

CONSIDERACIONES PETROGENÉTICAS Y GEOCRONOLOGÍA DE LAS ROCAS ÍGNEAS PORFIRÍTICAS AFLORANTES EN LA QUEBRADA VENTANAS (MUNICIPIO ARBOLEDAS, NORTE DE SANTANDER, COLOMBIA): IMPLICACIONES METALOGENÉTICAS

Nataly Cruz S.¹; José A. Carrillo¹; Luis Carlos Mantilla F.¹

Forma de citar: Cruz, N., Carrillo, J.A. y Mantilla, L.C. 2014. Consideraciones petrogenéticas y geocronología de las rocas ígneas porfiríticas aflorantes en la quebrada Ventanas (municipio de Arboledas, Norte de Santander, Colombia): implicaciones metalogénicas. Boletín de Geología, 36(1): 103-118.

RESUMEN

En el sector de la quebrada Ventanas (sector suroccidental del municipio Arboledas; Norte de Santander), se reconoce la presencia de rocas ígneas porfiríticas de composición riodacítica, las cuales fueron datadas por U-Pb en circones mediante el método de LA-ICP-MS (Laser Ablation – Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry), arrojando una edad de 13.9 ± 0.2 Ma (Langhian; Mioceno, Neógeno). Los datos petrográficos y geoquímicos de estas rocas, indican que éstas se formaron en un contexto de subducción, en ambientes de arco magmático de margen continental. Las altas relaciones Sr/Y (entre ~ 44.0 y 94.3) y la ausencia de anomalía negativa en Eu en estas rocas, apuntan a que éstos magmas debieron tener un alto contenido de volátiles y por lo tanto pueden tener un alto potencial para formar mineralizaciones de tipo pórfido de Cu-Au-Mo. Considerando que el magmatismo del Neógeno se manifiesta igualmente en el Distrito Minero de Vetas y California (unos 40 km al SW del área de estudio); en donde ha sido relacionado con procesos de interés metalogénico; es posible suponer que el emplazamiento de estos magmas debió haber sido facilitado por la alta permeabilidad cortical generada por algunas fallas de dirección NE que afectan al Macizo de Santander (por ejemplo: Suratá-Arboledas y Cucutilla). Por consiguiente, las áreas localizadas a lo largo de estas estructuras pueden tener un gran interés para la exploración de depósitos minerales relacionados con procesos magmático-hidrotermales.

Palabras clave: Quebrada Ventanas, Arboledas, Neógeno, Metalogenia, Macizo de Santander, Colombia.

PETROGENETIC CONSIDERATIONS AND GEOCHRONOLOGY OF PORPHYRITIC IGNEOUS ROCKS EXPOSED IN THE VENTANAS CREEK (ARBOLEDAS, NORTE DE SANTANDER - COLOMBIA): METALLOGENIC IMPLICATIONS

ABSTRACT

Around the Ventanas creek (southwestern sector of the Arboledas town, North Santander), porphyritic igneous rocks of rhyodacitic composition have been recognized and dated by zircon U-Pb methods using LA-ICP-MS (Laser Ablation - Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry) yielding an age of 13.9 ± 0.2 Ma (Langhian; Miocene, Neogene). Petrographic and geochemical data obtained from these rocks indicate that their origin is likely subduction-related, and that they were emplaced in a continental magmatic arc context. The high Sr/Y values (between ~ 44.0 and 94.3) and the absence of marked negative Eu anomalies suggest that the related magmas had high volatile contents, and therefore may have a high potential to form Cu-Au-Mo porphyry mineralization. Considering that the Neogene magmatism has been also reported in the California-Vetas Mining District (located ~ 40 km to SW of the studied area), where it is known to be related to metallogenic processes, we infer that the magma emplacement could have been facilitated by the high crust permeability generated by NE-trending faults affecting the Santander Massif (e.g. Arboledas-Suratá and Cucutilla faults). Therefore, other areas located along these structures can be considered of great interest for mineral exploration because of the related magmatic-hydrothermal processes.

Keywords: Ventanas Creek, Arboledas, Neogene, Metallogeny, Santander Massif, Colombia.

¹ Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga (Santander, Colombia), natiscruz@gmail.com, jaflorida@hotmail.com, lcmantil@uis.edu.co

INTRODUCCIÓN

En el Macizo de Santander (MS), las únicas mineralizaciones conocidas de metales preciosos y metales base corresponden al Distrito Minero de Vetás-California (DMVC). Estos eventos de mineralización se han relacionado con procesos magmático-hidrotermales, generadores de alteraciones hidrotermales y minerales de mena, propios de ambientes porfírico y epitermal (Felder et al., 2005; Bissig et al., 2012; Mantilla et al., 2011 y Mantilla et al., 2012b). Las relaciones de campo y las edades Re-Os obtenidas a partir de molibdenitas (10.14 ± 0.04 Ma, Bissig et al., 2012 y Mantilla et al., 2012b), asociadas a venas hidrotermales formadas en ambiente porfírico (type-B veins), establecen una relación causa-efecto entre éstos eventos de mineralización y el magmatismo de edad Neógeno reportado para ese sector del MS (Mantilla et al., 2011; Leal-Mejía et al., 2011). La sobreimposición de alteraciones hidrotermales de ambiente epitermal sobre las alteraciones de ambiente porfírico, las cuales suelen afectar en general a todas las unidades de roca aflorantes en el DMVC, incluyendo las rocas porfíricas de edad Mioceno, apuntan a la existencia de eventos magmáticos (magmático-hidrotermales) aún más jóvenes (Mantilla et al., 2013a).

La presencia de rocas porfíricas en el área del municipio de Arboledas (distante aproximadamente unos 40 km al NE del municipio de California) (FIGURAS 1 y 2), afectadas por alteración hidrotermal, inducen a pensar a priori que el magmatismo de edad Neógeno reportado para el DMVC (Mantilla et al., 2013b) podría también extenderse hacia el NE de éste distrito, y con esto, se extendería igualmente la posibilidad de localizar nuevas áreas con potencial minero en el contexto del Macizo de Santander. En éste sentido, y considerando que ambos sectores (Arboledas y DMVC) son afectados por el trazo de fallas de dirección NE (Fallas Cucutilla y Surata-Arboledas), es posible también especular que éstas fallas podrían controlar el escape y emplazamiento de fundidos silicatados desde profundidad (Mantilla et al., 2013b).

En el contexto antes mencionado y dada la importancia metalogénica que presenta el magmatismo de edad Neógeno en el MS, se presenta éste trabajo para fines de reportar la edad absoluta obtenida (U-Pb en circones) de estas rocas porfíricas aflorantes en el sector del municipio de Arboledas, y sus características petrográficas y geoquímicas. Finalmente, con base en estos nuevos datos y los tipos de alteración hidrotermal identificados (caracterización preliminar), se plantean algunas consideraciones relacionadas con la petrogénesis de éstas rocas porfíricas y su posible metalogénesis asociada. De esta manera, se pretende contribuir al conocimiento

geológico (fundamentalmente distribución espacial y temporal, petrogénesis y metalogénesis asociada) de uno de los eventos magmáticos más jóvenes que han afectado al MS.

CONTEXTO GEOLÓGICO Y ANTECEDENTES

El área de estudio (sector de la quebrada Ventanas, FIGURA 2) se localiza en la vereda Playoncito (sector suroccidental del municipio Arboledas; Norte de Santander), distante unos 68 km al NE de Bucaramanga y unos 40 km al NE del distrito minero de Vetás-California. Este sector se proyecta en la plancha 98-III-C (según nomenclatura del Instituto Geográfico Agustín Codazzi; plancha a escala 1:25.000).

Desde el punto de vista geológico, el área de estudio se localiza en la zona central del Macizo de Santander, en el denominado Bloque de Ocaña (FIGURA 1), según la división tectono-estratigráfica del MS propuesta por INGEOMINAS (hoy Servicio Geológico Nacional) y recogida en Clavijo et al. (1993) y Clavijo (1994). Dos importantes sistemas de fallas de dirección NNE (Cucutilla y Surata-Arboledas) fragmentan el bloque de Ocaña en su parte central, generando el sub-bloque en el cual se localiza el área de estudio (FIGURA 1).

Las unidades de roca aflorantes en el sector central del subbloque antes mencionado, hacen parte del basamento cristalino del MS, representando en las siguientes unidades de roca: Gneis de Bucaramanga, Esquistos del Silgará, Ortogneis y Metasedimentitas de bajo grado de metamorfismo. Descripciones detalladas de éstas unidades de rocas metamórficas, aflorantes tanto a nivel de todo el MS como en el subbloque mencionado, se reportan en los trabajos de Ward et al. (1973), Evans (1977), Arias y Vargas (1978), Mendoza y Jaramillo (1979), Clavijo (1994), García y Ríos (1999), Mantilla et al. (2009) y Mantilla et al. (2012a), entre otros. Entre las litologías sin metamorfismo reconocidas en este subbloque, se destacan aquellas de naturaleza ígnea, relacionadas con eventos magmáticos del Paleozóico inferior y especialmente aquellos de edad Triásico tardío a Jurásico temprano (Goldsmith et al., 1971; Ward et al., 1973; Polania, 1980; Polania, 1983; Dörr et al., 1995; Mantilla et al., 2013a). Las rocas sedimentarias (al igual que rocas volcano-sedimentarias) reconocidas en el subbloque, se correlacionan en menor medida con eventos de sedimentación que tuvieron lugar durante el Paleozóico (Devónico medio - Pérmico) y en mayor medida durante el Mesozoico (Ingeominas, 1967; Cediél, 1968; Tschanz et al., 1969; Ward et al., 1973; Juliver, 1963; Clavijo, 1994; Clavijo, 1997; Restrepo-

Pace et al., 1997; Restrepo-Pace and Cediel, 2010). Un conjunto de rocas ígneas porfíricas de edad Neógeno, que representan los eventos magmáticos más recientes reconocidos en el MS, han sido igualmente reportadas para el subbloque antes citado. Estas rocas porfíricas han sido observadas aflorando a manera de pequeños cuerpos o diques no mayores a un 1 km de diámetro (Mantilla et al., 2013b).

