

Petrología y petrogénesis de las rocas neoproterozoicas del terreno Falconia

Sebastián Grande, Universidad Central de Venezuela, Fac. Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica.
sgrande52@gmail.com

Resumen

La petrografía de las rocas neoproterozoicas del terreno Falconia reveló una mineralogía inusual de medio-alto grado, con minerales metamórficos nunca antes descritos en Venezuela. Se reconocen tres asociaciones litológicas: a) metasedimentaria, constituida por cuarcita feldespático-granítica, gneis cordierítico-sillimanítico, mármol silíceo, roca calco-silicatada y paragrañofels ultramáficos; b) metaplutónica, constituida por una suite anortosita-charnockita-mangerita-granito (AMCG) desmembrada; y c) metavolcánica (presuntamente), constituida por posibles intrusiones o extrusiones basálticas transformadas a anfíbolita, y posibles metabasas félsicas, ahora granofels feldespático-cuarzo-clinopiroxénicos. Todas estas rocas han sufrido fuerte recrystalización, deformación y alteración retrógrada. Las litologías más diagnósticas son las metacarbonáticas, que exhiben minerales primarios exóticos como: condrodita, diópsido, flogopita, espinela, yeso (pseudomorfo de anhidrita), serpentina (pseudomorfo de forsterita), escapolita y tremolita, especies relacionadas con secuencias sedimentarias evaporíticas del tipo *sabkha*, caracterizadas por la presencia de sales haloideas alcalinas, margas, lutitas Mg-smectíticas, calizas dolomíticas, sulfatos y sulfuros de Cu-Fe exhalativos, depositadas en cuencas de tipo *rift* o retro-arco extensional ensiálicas, interestratificadas con sedimentos arcóscicos, posiblemente depositadas sobre un basamento ígneo de la suite AMCG, intrusada por diques máficos y metamorfozada a alto grado. Secuencias similares se hallan en el Macizo de Oaxaca (sur de México) y la sierra de Santa Marta, en Colombia, que tienen un origen similar.

Palabras clave: orógeno Grenvilliano, Rodinia, Pangea, metamorfismo de alto grado, *sabkha*.

Introducción

Recientes hallazgos de rocas metamórficas de medio-alto grado realizados por Grande (2007, 2009, 2011a,c), Grande & Urbani (2009) y Mendi *et al.* (2005) revelaron la existencia de un basamento continental neoproterozoico en el NO de Venezuela. Las edades por el método U-Pb LA-ICP-MS en circon determinadas por Baquero *et al.* (2011) y por el método Ar-Ar por el método de *plateau* realizadas por Fournier *et al.* (2010) en la flogopita de un mármol del río Bocoy estas rocas pueden ser correlacionadas con litologías y conjuntos metamórficos característicos de la Provincia de Grenville (Chiarenzelli *et al.*, 2010) y de otros bloques de Centro y Suramérica, como el Macizo de Oaxaca (México), los bloques Chortis y Yucatán-Maya, (Dostal *et al.*, 2008) y

similares terrenos en el margen oeste de Suramérica (Ordoñez *et al.*, 2002 y Cardona *et al.*, 2005).

El ensamblaje del supercontinente de Rodinia involucró la colisión y sutura durante el Neoproterozoico de grandes bloques continentales. La sutura terminal de Rodinia generó el orógeno Grenvilliano a finales del Neoproterozoico. Estos procesos de apertura y cierre de cuencas oceánicas fueron ciclos de Wilson completos donde se crearon y destruyeron océanos enteros, como el Grenville y el Elzeviriano, por medio de la generación de *rifts*, márgenes pasivos y activos, arcos migratorios y orógenos colisionales, dejando atrás o aglutinando numerosos terrenos alóctonos menores (Hildebrand & Easton, 1995; Dostal *et al.*, 2008), entre ellos el anteriormente definido terreno Falconia, en el NO de Venezuela (Grande, 2011a) (Fig. 1).

