

Petrogenetic elements of El Carmen granodiorite. Northeast Merida City, Merida state, Venezuela

María D. Tazzo-Rangel*, **Tábata Hoeger L.**, **Ángel Andara**, **María C. Maninat**

*Grupo de Investigaciones TERRA, Universidad de Los Andes,
Núcleo Universitario Pedro Rincón Gutiérrez (La Hechicera). Mérida 5101, Venezuela.
Tlfs.: 0274-2402244/0424-5346914. Fax: 0274-2402229. * mdtazzo@ula.ve*

Abstract

The El Carmen Granodiorite (Upper Triassic) is an igneous body that extends for about 40 km from Capilla del Carmen Sector northwest of Merida city, until the head of Turmero river, near Pico El Águila area. The granitic mass has a linear shape, featuring sinuous gradational intrusive contact with Iglesias Complex schists (Neoproterozoic), and abrupt fault contact with both sedimentary formations of Cretaceous and Paleogene, and with Iglesias Complex. From a mineralogical and textural point of view, this granitoid is an homogeneous body with coarse to medium-grained phaneritic texture. It can be found local tonalitic, monzogranitic and pegmatitic dikes, which are generally a little more than one meter thick, and cogenetic with El Carmen Granodiorite. Chemical analysis indicate that this granitoid is peraluminous and calc-alkaline, being the result of partial melting of metapelites which gives it an S-type granitoid character, with a possible basaltic contamination. Its emplacement was synorogenic, and probably occurred in a volcanic arc tectonic setting, associated with the western edge of Pangea.

Keywords: petrogenesis, Geochemistry, Granitoids Rocks Petrography, Venezuelan Central Andes.

Elementos petrogenéticos de la granodiorita de El Carmen. Sector Capilla del Carmen y Cacute, Noreste de la ciudad de Mérida, estado Mérida, Venezuela

Resumen

La Granodiorita de El Carmen (Triásico Superior), es un cuerpo que se extiende por unos 40 km desde el Sector Capilla del Carmen al noroeste de la Ciudad de Mérida, hasta la naciente del río El Turmero, en las inmediaciones del Pico El Águila. La masa granítica posee una forma lineal, presentando contacto intrusivo de forma sinuosa y carácter gradacional con los esquistos del Complejo Iglesias (Neoproterozoico) y, contacto abrupto por falla tanto con formaciones sedimentarias del Cretácico y Paleógeno, como con el mismo Complejo Iglesias. Desde el punto de vista mineralógico y textural, este granitoide es un cuerpo homogéneo, con textura fanerítica de grano grueso a medio y en él pueden encontrarse diques tonalíticos, monzograníticos y pegmatíticos, los cuales tienen en general poco más de un metro de espesor y son cogenéticos con dicho cuerpo. Los análisis químicos indican que el cuerpo es peraluminico y calco-alcálico, siendo probablemente producto de la fusión parcial de metapelitas, lo cual le confiere un carácter de granitoide tipo S, con una posible contaminación basáltica. Su emplazamiento es sinorogénico y ocurrió en un ambiente tectónico tipo arco volcánico, asociado al borde oeste de Pangea.

Palabras clave: petrogénesis, geoquímica, petrografía de rocas granitoides, Andes Centrales Venezolanas.

Introducción

La Granodiorita de El Carmen (GEC) es una de las masas graníticas principales en Los Andes nor-centrales de Venezuela, paralela a la directriz andina principal (NE-SO), ubicada al norte del río Chama y se extiende desde las cercanías del sector Capilla del Carmen, al noreste de la Ciudad de Mérida, hasta la naciente del río Turmero en las inmediaciones del Pico El Águila, con unos 40 km de longitud [1]; para este estudio, se consideró la porción del cuerpo aflorante entre el sector Capilla del Carmen y Cacute, al noreste de la ciudad de Mérida, la cual presenta una longitud aproximada de 15km (Figura 1). De este granitoide, existen sólo algunas relaciones de campo, descripciones petrográficas de poco detalle y dataciones radiométricas (Ramírez *et al.* [2] Rb-Sr 215 ± 15 Ma; Burkley [3] U-Pb 225 ± 25 Ma y Rb-Sr 200 ± 25 Ma; Cordani *et al.* [4] K-Ar 210 ± 17 Ma, Van der Lelij *et al.* [5] U-Pb $211,6 \pm 1,0$ Ma). Por ello, en esta investigación se estudió la petrografía y la química en roca total para establecer los elementos de un modelo petrogenético aproximado para el cuerpo, estimar el ambiente tectónico de emplazamiento, fuente magmática y condiciones de cristalización. En el área de estudio,

la GEC está en contacto intrusivo y por falla con el Complejo Iglesias (CI, Neoproterozoico? Burkley [3]), cuya litología es de esquistos micáceos metamorizados a la Facies de los Esquistos Verdes y también está en contacto por falla con formaciones sedimentarias del Cretácico y Paleógeno (Figura 1). De acuerdo a las relaciones de campo y la petrografía, las rocas estudiadas fueron divididas en cuatro grupos: granodioritas (de mayor expresión y distribución areal), diques tonalíticos, diques monzograníticos y diques pegmatíticos.

Materiales y métodos

El estudio se realizó mediante un levantamiento geológico de superficie, para la descripción y muestreo de afloramientos, estableciendo las relaciones de campo del cuerpo con las unidades adyacentes. El procesamiento de las muestras consistió en la elaboración de 19 secciones finas del granitoide, para el análisis petrográfico y clasificación mineralógica del cuerpo; los tipos de plagioclasa fueron determinados ópticamente. Siete muestras fueron sometidas a análisis químico en roca total, en los laboratorios comerciales Actlabs C.A. en Canadá, mediante ICP-MS. Además, se recolectó una muestra para análisis

