

# Geology of the southern part of Sabanalarga Batholith. Implications for terrane theory in the west of Colombia

Juan Sebastian Guiral-Vega <sup>a</sup>, Jonathan José Rincón-Gamero <sup>b</sup> & Oswaldo Ordoñez-Carmona <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. [sebasguiralv@gmail.com](mailto:sebasguiralv@gmail.com).

<sup>b</sup> Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. [jonathanjrincon@gmail.com](mailto:jonathanjrincon@gmail.com).

<sup>c</sup> Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. [oswaldo.geologo@gmail.com](mailto:oswaldo.geologo@gmail.com).

Received: October 19<sup>th</sup>, 2014. Received in revised form: February 11<sup>th</sup>, 2014. Accepted: June 25<sup>th</sup>, 2015.

## Abstract

The Colombian Andes are the product of the interaction of terranes with different geological affinity, such as the Western Cordillera, which is made up of blocks of oceanic affinity, that have been accreted to the western boundary of pre-existing terranes with continental affinity. The study area is geologically dominated by the Sabanalarga Batholith, which has at least two facies, gabro-diorite and tonalite-granodiorite, that intrude the Barroso Formation. Both units have been affected strongly by regional faults generating large areas of mylonites closely related with hydrothermal alterations and mineralization occurrences. Due the clear intrusive relationship between the Sabanalarga Batholith and Barroso Formation, and due the Cauca-Almaguer fault cuts both units without separating them, it is suggested that the Terranes Theory must be reconsidered in this part of the country, because the Cauca-Almaguer fault do not correspond to the boundary between Calima Terrane and the terranes Arquía and Quebradagrande.

*Keywords:* Sabanalarga Batholith; Barroso Formation; Terranes Theory; Cauca-Almaguer Fault System.

# Geología de la porción sur del Batolito de Sabanalarga. Implicaciones para la teoría de terrenos al occidente de Colombia

## Resumen

Los Andes Colombianos son el producto de la interacción de terrenos de diferente afinidad geológica, como la Cordillera Occidental, conformada por bloques de afinidad oceánica acrecionados al límite occidental de terrenos preexistentes de afinidad continental. La zona de estudio está dominada geológicamente por el Batolito de Sabanalarga, el cual presenta al menos dos facies, una gabroica-diorítica y una tonalítica-granodiorítica, que intruyen a la Formación Barroso. Ambas unidades se presentan intensamente afectadas por fallas regionales, dando origen a extensas zonas de milonitas íntimamente relacionadas con mineralizaciones y alteraciones hidrotermales. Dada la clara relación intrusiva entre el Batolito de Sabanalarga y la Formación Barroso, y que la Falla Cauca-Almaguer corta a ambas unidades sin separarlas, se sugiere que la Teoría de Terrenos debe ser replanteada en esta parte del país, pues la falla Cauca-Almaguer no correspondería al límite entre el Terreno Calima y los Terrenos Arquía y Quebradagrande.

*Palabras clave:* Batolito de Sabanalarga; Formación Barroso; Teoría de Terrenos; Sistema de fallas Cauca-Almaguer.

## 1. Introducción

El norte de la Cordillera Occidental colombiana se encuentra conformada por una serie de bloques de afinidad oceánica que han sido acrecionados al límite occidental de terrenos preexistentes, los cuales exhiben afinidad continental [1]. Los mencionados bloques oceánicos se encuentran caracterizados, según su signatura geoquímica, dentro de los ambientes de Arcos de Islas [2-6]; y ambiente de Pluma [6-8]

La zona de estudio se encuentra enmarcada en el propuesto Terreno Calima [9-11] y está litológicamente conformada por la Formación Barroso y el Batolito de Sabanalarga. Para el Batolito de Sabanalarga, Nivia & Gómez (2005) [8] proponen una división en dos cuerpos diferentes separados por la falla Cauca-Almaguer, donde el plutón localizado al este (Batolito de Sabanalarga) se habría formado en un ambiente de zona de subducción, mientras que el cuerpo localizado al oeste (Gabro de Santa Fe) se habría emplazado en un ambiente de fusión por descompresión de una pluma del manto profundo. Por otro lado,

Rodríguez *et al.*, (2012) [4], propone un ambiente de formación común para las dos porciones, formándose en un arco magmático en una zona transicional entre corteza continental y oceánica, pero afín al continente Suramericano.

La Falla Cauca-Almaguer (Cauca Oeste) corresponde al límite entre el terreno Calima y los Terrenos Arquía y Quebradagrande, actuando como una zona de sutura entre terrenos alóctonos [12].

El presente trabajo consigna los resultados obtenidos de las actividades de campo y análisis petrográfico, enfocados a la identificación de las características de la porción sur del cuerpo ígneo plutónico conocido como Batolito de Sabanalarga, sus relaciones con las unidades litológicas circundantes, y sus implicaciones en la Teoría de Terrenos en el occidente colombiano.

## 2. Contexto geológico regional

La Cordillera de los Andes, localizada en el borde occidental del continente suramericano, recorre en su camino, de sur a norte, países como Chile, Argentina, Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia y Venezuela. Una vez se adentra en territorio colombiano, en inmediaciones del límite con Ecuador, se divide en tres brazos principales: Cordillera Occidental, Cordillera Central y Cordillera Oriental.

La Cordillera Occidental se caracteriza por la presencia de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas cuya formación es atribuida a ambientes de afinidad oceánica, que comúnmente son intruidas por grandes cuerpos plutónicos [1-

2, 9, 11]. Esta cordillera está conformada por los presuntos terrenos de Cauca-Romeral y el terreno Calima, los cuales, en Antioquia, se encuentran separados de terrenos de afinidad continental, por una extensa zona de falla conocida como Falla de San Jerónimo, que se extiende desde Ecuador hasta el norte de Colombia [1, 9-10, 13] (Fig. 1).

