

# Geoquímica y geocronología U-Pb de la cuarzodiorita de Sabanalarga y el gabro de Santa Fe, Colombia

*Geochemistry and U-Pb geochronology of the Sabanalarga quartz-diorite and Santa Fe gabbro, Colombia*

Juan Pablo Zapata-Villada<sup>1,\*</sup>, Wilmer Giraldo<sup>2</sup>, Gabriel Rodríguez<sup>1</sup>, Mauro Cesar Geraldès<sup>2</sup>, Milton Obando<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Servicio Geológico Colombiano, Calle 75, N° 79A-51, 50034, MDE, Antioquia, Colombia.

<sup>2</sup> Faculdade de Geologia ,Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rua São Francisco Xavier, 524 – 4º e 2º andar/Bloco A Maracanã, 20.550-900, Rio de Janeiro, Brasil.

\* Autor para correspondencia: (J. P. Zapata - Villada) juanp.zapatav@gmail.com

## RESUMEN

Durante el Cretáceo Superior, el margen noroccidental de Suramérica se caracterizó por presentar un ambiente tectónico complejo, representado por la acreción de múltiples terrenos y la generación de varios eventos magmáticos. La cuarzodiorita de Sabanalarga y el Gabro de Santa Fe, anteriormente descritos como una única unidad denominada “Batolito de Sabanalarga”, presentaban múltiples diferencias entre sí y hoy son considerados dos plutones independientes, exponiendo dos de los eventos magmáticos del cretáceo superior. Ambos plutones emplazados en cortezas de diferente afinidad; el Gabro de Santa Fe emplazado en corteza tipo Plateau y arco de islas, mientras que la cuarzodiorita de Sabanalarga es emplazada en corteza continental del Complejo Cajamarca. Los análisis químicos de roca total realizados, presentaron anomalías de Nb-Ti, patrones de HFSE y REE en los diagramas multielementales característicos de rocas generadas en ambientes de subducción. El gabro de Santa Fe presenta características adakíticas no presentes en la cuarzodiorita de Sabanalarga. El bajo contenido Zr y relaciones (La/Yb)n vs Sr/Y < 10 sugieren que el magma del Gabro de Santa Fe fue formado en ambiente oceánico, contrario a la cuarzodiorita de Sabanalarga con alto Zr y relaciones (La/Yb)n vs Sr/Y > 10 que sugieren para este magma un origen en un ambiente continental. Se realizaron análisis U-Pb LA-ICP-MS para ambos intrusivos: el Gabro de Santa Fe presentó edades entre 78.4 y 81.8 Ma y la cuarzodiorita de Sabanalarga edades entre 71.5 y 76.7 Ma. A la luz de los nuevos datos geoquímicos y geocronológicos se sugiere en este trabajo que el Gabro de Santa Fe y la cuarzodiorita de Sabanalarga son dos cuerpos diferentes sin relación temporal y cuya relación espacial es todavía debatible. Para el ambiente de formación de estos plutones se sugiere un modelo de doble subducción tipo Molucca.

## ABSTRACT

During the Upper Cretaceous the northwestern margin of South America was characterized by a complex tectonic environment represented by the accretion of multiple terranes and the generation of varied magmatic events. The Sabanalarga quartz-diorite and the Santa Fe Gabbro previously described as a single body called Sabanalarga Batholith, present multiple differences among themselves and today are considered two independent plutons, representing two of the upper Cretaceous magmatic events. Both plutons intrude crusts of different affinity; The Santa Fe Gabbro intrudes a Plateau-type and island arc crust while the Sabanalarga quartz-diorite intrude into continental crust. The carried total rock chemical analysis showed anomalies of Nb-Ti, patterns of HFSE and REE in the multielemental diagrams indicative of rocks generated in subduction environments. The Santa Fe Gabbro presents adakitic characteristics that are not present in the Sabanalarga quartz-diorite. The low Zr content and relations (La / Yb) n vs Sr / Y < 10 suggest that the Santa Fe Gabbro magma was formed in an oceanic environment, contrary to the Sabanalarga quartz-diorite with high Zr and relationships (La / Yb) n vs Sr / Y > 10 who suggest an origin in a continental environment for this magma. U-Pb LA ICPMs were analyzed for both intrusives: Santa Fe Gabbro showed ages between 78.4 and 81.8 Ma and Sabanalarga quartz-diorite ages between 71.5 and 76.7 Ma. Due to the new geochemical and geochronological data, it is suggested that Santa Fe Gabbro and Sabanalarga quartz-diorite are two different bodies with no temporal relationship and whose spatial relationship is still debatable. Is suggested for the geological setting of formation for these plutons a double subduction model type Molucca.

**Keywords:** geochemistry, U-Pb, gabbro de Santa Fe, cuarzodiorita de Sabanalarga.

## Cómo citar este artículo:

Zapata-Villada, J.P., Giraldo, W., Rodríguez, G., Geraldes, M.C., Obando, M., 2021, Geoquímica y geocronología U-Pb de la Cuarzodiorita de Sabanalarga y el Gabro de Santa Fe, Colombia: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 73 (1), A280520. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2021v73n1a280520>

Manuscrito recibido: 24 de Julio de 2019  
Manuscrito corregido: 28 de Abril de 2020  
Manuscrito aceptado: 29 de Abril de 2020

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

## 1. Introducción

La esquina noroccidental de Suramérica presenta una geología compleja; misma que se caracteriza por la interacción de las placas Suramericana, Norteamericana, Nazca, Cocos y Caribe. Dicha interacción entre placas ha generado un mosaico de terrenos alóctonos altamente deformados (Jones *et al.*, 1982) y acrecionados a la margen suramericana desde el Paleozoico hasta el Cenozoico (Restrepo y Toussaint, 1988); los cuales están denominados como Bloque Norandino (Suter *et al.*, 2008).

Según Gómez *et al.*, (2015), los terrenos que comprenden este bloque son, de occidente a oriente, Caribe, Arquía, Quebradagrande, Anacona, Tahamí y Chibcha (Figura 1). El terreno Caribe presenta afinidad oceánica; mientras que los que están al oriente (Anacona, Tahamí y Chibcha), presentan afinidad continental. El límite entre estos dos dominios geodinámicos está marcado por el sistema de fallas Cauca-Romeral y los terrenos Arquía y Quebradagrande. Este límite es considerado como un mosaico de presuntos terrenos de afinidades oceánicas o continentales (Restrepo *et al.*, 2009), cuyas relaciones espacio-temporales están todavía en discusión (Restrepo *et al.*, 2009; Villagómez *et al.*, 2011; Mora-Bohórquez *et al.*, 2017).

A su vez, las unidades ígneas presentes en la zona de transición entre estos dos dominios fueron agrupadas en el denominado Batolito de Sabanalarga (Hall *et al.*, 1972; Rodríguez y Zapata, 1995). Esta unidad fue definida como un batolito alargado con dirección norte-sur, con una extensión de aproximadamente 410 Km<sup>2</sup>, y constituido por 3 facies (máfica-ultramáfica, intermedia y félscica) (González y Londoño, 2002), con edades <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar (Hornblenda y Biotita) de aproximadamente 95 Ma (Gonzales *et al.*, 1976; González y Londoño, 1998).

Respectivamente, el Batolito de Sabanalarga se encuentra dividido de norte a sur por la Falla Sabanalarga (Hall, 1972; Rodríguez *et al.*, 2012a; Correa *et al.*, 2018), Falla Romeral (Mejía y González, 1983) o Cauca-Almaguer (Nivia

