

---

---

# CARACTERISTICAS DEL PLUTONISMO MIOCENO SUPERIOR EN EL SEGMENTO NORTE DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL E IMPLICACIONES TECTONICAS EN EL MODELO GEOLÓGICO DEL NOROCCIDENTE COLOMBIANO

## CHARACTERISTICS OF PLUTONISM UPPER MIOCENE IN THE NORTH SEGMENT OF CORDILLERA OCCIDENTAL AND ITS TECTONICS IMPLICATIONS IN THE NORTH-WEST COLOMBIAN GEOLOGICAL MODEL

---

---

*Gabriel Rodríguez G. & Gilberto Zapata G.*

*Servicio Geológico - Medellín*

*grodriguez@ingeo minas.gov.co gzapata@ingeo minas.gov.co*

Recibido para evaluación: 6 de Febrero de 2012 / Aceptación: 23 de Mayo de 2012 / Recibida versión final: 6 de Junio de 2012

### RESUMEN

En el Segmento Norte de La Cordillera Occidental de Colombia, al norte del Cinturón plegado de Itsmia y la Falla del río San Juan que se localiza entre el Cerró Tatamá y los Farallones del Citará, afloran una serie de plutones que intruyen el Complejo Santa Cecilia – La Equis – Batolito de Mandé (Arco de Chocó - Panamá), el Complejo Cañasgordas y los Basaltos de El Botón (Arco de El Botón), cuerpos intrusivos que afloran desde Pueblo Rico (Risaralda) hasta Dabeiba (Antioquia).

La composición de los plutones corresponde a la serie gabro-monzodiorita-monzonita-sienita, con facies en algunos cuerpos de la serie cuarzdiorita, cuarzomonzodiorita, y únicamente, la Monzodiorita de Farallones presenta muestras clasificadas como tonalitas y granodioritas.

La composición química de los cuerpos intrusivos es similar a la de los Basaltos de El Botón, corresponden a la serie shoshonítica con alto contenido de álcalis ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > 5 \text{ wt}\%$ ), altas razones  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  ( $> 0,6$  a los 50% wt de  $\text{SiO}_2$ ,  $> 1,0$  a los 55% wt de  $\text{SiO}_2$ ), bajo  $\text{TiO}_2$  ( $< 1,3 \text{ \% wt}$ ), alto pero variable  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (14-19 %wt), y solo algunos cuerpos como la Diorita del río San Juan y pequeños cuerpos de gabros emplazados en el Complejo Santa Cecilia – La Equis tiene afinidad con la serie calcoalcalina. El comportamiento de los elementos de las tierras raras y los elementos traza corresponde a rocas generadas en un arco formado por subducción.

Las edades Ar-Ar y K-Ar de los plutones, arrojan valores entre 9 y 12 Ma (Tortoniano-Serravalliano), similares a las de los Basaltos de El Botón y la Formación Combia. La formación del Arco Volcánico de El Botón junto con todos los plutones asociados se dio en la margen de los bloques conformados por el Complejo Santa Cecilia – La Equis – Batolito de Mandé y el Complejo Cañasgordas, sugiriendo que el Arco Chocó-Panamá ya se encontraba aglutinado desde el mioceno.

**PALABRAS CLAVE:** Plutones Cordillera Occidental, Shoshonitas, Petrografía, Geoquímica, Geocronología.

### ABSTRACT

In the north segment of Colombia's Cordillera Occidental, at the north of Itsmia's folded belt and the fault of San Juan's river located between Tatamá Hill and Farallones del Citara, outcrop a group of plutons that intrude Santa Cecilia – La Equis – Batolito de Mandé Complex (Chocó – Panamá arc), Cañasgordas Complex and El Botón's Basalts (El Botón's arc). They are intrusive bodies outcropping from Pueblo Rico (Risaralda) until Dabeiba (Antioquia).

Plutons's composition belong to a group of gabro-monzodiorite-monzonite-sienite, with facies in some bodies of the group conformed by cuarzdiorite, cuarzomonzodiorite. In addition, only Farallones's Monzodiorite has signs classified as tonalites and granodiorites

The chemical composition of the intrusive bodies is similar to El Botón's Basalts. These belong to the shoshonitic group with a high concentration of alkali rocks ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > 5 \text{ wt}\%$ ), high proportions  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  ( $> 0,6$  a los 50% wt de  $\text{SiO}_2$ ,  $> 1,0$  a los 55% wt de  $\text{SiO}_2$ ), low  $\text{TiO}_2$  ( $< 1,3 \text{ \% wt}$ ), high but changeable  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (14-19 %wt). Only few bodies such as San Juan's river diorite and small bodies of gabbro placed in Santa Cecilia-La Equis Complex have affinity with calco-alkaline's group. Rare earths and its trace elements behavior is due to rocks created by an arc formed by subduction.

Plutons's ages Ar-Ar and K-Ar, show values between 9 and 12 million years (Tortonian- Serravallian age). They are similar to El Botón's Basalts and Combia formation. The formation of volcanic arc El Botón and all its associated plutons was originated in the margin of the blocks conformed by Santa Cecilia- La Equis- Batolito de Mandé complex and Cañasgordas Complex; suggesting that the Chocó-Panama Arc was already bonded from the Miocene.

**KEY WORDS:** Cordillera Occidental plutons, shoshonite, Petrography, Geochemistry, Geochronology.

## 1. INTRODUCCIÓN

Trabajos de complementación litogeoquímica, petrográfica, cartográfica y dataciones radiométrica en la Cordillera Occidental, en los departamentos de Chocó, Antioquia y Risaralda, permiten definir las características de los cuerpos intrusivos asociados al Arco shoshonítico de El Botón descrito por Zapata y Rodríguez (2012) y definir las relaciones entre este arco y los bloques conformados por el Complejo Santa Cecilia – La Equis - Batolito de Mandé y el Complejo Cañasgordas y recrear el modelo evolutivo de los Andes Septentrionales en el Mioceno.

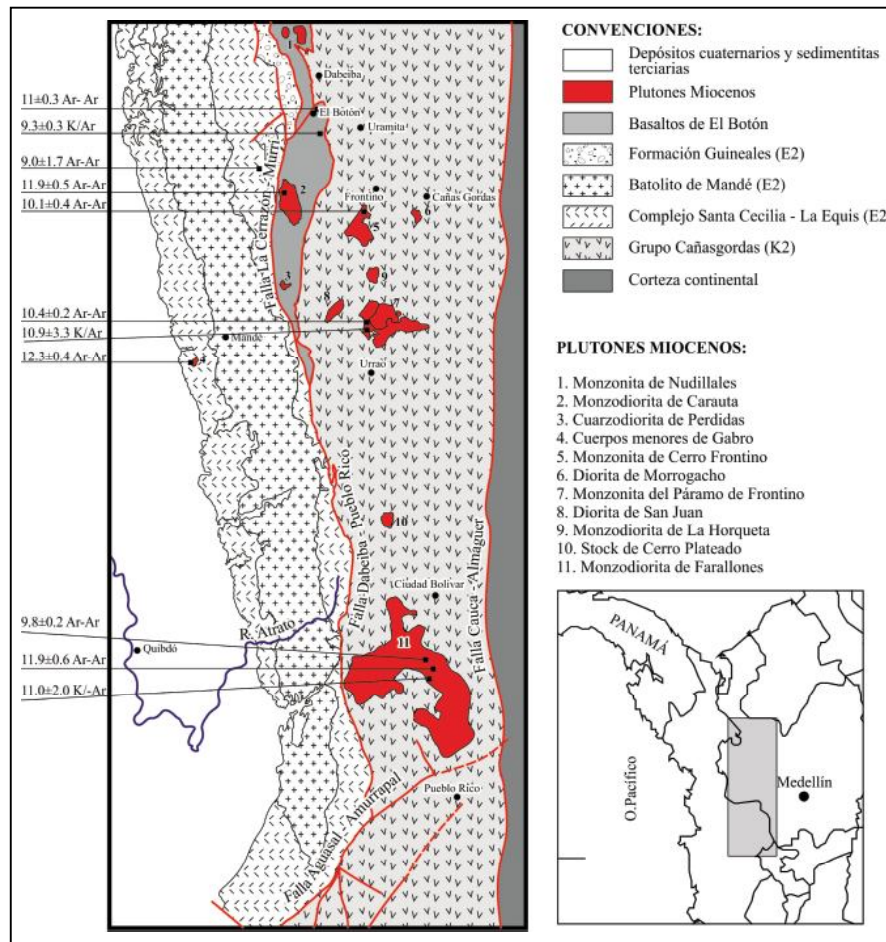
La presencia de plutones epizonales de edad Mioceno medio-tardío intruyendo al Complejo Cañasgordas, al oriente del Arco del Botón y de la Falla Pueblo Rico - Dabeiba, así como plutones de afinidad shoshonítica y edad tortoniana - serravalliana (Mioceno) asociados a basaltos shoshoníticos del Arco de El Botón (Zapata y Rodríguez, 2012) y diques y cuerpos menores intruyendo al occidente al Complejo Santa Cecilia – La Equis, causan interrogantes sobre el origen de estos cuerpos y el significado que tienen con respecto a la evolución de la parte más septentrional de la Cordillera Occidental y la posición del Complejo Santa Cecilia – La Equis – Batolito de Mandé y del Complejo Cañasgordas en el Mioceno. Todos estos plutones intruyen bloques tectónicos de ambiente de generación, composición y edad diferente y plantean varios interrogantes: ¿Estos plutones son de un mismo evento magmático Mioceno?; ¿los bloques que conforman el Segmento Norte de la Cordillera Occidental fueron intruidos por este evento y por lo tanto se encontraban prácticamente juntos los bloques?; ¿los plutones en cada bloque son de eventos magmáticos distintos? Interrogantes que se analizan en este trabajo.

La información petrográfica, geoquímica y geocronológica presentada en este trabajo, aporta nuevos datos acerca de la génesis y evolución de los plutones y al conocimiento de la evolución del Noroccidente Colombiano.

## 2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El área donde se presentan los cuerpos plutónicos objeto de estudio comprende el **Segmento Norte de la Cordillera Occidental de Colombia** en los departamentos de Risaralda, Antioquia y Chocó (Figura 1) Este segmento que está limitado al oriente por la Falla Cauca – Almaguer (Maya y González, 1995), al occidente por la Cuenca del río Atrato, al sur por la falla Guasal – Amurrapá (Arboleda et al., 2009) también descrita como Falla del río San Juan y al norte está cubierto por los sedimentos terciarios del Cinturón Sinú – San Jacinto y el Grupo Sincelejo. Al sur de Pueblo Rico (Tatamá) y del cinturón plegado de Itsmina, los arcos volcánico – plutónicos del Complejo Santa Cecilia – La Equis - Batolito de Mandé, el arco volcánico – plutónico de El Botón y los plutones de 9 a 12 Ma se truncan y no afloran más en los departamentos del Valle del Cauca, Cauca y Nariño.

