

nuevas minas. Las imágenes multiespectrales permiten diferenciar minerales superficiales, lo que puede reducir el tiempo y costo de exploración.

**Geología costera y sedimentología:** En estudios de costas y sedimentación, los drones permiten la recolección de datos sobre erosión costera, cambios en las líneas de costa y sedimentación fluvial. Esto es especialmente importante en áreas donde el cambio climático está afectando la geomorfología costera.

### El Futuro de los Drones en Geología: Limitaciones y Desafíos

A pesar de los avances, el uso de drones en la geología enfrenta algunos desafíos. Uno de los principales es la limitación de la autonomía de vuelo, especialmente en áreas remotas o de difícil acceso. La duración limitada de la batería puede restringir las operaciones, lo que requiere un planeamiento logístico cuidadoso. Además, el procesamiento de grandes volúmenes de datos, que

puede ser de varios gigabytes, puede ser costoso y consumir tiempo. Los modelos detallados, como los generados por LiDAR, pueden requerir servidores potentes y personal capacitado para interpretar los resultados. La regulación también es un factor importante, ya que en muchas regiones el uso de drones está limitado por leyes de aviación civil. Las mejoras en la autonomía de vuelo, el desarrollo de algoritmos de inteligencia artificial para procesar datos y la miniaturización de sensores avanzados permitirán a los geólogos acceder a datos más precisos y en tiempo real. También se prevé un aumento en la integración de drones con otros sistemas, como satélites y equipos terrestres, para obtener una visión más completa de las condiciones geológicas.

El futuro de los drones en la geología es prometedor y fascinante, con nuevas aplicaciones tanto en la investigación científica como en la industria, que sin duda continuarán redefiniendo los límites de la exploración geológica.

afloramientos antiguos de aguas someras y profundas de México, Turquía y Marruecos en colaboración con entidades públicas y privadas de esos países. Es instructor de cursos de campo y oficina en arquitectura de yacimientos de aguas profundas y tectónica salina por debajo de la resolución sísmica.

[r.lopez.jimenez00@aberdeen.ac.uk](mailto:r.lopez.jimenez00@aberdeen.ac.uk)



**Ramón López Jiménez** es un geólogo con 14 años de experiencia en investigación y en varios sectores de la industria y servicios públicos. Es un especialista en obtención de datos en campo, su análisis y su conversión a diversos productos finales. Ha trabajado en EEUU, México, Colombia, Reino Unido, Turquía y España. Su especialidad es la sedimentología marina de aguas profundas. Actualmente realiza investigación en

## PETROGRAFÍA DE LOS XENOLITOS EN LA LAVA DEL CERRO ATRAVESADO, CUENCA DE FALCÓN CENTRAL, VENEZUELA

**SEBASTIAN GRANDE**

Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Universidad Central de Venezuela

### INTRODUCCION

La Provincia Magmática de Falcón Central, de relativa corta duración, 23-15 Ma, (Mc.Mahon, 2000) fue intrusada en los sedimentos poco consolidados de las formaciones Paraíso y Pecaya, del Oligoceno, en el centro de la Cuenca de Falcón. Estudios realizados en estas rocas por Escorihuela & Rondón (2000) demostraron que se trata de rocas alcalino-máficas de marco tectónico intraplaca, que han sido interpretadas como intrusiones subvolcánicas en una cuenca de colapso orogénico o *back-arc* asociada al arco del Caribe, pero en su prolongación continental hacia el SW.

La Provincia consta de unos 15 cuerpos entre los cuales se destacan por su tamaño kilométrico los cerros Agachiche y Manaure, de edad 15 Ma, y varias chimeneas y mantos intrusivos, entre los cuales se halla en su extremo SW el cerro Atravesado, (Fig. 1). Este cuerpo tiene unos 350 m de diámetro y consta de dos chimeneas, denominadas Atravesado y Garrapata (Fig. 2). Es notable en estas rocas volcánicas su naturaleza brechada y la abundancia de xenolitos corticales y mantelares que contienen (Figs. 4, 5, 8 y 9), pudiéndose considerar como diatremas o chimeneas de brecha. Debido a que la intrusión de estas chimeneas diatrémicas fue en sedimentos poco consolidados y saturados en agua, se desató una vigorosa circulación hidrotermal, que produjo la carbonatación y cloritización de las lavas y sus xenolitos por igual.

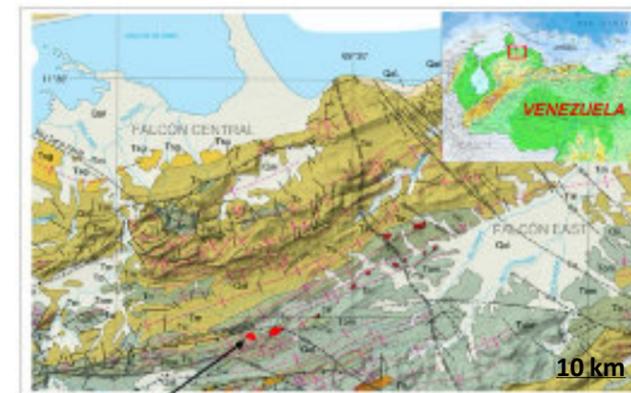


Figura 1. Mapa de ubicación del estado Falcón, Venezuela, y de los cerros Atravesado y Garrapata.

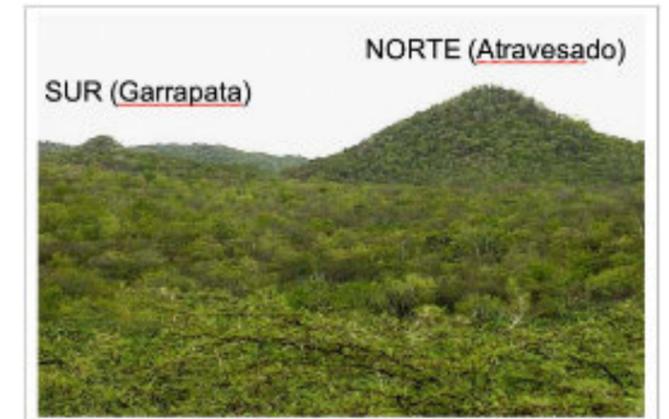


Figura 2. Conjunto de chimeneas de brecha (diatremas) del cerro Atravesado-Garrapata. De la chimenea norte del cerro Atravesado, provienen los variados xenolitos estudiados en este trabajo.