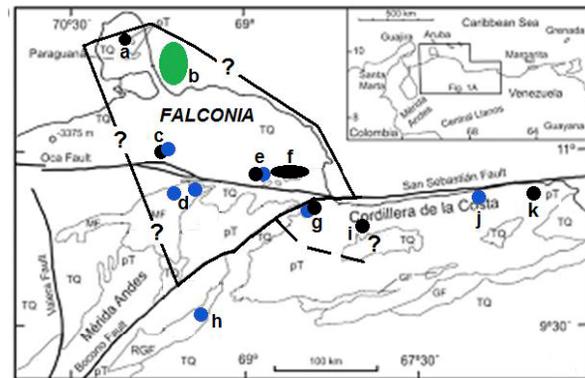


Fig. 1. Límites tentativos del terreno Falconia (en trazo grueso) en base a la información petrológica y geocronológica actualmente disponible, el bloque está constituido por un basamento neoproterozoico de alto-medio grado, de afinidad grenvilliana, intrusado por granitoides pérmicos. Asociaciones litológicas reconocidas: Puntos y óvalos negros: suite AMCG desmembrada y metamorfozada y otras asociaciones posiblemente metaplutónicas; puntos azules: asociaciones metavolcanosedimentarias; a: mesa de Cocodite; b: núcleos extraídos del basamento de la ensenada de La Vela, con rocas de todas estas asociaciones (elipse verde); c: xenolitos en lavas de Falcón central; d: peñones en la Formación Matatere; e: peñones en la Formación Casupal; f: Complejo de Yumare; g: Complejo de El Guayabo; h: cantos rodados en los cauces de los ríos Bocoy y Riecito; i: Gneis de Cabriales; j: cantos en los cauces del río Naiguatá y quebrada Miguelena; k: Metadiorita de Todasana. Mapa base tomado de Grande & Urbani (2009).

Asociaciones metamórficas distintivas de Falconia

La inusual asociación metamórfica de alto grado, en la facies de la granulita piroxénica hallada en Falconia comprende litologías nunca antes descritas en Venezuela, excepto por las granulitas y anortositas presentes en el Complejo de Yumare, en el NE de Yaracuy (Urbani *et al.* 2011b) y el gneis sillimanítico del Gneis de Cabriales, en el SE de Carabobo (Aguilera y Vallenilla, 1985).

Facies de la granulita

-En rocas carbonático-silíceo-pelíticas:

Calcita±dolomita+diópsido+flogopita±escapolita
 Calcita+forsterita+diópsido+flogopita
 Calcita+diópsido+flogopita+feldespató-(K,Na)+escapolita
 Calcita+condrodita+diópsido±flogopita

-En rocas pelítico-psammíticas:

Ortosa+cuarzo+granate
 Ortosa+cuarzo+granate
 Ortosa-cordierita-sillimanita-hornblenda±granate
 ±clinopiroxeno

-En rocas cuarzo-feldespáticas:

Mesopertita+plagioclasa+cuarzo+clinopiroxeno
 Mesopertita+cuarzo+clinopiroxeno±ortopiroxeno

-En rocas máficas:

Plagioclasa+clinopiroxeno+granate+cuarzo
 Plagioclasa+clinopiroxeno+hornblenda+granate
 Plagioclasa+clinopiroxeno+hornblenda±biotita
 Plagioclasa+ortopiroxeno+cordierita-granate

-En rocas ultramáficas o magnesianas:

Clinopiroxeno±hornblenda±biotita
 Clinopiroxeno+hornblenda+plagioclasa±cuarzo±magnetita

Las asociaciones más diagnósticas de la facies de la granulita comprenden el conjunto ortopiroxeno-cordierita-granate, hallado en charnockita máfica en los pozos 23-MIRANDA-28 y 28X de la ensenada de La Vela (Fig.2), el conjunto granate-ortosa-sillimanita, hallado en cuarcitas feldespáticas del pozo 23-MIRANDA-22X, el conjunto cordierita-clinopiroxeno-cuarzo hallado sobre todo en metapelitas del mismo pozo (Fig. 3), el conjunto clinopiroxeno-cuarzo hallado las rocas metamáficas de varias localidades y el conjunto forsterita-diópsido-flogopita, hallado en el pozo 23-MIRANDA-12, y en los cantos rodados de la cuenca del río Bocoy (Grande & Urbani, 2009). Otras asociaciones carentes de clinopiroxeno no son diagnósticas o podrían ser retrógradas.

Otros conjuntos minerales no son tan diagnósticos de metamorfismo de alto grado, pues a menudo minerales anhidros de alta temperatura han sido alterados e hidratados por efectos de metamorfismo retrógrado, cataclástico e incluso alteración hidrotermal ocurridos en orogénesis post-Proterozoicas, como la Tacónico-Allegheniana y la Caribe.