La cartografía geológica regional (González, 1990, González et al., 2001, Cossio, 1994) muestra el Segmento Norte de la Cordillera Occidental conformado de Este a Oeste por un cinturón de rocas oceánicas cretácicas de naturaleza basáltica toleítica (Formación Barroso) asociadas a bloques tectónicos de sedimentitas turbidíticas (Formación Penderisco), seguido hacia el occidente por el arco volcánico plutónico de El Botón (Zapata y Rodríguez, 2012) de afinidad shoshonítica y edad Mioceno medio - tardío (Tortoniano-Serravalliano), limitado al este por la Falla Dabeiba – Pueblo Rico y separado del Complejo Santa Cecilia – La Equis - Batolito de Mandé por la falla La Cerrazón-Murrí, que se presenta en el borde oeste de la Cordillera Occidental, siendo este último de afinidad calcoalcalina y edad Eoceno temprano (Figura 1).



**Figura 1.** Localización de cuerpos plutónicos del Mioceno medio-tardío en el Segmento Norte de La Cordillera Occidental y edades radiométricas relacionadas al Arco Volcánico – plutónico de El Botón

En el Segmento Norte de la Cordillera Occidental una serie de plutones dispuestos en dirección Norte – Sur de edad Mioceno medio-tardío se encuentran asociados a diferentes bloques: intruyen el Complejo Cañasgordas, se presentan asociados a los Basaltos de El Botón (Arco de El Botón) e intruyen el arco constituido por el Complejo Santa Cecilia – La Equis - Batolito de Mandé (Arco de Chocó-Panamá). Los plutones que intruyen el Complejo Cañasgordas (basaltos toleíticos y sedimentitas turbidíticas) son de sur a norte (Figura 1): la Monzodiorita de Farallones, la Cuarzodiorita de Cerro Plateado, la Monzonita del Páramo de Frontino, la Diorita de San Juan, la Monzodiorita de La Horqueta, la Diorita de Morrogacho y la Monzonita de Cerro Frontino (Álvarez y González, 1978; Calle et al., 1980, Calle, 1991, González y Londoño, 2002 c,d,e).

Los cuerpos intrusivos que se asocian al Arco de El Botón corresponden a la Monzonita de Nudillales, la Monzodiorita de Carauta y la Cuarzodiorita del Valle de Pérdidas (Mejía & Salazar 1989, González y Londoño 1998, 2002, Rodríguez et al., 2010a, Buchely et al., 2009, Zapata y Rodríguez, 2012). Diques andesíticos y cuerpos menores de gabro intruyen las rocas volcánicas del Complejo Santa Cecilia – La Equis y probablemente al Batolito de Mandé (Figura 1).

### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

Se revisaron 106 secciones delgadas de los cuerpos plutónicos, las cuales se clasificaron siguiendo las recomendaciones de la Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks editadas por Le Maitre (2002).

Se hizo litogeoquímica en el laboratorio ActLabs de Canadá a 32 muestras de rocas de los diferentes plutones. La determinación cuantitativa de los óxidos mayores, de elementos traza y de las tierras raras se obtuvo por el método de ataque Fus-ICP (Lithium Metaborate/Tetraborate Fusion ICP) y por espectrometría de emisión con plasma (ICP-MS). Para las muestras de la Monzodiorita de Carauta se retoman los datos reportados por Buchely et al. (2009) y para la Monzodiorita de Farallones los datos de Arboleda et al. (2009).

Se analizó la composición petrográfica y química de algunos cuerpos plutónicos (Monzodiorita de Farallones, Cuarzodiorita de Cerro Plateado, Diorita de Morrogacho, Monzonita de Cerro Frontino, Monzonita de Nudillales, Monzodiorita de Carauta, Cuarzodiorita del Valle de Pérdidas, diques andesíticos y cuerpos menores de diorita.

Se reportan 2 nuevas edades realizadas por el método Ar-Ar *step heating dating*, preparadas en molino no contaminante en malla -200 en el laboratorio de ActLabs de Canadá y fechadas dentro de los trabajos del Proyecto Cordillera Occidental, adelantado por geólogos del Ingeominas Medellín.

#### 4. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA

Se describen los plutones de edad Mioceno tardío, agrupándolos de acuerdo a la posición tectónica y el bloque litológico que intruyen, se separan en tres grupos: 1-plutones que intruyen el Complejo Cañasgordas, 2- plutones asociados al Arco de El Botón y 3- plutones y cuerpos menores que intruyen el Complejo Santa Cecilia – La Equis y el Batolito de Mandé. Esta comparación tiene como propósito mostrar las similitudes y diferencias que puedan tener estos cuerpos desde el punto de vista mineralógico, químico y de edad de emplazamiento y poder definir un modelo evolutivo del Segmento Norte de la Cordillera Occidental durante el Mioceno (Figura 1).

**Plutones que intruyen el Complejo Cañasgordas.** Es el grupo más numeroso de plutones, forman una línea de cuerpos irregulares en dirección norte-sur que intruyen el Complejo Cañasgordas entre los municipios de Pueblo Rico al sur y Frontino al norte, se subdividen de acuerdo al tamaño en dos subgrupos: cuerpos de mayor tamaño conformados por varias facies petrográficas, algunos de ellos con una facies básica intruida por una facies félsica, generalmente con aureola de contacto con desarrollo de cornubianitas en las subfacies Piroxeno Cornubianita hasta Albita Epidota Cornubianita, hacen parte de este subgrupo la Monzodiorita de Farallones, Monzonita del Páramo de Frontino y la Monzonita de Cerro Frontino. El segundo subgrupo son los cuerpos pequeños por lo general de composición básica: Stock de Cerro Plateado, Diorita del río San Juan, Monzodiorita de La Horqueta y Diorita de Morrogacho, con menor conocimiento litogeoquímico y radiométrico, pero por su posición se han correlacionado con los otros intrusivos (Figura 1).

La Monzodiorita de Farallones muestra una amplia dispersión en la composición de las rocas, siendo clasificadas como monzodioritas-gabronoritas-cuarzomonzodioritas-cuarzodioritas-tonalitas y granodioritas (Figura 2), predominan las texturas hipidiomórfica a subidiomórfica granular a inequigranular y las facies félsicas sobre las máficas (las facies básicas presentan ausencia de cuarzo y están constituidas por  $Pl + Bt \pm ortoclasa \pm Opx \pm Cpx \pm Ol \pm Hbl$  y como accesorios se presenta magnetita y apatito. Las facies intermedias están constituidas por  $Qz + Pl + ortosa + Bt \pm Hbl \pm Cpx$  y como accesorios magnetita, apatito, esfena y circón. La aureola de contacto alcanza dos (2) kilómetros de amplitud y afecta rocas de composición pelítica en las facies Hornblenda Cornubianita y Albita - Epidota Cornubianita.

La Monzonita de Cerro Frontino está constituida por rocas básicas que corresponden a dioritas y gabros y subordinadas se presentan monzonitas y monzogabros. Las rocas máficas se clasificaron como piroxenitas hornbléndicas y biotíticas, clinopiroxenitas, gabros, gabros con biotita, dioritas piroxénicas, monzogabros y monzonitas. Se analizaron veinticuatro (24) muestras y de éstas 17 se localizan en el campo de las piroxenitas, gabros y dioritas (Figura 2). La textura de las rocas es hipidiomórfica a subidiomórfica inequigranular, están constituidas por  $Pl + Cpx + Bt \pm Hbl \pm ortoclasa$  y como minerales accesorios se presentan magnetita, apatito, esfena, pueden aparecer o no cuarzo, circón, rútilo y cobre nativo. La aureola de contacto alcanza hasta un (1) kilómetro de amplitud y afecta rocas detríticas pelíticas, rocas calcáreas y

chert formando localmente skarn mineralizados con wollastonita y granate, la aureola de metamorfismo térmico varía entre las facies Albita – Epidota Cornubianita y Piroxeno Cornubianita.

La Monzonita del Páramo de Frontino presenta amplia dispersión en la composición de las rocas, con contenidos bajos de cuarzo menores al 10% y la presencia o no de ortoclasa que puede alcanzar hasta un 70% de la composición de la roca. Las rocas se clasifican como dioritas piroxénicas, monzodioritas, monzonitas, sienitas, cuarzosenitas y cuarzo monzodioritas (Figura 2), con texturas hipidiomórfica a subidiomórfica granular a inequigranular. Las rocas están constituidas por  $Pl + ortoclasa + Cpx + Bt \pm Opx \pm Hbl \pm Qz$  y como accesorios presentan magnetita, apatito, circón, esfena y pueden aparecer ortopiroxeno, rutilo y epidota. El cuerpo intruye rocas detríticas arenó – arcillosas del Complejo Cañasgordas, forma una aureola de contacto entre las facies Albita – Epidota Cornubianita y Piroxeno Cornubianita.