### MARCO TECTONICO

El origen de las lavas de la cuenca central de Falcón y del cerro Atravesado se debió probablemente a un proceso de colapso orogénico ocurrido en el retroarco (back-arc) del arco de Grenada cuando éste se hallaba frente a la parte NO de Sudamérica, donde generó un pequeño rift continental (Fase I, Fig. 3), en cuyas etapas iniciales fueron intrusados cuerpos peralcalinos basaníticos como los cerros Atravesado, Garrapata y Redondo, llenos de xenolitos corticales y mantelares. Los cuerpos más recientes (Fases II y III, Fig. 3) fueron mantos de basalto alcalino y tholeítico.

En las muestras recolectadas por Escorihuela y Rondón (2000) y por el autor, en enero 2007, se colectó un conjunto de xenolitos centimétricos a decimétricos, que fueron agrupados de la siguiente manera:

- Mármoles de alto grado
- Rocas de aspecto "gabroide"
- "Mármoles" con serpentina y espinela
- Esquisto micáceo
- Caliza fosilífera
- Chert negro
- Rocas sedimentarias clásticas

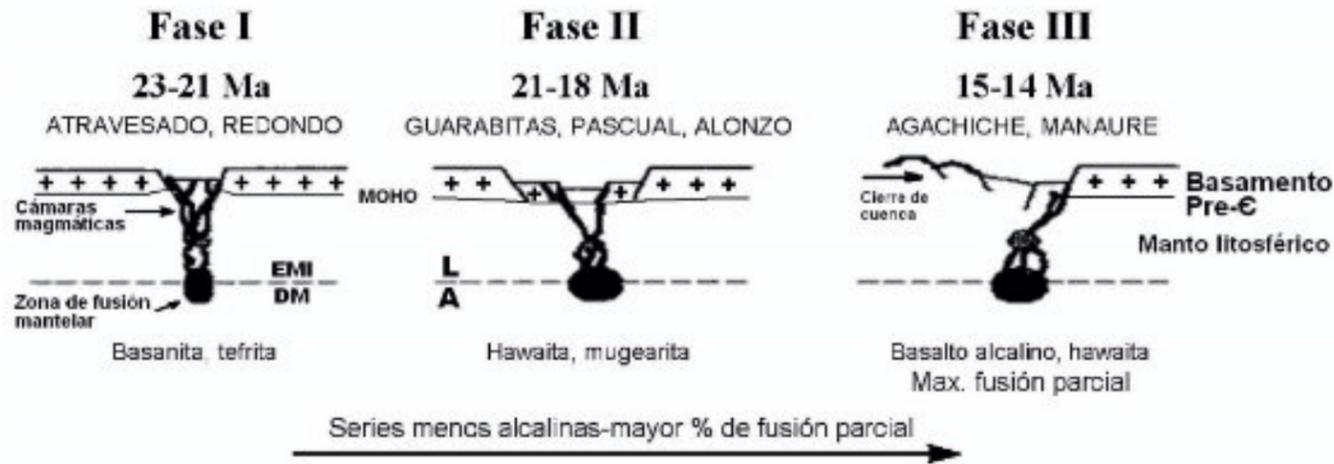


Figura 3. Modelo tectónico extensional propuesto para el vulcanismo intraplaca de la cuenca de Falcón. Es evidente que los primeros cuerpos intrusivos fueron chimeneas de brecha explosivas (diatremas) de basanita-tefrita que irrumpieron a través de la litosfera mantelar trayendo a la luz nódulos de peridotita (harzburgita o lherzolita espinélica), mientras que a niveles algo más someros el fracturamiento de la corteza continental permitió que también trajeran a la superficie xenolitos del basamento continental precámbrico (grenvilliano) y otros. La estrecha cuenca marina formada fue un retro-arco donde ocurrió una sedimentación en aguas profundas, de modo que los intrusivos fueron emplazados en sedimentos pelíticos saturados en agua, desatándose así una vigorosa circulación hidrotermal que alteró tanto a las lavas como a los xenolitos contenidos en ellas. L: litósfera continental, A: astenósfera, EMI: manto enriquecido; DM: manto agotado, cruces +: corteza continental. Modificado de McMahon (2000).

**Mármoles de alto grado**

Los xenolitos de mármol de alto grado fueron considerados por Muessig (1978) como mármoles de contacto generados por metamorfismo de bloques de calizas pre-terciarias ubicadas en el basamento de la Cuenca de Falcón. Sin embargo los fragmentos de mármol embebidos en las lavas no muestran ninguna aureola de contacto pirometasomática de alta temperatura, que generalmente contiene silicatos de Ca-Mg de muy alta temperatura, como grossularia, forsterita, wollastonita, larnita, monticellita, spurrita, etc., sino más bien una milimétrica zona de reacción fuertemente cloritizada (Figs. 4b y 5b), con lo que se descarta que sean mármoles de contacto. Son pues mármoles de alto grado que han sufrido alteración hidrotermal, xenolitos de un basamento continental Proterozoico medio-tardío, posiblemente grenvilliano.

**Rocas de aspecto “gabroide”**

Xenolitos decimétricos de color pardo claro verdoso se hallan en las lavas del cerro Atravesado. Interpretados originalmente como “gabros”, un estudio más detallado permitió identificarlos como rocas metamórficas de alto grado, es decir, granulitas o charnockitas máficas (enderbitas). Se llega a tal conclusión notando la complejidad de las plagioclasas, su textura mirmequítica y antipertítica, su leve extinción ondulatoria y la

presencia de pseudomorfos cloritizados de clinopiroxeno, y algunos de probable hipersteno. Estas rocas probablemente también pertenecerían al mismo basamento grenvilliano antes mencionado. En una excursión ulterior se halló un xenolito de 20 cm de anortosita, roca plagioclásica leucocrática (Figura 4a).



