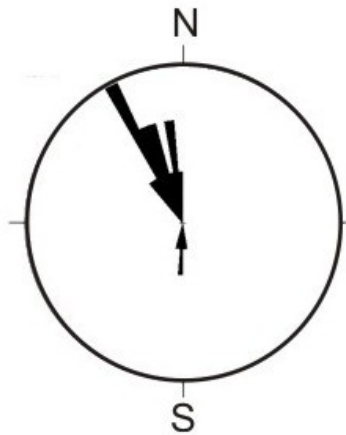
La separación de minerales pesados se realizó en laboratorio Gmas Ltda, utilizando la fracción tamizada que se encontraba en el tamaño de grano entre 0.063 mm y 0.2mm, posteriormente se utilizó Metatungstato de Litio con una densidad aproximada de  $2.95\text{g/cm}^3$ ; con la ayuda de una lupa binocular se hizo una observación preliminar de los minerales pesados encontrados

La separación de circones se realizó en el laboratorio Apatite to Zircon Inc. Primero se realizó con Metatungstato de Litio con una densidad aproximada de  $2.95\text{g/cm}^3$ , luego se realizó una separación magnética, primero con imán de mano y posteriormente con un separador magnético Frantz a diferentes intensidades de corriente. Finalmente se separó los circones de los apatitos con una solución de Yoduro de Metileno con una densidad aproximada de  $3.32\text{g/cm}^3$ . Se seleccionaron aleatoriamente unos 50 circones sin tener en cuenta tamaño, forma y color por muestra; se evaluaron las imágenes de catodoluminiscencia fueron obtenidas en la microsonda Jeol JSM- 5600LV Scanning Electron Microscope de la Universidad de Stanford, lo cual permitió caracterizar su origen magmático y los eventos metamórficos posteriores; además esto permitió establecer los lugares óptimos para análisis por ablación por láser con los cuales se obtuvieron las dataciones descritas a continuación. Las dataciones fueron hechas en el LA-ICP-MS de la Universidad de Arizona, en la cual se obtuvo edades en 35 circones

correspondientes a dos muestras. Los datos fueron procesados en el programa Isoplot desarrollado por Ludwig (2003).

## RESULTADOS

La Formación Río Negro en la sección estudiada hacia la parte basal y media se presentan secuencias grano-decrecientes, compuestas por arcosas líticas y litoarenitas feldespáticas de grano medio a conglomerático, con estratificación cruzada en artesa y conglomerados de cantos y guijos, matriz soportados se encuentran sectorizadamente. En la parte media a alta predominan arcosas de grano medio a muy fino con intercalaciones de lodolitas rojas (ver Anexo 1). Mediciones de paleocorrientes indican una dirección preferencial hacia el norte y noroeste (Figura 2). Con base en la anterior información se interpreta que la Formación Río Negro fue depositada en un ambiente de ríos trenzados, que posteriormente evolucionó hasta depositarse en un sistema de ríos meandriiformes que drenaban la cuenca hacia el noroccidente.



**Figura 2.** Diagrama rosa correspondiente a las mediciones de paleocorrientes, número de lecturas (N=32), dirección preferencial 332°.

### *Petrografía*

Las muestras analizadas muestran una composición alta en cuarzos monocristalinos y policristalinos, ortoclasas y microclina como feldespatos potásicos predominantes y una baja proporción de plagioclasas. Los líticos predominantes son plutónicos, cuarcitas, volcánicos, filitas y lodolitas, estas últimas en los conglomerados. Los minerales presentan formas subangulares a angulares y mala selección. Las muestras ubicadas en la

en la parte media a alta de la columna muestran un significativo aumento de cuarzo y feldspatos, así como un redondeamiento de los minerales y aumento de matriz de hematita. Como accesorios predomina circones en formas euhedrales, muscovitas y turmalina (ver Tabla 3 y Tabla 4).