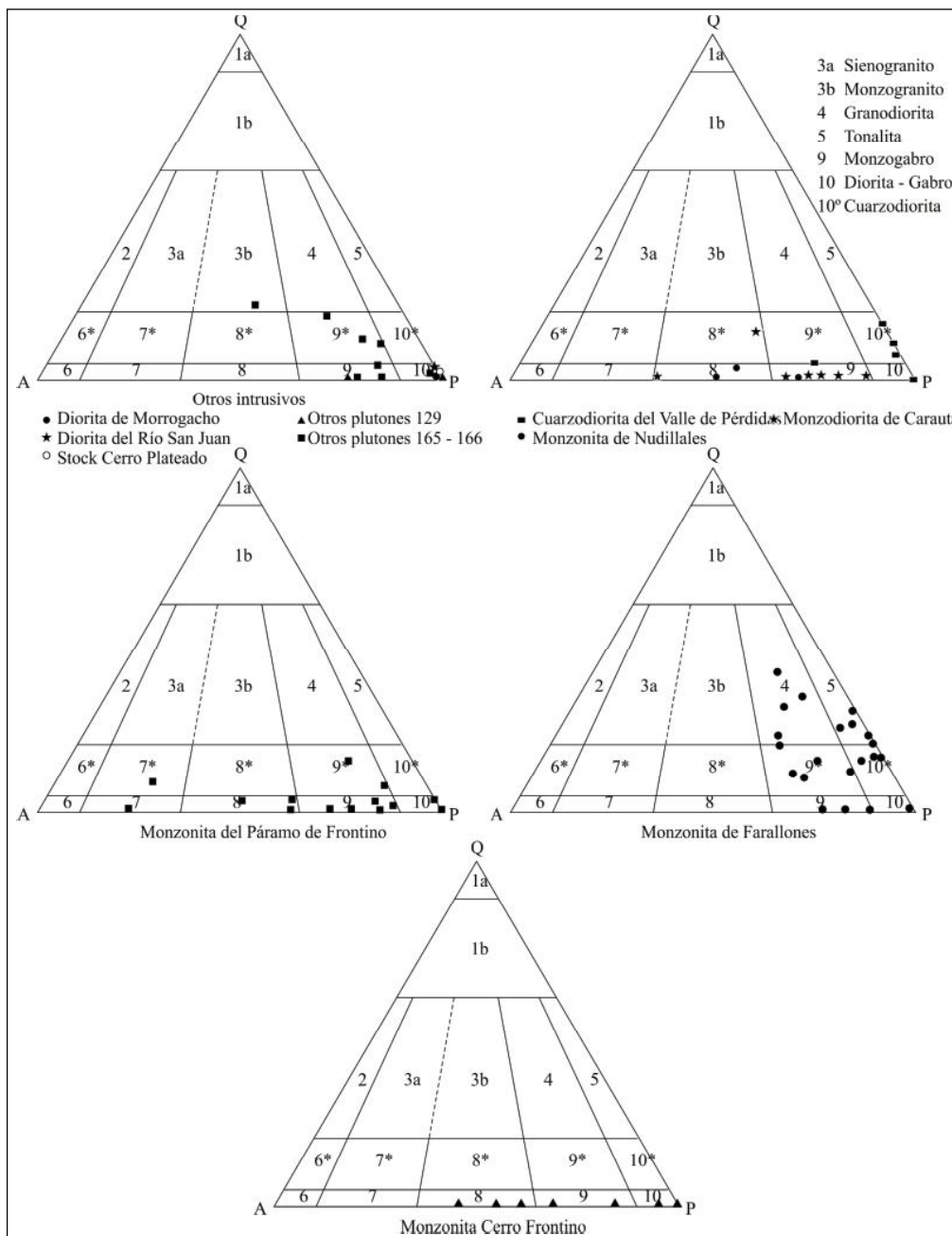


Figura 2. Composición modal de los de los plutones



Los cuerpos intrusivos menores (Stock de Cerro Plateado, Diorita del río San Juan, Monzodiorita de La Horqueta, Diorita de Morrogacho y cuerpos sin denominación) presentan textura general hipidiomórfica granular constituidas por gabros, dioritas y monzodioritas-monzogabros (Figura 2), cuya mineralogía se puede resumir en  $Pl + Cpx + Bt \pm Opx \pm Ol$  (Diorita de Morrogacho);  $Pl + Hbl + Bt \pm Qz \pm ortoclasa \pm Cpx$  (Diorita del río San Juan);  $Pl + Cpx + Opx + Bt \pm ortoclasa \pm Qz$  (Monzodiorita de La Horqueta);  $Pl + Hbl + Bt + Qz (<3\%) \pm Opx \pm ortoclasa$  (Stock monzodiorítico de Cerro Plateado) y  $Pl + Cpx \pm ortoclasa \pm Hbl \pm Bt \pm Qz$  (plutones menores de la plancha 129); presentan como minerales accesorios magnetita, apatito, esfena y pueden o no tener circón. Estos cuerpos son intrusivos en las rocas sedimentarias del Complejo Cañasgordas y forman una aureola estrecha en las facies Albita – Epidota Cornubianita y Hornblenda Cornubianita.

**Plutones asociados al Arco de El Botón.** Zapata y Rodríguez (2012) definen el Arco de El Botón e incluyen tres cuerpos asociados directamente a los basaltos miocenos del Arco de El Botón: la Monzonita de Nudillales, la Monzodiorita de Carauta y la Cuarzodiorita de Pérdidas, sin que se descarten más cuerpos localizados en el límite entre el Complejo Cañasgordas y lo que aparece cartografiado en las planchas del Servicio Geológico como Complejo Santa Cecilia – La Equis. Estos tres intrusivos afloran entre las fallas Dabeiba- Pueblo Rico y la falla La Cerrazón – Murri, se localizan al oeste de los plutones que intruyen el Complejo Cañasgordas, aflorando entre el río Penderisco al sur y la vereda Nudillales al norte.

La Cuarzodiorita de Pérdidas (Buchely et al., 2009) es un stock cuarzodiorítico - monzodiorítico, constituido por rocas con textura hipidiomórfica inequigranular, conformadas por  $Qz + Pl + Hbl \pm ortoclasa \pm Bt \pm Cpx \pm Opx$ , como accesorios tiene magnetita, apatito, circón y esfena. El cuerpo intruye el Basalto de El Botón y forma una aureola delgada en facies Piroxeno Cornubianita a Albita Epidota Cornubianita.

La Monzodiorita de Carauta (Buchely et al., 2009); es un stock monzodiorítico con variaciones a monzonita y cuarzo monzodiorita (Figura 2), con textura hipidiomórfica granular, constituido por plagioclasa, ortoclasa, clinopiroxeno, hornblenda y biotita como minerales principales. Los minerales accesorios son esfena, apatito y opacos, principalmente magnetita y pirita; intruye el Basalto de El Botón y forma una aureola delgada en la facies Albita Epidota Cornubianita (Figura 3).

La Monzonita de Nudillales (Mejía & Salazar 1989, González y Londoño 1998, Rodríguez et al., 2010a) está constituida por rocas con textura inequigranular de composición monzonítica, con dioritas subordinadas (Figura 2), constituidas por ortoclasa (25% a 32%), plagioclasa de tipo andesina (35% a 42%), clinopiroxeno (hasta 22%), hornblenda y biotita (hasta un 23%), como accesorios se encuentra esfena, circón, apatito y magnetita, puede estar presente cuarzo (<4%).

**Plutones y cuerpos menores que intruyen el Complejo Santa Cecilia – La Equis y el Batolito de Mandé.** En este grupo se incluye un dique de andesita hornbléndica que intruye las rocas volcánicas de Complejo Santa Cecilia - La Equis fechado por el método Ar-Ar paso a paso (Buchely et al., 2009, Zapata y Rodríguez, 2012) y que difiere en composición de las rocas del Complejo Santa Cecilia - La Equis. Esta roca fue considerada por Rodríguez et al. (2010b), como de dique (muestra IGM-706781), constituida por fenocristales de hornblenda basáltica y clinopiroxeno dentro de una matriz con textura fluidal hialocristalina microlítica con microlitos de plagioclasa.

Dentro de los cuerpos del Mioceno que intruyen el Complejo Santa Cecilia – La Equis se incluye un stock gabroide que aflora en el lado occidental del Complejo Santa Cecilia - La Equis, en los nacimientos del río Guaguandó (Figura 1), el cual fue fechado por el método Ar-Ar, este cuerpo fue agrupado por Buchely et al. (2009), dentro de los “*Intrusivos Menores máficos y ultramáficos (K?Eiu)*”. Corresponde a un stock menor de 4 Km<sup>2</sup>, la edad indica que corresponde al evento Mioceno. De este cuerpo se tiene una sección delgada (IGM-706936) clasificada como gabronorita clinopiroxénica con textura hipidiomórfica granular, constituida por plagioclasa, ortopiroxeno, clinopiroxeno y hornblenda y como accesorios tiene biotita y magnetita. Este plutón forma aureola de contacto en las rocas volcánicas del Complejo Santa Cecilia – La Equis en la facies Piroxeno Cornubianita (Buchely et al., 2009).

La Tabla 1 resume las características de cada cuerpo de manera comparativa de tal manera que permite visualizar las características de los plutones asociados a cada bloque geológico que conforma el Segmento Norte de la Cordillera Occidental.

Al comparar la composición litológica y mineralógica de los cuerpos intrusivos en cada bloque geológico se concluye que los plutones tiene similitudes litológicas y mineralógicas, los cuerpos en su mayoría se localizan dentro de la serie gabro-monzodiorita-monzonita-sienita, menos frecuente tienen rocas de la serie cuarzodiorita, cuarzomonzodiorita y únicamente la Monzodiorita de Farallones presenta muestras clasificadas como tonalitas y granodioritas.

Al analizar la composición mineralógica de los plutones se encuentra que las facies básicas de estos cuerpos presentan biotita en cantidades que pueden llegar hasta el 17%, como es el caso de los gabros y piroxenitas de la Monzonita del Cerro Frontino. La presencia de biotita en las facies más básicas y primitivas son indicativas de magmas hidratados con contenidos altos de potasio, algunos cuerpos presentan olivino junto a orto y clino piroxeno. El clinopiroxeno está presente en la mayoría de las rocas que conforman estos cuerpos y por sus características ópticas se clasifica como augita-egirina. El cuarzo está ausente o su contenido porcentual es bajo (<5%).

Al comparar la composición de los cuerpos, se encontró que la Monzodiorita de Farallones presenta diferencias con los otros plutones, con una amplia gama de tipos litológicos y con diferencias marcadas en la mineralogía de las rocas félsicas con mayores contenidos de cuarzo y ausencia en casi todas las rocas de clinopiroxeno.

La Diorita de río San Juan se diferencia composicionalmente de los demás cuerpos, presenta plagioclasa y hornblenda como minerales principales con escaso clinopiroxeno. Los minerales accesorios más frecuentes son magnetita, apatito, esfena y circón, algunas rocas presentan ortopiroxeno y olivino.

**Tabla 1.** Características composicionales de los plutones que intruyen el Segmento Norte de la Cordillera Occidental de Colombia

NOMBRE DEL CUERPO	LITOLOGIA PREDOMINANTE	OTRAS LITOLOGIAS	MINERALES PRINCIPALES	ACCESORIOS	CONTACTO Y FACIES DE CONTACTO
<b>Plutones que intruyen el Complejo Cañasgordas</b>					
Monzodiorita de Farallones	Monzodiorita-cuarzo monzodiorita	gabronoritas - cuarzodioritas-tonalitas y granodioritas	Pl + Bt ± Fk ± Opx ± Cpx ± Ol ± Hbl - facies básicas ; Qz + Pl + Fk + Bt ± Hbl ± Cpx facies intermedias	Mt, Ap, Zr, Tnt	intrusivo, facies Hbl cornubianita en sedimentitas
Monzonita de Cerro Frontino	Gabro	piroxenitas hornbléndicas y biotíticas, clinopiroxenitas, dioritas piroxénicas y monzonitas	Pl + Cpx + Bt ± Hbl ± Fk	Mt, Ap, Zr Tnt, Qz, Ru	intrusivo, facies Px cornubianita en sedimentitas
Monzonita del Páramo de Frontino	Monzonita	dioritas piroxénicas, monzodioritas, sienitas, cuarzosienitas y cuarzo monzodioritas	Pl + Fk + Cpx + Bt ± Hbl ± Opx ± Qz	Mt, Ap, Zr Tnt, Qz, Ru, Opx	intrusivo, facies Px cornubianita en sedimentitas
Stock de Cerro Plateado	Monzodiorita		Pl + Hbl + Bt + Qz (<3%) ± Cpx ± Fk ± Opx	Mt, Ap	intrusivo, facies Hbl cornubianita en sedimentitas
Diorita del río San Juan	Diorita		Pl + Hbl + Bt ± Qz ± Fk ± Cpx	Mt, Ap, Zr, Tnt	intrusivo, facies Hbl cornubianita en sedimentitas
Monzodiorita de La Horqueta	Gabro- monzodiorita		Pl + Cpx + Opx + Bt ± Fk ± Qz	Mt, Ap, Zr, Tnt	Albita epidota cornubianita en sedimentitas
Diorita de Morrogacho	Gabro		Pl + Cpx + Bt ± Opx ± Ol	Mt, Ap, Zr, Tnt	Hbl cornubianita
plutones menores	Gabro, diorita, monzonita		Pl + Cpx ± Fk ± Hbl ± Bt ± Qz	Mt, Ap, Zr, Tnt	