Los presuntos terrenos de Cauca-Romeral están conformados por rocas ígneas volcánicas del cretáceo inferior que caracterizan al Terreno Quebradagrande; rocas ígneas plutónicas Triásicas, como la ofiolita de Pueblito, que dan origen al Terreno Heliconia; rocas metamórficas paleozoicas intruidas por rocas ígneas plutónicas triásicas del stock de Amagá, conformando el Terreno Amagá-Sinifaná; y rocas metamórficas del Cretáceo inferior del complejo Arquía, conformando el Terreno Arquía [12-13].

El Terreno Calima se encuentra al occidente de los Terrenos de Cauca-Romeral [9, 11], separado de éstos por la falla Cauca-Almaguer (Cauca-Oeste). Está conformado regionalmente por la secuencia vulcano-sedimentaria de la Formación Barroso, rocas ígneas plutónicas como el Batolito de Sabanalarga, el Gabro de Altamira y el Stock de Buriticá; rocas sedimentarias marinas de la Formación Penderisco; rocas metamórficas como la Granulita de Pantanillo que podría corresponder al basamento o zócalo de dicho terreno y cuya edad es aparentemente triásica [14]. El Terreno Calima se habría formado en un ambiente de arco de islas, que originaría las rocas volcánicas de la Formación Barroso y las plutónicas del Batolito de Sabanalarga [4-5].

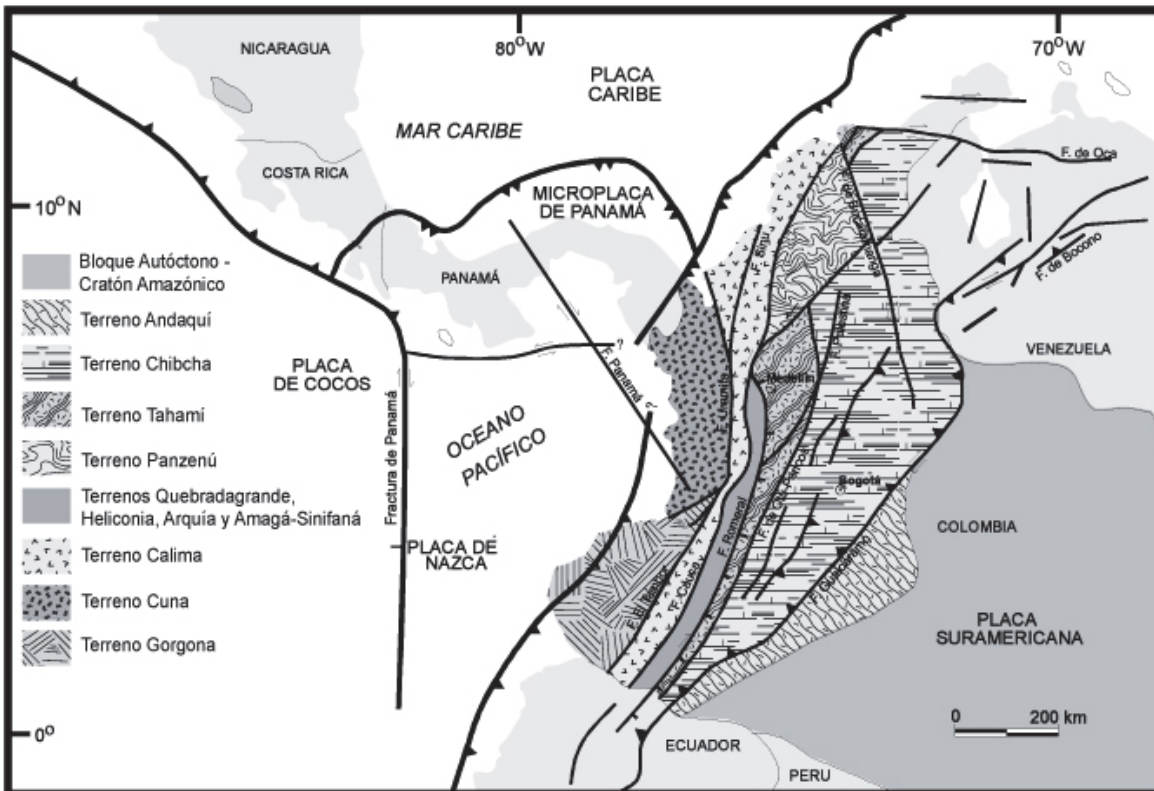


Figura 1. Mapa esquemático de los principales Terrenos de Colombia.  
Fuente: Adaptado de [1, 15-19].

Algunas unidades mencionadas han sido afectadas por condiciones metamórficas dinámicas, atribuibles a la acción de los principales trenes de fallas; de contacto, por las intrusiones de cuerpos ígneos batolíticos; y de ultra alta presión, caracterizado por rocas tipo esquistos azules y eclogitas, en ambientes de arco de islas [20-21].

Eventos posteriores de deformación, pos-cretáceo inferior y posiblemente atribuibles a la orogenia andina, han generado en las rocas de la Cordillera Occidental metamorfismo dinámico, dando origen a la formación de milonitas y amplias zonas con cataclasitas. Los principales sistemas de fallas regionales, con orientación general N-S, afectan las rocas del terreno Calima, como las Fallas del Cauca, el sistema Tonusco-Anza-Buriticá, y el sistema de fallas Uramita-El Tambor (Fig. 1).

### 3. Marco geológico local

La zona de estudio se caracteriza por extensas áreas en las que afloran secuencias vulcano-sedimentarias (Fig. 2), conformadas por basaltos y andesitas con variaciones texturales, desde masivas hasta porfídicas y vesiculares (Fig. 3).

Estas rocas se encuentran interestratificadas con paquetes de rocas sedimentarias de grano muy fino como arcillolitas, limolitas y eventualmente láminas de chert. Estas secuencias de rocas pueden estar asociadas a un ambiente marino controlado por episodios depositacionales intercalados con episodios dominados por actividad volcánica.