Muestra	Total Puntos	Armazon	Cmr+Mx+Por	Fragmentos de Armazon Normalizados (%)														
				Qmo	Qmr	Qp	Fk	Fpl	Fi	Lp	Lv	Lmq	Lmf	Lmes	Lmgn	Lsd	Lsc	Lsch
CR-14	304	93,1	6,95	16	32,2	8,4	15,4	5,6	3	3,8	6	2,1	3,5	0	0	2,3	0	1,7
CR-15	375	94,7	5,3	15,3	34,5	13,9	19	4,3	4,2	0,9	1,7	1,5	2	0	0	1,7	0	0,9
CR-16	327	96,7	3,3	13,3	32,9	16,7	21,6	4,1	1,5	2,4	0	1,9	0,3	0	0	2,5	0	2,8
CR-17	589	78,5	21,5	11,5	46,6	2,4	26	3,7	4,4	2,4	0,8	0,3	1,1	0	0	0	0	0,8

**Tabla 3** Resultados para los análisis de composición total del armazón.

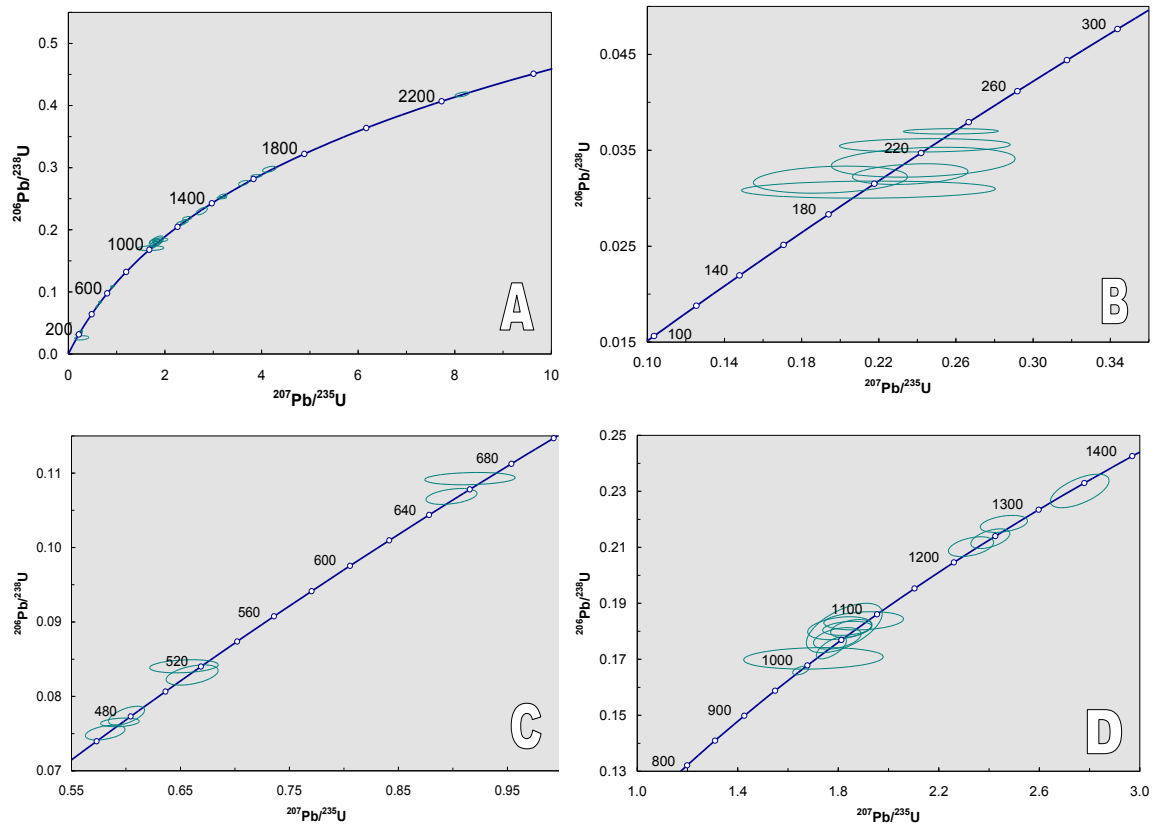
Muestra	Composición Modal					Muscovita	Circon	Turmalina
	Qt	Qm	F	L	Lt			
CR-14	62,7	48,2	24	15,4	27,4	0,3	tr	tr
CR-15	67,8	49,8	27,5	4,6	22,6	2,8	tr	tr
CR-16	70,1	46,2	27,2	2,7	26,6	tr	tr	tr
CR-17	61,6	58,5	34,1	4,3	7,8	4,1	tr	tr