NOMBRE DEL CUERPO	LITOLOGIA PREDOMINANTE	OTRAS LITOLOGIAS	MINERALES PRINCIPALES	ACCESORIOS	CONTACTO Y FACIES DE CONTACTO
<b>Plutones asociados al Arco de El Botón</b>					
Monzonita de Nudillales	Monzonita	Diorita	P + Fk + Bt ± Hbl ± Cpx ± Qz	Mt, Ap, Zr, Tnt	
Monzodiorita de Carauta	Monzodiorita-cuarzo monzodiorita	Cuarzo monzodiorita, sienita	Pl + Fk + Bt ± Cpx ± Qz	Mt, Ap, Hbl, Tnt	Albita -Ep cornubianita en vulcanitas
Cuarzodiorita del Valle de Pérdidas	Cuarzo diorita	Monzodiorita	Qz + Pl + Hbl ± Fk ± Bt ± Cpx ± Opx	Mt, Ap, Zr, Tnt	Piroxeno cornubianita en vulcanitas
<b>Plutones que intruyen el Complejo Santa Cecilia - la Equis – Batolito de Mandé (Arco de Chocó - Panamá)</b>					
Diques andesíticos	andesita hornbléndica		Hbl + Pl + Cpx + vidrio	Op	
Stock gabroico	gabro norita		Pl + Opx + Cpx + Hbl + Qz + Bi	Op	Piroxeno cornubianita en vulcanitas

Todos los cuerpos desarrollan aureolas de contacto a pesar del tamaño expuesto en superficie, algunos alcanzan la facies metamórfica de Piroxeno Cornubianita que implica temperaturas elevadas de intrusión.

### Geoquímica

El análisis geoquímico de los plutones se hizo sobre los cuerpos que intruyen los diferentes bloques. Los datos corresponden a información que se obtuvo en el desarrollo del Proyecto Cordillera Occidental del Servicio Geológico Colombiano.

Los resultados de litogeoquímica de los plutones corresponden a 37 muestras de roca analizadas en el laboratorio ActLabs de Canadá. Se grafica los resultados de Buchely et al. (2009) y Arboleda et al. (2009), analizadas en el laboratorio GMAS de Bogotá.

En la Tabla 2 se presentan los resultados de análisis para óxidos mayores de los diferentes plutones. Los contenidos de SiO<sub>2</sub> para algunas muestras de la Diorita de La Horqueta, la Diorita del Río San Juan y el Gabro de Cerro Frontino es menor al 45% wt, corresponden a rocas ultrabásicas y básicas. Al comparar los contenidos de álcalis (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O), la relación K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O, el TiO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en los plutones que intruyen al Complejo Cañasgordas, al Arco de El Botón y al Complejo Santa Cecilia – La Equis, se encuentra que cuerpos como la Diorita de La Horqueta, la Diorita de Morrogacho, la Monzonita de Cerro Frontino, la Monzonita del Páramo de Frontino, la Monzonita de Carauta y la Monzonita de Nudillales presentan un alto contenido de álcalis (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O > 5 wt%), altas razones K<sub>2</sub>O/ Na<sub>2</sub>O (> 0,6 a los 50% wt de SiO<sub>2</sub>, >1,0 a los 55% wt de SiO<sub>2</sub>), bajo TiO<sub>2</sub> (<1,3 % wt), alto pero variable Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (14-19 % wt), condiciones que determinan la serie shoshonítica. Cuerpos como la Diorita del río San Juan y los intrusivos máficos menores que se emplazan en el Complejo Santa Cecilia – La Equis presentan valores de Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O < 5 wt%, K<sub>2</sub>O/ Na<sub>2</sub>O < 1 afines a series calcoalcalinas. Plutones como la Monzodiorita de Farallones, la Cuarzodiorita del Valle de Pérdidas y la roca de dique que intruye al Complejo Santa Cecilia – La Equis tienen valores de Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O > 5 wt%, K<sub>2</sub>O/ Na<sub>2</sub>O < 1, siendo el contenido de de Na<sub>2</sub>O > K<sub>2</sub>O. Para la Monzodiorita de Farallones las rocas son de las series shoshoníticas y calcoalcalinas, con contenidos de SiO<sub>2</sub> entre 56% wt y 65% wt.

En el Diagrama TAS (Cox *et ál.*, 1979, Figura 3a), las rocas que conforman los plutones que intruyen el Complejo Cañasgordas se localizan en el campo de las rocas alcalinas y únicamente la Monzodiorita de Farallones presenta seis (6) muestras dentro de las rocas subalcalinas y tres (3) en el campo de las alcalinas. Las rocas de estos cuerpos se distribuyen dentro de los campos de los gabros, sienodioritas, sienitas y granitos alcalinos, mientras la Monzodiorita de Farallones presenta rocas subalcalinas en los campos de las dioritas, granodioritas y cuarzodioritas. Los Intrusivos menores máficos y la roca de dique que intruyen al Complejo Santa Cecilia – La Equis caen en el campo de las dioritas subalcalinas y de las dioritas alcalinas respectivamente. En la Figura 3b se grafican las rocas correspondientes a los plutones asociados al Arco Volcánico de El Botón, las muestras grafican en las series alcalinas dentro de los gabros, dioritas, sienodioritas y sienitas, siendo comparables en el comportamiento químico con los plutones que intruyen al

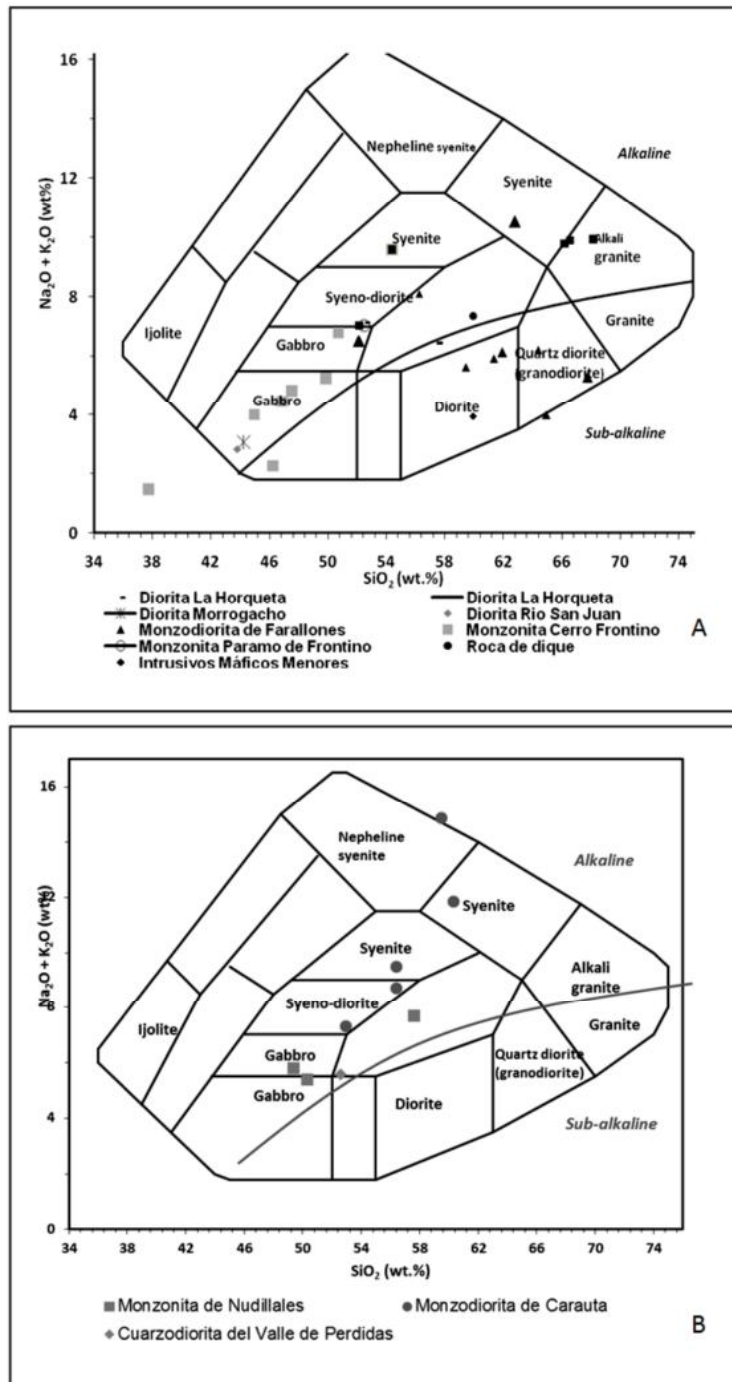


Complejo Cañasgordas y al dique que intruye el Complejo Santa Cecilia – La Equis.