De este modo la forsterita original de las rocas carbonáticas fue totalmente serpentizada y la serpentina misma fue parcialmente sustituida por carbonato, el diópsido y la flogopita fueron cloritizados parcialmente y a veces también sustituidos por carbonato, quedando como remanentes esqueléticos en continuidad óptica. La anhidrita original fue totalmente hidratada a yeso fibroso. Igualmente en las metapsammitas el granate y el clinopiroxeno han sido cloritizados dejando a veces restos esqueléticos embebidos en clorita. La cordierita generalmente está pinitizada a veces en las partes centrales de los cristales, y a veces totalmente, y en algunos casos contiene inclusiones aciculares paralelas de sillimanita. Reacciones metamórficas interesantes incluyen coronas de actinolita en augita diopsídica y de tremolita en diópsido, así como coronas de sillimanita acicular-radiada en granate. Sin embargo en algunas muestras algunos minerales de alta temperatura se han preservado notablemente, como es el caso del hipersteno, la condrodita, la escapolita y la espinela. Varios anfíboles han sido observados, desde hornblenda primaria, a hornblenda, actinolita-tremolita y barroisita como productos de alteración de distintos tipos de clinopiroxeno.

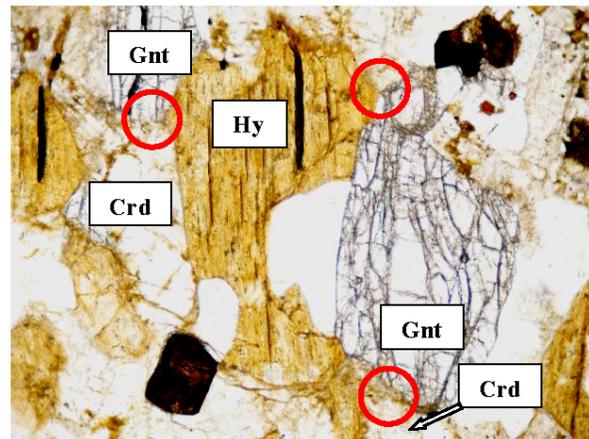


Fig. 2. Sección 23-MIRANDA-28-9302', sin polarizadores cruzados. Charnockita máfica de un núcleo del basamento de la ensenada de La Vela. Se observa una asociación metamórfica en equilibrio diagnóstica de la facies de la granulita (subfacies granulita piroxénica) formando puntos triples: ortopiroxeno-cordierita-granate (círculos rojos). La cordierita tiene un leve color amarillento y un relieve moderado, muy evidente en esta figura, y se halla pinitizada solo en las fracturas, pero está bastante bien preservada en general, teniendo un contacto recto y limpio con el ortopiroxeno. El granate está fracturado, pero preservado.

Texturas metamórficas diagnósticas de alto grado

En las rocas cuarzo-feldespáticas la textura más distintiva es la mesopertítica, a veces también se observa antipertita en la plagioclasa. También texturas fláser debidas a granos muy alargados, recristalizados y poco deformados de cuarzo son comunes en las cuarcitas feldespáticas.

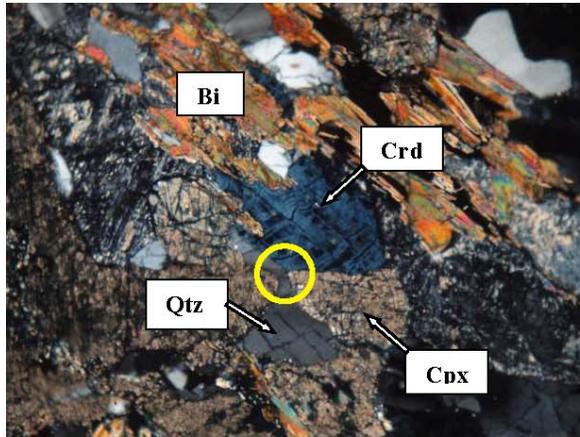


Fig. 3. Sección 23-MIRANDA-12-8618'6", con polarizadores cruzados (NX). Conjunto cordierita-clinopiroxeno-cuarzo (circulo amarillo) diagnóstico de metamorfismo en la facies de la granulita, subfacies granulita piroxénica, en una metapelita de la ensenada de La Vela. Hojuelas de biotita definen la foliación gnéssica. Crd: cordierita pinitizada; Qtz: cuarzo; Cpx: clinopiroxeno algo carbonatizado, Bi: biotita.