**Tabla 4** Resultados para los análisis de composición modal

### ***Geocronología Detrítica U/Pb y Minerales Pesados***

35 edades isotópicas fueron obtenidas en circones procedentes de dos muestras (CR-14 y CR17). Imágenes de catodoluminiscencia muestran en general circones con tamaños entre 80  $\mu\text{m}$  y 200  $\mu\text{m}$ , euhedrales a redondeados, la mayoría presenta zonación, la cual implica su origen magmático; en una menor proporción se presentan circones con núcleos y bordes (core and rims) de origen metamórfico. Los diagramas de concordia (Figura 3) muestran tres poblaciones de edades concordantes en su mayoría, una población de edad Mesoproterozoica (1.0 Ga a 1.6 Ga) en circones con formas redondeadas principalmente; otra población de edad Cámbrico - Ordovícica (460 Ma a

520 Ma) en circones subredondeados y finalmente una población de edad Triásico – Jurásico (240 Ma a 180 Ma) en circones euhedrales preferencialmente.



**Figura 3.** Diagramas de concordia para las muestras analizadas. **A.** Diagrama con todas las edades obtenidas. **B** Diagrama correspondiente a la población de datos Triásico-Jurásico. **C** Diagrama correspondiente a la población de datos Cámbrico-Ordovícicos **D.** Diagrama correspondiente a la población de datos Mesoproterozoicos.

Resultados preliminares sobre análisis de minerales pesados muestran una relativa abundancia de monacita, rutilo y magnetita, respecto de apatitos y circones; en una menor proporción se encuentran turmalinas que ya habían sido observadas en las secciones delgadas. En general la mayoría de minerales pesados presentan formas anhedrales a subhedrales, especialmente apatitos y turmalinas.

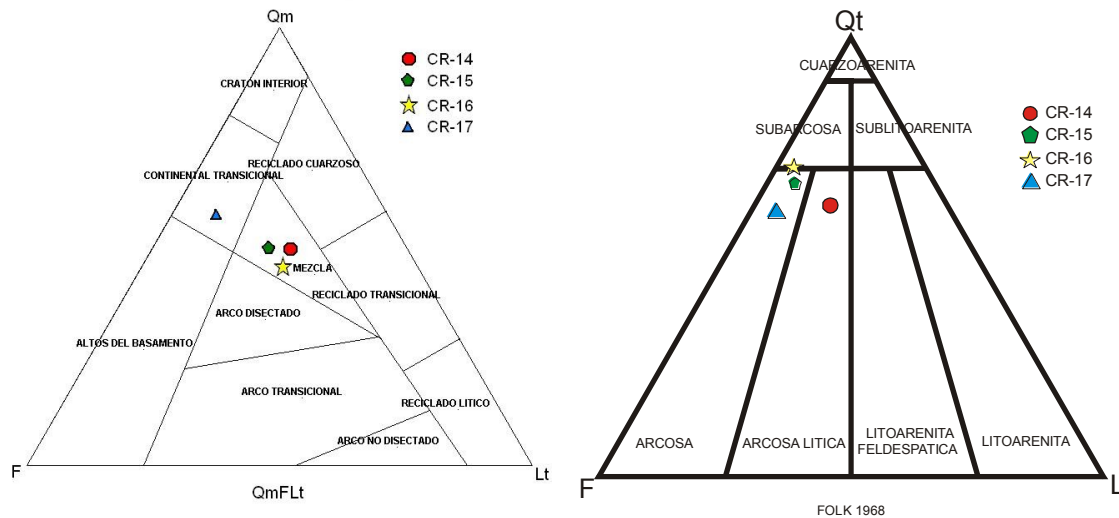
## DISCUSIÓN

Durante el Cretácico Temprano la depositación de sedimentos terrígenos de ambientes fluviales dominaron la sedimentación de las cuencas cretácicas al norte de Colombia y el Noroccidente de Venezuela.

En Colombia áreas como el Macizo de Floresta-Santander y la Sierra Nevada de Santa Marta han sido interpretadas como zonas tectónicamente levantadas y que se constituyen en áreas de aporte para estos sedimentos (Sarmiento Rojas 2002). En Venezuela un área de aporte similar a las de Colombia la constituye el arco de Mérida, una estructura observada en perfiles sísmicos con dirección hacia el noroccidente (González de Juana 1980, Lugo & Mann 1995).