Las litologías aflorantes en el área de estudio en la quebrada Ventanas (FIGURA 2), constan de las siguientes unidades: (a) Ortogneis (de edad Pre-Devónico medio); (b) variedades de rocas ígneas porfíricas cortando la unidad Ortogneis, las cuales se relacionan con los eventos magmáticos del Triásico

tardío - Jurásico temprano (Goldsmith et al., 1971; Ward et al., 1973; Dörr et al., 1995; Mantilla et al., 2013a); (c) una unidad de rocas siliciclásticas de carácter continental, denominada Formación Bocas, considerada de edad Mesozoica (Jurásico medio) y descrita en Ward et al. (1973), Clavijo (1994) y Bayona et al. (2006), entre otros, y (d) una variedad de rocas ígneas porfíricas, las cuales han sido observadas cortando las rocas de la Formación Bocas, consideradas antes como relacionadas al magmatismo de edad Neógeno debido a sus semejanzas con rocas relativamente similares reportadas en el DMVC (Mantilla et al., 2011; Mantilla et al., 2013b). Estas últimas litologías son el objetivo central del presente estudio y por tal razón serán descritas más detalladamente en el apartado de Resultados.

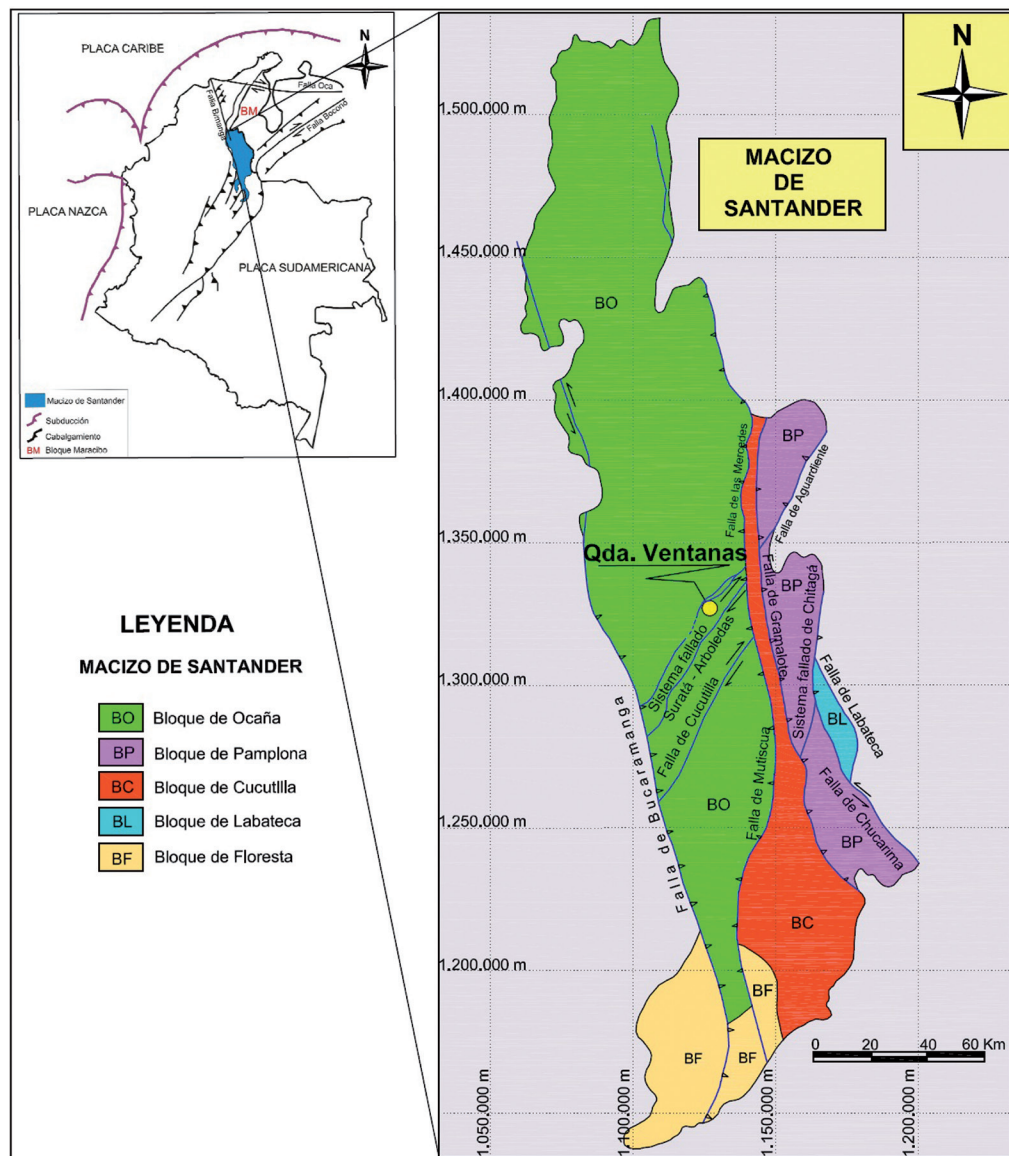


FIGURA 1. Esquema tectónico del Macizo de Santander. Basado en Clavijo et al. (1993) y Clavijo (1994).

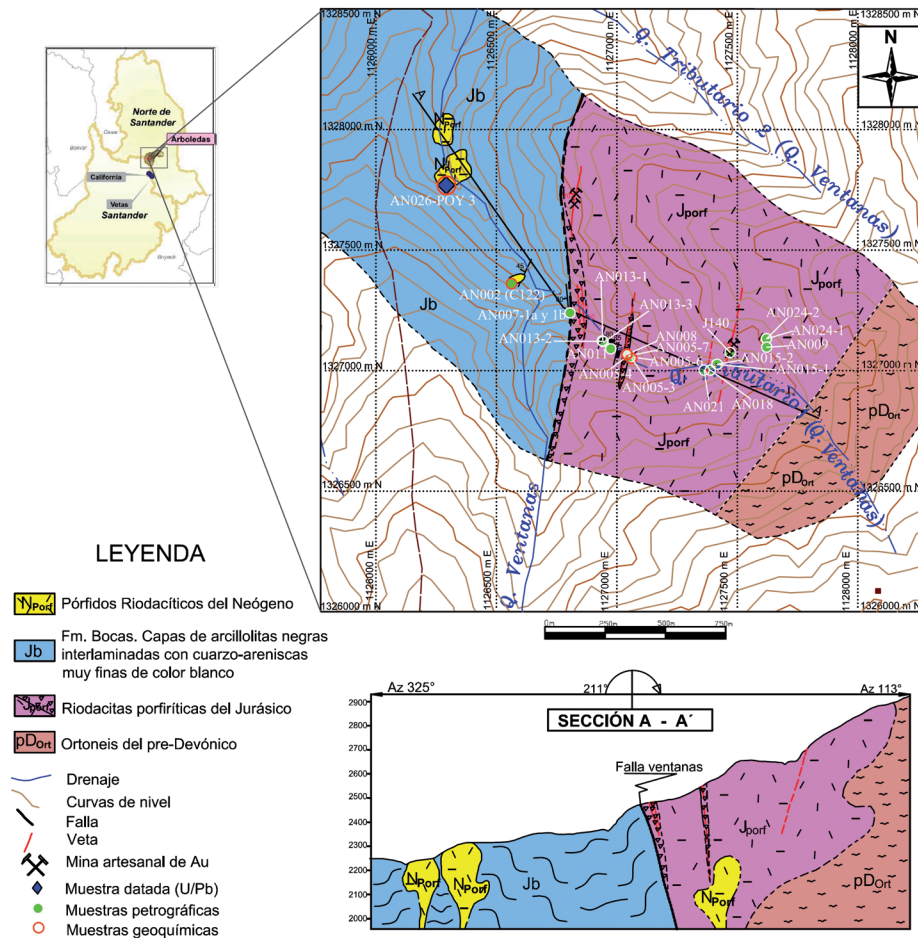


FIGURA 2. Esquema Geológico del sector objeto de estudio y corte geológico. Tomado y modificado del Informe técnico de la empresa Oro Barracuda S.A.S. (2011b).

En los últimos años, debido al “boom minero” experimentado por Colombia, el sector de la quebrada Ventadas (Municipio Arboledas, Norte de Santander) fue objeto de interés para exploración mineral por parte de la empresa Oro Barracuda S.A.S. (años 2009-2011), debido a que en éste sector se reconoció una anomalía geoquímica en Au y Cu (Informe técnico de Oro Barracuda S.A.S, 2011a). No obstante, es importante resaltar que con anterioridad a estos trabajos de exploración mineral, en el área ya se habían desarrollado algunos trabajos mineros artesanales (presencia puntual de pequeños socavones), dedicados a la extracción de oro.

MÉTODOS ANALÍTICOS

Los métodos analíticos utilizados en el estudio de las muestras colectadas en el marco del presente trabajo, fueron fundamentalmente los siguientes: (a) microscopía óptica; (b) Difracción de Rayos X (DRX); (c) ensayos mediante el uso de un Analizador Portátil Infrarrojo de Minerales (PIMA: Portable Infrared Mineral Analyzer);

(d) geoquímica de elementos mayores menores y trazas (MMT; whole-rock geochemistry) y (d) geocronología U-Pb en circones mediante la técnica LA-ICP-MS (Laser Ablation – Inductively Coupled Plasma – MassSpectrometry).

Durante el estudio de las muestras mediante microscopía óptica, se utilizaron lupas binoculares marca NIKON N1-150 modelo C-PS (para análisis de muestras de mano) y un microscopio de luz transmitida NIKON ECLIPSE E200 50/POL con cámara y pantalla incorporada (para estudio de láminas delgadas). Para los análisis de DRX se utilizó un Difractómetro de Rayos X-Bruker D8 Advance, con monocromador de gráfita y un Filtro de Níquel (ver especificaciones del proceso analítico en: www.uis.edu.co/webUIS/es/investigacionExtension/acreditacionLaboratorios/laboratorioDifraccion/serviciosPrestados.html). Los laboratorios usados, tanto de microscopía óptica, como de DRX, pertenecen respectivamente a las escuelas de Geología y Química de la Universidad Industrial de Santander (UIS).