El microclino pudo provenir de la inversión de ortosa original debida a un descenso de temperatura o a esfuerzos tectónicos. Los circones extraídos de gneises metapelíticos del pozo 23-MIRANDA-22X de la ensenada de La Vela por Baquero *et al.* (2011) han arrojado edades confiables del orden de 1300-858 Ma con dataciones por el método U-Pb LA-ICP-MS en circón, que corroboran la edad grenvilliana de estas rocas. Estos circones, además, muestran una típica morfología de pelota de fútbol (*soccer ball*), indicativa de un metamorfismo de alto grado, en la facies de la granulita, correlacionable con el evento Elzeviriano de la orogénesis Grenville.

Discusión: protolitos posibles y petrogénesis

En rocas que han sufrido metamorfismo de alta temperatura es a veces difícil establecer con precisión los protolitos, ya que la recristalización metamórfica borra por completo todas las características texturales de las rocas ígneas o sedimentarias originales. En los núcleos de la plataforma de La Vela (norte de Falcón) y el Complejo de El Guayabo (NE de Yaracuy) Mendi *et al.*, 2005; Grande & Urbani, 2009; y Grande 2011a) reconocen: mármol silíceo y roca calcosilicatada, que incluyen mármoles diópsido-condroditico, serpentínico-diópsido-flogopítico y diópsido-escapolítico-yesífero; granofels félsico, máfico y ultramáfico, gneis cordierítico-clinopiroxénico-cuarzo \pm granatífero, cuarcita feldespático-granatífera-sillimanítica, anortosita y charnockita máfica. Los protolitos más diagnósticos son los carbonáticos, que exhiben abundante carbonato y minerales calco-magnesianos primarios exóticos como: condroditita, diópsido, flogopita, espinela, yeso (pseudomorfo de anhidrita), serpentina (pseudomorfa de forsterita), escapolita y tremolita, acompañados con feldespatos alcalinos y cuarzo (Fig. 4). Todas estas especies pueden relacionarse con

secuencias sedimentarias evaporíticas del tipo *sabkha*, caracterizadas por la presencia de sales haloideas alcalinas, margas, lutitas smectíticas magnesianas, calizas dolomíticas, sulfatos y sulfuros de Cu-Fe exhalativos, depositada en cuencas de tipo *rift* o retro-arco extensional ensiálicas, interestratificadas con sedimentos arcóscicos o tobas félsicas, ahora transformados a cuarcitas feldespático-granatíferas y granofels o granulitas félsicas. La ubicua presencia de diópsido es indicativa en muchas rocas no-carbonáticas de la presencia de carbonato original, que al reaccionar con sílice genera clinopiroxenos cálcicos. Es notable la abundancia de grandes cristales idioblásticos de titanita, así como la masiva alteración a leucoxeno del clinopiroxeno de las rocas máficas, evidenciando que la augita original era rica en Ti, como corresponde a las rocas volcánicas de marcos intraplaca.

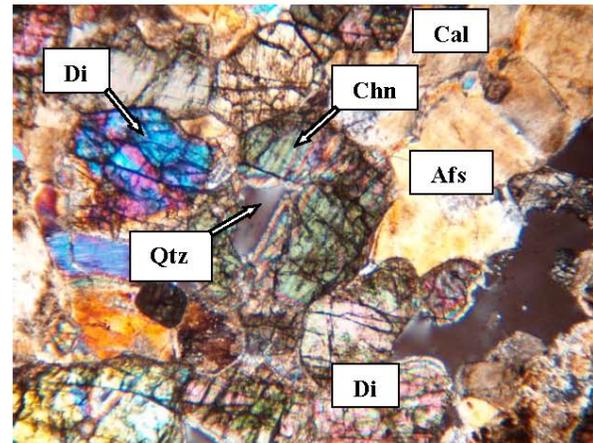


Fig. 4. Sección YA-250B, NX. Roca calco-silicatada del Complejo de El Guayabo. Se observa diópsido, condroditita, feldespato argilizado, cuarzo y calcita. Nótese el maclado polisintético de la condroditita, la extinción ondulatoria del cuarzo y la gran abundancia de diópsido en esta roca. El carbonato es meramente intersticial.