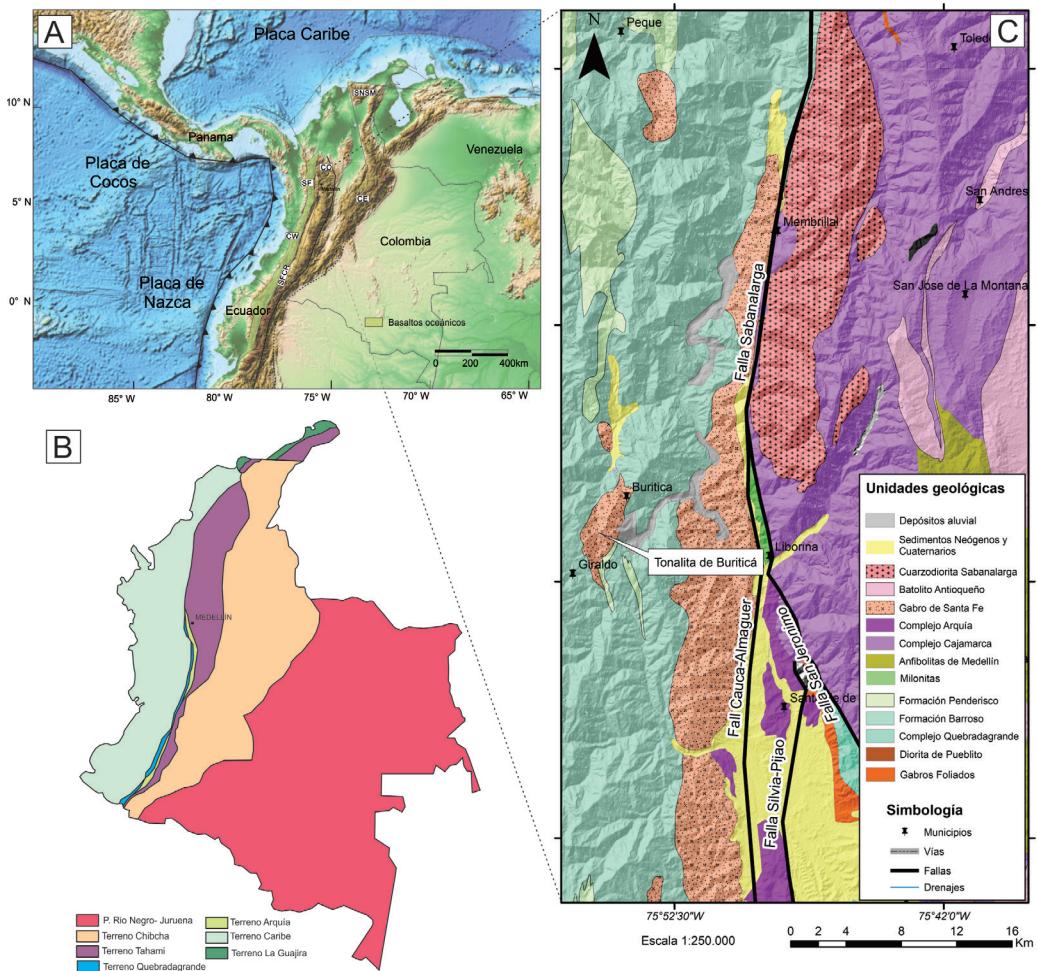
y Gómez, 2005). Nivia y Gómez (2005) separan esta unidad en dos: Gabro de Santa Fe y Cuarzodiorita de Sabanalarga. Al occidente de la Falla Sabanalarga, el Gabro de Santa Fe intruye las rocas de afinidad oceánica asociadas al terreno Caribe y presenta grandes xenolitos de la Granulita de Pantanillo (Cardona, 2010; Rodríguez *et al.*, 2012b). Al oriente de la Falla Sabanalarga, la Cuarzodiorita de Sabanalarga intruye las rocas metamórficas de afinidad continental del terreno Tahamí. Este trabajo busca comprender la evolución de los cuerpos graníticos del occidente antioqueño durante el cretácico medio y tardío, a través de la definición de las relaciones entre las distintas unidades definidas como Gabro de Santa Fe y Cuazodiorita de Sabanalarga, sus unidades adyacentes y el sistema de fallas Cauca-Romeral, utilizando cartografía detallada, geoquímica y geocronología U-Pb (LA-ICP-MS).

## 2. Metodología

La presente investigación se desarrolló en dos grupos de trabajo, enmarcado cada uno en proyectos diferentes, pero con objetivos similares. El primero de estos fue una tesis de maestría realizada en la Universidad del Estado de Rio de Janeiro (UERJ) (Giraldo, W., 2017); auspiciada con el apoyo financiero del CAPES y el logístico de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. El segundo grupo correspondió a la cartografía y muestreo de la plancha 130-Santa Fe de Antioquia a escala 1:50.000 (Correa *et al.*, 2018), realizado por Grupo de Estudios Geológicos Especiales del Servicio Geológico Colombiano (SGC), Medellín.

El equipo de la UERJ realizó 40 análisis petrográficos de secciones delgadas preparadas en el Laboratorio Geológico de Preparación de Muestras (LGPA/UERJ) y 3 muestras adicionales del profesor Jorge Julián Restrepo. El grupo del SGC, analizó 39 muestras preparadas en los laboratorios del SGC.

A 13 de estas muestras, se les realizaron análisis geoquímicos en el laboratorio del SGC sede Bogotá, con un espectrómetro de fluorescencia



**SFCR:** Sistema de Fallas Cauca-Romeral. **WC:** Cordillera Occidental, **CC:** Cordillera Central, **EC:** Cordillera Oriental, **SF:** Santa Fe de Antioquia.

**Figura 1** Localización, geología regional, abreviaturas y nomenclatura. A) Configuración tectónica de los Andes del Norte. B) Mapa de Terrenos (Modificado de Gómez *et al.*, 2015). C) Mapa geológico regional (Modificado de Gómez *et al.*, 2015).

de Rayos X Panalytical AXIOS Mineral. La cuantificación de los óxidos mayores se hizo en muestra fundida con metaborato y tetraborato de litio; mientras que la cuantificación de elementos menores fue en muestra prensada. Para el análisis de elementos traza, se usó un espectrómetro de masas con plasma inductivamente acoplado, ICP-MS, Perkin Elmer NEXION. Los diagramas petrográficos y geoquímicos se obtuvieron usando el software GCDkit de Janoušek *et al.*, (2006).

Por su parte, el equipo UERJ colectó 14 muestras enfocadas a análisis geocronológicos 8 de éstas son discutidas en el presente trabajo. Fue utilizado el método UPb LA-ICP-MS en circones concentrados en el laboratorio geológico de preparación

de muestras LGPA-UERJ, utilizando separación hidrodinámica y magnética. Los circones se seleccionaron manualmente con lupa binocular. De los montajes de granos de circón se adquirieron imágenes de catodoluminiscencia (CL) por medio de microscopio electrónico de barrido. Los análisis isotópicos de las muestras se llevaron a cabo en el Laboratorio multiusuario de medio ambiente y materiales MultiLab-UERJ, con el equipo Neptune plus - Laser Ablation Inductive ly Coupled Plasma Multi Colector Mass Spectrometry (LA-ICP-MS). Los mismos se realizaron con un diámetro de laser variable entre 20 y 30 µm, a una frecuencia de 8 Hz y energía variable entre el 35 y 40%. El flujo de helio utilizado para el transporte de las muestras

fue de 0.750 l/m, y el flujo de argón utilizado por el ICP-MS fue de 0.800 l/m. Se emplearon los patrones Zircon 91500 (Wiedenbeck *et al.*, 2004) y GJ-1 (Jackson *et al.*, 2014). Los blancos, patrones y tratamiento de los datos siguieron las recomendaciones de Chamale *et al.*, (2012) con la ayuda del sosoftware Isoplot V4.15 (Ludwig, 2012).

Por otro lado, el equipo SGC analizó 5 muestras por el mismo método U-Pb LA-ICP-MS en circones concentrados en el laboratorio químico del Servicio Geológico Colombiano sede Medellín, utilizando separación hidrodinámica y magnética. Los circones se seleccionaron manualmente con lupa binocular en el Laboratorio de Petrografía de la sede Medellín.

De los montajes de granos de circón se adquirieron imágenes de catodoluminiscencia (CL) por medio de luminoscopios. Los análisis isotópicos de las muestras se llevaron a cabo en el Laboratorio de Geocronología del Servicio Geológico Colombiano, siguiendo los procedimientos descritos en Peña-Urueña *et al.*, (2018). Estos se realizaron en un equipo de ablación Photon Machines con un láser Excimer de 193 nm, acoplado a un espectrómetro de masas tipo Element 2. Los isótopos utilizados para la integración manual fueron  $^{238}\text{U}$ ,  $^{206}\text{Pb}$  y  $^{204}\text{Pb}$ . Como patrones de referencia se usaron: Plešovice (Sláma *et al.*, 2008), FC-1 (Coyner *et al.*, 2004), Zircon 91500 (Wiedenbeck *et al.*, 2004) y Mount Dromedary (Renne *et al.*, 1998). Los puntos analizados en los circones fueron de 30 micrones de diámetro. La reducción de datos se realizó Iolite v2.5® en IGORPro6.3.6.4® (Paton *et al.*, 2010). La corrección por plomo común se realizó de acuerdo con el modelo de evolución según Stacey y Kramers (1975). Los resultados finales corresponden a la media de los datos obtenidos luego de aplicar una discriminación de datos a 2 desviaciones estándar. Los cálculos de las edades y los gráficos geocronológicos se hicieron con el programa Isoplot V4.15 (Ludwig, 2012).

### 3. Geología Regional

Las rocas agrupadas bajo la denominación “Batalito de Sabanalarga” se localizan en la zona

de confluencia de 4 terrenos geológicos (Caribe, Arquía, Quebradagrande y Tahamí (Gómez *et al.*, 2015)), y del sistema de fallas Cauca-Romeral (SFCR), sistema de fallas que se extiende a lo largo de 2000 km desde el norte de Antioquia hasta el sur en Ecuador (Figura 1A; Villagómez, 2010). A continuación, se describen las principales características de cada uno de estos elementos geológicos para determinar las posibles relaciones de los mismos con el Batalito de Sabanalarga.

El sistema de fallas Cauca-Romeral es un sistema complejo, pues está compuesto por múltiples estructuras con dirección predominante norte-sur. Este sistema es enmarcado al occidente por la falla Cauca-Oeste y al oriente por la falla San Jerónimo. A la altura del municipio de Liborina ( $6^{\circ}40'N$ ) y en dirección norte, sus estructuras aparecen unirse en una sola, denominada Falla de Sabanalarga. Giraldo (2017) identificó que las estructuras componentes del sistema Cauca-Romeral en realidad no se unen y continúan al norte como al menos dos paralelas, separadas por cientos de metros. Estas últimas corresponden a las continuaciones al norte de Liborina de las fallas Cauca-Oeste y San Jerónimo. Al interior del sistema Cauca-Romeral se presentan múltiples bloques tectónicos como los terrenos Arquía y Quebradagrande, los cuales presentan orígenes e historias evolutivas aun en discusión. Cabe destacar que el sistema Cauca-Romeral limita al occidente con el terreno Caribe y al oriente con el terreno Tahamí.