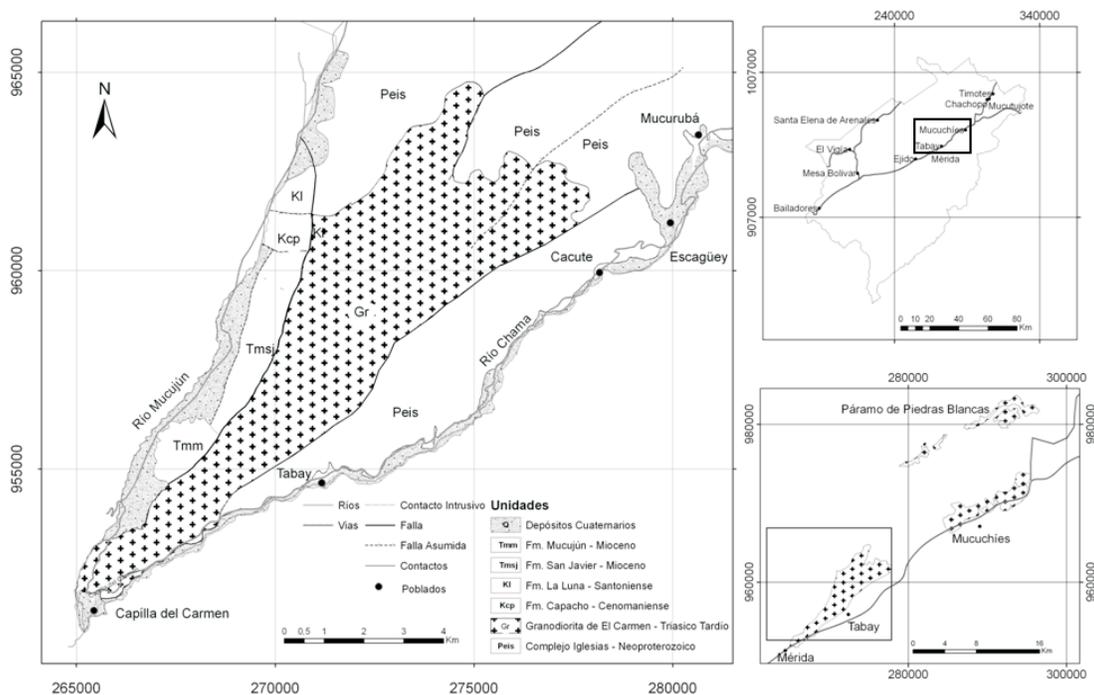


Figura 1. Ubicación y geología del área de estudio (Coordenadas con Datum WGS-1984, Zona 19P).

químico y petrográfico de la GEC en el sector La Musuy-Mucuchíes a 6 km al NE del área de estudio y se interpretaron datos químicos de dos muestras del Páramo de Piedras Blancas, de Hoeger [6] y Maninat [7], a unos 25 km al NE del área de estudio. Los resultados de los análisis químicos fueron procesados con el programa GCDkit (*Geochemical Data Toolkit*) versión 2.3 de Janousek *et al.* [8].

Relaciones de campo

La GEC en el sector estudiado tiene una forma lineal, una textura general fanerítica, con variaciones de tamaño de grano de medio a grueso. El color de la roca es gris claro; en muestra de mano se distinguen cristales de micas, cuarzo y feldespato, lo cual da a la roca un aspecto moteado. Las diaclasas y fracturas son comunes (Figuras 2A y 2B), en algunos casos rellenas de epidoto. En las cercanías del sector Capilla del Carmen

presenta algunos diques tonalíticos (espesor promedio 1,2 m), en los cuales predominan las micas oscuras. También presenta algunos diques monzograníticos, generalmente en formas elípticas (hasta 45 cm según el eje *c* y 15 cm de ancho, Figura 2C) y ovaladas a romboides (10 a 40 cm de diámetro aproximadamente). Además, fueron observados diques y venas de textura pegmatítica (de hasta 2 m y de 8 a 10 cm de espesor respectivamente), estos fueron inyectados en general en la dirección de los planos de diaclasamiento. El contacto intrusivo de la GEC con la roca caja es gradacional sinuoso, con alineamiento de micas, que desaparece aproximadamente a 70 cm del contacto. La aureola de contacto está caracterizada por una zona híbrida ígneo-metamórfica, con inyecciones de carácter ígneo a través de los planos de foliación, en esquistos micáceos de contacto del CI (Figura 2D). En esta aureola, fueron identificados cordierita, sillimanita y granate (almandino), junto a clorita hidrotermal, como posible eviden-

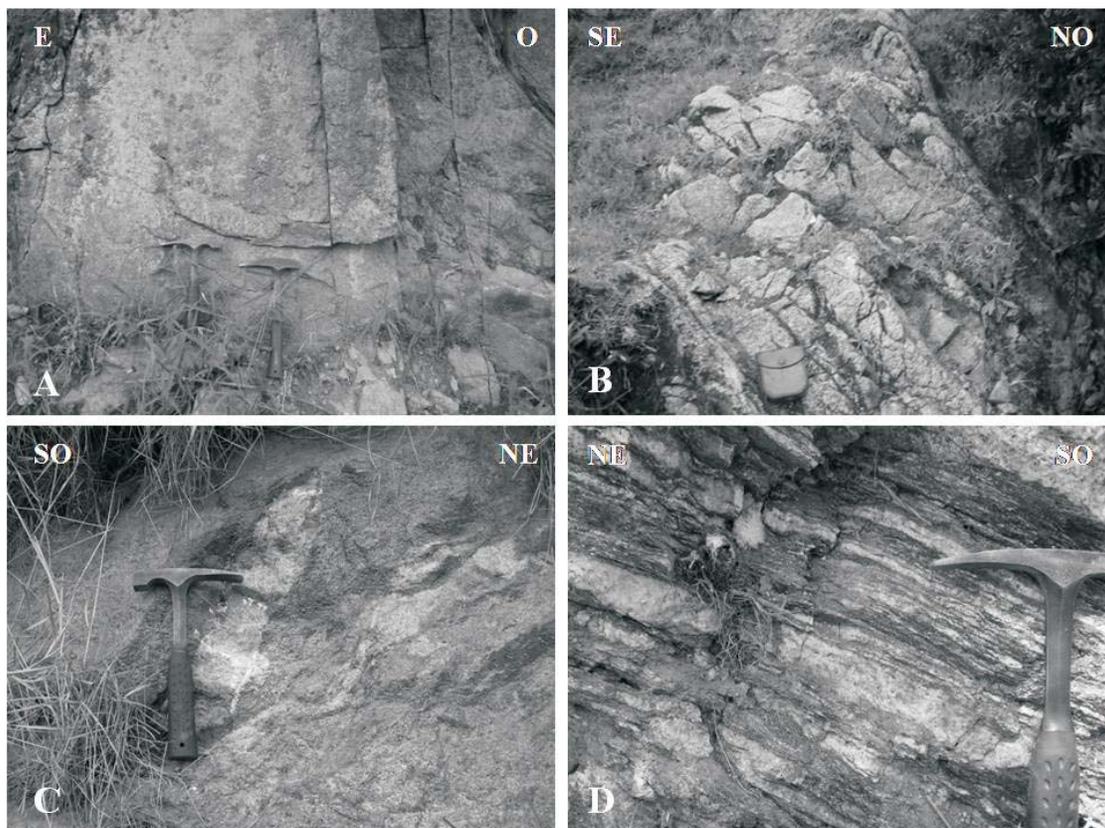


Figura 2. Relaciones de campo de la GEC. A) Roca diaclasada y fracturada en el área Oeste, Capilla del Carmen), B) y área Este, en La Musuy (Mucuchíes), C) diques monzograníticos en forma elíptica y D) inyecciones de apófisis de granodiorita en planos de foliación de esquistos del CI.

cia de la interacción de la roca caja con fluidos provenientes de la intrusión (Figura 3). El exocontacto está conformado por esquistos micáceos de grano fino del CI, de color gris claro.