Los análisis PIMA se realizaron en el laboratorio Genex Geology and Exploration de Perú (ver detalles relacionados con éste tipo de análisis en: <http://gnxperu.com/spanish.html>). Los análisis de geoquímica de elementos MMT se realizaron en los laboratorios Acme Analytical Laboratories Ltd. (Vancouver, BC, Canadá), siguiendo las especificaciones ofrecidas en los paquetes analíticos con códigos 4AB1 (Whole Rock Analysis of Majors and Trace Elements), 3B01 (Fire assay fusion Au by ICP-ES) y G806 (FeO by titration). Las especificaciones de los procedimientos analíticos empleados, se documentan en: http://acmelab.com/pdfs/Acme_Price_Brochure.pdf.

Las dataciones U-Pb en circones, mediante la técnica LA-ICP-MS, se realizaron a través del laboratorio

ZirChron LLC y fueron conducidos en la Universidad Estatal de Washington (WSU) en Estados Unidos, siguiendo los procedimientos analíticos descritos por Chang et al. (2006).

RESULTADOS

Litologías y Relaciones de campo

Tal como se mencionó en el apartado de Contexto Geológico y Antecedentes, las unidades de roca aflorantes en el sector objeto de estudio (FIGURAS 2 y 3), son las rocas metamórficas de la unidad denominada Ortoneis, las rocas ígneas porfiríticas del Triásico tardío - Jurásico temprano, las rocas sedimentarias del Mesozoico y las rocas ígneas porfiríticas del Neógeno.



FIGURA 3. Aspecto de litologías aflorantes en el sector de la quebrada Ventanas: **(a, b)** Sucesión de rocas arcillolitas de la Formación Bocas (J2), intercaladas con láminas delgadas de areniscas blanca de grano muy fino, localmente afectadas por plegamiento; **(c)** Rocas porfiríticas relacionadas con eventos magmáticos del Triásico tardío a Jurásico temprano, con fracturamiento y localmente afectadas por fenómenos de alteración hidrotermal; **(d)** Diques porfiríticos del Neógeno, cortando las rocas de la Formación Bocas.

Las rocas de la unidad Ortoneis en este sector corresponden fundamentalmente a gneises cuarzo-feldespáticos y gneises biotíticos-horblendicos, con

presencia ocasional de venas de cuarzo (informes técnicos de la empresa Oro Barracuda S.A.S, 2011a, 2011b).

Las rocas porfíricas relacionadas con los eventos magmáticos del Triásico tardío - Jurásico temprano (según información general reportada para el MS en Goldsmith et al., 1971; Ward et al., 1973; Dörr et al., 1995; Mantilla et al., 2013a), se presentan formando un cuerpo que cubre un área aproximada de 1 km². Estos cuerpos porfíricos suelen presentar un color gris claro, con presencia de fenocristales subhedrales y anhedrales de plagioclasa y biotita de tamaños entre 1 y 4 mm (FIGURA 4 d, e, f). En éstas litologías se presentan igualmente cristales más finos (<0.4mm) de cuarzo, sanidina, hornblenda, apatito, circón y un intercrecimiento de cuarzo-feldespato a manera de esferulitas. Xenolitos de composición diorítica han sido igualmente observados en estas rocas. La matriz está compuesta por agregados microlíticos de plagioclasa, feldespato potásico, cuarzo y raramente biotita, además de diseminación de pirita, considerada claramente como epigenética (FIGURA 5 a, b). La plagioclasa se caracteriza por presentar maclas polisintéticas y zonación, la biotita exhibe una deformación parcial sugiriendo movimiento de la matriz una vez cristalizados los fenocristales, el cuarzo generalmente presenta embahiamientos y ocasionalmente extinción ondulante; la sanidina es caracterizada por su textura perítica. Esta unidad localmente presenta brechamiento parcial, la cual fue observada incluso a escala de algunas láminas delgadas (AN09-1, AN015-1, AN015-2 y AN-021; FIGURA 2), con clastos angulares y subangulares matriz-soportados, las cuales se consideran preliminarmente como relacionadas con procesos tectónico-hidrotermales. Estas rocas, desde el punto de vista de su composición modal, se clasifican como Riodacitas (Streckeisen, 1976).

La Formación Bocas aflorante en el área de estudio, se compone principalmente de arcillolitas negras a gris oscura finamente laminadas, aunque hacia la parte más oeste del área, se presenta intercalada con areniscas blancas de grano fino (FIGURA 3 a, b). Estas rocas se encuentran en contacto fallado (dirección aproximada N5°E) con las rocas ígneas porfíricas del Triásico tardío - Jurásico temprano (falla que sigue el trazo de la quebrada Ventanas y la cual se considera parte del sistema de Fallas Suratá-Arboledas). Ésta zona de contacto entre estas dos litologías presenta fenómenos de brechificación (?) y alteración hidrotermal hipógena, propia de procesos magmático-hidrotermales (especialmente alteración tipo silicificación y sericitización).

Las rocas porfíricas del Neógeno se observan a manera de diques con menos de 20 m de espesor, cortando las rocas de la Formación Bocas (FIGURA 2). Estas rocas

porfíricas presentan una composición mineralógica muy similar a las rocas porfíricas del Mesozoico antes descritas (propias de rocas riodacíticas), pero el tamaño de los fenocristales es significativamente mayor (fenocristales de 7 a 15 mm de Plagioclasa, FIGURAS 3 y 4 a, b, c). La plagioclasa presenta maclado polisintético, cuarzo intersticial e inclusiones de circón subhedral. La matriz de estas rocas porfíricas es de carácter microlítico. Presentan igualmente biotita férrica subhedral como mineral menor, además de sanidina, circón y apatito (de 10 a 800µm) como accesorios.

Tipología de las alteraciones

Apoyados en estudios petrográficos de veinte láminas delgadas, análisis puntuales de DRX y de PIMA, se logró identificar tanto los minerales propios de las etapas magmáticas, como algunos minerales epigenéticos relacionados con alteraciones hidrotermales hipógenas y supergénicas. Los datos aquí presentados sobre la tipología de las alteraciones hidrotermales son de carácter preliminar, debido a que su estudio detallado esta por fuera del alcance de éste trabajo.

Cuatro tipos principales de alteraciones hidrotermales fueron reconocidas en el área de estudio, las cuales afectan principalmente a las rocas ígneas del Mesozoico y Neógeno: (a) Alteración Propilítica, (b) Alteración Sericítica o Filica; (c) Alteración Argílica y (d) Silicificación.

La alteración propilítica (según definiciones de Giffkins et al., 2005), observada en la unidad porfírica del Mesozoico (láminas delgadas AN-005-3, AN-05-6, AN-008, AN-013-2) se manifiesta principalmente como un reemplazamiento selectivo de fenocristales de biotita y plagioclasa. Los minerales de alteración presentes en todas estas muestras son clorita como reemplazamiento de biotita y anfíbol; epidota en plagioclasa y también asociada a la clorita o en contacto con fenocristales de biotita y anfíbol. La zoisita o clinozoisita asociadas a epidota y clorita también han sido observadas. Junto a éste tipo de alteración, se reconoce la presencia de sulfuros, principalmente pirita (~3%).

La alteración propilítica en las rocas porfíricas del Neógeno se manifiesta como un reemplazamiento selectivo de forma similar a la descrita para las rocas ígneas del Mesozoico, pero a diferencia de esta última, se presenta carbonatación de la matriz.

La alteración sericítica o filica (FIGURA 5), se ha observado en brechas hidrotermales confinadas hacia el contacto entre las rocas porfíricas del Mesozoico

y la Formación Bocas (por ejemplo: muestra AN07-1). Esta alteración se evidencia por la asociación sericita+cuarzo+pirita y se ha reconocido remplazando casi la totalidad de la matriz y los fenocristales, tanto

de las rocas porfíricas del Mesozoico como las del Neógeno. En aquellos sectores donde se ha observado esta alteración, se presentan ocasionalmente algunas vetillas rectilíneas e irregulares de cuarzo-pirita.