#### 3.1. TERRENO CARIBE

En el terreno Caribe (Gómez *et al.*, 2015) se encuentran agrupadas las rocas del Plateau Caribe (Kerr *et al.*, 1997a; Cediel *et al.*, 2003) las cuales fueron acrecionadas al noroccidente de la placa suramericana y al occidente del SFCR, constituyendo la base de la Cordillera Occidental de Colombia (Figura 1B). Están compuestas por rocas volcánicas básicas, de edades Jurásico- Cretácico (Rodríguez y Arango., 2013; Toussaint y Restrepo, 1978); y están intruidas por cuerpos de afinidad adakítica con edades U-Pb que indican una edad máxima Turoniano- Aptiano (Rodríguez y Arango., 2013; Weber *et al.*, 2015; Zapata-Villada *et al.*, 2017). Sobrepuertas por unidades volcánico-

clásticas (Zapata-Villada *et al.*, 2017; Buchs *et al.*, 2018; Pardo-Trujillo *et al.*, 2020) y sedimentarias con registros de amonites con edades bioestratigráficas Campaniano- Maastrichtiano (Castro y Feininger, 1965; Etayo *et al.*, 1980; Geoestudios, 2005; Pardo-Trujillo *et al.*, 2020) y basados en correlaciones composicionales, estas unidades volcánicas han sido correlacionadas al Sur con la Formación Volcánica (Barrero, 1979; Kerr *et al.*, 1997a; Villagómez *et al.*, 2010), con rocas del terreno Alao en Ecuador (Litherland *et al.*, 1994), y al Norte con fragmentos del Caribe como Bonaire, Aruba e Hispaniola (Wright and Wyld, 2011).

### 3.2. TERRENO QUEBRADAGRANDE

Constituido por el Complejo Quebradagrande (Botero, 1963; Maya y González, 1995), está compuesto por gabros, dioritas, flujos de basaltos y andesitas tan como se muestra en la figura 1b. El Complejo Quebradagrande presenta edades bioestratigráficas Albiano-Aptiano y edades U-Pb entre 114-84 Ma (Maya y Gonzales, 1995; Villagómez *et al.*, 2011; Cochrane *et al.*, 2014; Zapata *et al.*, 2018). Las rocas volcánicas del Complejo Quebradagrande han sido correlacionadas a rocas del Terreno Alao al norte en Ecuador (Cochrane *et al.*, 2014) y asociadas a un ambiente de cuenca de retroarco con un magmatismo que se extiende entre ca. 114 Ma hasta 80 Ma (Villagómez, 2010, Spikings *et al.*, 2015; Jaramillo *et al.*, 2017).

### 3.3. TERRENO ARQUÍA

Definido como Grupo Arquía (Restrepo y Toussaint, 1975), esta unidad agrupa metagabros, anfibolitas granatíferas, esquistos anfibólicos, esquistos de cuarzo-micáceos, cuarcitas, eclogitas, esquistos de glaucofana-lawsonita y rocas ultramáficas serpentinizadas (Bustamante *et al.*, 2011; Maya y González, 1995; Toussaint y Restrepo, 1978), limitados por la Falla Silvia-Pijao al Este y Cauca-Almaguer al Oeste, (Moreno-Sánchez y Pardo-Trujillo, 2003).

El terreno Arquía (Gómez *et al.*, 2005) está conformado por fajas tectónicas extremadamente deformadas con relaciones estratigráficas y tectónicas complejas (Figura 1C). El ambiente de

formación de las rocas del complejo Arquía ha sido asociado a un N-MORB (Villagómez *et al.*, 2011; Rodríguez y Arango, 2013) con edades de enfriamiento  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  y K/Ar de 127 Ma, 110 Ma y 117-107 Ma (Toussaint y Restrepo., 1978, Villagómez, 2010).

### 3.4. TERRENO TAHAMÍ

El Terreno Tahamí (Gómez *et al.*, 2015) agrupa principalmente las rocas de los terrenos Tahamí (Restrepo y Toussaint,, 1988) y Panzenú (Restrepo *et al.*, 2009). Está expuesto entre las Fallas San Jerónimo (al Oeste) y Otú- Pericos (al Este) (Figura 1B), y se compone por esquistos, anfibolitas y gneises de edades metamórficas Permo- Triásicas y Jurásicas (Gómez *et al.*, 2007; Blanco- Quintero *et al.*, 2014; Correa *et al.*, 2017b, Rodríguez *et al.*, 2016) de grado metamórfico medio a alto (Ordoñez-Carmona y Pimentel, 2002).

El terreno Tahamí fue intruido por cuerpos calco-alcalinos desde el Jurásico hasta el Cretácico (Bustamante *et al.*, 2016; Rodríguez *et al.*, 2016; Ibañez-Mejía *et al.*, 2007), un ejemplo de estos es el Batolito Antioqueño (Ordoñez-Carmona, 2008; Leal-Mejía, 2011; Duque-Trujillo *et al.*, 2019). Sobre este terreno reposan las rocas siliciclásticas de la Formación Abejorral con edades máximas de deposición de 120 Ma (Zapata, 2015, Zapata *et al.*, 2018).

## 4. Geología del área de estudio

El “Batalito de Sabanalarga” (Álvarez y González, 1978; González, 2002; Rodríguez *et al.*, 2012a), está compuesto por una serie de plutones que afloran al Este y al Oeste del sistema de fallas Cauca-Romeral, representado en esta latitud por la Falla Sabanalarga (Hall *et al.*, 1972; Rodríguez *et al.*, 2012a; Correa *et al.*, 2018), Falla Romeral (Mejía y González, 1983) o Cauca-Almaguer (Nivia y Gómez, 2005), y representa un problema cronoestratigráfico para la sutura o límite de terrenos acrecionados a la margen continental (límites terreno Calima y Tahami; Restrepo y Toussaint., 1988 ó Arquía, Quebradagrande y Tahamí; Gómez *et al.*, 2015).

En este trabajo se considerará la Falla Sabanalarga como límite entre los plutones orientales y occidentales que componen el batolito de Sabanalarga definido por Hall *et al.*, (1972). La existencia como un único batolito implica la acreción de terrenos oceánicos y continentales en el Cretáceo antes de 100 Ma (edades U-Pb de La Tonalita de Buriticá). Suprimiendo la existencia del gran Arco del caribe (White *et al.*, 1999; Pindell *et al.*, 2005), desarrollado sobre corteza Plateau antes de colisionar con la Margen Continental (White *et al.*, 1999; Nivia, 2001; Vallejo *et al.*, 2006).

El problema estratigráfico ha sido parcialmente resuelto con base en petrografía, relaciones de campo y nuevos datos de geocronología U-Pb (Nivia y Gómez, 2005; Weber *et al.*, 2015; Giraldo, 2017; Zapata-Villada, 2017; Correa *et al.*, 2018) considerando la unidad como al menos dos cuerpos plutónicos contemporáneos, denominados “Cuarzodiorita de Sabanalarga” y el “Gabro de Santa Fe” (Figura 1C).

#### 4.1. CUARZODIORITA DE SABANALARGA

La Cuarzodiorita de Sabanalarga, incluida por varios autores (González *et al.*, 1976; Álvarez y González, 1978; González, 2002; Rodríguez *et al.*, 2012a) dentro del “Batolito de Sabanalarga” fue descrita inicialmente como Plutón de Sabanalarga (Hall *et al.*, 1972; Álvarez *et al.*, 1975; Mejía *et al.*, 1983), y aflora como un cuerpo elongado de dirección norte-sur de aproximadamente 260 Km<sup>2</sup> de composición tonalítica, cuyo cuerpo principal se encuentra el este y noreste de Sabanalarga (Figura 2). Sin embargo, después fue incluida por varios investigadores (González *et al.*, 1976; Álvarez y González, 1978; González, 2002; Rodríguez *et al.*, 2012a) dentro del “Batolito de Sabanalarga”, cuerpo descrito como intrusivo a ambos lados de la Falla Sabanalarga alcanzando un área de 460 km<sup>2</sup>.

Entendiendo que la definición inicial del cuerpo fue al este de la Falla Sabanalarga, es decir, al este de la falla más occidental del sistema Cauca-Almaguer (Figura 2), y debido a las diferencias petrológicas (contenido de ferromagnesianos con radicales hidroxilos, e.g. anfíboles y biotita) (Nivia y Gómez, 2005) y geocronológicas (Weber *et al.*,

2015; Zapata-Villada *et al.*, 2017; Giraldo, 2017), denominamos “Cuarzodiorita de Sabanalarga” siguiendo la propuesta de Nivia y Gómez, (2005) y Correa *et al.*, (2018) al cuerpo intrusivo localizado al este de la Falla Sabanalarga.