**Tabla 2.** Composición de los óxidos mayores de cuerpos plutónicos del Segmento Norte de La Cordillera Occidental.

IGM	UNIDAD_LIT	Na <sub>2</sub> O K <sub>2</sub> O	+ K <sub>2</sub> O / NA <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (T)	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
<b>Plutones que intruyen el Complejo Cañasgordas</b>													
95555	Diorita La Horqueta	7,1	1,03	52,54	18,02	8,73	0,2	3,2	7,5	3,5	3,6	0,8	0,7
174110	Diorita La Horqueta	6,5	1,04	57,46	16,65	7,69	0,2	2,4	6,1	3,2	3,3	0,6	0,4
6951	Diorita Morrogacho	3,1	0,55	44,24	17,71	13,04	0,2	6,2	11,6	2,0	1,1	0,9	0,8
95533	Diorita Rio San Juan	2,8	0,28	43,80	18,78	12,41	0,2	5,5	11,8	2,2	0,6	0,8	0,5
706515	Monzodiorita de Farallones	5,9	0,70	61,36	16,84	6,47	0,2	1,8	5,9	3,5	2,4	0,5	0,3
706525	Monzodiorita de Farallones	4,0	0,47	64,95	16,19	6,15	0,1	1,8	4,6	2,7	1,3	0,5	0,2
706724	Monzodiorita de Farallones	6,1	0,92	61,94	16,56	5,73	0,2	1,7	5,4	3,2	3,0	0,5	0,3
706725	Monzodiorita de Farallones	5,6	0,86	59,44	17,66	6,47	0,2	1,9	4,9	3,0	2,6	0,5	0,3
706727	Monzodiorita de Farallones	6,2	0,75	64,39	16,19	4,82	0,1	1,4	4,8	3,6	2,7	0,4	0,2
706811	Monzodiorita de Farallones	8,1	1,32	56,25	18,00	7,95	0,1	2,3	6,0	3,5	4,6	0,7	0,4
706419	Monzonita Cerro Frontino	4,0	0,52	44,97	17,03	13,47	0,2	5,7	11,5	2,6	1,4	1,2	0,9
706421	Monzonita Cerro Frontino	4,5	0,80	46,85	16,21	12,54	0,2	6,1	11,7	2,5	2,0	1,1	0,8
706423	Monzonita Cerro Frontino	1,5	2,79	37,75	5,65	22,14	0,2	11,8	16,9	0,4	1,1	1,6	2,1
706428	Monzonita Cerro Frontino	6,8	1,37	50,71	16,36	10,52	0,2	4,2	9,1	2,9	3,9	0,9	0,8
706415	Monzonita Cerro Frontino	4,8	0,65	47,54	17,70	10,25	0,2	4,8	10,7	2,9	1,9	1,1	0,9
706464	Monzonita Cerro Frontino	2,3	0,59	46,25	12,53	10,71	0,2	7,0	17,6	1,4	0,8	0,6	1,0
95516	Monzonita Cerro Frontino	5,3	0,60	49,85	15,05	11,89	0,2	4,6	10,1	3,3	2,0	1,1	0,6
95696	Monzonita Cerro Frontino	9,6	1,37	54,40	18,90	6,92	0,1	2,2	5,4	4,0	5,6	0,7	0,5
706459	Monzonita Paramo de Frontino	9,9	1,59	66,57	16,00	3,77	0,1	0,6	2,2	3,8	6,1	0,2	0,1
706460	Monzonita Paramo de Frontino	9,8	1,66	66,17	16,10	4,06	0,1	0,7	2,4	3,7	6,1	0,2	0,2
706461	Monzonita Paramo de Frontino	7,0	1,33	52,15	19,55	7,90	0,2	2,7	7,9	3,0	4,0	0,7	0,6
706462	Monzonita Paramo de Frontino	9,9	1,63	68,15	15,97	3,37	0,1	0,6	2,2	3,8	6,2	0,2	0,1
706463	Monzonita Paramo de Frontino	7,0	1,32	52,49	19,61	7,72	0,2	2,7	7,7	3,0	4,0	0,7	0,6
<b>Plutones que intruyen el Complejo Santa Cecilia - La Equis</b>													
706781	Roca de dique	7,4	0,39	59,95	15,30	6,16	0,1	3,0	5,5	5,3	2,1	0,9	0,5
706936	Intrusivos Máficos Menores	3,9	0,43	64,38	16,15	5,70	0,1	1,7	4,8	2,8	1,2	0,5	0,1
<b>Plutones asociados al Arco de El Botón</b>													
706744	Monzodiorita de Carauta	9,5	1,00	56,4	18,8	5,91	0,25	1,71	5,58	4,76	4,75	0,5	0,44
706762	Monzodiorita de Carauta	8,7	1,44	52,3	16,5	7,77	0,18	3,91	7,01	3,57	5,15	0,67	0,87
706765	Monzodiorita de Carauta	11,9	1,26	60,3	19,6	3,01	0,11	0,61	2,46	5,25	6,6	0,23	0,16
706927	Cuarzodiorita del Valle de Pérdidas	5,6	0,37	52,6	19,2	8,43	0,15	3,29	8,53	4,07	1,49	0,55	0,35
700239	Monzonita de Nudillales	5,8	1,02	49,4	15,7	11,8	0,21	5,09	9,23	2,87	2,93	0,95	0,59
700240	Monzonita de Nudillales	7,7	1,13	57,6	17,8	6,98	0,15	2,74	5,76	3,61	4,07	0,54	0,36
700242	Monzonita de Nudillales	5,4	0,81	50,3	17,5	10,3	0,22	4,57	9,88	2,99	2,41	0,7	0,53

En el diagrama de Peccerillo & Taylor (1976) se grafican las muestras de los plutones miocenos que intruyen a los complejos Cañasgordas y Santa Cecilia – La Equis y los plutones asociados al Basalto de El Botón (Figura 4a y 4b); las rocas de la Monzodiorita de Farallones caen dentro de las series calcoalcalinas bajas y medias en K y tres muestras dentro de las series shoshoníticas, indicando que este plutón es compuesto y está conformado por rocas de las series shoshonítica y calcoalcalina.



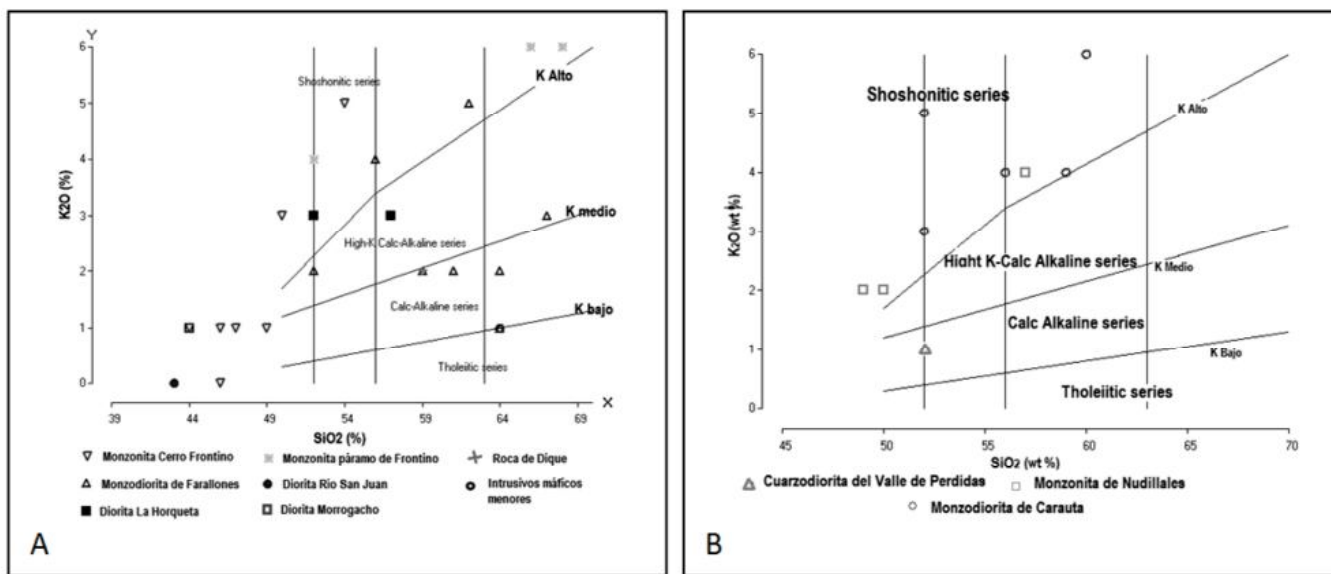
**Figura 3.** Diagrama TAS (Cox *et al.*, 1979) A). Plutones que intruyen los complejos Cañasgordas y Santa Cecilia – La Equis. B) Plutones asociados al Arco de El Botón.

La Monzonita del Páramo de Frontino es de composición alcalina intermedia y se acomoda en el campo de la serie shoshonítica con notorio incremento de  $\text{K}_2\text{O}$  hacia las facies ricas en  $\text{SiO}_2$  y la Monzonita de Cerro Frontino está constituida por rocas básicas y ultrabásicas que el diagrama no discrimina pero tienen contenido alto de  $\text{K}_2\text{O}$  y las facies ricas en  $\text{SiO}_2$  son de la serie shoshonítica. El segundo subgrupo son los cuerpos pequeños de composición básica como la Diorita del río San Juan que tiene bajos contenidos de  $\text{SiO}_2$  (43.8%wt) y con contenidos de  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  correspondientes a las series alcalinas, rocas de la Monzodiorita de La Horqueta y Diorita de Morrogacho caen en el

campo de las series shoshoníticas y calco alcalinas altas en K. En la Figura 4a se grafican las rocas de cuerpos que intruyen el Complejo Santa Cecilia – La Equis que corresponde a una muestra de dique y a una muestra de un cuerpo de gabro, ambas rocas caen en el campo de las series calco alcalinas medias en K.

Se comparan los plutones que se asocian directamente al Basalto de El Botón, que corresponden a la Monzonita de Carauta y la Monzonita de Nudillales de composición alcalina intermedia, intrusivos que están en el campo de la serie shoshonítica, con notorio incremento de  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$  hacia las facies ricas en  $\text{SiO}_2$ .

El magmatismo de afinidad shoshonítica está relacionado con el Basalto de El Botón (Zapata y Rodríguez, 2012) y con los plutones que intruyen al Complejo Cañasgordas, mientras los cuerpos pequeños que intruyen las vulcanitas de Santa Cecilia – La Equis son de la series calcoalcalinas, y corresponde probablemente al mismo episodio magmático.