Otras evidencias de rocas similares han sido halladas como cantos en los conglomerados de formaciones terciarias, como Matatere (Martínez y Valletta, 2008) y Casupal (Urbani *et al.* 2011b) y han sido correlacionadas con porciones aflorantes durante el Paleógeno del terreno Falconia, que fungieron de fuente de sedimentos de los conglomerados y areniscas conglomeráticas basales de estas unidades. Rocas con sillimanita han sido descritas en varias localidades de la cordillera de la Costa, pero se carece de información geocronológica confiable que permita determinar su afinidad.

La presencia de la suite anortosita-mangerita-charnockita-granito (AMCG) sugiere que las secuencias de cuenca extensional antes descritas fueron depositadas sobre un basamento continental constituido por rocas de esa suite ígnea. El metamorfismo de alto grado ligado al evento Elzeviriano de la orogénesis Grenvilliana fue responsable de la recristalización, neomineralización y deformación de la secuencia sedimentaria evaporítica continental y su basamento.

En cuencas extensionales generadas por un posterior colapso orogénico pudo ser posible el emplazamiento de magma máfico, generalmente de tendencia alcalina e intraplaca, que luego sufrió, durante el Paleozoico, un metamorfismo de grado medio en la facies de la anfibolita, generando anfibolitas sin clinopiroxeno. Este metamorfismo pudo producir algunas reacciones retrógradas que se observan en los ensamblajes de alto grado, que también sufrieron un ulterior evento de bajo grado durante el adosamiento del terreno Falconia al margen NO de Suramérica debido a la colisión entre ésta y la placa del Caribe.

Conclusiones

Las rocas del terreno Falconia contienen tres asociaciones litológicas diferentes: a) metasedimentaria, constituida por cuarcita feldespático-granatífera (metarcosa), gneis cordierítico-sillimanítico (metapelita), mármol silíceo, roca calco-silicatada y paraganofel ultramáfico; b) metaplutónica, constituida por una suite anortosita-charnockita-mangerita-granito (AMCG) desmembrada y tectonizada, y c) metavolcánica (presumiblemente), constituida por posibles intrusiones o extrusiones basálticas transformadas a anfibolita, y posibles metatobas félsicas, ahora granofels feldespático-cuarzo-clinopiroxénicos. Todas estas rocas han sufrido fuerte recristalización, deformación y alteración retrógrada.

Las litologías más diagnósticas son las metacarbonáticas, que exhiben minerales primarios exóticos como: condrodita, diópsido, flogopita, espinela, yeso (pseudomorfo de anhidrita), serpentina (pseudomorfa de forsterita), escapolita y tremolita, especies se relacionan con secuencias sedimentarias evaporíticas del tipo *sabkha*, caracterizadas por la presencia de sales haloideas alcalinas, margas, lutitas Mg-smectíticas magnesianas, calizas dolomíticas, sulfatos de Ca y sulfuros de Cu-Fe exhalativos, depositada en cuencas de tipo *rift* o retro-arco extensional ensiálicas, interestratificadas con sedimentos arcóscicos posiblemente depositadas sobre un basamento ígneo de la suite AMCG, intrusionada por diques máficos y metamorfizada a alto grado.

Los conjuntos metamórficos diagnósticos de metamorfismo de alto grado, en la subfacies de la granulita piroxénica comprenden ensamblajes en equilibrio y contacto mutuo con puntos triples: cordierita-ortopiroxeno-granate y cordierita-clinopiroxeno-cuarzo. Muchos minerales anhidros originales formados a alta temperatura han sufrido efectos retrógrados y/o hidrotermales y han sido pseudomorfizados por fases hidratadas, como serpentina, clorita, yeso y epidoto.

Agradecimientos

Al grupo de trabajo geológico del Dr. Franco Urbani, al que pertenezco, y que incluye a los profesores David Mendi, Ruthman Hurtado y Enzo Caraballo, a Marvin Baquero de Intevp, Herbert Fournier de la Queens University (Toronto, Canadá), al Ing. Eduardo Rivadeneyra, a los proyectos Geodinos y LOCTI (Investigaciones geológicas del norte de Venezuela) de Funvisis y a la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la U.C.V.