Petrografía

Las muestras analizadas petrográficamente poseen más de 60% de minerales claros e índice de color (IC) menor a 25,5. En la Tabla 1, se presenta un promedio de la mineralogía modal para los cuatro grupos de roca identificados. El nombre de las rocas estudiadas fue asignado según la clasificación QAP de Le Bass y Streckeisen [9]. En las **granodioritas**, las plagioclasas tienen composición que varía entre albita-oligoclasa

(An₈₋₁₄) y el epidoto (secundario) representa en promedio 4% de la moda. Las texturas primarias dominantes son zonación de plagioclasa, pudiendo también aparecer zonados el circón y la andalucita (Figura 4A), y textura poiquilítica que involucra cristales de plagioclasa zonada, cuarzo y biotita embebidos en cristales de microclino. La asociación mineralógica característica es andalucita, muscovita, biotita, granate y corindón (Figura 4B), siendo éstos últimos probablemente xenocristales asimilados, o restitas de la roca fuente. Entre las texturas secundarias se identificaron intercrecimiento mirmequítico en el borde de plagioclasa y microclino y exsolución peritítica en forma de finas venas. La formación de subgranos y extinción ondulatoria del cuarzo, la

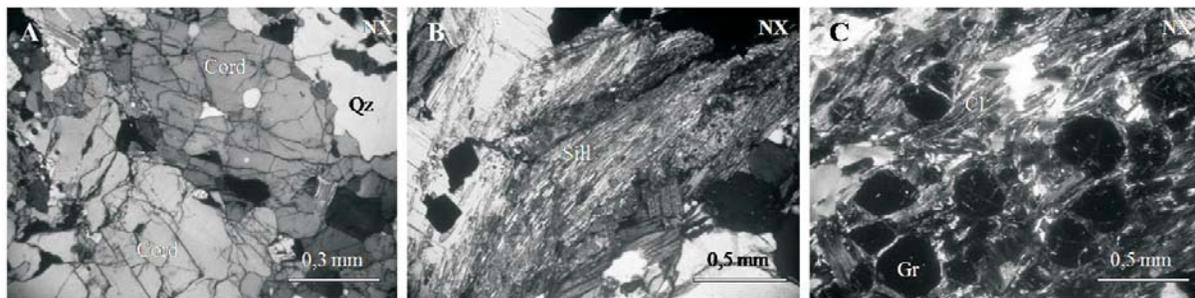


Figura 3. Fotomicrografías de la zona híbrida de contacto entre la GEC y el CI. NX: nicoles cruzados. A) blastos de cordierita (Cord), claramente diferenciables de cuarzo (Qz), B) sillimanita fibrosa (Sill), C) porfidoblastos de almandino (Gr), asociados a alteración hidrotermal de clorita (Cl).

Tabla 1
Mineralogía modal promedio de la Granodiorita de El Carmen

Mineral	Granodiorita	Diques tonalíticos	Diques monzograníticos	Diques pegmatíticos
Plagioclasa ¹	41,6%	47,2%	32,4%	40%
Cuarzo	26,4%	19,4%	33,2%	21,5%
Microclino	9,4%	-	28,9%	25%
Ortosa	-	4,5%	-	-
Anortoclasa	-	-	-	-
Biotita	7,1%	18,7%	0,8%	-
Muscovita	2,7%	3,4%	0,9%	12%
Andalucita	2,6%	2,5%	1,8%	-
Otros ²	10,2%	4,3%	2%	0,8%
I.C. ³	8,7	19,4	1,5	2,4

¹Ver texto para composiciones. ²± epidoto, ± apatito, ± turmalina (chorlita), ± granate, ± opacos, ± circón, ± hematita, ± corindón, ± monacita, ± allanita, ± clinozoisita y ± clorita. ³Índice de Color.

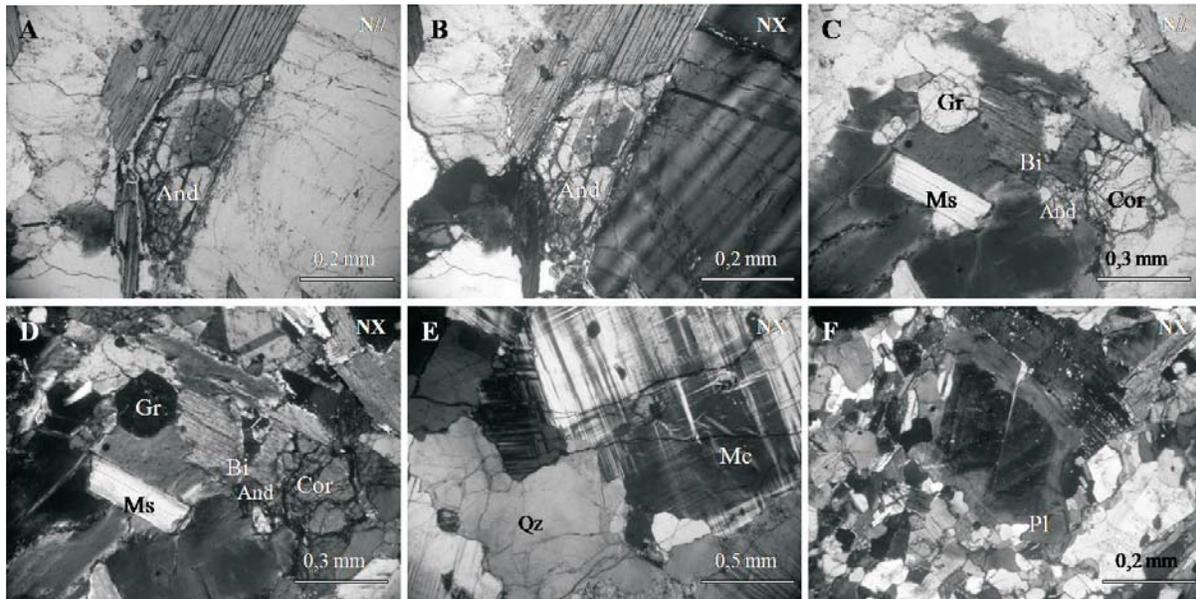


Figura 4. Fotomicrografías con nicols cruzados (NX) y nicols paralelos (N//) de la GEC.