La presencia de importantes estructuras tectónicas regionales da origen a un intenso cizallamiento en las unidades geológicas aflorantes en el área, reportándose amplias zonas de milonitas (Fig. 3). La milonitización de las rocas vulcanosedimentarias de la Formación Barroso da como resultado rocas que exhiben una intensa foliación, presentándose paquetes de filonitas que semejan intercalaciones de esquistos verdes y negros, comúnmente silicificadas, y exhibiendo alteraciones con sericita y clorita, ligadas a la dinámica propia de estas estructuras regionales, o bien a la presencia de fluidos magmático-hidrotermales que se alojaron a lo largo de estos conductos de falla.

La principal unidad aflorante en la zona de estudio corresponde al Batolito de Sabanalarga (Fig. 2). Éste aflora como un cuerpo elongado en dirección norte-sur que abarca aproximadamente 24 km<sup>2</sup> del área de interés, y en esencia se trata de un batolito multipulsos, caracterizado por la presencia de rocas máficas tipo gabros, gabros hornbléndicos y dioritas, relacionadas de forma intrusiva con rocas félsicas a intermedias tipo granodioritas, tonalitas y cuarzdioritas.

Dadas estas dos composiciones claramente diferenciables en campo, se propone la subdivisión de este gran cuerpo en dos facies distintivas, una máfica y una félsica.

#### 3.1. Gabros y dioritas (facies máfica)

Se presenta como cuerpos de dioritas, gabros, gabros hornbléndicos, microdioritas y microgabros, localizados

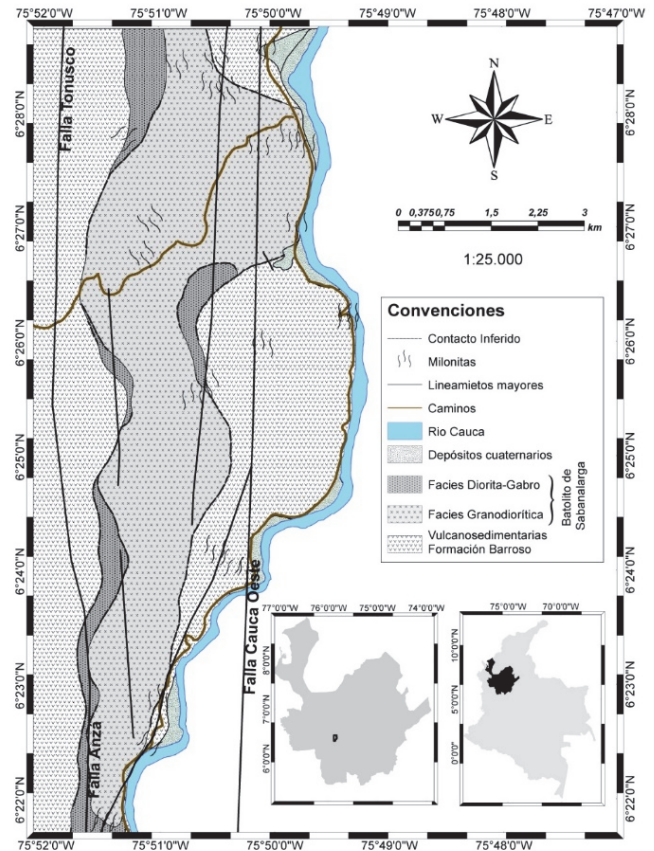


Figura 2. Mapa geológico de la zona de estudio. Fuente: los autores.

preferencialmente en las márgenes del cuerpo plutónico, y presentándose como franjas alargadas que bordean a la facies félsica. Esta facies corresponde a un pulso magmático inicial seguido por al menos un pulso que generó magmas de composiciones intermedias a félsicas (Fig. 3). Estas rocas máficas comúnmente se encuentran intruyendo a las secuencias vulcanosedimentarias de la Formación Barroso hacia el límite oeste del cuerpo plutónico.

#### 3.2 Granodioritas y tonalitas (facies félsica)

La facies félsica está constituida por granodioritas, tonalitas, leucotonalitas y, en menor proporción granitos (*sensu stricto*) y cuarzdioritas. Estas composiciones conforman la mayor exposición del plutón, configurando una extensa franja central en el cuerpo batolítico, aflorando por cerca de 20km<sup>2</sup> en la zona estudiada. Claramente corresponde a un pulso magmático posterior al que generó las dioritas y gabros de la facies máfica. Esto se evidencia en rasgos como intrusiones de diques graníticos en dioritas y autolitos de rocas máficas en rocas félsicas (Fig. 3). Estas características indican una relación intrusiva en la que la facies félsica intruye a la facies máfica, y son observadas en toda el área de estudio.