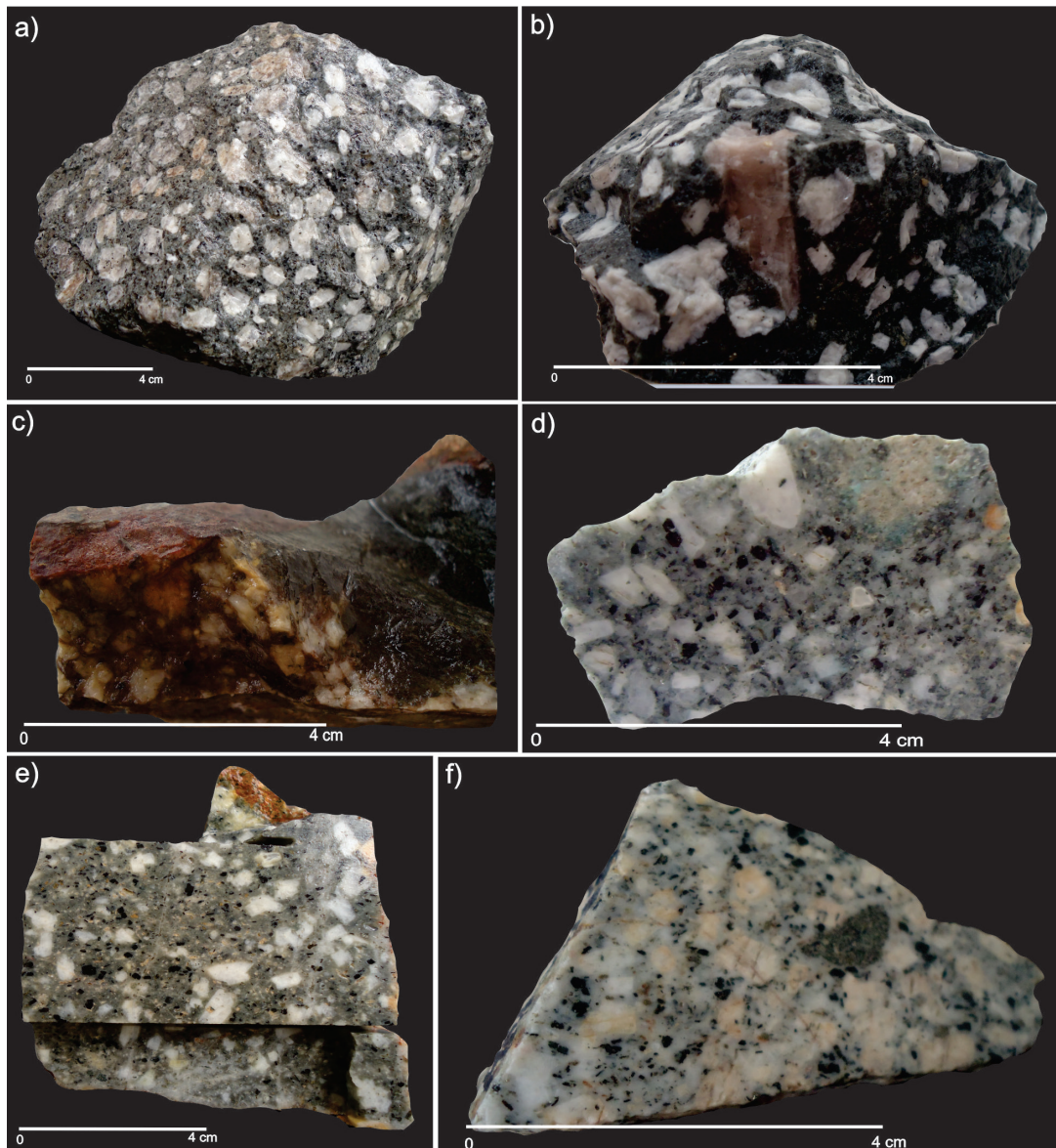


FIGURA 4. Características representativas de las muestras de pórfido del Neógeno (**a, b, c**) y del Jurásico (**d, e, f**); edad que fue establecida, mediante relaciones de campo y/o apoyados en sus características geoquímicas-ver apartado Geoquímica. **a).** AN025-POY2 muestra de dique porfírico con fenocristales de plagioclasa de hasta 15mm en una matriz microlítica carbonatada. **b)** AN026-POY3 (datada por el método U-Pb como de edad Neógeno), muestra de dique porfírico con gran tamaño de fenocristales de plagioclasa y feldespato potásico en una matriz microlítica carbonatada. **c)** AN002-C122, dique porfírico, en la parte superior derecha preserva las arcillolitas encajante de la Fm. Bocas. **d)** Testigo de sección delgada de la muestra AN013-2, presenta fenocristales subhedrales de plagioclasa de hasta 5 mm. **e)** Testigo de sección delgada de la muestra AN005-3, presenta fenocristales de plagioclasa de hasta 4 mm en una matriz microlítica con diseminación de pirita. **f)** AN008, muestra de pórfido en el que se aprecia un xenolito de composición diorítica con diseminación de pirita.

La alteración de tipo silicificación se ha observado asociada a los pórfidos del Mesozoico y a la brecha hidrotermal presente en el contacto de esta litología

con la Formación Bocas. Esta se caracteriza por la presencia de cuarzo hidrotermal formando agregados con textura en mosaico. La presencia de minerales tipo

illita, caolinita y cuarzo, reconocidos especialmente a nivel de DRX y PIMA, entre otras características, permiten sugerir la existencia de una alteración tipo argílica. Sin embargo, no se ha podido establecer si ésta se relaciona con una alteración argílica hipógena o supergénica. La presencia localizada de limonita y al parecer también jarosita (?) en algunos sectores del área, se considera relacionada con procesos de alteración supergénico.

Geoquímica de roca total

Cuatro muestras de las rocas porfíricas colectadas a lo largo de la quebrada Ventanas fueron analizadas mediante geoquímica de elementos mayores, menores y trazas (FIGURAS 3 y 4 b, c, e; TABLA 1). Dos de estas muestras están relacionadas con rocas del evento magmático Triásico tardío - Jurásico temprano (AN005-3 y AN008), y las otras dos muestras, con rocas del evento magmático de edad Neógeno (AN-002-C122 y AN-026-POY3).

TABLA 1. Datos de Geoquímica de las rocas ígneas porfíricas estudiadas del Mesozoico (Triásico tardío - Jurásico temprano) y del Neógeno, aflorantes en la quebrada Ventanas (municipio de Arboledas, Norte de Santander, Colombia).

MUESTRA/EDAD	AN005-3 (MESOZOICO)	AN-008 (MESOZOICO)	AN-002-C122 (NEÓGENO)	AN-026-POY3 (NEÓGENO)
TIPO DE ROCA	Pórfido Riodacítico	Pórfido Riodacítico	Pórfido Riodacítico	Pórfido Riodacítico
Latitud	7° 33' 17.86"	7° 33' 18.22	7° 33' 27.79"	7° 33' 41.06"
Longitud	72° 55' 47.09"	72° 55' 47.54"	72° 56' 03.14"	72° 56' 12.10"
Local Coordinates**	X= 1°127.056 Y= 1°327.057 Z= 2.527 m.s.n.m.	X= 1°127.042 Y= 1°327.068 Z= 2.520 m.s.n.m.	X= 1°126.563 Y= 1°327.361 Z= 2.314 m.s.n.m.	X= 1°126.287 Y= 1°327.768 Z= 2.245 m.s.n.m.
Localización Geográfica	A 1.529 m del nacimiento del drenaje tributario 1 de la quebrada Ventadas (municipio Arboledas)	A 1.548 m del nacimiento del drenaje tributario 1 de la quebrada Ventadas (municipio Arboledas)	A 3.198 m del nacimiento de la quebrada Ventanas (municipio Arboledas)	A 3.712 m del nacimiento de la quebrada Ventanas (municipio Arboledas)
Elementos Mayores %				
SiO ₂	68,18	66,01	65,45	65,21
Al ₂ O ₃	16,03	17,15	17,09	17,23
Fe ₂ O ₃	2,89	3,01	4,31	2,83
MgO	0,79	1,01	1,32	0,92
CaO	2,25	3,03	6,01	3,22
Na ₂ O	3,88	4,45	2,18	5,14
K ₂ O	4,01	3,23	0,84	3,17
TiO ₂	0,34	0,39	0,46	0,34
P ₂ O ₅	0,21	0,17	0,17	0,13
MnO	0,1	0,11	0,15	0,1
Cr ₂ O ₃	<0,002*	<0,002*	<0,002*	<0,002*
Ni (ppm)	<20*	<20*	<20*	<20*
Sc (ppm)	4	5	5	4
LOI	1,1	1,2	1,8	1,4
SUM	99,76	99,73	99,82	99,72
Menores y Trazas (ppm)				
Ba	1.044	1.082	199	867
Be	1	2	2	3
Co	2,7	2,3	4,3	2,8
Cs	1,4	1,6	1,1	1,6
Ga	18,5	20	19,2	19,9
Hf	2,8	2,8	3,1	3,1
Nb	11,1	11,7	11	10,6
Rb	103,1	76,7	37,4	72,3
Sr	620	874,6	686	1.103
Ta	0,9	0,7	0,8	0,8
Th	6	6,2	6,4	7,2
U	3	2,8	3,1	3,8
V	70	74	99	83
Zr	82,9	93,1	88,6	96,1
Y	13,1	12,9	15,6	11,7
Pb	2,4	1,8	5,7	3,9
La	21,9	23,8	24,3	26
Ce	39,1	41,2	45,7	42,7
Pr	4,63	4,95	5,52	5,07
Nd	14,9	18,5	20,7	19,3
Sm	2,79	3,18	3,70	2,89
Eu	0,70	0,81	1,10	0,83
Gd	2,70	2,84	3,07	2,35
Tb	0,33	0,37	0,41	0,29
Dy	2,04	2,36	2,96	1,95
Ho	0,36	0,37	0,48	0,32
Er	1,13	1,24	1,54	1,14
Tm	0,18	0,20	0,24	0,19
Yb	1,26	1,28	1,78	0,98
Lu	0,20	0,23	0,21	0,16

*Por debajo del límite de detección; ** Bogotá como origen del sistema de referencia, Coordenadas Planas Gauss Krüger.