Figura 4. (a) FA-39. Xenolito de anortosita proveniente del cerro Atravesado, mostrando leve cloritización. Estos xenolitos tienen tamaños decimétricos (hasta 20 cm de diámetro) y se consiguen sueltos en las laderas del cerro. (b) FA-38. Xenolito de mármol de probable origen continental. Nótese la zona de alteración oscura que rodea al xenolito formada por clorita, lo que descarta que estos sean mármoles de contacto o pirometasomáticos dada la carencia de silicatos cálcicos de muy alta temperatura.

**“Mármoles” con serpentina y espinela**

Considerados como “mármoles de alto grado con espinela” por Muessig (1978) se reconoce en ellos la presencia de Mg-olivino serpentinado y reliquias de

piroxenos, carbonatados y cloritizados (Fig. 5a). Sin embargo, descuellan en estas rocas la presencia de grandes cristales de Cr-espinela de color rojizo oscuro que hace pensar que se trata más bien de nódulos mantelares de peridotita espinélica (lherzolita o harzburgita) serpentinizados y carbonatados (Fig. 5b) La presencia de Cr-espinela ayuda a diferenciarlos de los “verdaderos” mármoles de alto grado, también presentes,; del resto, sería muy fácil confundirlos.



Figura 5. (a) FA-43. Nódulo mantelar de 30 cm de diámetro dentro de la chimenea de brecha del cerro Atravesado (flecha). La chimenea está repleta de nódulos similares y numerosos xenolitos corticales, metamórficos, ígneos y sedimentarios, que representan un muestrario gratuito de la litósfera continental de Suramérica. (b) FA-53. Nódulo mantelar serpentinado y carbonatado, donde el único mineral primario preservado es la Cr-espinela, que se observa como pequeños puntos oscuros y brillantes. La presencia de Cr-espinela de origen mantelar delata su naturaleza peridotítica. Escala en cm.

**PETROGRAFIA DE LOS XENOLITOS ígneo-metamórficos**

La Tabla 1, al final del artículo, muestra la mineralogía modal y posible clasificación de estas rocas, algunas de ellas fueron alteradas por procesos post-magmáticos de alteración hidrotermal de baja temperatura. A continuación se describen petrográficamente estas rocas excepcionales.

**Mármol de alto-medio grado**

Son rocas de grano medio a fino, con textura levemente foliada (Figs. 6a,b). Su mineralogía es muy sencilla, constan a lo sumo de tres o cuatro fases esenciales y muy pocos accesorios. Son rocas carbonáticas de origen metasedimentario, que considerando su edad posiblemente proterozoica no pueden sino representar antiguos arrecifes o plataformas de estromatolitos, un tipo de algas calcáreas coloniales que aun persisten en solitarias playas australianas. En esos lejanos tiempos no existían ni siquiera braquiópodos crinoideos o corales, solo se conocen y son muy difundidas en ese eon estas colonias carbonáticas, que en algunos cinturones de rocas verdes muestran muy poco metamorfismo y

recristalización, permitiendo acertar su origen orgánico. Los estromatolitos forman cuerpos de gran tamaño, de hasta 1-2 m de altura y diámetro de 0,5-1 m, con aspecto de hongo gigante y una estructura denominada de “patas de elefante” debida a la alineación subparalela de colonias de individuos en hileras. Evidentemente, en estos mármoles de alto grado toda estructura orgánica ha sido totalmente destruida (ver Figs. 5a,b), siendo éstas rocas recristalizadas a muy altas temperaturas (más de 750 °C).

Los protolitos de estos mármoles fueron carbonatos impuros, la presencia de silicatos en ellas, sobre todo máficos, como diópsido y flogopita, indica que las calizas dolomíticas o dolomías originales eran al menos arcillosas y/o silíceas, lo que pudiera implicar que se originaron en plataformas o mares epicontinentales en márgenes pasivos, con un cierto aporte de terrígenos continentales. Algunos son rocas calco-silicatadas.

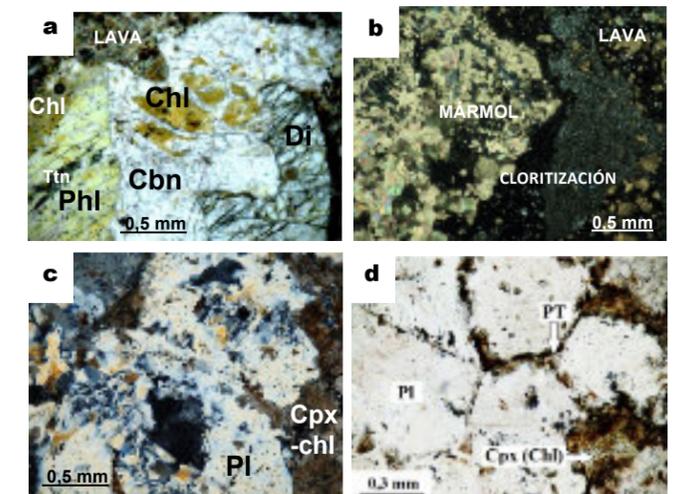


Fig. 6. Fotomicrografías (FMG) de xenolitos corticales. (a) FA-38. Sin polarizadores cruzados (SN). Mármol diópsido-flogopítico, algo cloritizado. (b) FA-51C, con polarizadores cruzados (NX). Xenolito de mármol mostrando zona de reacción clorítica formada en contacto con la lava huésped. (c) FA-36, NX. Xenolito de granulita máfica (o enderbita) en la lava basáltica del cerro Atravesado. (d) FA-39, NX. Xenolito de anortosita con textura de acumulada, mostrando puntos triples (PT) y piroxenos cloritizados. Todas ellas rocas representan basamento continental de alto grado, de afinidad posiblemente grenvilliana (Neoproterozoico).

El análisis petrográfico muestra la presencia de carbonato incoloro (posible calcita o dolomita). El piroxeno es diópsido, muy pobre en Fe, y está algo carbonatado y/o cloritizado.