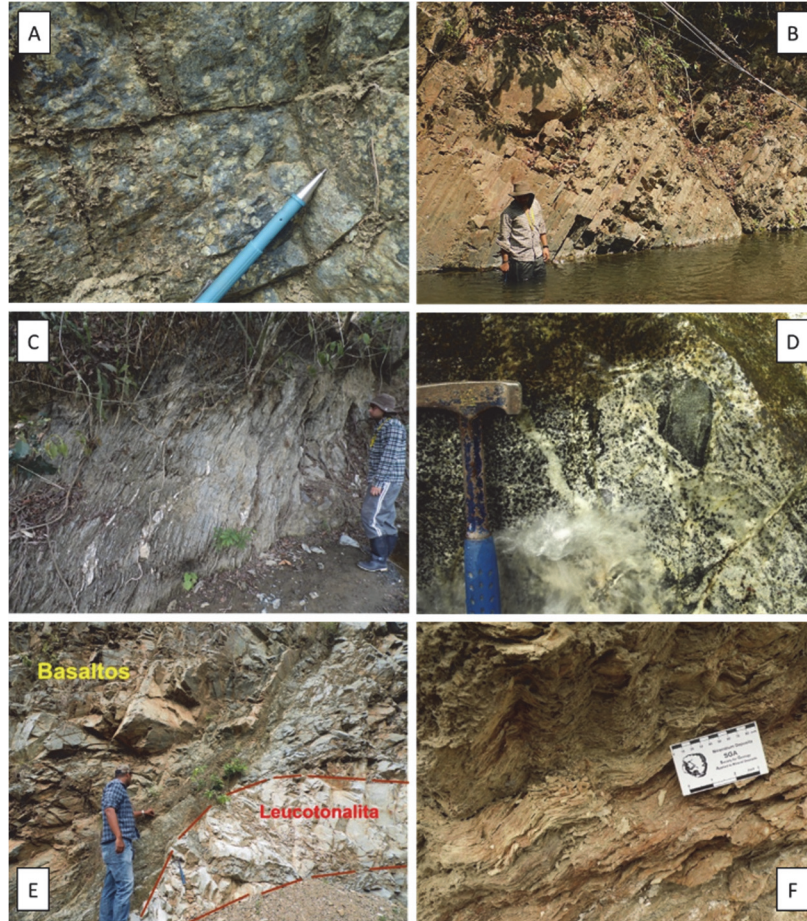


Figura 3. A) Basaltos porfídicos con fenocristales de plagioclasa, Fm. Barroso. B) Milonitas a partir de arcillolitas y areniscas. C) Milonitas a partir de Basaltos. D) Autolito de gabro en tonalita del Batolito de Sabanalarga. E) Contacto intrusivo de leucotonalita del Batolito de Sabanalarga en basaltos masivos de la Fm. Barroso. F) Milonitas a partir de Granodioritas del Batolito de Sabanalarga.  
Fuente: los autores.

Los contactos entre el cuerpo plutónico principal y las unidades litológicas circundantes son originalmente intrusivos, pero fueron posterior o simultáneamente fallados. Es posible encontrar xenolitos de basaltos en tonalitas, pero al mismo tiempo se presenta un intenso fracturamiento y zonas de milonitización que eliminan las características de las relaciones intrusivas iniciales.

Este cuerpo también exhibe rasgos de afectación por procesos tectónicos, los cuales son evidentes en texturas protomiloníticas a miloníticas sobre rocas granodioríticas a tonalíticas.

#### 4. Descripción microscópica

##### 4.1. Rocas volcánicas y paquetes sedimentarios asociados

Las rocas volcánicas se encuentran conformadas por hornblenda (30-40%), plagioclasa (20-78%), feldespato potásico (5-11%) y cuarzo (3-11%). Exhiben procesos de alteración posteriores, donde minerales como calcita, epidota, clorita, sericita

y clinozoisita, reemplazan minerales primarios como hornblenda o plagioclasas. En esencia son rocas equigranulares con cristales que presentan formas subhedrales a anhedrales. También se aprecian cristales euhedrales, pero éstos se encuentran principalmente en rocas con textura porfídica, cuyos fenocristales de plagioclasa son observables incluso en muestra de mano.

##### 4.2. Milonitas y esquistos (filonitas)

Estas rocas presentan deformación dúctil penetrativa, evidenciada en la foliación en láminas muy finas conformadas por minerales como clorita y anfíbol (Fig. 4). Es común apreciar cristales prismáticos que se disponen paralelos en su dimensión mayor, generando aspecto de bandas en la textura foliada de la roca. Adicionalmente se aprecian zonas en las que el cuarzo, el cual presenta una intensa extinción ondulatoria, cristaliza como grandes cristales alargados configurando bandas ricas en sílice. Estos cristales de cuarzo también se presentan con sus bordes corroídos, generando bahías y formando agregados de pequeños cristales alrededor de otros de mayores.

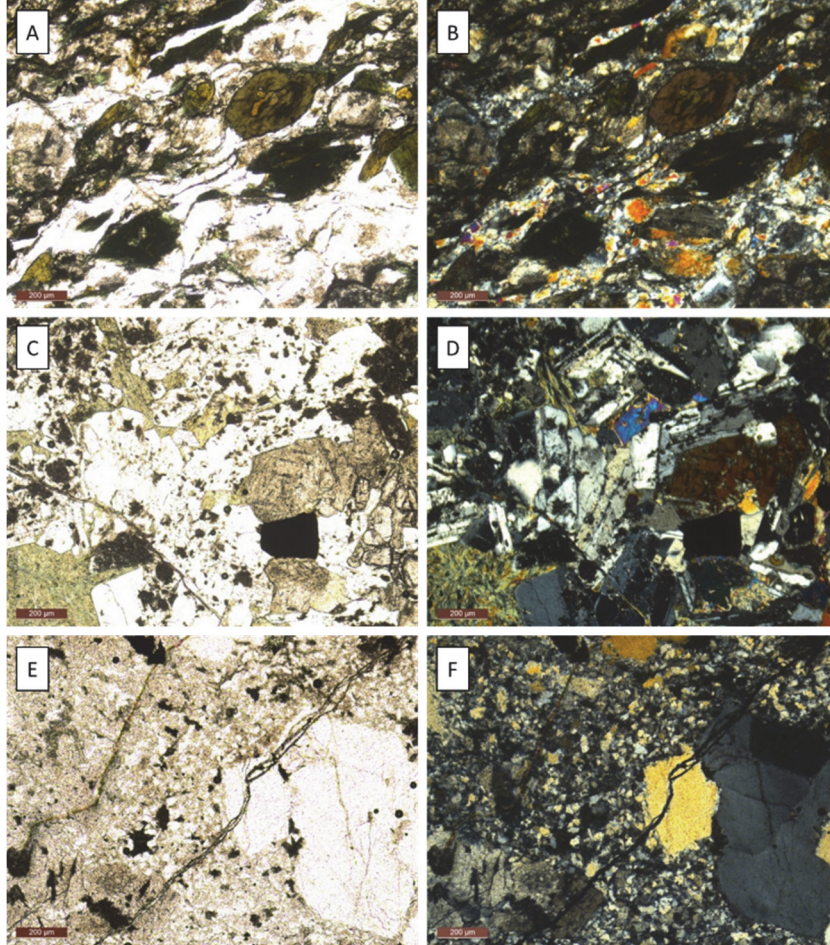


Figura 4. A) Milonita a partir de basalto (Nicoles =), B) milonita a partir de basalto (Nicoles X), C) Cuarzo-monzogabro (Nicoles =), D) Cuarzo-monzogabro (Nicoles X), E) Granodiorita (Nicoles =), F) Granodiorita (Nicoles X).  
Fuente: los autores.