De acuerdo con los datos de paleocorrientes, las áreas fuente se encontraban hacia el sureste; descartando en un primer término a la Sierra Nevada de Santa Marta como área fuente. Con base en lo anterior las zonas de origen de las rocas de la Formación Río Negro más probables corresponden al paleoalto del macizo de Floresta-Santander, el Arco de Mérida y el Escudo de Guyana. Estas áreas están conformadas por cuerpos plutónicos y metamórficos. Los análisis petrográficos indican que las rocas que mayor aporte de minerales dejaron a la Formación Río Negro en primer lugar fueron granitos y ortoneises, esto debido al alto contenido de feldespatos y las formas subhedrales que estos presentan, un significativo contenido de cuarzo monocristalino ondulado y buena proporción de minerales pesados típicos de rocas plutónicas como circón, turmalina y monacita. La segunda roca fuente corresponde a rocas metamórficas de bajo grado (cuarcitas, filitas). La tercera roca fuente la constituye rocas sedimentarias terrígenas, representadas por clastos de lodolitas en los conglomerados y la presencia de cuarzo policristalino sin orientación. Los anteriores factores son los responsables de la composición arcósica predominante para las rocas de la Formación Río Negro (Figura 4).

Si bien se tiene establecido cuales son las rocas fuente predominantes, no se tenía claro a que unidades litológicas correspondían estas rocas; con la ayuda de dataciones geocronológicas U/Pb en circones, las cuales permitieron establecer cuáles de estas unidades litológicas tiene mayor incidencia en la composición de las rocas de la Formación Río Negro.

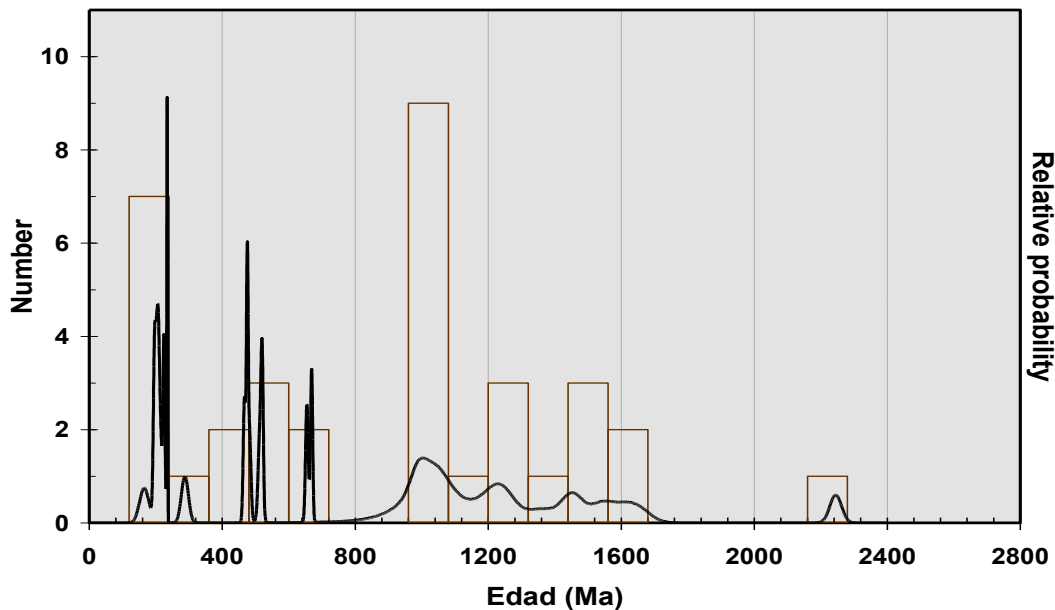


**Figura 4.** Izquierda. Diagrama de discriminación tectónica Dickinson (1985). Derecha diagrama de clasificación composicional de rocas Folk (1968)

En las Figuras 5 y 6 se muestran, el diagrama la probabilidad relativa de la edad encontrada en circones separados e imágenes de catodoluminiscencia de los mismos. En ellos se identifico al menos tres poblaciones de edades.

Una población de edad Mesoproterozoica (1.0 Ga – 1.6 Ga), con circones de formas subredondeadas a redondeadas y zonación magmática clara. Este población probablemente pertenezca al Neiss de Bucaramanga compuesto por paraneises cuarzo feldespáticos, hornbléndicos, micáceos y granatíferos y cantidades subordinadas de anfibolitas, cuya edad K/Ar en hornblenda de  $945 \pm 40$  Ma reportada por Ward et al. (1973) se encuentra cerca a este rango de datos; en los Andes de Mérida se encuentra una unidad de edad similar llamada el Grupo Iglesias, compuesto ortoneises biotíticos, neises migamíticos, neisis granatíferos González de Juana *et al.* (1980), y cuya edad mínima Pb/Pb corresponde a 1133 Ma de acuerdo con Burkley (1976). El evento formador de esta conjunto de poblaciones se conoce a nivel mundial como la orogenia grenviliana y denominada por González de Juana como Orogenia Orinoquiense para este sector de Suramerica; debido a la similitud litológica y de edad se concluye que estos dos cuerpos