A) Al centro, cristal zonado de andalucita asociado a biotita en N// y B) NX, C) asociación de granate (Gr), corindón (Cor), muscovita (Ms) y biotita (Bi) en la GEC en N// y D) NX, E) aspecto de los diques monzograníticos con abundancia de cuarzo (Qz) y microclino (Mc), F) al centro, fenocristal de plagioclasa zonado en diques tonalíticos.

deformación de maclas en la plagioclasa y micas crenuladas, indican que la roca estuvo sometida a esfuerzos. Es común la alteración de los feldespatos a sericita y a minerales del grupo de la epidota. Se observa cloritización de la biotita y formación de muscovita a partir de la biotita, aunque existe muscovita magmática en la roca (Figura 4B). La andalucita observada en la GEC es probablemente de origen magmático [10-12]; esto se infiere principalmente por la asociación tan frecuente con biotita, muscovita y con corindón, en donde se observa el crecimiento de andalucita a expensas de estos minerales.

Los **diques monzograníticos** parecen ser más evolucionados que las granodioritas, tanto por la composición, como por el índice de color (1,5). Son producto probablemente de fluidos residuales en las últimas etapas de cristalización. Esta afirmación de relación cogenética se basa en criterio mineralógico y textural, pues la diferencia entre ambas rocas es el incremento en el contenido de microclino (Figura 4C) y una drástica disminución de biotita (mayor diferenciación y menor temperatura de cristalización), ya que

tanto las texturas primarias como secundarias son muy similares a las mencionadas para las granodioritas. En las **pegmatitas monzograníticas** la plagioclasa es albitica (An_{8-10}). Estos diques también son producto de fluidos magmáticos tardíos o hidrotermales, reflejándose esto en el tamaño de grueso a muy grueso en la roca.

Los **diques tonalíticos** exhiben algunos "fenocristales" corroídos de plagioclasa, con zonado normal y oscilatorio de 0,5 mm de tamaño en promedio. Estos contrastan con la textura general de la roca, la cual es un mosaico equigranular de cuarzo, biotita y plagioclasa ($An_{8-14,5}$) de grano muy fino (0,01 mm en promedio), pudiendo ser xenocristales asimilados por el magma durante su ascenso y emplazamiento (Figura 4D). De todas las rocas estudiadas, estos diques son los menos evolucionados mineralógicamente y quizás cristalizaron en condiciones predominantemente anhidras y bajo temperaturas relativamente más elevadas que la GEC. Presentan avanzada sericitización de feldespatos, saussurización de plagioclasa y cloritización de biotita. La relación de estos diques con la granodiorita no

está muy clara, pues aunque el contacto es bastante abrupto, no se puede seguir o mapear estos en la GEC, debido a sus tamaños y al fracturamiento intenso que presentan.

Geoquímica

Los análisis geoquímicos realizados indican que entre la granodiorita y los diques tonalíticos no se aprecian diferencias composicionales (Tablas 2 y 3), por lo que se infiere que cristalizaron a partir del mismo magma, pero debido a la falta de datos isotópicos, no se puede establecer una cronología clara de la cristalización de estos diques. El cálculo del índice de saturación de alúmina (ASI) propuesto por Shand [13], indica que las rocas de esta investigación tienen un carácter peraluminico a débilmente peraluminico (Tabla 4).

Las rocas del Páramo de Piedras Blancas, La Musuy-Mucuchíes y del área de estudio, parecen ser cogenéticas, pues se observa una tendencia muy similar para todas en el diagrama tipo Spider, con normalización de Sun y McDonough [14] (Figura 5A). Éstas están enriquecidas en Rb, Ba, K y presentan bajas concentraciones notables de Nb, Ti, Zr, Sm, Yb y Lu. Así, los elementos de alto radio iónico (LILE) tienen mayores concentraciones en comparación con los elementos de alto potencial iónico (HSFE).

En el diagrama de Elementos de Tierras Raras (REE), normalizadas con respecto a los datos de Boynton [15], se observa un fraccionamiento de Tierras Raras Livianas (LREE) sobre las pesadas (HRRE) (Figura 5B). Este patrón general pudiera deberse a la preponderancia de la roca fuente en la corteza y menor aporte de material del manto, en el cual predominan las HREE. El apatito, el feldespato y la biotita acomodan las LREE, mientras que de las fases minerales que acomodan las HREE está presente el granate y el circón [16]. Es importante destacar que no se observan anomalías negativas en el Eu, lo cual probablemente indica que la plagioclasa no fue una fase fraccionada del fundido.

Fuente magmática

Las características presentadas por las rocas estudiadas, parecen ser correlacionables con las propuestas por Chappell y White [17], para la

discriminación entre granitoides tipo I y S y de la clasificación SIAM de Winter [18], para granitoides tipo S: índice de saturación de alúmina $ASI > 1,1$ (Tabla 4) corindón normativo 1,8-5,08%, concentración de sílice entre 64,4 y 71% (Tabla 2), moderada concentración de Sr (~ 528 ppm, Tabla 3), bajas concentraciones de CaO (~ 2,8%, Tabla 2), aparición de las fases minerales biotita, andalucita y granate para todas las muestras, pero también tiene características de tipo I, debido a las bajas a moderadas relaciones K_2O/Na_2O (Tabla 2) que posee la roca. Para refinar la clasificación alfabética, se usaron el gráfico de Frost *et al.* [19] que relaciona la sílice con $Na_2O + K_2O - CaO$ y el diagrama propuesto por Chappell y White (1984) en Lira *et al.* [20], mostrados en la Figura 6. Así, la GEC se interpreta como un granitoide de serie calco-alcalina, en el que predomina una fuente magmática metasedimentaria (tipo S), con posible contaminación o mezcla con una fuente ígnea primaria (tipo I), proveniente del manto superior. Sylvester [21] propone que rocas con altas relaciones CaO/Na_2O ($> 0,3$, Tabla 2) pueden provenir de una fuente pelítica mezclada con fundidos basálticos. Esto ocurre en orógenos de alta temperatura, tipo arco volcánico, donde el engrosamiento cortical es modesto (< 50 km) y la relación Al_2O_3/TiO_2 es baja (< 60 , Tabla 2). En estas condiciones parte del fundido basáltico en la astenósfera, que proporciona el calor para inducir la anatexis de las pelitas, puede invadir la corteza y mezclarse con dichas anatexitas. Esto genera granitoides fuertemente peraluminosos junto a granitoides calco-alcalinos, como la GEC.