#### 4.3. Gabros y dioritas (Facies Máfica – Batolito de Sabanalarga)

En general, se trata de rocas faneríticas holocristalinas, equigranulares e isótropas, conformadas por plagioclasa (19-38%) cuya composición varía desde Labradorita (An53) hasta Bytownita (An83) [22], hornblenda (10-90%), piroxeno (10-20%), cuarzo (5-10%) y feldespato alcalino (3-7%) (Fig. 4). En menores proporciones o como minerales secundarios, es común observar clorita (1-25%), biotita, zoisita, epidota y minerales opacos.

La plagioclasa se aprecia como cristales tabulares alargados, inequigranulares con formas subhedrales a anhedrales. Se presentan cristales que exhiben maclas tipo Carlsbad, Albita-Carlsbad y Albita, algunos de ellos corroídos y saussuritizados. El piroxeno (Cpx y Opx) se presenta como grandes cristales anhedrales a subhedrales en los cuales es común la presencia de pequeños cristales de plagioclasa definiendo una textura poikilitica.

Al igual que el piroxeno, la hornblenda se puede presentar como cristales intersticiales sin bordes definidos (anhedrales

a subhedrales), con coloración verde y pleocroísmo leve, formando textura poikilitica con cristales huéspedes de plagioclasa. Presenta una intensa alteración con generación de clorita y biotita.

También se encontraron rocas compuestas esencialmente por hornblenda y menores cantidades de piroxeno y plagioclasa; por ello han sido clasificadas como hornblenditas [23].

El cuarzo y el feldespato alcalino no tienen mucha presencia en estas rocas. Ambos minerales se muestran como masas anhedrales. El cuarzo presenta extinción ondulatoria y, junto con el feldespato alcalino, parece estar rellenando los intersticios de las últimas etapas de cristalización.

#### 4.4. Granodioritas y tonalitas (Facies félsica – Batolito de Sabanalarga)

Presentan textura fanerítica de grano grueso a medio con tamaño de cristales variando entre 1-3 mm en promedio. Son rocas holocristalinas e isotrópicas, aunque en algunas muestras es posible apreciar una incipiente foliación

protomilonítica generada por la orientación de los minerales. Están conformadas por plagioclasa (11-25%), hornblenda (7-20%), piroxeno (3-13%), feldespato alcalino (4-24%) y cuarzo (19-23%) (Fig. 4). En menores proporciones se puede encontrar clorita, biotita, epidota, sericita, zoisita, apatito y opacos.

La plagioclasa suele presentarse como cristales prismáticos, generalmente corroídos y saussuritizados. Los principales minerales ferromagnesianos son la hornblenda que se presenta como cristales prismáticos euhedrales a subhedrales, y el clinopiroxeno, el cual se presenta como cristales subhedrales a anhedrales. Al igual que los anteriores, el feldespato alcalino se muestra como cristales prismáticos diseminados.

El cuarzo se presenta como cristales anhedrales con bordes corroídos y generalmente deformados, los cuales exhiben una intensa extinción ondulatoria. Es común apreciar agregados de pequeños cristales de cuarzo agrupados en bahías generadas en los bordes en cristales de mayor tamaño, lo que indica un cambio en la presión del sistema a medida que éste cristalizaba.

En menor medida se puede apreciar cristales de biotita como producto de la alteración de las hornblendas, y opacos, que por relaciones de campo se presume que se trata principalmente de magnetita, pues en muestra de mano presenta intenso magnetismo. Se registran granates con formas euhedrales y tamaños aproximados de 2-3 mm, con fracturas rellenas por micro venillas de cuarzo. Este mineral no es común y solo se presentó en una de las muestras analizadas.

## 5. Geología económica

La zona de estudio se encuentra entre Santa Fe de Antioquia y Anzá, municipios que a lo largo de su historia han presentado actividad minera en proximidades al Río Cauca y las quebradas afluentes.

Reyes (2011) [24] afirma que *“durante tres siglos, el actual territorio colombiano produjo oro y lo envió a España a razón de tres, cuatro o más toneladas métricas por año”*, dando cuenta de una inmensa riqueza mineral. Entre los siglos XVI y XIX, tiempo de apogeo minero para el departamento de Antioquia y antes de la independencia de Colombia, Santa Fe de Antioquia fue una de las zonas de mayor desarrollo, con implementación de mano de obra de esclavos e indígenas, especialmente en trabajos de canalización de agua e incluso en la enseñanza de métodos de extracción minera [25].

A lo largo de la carretera Santa Fé de Antioquia - Anzá y en la vía hacia el municipio de Caicedo, se reportaron afloramientos con ocurrencias de mineralizaciones, destacados por coloraciones típicas de procesos de silicificación, sulfuración, argilización y sericitización; especialmente en aquellos sectores en los que la roca se presentaba intensamente milonitizada por la actividad de los sistemas de fallas Tonusco-Anzá-Buriticá y la Falla Cauca-Almaguer (Fig. 5). Como se dijo anteriormente, estos sistemas de fallas son los predominantes en la zona de estudio

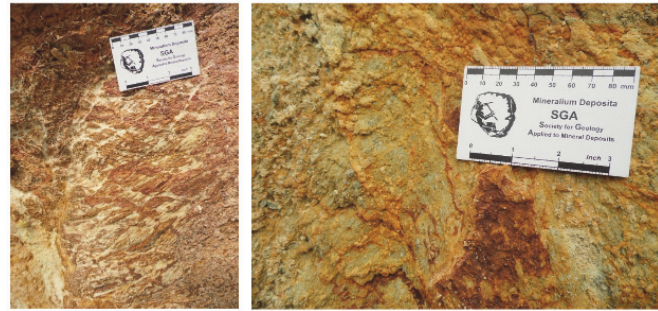


Figura 5. Mineralizaciones en milonitas a partir de granodioritas del Batolito de Sabanalarga.