De esta manera, cabe mencionar que la Cuarzodiorita de Sabanalarga está compuesta principalmente por cuarzodioritas-tonalitas (Figura 3A y 3B), intruye secuencias metamórficas pelíticas en facies esquisto verde compuestas por esquistos de cuarzo-moscovita-grafito, cuarzo-tre-

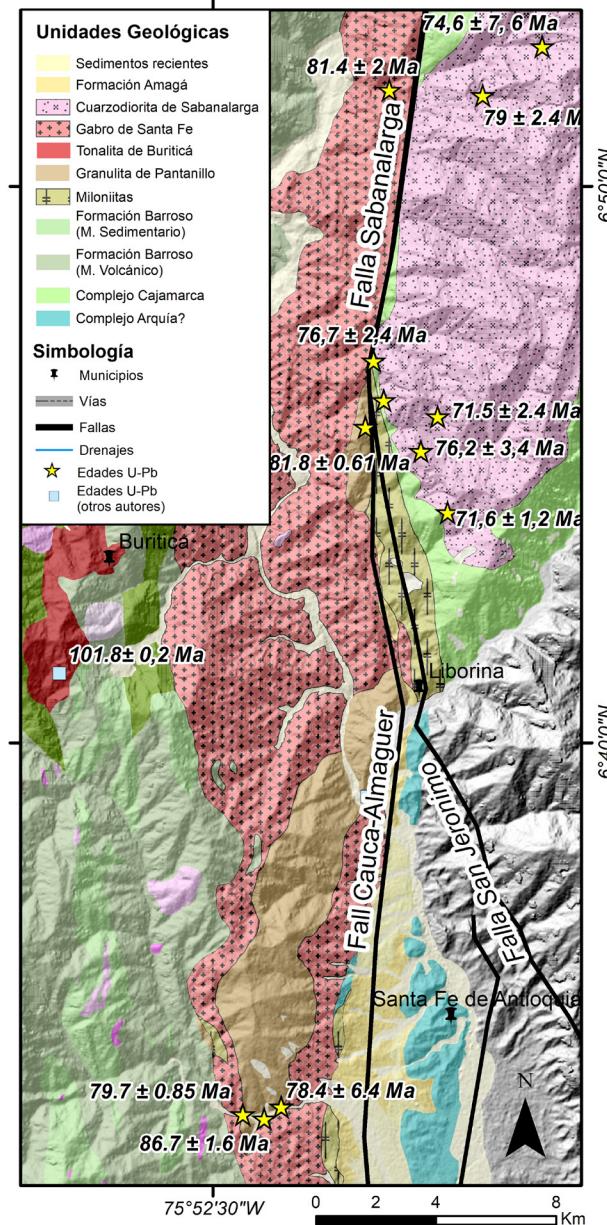


Figura 2 Mapa Geológico del área de estudio (En este trabajo).

mollita-epidota-clorita asociadas al Complejo Cajamarca (Figura 3C), y al oeste se encuentra en contacto fallado con bloques de pillow lavas deformados asociadas al Complejo Quebradagrande (Correa *et al.*, 2018). Para la Cuarzodiorita de Sabanalarga se tienen dos edades de  $97 \pm 10$  Ma K-Ar en biotita en (Gonzales *et al.*, 1976) y  $98.2 \pm 3.5$  Ma Ar-Ar en hornblenda (Gonzalez y Londoño, 1998).

#### 4.2. GABRO DE SANTA FE

Está compuesto por gabros, hornblenditas y en menor proporción, tonalitas y cuarzodioritas (Figura 3E y 3F) y corresponde al cuerpo localizado al oeste de la Falla Sabanalarga (Hall *et al.*, 1972). El Gabro de Santa Fe intruye basaltos de la Formación Barroso al oeste (Figura 3G) y al este es limitado por la Falla Sabanalarga (Weber *et al.*, 2015) y por milonitas asociadas (Correa *et al.*, 2018); además, presenta abundantes xenolitos de la Granulita de Pantanillo (Figura 3G), interpretadas como asociados a raíces de arco magmático engrosado (Toro-Toro *et al.*, 2020).

El Gabro de Santa Fe carece de ferromagnesianos y tiene radicales hidroxilos dentro de su estructura cristalina (Nivia y Gómez, 2005). Correa *et al.*, 2018 nombran esta unidad como Tonalita de Santa Fe en base a análisis petrográficos; sin embargo, en este trabajo se observa que hay dos facies presentes: una máfica (gabroica) predominante y una intermedia (tonalítica).

El Gabro de Santa Fe presenta edades de  $98 \pm 9.1$  Ma por el método Sm- Nd (Weber *et al.*, 2011) y de  $123.8 \pm 3.9$  Ma por K-Ar en hornblenda (Rodríguez *et al.*, 2012a). Adicionalmente, se reportan edades U-Pb para cuerpos asociados como el Gabro de Altamira de  $87.67 \pm 0.9$  Ma (Zapata-Villada *et al.*, 2017) y la Tonalita de Buriticá de  $101.7 \pm 0.2$  Ma (Weber *et al.*, 2015).

### 5. Resultados

#### 5.1. PETROGRAFÍA Y RELACIONES DE CAMPO

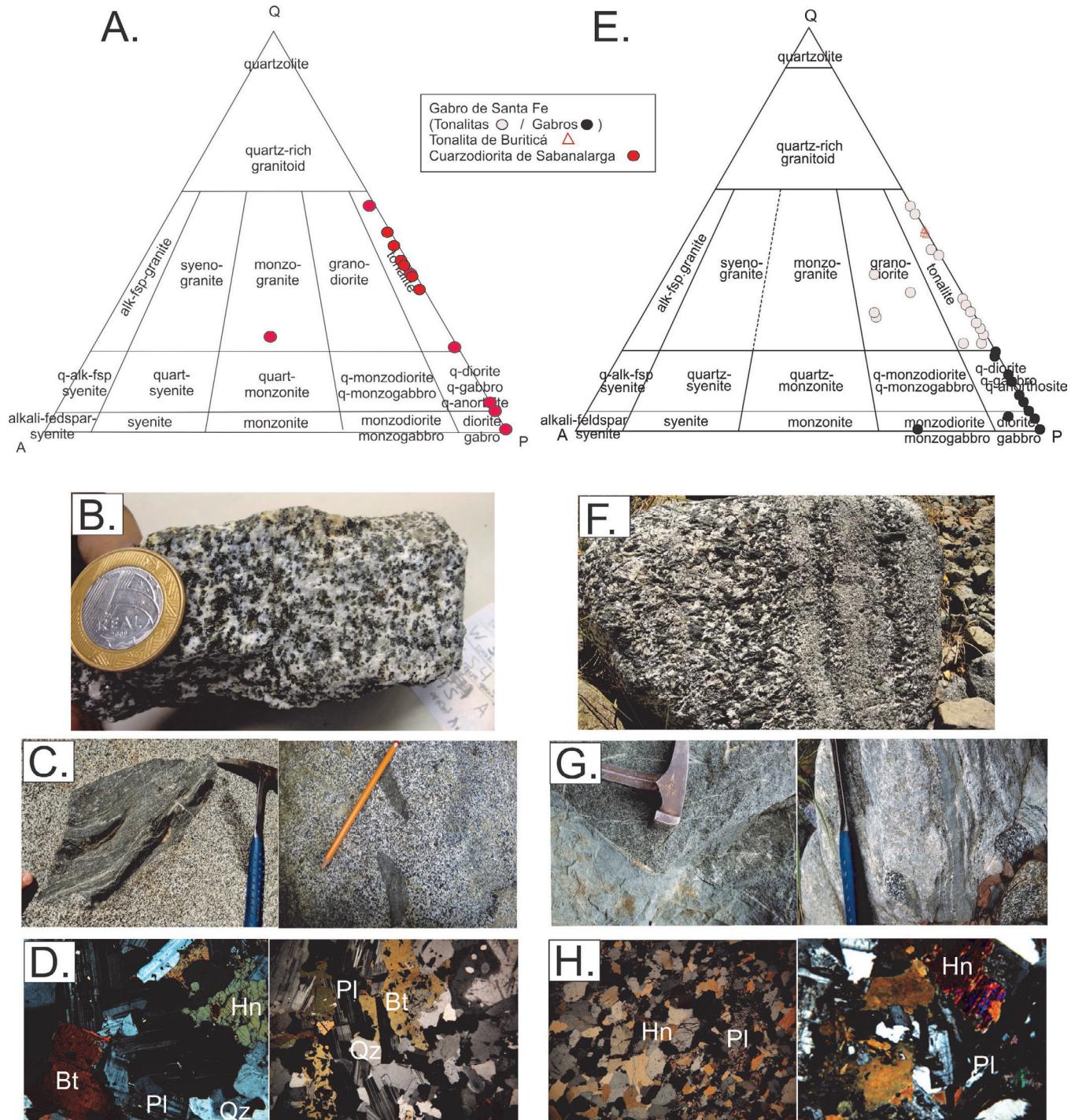
La Cuarzodiorita de Sabanalarga presenta una composición tonalítica, con variaciones a cuarzo-

diorita y gabro. Intruye Esquistos de cuarzo-moscovita-grafito y Esquistos de cuarzo-tremolita-epidota del Complejo Cajamarca (terreno Tahamí), mostrados en abundantes xenolitos (Figura 3C); además, presenta enclaves de gabros (Figura 3C). Asimismo, la Cuazodiorita de Sabanalarga se observa en contacto fallado con bloques de basaltos que conservan estructuras pillow lavas, metasedimentos de bajo grado y rocas ultramaficas en la Qda. La sucia y Liborina.