Ambiente tectónico de emplazamiento

Grauch [22], Ramírez *et al.* [2], Shagam [23], Burkley [3] y Cordani *et al.* [4] coinciden en que durante el Pérmico y Triásico (299-199 Ma), existió un evento termal mayor a la cual se asocian grandes masas batolíticas que intrusionan al CI, entre las cuales se incluye a la GEC. De acuerdo con los diagramas de discriminación tectónica de la Figura 7 [24, 25], el granitoide se originaría en un ambiente sintectónico o sincolisional tipo arco volcánico. Esto se correlaciona bien con el carácter calco-alcalino, peraluminico a débilmente peraluminico y la alta relación

Tabla 2
Óxidos de los elementos mayoritarios en roca total de la Granodiorita de El Carmen

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ (t)	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI*	Total	CaO/ Na ₂ O	K ₂ O/ Na ₂ O	Al ₂ O ₃ / TiO ₂
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	Prom.	Prom.	Prom.
DT-42 ¹	67,99	15,41	3,19	0,07	1,05	2,91	3,26	3,29	0,36	0,19	1,50	99,22	0,89	1,01	42,45
DT-43	65,61	16,22	4,01	0,11	1,94	1,90	3,31	3,29	0,49	0,29	2,25	99,42	0,57	0,99	32,90
DT-45	66,74	15,31	4,07	0,11	1,83	1,73	3,69	2,54	0,50	0,29	2,20	99,03	0,47	0,69	30,87
DT-19A1	66,20	16,17	3,74	0,08	1,20	3,62	3,65	2,78	0,46	0,19	0,59	98,68	0,99	0,76	34,85
DT-19A2	65,46	16,62	4,16	0,09	1,35	4,07	3,98	1,92	0,53	0,21	0,65	99,04	1,02	0,48	31,48
DT-01	68,69	15,41	3,08	0,05	0,85	2,80	3,45	3,08	0,37	0,21	0,71	98,71	0,81	0,89	41,42
DT-02	68,82	15,43	2,85	0,05	0,77	2,25	3,62	3,79	0,34	0,22	1,65	99,79	0,62	1,05	45,12
S06-12 ²	69,05	16,17	2,63	0,07	1,13	2,39	3,56	3,33	0,34	0,19	1,54	100,40	0,67	0,94	47,01
CT-40 ³	71,05	15,16	2,41	0,07	1,45	2,23	3,75	2,23	0,17	0,23	0,90	99,65	0,59	0,59	89,18
DT-11 ⁴	64,47	16,61	4,92	0,08	1,84	3,75	3,49	2,06	0,59	0,21	1,38	99,40	1,07	0,59	28,10

*LOI: Pérdida por calcinación. ¹La Musuy (Mucuchies). ^{2,3} Páramo de Piedras Blancas: ²Hoeger [6]. ³Maninat [7]. ⁴Dique tonalítico.

Tabla 3
Algunos elementos traza en roca total de la Granodiorita de El Carmen

Muestra	V	Cr	Zn	Ga	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Sn	Sb	Cs	Ba	Hf	Ta	Tl
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
DT-42 ¹	44	420	40	19	104	603	16	133	10	5	0,6	2,3	1082	4	1	0,6
DT-43	59	380	70	20	127	531	14	190	10	6	1,2	1,8	1319	5,3	1	0,5
DT-45	53	440	110	19	109	419	13	193	11	6	0,5	1,5	940	5,5	0,9	0,6
DT-19A1	52	440	70	20	81	626	11	165	9	6	1,3	2,5	1347	4,5	0,8	0,6
DT-19A2	60	440	70	21	74	618	14	193	10	6	1	2,7	616	5,3	0,9	0,5
DT-01	36	470	60	20	97	467	10	119	8	6	0,9	1,8	954	3,5	1	0,7
DT-02	37	460	60	19	110	508	9	164	7	6	1,2	1,3	1757	4,6	0,6	0,8
S06-12 ²	44	< 20	70	22	80	572	18	123	10	1	53,5	0,6	913	3,3	4,1	0,5
CT-40 ³	40	-	58	20	70	400	14	146	12	2	< 0,1	0,5	840	3,8	4,9	< 0,1
DT-11 ⁴	88	350	90	21	104	537	18	166	8	6	1,5	1,7	499	4,7	0,6	0,8

Muestra	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	Pb	Th	U
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	Ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	Ppm	Prom. ^(*)	ppm	ppm	ppm
DT-42 ¹	37,5	73,5	8,53	29	5,6	1,34	4,2	0,6	3,5	0,6	1,8	0,26	1,7	0,23	168,36	14	9,5	2,9
DT-43	55	109	12,6	42,6	7,3	1,63	4,9	0,6	3,2	0,6	1,5	0,2	1,2	0,17	240,50	7	11,3	1,6
DT-45	54,8	110	12,8	43,2	7,3	1,54	4,9	0,6	3,1	0,5	1,4	0,2	1,2	0,17	241,71	12	11,4	1,6
DT-19A1	40,5	77,2	8,57	28,1	4,8	1,23	3,4	0,5	2,7	0,5	1,2	0,17	1,1	0,17	170,14	18	8,3	0,9
DT-19A2	41,1	78,3	8,8	29,6	5,2	1,28	3,7	0,6	2,9	0,5	1,4	0,19	1,2	0,17	174,94	12	8,8	1
DT-01	31,1	61,9	7,15	24,1	4,6	1,16	3,2	0,5	2,3	0,4	1,1	0,16	1,1	0,18	138,95	16	7,2	1
DT-02	43,4	85,1	9,58	31,6	5,5	1,32	3,6	0,5	2,4	0,4	1	0,15	1	0,16	185,71	16	9,8	1,2
S06-12 ²	43,1	89,4	10,1	39,7	7,6	1,57	5,2	0,8	3,5	0,6	1,6	0,21	1,3	0,19	204,87	35	13,7	1
CT-40 ³	63,1	75,4	8,3	46,7	9,9	2,34	4,4	0,6	2,5	0,6	2	0,26	1,5	0,19	217,79	31	14,2	3,6
DT-11 ⁴	37,9	76,4	8,99	32,3	6	1,38	4,4	0,7	3,6	0,7	1,9	0,28	1,7	0,23	176,48	9	7,4	1,3