Fuente: los autores.

y se sobrepone a los eventos intrusivos entre las facies del Batolito de Sabanalarga y las rocas volcánicas de la Formación Barroso.

Por lo anterior es posible inferir que los eventos mineralizantes, observados en las zonas de cizalla, son *“post-intrusión”* del cuerpo batolítico y *“syn/post-actividad de las fallas”*, el problema radica en que hasta el momento no se ha determinado el tiempo en el cual actuaron estas fallas, movilizándolo fluidos y generando las mineralizaciones (escenario mineralización *syn-fallamiento*), o bien sirvieron para alojar los fluidos de eventos magmático-hidrotermales posteriores (escenario mineralización *post-fallamiento*).

## 6. Discusión y conclusiones

El flanco este de la Cordillera Occidental se encuentra compuesto principalmente por secuencias vulcano-sedimentarias de la Formación Barroso, intruídas por cuerpos plutónicos de dimensiones batolíticas representados, en la zona, por el Batolito de Sabanalarga; ambas unidades se presentan intensamente cizalladas y afectadas por fallas regionales transpresivas.

Para el Batolito de Sabanalarga fue posible identificar al menos dos facies intrusivas, acordes con la propuesta de [26], una compuesta principalmente por monzogabros, cuarzo-monzogabros y honblenditas, conformando una facies Máfica; y una facies félsica, representada por granodioritas y tonalitas. La Formación Barroso, se encuentra conformada por secuencias de basaltos, andesitas y andesitas porfídicas, las cuales exhiben, en su mayoría, procesos de cloritización de los minerales máficos.

Las observaciones de campo permitieron establecer un contacto intrusivo entre estas dos unidades, así como una deformación dinámica posterior, que generó amplias zonas de milonitas ligadas a la actividad de las fallas Cauca-Almaguer y el sistema Tonusco-Anzá-Buriticá.

Con lo anterior, se puede proponer que las rocas de la Formación Barroso y el Batolito de Sabanalarga parecen haber sido formadas en el mismo ambiente geotectónico, que según Ordóñez-Carmona *et al.* (2003) [3] y Rodríguez *et al.* (2012) [25], podría corresponder a un Arco de Islas. Esta idea puede soportarse en el estrecho rango de edades que ambas unidades reportan, es decir,  $84,97 \pm 2,5$  Ma. U-Pb [3] para el

Batolito de Sabanalarga, y Albiano Medio [27] a Campaniano-Maastrichtiano [28] para las rocas de la Formación Barroso. Otra característica de campo que apoya la propuesta anterior es que el cuerpo batolítico exhibe contactos intrusivos con las rocas vulcano-sedimentarias circundantes, y se presenta con una geometría alargada típica de cuerpos plutónicos en ambientes de Arco.

Es considerado que la falla Cauca-Almaguer representa un límite de terrenos, poniendo en contacto al Terreno Calima [1, 10-11, 13] al Oeste, con una serie de pequeños terrenos al este (Terrenos Quebradagrande, Arquía, Heliconia y Amagá-Sinifaná), que se encuentran entre la falla mencionada y la Falla de San Jerónimo [9, 11, 13]. Dadas las observaciones de campo, y considerando que tanto el Batolito de Sabanalarga como las rocas vulcano-sedimentarias de la Formación Barroso hacen parte del llamado Terreno Calima, es posible sugerir la no factibilidad de considerar a la Falla Cauca-Almaguer como límite de terrenos, al menos en esta parte del país. Esto debido a que en ambos lados de la zona de falla se observan las mismas unidades litológicas. En este sentido, la Falla Cauca-Almaguer deforma las unidades aflorantes en la zona, generando milonitas y protomilonitas a partir del Batolito de Sabanalarga y de la Formación Barroso, pero no separa terrenos diferentes. Otro aspecto a considerar es que las fallas del Cauca, son anastomosadas en toda su extensión, desde el sur hasta el norte del país, por lo que el límite de terrenos podría corresponder a una traza secundaria localizada al este y no a la considerada como traza principal en los mapas del Servicio Geológico Colombiano [2, 26, 29].

Con respecto a la temporalidad de la deformación dinámica impuesta a las unidades presentes en la zona, se encontró que la Formación Amagá, del Oligoceno Medio y el Mioceno Inferior [30], no está milonitizada y reposa en discordancia sobre milonitas a partir del Batolito de Sabanalarga y la Formación Barroso, originando una no conformidad, que posteriormente configura un contacto fallado (Fig. 6). Luego, la deformación milonítica regional es “pre Formación Amagá”, y por lo tanto, “pre Orogenia Andina”, estableciendo un intervalo para la milonitización entre 60-20 Ma. Por otro lado, se sugiere que esta deformación dinámica podría ser correlacionada con el evento Tectonometamórfico del Cretáceo Tardío que afecta a la Formación Cisneros del Grupo Dagua definido por Nelson (1957) [31], entre Cali, Buga y Buenaventura en el Valle del Cauca. Este evento, ubicado entre 60-80 Ma., es definido como un evento metamórfico en facies esquistos verde asociado a la actividad de la Falla Cauca-Almaguer en rocas vulcano-sedimentarias [11, 32-34].