Para esta unidad se analizaron 14 secciones delgadas, que presentan textura subidiomórfica, compuesta por cuarzo, plagioclásas, hornblenda y biotita. Como minerales accesorios se observan zircón y apatito; generalmente como inclusiones en biotita (Figura 3D). Como minerales de alteración, es común observar clorita y epidota.

El Gabro de Santa Fe está compuesto por dioritas hornblendicas, microdioritas, gabros y tonalitas hornblendicas (Figura 3E y 3F); y está rodeado por abundantes xenolitos de anfibolitas de la Granulita de Pantanillo (Rodríguez *et al.*, 2012b) y basaltos de la Fm. Barroso (Figura 3G). Para el análisis de esta otra unidad se consideraron 40 secciones delgadas que caen entre el campo de gabros (facie máfica) y tonalitas (facie intermedia) (Figura 3E); así cuatro muestras correspondientes a tonalitas para el Stock de Buriticá (Figura 3E). En general, las muestras revisadas presentan textura hipidiomórfica con presencia de plagioclasa, hornblenda,  $\pm$  piroxeno y cuarzo, como accesorio, y sausurita y calcita, como minerales de alteración (Figura 3H). La Tonalita de Buriticá está compuesta principalmente por cuarzo y plagioclasa (Giraldo, 2017).

La Cuarzodiorita de Sabanalarga y el Gabro de Santa Fe se encuentran separados por la Falla Sabanalarga o La Falla Cauca Oeste del sistema de fallas Cauca-Romeral. Al interior de este sistema se identificó una franja de mesomilonitas; mismas que están asociadas a secuencias vulcano-sedimentarias marinas. Algunos segmentos de estas fajas se encuentran cubiertos por segmentos de secuencias sedimentarias basculadas, compuestas por lutitas, areniscas y carbones, posiblemente asociadas a la Formación Amagá (Figura 2).



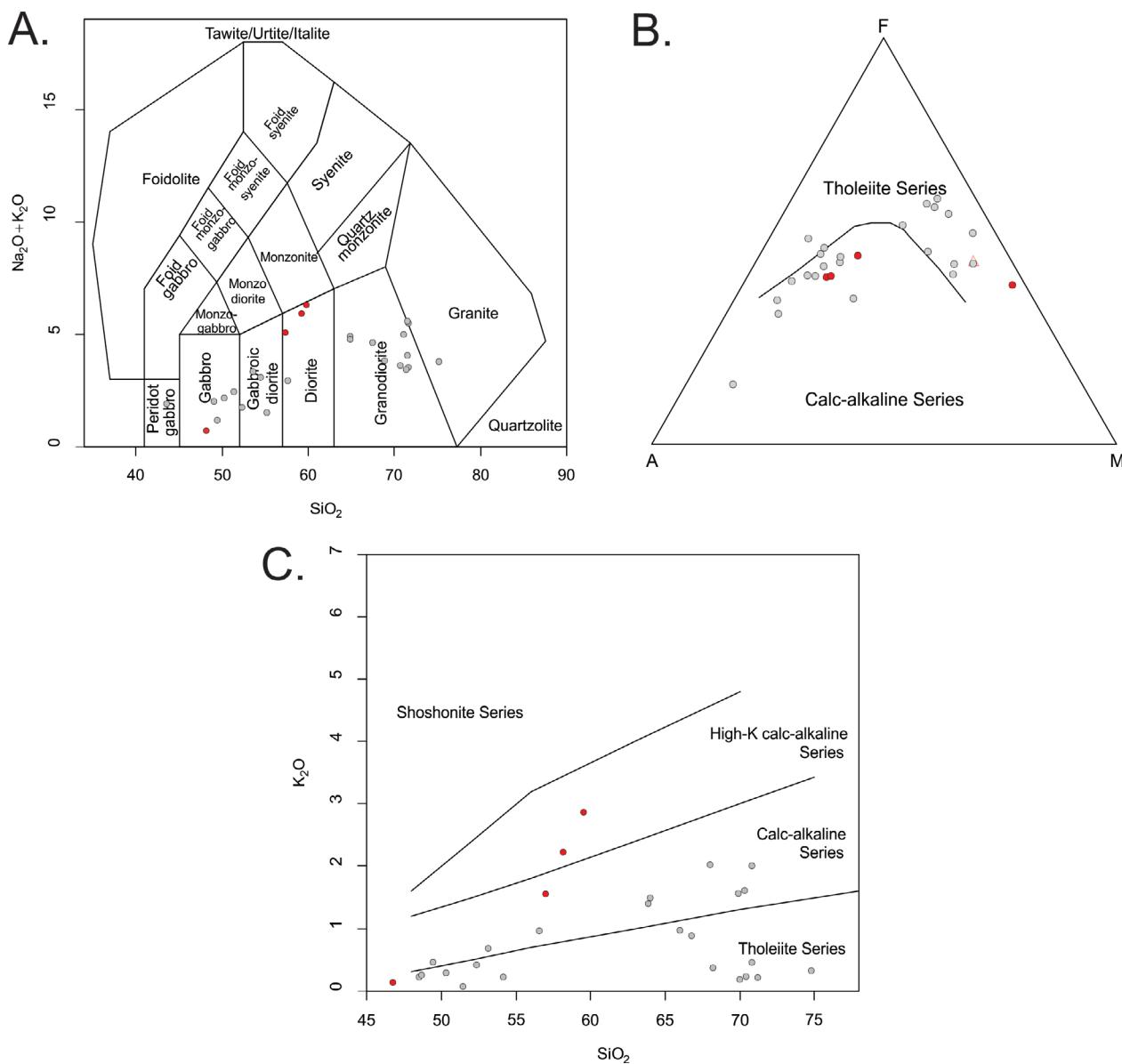
**Figura 3** A. Clasificación petrográfica de la Cuarzodiorita de Sabanalarga. B. Muestra macro de una cuarzo-diorita. C. Izq: Xenolitos de esquistos de qz-msk-graf en Cuarzodiorita, Der: Gabarros de Gabros en Cuarzodioritas. D. Microfotografías correspondientes a la Cuarzodiorita de Sabanalarga. E. Clasificación petrográfica muestras Gabro de Santa Fe. F. Aspecto macroscópico del Gabro de Santa Fe. G. Izq: Contacto intrusivo del Gabro de Santa Fe en Basaltos de la Fm. Barroso, Der: Xenolitos de anfibolitas correspondientes a la Granulita de Pantanillo. H. Microfotografías del Gabro de Santa Fe.

## 5.2. GEOQUÍMICA

De este trabajo y de otros anteriores (Weber *et al.*, 2015; Geoestudios, 2005; ver Tabla 1), se analizaron elementos mayores y trazas de 12 muestras distribuidas entre monzogranitos, tonalitas, cuarzodioritas y gabros de la unidad Cuarzodiorita de Sabanalarga y dioritas, tonalitas y microgabros, correspondientes al Gabro de Santa Fe. Las muestras se encuentran relativamente frescas

con valores “Loss on ignition” LOI <2.8 para la Cuarzodiorita de Sabanalarga y LOI <1.8 para el Gabro de Santa Fe.

Para las muestras de la Cuarzodiorita de Sabanalarga, el contenido de  $\text{SiO}_2$  varía entre 59.5 y 46.7%; el contenido de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  varía entre 5.41- 16.9 % y el de  $\text{MgO}$ , entre 2.6-15.4 %. De la misma manera, registra valores de  $\text{Sr}=78.6$ -504 ppm  $\text{Y}=12-25$  ppm y razones  $\text{Sr/Y}=6.5$ -



**Figura 4** A Diagramas de discriminación tectónica B) TAS (Middlemost, 1985); b) AFM (Irvine & Baragar, 1971); C)  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{K}_2\text{O}$  (Peccerillo y Taylor, 1976).

Tabla 1. Elementos mayores y trazas para las muestras de la Cuarzodiorita de Sabanalarga y el Gábrido de Santa Fe.