¹La Musuy (Mucuchies). ^{2,3} Páramo de Piedras Blancas: ²Hoeger [6], ³Maninat [7]. ⁴Dique tonalítico. ^(*)191,95ppm

Tabla 4
Índice de Saturación de Alúmina (ASI) para la Granodiorita de El Carmen

Muestra	DT-42 ¹	DT-43	DT-45	DT-19A1	DT-19A2	DT-01	DT-02	SO6-12 ²	CT-40 ³	DT-11 ⁴	Prom.
ASI*	1,08	1,30	1,28	1,04	1,04	1,09	1,09	1,17	1,20	1,12	1,14

¹La Musuy (Mucuchíes). ^{2,3}Páramo de Piedras Blancas: ²Hoeger [6], ³Maninat [7]. ⁴Dique tonalítico.* $[(Al_2O_3) / (CaO) + [NaO] + [K_2O])]$.

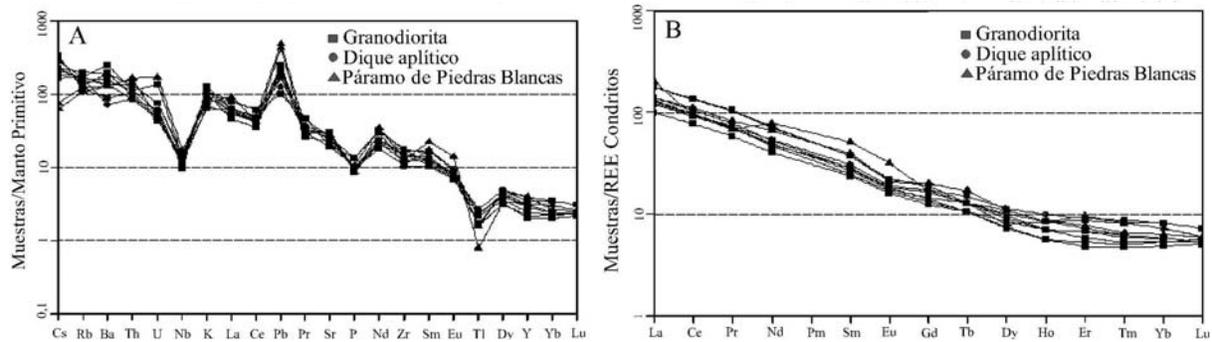


Figura 5. A) Diagrama tipo Spider normalizado con datos de Sun y McDonoug [14] y B) diagrama de elementos de tierras raras (REE) normalizado con respecto a valores de concentración en condritos de Boynton [15].

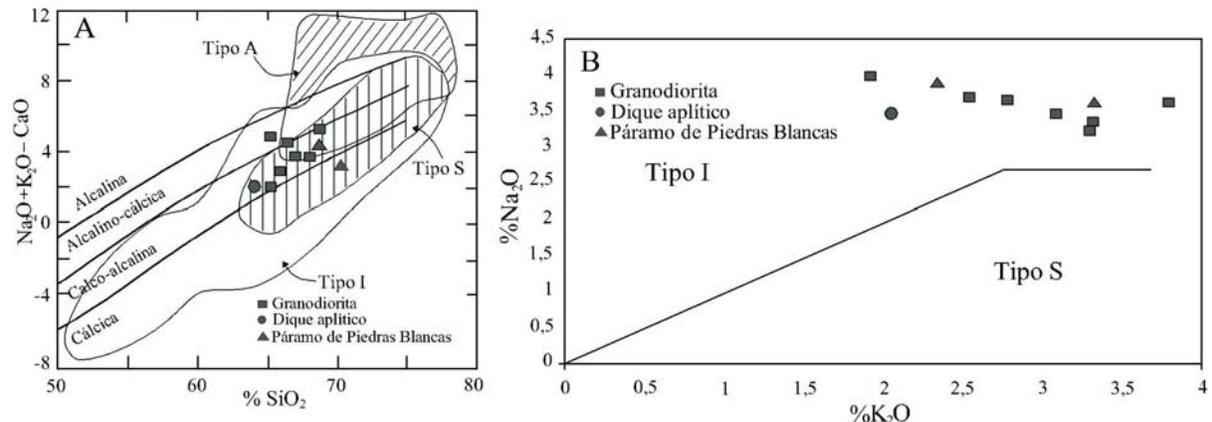


Figura 6. A) Relación SiO_2 vs. $Na_2O + K_2O - CaO$ propuesta por Frost *et al.* [19] para discriminar los granitoides tipo I, A y S y B) diagrama para discriminar granitoides tipo I y S (Chappell y White, 1984 en Lira *et al.* [20]).

LILE/HSFE de este granitoide, pues estas características químicas han sido atribuidas principalmente a este ambiente tectónico por Winter [18].

Condiciones de cristalización

De acuerdo a geotermómetros y geobarómetros obtenidos por distintos autores [11, 26-28] para las asociaciones minerales de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, muscovita,

biotita y andalucita, el rango de temperatura de la cristalización de la granodiorita y diques tonalíticos está entre 790 y 670°C (estos últimos más cercanos a la mayor temperatura), mientras que para los diques monzograníticos y pegmatíticos estuvo entre 650 y 500°C, con una presión para todo el cuerpo que varía de 2-3 kbar y $pH_2O > 5$ kbar. La ausencia de foliación en la roca, con sólo presencia de alineaciones en el contacto con la roca caja, podría indicar que la GEC se emplazó