En el área de estudio fue posible encontrar alteraciones hidrotermales asociadas a las zonas de milonitas. Estas alteraciones pueden indicar la presencia de fluidos mineralizantes asociados a este evento deformacional, o bien, la zona de falla pudo actuar como conducto alojador de fluidos magmático-hidrotermales posteriores, siendo estas fuentes las aportantes del oro aluvial que tradicionalmente se ha explotado en la zona y regiones aledañas. Se debe destacar que el par milonitización-alteración, es más común cuando las rocas afectadas son las asociadas a la Formación Barroso o bien su presencia es cercana.



Figura 6. Contacto fallado entre la Formación Amagá (areniscas y areniscas conglomeráticas) y milonitas a partir de granodioritas del Batolito de Sabanalarga.

Fuente: los autores

También se reportan extensas zonas de milonitas y alteraciones hidrotermales en Anzá, Caicedo, Liborina y Sabanalarga, lo que podría indicar la presencia de un cinturón de rocas afectadas por un metamorfismo dinámico, que han sido mineralizadas durante la deformación o bien durante el evento Combia [30], (que incluye el evento hidrotermal-mineralizante que formó el depósito de Buritica), ambos en el rango entre 11-5 Ma., los cuales pudieron alojarse a lo largo de estas zonas de debilidad y mineralizar estos sectores.

### Agradecimientos

Para la realización de este estudio se contó con el apoyo de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Facultad de Minas; y del Grupo GEMMA. Agradecimientos especiales al Instituto de Geociencias de la Universidad de Brasilia (UnB) y a la profesora Catarina L.B. Toledo por el apoyo con la realización de las secciones delgadas.

### Referencias

- [1] Restrepo, J.J. and Toussaint, J.F. Terranes and continental accretion in the Colombian Andes. *Episodes*, 11 (3), pp. 189-193, 1988.
- [2] González-Iregui H., Mapa geológico del departamento de Antioquia. Geología, recursos minerales y amenazas potenciales, escala 1:400.000, Memoria explicativa, Medellín, Instituto de investigación e información Geocientífica, Minero – ambiental y Nuclear, Ingeominas, 2001, 256 P.
- [3] Ordóñez-Carmona, O., Pimentel, M.M. y Abad-Posada, A., Batolito de Sabanalarga: Magmatismo de arco o de pluma? En Congreso Colombiano de Geología (IX, 2003, Medellín, Colombia). Resúmenes, Sociedad Colombiana de Geología, 2003.
- [4] Rodríguez, G., Arango, M.I. and Bermúdez, J.G. The Sabanalarga Batholith, arc plutonism in the suture zone between continental and oceanic crust in the Northern Andes. *Boletín Ciencias de La Tierra*, 32, pp. 81-98, 2012.
- [5] Rodríguez, G. y Arango, M.I., Formación Barroso: Arco volcánico Toleítico y Diabasas de San José de Urama: Un prisma acrecionario T-Morb en el segmento norte de la Cordillera Occidental de Colombia. *Boletín Ciencias de La Tierra*, 33, pp. 17-38, 2013.