Muestra	Cuarzodiorita de Sabanalarga				Gábrido de Santa Fe								
	MGO-238	ARO-247	JPZ-174	LMC-353	VR192R	AN1836	TCR727A	GR5448	DAN70	VR422R	JA146	JGT116B	GR145R
SiO <sub>2</sub>	59.5	58.17	56.96	46.75	43.11	48.49	48.67	49.45	51.46	52.35	53.12	56.57	63.82
TiO <sub>2</sub>	0.84	0.74	0.92	0.7	1.22	0.93	0.64	0.79	0.23	0.67	0.67	0.49	0.54
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.98	17.65	17.49	5.41	17.75	16.34	12.22	16.92	15.36	17.63	12.45	13.84	15.11
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.86	6.56	7.97	11.55	14.85	12.87	13.2	12.43	9.86	9.88	9.4	8.64	6.37
MgO	2.6	2.58	3.29	15.41	7	6.38	9.76	5.67	9.31	4.52	9.01	5.94	2.35
CaO	6.1	6.43	7.36	16.2	12.41	11.36	12.63	10.71	10.33	9.18	9.58	9.6	5.23
Na <sub>2</sub> O	3.42	3.59	3.47	0.56	1.61	1.83	0.86	1.7	1.58	2.81	2.28	1.88	3.38
K <sub>2</sub> O	2.86	2.23	1.55	0.14	0.29	0.2	0.23	0.46	0.07	0.39	0.66	0.94	1.38
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.23	0.25	0.25	0.08	0.4	0.35	0.09	0.13	0.03	0.15	0.26	0.12	0.11
MnO	0.13	0.13	0.15	0.2	0.25	0.25	0.21	0.18	0.18	0.18	0.16	0.18	0.11
LOI	0.45	1.55	0.57	2.84	0.9	0.89	1.4	1.52	1.39	2.2	1.1	1.83	1.5
Sum	99.97	99.88	99.99	99.99	99.8	99.89	100	100	99.8	100	98.69	100	99.9
Li	33.13	15.81	27.36	11.75			1.13						
Be	2.55	2.34	1.68	0.44			0.31						
Sc	25.29	22.86	31.93	116.76	36	39	80.28	40	38	24	33	47	19
Co	22.56	20.65	24.32	120.35	45.8	32	58.47		49	29	39	29	15.5
Ni	8.45	8.99	8.62	113.49	18	40	83.22	10	100	20	90	40	5
Cu	29.33	12.45	12.29	280.79		130	38.45		30		20	70	
Zn	94.9	95.52	103.66	69.2		100	92.83		90		70	70	
Ga	19.68	23.39	24.03	7.37	18.4	17	13.29	15	15	17.1	15	15	15
As	3.34	1.67	1.2	2.22			0.44						
Rb	116.47	57.08	42.67	2.03	5.6	4	2.31	9	2	8.4	16	13	22.6
Sr	365.32	502	504.51	78.69	445.1	364	151.52	327	185	377.4	384	324	227.3
Y	25	20	21	12	19.8	10.4	7	8.9	5.6	15.9	13	11.9	20.6
Cs	2.87	0.85	1.35	0.06	0.1	0.1		0.05		0.2	0.4	0.2	0.2
Ba	656.75	866.9	803.04	46.16	96.5	133	76.5	167	50	169.7	375	332	922.3
La	12.65	13.85	12.01	5.94	6.1	3.61	4.95	4.26	1.25	5.9	7.14	7.98	7.1
Ce	23.29	24.49	21.29	10.63	17	8.72	8.56	9.28	2.72	14.1	15.2	16.5	16.1
Pr	3.62	3.73	3.24	1.22	2.67	1.32	0.7	1.39	0.4	2.19	2.32	2.29	2.35
Nd	17.39	15.21	15.13	5.99	13.3	6.14	3.82	6.47	1.92	10.5	10.3	8.86	10.9
Sm	4.09	3.75	3.95	1.98	3.4	1.6	1.21	1.6	0.57	2.4	2.56	2.02	2.8
Eu	1.36	1.44	1.53	0.68	1.28	0.773	0.52	0.55	0.336	0.89	0.922	0.78	0.87
Gd	4.39	4.09	4.31	2.35	3.63	1.75	1.38	1.74	0.64	2.52	2.3	1.84	3.24
Tb	0.76	0.61	0.69	0.42	0.6	0.31	0.25	0.27	0.14	0.42	0.4	0.33	0.56
Dy	4.48	3.7	3.99	2.62	3.47	1.84	1.45	1.61	0.92	2.6	2.35	2	3.16
Ho	0.96	0.76	0.83	0.53	0.65	0.36	0.28	0.32	0.19	0.52	0.44	0.41	0.7
Er	2.93	2.36	2.51	1.52	1.91	1.07	0.85	0.95	0.57	1.58	1.3	1.22	2.02
Tm	0.43	0.34	0.35	0.2	0.3	0.157	0.12	0.14	0.087	0.27	0.194	0.184	0.36
Yb	2.81	2.33	2.29	1.23	1.88	1.04	0.73	0.92	0.6	1.63	1.21	1.24	1.93
Lu	0.43	0.37	0.35	0.16	0.28	0.164	0.11	0.15	0.102	0.26	0.187	0.19	0.3
Th	3.49	2.65	1.79	0.41	0.1	0.28	0.18	0.14	0.15	0.5	0.77	1.56	0.9
U	1.67	0.95	0.69	0.2		0.08	0.07	0.17	0.04	0.1	0.23	0.33	0.5
V	185	163	217	343	410	309	351	415	149	252	245	301	133
Zr	150	107	100	33	20.4	17	20	28	13	37	28	25	87.5
Nb	5	4	4	3	2.9	1.5		3	0.7	2.6	1.7	1.3	3.2
Hf					0.8	0.6		1	0.4	1.3	1	1	3.1
Eu/Eu*	0.99	1.13	1.14	0.97	1.12	1.42	1.24	1.01	1.71	1.11	1.17	1.24	0.89
LaN/YbN	3	3.96	3.5	3.22	2.16	2.31	4.52	3.09	1.39	2.41	3.93	4.29	2.45
LaN/SmN	1.91	2.27	1.87	1.85	1.1	1.39	2.52	1.64	1.35	1.51	1.72	2.43	1.56
SumREE	79.58	77.03	72.47	35.49	56.47	28.85	24.93	29.65	10.45	45.78	46.82	45.84	52.39

Tabla 1. (Continuación) Elementos mayores y trazas para las muestras de la Cuarzodiorita de Sabanalarga y el Gabro de Santa Fe.