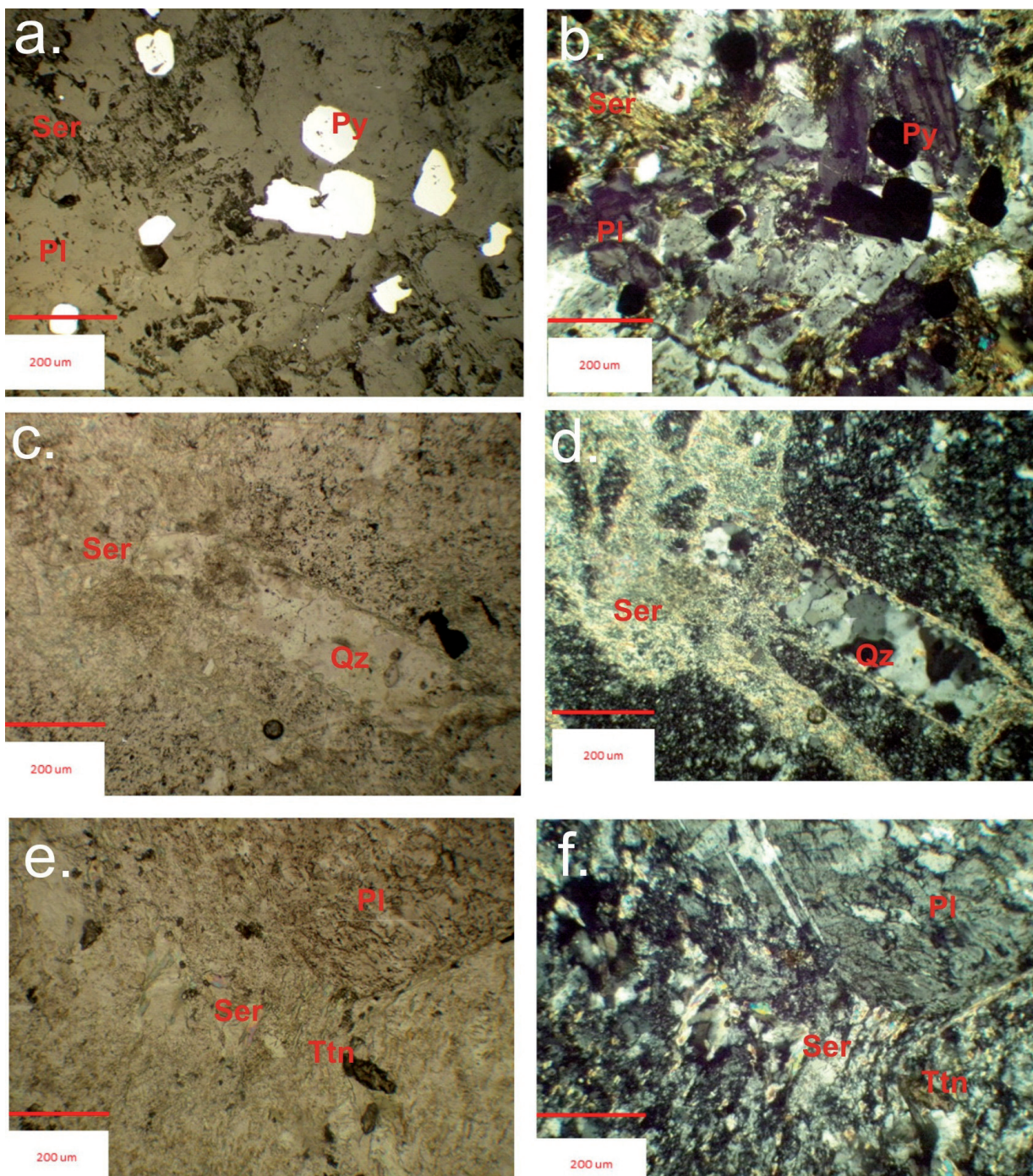


FIGURA 5. Alteración Sericitica (Fílica) afectando las rocas del Triásico-Jurásico (**a, b, c, d**) y del Neógeno (**e, f**). **a**) y **b**) AN013-2; microfotografías tomadas en microscopio de luz reflejada, en nicoles paralelos y nicoles cruzados, respectivamente. Se observa sericita, cuarzo y piritita; esta última característica por su color amarillo latón. **c**) y **d**) AN009-1; microfotografías tomadas en microscopio de luz transmitida en nicoles paralelos y nicoles cruzados, respectivamente, en la cual se observa la presencia de sericita asociada a las zonas controladas por vetillas de cuarzo. **e**) y **f**) AN002-C122 en nicoles paralelos y nicoles cruzados respectivamente, mostrando la alteración de la plagioclasea, sericitización con buena cristalización y además la presencia de titanita (también conocida como esfena). Las abreviaturas según Whitney and Evans (2010) utilizadas son: Qz=cuarzo, Py=pirita, Ser=sericita, Pl= plagioclasea y Ttn=titanita.

Debido al efecto de las alteraciones hidrotermales y supergénicas que pudieron haber afectado a algunas de las litologías estudiadas (procesos que suelen removilizar los elementos litófilos de radio iónico grande, o Large Ion Lithophile Elements-LILE), se procedió en primer lugar a realizar un “test de alteración” de las muestras siguiendo el método propuesto por Davies y Whitehead (2006). Apoyados en este test, el cual considera las relaciones $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ vs $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ (en valores molares), se pudo establecer que dos de las cuatro muestras estudiadas presentan alteración de tipo argílica (muestras AN005-3 y AN002-C122), mientras que las restantes dos muestras se proyectan al interior o muy próximas al campo de las rocas graníticas frescas (diagramas no incluidos en el presente trabajo). En éste sentido, las dos muestras con alteración argílica antes mencionadas, deben ser consideradas como poco confiables durante los procesos de análisis que involucran elementos LILE (por ejemplo, cuando se clasifican las rocas mediante diagramas TAS). No obstante, todas las muestras fueron consideradas en aquellos tratamientos de datos geoquímicos que incluían los elementos de alta valencia (High Field Strength Elements - HFSE) y los elementos del grupo de las tierras raras (Rare Earth Elements - REE), debido a que estos elementos suelen comportarse como elementos inmóviles (Rollinson, 1993; Hollings y Wyman, 2005).

En el contexto antes mencionado, se puede señalar que las rocas porfíricas analizadas se proyectan en el campo de las rocas ácidas, según su alto contenido en SiO_2 (>65% en peso). Por otro lado, según el índice de saturación de alúmina (ISA) ó índice de Shand (Maniar y Piccoli, 1989), el cual utiliza las relaciones $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ vs $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ en proporciones molares, estas rocas se proyectan muy próximas al límite entre las rocas peraluminicas y metaluminicas; los valores de ISA obtenidos para las muestras frescas son de 1,05 para un pórfido del Mesozoico (AN008) y 0,94 para un pórfido del Neógeno (AN26-POY3), respectivamente. Las muestras AN005-3 y AN002-C122, fueron excluidas de éstos cálculos, debido a que no pasaron el “test de alteración”, tal como se mencionó anteriormente.

Apoyados en los diagramas de SiO_2 vs Alkalís (Cox et al., 1979), es posible concluir que las rocas porfíricas del Mesozoico se proyectan en los campos Riolíticos (AN005-3) y Dacítico (AN008). Por otro lado, de las dos muestras de rocas porfíricas del Neógeno, una se proyecta en el campo de las rocas Dacíticas (AN26-POY3), mientras que la muestra AN002-C122 queda por fuera de los campos de clasificación debido a las

razones antes mencionadas. Utilizando este mismo diagrama SiO_2 vs Alkalís, es posible determinar que todas las rocas se proyectan en el campo de las rocas subalcalinas (FIGURA 6), más concretamente en las rocas calco-alcalinas altas en potasio. No obstante, apoyados en el diagrama Zr/TiO_2 vs Nb/Y (Winchester and Floyd, 1977), el cual utiliza elementos considerados inmóviles, las muestras analizadas se proyectan en el campo de las traquiandesitas (FIGURA 6 c).

Los patrones de Tierras Raras para la totalidad de las muestras analizadas (del Mesozoico y del Neógeno), normalizados con respecto a la condrita tipo C1 (Sun and McDonough, 1989), muestran un mayor enriquecimiento de LREE en comparación con las HREE. Los valores de fraccionamiento de las REE (La/Yb)_N muestran valores de 11,7 – 12,6 para las rocas del Mesozoico y 9,2 – 17,9 para las rocas del Neógeno. Los valores de fraccionamiento de las LREE ((La/Sm) _N) y HREE ((Gd/Yb) _N), varían respectivamente entre 4,7 – 4,9 y 1,7 – 1,8 para las rocas del Mesozoico, y 4,1 – 5,7 y 1,4 – 1,9 para las rocas del Neógeno. Lo anterior implica que existe un mayor fraccionamiento entre las LREE que entre las HREE. El poco fraccionamiento de la HREE se interpreta en este caso como relacionado a ausencia de granate en la zona fuente, por lo que se sugiere como fuente de estos magmas, probablemente el manto con plagioclasa/espinela. El valor de la anomalía en Eu ($\text{EuN}/\sqrt{\text{SmN}*\text{GdN}}$) muestra una diferencia sustancial entre los dos grupos de rocas, siendo <0,82 para las rocas del Mesozoico y ~1.0 para las rocas del Neógeno (valores >1 indican anomalías positivas, <1 indican anomalías negativas). Esto indica un ligero fraccionamiento de la plagioclasa para las rocas del Mesozoico (muestras AN005-3 y AN008).

Las altas relaciones Sr/Y (entre ~44,0 y 94,3; TABLA 1) y la casi ausencia de anomalía negativa en Eu (valores entorno a 1; para las muestras AN002-C122 y AN26-POY3), debido al alto contenido de volátiles (según Richards, 2011), permite suponer que los magmas asociados a las rocas ígneas porfíricas del Neógeno, pudieron tener potencialidad para formar mineralizaciones de tipo pórfido de Cu-Au-Mo (Richards and Kerrich, 2007; Richards, 2011; Richards et al., 2012).

Según los diagramas de discriminación tectónica de Pearce et al., (1984), apoyados en las relaciones Rb vs Y+Nb y Nb vs Y, las muestras tanto del Mesozoico como del Neógeno aquí estudiadas se proyectan en el campo de los Granitoides de Arco Volcánico (VAG). El análisis de los Elementos Trazas para las rocas del Mesozoico (MZ) y del Neógeno (NG), respectivamente,

muestran valores de la relación La/Nb $\sim 2,0$ y $2,2 - 2,4$; Ba/Nb entre $92,5 - 94,1$ (MZ) y $18,1 - 81,8$ (NG) ($18,1$ para la muestra AN002-C122, con alteración argílica intensa), y Ba/Ta entre 1.160 y $1.545,7$ (MZ) y $248,7$ y $1.083,75$ (NG) ($248,7$ también para la muestra AN002-C122). Estas relaciones indicadas, junto a las

bien desarrolladas anomalías negativas en Nb-Ta, P, Ti, muestran que ambos grupos de rocas porfíricas estudiadas (Mesozoicas y Neógenas) se proyectan en los rangos típicos de un magmatismo relacionado a subducción continental y emplazados en ambientes de arco magmático de margen continental.