A continuación se describen los minerales presentes en

- **Carbonato:** anhedral, a menudo con textura de mortero, fuertemente triturado, con intensa deformación y plegamiento de las maclas polisintéticas. A menudo sustituye por remplazo al diópsido.
- **Diópsido:** subhedral a euhedral, raras veces bien preservado, mostrando exsoluciones paralelas y muy finas de ortopiroxeno. Los cristales a veces han sido sustituidos por el carbonato de la matriz o aparecen cloritizados.
- **Flogopita:** amarillo parduzco, hábito micáceo, con titanita granular a lo largo del clivaje (Fig. 6a). Parcialmente cloritizada.
- **Clorita:** verde pálido, plumosa a fibrosa, forma agrupaciones aisladas que provienen de la alteración de cristales de clinopiroxeno magnesiano, de los cuales quedan algunas pequeñas reliquias, y de flogopita. También rodea a los xenolitos en el contacto con la lava encajante, como se observa en las Figs. 5a-5b, donde ha sido producida por alteración hidrotermal postintrusiva y no por metamorfismo de contacto.
- **Cuarzo:** incoloro, granular, escaso. Forma agregados donde es muy visible la poligonización de los bordes rectos.
- **Titanita:** parda, granular, como alteración de flogopita a lo largo del clivaje.
- **Opacos:** generalmente hematita en granos anhedrales.

#### Charnockita máfica (enderbita)

Rocas de aspecto gabroide, conteniendo plagioclasa abundante y reliquias o pseudomorfos de piroxenos cloritizados o carbonatados. Se evidencian texturas metamórficas como antipertitas, mirmequitas y extinción ondulatoria en la plagioclasa, así como inclusiones de cuarzo fibroso y una textura general granoblástica (Fig. 6c). La presencia de reliquias de ortopiroxeno y pseudomorfos de clinopiroxeno permite clasificar estas rocas como gabros charnockíticos (enderbitas), no siendo verdaderos gabros. A continuación se describen los minerales presentes:

- **Plagioclasa:** incolora, posiblemente andesina, solo muestra algunas maclas según ley Carlsbad. Tiene textura poiquiloblástica y mirmequítica, a menudo es antipertítica y contiene inclusiones de cuarzo de aspecto fibroso y alargado, junto con parches de carbonato ferruginoso.

las secciones finas de estos mármoles (Figs. 6a-b):

- **Cuarzo:** incoloro, como inclusiones fibrosas o alargadas dentro de la plagioclasa.
- **Clinopiroxeno:** reliquias xenoblásticas redondeadas con hábito prismático corto. No puede acertarse el tipo de piroxeno debido a su alteración casi total a carbonatos ferruginosos y clorita.
- **Carbonatos:** calcita, incolora y xenoblástica, carbonatos de Ca-Fe (ankerita o siderita) levemente pleocroicos en tonos marrones a pardos. Ambos provienen de la alteración de piroxenos y plagioclasa, aparecen como parches dentro de esta última y sustituyen al antiguo piroxeno, junto con la clorita. También aparecen como vetillas cortando a la plagioclasa y rodeándola.
- **Opacos:** hematita/pirita, diseminada en toda la roca y finamente dividida.

#### Anortosita

Roca leucrática de aspecto gabroide, conteniendo plagioclasa abundante y reliquias o pseudomorfos de piroxenos. Se halló un xenolito de esta litología en las laderas de la chimenea del cerro Atravesado, con 20 cm de diámetro y con una delgada costra marronzuca de meteorización (Fig. 4a). Su petrografía es la siguiente:

- **Plagioclasa:** incolora, posiblemente andesina. Tiene textura de acumulado, sin zonación y exhibiendo numerosos puntos triples, que son resaltados por bandas finas de clorita (Fig. 6d).
- **Piroxeno:** restos alterados a clorita. No puede acertarse el tipo de piroxeno debido a su alteración casi total a carbonatos ferruginosos y clorita.
- **Opacos:** hematita/magnetita, finamente divididas y diseminadas en toda la roca.

#### Nódulos mantelares alterados

Estos son xenolitos o nódulos mantelares de peridotita espinélica provenientes del manto superior litosférico subcontinental de la placa Sudamericana. Su grado de alteración serpentinitica-carbonatada es tal que tienen el aspecto de "mármoles dolomíticos", incluso se confunden con ellos y con las llamadas "oficalcitas", pero la presencia de vistosos cristales ameboidales de Cr-espinela de color pardo-naranja delata su naturaleza mantelar, pues la Cr-espinela no es nunca un mineral cortical, al igual que el piropo, la coesita o el diamante (Figs 5 y 7). Es sabido que el campo de estabilidad de la Cr-espinela mantelar va desde los 30-70 km de profundidad, de modo que estos nódulos provienen

posiblemente del manto litosférico situado debajo de la placa Sudamericana. A continuación se describe su petrografía:

- **Serpentina:** antigorita producto de alteración del Mg-olivino original, con débil color verdoso y hábito escamoso. Reemplaza totalmente a los cristales de olivino y, posiblemente, de ortopiroxeno. Es frecuente ver vetillas de crisotilo atravesar los nódulos y cortar la lava encajante (Fig. 7a).
- **Clinopiroxeno:** totalmente carbonatado y rodeado por serpentina. Se presume que era diópsido o augita original, ahora totalmente alterado.
- **Ortopiroxeno:** se presume su existencia dado que se hallan xenocristales serpentinizados de enstatita en la lava, de modo que la roca inicial pudo ser harzburgita o lherzolita, donde el ortopiroxeno se ha transformado junto con el olivino en serpentina.
- **Espinela cromífera:** xenomórfica y ameboidal, de vistoso color pardo-naranja, rodeada de una delgada aureola de posible siderita de color pardo (Figs. 7b-c-d). Contiene inclusiones de un opaco que pudiera ser cromita. Todo ello confirma su naturaleza mantelar profunda.
- **Clorita:** verde pálido, plumosa a fibrosa, rodea a los xenolitos en el contacto con la lava encajante, como se observa en las Figs. 7c-d, donde ha sido producida por alteración hidrotermal post-intrusiva y no por metamorfismo de contacto.