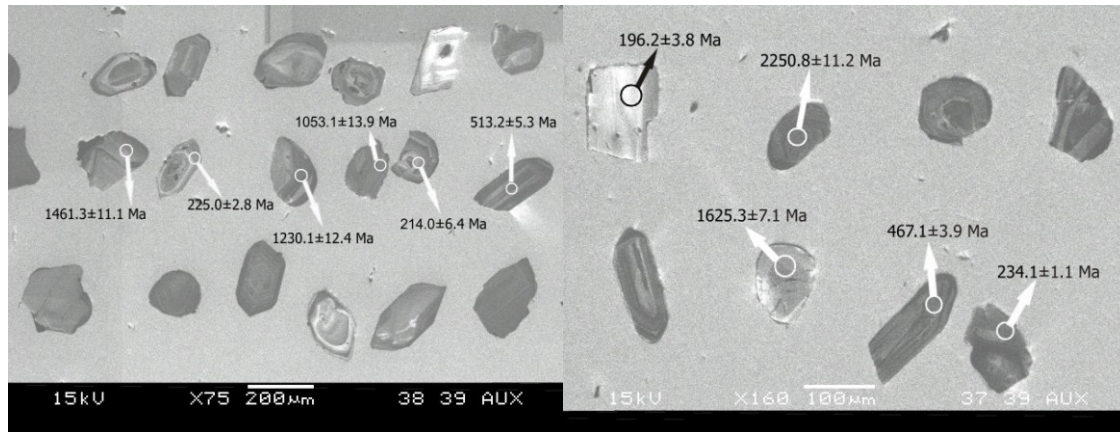
probablemente constituyen las rocas fuente representado por esta primera población de edades.



**Figura 5.** Diagrama de probabilidad relativa y densidad. Las edades menores a 800 Ma fueron calculadas con el método  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  y aquellas con una edad superior a 800 Ma fueron calculadas con el método  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ .

La siguiente población corresponde al Cámbrico – Ordovícico (520 Ma – 480 Ma) con circones subhedrales y con zonación magmática. A esta población probablemente pertenezca el Ortoneis de Berlin compuesto por neises cuarzo feldespáticos, augen neiss y neisis biotíticos, cuya edad Rb/Sr en roca total es de  $450 \pm 80$  Ma según Ward *et al.* (1973). En Venezuela cuerpos de esta edad son el Granito de Valera-La Puerta, compuesto por cuarzo, ortoclasa, microclina biotita y muscovita que de acuerdo con Burkley (1976) su edad U/Pb en circones es de  $595 \pm 0.4$  Ma; dataciones recientes en rocas del macizo del Baúl (Suroriente de Venezuela), por el método de U/Pb SHRIMP-RG en circones del Granito Mogote del Cámbrico Tardío ( $493.8 \pm 5.2$  Ma) indican que para el este periodo existió un evento plutónico relacionado con los Andes de Merida Viscarret *et al.* (2008). En el Cinturón de la Costa (Norte de Caracas, Venezuela) Sisson *et al.* (2005) reportan dos cuerpos cristalinos (Gneiss Guaremal y Granito Choroní) con edades que oscilan entre  $501 \pm 25$  Ma y  $512.4 \pm 12.9$  Ma respectivamente, para Ostos *et al.* (2005) y Sisson *et al.* (2005), este conjunto de rocas ígneas y metaígneas Cambro-Ordovícicas

pueden ser correlacionadas con un sistema orogénico acrecionado sobre el Escudo de Guyana.