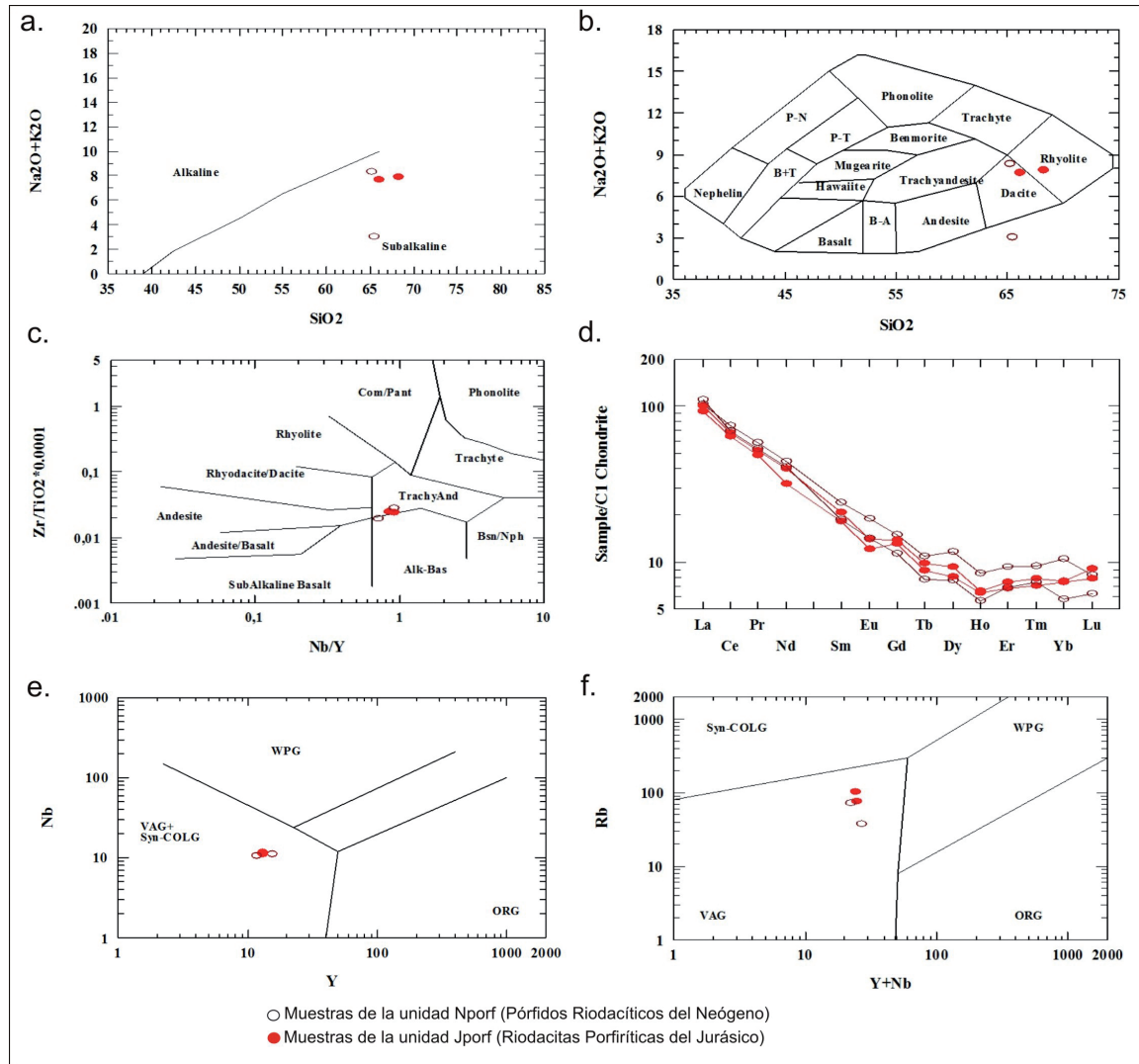


FIGURA 6. Diagramas geoquímicos. **a)** discriminación de series alcalinas (Irvine y Baragar 1971). **b)** Clasificación TAS. **c)** Clasificación química de las rocas porfíricas Jporf y Nporf basada en los elementos inmóviles (Winchester and Floyd, 1977). **d)** Tierras raras normalizadas al condrito C1, **e)** Ambiente tectónico Nb vs Y (Pearce et al., 1984). **f)** Ambiente tectónico Rb vs Y+Nb.

Geocronología

Los datos analíticos y las relaciones isotópicas U-Pb determinadas en las diferentes zonas de crecimiento de los circones analizados mediante LA-ICP-MS (muestra AN026-POY3; TABLA 2), indican la presencia de por lo menos dos grupos de edades: (a) uno conformado por 40 de los 47 análisis realizados ($>85\%$ del total de los análisis), el cual presenta un rango de edad

claramente relacionado con la cristalización de los cuerpos porfíricos estudiados, siendo éste entre $14,8$ y $13,5 \pm 0,2$ Ma (edad determinada en $13,9 \pm 0,2$ Ma, luego de considerar los errores analíticos y sistemáticos; FIGURA 7), y (b) otro grupo conformado por siete análisis de los 47 realizados ($>15\%$ del total de los análisis), con edades que oscilan entre $1.723 \pm 17,5$ Ma y $22,1 \pm 0,5$ Ma.

TABLA 2. Resultados analíticos U-Pb en las diferentes zonas al interior de los circones estudiados en la muestra AN023-POY-3 y sus correspondientes edades.

Sample Name	U (ppm)	Th U	238U 206Pb	1 Sigma % error	207Pb 206Pb	1 Sigma % error	206Pb/238U Age	1 Sigma Abs err	207Pb/206Pb Age	1 Sigma Abs err	Best age (Ma)	1 Sigma Abs err Ma
POY_3_1	2.198	0.05	434,2465	1,66%	0,0484	1,86%	14,8	43,4	116,9	43,4	14,8	0,2
POY_3_2	1.956	0.07	456,9564	1,60%	0,0464	1,90%	14,1	45	19,8	45	14,1	0,2
POY_3_3	1.490	0.06	450,5939	1,74%	0,0499	2,05%	14,3	47	190	47	14,3	0,2
POY_3_4	1.622	0.05	462,6106	1,79%	0,0479	2,06%	13,9	48	95,9	48	13,9	0,2
POY_3_5	3.125	0.08	454,4826	1,72%	0,049	1,67%	14,2	38,7	146,5	38,7	14,2	0,2
POY_3_6	2.291	0.08	457,7485	1,59%	0,0471	1,86%	14,1	43,8	53,2	43,8	14,1	0,2
POY_3_7	1.018	0.14	13,9026	1,44%	0,0703	1,09%	447,8	22,1	937,3	22,1	447,8	6,2
POY_3_8	1.926	0.1	459,1618	1,50%	0,0472	1,89%	14	44,5	59,3	44,5	14	0,2
POY_3_9	25.974	0.05	464,2564	1,48%	0,0501	1,20%	13,9	27,6	200,9	27,6	13,9	0,2
POY_3_10	1.905	0.09	456,0959	1,58%	0,0461	2,00%	14,1	47,3	0,3	47,3	14,1	0,2
POY_3_11	1.833	0.07	462,3083	1,58%	0,0466	1,78%	13,9	42,2	30,5	42,2	13,9	0,2
POY_3_12	1.332	0.08	460,4499	1,73%	0,0464	1,99%	14	47,2	16	47,2	14	0,2
POY_3_13	1.674	0.1	464,7128	1,74%	0,0491	2,11%	13,9	48,7	151,8	48,7	13,9	0,2
POY_3_14	279	0.39	31,5129	1,38%	0,0502	1,56%	201,4	35,8	202,3	35,8	201,4	2,7
POY_3_15	2.474	0.07	460,9385	1,51%	0,047	1,74%	14	41	48,3	41	14	0,2
POY_3_16	2.253	0.44	463,8908	1,61%	0,0481	1,81%	13,9	42,2	102,5	42,2	13,9	0,2
POY_3_17	1.694	0.13	463,1356	1,68%	0,0457	2,00%	13,9	27,5	0	27,5	13,9	0,2
POY_3_18	2.310	0.06	466,8069	1,50%	0,0488	1,86%	13,8	43,2	137,9	43,2	13,8	0,2
POY_3_19	2.734	0.07	462,9981	1,61%	0,0463	1,65%	13,9	39,2	14,8	39,2	13,9	0,2
POY_3_20	317	0.2	17,2944	2,34%	0,056	1,20%	362,4	26,4	450,9	26,4	362,4	8,2
POY_3_21	2.580	0.07	460,3205	2,12%	0,0466	2,30%	14	54,2	28,8	54,2	14	0,3
POY_3_22	2.659	0.08	456,1843	1,62%	0,0499	1,61%	14,1	37	189,4	37	14,1	0,2
POY_3_23	2.338	0.07	461,7082	1,65%	0,0457	1,75%	13,9	25,4	0	25,4	13,9	0,2
POY_3_24	1.805	0.1	459,3937	1,95%	0,0469	2,07%	14	48,8	46,5	48,8	14	0,3
POY_3_25	1.960	0.07	466,8597	1,75%	0,0499	1,94%	13,8	44,4	192,4	44,4	13,8	0,2
POY_3_26	990	0.19	467,3359	2,00%	0,046	2,39%	13,8	53,8	0	53,8	13,8	0,3
POY_3_27	1.618	0.08	461,0217	1,77%	0,0467	2,21%	14	52,2	35	52,2	14	0,2
POY_3_28	2.050	0.05	466,162	3,32%	0,0464	5,59%	13,8	129,1	20,8	129,1	13,8	0,5
POY_3_29	1.350	0.14	466,2949	2,08%	0,0466	2,48%	13,8	58,4	26,4	58,4	13,8	0,3
POY_3_30	1.686	0.11	466,5277	1,94%	0,0468	2,18%	13,8	51,4	40,8	51,4	13,8	0,3
POY_3_32	1.252	0.64	462,4923	2,00%	0,0459	2,15%	13,9	44,5	0	44,5	13,9	0,3
POY_3_33	1.761	0.11	468,6105	1,77%	0,0471	1,81%	13,7	42,6	52,8	42,6	13,7	0,2
POY_3_34	2.959	0.1	451,6443	1,63%	0,048	1,47%	14,3	34,4	100,4	34,4	14,3	0,2
POY_3_35	4.420	0.09	460,8457	1,54%	0,0471	1,34%	14	31,6	52,7	31,6	14	0,2
POY_3_36	2.375	0.06	474,7493	1,64%	0,0478	1,70%	13,6	39,7	88,3	39,7	13,6	0,2
POY_3_37	1.526	0.11	291,592	2,30%	0,0522	1,37%	22,1	31,1	295,9	31,1	22,1	0,5
POY_3_38	2.009	0.14	462,406	2,47%	0,0469	3,70%	13,9	86,1	44,9	86,1	13,9	0,3
POY_3_39	354	0.73	3,1595	2,27%	0,1055	0,96%	1,772,6	17,5	1,723,1	17,5	1,723,1	17,5
POY_3_40	3.781	0.12	459,1784	1,53%	0,0478	1,52%	14	35,6	88,9	35,6	14	0,2
POY_3_41	2.118	0.08	89,0864	3,53%	0,054	1,14%	72	25,4	370,5	25,4	72	2,5
POY_3_42	2.274	0.08	464,4859	1,60%	0,0467	1,78%	13,9	42,2	32,3	42,2	13,9	0,2
POY_3_43	2.209	0.08	476,0992	1,66%	0,0473	1,65%	13,5	38,8	63,6	38,8	13,5	0,2
POY_3_44	1.743	0.1	467,7963	1,69%	0,0508	2,14%	13,8	48,6	233,8	48,6	13,8	0,2
POY_3_45	1.871	0.09	467,9946	1,73%	0,0477	1,91%	13,8	44,8	82,3	44,8	13,8	0,2
POY_3_46	1.152	0.11	259,6299	8,18%	0,0515	3,18%	24,8	71,5	262,9	71,5	24,8	2
POY_3_47	2.761	0.13	452,564	1,60%	0,0464	1,58%	14,2	37,5	16,7	37,5	14,2	0,2
POY_3_48	1.964	0.09	469,763	1,71%	0,0495	1,83%	13,7	42,1	171,9	42,1	13,7	0,2