#### Esquisto micáceo

Se halló un xenolito grisáceo, con unos 4 cm de largo, de roca esquistosa (Fig. 8). Tiene textura granolepidoblástica, con bandas de cuarzo-albita con cristales suturados, alternadas con bandas de clorita-sericita. Su metamorfismo es de bajo grado, facies esquisto verde y su edad posiblemente es mesozoica, relacionándose posiblemente con la Filita de Pueblo Nuevo, de edad Jurásico, que aflora en la mesa de Cocodite, en Paraguaná Central, unos 120 km al norte.

#### XENOLITOS DE ROCAS SEDIMENTARIAS

En esta chimenea de brecha volcánica de cerro Atravesado también se ha hallado una variedad de xenolitos sedimentarios, que van desde caliza fosilífera a chert, incluyendo varios tipos de rocas sedimentarias clásticas pelítico-psamíticas.

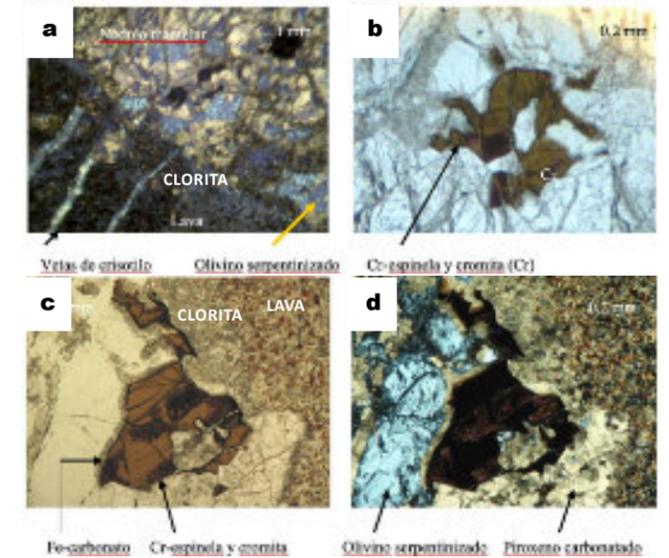


Figura 7. FA-42. (a) NX. Contacto entre la lava basáltica del cerro Atravesado y nódulo mantelar alterado, con cristales de Cr-espinela isotrópicos. Nótese la delgada zona de alteración clorítica alrededor del xenolito. (b) Detalle de la anterior, SN, mostrando la carbonatación del nódulo y cristales de espinela ameboidales, con un núcleo opaco de posible cromita. (c) Otra vista de la anterior, SN. Clinopiroxeno carbonatado, olivino serpentizado y Cr-espinela rodeada por carbonato ferroso con núcleos de cromita.

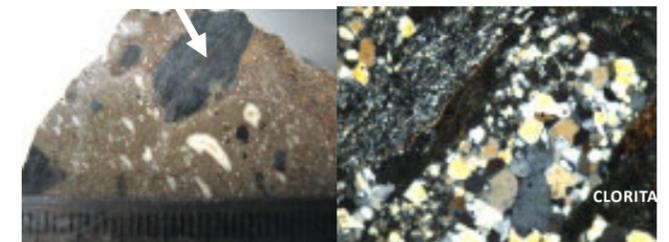


Figura 8. FA-451C. (a) Foto. Xenolito de roca esquistosa en lava basáltica amigdaloidal (flecha). (b) FMG. NX. Esquisto czo-albitico-micáceo, formado por bandas granoblásticas de cuarzo-albita alternadas con bandas lepidoblásticas de clorita-sericita. La clorita es pseudo-isotrópica.

#### Caliza fosilífera:

Rocas parduzcas de grano muy fino, son los más importantes de los xenolitos sedimentarios, debido a su contenido fósil de foraminíferos, donde se logró identificar, a pesar de la fuerte silicificación que ha borrado muchas de sus características internas y ornamentación, los géneros *Rotalipora sp.* y *Helvetoglobotruncana sp.*, ambos constituyen foraminíferos mesozoicos con quilla. Se muestran en la Fig. 9, junto con los esquemas de Sliter & Jarvis (1999). La Tabla 2 muestra los rangos de edad de ambas especies, que permiten determinar la edad de esta

caliza como Cretácico Medio (Cenomaniense), pudiéndose correlacionar, tentativamente, con partes de la Formación La Luna, incluida en las Napas de Lara, que posiblemente forman parte del basamento subyacente a la Cuenca de Falcón.

**Chert**

Son rocas negruzcas y afaníticas, con abundante materia orgánica, que le confiere su color oscuro. A veces tienen pequeños fósiles de gasterópodos, pero difíciles de identificar, puesto que el grado de recristalización de los mismos no permite su identificación. Destacan en la lava por su textura afanítica y color oscuro, siendo generalmente pequeños, no mayores a 2 cm en diámetro.

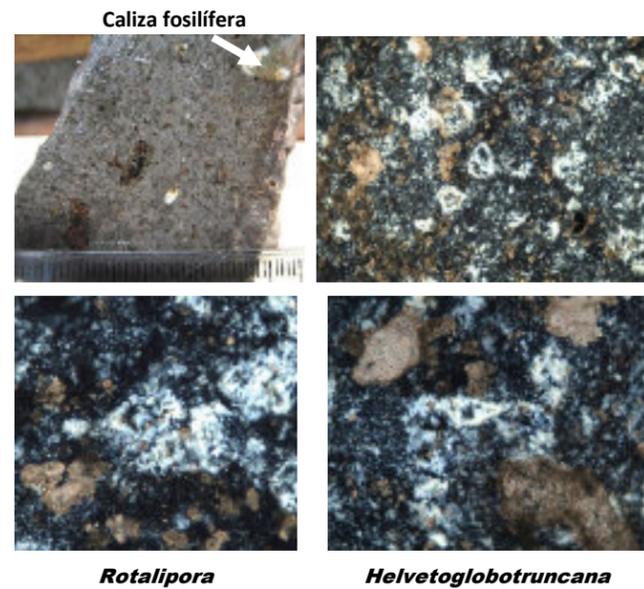


Figura 9. FA-51C. (a) Foto. Xenolito de caliza fosilífera en lava amigdaloidal. (b) FMG. NX. Restos fósiles silicificados en la caliza. (c) Microfósil silicificado de foraminífero mesozoico con quilla, identificado como *Rotalipora* sp. (d) Microfósil silicificado de foraminífero con quilla, identificado como *Helvetoglobotruncana* sp. Esquemas de Sliter & Jarvis (1999).