Muestra	Gabro de Santa Fe														
	GRI46R	TCR71S	TCR732	MRI52R	JA74	TCR437	JPZ159A	VR301R	AN18344	AN18342	VR290R	JGT-118A	LMC-385B	TCR-812	TCR-815
<i>SiO<sub>2</sub></i>	63.99	65.98	66.76	68.03	68.19	69.91	70	70.32	70.44	70.81	70.82	71.21	74.79	50.33	54.14
<i>TiO<sub>2</sub></i>	0.54	0.32	0.53	0.3	0.42	0.36	0.31	0.39	0.33	0.34	0.35	0.32	0.23	0.63	0.38
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	15.01	15.04	15.63	15.67	15.13	14.24	14.79	13.97	13.9	13.64	13.8	14.06	14.5	16.81	14.73
<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	6.57	4.14	4.66	3.58	4.4	3.29	4.82	4.32	4.58	3.95	3.84	4.43	0.78	9.1	11.16
<i>MgO</i>	2.31	2.72	1.5	1.37	1.39	1.07	0.73	1.01	1.13	1.12	0.94	1.14	0.51	8.05	6.37
<i>CaO</i>	5.41	5.59	5.14	3.88	5.56	3.24	4.76	3.86	4.85	5.09	3.65	4.64	4.91	10.36	9.73
<i>Na<sub>2</sub>O</i>	3.25	3.14	3.66		3.37	3.76	3.36	3.29	3.13	3.53	3.48	3.25	3.39	2.14	1.23
<i>K<sub>2</sub>O</i>	1.47	0.95	0.86	2	0.35	1.54	0.16	1.59	0.21	0.43	1.99	0.19	0.3	0.28	0.2
<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	0.12	0.1	0.15	0.19	0.16	0.11	0.08	0.12	0.07	0.08	0.11	0.13	0.08	0.177	0.06
<i>MnO</i>	0.1	0.07	0.09	0.12	0.08	0.1	0.07	0.07	0.06	0.07	0.08	0.06	0.02	0.172	0.15805
<i>LOI</i>	1.1	1.8	1.02	1	0.75	2.3	1.01	0.9	0.93	1.28	0.8	0.95	0.56	1.84	1.74
<i>Sum</i>	99.9	99.9	100	96.1	99.81	99.9	100.1	99.8	99.65	100.3	99.9	100.4	100.1	99.95	99.97
<i>Li</i>		9.51	1.63			2.63	3.21						1.52	2.608	1.71447
<i>Be</i>		1.62	1.34			1.34	0.72						1.86	0.517	0.22657
<i>Sc</i>	19	22.97	18.74	5	13	7.74	16.49	11	16	16	10	15	6.76	30.620	35.0867
<i>Co</i>	15.3	22.3	17.88	5.6	9	15.59	17.12	6.6	8	7	8.4	9	18.02	33.698	43.7997
<i>Ni</i>	66	20.36	5.43	5		8.61	3.94	6			5		4.02	89.5913	58.5825
<i>Cu</i>		40.96	6.91		10	8.15	16.6		10	60		30	3.18	9.717	44.0194
<i>Zn</i>		51.76	43.64		40	52.44	46.32			50			10.81	61.965	67.004
<i>Ga</i>	14.4	17.11	15.59	14.1	16	18.88	15.93	12.4	13	12	13.1	14	12.55	13.082	12.197
<i>As</i>		0.87	0.82			0.82	0.42						0.88		
<i>Rb</i>	18.9	15.8	10.89	42	6	51.4	3.52	16.9	5	6	37.5	4	3.66	4.993	2.877
<i>Sr</i>	268.9	732.38	352.66	523.4	354	282.45	191.5	221.3	136	145	203.2	137	362.91	369.347	145.726
<i>Y</i>	20.3	6	15	12.8	9.9	15.65	4	20.9	17.6	16.6	20.2	15	14	13	36
<i>Cs</i>	0.2	0.4	0.06	0.7	0.1	0.27	0.12				0.4			0.087	
<i>Ba</i>	1011	1360.02	754.56	1861.1	198	441.96	137.32	1644.3	137	174	1220.1	147	355.89	323.897	118.815
<i>La</i>	6.6	8.15	10.66	20.9	6.31	10.63	7.14	9	6.06	5.89	8	6.02	9.81	11.070	4.965
<i>Ce</i>	16.6	13.7	19.35	40.3	12.4	20.45	9.7	20.8	12.8	12.2	18.6	12.4	16.27	20.228	8.561
<i>Pr</i>	2.41	1.54	2.65	4.49	1.71	2.73	0.82	2.88	1.65	1.56	2.66	1.62	2.5	2.793	0.494
<i>Nd</i>	10.4	6.62	11.93	16.9	6.76	11.8	3.61	12.6	6.84	6.6	11	6.74	10.68	12.340	2.475
<i>Sm</i>	2.6	1.57	2.86	2.8	1.52	2.39	0.81	3	1.76	1.7	2.8	1.78	2.35	2.844	0.725
<i>Eu</i>	0.75	0.97	1.14	0.75	0.637	1.1	0.65	0.79	0.609	0.555	0.81	0.593	0.78	1.150	0.369
<i>Gd</i>	3.17	1.43	2.9	2.09	1.36	2.32	0.95	3.43	2.03	2.02	3.39	1.92	2.21	2.831	0.781
<i>Tb</i>	0.55	0.2	0.46	0.35	0.25	0.4	0.13	0.62	0.4	0.4	0.57	0.38	0.36	0.444	0.145
<i>Dy</i>	3.31	1.04	2.63	2.07	1.58	2.21	0.78	3.55	2.65	2.6	3.44	2.58	1.97	2.530	0.949
<i>Ho</i>	0.64	0.2	0.54	0.42	0.32	0.47	0.16	0.72	0.56	0.55	0.71	0.55	0.43	0.535	0.202
<i>Er</i>	2.11	0.55	1.58	1.33	0.94	1.42	0.48	2.07	1.74	1.72	2.21	1.65	1.35	1.586	0.609
<i>Tm</i>	0.31	0.07	0.23	0.23	0.142	0.21	0.06	0.35	0.268	0.268	0.35	0.26	0.21	0.224	0.091
<i>Yb</i>	2.02	0.47	1.48	1.36	0.97	1.39	0.45	2.32	1.85	1.78	2.31	1.75	1.45	1.483	0.592
<i>Lu</i>	0.32	0.06	0.23	0.26	0.153	0.22	0.07	0.35	0.287	0.282	0.37	0.281	0.24	0.231	0.102
<i>Th</i>	1	1.41	1.73	5.2	1.73	2.17	0.22	1.6	0.99	0.94	1.8	0.94	6.86	1.609	0.169
<i>U</i>	0.5	0.68	0.36	0.8	0.37	0.3	0.15	0.7	0.26	0.25	0.6	0.23	0.86	0.897	0.492
<i>V</i>	131	96	103	56	89	40.7	35	61	55	59	58	59	28	248	252
<i>Zr</i>	84.7	54	81	79.5	96	94.2	54	108.9	80	76	111.4	81	57	38	15
<i>Nb</i>	3.3	2	4	3.7	2.9	5.9	2	4.3	5.1	4.7	4.4	4.6	4	2	
<i>Hf</i>	2.8			2.5	2.2			3.5	2.1	2	3.6	2			
<i>Eu/Eu*</i>	0.8	1.99	1.22	0.95	1.36	1.44	2.28	0.76	0.99	0.92	0.81	0.99	1.05	1.25	1.51
<i>LaN/YbN</i>	2.18	11.56	4.8	10.25	4.34	5.1	10.58	2.59	2.18	2.21	2.31	2.29	4.51	4.97	5.59
<i>LaN/SmN</i>	1.56	3.19	2.29	4.59	2.55	2.74	5.42	1.85	2.12	2.13	1.76	2.08	2.57	2.39	4.21
<i>Sum REE</i>	51.79	36.57	58.64	94.25	35.05	57.74	25.81	62.48	39.5	38.12	57.22	38.52	50.61	60.3	21.07

25.1 y La/Yb=4.4-5.9. En el diagrama TAS (Middlemost, 1994) las muestras caen en el campo de los gabros y dioritas (Figura 4A), en el diagrama AFM (Irvine and Baragar, 1971) las muestras caen en el campo de las series calco-alcalinas y una muestra (LMC-353) corresponde a las series toleíticas (Figura 4B). En el diagrama de  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{K}_2\text{O}$  (Peccerillo y Taylor, 1976) las muestras varían de las series toleíticas, series calco- alcalinas hasta las series altas en  $\text{K}_2\text{O}$  (Figura 4C).

Para las muestras del Gabro de Santa Fe, el contenido de  $\text{SiO}_2$  varía entre 74.7-48.6 %; el de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , varía entre 0.78 a 13.2 %; el de  $\text{MgO}$ , varía entre 0.5-9.76 %,  $\text{Na}_2\text{O}=0.86-3.76$  %; y el de  $\text{K}_2\text{O}$ , varía entre 0.2 hasta 1.4 %; presentando valores de  $\text{Sr}=151-732$  ppm,  $\text{Y}=7-20.9$  ppm y razones  $\text{Sr/Y}=9-122$  y  $\text{La/Yb}=2.08-7.6$  afines con algunas características adakíticas (Kay and Kay, 2002). En el diagrama TAS (Middlemost, 1994), las muestras caen en el campo de los gabros, gabro-dioritas, dioritas y granitos (Figura 4A); en el diagrama AFM (Irvine y Baragar, 1971), las muestras se distribuyen en dos grupos bien definidos en la figura 4b entre muestras de las series calco-alcalinas (muestras intermedias) y las series toleíticas (muestras máficas). Por último, en el diagrama de  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{K}_2\text{O}$  (Peccerillo y Taylor, 1976), las muestras se distribuyen igualmente entre dos

grupos, entre las series toleíticas y las series calco-alcalinas (Figura 4C).

Las muestras de la Cuarzodiorita de Sabanalarga normalizadas al N-MORB (Sun y McDonough, 1989), presentan enriquecimiento en “Large Ion Lithophile elements” (LILE). En comparación con los “High Field Strength elements” HFSE y las tierras raras (REEs), con anomalías negativas de Ta, Nb-Ti y enriquecimientos en Cs, Ba y K (Figura 5A), características de magmas formados en una zona de subducción. Normalizadas al Condrito (Nakamura, 1974), las muestras presentan enriquecimiento en tierras raras livianas respecto a las tierras raras pesadas, con razones  $(\text{La/Yb})_N=3.0-3.96$  y  $(\text{La/Sm})_N=2.85-2.27$  (Figura 5B).

Las muestras del Gabro de Santa Fe normalizadas al N-MORB (Sun y McDonough, 1989), presentan enriquecimiento en LILE respecto a HFSE y las REEs, con anomalías negativas de Nb-Ti, y anomalías positivas de Ba, Cs y K (Figura 5A), afines a magmas formados en ambientes de subducción. Normalizados al Condrito (Nakamura, 1974), las muestras presentan enriquecimiento en HREE, respecto a LREEs, con valores  $(\text{La/Yb})_N=2.16-11.5$ , y  $(\text{La/Sm})_N=1.35-5.42$  (Figura 5B).

En el diagrama de clasificación Nb/Yb-Th/Yb (Pearce, 2008) se observa que tanto las muestras de la Cuarzodiorita de Sabanalarga y el Gabro de

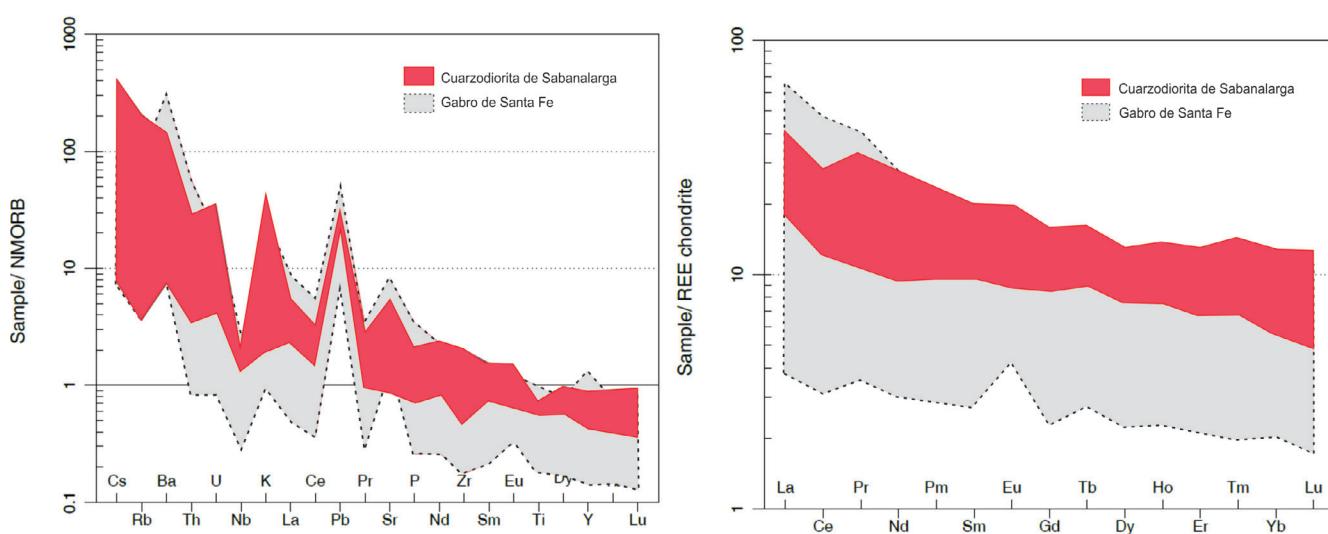


Figura 5. A. Diagrama normalizado al N-MORB (Sun & McDonough, 1989). B. Diagrama normalizado al Condrito (Nakamura, 1974).