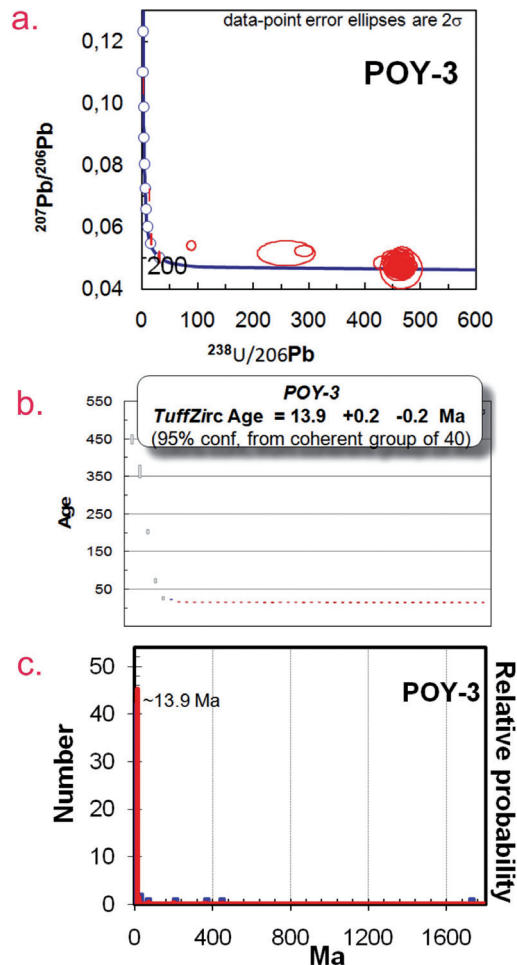


FIGURA 7. Edades U-Pb obtenidas a partir del análisis de circones de la muestra POY-3, mediante la técnica LA-ICP-MS (13.9 ± 0.2 Ma). **a)** Diagrama concordia U-Pb a partir de circones, donde se muestran las diferentes edades heredadas y edad de cristalización del cuerpo porfírico del Neógeno estudiado (POY-3); **b)** Diagrama de distribución de las edades obtenidas (errores graficados a $\pm 2s$); **c)** Distribución de los rangos de edades obtenidas a partir del análisis de las diferentes zonas al interior de los circones, en la cual se muestra la dominancia de las edades entorno a 13,9 Ma.

Dentro del segundo grupo de edades mencionado, se observaron las siguientes edades individuales: (1) dos análisis con valores de $22,1 \pm 0,5$ y $24,8 \pm 2,0$ Ma; (2) uno con una edad de $72,0 \pm 2,5$ Ma; (3) uno con una edad de $201,4 \pm 2,7$ Ma; (4) uno con una edad de $362,4 \pm 8,2$ Ma; (5) uno con una edad de $447,8 \pm 6,2$ Ma y; (6) otro subgrupo con una edad de $1.723,1 \pm 17,5$ Ma (TABLA 2). En Este sentido, es posible sugerir que las edades de $22,1 \pm 0,5$ y $24,8 \pm 2,0$ Ma, pueden estar representando una mezcla de edades (posiblemente obtenidas en zonas intermedias de circones zonados) o pueden estar relacionadas con una herencia de circones derivados de rocas ígneas más antiguas (cerca al límite Mioceno-

Oligoceno), las cuales aún no se han identificado en el contexto del MS. En éste mismo sentido se puede interpretar la edad de $72,0 \pm 2,5$ Ma. La edad de $201,4 \pm 2,7$ Ma es posible relacionarla con circones heredados de rocas que se consideran asociadas al periodo magmático Triásico tardío - Jurásico temprano; el cual ha sido documentado en Goldsmith et al. (1971), Dörr et al. (1995) y Mantilla et al. (2013a), entre otros. Según estos autores, las edades de éste periodo magmático cubren un rango que oscila por lo menos entre 198 y 209 Ma. Las edades obtenidas de $362,4 \pm 8,2$ Ma y $447,8 \pm 6,2$ Ma, pueden ser interpretadas como relacionadas con herencia de algunos circones de eventos tectonomagmáticos del Paleozoico, los cuales han sido reportados en Boinet et al. (1985). La edad de $1.723,1 \pm 17,5$ Ma, se considera como relacionada con herencia de circones detríticos derivados de las rocas del Precámbricas presentes en el MS (circones detríticos del Gneis de Bucaramanga).

CONCLUSIONES

Este estudio geológico puntual, realizado en el sector de la quebrada Ventanas (vereda Playoncito, en el sector suroccidental del municipio Arboledas, Norte de Santander), permite reconocer la existencia de las siguientes unidades: a) rocas metamórficas relacionadas con la unidad Ortogneis; b) rocas riódacíticas consideradas de edad Triásico tardío - Jurásico temprano, inferidas con base en sus semejanzas mineralógicas y geoquímicas con litologías similares reportadas para el Macizo de Santander (Mantilla et al., 2013a); c) una sucesión de rocas sedimentarias de la Formación Bocas (fundamentalmente relacionadas temporalmente con el Jurásico medio; apoyados en Bayona et al., 2006); d) rocas riódacíticas presentes principalmente a manera de diques, las cuales fueron datadas en este estudio mediante el método U-Pb en circones por LA-ICP-MS. Según nuestros nuevos resultados analíticos, el mejor estimativo para la edad de cristalización de dichos diques es de $13,9 \pm 0,2$ Ma, correspondiente al Mioceno (más concretamente de edad Langhiano).

La geoquímica de las rocas porfíricas del Neógeno indica que dichos diques están asociados a un magmatismo típico de subducción (rocas calcoalcalinas), en un contexto de arco magmático de margen continental. Las altas relaciones Sr/Y (entre $\sim 44,0$ y $94,3$) y la ausencia de anomalía negativa en Eu en éstas rocas, apuntan a que éstos magmas debieron tener un alto contenido de volátiles (Richards, 2011). Estos rasgos permiten señalar que este magmatismo puede tener un alto potencial para formar mineralizaciones de tipo pórfido de Cu-Au-Mo (Richards and Kerrich, 2007; Richards, 2011; Richards et al., 2012).

En el contexto antes mencionado, se apoya lo propuesto por Mantilla et al. (2013b), en donde se señala que este magmatismo muy posiblemente se relaciona con la subducción de la placa Caribe (aunque no se descarta el papel que ha podido jugar igualmente la micro-placa Coiba), y que el emplazamiento de éstos en el MS debió haber sido facilitado por la alta permeabilidad cortical generada por las fallas de dirección NE (por ejemplo: Cucutilla y Suratá-Arboledas).

La presencia de estas rocas porfíricas de edad Neógeno en el sector objeto de estudio, permite especular sobre la existencia de un posible control estructural (Fallas Cucutilla y Suratá-Arboledas) para el emplazamiento de éstos cuerpos ígneos. De la misma manera, se infiere el interés que tendría estas estructuras en la exploración de depósitos minerales asociados a procesos magmático-hidrotermales.