Figura 9. FA-51C. (a) Foto. Xenolito de caliza fosilífera en lava amigdaloidal. (b) FMG. NX. Restos fósiles silicificados en la caliza. (c) Microfósil silicificado de foraminífero mesozoico con quilla, identificado como *Rotalipora* sp. (d) Microfósil silicificado de foraminífero con quilla, identificado como *Helvetoglobotruncana* sp. Esquemas de Sliter & Jarvis (1999).

**Xenolitos de rocas clásticas (de origen incierto)**

Rocas limolíticas formadas por granos de cuarzo redondeados (con bordes suturados y sobrecrecimientos euhedrales de cuarzo) o laminaciones de limonita y lutita. Es difícil establecer a qué unidad podrían pertenecer, habiendo estas dos posibilidades: lutitas y limolitas cretácicas, del tipo

Formación Colón; o lutitas terciarias del tipo formaciones Paraíso o Castillo. Dada la extensión geográfica de las formaciones terciarias, lo más probable es que se trate de areniscas y limolitas de la Formación Paraíso, unidad ésta que constituye la roca caja más superficial este cuerpo volcánico intrusivo.

**PROCEDENCIA DE LOS XENOLITOS DE ALTO GRADO**

En varias localidades del NO de Venezuela se han hallado recientemente rocas de alto grado metamórfico, incluyendo granulita, anortosita, mármol, gneis pelítico, charnockita y clinopiroxenita (Mendi *et al.*, 2005; Grande & Urbani, 2009).

Notables son los núcleos extraídos en los años '70 por la Corporación Venezolana del Petróleo (C.V.P.) en la plataforma de La Vela de Coro a entre 8500' y 16.200' de profundidad (Mendi *et al.*, 2005 y Grande & Urbani, 2009). Pero en el cerro El Guayabo, (al NE de Yaracuy) Grande *et al.* (2007) hallaron un cuerpo kilométrico, limitado por fallas transcurrentes oblicuas, formado por un complejo de charnockitas máficas (enderbitas) y félsicas (mangeritas) conteniendo numerosos budines de mármoles de varios tipos, cortados por numerosos diques de clinopiroxenita anfibólica. Otras rocas de alto grado, que incluyen mármol dolomítico, metaevaporita, charnockita félsica y máfica, y anortosita, han sido halladas en Yaracuy y Lara, como cantos en conglomerados de formaciones terciarias como Matatere, Río Guache y Casupal, o como rodados de origen incierto en las cuencas de río Bocoy y quebrada Riecito, en el NO de Portuguesa.

Descartando los "mármoles" con espinela, que en verdad son nódulos ultramáficos del manto litosférico subcontinental fuertemente alterados a carbonato y serpentina, los otros mármoles y las rocas de aspecto gabroide conforman una asociación de alto grado similar a la hallada en las otras localidades descritas. De este modo, Grande & Urbani (2009) postularon la existencia, al menos localmente, de un basamento de medio-alto grado, posiblemente grenvilliano, de edad Proterozoico medio-tardío por debajo de la cuenca de Falcón, al menos desde la mesa de Cocodite a La Vela de Coro a La Cruz de Taratara, el cual considera como un terreno alóctono, Terreno Falconia, acrecionado al NW de Suramérica, como parte del Orógeno Putumayo, definido por Ibañez-Mejía (2011). Dicho Orógeno aflora extensivamente en la sierra de Santa Marta y el Macizo de Garzón en Colombia, además de Oaxaca (México), Arequipa (Perú) y otras localidades. Con semejante extensión areal no puede tratarse de un pequeño

terreno tectonoestratográfico continental grenvilliano, sino de un gran mosaico de bloques proterozoicos que comprende todo el margen oeste y NW de Sudamérica, y que también se reconoce en los bloques Chortis y Maya, en la región del Caribe occidental. El orógeno Sunsás, en el SW del Brasil, también pertenece a esta misma orogénesis grenvilliana. Estas rocas han sido fechadas entre 1,4-0,9 Ga en las localidades mencionadas (Baquero *et al.*, 2011).

**CONCLUSIONES**

Como lo mencionan Grande *et al.* (2007) y Grande & Urbani (2009) existe una estrecha relación entre Sudamérica y el orógeno Grenville, situado en la parte SE del Escudo Canadiense. Reconstrucciones tectónicas efectuadas muestran la existencia hace 900-750 Ma de un supercontinente global denominado Rodinia, de cuya amalgamación surgió uno de los cinturones orogénicos más extensos, anchos y elevados que se conozcan en toda la historia del planeta: el Orógeno Grenvilliano y su ramal ortogonal, el Putumayo, definido en esa región de Colombia por Ibañez-Mejía *et al.* (2011).

Las reconstrucciones hasta ahora aceptadas del supercontinente Rodinia muestran que, hace 900-850 Ma el margen oeste de Sudamérica estaba suturado con el margen este de Norteamérica, de modo que el cinturón Grenville abarcaba en parte al margen oeste de Amazonia (en parte Sudamérica), además del Escudo Báltico (Escandinavia) y otras localidades mundiales. La sutura entre los escudos Canadiense y Amazónico se halla en el orógeno Sunsás en Brasil, pero ésta debe

existir probablemente en el basamento de todo el margen oeste y norte de Sudamérica. Debido a esto se hallan rocas de este evento desde Virginia a Texas y hasta Bolivia.

Esto refuerza aun más la hipótesis mencionada en Grande *et al.* (2007) de que debe existir un basamento grenvilliano debajo de todo el margen NW de Venezuela y Colombia. Incluso una sutura similar a la de Sunsás debe estar presente en dicho basamento, pero es muy probable que haya sido soterrada y ocultada por napas y cuencas sedimentarias más jóvenes relacionadas con los orógenos Andino y Caribeño. Sin embargo, gracias a este corto evento magmático de naturaleza extensional, casi como un mini-rift continental, se generaron en Falcón Central estos magmas alcalino-máficos intraplaca de origen profundo que, no solo trajeron a la luz nódulos mantelares litosféricos, sino xenolitos del basamento continental de Sudamérica, reconocidos ahora como rocas de alto grado originadas durante la orogénesis Putumaya; esquistos de bajo grado, posiblemente jurásicos; y de rocas sedimentarias desde Cretácicas a Miocenas posiblemente de las Napas de Lara subyacentes o de la propia Cuenca de Falcón.