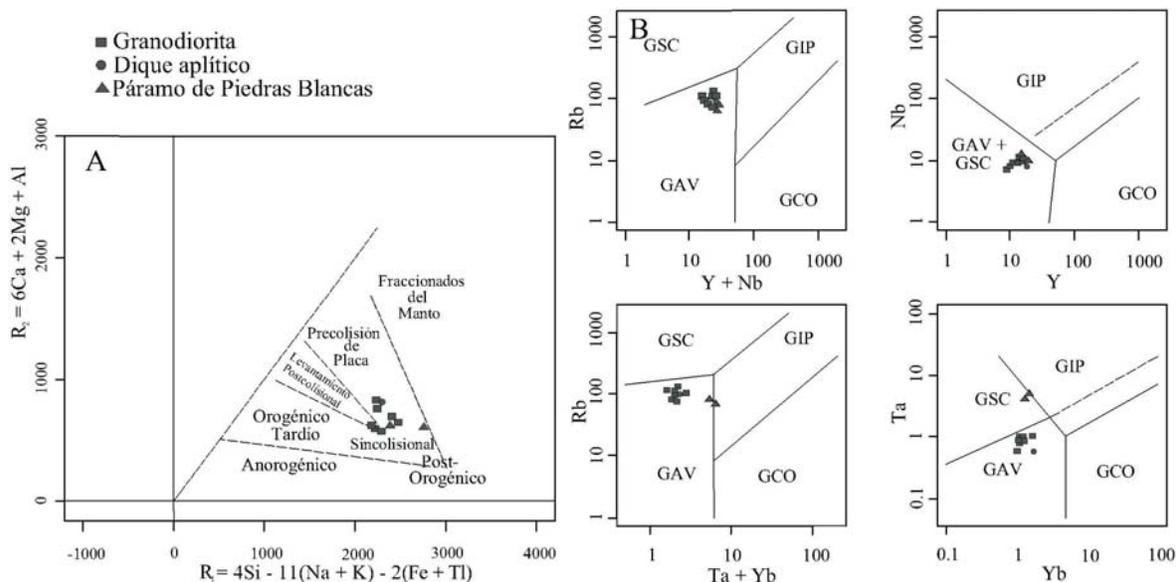


Figura 7. A) Diagrama para discriminación de ambiente tectónico propuesto por Batchelor y Bowden [24] y B) Pearce *et al.* [25]. GSC: granitoides sincolisionales, GIP: granitoides intraplaca, GAV: granitoides de arco volcánico, GCO: granitoides de cordillera oceánica.

en la mesozona, probablemente entre 8-10 km de profundidad. Esto se corrobora con la aparición de andalucita en al aureola de contacto, sobre metasedimentos de la Formación El Águila, descrita por Kovisars [1] en el Páramo de Piedras Blancas.

Contexto geodinámico

Reconstrucciones paleogeográficas de Pangea hasta el Jurásico, han sugerido que el margen norte de Suramérica estuvo en proximidad geográfica con Laurentia, junto con terrenos del sur de México y América Central (ver Cardona *et al.* [29] y referencias en él). Datos geocronológicos recientes apoyan la hipótesis del desarrollo de un extenso cinturón granítico de edad Permo-Triásico, asociado a un margen tipo arco volcánico ubicado en el borde norte de Suramérica, considerado proto-Andino, con una acreción de terrenos compleja o quizás con un fuerte acoplamiento de placas [29]. En Venezuela, existen evidencias de este arco en la Sierra de Perijá, Lago de Maracaibo y Macizo de El Baúl [30, 31]. En Colombia, este cinturón incluye granitoides de la Sierra Nevada de Santa Marta [29], Península de la Guajira [32], basamento de la cuenca Plato-San José en el Valle de Magdalena [33] y en el Macizo de Santander, en la Cordillera Oriental [34]. Estos y otros

estudios [5] apuntan hacia un gran componente de circones heredados de corteza más antigua (Neoproterozoico a Pérmico). De este modo, se puede entonces establecer una correlación entre el contexto geodinámico en el que pudo emplazarse la GEC y sus características geoquímicas, que apuntan hacia la fusión de rocas del Complejo Iglesias como fuente predominante (granito tipo S o anatexita), con una posible contaminación basáltica.

Conclusiones

La Granodiorita de El Carmen es un granitoide mesozonal, emplazado en rocas con metamorfismo regional de media P/T (esquistos micáceos) del Complejo Iglesias (Neoproterozoico) durante el Triásico Superior. Mineralógica y químicamente es una masa granítica homogénea y, de acuerdo a sus características geoquímicas, es peralumínica y calco-alcalina. Probablemente se originó en un ambiente de convergencia de placas tipo arco volcánico, teniendo una fuente magmática predominante producto de la fusión de metapelitas del Complejo Iglesias (granitoide tipo S), contaminado con una fuente ígnea de composición basáltica. Este granitoide posiblemente es parte de un extenso cinturón granítico propuesto por diversos autores, formado en un margen pro-

to-Andino que existió en el Permo-Triásico durante las etapas finales de aglutinamiento de terrenos en el borde oeste de Pangea.

Agradecimientos

Los autores agradecemos al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT) de la Universidad de Los Andes por el financiamiento de este estudio, bajo el código de proyecto I-924-06-02-A. También a los Ingenieros Hermis Mendoza y Jhonny Becerra y al Técnico Luis Suárez por la colaboración prestada en la elaboración de secciones finas en el laboratorio La Concepción, PDVSA Occidente, Estado Zulia.