Referencias

- Baquero M., S. Grande, F. Urbani, U. Cordani, K. Sato, P. Shaaf, C. Hall, D. Mendi & M. Azancot (2011). New LA-ICP-MS U-Pb zircon dating, ^{40}Ar - ^{39}Ar and Sm-Nd model ages: Evidence of remnants of the Grenvillian Event in the basement of the Falcon and Maracaibo Basins, northwestern Venezuela. *XIII Cong. Colombiano de Geología, XIV Cong. Latinoamer. de Geol.*, in press.
- Cardona A., U. Cordani & W. McDonald. 2005. Tectonic correlations of pre-Mesozoic crust from the northern termination of the Colombia Andes, Caribbean region. *Journal of South American Earth Sciences* 21: 357-354.
- Chiarenzelli J, M. Lupulescu, E. Thern & B. Cousens. 2010. Tectonic implications of the discovery of a Shawinigan ophiolite (Pyrites Complex) in the Adirondack Lowlands. Downloaded from geosphere.gsapubs.org on April 21, 2011. *Geosphere* 7: 333-356. doi: 10.1130/GES00608.1.
- Dostal J., J. D. Keppie, H. McDonald & F. Ortega-Gutiérrez. (2008). Sedimentary Origin of the Calcareous Intrusions in the ca. 1 Ga Oaxacan Complex, Southern Mexico. Tectonic Implications, in *Middle American Terranes, Potential Correlatives, and Orogenic Processes*. International Geological Correlation Program Project N° 453: Comparison of Modern and Ancient Orogens-Uniformitarianism Revisited, J. D. Keppie, J. Brendan-Murphy, F. Ortega-Gutiérrez, and W. G. Ernst eds. CRC Press: 397 p.
- Fournier H, J. K. W. Lee & U. Franco. 2010. Thermochronology Ar-Ar of samples of the Miguelena River, Vargas State and the Grenvillian-related rocks in the Bocoy River, Portuguesa State, Venezuela. *Geos*, UCV, Caracas, 41: 15-18.
- Grande S. (2007). Xenolitos en las lavas del cerro Atravesado, cuenca de Falcón central. *Memorias IX Congreso Geológico Venezolano*, UCV, Caracas, nov. 2007, en CD. [Reproducido en *Geos* 39 (2007): 89 + 10 p. en carpeta 154 del DVD, 2008].
- Grande S. (2009). Estudio petrográfico de los xenolitos corticales y mantelares presentes en las lavas del Cerro Atravesado, Falcón central, Venezuela. *Rev. Fac. Ingeniería*, UCV, Caracas, 24 (1): 11-30.
- Grande S. 2011a. Terreno Falconia: bloque alóctono de alto grado en el NO de Venezuela. Preparado para el *IV Simposio de Geociencias de Rocas Ígneas y Metamórficas*, que se realizará en el marco del *IV Congreso Venezolano de Geociencias*, Caracas, dic. 2011, en prensa.
- Grande S. & F. Urbani. (2009). Presence of high-grade rocks in NW Venezuela of possible Grenvillian affinity. En: K. H. James, M. A. Lorente & J. L. Pindell (eds). *The Origin and Evolution of the Caribbean Plate*. Geol. Soc. London, Sp. Pub., 328: 533-548.
- Hildebrand R. S. & R. M. Easton. 1995. An 1161 Ma suture in the Frontenac terrane, Ontario segment of the Grenville Orogen. *Geology*, 23: 917-920
- Martínez & Valletta (2008). Petrografía de las facies gruesas de la Formación Matatere y otras unidades del centro-occidente de Venezuela. *Geos*, UCV, Caracas, 40, 277.
- Mendi D., L. Camposano, F. Urbani & M. Baquero (2005). Petrografía de rocas del basamento del norte del estado Falcón. *Geos*, Caracas, 38 (2005): 32-33 + presentación de 42 láminas en CD, carpeta 15].
- Ordoñez O., M. Pimentel & R. Moraes. 2002. Granulitas de Los Mangos, un fragmento grenvilliano en la parte oriental de la Sierra Nevada de Santa Marta. *Rev. Acad. Colombiana Cienc. Ex., Fis. y Nat.* 26: 169-179.
- Urbani F., F. Lozano, A. Mussari, S. Grande, D. Mendi & J. E. Wright. (2011). Geología de la región norte de Yumare, estados Yaracuy y Falcón. *IV Simposio Venezolano de Geociencias de las Rocas Ígneas y Metamórficas*, UCV, Caracas, nov. 2011, in press. *I Congreso Venezolano de Geociencias*, Caracas, dic. en prensa.