De este modo en el centro de la cuenca de Falcón central el basamento grenvilliano oculto ha sido develado de una manera bastante peculiar: como xenolitos corticales traídos a la superficie por algunos diatremas intrusivos como el cerro Atravesado, de naturaleza alcalino-máfica, en un marco intraplaca y como núcleos extraídos del basamento del golfo de La Vela.

Muestra	Qtz	Pl	Cpx	Opx	Ol-S*	Sp	Cbn*	Ap	Op	Litología	Origen probable
FA-38	2	---	13*	---	---	---	81	Tz	Tz	Mármol diopsídico	Basamento Pre-C continental
FA-39a	5	50	45*	Tz <sup>+</sup>	---	---	---	---	Tz	Granulita máfica (enderbita)	Basamento Pre-C continental
FA-39b	---	92	7*	Tz <sup>+</sup>	---	---	---	---	Tz	Anortosita	Basamento Pre-C continental
FA-40	---	---	---	Tz <sup>+</sup>	7	1	92	---	---	Wherlita espinélica alterada	Nódulo mantelar alterado
FA-41	2*	---	---	Tz <sup>+</sup>	56	2	40	---	---	Wherlita espinélica alterada	Nódulo mantelar alterado
FA-42	---	---	---	Tz <sup>+</sup>	9	1	90	---	---	Wherlita espinélica alterada	Nódulo mantelar alterado
FA-43	---	---	---	Tz <sup>+</sup>	57	2	39	---	Tz	Wherlita espinélica alterada	Nódulo mantelar alterado

Tabla 1. PETROGRAFÍA DE LOS XENOLITOS ÍGNEOS Y METAMÓRFICOS DE ALTO GRADO EN LA LAVA DEL CERRO ATRAVESADO

\*: clorita, serpentina y carbonatos son de origen hidrotermal, producto de alteración de piroxenos y Mg-olivino; incluye hipersteno accesorio; Sp: espinela; Ol-S: olivino serpentizado.

Nota: dado el grado de alteración de las peridotitas es difícil establecer la presencia de ortopiroxeno, pero se consideran como harzburgitas o lherzolitas espinélicas.

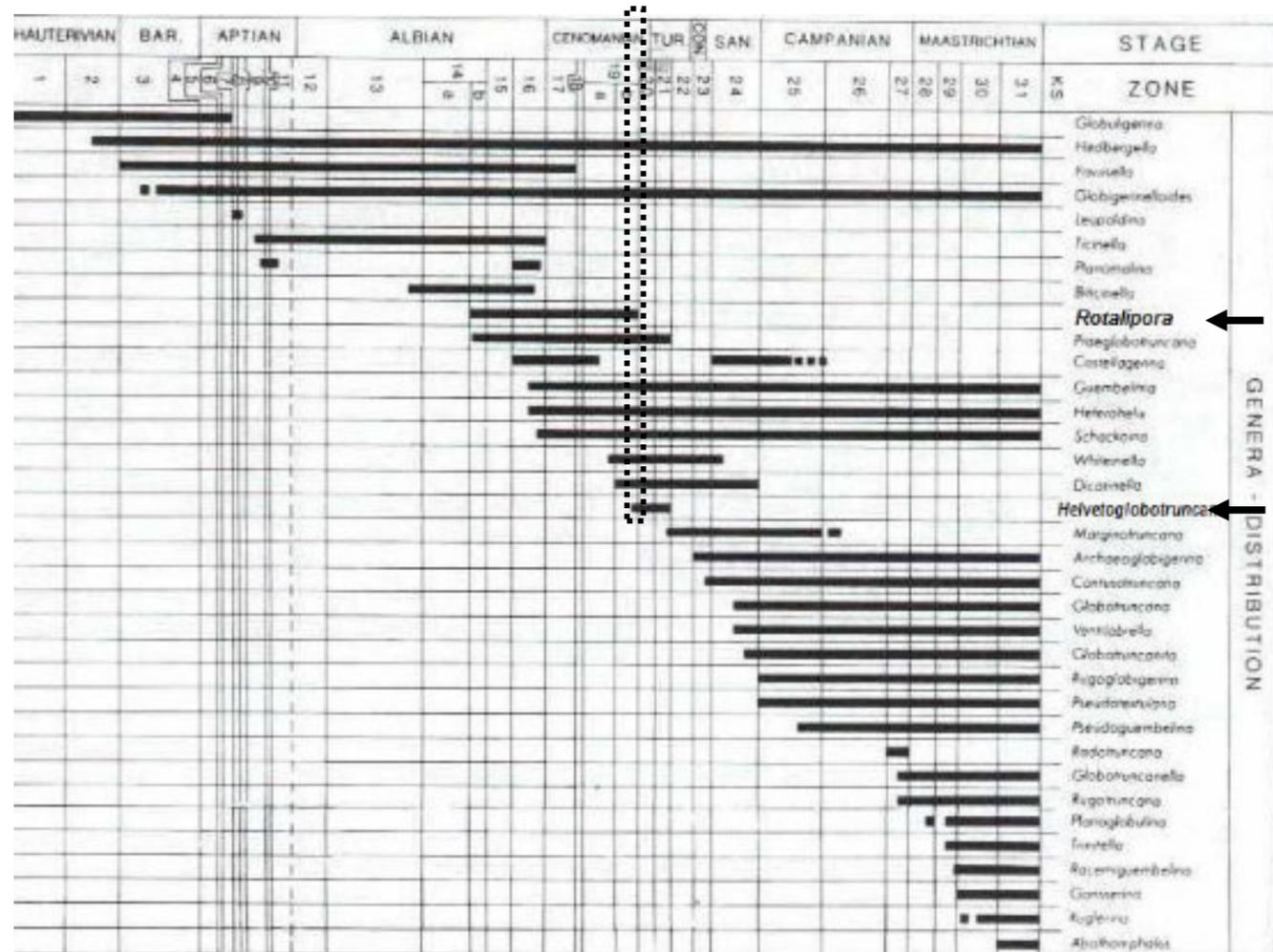


Tabla 2. DISTRIBUCIÓN DE GÉNEROS DE FORAMINÍFEROS CRETÁDICOS

Se muestran **en negritas y punteados** los rangos de los géneros *Rotalipora* y *Helvetoglobotruncana*, que definen una edad Cenomaniense para la caliza fosilífera hallada en cerro Atravesado. Tomado de Sliter & Jarvis (1999).