REFERENCIAS

- Arias, A., y Vargas, R., 1978. Geología de las planchas 86 (Abrego) y 97 (Cáchira), departamento de Norte de Santander. Boletín Geológico, INGEOMINAS, 23 (2): 7-38.
- Bayona, G., Rapalini, A., and Costanzo-Alvarez, V. 2006. Paleomagnetism in Mesozoic rocks of the northern Andes and its implications in Mesozoic tectonics of northwestern South America. Earth, Planets and Space, 58: 1255-1272.
- Bissig, T., Mantilla, F.L.C., Rodríguez, A., Raley, Ch., and Hart, C. 2012. The Vetaz-California district, eastern Cordillera, Santander, Colombia: Late Miocene porphyry and epithermal mineralization hosted in Proterozoic gneisses and Late Triassic intrusions. Abstract. XVI Peruvian Geological Congress & SEG Conference. Lima, Perú.
- Boinet, T., Bourgois, J., Bellon, H., et Toussaint, J. 1985. Age et repartition du magmatisme Pré-mésozoïque des Andes de Colombie. Comptes rendus hebdomadaires des séances de L'Académie des Sciences. Serie D. Sciences Naturelles, 300 (2): 445-450.
- Cediel, F. 1968. El Grupo Girón: una Molasa Mesozoica de la Cordillera Oriental. Boletín Geológico, INGEOMINAS, 16: 5-96.
- Chang, Z., Vervoort, J.D., McClelland, W.C., and Knaack, C. 2006. U-Pb dating of zircon by LA-ICP-MS. Geochemistry Geophysics Geosystems, 7: 1-14.
- Clavijo, J. 1997. Mapa geológico generalizado del Departamento del Norte de Santander. ESCALA 1:250.000. INGEOMINAS, Bucaramanga.
- Clavijo, J., 1994. Mapa geológico generalizado del Departamento de Norte de Santander. ESCALA 1:250.000. Memoria explicativa. INGEOMINAS, Informe interno, 67p.
- Clavijo, J., Mendoza, H., Royero, J., Bernal, L., y Reyes, G. 1993. Contribución al conocimiento de la geología de los Santanderes. Cuarto Simposio de Geología Regional, INGEOMINAS, Documento interno. Bucaramanga, 99p.
- Cox, K., Bell, J., and Pankhurst, R. 1979. The interpretation of igneous rocks. George, Allen and Unwin. London, 450p.
- Davies, J.F., and Whitehead, R.E. 2006. Alkali-Alumina and MgO-Alumina Molar Ratios of Altered and Unaltered Rhyolites. Exploration and Mining Geology, 15 (1-2): 75-88.
- Dörr, W., Grösser, J., Rodríguez, G., and Kramm, U. 1995. Zircon U-Pb age of the Páramo Rico tonalite-granodiorite, Santander Massif (Cordillera Oriental, Colombia) and its geotectonic significance. Journal of South American Earth Sciences, 8: 187-194.
- Evans, J. 1977. Geological and Geochemical reconnaissance in the Central Santander Massif, Departments of Santander and Norte de Santander, Colombia. U.S. Geological Survey (edits), 43p.
- Felder, G., Ortiz, G., Campos, C., Monsalve, I., and Silva, A. 2005. Angostura Project, a High Sulfidation Gold-Silver Deposit located in the Santander Complex of North Eastern Colombia. Greystar Resources Ltd. Thech. Report. 25 de marzo de 2013. (http://www.greystarresources.com/i/pdf/Angostura_Greystar_ProExplo_2005Final).
- García, C., y Ríos, C. 1999. Metamorfismo y metalogénia asociada del Macizo de Santander, Cordillera Oriental, Colombia. Informe final Proyecto de Investigación 1102-05-083-95 Colciencias-Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 191p.
- Gifkins, C., Herrmann, W., and Large, R. 2005. Altered volcanic rocks. A guide to description and interpretation. Centre for Ore Deposit Research. University of Tasmania, Australia, 272pp.
- Goldsmith, R., Marvin, R.F., and Mehnert, H.H. 1971. Radiometric ages in the Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes. U.S. Geological Survey Professional Paper, 750 (D): 44-49.

- Hollings, P., and Wyman, D. 2005. The geochemistry of trace elements in igneous systems: principles and examples from basaltic systems. En Linnen, R.L., Samson, I.M. (eds.) Rare-Element Geochemistry and Mineral Deposits: Geological Association of Canada, GAC Short Course Notes 17, pp.1 – 16.
- INGEOMINAS, 1967. Geología del Cuadrángulo G-13, Cúcuta, Norte de Santander.
- Juliver, M. 1963. Nuevos datos sobre la Dinámica del ámbito del Macizo de Santander durante el Secundario (Cordillera Oriental, Colombia). Boletín de Geología, 12: 45-49.
- Leal-Mejía, H., Melgarejo, I., Draper, J.C., and Shaw, R.P. 2011. Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes, in: Proceedings Let's Talk Ore Deposits, SGA biennial meeting, Antofagasta, Chile.
- Maniar, P.D., and Piccoli, P. M. 1989. Tectonic discriminations of granitoids. Geological Society of America Bulletin, 101: 635-643.
- Mantilla F.L.C., Valencia, V. A., Barra, F., Pinto, J., y Colegial, J. 2009. Geocronología U-Pb de los cuerpos Porfíricos del Distrito Aurífero de Vetás- California (Santander, Colombia). Boletín de Geología, 31 (1): 31-43.
- Mantilla, F.L.C., Mendoza, H., Bissig, T., y Hart C. 2011. Nuevas evidencias sobre el magmatismo Mioceno en el distrito minero de Vetás-California (Macizo de Santander, Cordillera Oriental, Colombia). Boletín de Geología, 33 (1): 41-56.
- Mantilla, F.L.C., Bissig, T., Cottle, J.M., and Hart, C. 2012a. Remains of early Ordovician mantle-derived magmatism in the Santander Massif (Colombian Eastern Cordillera). Journal of South American Earth Sciences, 38: 1-12.
- Mantilla, F.L.C., Bissig, T., Rodríguez, A., and Hart, C. 2012b. Magmatic history and mineralization in the Vetás-California Au mining district and its metallogenetic significance (Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombia). Abstract. XVI Peruvian Geological Congress & SEG Conference. Lima, Perú.
- Mantilla, F.L.C., Bissig, T., Valencia, V., and Craig, H. 2013a. The magmatic history of the Vetás-California mining district; Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombia. Journal of South American Earth Sciences, 45: 235-249.
- Mantilla, F.L.C., Bissig, T., Mendoza, H., Rueda, J., Cruz, N., Pinilla, O., Reyes, S., Mendoza, M., Suarez, G., Sánchez, S., Palacio, A., Rojas, J., Reyes, J., Mendoza, G., Carrillo, J., León, H., y Hart, C. 2013b. Consideraciones sobre el magmatismo Neógeno en el Macizo de Santander (Cordillera Oriental, Colombia) y su relación con la metalogénesis del Au ($\pm$ Ag, Mo, Cu). XIV Congreso Colombiano de Geología y Primer Simposio de Exploradores. Memorias Digitales del Congreso ISBN-978-958-57950-0-6. Bogotá.
- Mendoza, H., y Jaramillo, L. 1979. Geología y geoquímica del área de California, Santander. Boletín Geológico, INGEOMINAS, 22: 3-52.
- Oro Barracuda S.A.S. 2011a. Technical report on the Arboledas property, Norte de Santander, Colombia. 30p. Informe Técnico Interno.
- Oro Barracuda S.A.S. 2011b. Informe de avance en las actividades de exploración en los títulos JB7-09531, JB7-09411 y LKQ-15081 municipio de Arboledas, Norte de Santander, Colombia. 16p. Informe Técnico Interno
- Pearce, J.A., Harris, N.W., and Tindle, A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Journal of Petrology, 25: 956-983.
- Polania, J.H. 1980. Die Uranvorkommen von California bei Bucaramanga (Kolumbien). University of Stuttgart, 152p.
- Polania, J.H. 1983. Mineralizaciones de Uranio y otros metales en California (Santander del Sur). Geología Norandina, 6: 57-65.
- Restrepo-Pace, P.A., Ruiz, J., Gehrels, G., and Cosca, M., 1997. Geochronology and Nd isotope data of Grenville-age rocks in Colombian Andes: new constraints for late Proterozoic early Paleozoic paleocontinental reconstructions of Americas. Earth and Planetary Sciences Letters, 154: 331-347.
- Restrepo-Pace, P.A., and Cediell, F., 2010. Northern South America basement tectonics and implications for paleocontinental reconstructions of the Americas. Journal of South American Earth Sciences, 29: 764-771.
- Richards, J.P., and Kerrich, R. 2007. Special Paper: Adakite-Like Rocks: Their Diverse Origins and Questionable Role in Metallogenesis. Economic Geology, 102: 537-576.

Richards, J.P. 2011. High Sr/Y arc magmas and porphyry Cu $\pm$ Mo $\pm$ Au deposits: just add water. *Economic Geology*, 106: 1075-1081.

Richards, J.P., Spell, T., Rameh, E., Razique, A., and Fletcher, T. 2012. High Sr/Y Magmas Reflect Arc Maturity, High Magmatic Water Content, and Porphyry Cu $\pm$ Mo $\pm$ Au Potential: Examples from the Tethyan Arcs of Central and Eastern Iran and Western Pakistan. 2012 Society of Economic Geologists, Inc. *Economic Geology*, 107: 295–332.

Rollinson, H. R., 1993. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. Prentice Hall, Singapore, 352p.

Streckeisen, A. 1976. To Each Plutonic Rock its Proper Name. *Earth Science Review*, (12): 1-33.

Sun, S. S., and McDonough, W. F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society, London, Special Publications*, 42 (1): 313-345.

Tschanz, C. M., Marvin, R. F., and Cruz, B. 1969. *Geology of the Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia) - Informe 1829*. INGEOMINAS, Bogotá.

Ward, D., Goldsmith, R., Cruz, B., Jaramillo, C., y Restrepo, H. 1973. *Geología de los Cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona, Departamento de Santander*. U.S. Geological Survey e INGEOMINAS. *Boletín Geológico XXI* (1-3): 1-132.

Whitney, D., and Evans, B. 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95: 185-187.

Wilson, M. 1989. *Igneous Petrogenesis. A global tectonic approach*, London, 466p.

Winchester, J.A. and Floyd, P.A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements: *Chemical Geology*, 20: 325-343.

Trabajo recibido: septiembre 25 de 2013
Trabajo aceptado: marzo 05 de 2014