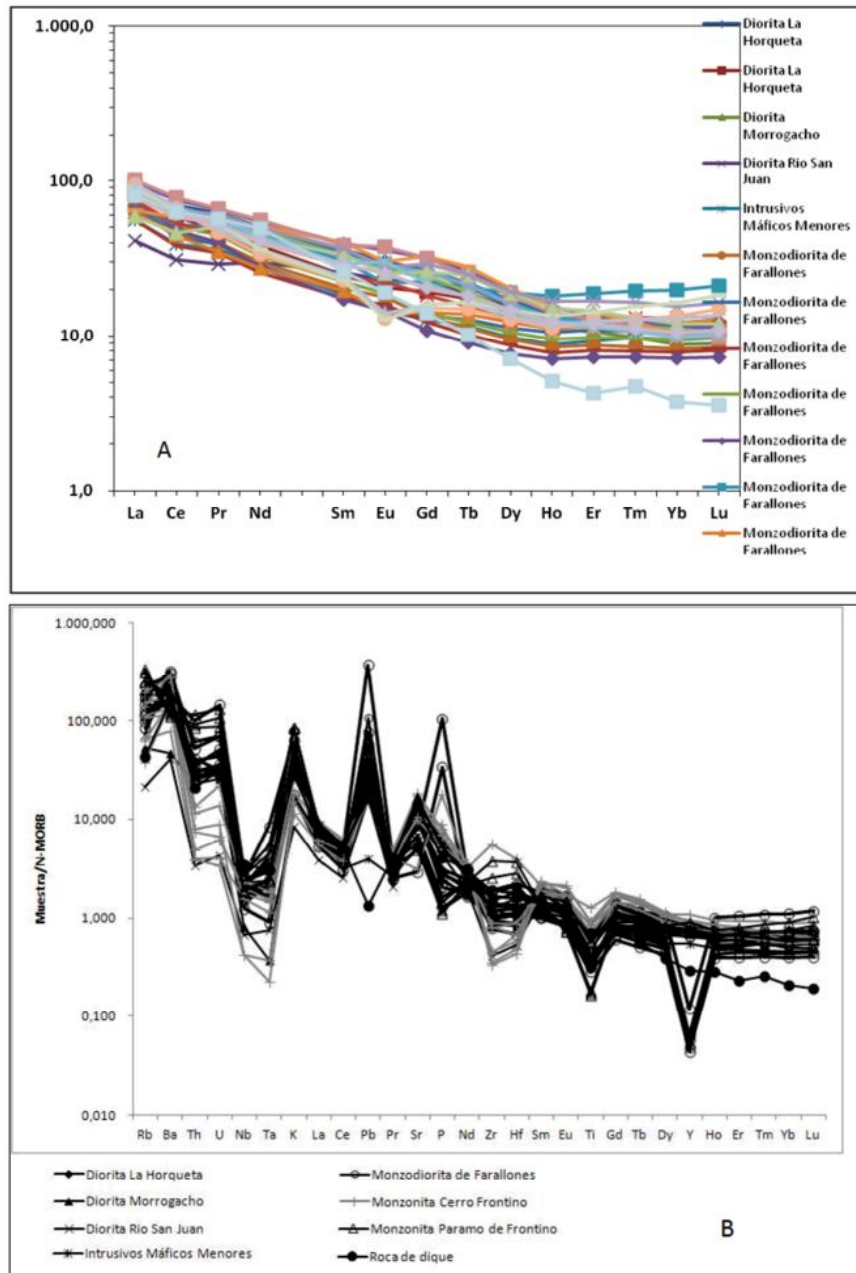
**Figura 4.** Diagrama  $\text{K}_2\text{O}$  Vs  $\text{SiO}_2$  (Peccerillo & Taylor, 1976) para plutones del Segmento Norte de la Cordillera Occidental. A). Plutones que intruyen los complejos Cañasgordas y Santa Cecilia – La Equis. B) Plutones asociados al Arco de El Botón.

**Elementos traza.** El diagrama multielemental de tierras raras normalizada a condrito (Nakamura, 1974) (Figura 5), muestra para los plutones que intruyen los tres bloques un empobrecimiento de las HREE con relación a las LREE y pendiente negativa con tendencia típica de arco con alto contenido de K; además, presenta un comportamiento similar para todos los cuerpos plutónicos a excepción de la muestra de andesita (IGM-706781 – roca de dique) que tiene un mayor empobrecimiento de los HREE. Los plutones están empobrecidos en HREE con relación a los LREE; los HREE tienen patrón ligeramente plano, algunas muestras de la Monzodiorita de Farallones presentan pendiente ligeramente positiva.

Las altas razones Cs/Th (0,2-1,5) Ba/Nb (86 a 979) Sr/Hf (66 a 1828); sugieren la participación de un componente de subducción en las génesis magmática. Esto se ve apoyado por los valores de La/Yb (5,9 a 14,8) y Sm/Yb (1,5 a 3,5) que a su vez representan los valores de LREE /HREE. La roca de dique (IGM-706781) presenta razones más altas de La/Yb, Ce/Yb y Sm/Yb que los demás cuerpos.

En la Figura 5 se muestra el diagrama multielemental normalizado con relación al NMORB (Sun & McDonough, 1989), presenta anomalía negativa de Nb-Ta-Ti una signatura geoquímica típica de magmas originados en ambientes tectónicos relacionados a subducción (Wilson, 1989) y una característica asociada a rocas de arco volcánico (Best, 2003).

El diagrama muestra una fuerte anomalía negativa de Y de algunas muestras de la Monzodiorita de Farallones, unidad que se aparta del comportamiento de los otros plutones que no tienen anomalía negativa de Y. Los elementos más móviles (LILE) tienen un patrón más disperso que los inmóviles (HFSE) que muestran una tendencia relativamente plana y cercana a 1,0 pero menor que los MORB, con un enriquecimiento de los LILE con picos en Cs, K, Pb.

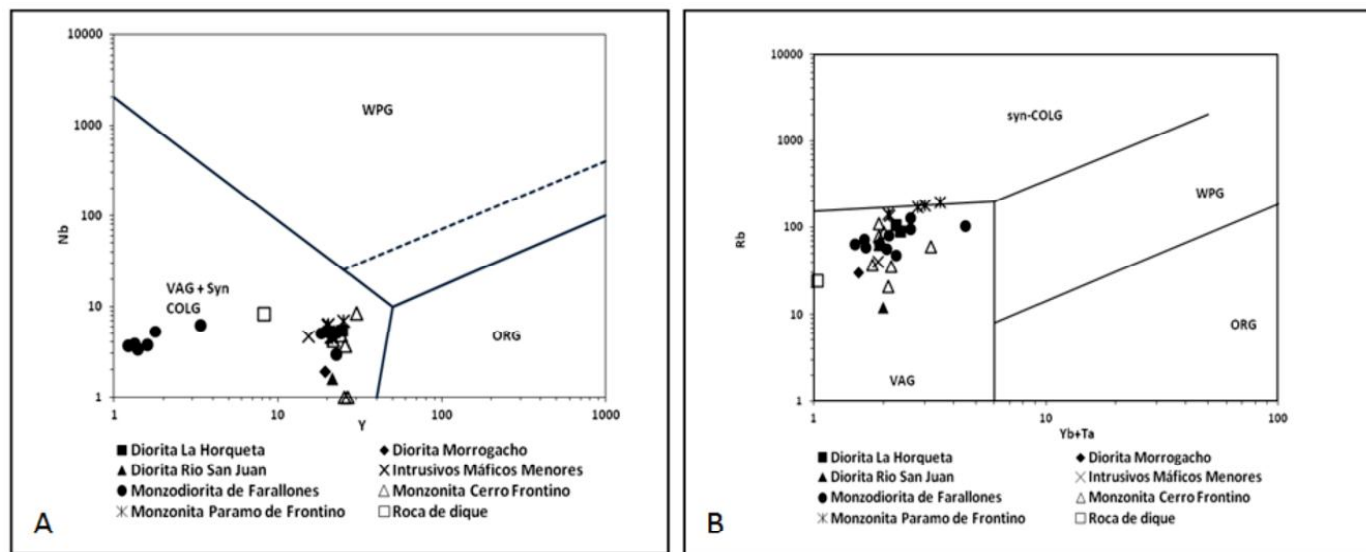


**Figura 5.** Diagramas multielemental de elementos traza y tierras raras para los plutones miocenos del Segmento Norte de la Cordillera Occidental. A) Diagrama de REE normalizado respecto al condrito (Nakamura 1974). B) Diagrama de elementos traza normalizado respecto a N- MORB (Sun & McDonough (1989).

En general hay un empobrecimiento de los elementos inmóviles y una pendiente negativa. La alta relación entre HFSE/LILE de estos plutones sugiere que el magma se generó en una zona de subducción con incorporación de fluidos hidratados y altos contenidos de LILE derivados de la placa subducida e introducidos dentro del magma fuente (Winter, 2001).

Al analizar el comportamiento de los diferentes plutones en el diagrama multielemental (Figura 5), se encuentra que un grupo de muestras de la Monzodiorita de Farallones presenta una fuerte anomalía negativa de Y, un pico positivo de P y picos más elevados en Pb, muestras que se diferencian del comportamiento de otras rocas de este plutón y del resto de plutones que no muestran pico de P, empobrecimiento en Y, además valores menores en Pb. El comportamiento de la roca de dique se aparta parcialmente de la tendencia general de los plutones con un pico negativo de Pb y valores menores de los elementos traza menos móviles como Ti, Y, Er, Yb. La tendencia de los elementos de las tierras raras y los elementos traza muestra similitud geoquímica con algunas anomalías en la Monzodiorita de Farallones y la roca del dique que intruye el Complejo Santa Cecilia – La Equis, el patrón de comportamiento de las REE y los elementos traza sugieren que las rocas son generadas en un arco volcánico, formado por subducción con incorporación de fluidos hidratados y elementos traza móviles aportados por la losa subducida a la fuente de magma del manto.

Al graficar los plutones en los diagramas de discriminación de ambiente tectónico propuestos por Pearce et al. (1984), estos se localizan dentro del campo de los granitos de arco volcánico y en el diagrama Y-Nb (Pearce et al., 1984) las rocas de la Monzodiorita de Farallones se separan en dos poblaciones con una marcada diferencia en el contenido de Y (Figura 6), indicando que probablemente este cuerpo es un plutón compuesto.



**Figura 6.** Diagramas de discriminación tectónica para los plutones miocenos del Segmento Norte de la Cordillera Occidental. A) Diagrama de Y- Nb (Pearce et al., 1984). B) Diagrama Rb- (Yb + Nb) (Pearce et al., 1984). WPG: granitos intra placa, ORG: granitos de rift oceánico, VAG: granitos de arco volcánico y Syn-COLG: granitos sin colisionales.

### Edad y posición tectónica de los bloques.

En el marco del Proyecto Cordillera Occidental (INGEOMINAS), se realizaron análisis radiométricos para determinar la edad de algunos cuerpos plutónicos que intruyen el Segmento Norte de la Cordillera Occidental. En la Tabla 3 se resumen las edades nuevas y las edades reportadas en trabajos anteriores, además, se incluyen las edades de rocas basálticas pertenecientes al Arco de El Botón (Zapata y Rodríguez, 2012).