## REFERENCIAS

- BAQUERO M., GRANDE S., URBANI F., CORDANI U., SATO K., HALL C., MENDI D. & AZANCOT M. (2011). New LA-ICP-MS U-Pb zircon dating, <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar and Sm-Nd model ages: Evidence of the Grenvillian event in the basement of the Falcon and Maracaibo basins, northwestern Venezuela. *14<sup>th</sup> Latin American Geological Congress, Symposium Tectonic Evolution of Western Gondwana: Linking Precambrian basement architecture with terrane processes*, Medellín, Colombia, Abstracts, 1: 320-321.
- ESCORIHUELA N., RONDÓN J., (2002). Estudio de las rocas ígneas presentes en el centro de la Cuenca de Falcón. *GEOS (UCV, Caracas)* 37: 58-59 [+247 p. en CD].
- GRANDE S., F. URBANI & D. MENDI. 2007. Presencia de un basamento Grenvilliano de alto grado en el noroeste de Venezuela (Resumen). *Memorias IX Congreso Geológico Venezolano*, Caracas, noviembre, en CD. (Reproducido en *Geos* 39 (2007): 90 + 16 p. y 43 láminas en carpeta 155 de DVD, 2008).
- GRANDE S. & URBANI, F. (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*. Geological Society, London, Special Publications, 328: 533-548.
- IBÁÑEZ-MEJÍA M., J. RUÍZ, V.A. VALENCIA, A. CARDONA, G. GEHRELS & A. MORA. 2011. The Putumayo Orogen of Amazonia and its implications for Rodinia reconstructions: New U-Pb geochronological insights into the Proterozoic tectonic evolution of northwestern South America. *Precambrian Research*, **171**: 58-77.
- McMAHON C. E. (2000). Evaluation of the effects of oblique collision between the Caribbean and South American plates using geochemistry from igneous and metamorphic bodies of Northern Venezuela. Tesis Doctoral. Univ. de Notre Dame, Indiana, USA.

MENDI D., CAMPOSANO L., BAQUERO M., (2005). Petrografía de rocas del basamento de la ensenada de La Vela. *Notas de avance. GEOS (UCV, Caracas)* 38: 32-33 [+Presentación de 42 láminas en CD].

MUESSIG K. W., (1978). The central Falcon igneous suite, Venezuela: alkaline basaltic intrusions of Oligocene-Miocene age, *Geol. en Mijn.*, 57(2): 261-266

SLITER, W.V. & JARVIS I. (1999). Integrated foraminiferal biostratigraphy and chemostratigraphy of the Querecual Formation, (Cretaceous), Eastern Venezuela. *Jour. Foraminiferal Res.*, 29(4): 487-499



[sgrande52@gmail.com](mailto:sgrande52@gmail.com); [sgrande52@yahoo.com](mailto:sgrande52@yahoo.com)

**Sebastian Grande S.** es Ingeniero Geólogo graduado de la Universidad Central de Venezuela (1983), con una Maestría en Ciencias Geológicas en la misma universidad (2012). Anteriormente obtuvo un título de *Bachelor of Science in Physics* de la *Case Western Reserve University*, en Cleveland, Ohio, EEUU (1973). Tiene 41 años ininterrumpidos de experiencia en investigación y docencia en el área de las geociencias.

Autor/Co-autor en decenas de publicaciones para diferentes boletines y revistas técnicas, como: *Geological Society of London, Special Publications; Lyell Collection*; Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, de Venezuela, Revista GEOS, Revista Venezolana de Geociencias y revista Aula y Ambiente, de la Universidad Pedagógica de Caracas (UPEL); en el libro *Caribbean-South American Interactions*, editado por FUNVISIS; y como revisor-traductor del libro *Precambrian to Jurassic Stratigraphy of Northern South America*, de Gerald Don Kiser. Ha dictado charlas magistrales y numerosas ponencias en eventos geológicos venezolanos como: IX Congreso Geológico Venezolano, I y II Congresos Venezolanos de Geociencias, Jornadas y Simposios de Geología de Rocas Ígneas y Metamórficas, y las Jornadas de la Sociedad Venezolana de Geólogos.

Profesor de la Unidad Docente de Mineralogía, Petrología y Geoquímica del Departamento de Geología de la Universidad Central de Venezuela (1983-2024), donde ha dictado materias obligatorias de la carrera de Ingeniería Geológica, como: Mineralogía, Mineralogía Óptica, Petrología, Yacimientos Minerales Metálicos y la electiva Geología Isotópica, y también materias de postgrado tales como: Petrología ígnea y Petrología Metamórfica. Mentor en 12 tesis de grado y tres de maestría. Sus investigaciones geológicas en rocas ígneas y metamórficas de Venezuela abarcan desde las islas costa afuera (Dependencias Federales), a la Península de Paraguaná-Estado Falcón, isla de Margarita, a la Cordillera del Caribe, y varias provincias petrotectónicas del Escudo de Guayana, centrándose en la geotectónica, geoquímica, geocronología y petrogénesis en los márgenes sur de la Placa del Caribe y norte de Suramérica. También estudió rocas de la península Antártica, Estrecho de Magallanes e islas Azores.

Curador de la sección "Rocas y Minerales" del Museo Geológico "Dr. Royo y Gómez", ubicado en la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela, experto mundial en minerales y rocas, poseedor de una completísima colección privada de minerales, rocas y meteoritos de todas partes del mundo.