**Figura6.** Imágenes de Catodoluminiscencia de circones datados. Izquierda circones correspondientes a la muestra CR-14. Derecha circones correspondientes a la muestra CR-17

Una última población presenta edades del Triásico – Jurasico (240 Ma a 180 Ma) en circones subhedrales a euhedrales prismáticos bipiramidales, con zonación perfecta. En el Macizo de Santander cuerpos plutónicos de este intervalo de tiempo son Batolito de Río Negro ( $177\pm6$ , K/Ar en Biotita), Batolito de Mogotes ( $193\pm6$ , K/Ar en Biotita), Batolito de Santa Bárbara ( $194\pm7$ , K/Ar en Biotita) y Cuarzomonzonita La Corcova ( $195\pm7$ , K/Ar en Muscovita) Ward *et al.* (1973); las anteriores edades corresponden a edades de enfriamiento, lo cual indica que sus edades de cristalización son más antiguas y por ende están más relacionadas con las edades de los circones reportadas en este estudio. Dörr *et al.* (1995) reportan edades U/Pb en circones del orden de  $205 \pm 5$  Ma para la Tonalita de Páramo Rico.

En Venezuela en la Serranía del Perijá se encuentra el Granito El Palmar compuesto por ortoclasa, microclina, cuarzo y en menor proporción albita González de Juana *et al.* (1980). Mencher (1963) reporta una edad K/Ar de 210 Ma para este cuerpo. En parte norte de los Andes de Mérida se encuentra la Granodiorita el Carmen compuesta por cuarzo, feldespato, biotita y muscovita de grano medio, Burkley (1976) le asigna una edad U/Pb en circones de  $225\pm25$  Ma. Además se presenta la Monzonita Cuarcifera de la



Culata descrita por González de Juana *et al.* (1980) como una roca biotítico-muscovítica con cuarzo, microclina y plagiocasa de grano medio a grueso.

El emplazamiento de estos cuerpos se enmarca dentro de una tectónica de arco magmático relacionado a subducción de la placa de Farallón bajo la placa Suramericana. Bayona *et al.* (2006).

Finalmente los diagramas de discriminación tectónica (Figura 4) indican que la Formación Río Negro proviene de una área mezclada entre una zona rift, un orógeno reciclado y un arco magmático, los datos de geocronología y la composición de las rocas (alto contenido de feldespatos) demuestran una amplia influencia de la zona de rift y el arco magmático sobre el orógeno reciclado, y reafirma las observaciones hechas por (Sarmiento Rojas 2002 y Bayona *et al.* 2006) sobre la conformación de una cuenca tipo rift intra continental acompañada de deformación transtensional para la parte norte de Colombia durante el Cretácico Temprano.

## CONCLUSIONES

Las principales áreas de aporte durante el Cretácico Temprano correspondiente a los sedimentos de la Formación Río Negro se encontraban hacia el sureste, siendo rocas cuarzo-feldespatíticas las que tuvieron mayor incidencia en la composición de las rocas de la Formación Río Negro; estas rocas pertenecen a cuerpos plutónicos metamórficos de alto grado formados durante tres intervalos de tiempo y cuya génesis obedece a diferentes eventos tectónicos; estos intervalos corresponden al Mesoproterozoico, Cámbrico-Ordovícico y Triásico-Jurásico; estos cuerpos se encuentran asociados al Macizo de Santander y a los Andes de Mérida; siendo estas dos áreas las zonas de mayor aporte de sedimentos, que para el Cretácico Temprano se encontraban expuestas en superficie y probablemente constituían uno o varios bloques levantados (Paleoalto de Floresta-Santander y Arco de Mérida) limitados por fallas normales.

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a mi familia por todo su apoyo incondicional durante estos largos años, a la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) por permitirme usar parte de la información para el buen desarrollo de este trabajo, al profesor José María Jaramillo y a Uwe Martens por sus invaluable comentarios y enseñanzas, a la Corporación Geologica Ares por creer en este proyecto y su apoyo, a mi compañera de trabajo Paola Montaña por toda la paciencia que tuvo conmigo, a los habitantes de Codazzi por su amable hospitalidad en especial a Checho y su familia, a la Universidad de Arizona y Universidad de Stanford por la accesibilidad a los equipos y al laboratorio Gmas Ltda por la preparación de la mayoría de la muestras.