IGM	X	Y	METODO	ROCA	WMPA (Ma)±1s	TFA(Ma)±1s	UNIDAD LITOLÓGICA	REFERENCIA
DATACIONES PROYECTO CORDILLERA OCCIDENTAL								
706421	1101201	1233067	Ar-Ar, Bt	Diorita piroxénica	10.17±0.41	11.44±0.36	Monzonita de Cerro Frontino	este trabajo
706463	1104374	1200239	Ar-Ar, Bt	Monzodiorita	10.44±0.23	10.60±0.38	Monzonita del Páramo de Frontino	este trabajo
706406	1085888	1267521	Ar-Ar, RT	Basalto	10.55±0.28	10.05±0.23	Basalto de El Botón	Zapata y Rodríguez, 2012
706402	1091777	1256667	Ar-Ar, RT	Basalto	11.0±0.3	11.0±0.2	Basaltos de El Botón	Zapata y Rodríguez, 2012
706762	1080331	1237031	Ar-Ar, Bt	Monzodiorita	11.9±0.5	12.1±0.5	Monzodiorita de Carauta	Buchely et al., 2009



IGM	X	Y	METODO	ROCA	WMPA (Ma) $\pm$ 1s	TFA(Ma) $\pm$ 1s	UNIDAD LITOLÓGICA	REFERENCIA
706781	1073398	1241262	Ar-Ar, Pl-Cpx	Andesita	9.0 $\pm$ 1.7	13.5 $\pm$ 2.3	Roca de Dique	Buchely et al., 2009
706724	1115835	1117336	Ar-Ar, Bt-Hbl	Monzodiorita	11.9 $\pm$ 0.6	13.9 $\pm$ 0.9	Cuarzomonzonita de Farallones	Arboleda et al., 2009
706727	1115262	1120120	Ar-Ar, Bt-Hbl	Monzodiorita	9.8 $\pm$ 0.2	9.9 $\pm$ 0.3	Cuarzomonzonita de Farallones	Arboleda et al., 2009
706936	1057698	1193287	Ar-Ar, Hbl	Gabro	12.3 $\pm$ 0.4	12.0 $\pm$ 0.5	Intrusivos máficos menores	Buchely et al., 2009
DATACIONES HISTÓRICAS								
UNM-3059	1093669	1260990	K-AR, RT	Latibasalto	9,3 $\pm$ 0,8		Basalto de El Botón	Restrepo et al., 1979
I G M - 119167	1115143	1115522	K-AR, Hbl	Tonalita	11 $\pm$ 2		Cuarzomonzonita de Farallones	Calle et al., 1980
A-2527	1101846	1201501	K-AR	Monzonita	10,9 $\pm$ 3,3		Monzonita del Páramo de Frontino	Botero, 1975
	1115133	1115530	K-Ar, HO		11 $\pm$ 2		Cuarzomonzonita de Farallones	Calle, et al., 1980

**Tabla 3.** Edades de plutones que intruyen el Segmento Norte de La Cordillera Occidental.  
TFA- Edad de fusión total- WMPA- Edad Plateau promedia.

Los diferentes cuerpos plutónicos que intruyen los tres bloques tienen edades comparables, es decir, plutones como la Monzonita de Cerro Frontino, la Monzonita del Páramo de Frontino y la Cuarzomonzonita de Farallones, que están emplazados en el Complejo Cañasgordas arrojaron edades entre 10 y 12 Ma, Tortoniano- Serravalliano (Mioceno medio-tardío). La Monzodiorita de Carauta que intruye los Basaltos de El Botón arrojó una edad de  $11,9 \pm 0,5$  Ma y cuerpos de gabros y diques andesíticos que intruyen el Complejo Santa Cecilia – La Equis a ambos lados del Batolito de Mandé arrojaron edades entre 8 y 13 Ma (Tabla 3). Teniendo en cuenta los resultados de Zapata y Rodríguez (2012) sobre las características químicas y edades del Arco Volcánico de El Botón, además de otras edades en basaltos reportadas por Restrepo et al. (1979) y la afinidad química de los basaltos e intrusivos, se puede concluir que el magmatismo Mioceno medio-tardío está representado por un arco volcánico plutónico de afinidad shoshonítica, representado por el Basalto de El Botón y por una serie de plutones que intruyeron los tres bloques que conforman el Segmento Norte de la Cordillera Occidental de Colombia, segmento que está constituido de este a oeste por: El Complejo Cañasgordas, Los Basaltos de El Botón y el Complejo Santa Cecilia – La Equis – Batolito de Mandé.

En la Figura 1 se muestra la localización de las edades obtenidas en este trabajo y las edades publicadas en otras investigaciones. El magmatismo y plutonismo Mioceno medio-tardío se dio en el Complejo Cañasgordas, y en el Complejo Santa Cecilia – La Equis – Batolito de Mandé, lo que indica que ambos bloques se encontraban muy cercanos y entre ellos se formó el Arco volcánico – plutónico de El Botón, al norte a la altura del Municipio de Dabeiba.

En la Figura 7 se plantea el esquema evolutivo del segmento Norte de la Cordillera Occidental en el Eoceno inferior y en el Mioceno (8 a 13 Ma). En este esquema se muestra la extensión y desarrollo de los arcos de Santa Cecilia – La Equis – Batolito de Mandé y el Arco volcánico plutónico de El Botón con los intrusivos asociados. La Figura 7A muestra el modelo durante la generación del arco representado por el complejo Santa Cecilia – La Equis – Batolito de Mandé, como un arco volcánico plutónico formado por la subducción al occidente de la placa Farallones entre los 40 y 50 Ma, arco calcoalcalino bajo a medio en K, con una impronta débil inicial toleítica. El modelo y los datos expuestos muestran que el bloque Chocó-Panamá y el Bloque Cañas Gordas se encontraban juntos al momento de generación del arco de El Botón durante Mioceno medio – superior.

Las figuras 7B y 7C muestran el modelo evolutivo del plutonismo Mioceno entre 9 y 12 Ma y la posición de los cuerpos plutónicos intruyendo las unidades que conforman el Segmento Norte de la Cordillera Occidental (Complejo Santa Cecilia – La Equis-Batolito de Mandé), la generación del Arco de El Botón y la intrusión de plutones miocenos de afinidad shoshonítica en el Complejo Cañasgordas, así como el desarrollo del Arco volcánico de El Botón entre los bloques Choco-Panamá y El Complejo Cañasgordas a la altura del Municipio de Dabeiba. Al sur, a la altura del Municipio de Andes (Figura 7C), se esboza la intrusión de la Cuarzomonzonita de Farallones y la formación del arco volcánico que está representado por la Formación Combia, localizado en el límite entre el Complejo Cañasgordas al oeste y rocas del Bloque Arquía al este, vulcanismo que también es de afinidad shoshonítica (Geoestudios – Ingeominas, 2006) correlacionable en edad y composición con el Basalto de El Botón, pero con localización espacial diferente.

El origen de este plutonismo y vulcanismo de afinidad shoshonítica a calcoalcalina probablemente está relacionado a la subducción al occidente de la placa de Nazca, corresponde a rocas contaminadas altas en K, algunas ultrabásicas, y en general pobres en

cuarzo. Es un magmatismo de tipo shoshonítico que representa los últimos eventos magmáticos de la zona de subducción y que se desarrolla en las partes profundas del plano de Benioff (Pe-Piper et al., 2009) y alejadas de la cuenca de subducción.

La Formación del Arco Volcánico de El Botón junto con todos los plutones asociados se dio en la margen de los bloques conformados por el Complejo Santa Cecilia – La Equis – Batolito de Mandé (Arco de Chocó - Panamá) y el Complejo Cañasgordas, mientras en la parte sur del Bloque Norte de la Cordillera Occidental se desarrolló un segundo arco volcánico representado por las vulcanitas de la Formación Combia en la margen del bloque Complejo Cañasgordas – bloque Arquía dentro de una cuenca de Pull apart, como fue interpretada por López et al. (2006).

### 5. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

El Segmento Norte de la Cordillera Occidental está conformado de Este a Oeste por un cinturón de rocas oceánicas cretácicas de naturaleza basáltica toleítica (Formación Barroso y Diabasas de San José de Urama) asociadas a bloques tectónicos de sedimentitas turbidíticas (Formación Penderisco), seguido hacia el occidente por el arco volcánico plutónico de El Botón (Zapata y Rodríguez, 2012) de afinidad shoshonítica y edad Mioceno medio-tardío (Tortoniano-Serravaliano), limitado al este por la Falla Dabeiba – Pueblo Rico y separado del Complejo Santa Cecilia – La Equis - Batolito de Mandé en el borde oeste de la Cordillera Occidental.

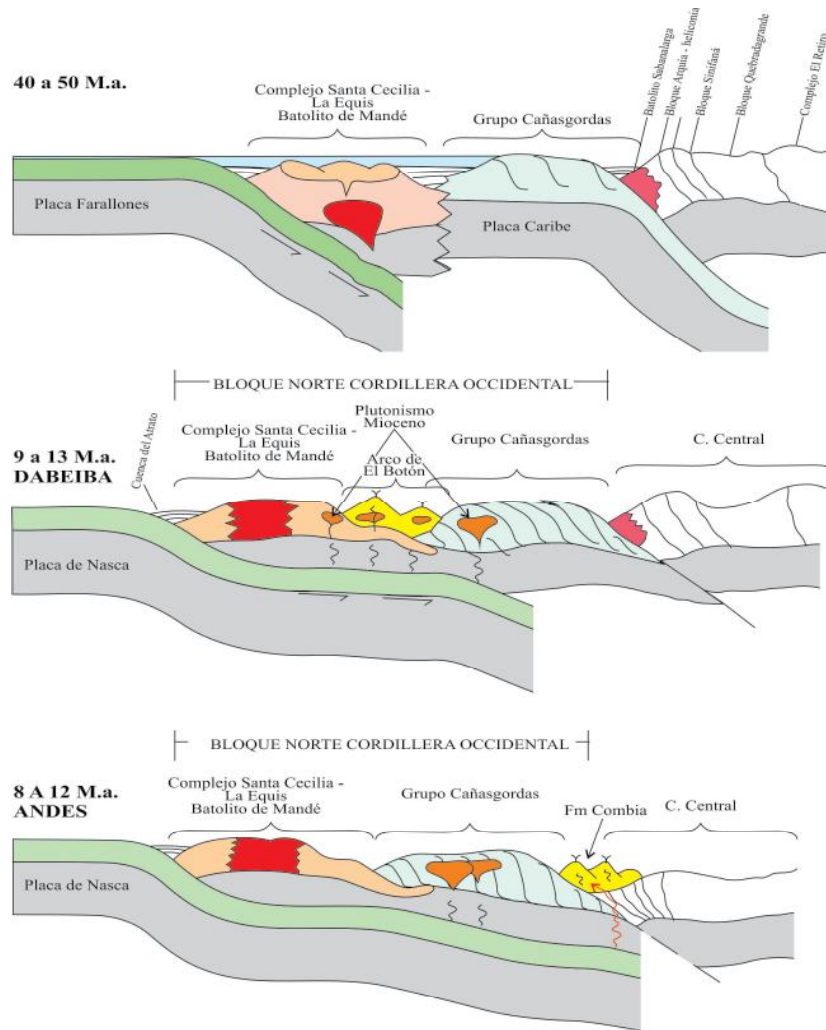


Figura 7. Modelo evolutivo del Segmento Norte de la Cordillera Occidental en el Eoceno y en el Mioceno tardío. Interpretación a la altura del Municipio de Dabeiba (7B) y del Municipio de Andes (7C).

La composición petrográfica de los plutones que intruyen el Complejo Cañasgordas, al Basalto de El Botón e intruyen el Complejo Santa Cecilia – La Equis, en su mayoría se localizan dentro de la serie gabro-monzodiorita-monzonita-sienita, menos frecuente tienen rocas de la serie cuarzodiorita, cuarzomonzodiorita y únicamente la Monzodiorita de Farallones presenta muestras clasificadas como tonalitas y granodioritas.