- [6] Villagómez, D., Spikings, R., Magna, T., Kammer, A., Winkler, W. and Beltrán, A., Geochronology, geochemistry and tectonic evolution of the Western and Central cordilleras of Colombia. *Lithos*, 125 (3-4), pp. 875-896, 2011. DOI: 10.1016/j.lithos.2011.05.003
- [7] Kerr, A.C., Tamey, J., Kempton, P.D., Spadea, P., Nivia, A., Marriner, G.F. and Duncan, R.A., Pervasive mantle plume head heterogeneity: Evidence from the late Cretaceous Caribbean-Colombian oceanic plateau. *Journal of Geophysical Research*, 107 (B7), 13 P., 2002.
- [8] Nivia A. y Gómez-Tapias, J., El Gabro Santa Fe de Antioquia y la Cuarzodiorita Sabanalarga, una propuesta de nomenclatura litoestratigráfica para dos cuerpos plutónicos diferentes agrupados previamente como Batolito de Sabanalarga en el Departamento de Antioquia, Colombia, en Congreso Colombiano de Geología (X, 2005, Medellín, Colombia). Resúmenes, Bogotá, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, Ingeominas, Sociedad Colombiana de Geología, Sociedad Kedahda S.A., Ecopetrol, 2005, pp. 1-11.
- [9] Toussaint, J.F. and Restrepo, J.J., The Colombian Andes during Cretaceous times In Salfity, J.A. *Cretaceous Tectonics of the Andes*, 1<sup>st</sup> edition, Braunschweig, Wiesbaden, Vieweg+Teubner Verlag, 1994, pp. 61-100.
- [10] Toussaint, J.F. and Restrepo, J.J., Mesozoic and Cenozoic accretionary events in the Colombian Andes in ISAG (3<sup>rd</sup>, 1996, Saint Malo, France). Extended abstract, Saint Malo, France, Orstom, Geosciences Rennes, 1996, pp. 513-515.
- [11] Toussaint, J.F., Cretácico, en su evolución geológica de Colombia, Medellín, Universidad Nacional de Colombia, 1996, 72 P.
- [12] Restrepo, J.J., Ordoñez-Carmona, O., Martens, U. y Correa, A.M., Terrenos, complejos y provincias en la Cordillera Central de Colombia. *I2+D*, 9 (2), pp. 49-56, 2009.
- [13] Restrepo, J.J., Terrenos, complejos y provincias en Colombia; en especial en la parte norte de la cordillera central, en: Conferencias de Geodinámica (3<sup>er</sup>, 2012, Medellín). Aulas de clase [diapositivas], Medellín, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, 2012, 136 P.
- [14] Rodríguez, G., González, H., Restrepo, J.J., Martens, U. and Cardona, J.D., Occurrence of granulites in the northern part of the Western Cordillera of Colombia. *Boletín de Geología*, 34 (2), pp. 38-53, 2012.
- [15] González, H., Mapa geológico de Colombia, Esc: 1: 1,500.000. Ingeominas, Bogotá, Colombia, 1988.
- [16] Kellogg, J. and Vega, V., Tectonic development of Panamá, Costa Rica, and the Colombian Andes: Constraints from global positioning system geodetic studies and gravity. *Geological Society of America*, 295 (295), pp. 75-90, 1995. DOI: 10.1130/spe295-p75
- [17] Ordoñez-Carmona, O. and Pimentel, M.M., Rb-Sr and Sm-Nd isotopic study of the Puquí complex, Colombian Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 15, pp. 173-182, 2002. DOI: 10.1016/S0895-9811(02)00017-2
- [18] Tibaldi, A. and Ferrari, L., Latest Pleistocene-Holocene tectonics of the Ecuadorian Andes. *Tectonophysics*, 205 (1-3), pp. 109-125, 1992. Doi:10.1016/0040-1951(92)90421-2
- [19] Toussaint, J.F., Precámbrico y Paleozoico, en su evolución geológica de Colombia, Medellín, Universidad Nacional de Colombia, 1993, 129 P.
- [20] Bustamante, A., Juliani, C., Hall, C.M., Essene, E.J. and Arbor, A., Ar / 39 Ar ages from blueschists of the Jambaló region, Central Cordillera of Colombia: Implications on the styles of accretion in the Northern Andes. *Geological Acta*, 9 (3-4), pp. 351-362, 2011. DOI:10.1344/105.000001697
- [21] Orrego, A., Restrepo, J.J., Toussaint, J.F. y Linares, E., Datación de un esquistosericítico de Jambaló, Cauca. *Publicación Especial Geológica Universidad Nacional de Colombia sede Medellín*, 25, pp. 1-2, 1980.
- [22] Kerr, P.F., *Mineralogía Óptica*, 3<sup>er</sup> ed., España, McGraw Hill, Ediciones Castilla, 1965, 433 P.
- [23] Streckeisen, A., Classification and nomenclature of plutonic rocks: Recommendations of the IUGS subcommission on the systematics of igneous rocks. *Geologische Rundschau – International Journal of Earth Sciences*, 63 (2), pp. 773-785, 1974. DOI: 10.1007/bf01820841
- [24] Reyes, A.C., *Minería: Trabajo de muchos, riqueza de pocos*. UN Periódico [En línea], (188), 2011. [fecha de consulta 20 de noviembre de 2013]. Disponible en: <http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/mineria-trabajo-de-muchos-riqueza-de-pocos.html>
- [25] Casado-Arboniés, M., *Mineros de Santa Fe de Antioquia en la segunda mitad del siglo XVII*. Estudios de historia social y económica de América, 3, pp. 93-109, 1988.
- [26] Correa, C. y Calle, N., *Geología, petrografía y petroquímica de la zona sur del plutón de Sabanalarga Antioquia*, Tesis Ingeniería Geológica, Facultad de Minas Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Colombia, 1988.
- [27] Etayo, F., González, H. and Alvarez, E., Mid-Albian Ammonites from Northern Western Cordillera, Colombia. *Geología Norandina*, 2, pp. 25-30, 1980.
- [28] Etayo, F., Campanian to Maastrichtian fossils in the Northeastern Western Cordillera, Colombia. *Geología Norandina*, 11, pp. 23-32, 1989.
- [29] Mejía, M., Álvarez, E., González, H. y Grosse, E., *Mapa Geológico de Colombia escala 1:100.000*, Plancha 130 Santa Fe de Antioquia. Ingeominas, Bogotá, Colombia, 1983.
- [30] Van der Hammen, T., *Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano continentales y tectogénesis de los Andes colombianos*. Boletín Geológico del Servicio Geológico Colombiano, 6 (1-3), pp. 67-128, 1958.
- [31] Nelson, H., Contribution to the Geology of the Central and Western cordilleras of Colombia in the sector between Ibagué and Cali. *Leidse Geologische Mededeelingen*, 22, pp. 1-76, 1957.
- [32] Aspden, J., Nivia, A. y Millward, D., *Mapa geológico preliminar de la plancha 279 Dagua*. Ingeominas, Bogotá, Colombia, 1984.
- [33] Barrero, D., *Geology of the Central Western Cordillera, West of Buga and Roldanillo*. *Publicación Geológica Especial de Ingeominas*, 6 (4), 75 P., 1979.
- [34] Bourgois, J., Calle, B., Tournon, J. and Toussaint, J.F., The ophiolitic Andes megastructures on the Buga-Buenaventura transverse (Western Cordillera-Valle, Colombia). *Tectonophysics*, 82, pp. 207-229, 1982. DOI: 10.1016/0040-1951(82)90046-4

**J.S. Guiral-Vega**, recibió su grado en Ingeniería Geológica en 2014, en la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín y parcialmente en la Universidad de Brasilia (UnB). Ha trabajado en proyectos relacionados con las áreas de exploración, minería, cartografía geomorfológica y planeación. Actualmente trabaja en el área de la geomecánica enfocada a excavaciones subterráneas en el desarrollo de un importante proyecto hidroeléctrico en el departamento de Antioquia. Sus intereses en investigación incluyen: geología regional y geología económica.

**J.J. Rincón-Gamero**, es Ingeniero Geólogo graduado en 2014, en la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín y en la Universidad de Brasilia (UnB). Ha trabajado en proyectos relacionados con la minería y la cartografía geomorfológica para zonificación de amenaza por movimientos en masa. Actualmente trabaja en el área de la geomecánica en el desarrollo de un importante proyecto hidroeléctrico en Antioquia. Sus intereses en investigación incluyen: geología regional y geología económica.

**O. Ordoñez-Carmona**, recibió su grado en Geología en 1993 en la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Colombia. Obtuvo su grado MSc. en Geociencias en 1997, y el grado PhD en Geociencias en 1999, ambos en la Universidad de Brasilia (UnB), Brasil. Desde 1999 hasta la actualidad, se desempeña como profesor a tiempo completo en la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia. Sus intereses en investigación incluyen: geología regional, geocronología, exploración, minería y geología económica.