## BIBLIOGRAFIA

- BAYONA G., RAPALINI A., COSTANZO-ALVAREZ V. (2006)** Paleomagnetism in Mesozoic rocks of the Northern Andes and its Implications in Mesozoic Tectonics of Northwestern South America. *Earth Planets Space* No. 58 pp 1255–1272
- BURKLEY, L.A., (1976).** Geochronology of the Central Venezuelan Andes. Unpublished PhD thesis. Case Western Reserve University, 150 p.
- CÁCERES, H.; CAMACHO, R.; REYES, J. (1980).** Guide book to the geology of the Ranchería Basin. *Soc. Col. Geol. Geofís. Petr.*
- DASCH, L.E., (1982).** U–Pb Geochronology of the Sierra de Perijá. Unpublished PhD thesis. Case Western Reserve University, 163 p.
- DICKINSON, W.R. (1970).** Interpreting detrital modes of greywacke and arkose. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 40, n. 2, p 695-707.
- DICKINSON, W.R. (1985).** Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones- Zuffa, G.G. Eds. *Provenance of Arenites*, p 333-361.
- DÖRR, W., J. R. GRÖSSER, G. I. RODRIGUEZ, AND U. KRAMM. (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.

**ERLICH, R. MACSOTAY I., NEDERBRAGT A.J., LORENTE M A. (1999).** Palaeoecology, palaeogeography and depositional environments of Upper Cretaceous rocks of western Venezuela. *En: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 153, No. 1-4, pp. 203-238.

**ETAYO F., RENZONI G., BARRERO D. (1976).** Contornos Sucesivos del mar Cretacico en Colombia. Primer Congreso Colombiano de Geología, Memorias, Bogotá 23p.

**FABRE, A. (1985).** Estratigrafía de la Sierra Nevada del Cocuy . Boyaca y Arauca, Cordillera Oriental (Colombia). *Geología Norandina*, v.4, p.3-12.

**FEO-CODECIDO G., SMITH F.D., ABOUD N., DI GIACOMO E. (1984).** Basement and Paleozoic rocks of the Venezuelan Llanos Basin. In: Bonini, W.e., Hargraves, R.B., Shagam, R.(Eds), *The Caribbean-South American Plate Boundary and Regional Tectonics* Geological Society of America Memoir 162,. Pp 175-187.

**FORERO, A (1972).** Estratigrafía del Pre cretácico en el flanco occidental de la Serranía de Perijá. Universidad Nacional, Geología Colombiana. Vol. 7, pp. 7-78. Bogotá,

**GEOESTUDIOS, LTDA (2006).** Cartografía Geológica Cuenca Cesar – Ranchería, Informe Final. p. 95.

**GONZALEZ DE JUANA, C., ITURRALDE DE, A.J.M., PICARD, C.X., (1980).** Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas: Ediciones Foninves, 151 p.

**HERNANDEZ, M (2003).** Memoria Explicativa Geología Plancha 48, Jagua de Ibirico. Escala 1:100.000, INGEOMINAS. Bogotá,

**INGERSOLL, R.V., BULLARD, T. F., FORD, R. L., GRIMM, J. P., PICKLE, J. D. & 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, n 1, p. 103-116.

**KENNAN L. & PINDELL J. (In Press).** Dextral shear, terrane accretion and basin formation in the Northern Andes: best explained by interaction with a Pacific-derived Caribbean Plate In: James, K., Lorente, M. A. & Pindell, J. (eds) *The geology and evolution of the region between North and South America*. Geological Society of London, Special Publication.

**KÜNDING, E. (1938).** The Pre-cretaceous rocks of the Central Venezuelan Andes with some remarks about the tectonics. *Serv. Tecn. Min. Geol. Venezuela. Boletín Geológico Minero*, Vol. 2, No. 2-4, pp. 21-43. Caracas.

**LUGO J & MANN P. (1995).** Jurassic-Eocene tectonic evolution of Maracaibo Basin, Venezuela. In: Tankard, A.J., Surez Soruco, R., Welsink, H.J., (Eds), *Petroleum Basins of South America*. AAPG. Memoir. 62, pp 699-725.

**MAZE, W. B. (1984).** Jurassic La Quinta formation in the Sierra Perijá, northwestern Venezuela: geology and tectonic environment of red beds and volcanic rocks. In: Bonini, W.e., Hargraves, R.B.; Shagam, R.(Eds), *The Caribbean-South American Plate Boundary and Regional Tectonics*. Geological Society of America Memoir 162, pp 263-282

**MENCHER J. (1963).** Tectonic history of Venezuela In: O. Childs & W. Beebe (Eds), *Backbone of Americas, Tectonic History from pole to Pole*. AAPG, Memoir 2, pp 73-87.

**MILLER, J. B. (1962).** Tectonic trends in Sierra de Perijá and adjacent parts of Venezuela and Colombia. AAPG Bulletin, v 46, n. 9, p 1565-1595.