Las facies efusivas de magmatismo están representadas por el Basalto de El Botón y probablemente por la Formación Combia. Los plutones que hacen parte del evento magmático son: la Monzodiorita de Farallones, la Cuarzodiorita de Cerro Plateado, la Monzonita del Páramo de Frontino, la Diorita de San Juan, la Monzodiorita de La Horqueta, la Diorita de Morrogacho, la Monzonita de Cerro Frontino, la Monzonita de Nudillales, la Monzodiorita de Carauta, la Cuarzodiorita del Valle de Pérdidas y cuerpos menores de gabro.

Los plutones descritos presentan un alto contenido de álcalis ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > 5 \text{ wt}\%$ ), altas razones  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  ( $> 0,6$  a los 50% wt de  $\text{SiO}_2$ ,  $>1,0$  a los 55% wt de  $\text{SiO}_2$ ), bajo  $\text{TiO}_2$  ( $<1,3 \text{ wt}\%$ ), alto pero variable  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (14-19 % wt), condiciones que determinan la serie shoshonítica. Cuerpos como la Diorita del río San Juan y un cuerpo de gabro emplazado en el Complejo Santa Cecilia – La Equis presentan valores de  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} < 5 \text{ wt}\%$ ,  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} < 1$  afines a series calcoalcalinas.

El comportamiento de los elementos de las tierras raras y los elementos traza de estos plutones muestra similitud geoquímica con algunas anomalías en la Monzodiorita de Farallones y la roca de dique que intruye el Complejo Santa Cecilia – La Equis, el patrón de comportamiento de las REE y los elementos traza obedece a rocas generadas en un arco, formado por subducción con incorporación de fluidos hidratados y elementos traza móviles aportados por la losa subducida a la fuente de magma del manto.

El Segmento Norte de la Cordillera Occidental corresponde al segmento limitado al oriente por la Falla Cauca – Almaguer (Maya y González, 1995), al occidente por la Cuenca del río Atrato, al sur por la falla Guasal – Amurrapá ó Falla del río San Juan y al norte está cubierto por los sedimentos terciarios del Cinturón Sinú – San Jacinto y el Grupo Sincelejo. Al sur de Tatamá y del Cinturón plegado de Itsmina, los arcos volcánico – plutónicos del Complejo Santa Cecilia – La Equis - Batolito de Mandé, el arco volcánico – plutónico de El Botón, los plutones de 9 a 12 Ma y la Formación Combia se truncan y no afloran más en los departamentos del Valle del Cauca, Cauca y Nariño; lo que sugiere que la Falla Guasal - Amurrapá (Falla río San Juan) corresponde al límite del Bloque Chocó-Panamá y al límite del Arco de El Botón y de la subducción que generó este último arco.

Las edades de los cuerpos plutónicos fechados hasta el momento, permiten concluir que el plutonismo se dio entre 9 y 12 Ma que corresponde al Tortoniano – Serravalliano, límite entre el Mioceno medio y Mioceno tardío

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Instituto Colombiano de Geología y Minería, INGEOMINAS, entidad que suministró parcialmente los datos de los análisis de petrografía, geoquímica y dataciones, obtenidos en el proyecto Cordillera Occidental.

## BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ, E. & GONZALEZ, H., 1978. Geología y geoquímica del Cuadrángulo I-7 (Urrao). Ingeominas. Informe 1761. Medellín. 347p.
- ARBOLEDA, G., CELADA, C., FORERO, S., MONTEALEGRE, V., PADILLA, J.C., CARMONA, J. Y MEDINA, E. (UTAGS-GE), 2009. Cartografía Geológica y muestreo geoquímico en la parte norte de la Cordillera Occidental, planchas 165 y 185 (396 kilómetros cuadrados) Contrato No. 392 de 2007 INGEOMINAS- UTAGS-GE. Bogotá. 172p. Bogotá. 178 p.

- BEST, M:G., 2003. *Igneous and metamorphic petrology: Second edition.* Oxford Blackwell Science. 729p.
- BOTERO, G., 1975. Edades radiométricas de algunos plutones colombianos. *Revista Minería.* Volumen XXVII Nro. 169 – 179: 8336 – 8642 p. Medellín.
- BUCHELY, F., PARRA, E., CASTILLO, H., GONZÁLEZ, F., DÁVILA, C., & ROMERO, O., 2009. Realización de la cartografía geológica y muestreo geoquímico en las planchas 144, 145, 128, 129, 113 y 114 (1580 km). Contrato No. 390 de 2007 INGEOMINAS-GRP Ltda. Bogotá. 172p.
- CALLE, B., TOUSSAINT, J., RESTREPO, J. & LINARES, E., 1980. Edades K/Ar de dos plutones de la parte septentrional de la Cordillera Occidental, Colombia. *Geología Norandina*, 2:17-20. p. Bogotá.
- CALLE, B. Y SALINAS, R., 1984. Mapa geológico de la plancha 165 Carmen de Atrato Escala 1:100.000. Carmen de Atrato. INGEOMINAS, Informe 1967, 140 p., Bogotá.
- CALLE, B. Y SALINAS, R., 1986. Geología y Geoquímica de la Plancha 165 Carmen de Atrato. INGEOMINAS, Informe 1967, 140 p., Bogotá.
- COSSIO, U., 1994. Mapa Geológico y de Ocurrencias Minerales del Departamento del Chocó, Escala 1:400.000. Ingeominas. Bogotá.
- COX, K.G., BELL, J.D., PANKHURST, R.J., 1979. *The interpretation of igneous rocks.* Georger Allen and Unwin, London.
- GEOESTUDIOS-INGEOMINAS. 2005. Complementación geológica, geoquímica y geofísica de la parte occidental de las planchas 130 Santa Fé de Antioquia y 146 Medellín Occidental.
- GONZÁLEZ, H.; LONDOÑO, A. 1998. Edades K/Ar en algunos plutones del Graben del Cauca y norte de la Cordillera Occidental. *U. Nal., Rev. Geol. Col.*, 23: 117-131. Santa Fe de Bogotá.
- GONZÁLEZ, H. 2001. Mapa Geológico del Departamento de Antioquia, Escala 1:400.000, Memoria explicativa. INGEOMINAS, Bogotá. 240 p.
- GONZÁLEZ, H. , con colaboración de Cossio, U., Maya, M. y Vásquez, E., 2001. Mapa Geológico del Departamento de Antioquia, escala 1: 400.000. INGEOMINAS, Bogotá.
- GONZÁLEZ, H. y LONDOÑO, A., 2002. Catálogo de las unidades litoestratigráficas de Colombia, Granodiorita de Nudillales, Cordillera Occidental, Departamento de Antioquia. INGEOMINAS. 12 p. Bogotá.
- GONZÁLEZ, H y LONDOÑO, A., 2002a. Catálogo de unidades litoestratigráficas de Colombia. Mioceno. Monzodiorita de Farallones (Nmfd), departamentos de Antioquia, Chocó y Risaralda, Cordillera Occidental. INGEOMINAS. 17 p.
- GONZÁLEZ, H. Y LONDOÑO, A., 2002b. Catálogo de las Unidades Litoestratigráficas de Colombia, Monzonita del Páramo de Frontino, Cordillera Occidental, Departamento de Antioquia. INGEOMINAS 15p, Bogotá.
- GONZÁLEZ, H y LONDOÑO. A., 2002c. Catálogo de unidades litoestratigráficas de Colombia. Mioceno. Monzodiorita de de La Horqueta (Nmhd), Departamento de Antioquia, Cordillera Occidental. INGEOMINAS. 8 p.
- GONZÁLEZ, H y LONDOÑO. A., 2002d. Catálogo de unidades litoestratigráficas de Colombia. Mioceno. Diorita de Morrogacho (Ngdmg), Departamento de Antioquia, Cordillera Occidental. INGEOMINAS. 9 p.
- GONZÁLEZ, H y LONDOÑO. A., 2002e. Catálogo de unidades litoestratigráficas de Colombia. Mioceno. Monzogranito del Cerro Frontino (Ngmcf), Departamento de Antioquia, Cordillera Occidental. INGEOMINAS. 11 p.
- GONZÁLEZ, H y LONDOÑO. A., 2002f. Catálogo de unidades litoestratigráficas de Colombia. Mioceno. Diorita de San Juan (Ngdsj)), Departamento de Antioquia, Cordillera Occidental. INGEOMINAS. 8 p.
- LE MAITRE, R. W. (ed.) 2002. *Igneous Rocks. A Classification and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks*, 2nd ed. xvi + 236 p. Cambridge, New York, Melbourne: Cambridge University Press.

- LÓPEZ, A., SIERRA, G. Y RAMIREZ, D., 2006. Vulcanismo Neógeno en el suroccidente antioqueño y sus implicaciones tectónicas. Bol. Ciencias de La Tierra, No. 19 p. 26-41. Medellín.
- MAYA, M., GONZÁLEZ, H., 1995. Unidades litodémicas en la Cordillera Central de Colombia, Bol. Geol. INGEOMINAS, vol. 35, N°2,3, p.43-57.
- MEJIA, M.; SALAZAR, G. 1989 (publicado 2007). Memoria explicativa de la Geología de la Plancha 114 (Dabeiba) y parte W de la 115 (Toledo). Escala 1:100.000. INGEOMINAS. 111 p. Medellín.
- NAKAMURA, N. 1974., Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, vol. 38, p. 757-775.
- PEARCE, J.A., HARRIS, N.B.W. & TINDLE, A.G., 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Jour. Petrology*, 25: 956-983.
- PECERILLO, A. & TAYLOR, S.R., 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from Kastamonir area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, vol. 58, p 63-81.
- PE-PIPER, G., PIPER, D., KOUKOUVELAS, I., et al. (2009) Postorogenic shoshonitic rocks and their origin by melting underplated basalts: The Miocene of Limnos, Greece. *GSA Bulletin*; v. 2009 Geological Society of America Georgia.
- RESTREPO, J. J.; TOUSSAINT, J. F.; ZULUAGA, J.; HOYOS, P. 1979. Algunas consideraciones sobre la geología de la parte septentrional de la Cordillera Occidental. *U.Nal., Publ. Esp. Geol.*, 20:1-26. Medellín.
- RODRÍGUEZ, G., ZAPATA, G. y GÓMEZ, J.F., 2010a. Geología de la parte oriental de la Plancha 114 Dabeiba. INGEOMINAS. Medellín. 172 p.
- RODRÍGUEZ, G., SIERRA, M.I., ZAPATA, G., 2010b. Geología de las planchas 58 Capurganá, 68 Acandí y 79 bis Cerro Tagarí. INGEOMINAS. Medellín. 245 p.
- WILSON, M. 1989. *Igneous petrogenesis*. Unwin Hyman, London.
- WINTER, J.D. 2001. *An introduction to igneous and metamorphic petrology*. 647p. Prentice Hall, New Jersey.
- ZAPATA, G. y RODRÍGUEZ G., 2012 (en prensa). Basalto de El Botón, volcanismo mioceno de afinidad shoshonítica en el noreste de la Cordillera Occidental de Colombia.