Referencias bibliográficas

1. Kovisars L.: "Geología de la parte Norte – Central de Los Andes Venezolanos". Memorias IV Congreso Geológico Venezolano, Caracas. Bol. Geol., Caracas, Public. Esp. 5. (1969) 816-860.
2. Ramírez C., García R., Campos V.: "Geología de la Región de Timotes, Estados Mérida, Barinas y Trujillo". Memorias IV Congreso Geológico Venezolano, Caracas. Bol. Geol., Caracas, Public. Esp. 5. (1969) 898-934.
3. Burkley, L.: "Geochronology of Central Venezuelan Andes". Tesis de doctorado inédita, Department of Geology, Case Western Reserve University. Estados Unidos de América (1976).
4. Cordani, U., García, R., Pimentel de B., N., Etchart, H.: "Comentarios sobre Dataciones Geocronológicas en la Región de Los Andes Centrales". Memorias VI Congreso Geológico Venezolano, tomo III (1985) 1571-1585.
5. Van der Lelij R., Spikings R., Ulianov A.: "From the Rheic Ocean to the Proto-Caribbean Sea in Venezuela: 300 Ma of Magmatism in the Northern Andes". Geophysical Research Abstracts, Vol. 13 (2011) EGU2011-2601-2.
6. Hoeger T.: "Geología de la Región de Chachopo". Trabajo de Ascenso sin publicar para optar a la Categoría de Asistente. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela (2006).
7. Maninat M.: "La Adamellita de La Culata: indicativos de su petrogénesis. Sector Torondoy, Mucumpiz y Valle de Mifafi, Estado Mérida, Venezuela". Trabajo Final de Grado, Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela (2009).
8. Janousek V., Farrow C. M., Erban, V.: "Interpretation of Whole-rock Geochemical Data in Igneous Geochemistry: Introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit). Journal of Petrology, Vol. 47, N° 6 (2006) 1255-1259. Disponible en línea en la página: <http://www.gla.ac.uk/gcdkit>.
9. Le Bas M.J., Streckeisen A.: "The IUGS Systematic of Igneous Rocks". Journal of the Geological Society London, Vol. 148 (1991) 825-833
10. Clarke D.B, Dorais M., Barbarin B., Barrer D., Cesare B., *et al.*: "Ocurrence and Origin of Andalusite in Peraluminous Felsic Igneous Rocks". Journal of Petrology, Vol. 46, N° 3 (2005) 441-472.
11. Kerrick D.: "Anatectic Migmatites, Magmatic Pegmatites and Peraluminous Granites". In: The Al₂SiO₅ Polymorphs. Reviews in Mineralogy, Vol. 22 (1990) 353-361.
12. Thöny W. F., Wyhlidal S., Tropper P., Mair V.: "Petrology of a cordierite-andalusite-bearing granite from the Sattelspitze (Monte Sella), Franzensfeste (South Tyrol, Italy)". Mitt. Österr. Miner. Ges, Vol. 155 (2009) 269-277.
13. Shand S.J.: "The Eruptive Rocks". John Wiley & Sons, New York, 1943.
14. Sun S.S., McDonough W.F.: "Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts; Implications for Mantle Composition and Processes. In: Saunders A.D. & Norry M.J. (Eds.), Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society of London (1989) 313-345.
15. Boynton W.V.: "Cosmochemistry of the Rare Earth Elements: Meteorite Studies". In: Handerson, P. (Ed.), Rare Earth Geochemistry. Elsevier Amsterdam (1984) 63-114.
16. Wilson M.: "Igneous Petrogenesis". Springer, Dordrecht, 2007.
17. Chappell B. W., White A. J. R.: "Two Contrasting Granite Types". Pacific Geology, Vol. 8 (1974) 173-174.
18. Winter J.D.: "Igneous and Metamorphic Petrology". Prentice-Hall Inc., New Jersey, 2001.

19. Frost B.R., Barnes C.G., Collins W.J., Argulus R.J., Ellis D.J., Frost C.D.: "A Geochemical Classification for Granitic Rocks". *Journal of Petrology*, Vol. 42, N° 11 (2001) 2033-2048.
20. Lira R., Millone H.R., Kirschbaum A.M., Moreno R.S.: "Calc-Alkaline Arc Granitoid Activity in the Sierra Norte-Ambargasta Ranges, Central Argentina". *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 10, N° 2 (1997) 157-177.
21. Sylvester P.J.: "Post-collisional Strongly Peraluminous Granites". *Lithos*, Vol. 45 (1998) 29-
22. Grauch R.: "Geología de la Sierra Nevada al sur de Mucuchies, Andes Venezolanos: Una Región Metamórfica de Aluminosilicatos". *Boletín de Geología, Caracas*, Vol. XII, N° 23 (1975) 338-441.
23. Shagam R.: "Evolución Tectónica de Los Andes Venezolanos". *Memorias IV Congreso Geológico Venezolano, Caracas. Bol. Geol., Caracas, Public. Esp. 5.* (1969) 1201-1261.
24. Batchelor R. A., Bowden P.: "Petrogenetic Interpretation of Granitoid Rock Series Using Multicationic Parameters". *Chemical Geology*, Vol. 48 (1985) 43-55.
25. Pearce J., Harris N. B. W., Tindle A. G.: "Trace Element Discrimination Diagrams for Tectonic Interpretation of Granitic Rocks". *Journal of Petrology*, Vol. 25 (1984) 956-983.
26. Deer W.A., Howie R.A., Zussman J.: "An Introduction to the Rock-Forming Minerals". Longman Scientific & Technical, London, 1992.
27. Eyal M., Litvinovsky B.A., Katzir Y., Zandvilevich A.N.: "The Pan-African high K calc-alkaline peraluminous Elat granite from Southern Israel, geology, geochemistry, petrogenesis". *Journal of African Earth Sciences*, Vol. 40 (2004) 115-136.
28. René M., Holtz F., Cherhui L., Beermann O., Stelling J.: "Biotite stability in peraluminous granitic melts: Compositional dependence and application to the generation of two mica granites in the South Bohemian batholite (Bohemian Massif, Czech Republic)". *Lithos*, Vol. 102 (2008) 538-553.
29. Cardona A., Valencia V., Garzón A., Montes C., Ojeda G., Ruíz J., Weber M.: "Permian to Triassic I to S-type magmatic switch in the northeast Sierra Nevada de Santa Marta and adjacent regions, Colombian Caribbean: tectonic setting and implications within Pangea paleogeography". *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 24, N° 23 (2010) 772-783.
30. Espejo A., Etchart H., Cordani U., Kawashita K.: "Geocronología de intrusivas ácidas en la Sierra de Perijá, Venezuela". *Boletín de Geología, Caracas*, Vol. XIV (1980) 245-254.
31. Viscarret P., Wright J., Urbani F.: "New U-Pb zircon ages of El Baúl Massif, Cojedes State, Venezuela". *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, Vol. 32, N° 3 (2009) 210-221.
32. Weber M., Cardona A., Valencia V., García-Casco A., Tobón M., Zapata S.: "U/Pb detrital zircon provenance from late cretaceous metamorphic units of the Guajira Peninsula, Colombia: Tectonic implications on the collision between the Caribbean arc and the South American margin". *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 29, N° 4 (2009) 805-816.
33. Montes C., Guzmán G., Bayona G., Cardona A., Valencia V., Jaramillo C.: "Clockwise rotation of the Santa Marta massif and simultaneous Paleogene to Neogene deformation of the Plato-San Jorge and Cesar-Ranchería basins". *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 29, N° 4 (2009) 832-848.
34. Dörr W., Grösser J. R., Rodríguez G.I., Kramm U.: "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*, Vol. 8, N° 2 (1995) 187-194.

Recibido el 4 de Mayo de 2010

En forma revisada el 18 de Julio de 2011