**OSTOS M., YORIS F., AVE LALLEMANT H. (2005).** Overview of the SE Caribbean – South America Plate Boundary zone In: Ave Lallemand, H.G and Sisson, V.B., Eds. *Caribbean – South America Plate Interactions, Venezuela: GSA Special paper 394*. Pp 53-89.

**PINDELL, J. L. & KENNAN, L. (In Press).** Tectonic evolution of the Gulf of Mexico, Caribbean and northern South America in the mantle reference frame: an update. In: James, K., Lorente, M. A. & Pindell, J. (eds) *The geology and evolution of the region between North and South America*. Geological Society of London, Special Publication

**POTTER & PETTIJOHN. (1963).** Paleocurrents and Basin Análisis. Eds. Springer-Verlag. Berlin. Pp 295.

**RAMOS, I. P., A. FASOLA, G. GIFFUNI Y L. TERÁN. (1986).** Informe bioestratigráfico preliminar de las secciones de superficie de La Vueltoza (río Caparo) y Borde Seco (río Camburito), estado Táchira. Informe inédito de INTEVEP para Corpoven: 19 p

**RESTREPO – PACE P. RUIZ J., GEHRELS G., COSCA M. (1997).** Geochronology and Nd isotopic data of Grenville-age rocks in the Colombian –andes: new Constraints for Late Proterozoic – Early Paleozoic Palecontinental reconstructios of the Americas. *Earth and Planetary Science Letters* 150. Pp 427-414.

**ROJAS, O. (1968).** Geological reconnaissance in the Cesar Valley and Eastern lower Magdalena Valley. Col. Petr. Comp. Geol. Report. 363, 30 p. Bogotá.

**ROYERO JM & CLAVIJO J. (2001).** Memoria explicativa del Departamento de Santander escala 1:400000. Ingeominas Bogotá. 80 p.

**SARMIENTO ROJAS L.F. (2002).** Mesozoic rifting and Cenozoic basin inversion history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes. Inferences from tectonic models. PhD Thesis, Vrije Universiteit. 295 p. Amsterdam.

**SISSON V.B., AVE LALLEMANT H., OSTOS M., BLYTHE A., SNEE L., COPELAND P., WRIGHT J., DONELICK R., GUTH L. (2005).** Overview of radiometric ages in three allochthonous belts of Northern Venezuela: Old ones, New ones, and their impact on regional geology In: Ave Lallemand, H.G and Sisson, V.B., Eds. *Caribbean – South America Plate Interactions, Venezuela: GSA Special paper 394.* Pp 53-89.

**SHAGAM, R., KOHN, B. P., BANKS, P. O., DASCH, L. E., VARGAS, R., RODRIGUEZ, G. I. & PIMENTEL, N. (1984).** Tectonic implications of Cretaceous-Pliocene fission-track ages from rocks of the circum-Maracaibo Basin region of western Venezuela and eastern Colombia. In: Bonini, W.e., Hargraves, R.B., Shagam, R.(Eds), *The Caribbean-South American Plate Boundary and Regional Tectonics.* Geological Society of America Memoir 162, p 385-412.

**SUTTON, F.A. (1946).** Geology of Maracaibo Basin, Venezuela. AAPG Bulletin 30 vol 10. Pp 1621-1741.

**TRUMPY, D. (1943).** Pre-Cretaceous of Colombia. GSA bulletin Vol 54 No 9 p. 1281-1304.

**TSCHANZ, C. M., JIMENO, A. & CRUZ, J. (1969).** Geology of the Sierra Nevada de Santa Marta area (Colombia). Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras, Informe 1829. 305 p.

**TSCHANZ, C., MARVIN, R., CRUZ, J., MEHNERT. H. & CEBULA, G. (1974).** Geologic Evolution of the Sierra Nevada de Santa Marta, Northeastern Colombia. - Geological Society of American Bulletin v. 85, p 273-284.

**VISCARRET, PATXI., WRIGHT, JAMES., URBANI, FRANCO (2008).** U-Pb SHRIMP zircon geochronology of el Baúl Massif, Cojedes State, Venezuela *Abstract Volume of the 18th Caribbean Geological Conference, 24–28 Marzo de 2008, Santo Domingo, Republica Dominicana.*

**WARD, D., GOLSMITH, R., CRUZ, J. AND RESTREPO, H. (1973).** Geología de los cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona, Depto. de Santander. Boletín Geológico Ingeominas, Bogotá, 21 (1-3): 1-132.