Santa Fe presentan enriquecimiento en Th y Nb (Figura 6A), característico de magmas sometidos a proceso de interacción con corteza en ambientes de subducción (Pearce, 2008). En el diagrama de Condie y Kroner (2013), se observa que las muestras correspondientes a la Cuarzodiorita de Sabanalarga presentan altos valores  $(\text{La/Yb})_{\text{n}}$  vs Sr/Y, correspondientes a arcos continentales; mientras que las muestras del Gábro de Santa Fe se dispersan entre arcos oceánicos y arcos continentales (Figura 6B).

Además, razones  $(\text{La/Yb})_{\text{n}} = 3-3.96$  y  $\text{Sr/Y} = 14-25$  y un espesor cortical aproximado de 23-29.7 Km (Profeta *et al.*, 2015) fueron calculados para la Cuarzodiorita de Sabanalarga. Igualmente razones  $(\text{La/Yb})_{\text{n}} = 2.18-11.56$  y  $\text{Sr/Y} = 11-122$  y un espesor cortical de ca. 17-52 Km (Profeta *et al.*, 2015) fueron calculados para el Gábro de Santa Fe.

### 5.3. GEOCRONOLOGÍA

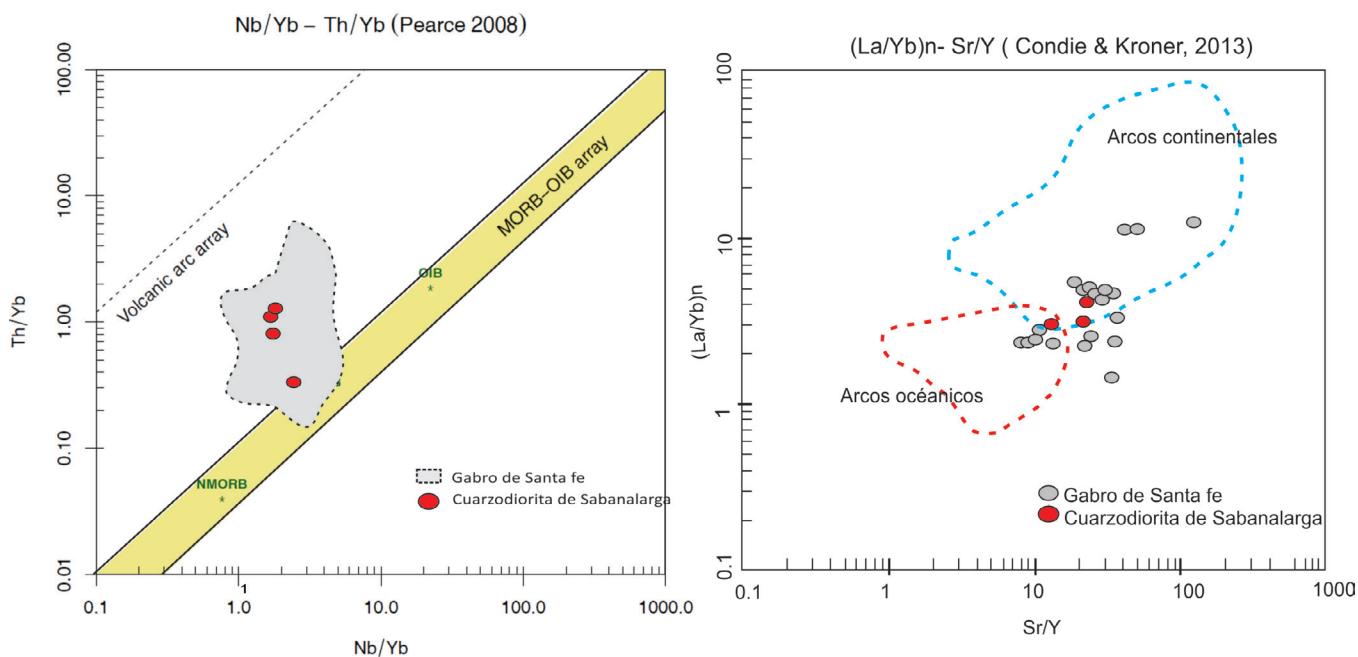
Los análisis geocronológicos fueron realizados siguiendo metodologías distintas por los grupos SGC y UERJ y su distribución espacial se puede observar en la figura 2.

En el SGC fueron analizadas 5 muestras; 2 de la Cuarzodiorita de Sabanalarga (muestras JPZ-178 y MGO-238), y 3 del Gábro de Santa Fe (muestras JPZ-121, JPZ-159A, TCR-815). El grupo de trabajo UERJ analizó 10 muestras; de las cuales, 4 corresponden a la Cuarzodiorita de Sabanalarga (WSS, W67TR, W65MT), 4 al Gábro de Santa Fe (WSF, W68SC, W64SA y WTrCa), 1 al Stock de Buriticá (WBR) (Anexo 1).

#### 5.3.1. CUARZODIORITA DE SABANALARGA

En la muestra JPZ-178 (granodiorita) se analizaron 45 circones, subhédrales a euhédrales, prismáticos alargados e incoloros, con tamaños entre 70 y 100  $\mu\text{m}$ . A pesar de la catodoluminiscencia (CL) no ser de buena resolución se observan texturas de zonación oscilatoria concéntrica, texturas de reabsorción magnéticas (Vavra *et al.*, 1999) y valores  $\text{Th/U} = 0.57-0.28$  típicos de circones magnéticos (Rubatto, 2002). La edad media ponderada de cristalización de la muestra se calculó a partir de la relación  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$   $71.6 \pm 1.2$  Ma (MSWD=1.7, n= 26; Figura 7).

En la muestra MGO-238 (granodiorita), se analizaron 53 circones subhédrales a euhédrales, pris-



**Figura 6** A. Diagrama de discriminación tectónica Nb/Yb vs Th/Yb (Pearce, 2008). B. Diagrama de discriminación  $(\text{La/Yb})_{\text{n}}$  vs Sr/Y (Condie & Kroner, 2013).

máticos alargados e incoloros, con tamaños entre 100 y 120  $\mu\text{m}$ . En imágenes de CL se observan algunas texturas de zonación oscilatoria concéntrica y texturas de reabsorción típicas de circones magmáticos (Vavra *et al.*, 1999). En el diagrama concordia Wetherill, se presentan dos poblaciones de datos: el primero alrededor de 75-80 Ma y el segundo entre 95-120 Ma (Figura 7). La edad media ponderada de cristalización se calculó  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  de  $71.5 \pm 2.4$  Ma (MSWD de 2.4, n=8). En el diagrama Concordia (Figura 7), se observan edades heredadas del segundo grupo de datos de:  $96.38 \pm 4.4$ ,  $103.68 \pm 5.2$ ,  $108.53 \pm 5.76$  y  $112.30 \pm 7.73$  Ma, correspondientes posiblemente a edades heredadas de la roca caja. Para los circones analizados entre 75-80 Ma, se obtuvieron relaciones Th/U, entre 0.29 y 0.5 asociados a circones magmáticos (Rubatto, 2002). Mientras que para las herencias ( $> 90$  Ma), se obtuvieron valores Th/U entre 0.07 y 0.043 afines con valores presentes en rocas metamórficas (Rubatto, 2002).

Las 4 muestras siguientes (WSS, W67TR, W65MT, W66HD), presentan circones ígneos euhedrales muy homogéneos y sin núcleos heredados, con tamaños entre 200 y 500 Micras (Figura 7). Los diagramas de concordia presentan dos poblaciones, una de ellas presenta elipses alargadas horizontalmente, asociados a errores mayores en la proporción  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ . La segunda población presenta elipses alargados diagonalmente con errores mayores en la proporción  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ . Los resultados de estas se describen a continuación:

En la muestra WSS (tonalita) se analizaron 18 granos de circón con tamaños entre 250 y 500  $\mu\text{m}$  y valores Th/U= 0.79-0.38, típicos de circones magmáticos (Rubatto, 2002), quince granos y permitieron calcular una edad de  $76.2 \pm 3.4$  Ma (Figura 7).

Para la muestra W67TR (tonalita), se analizaron 32 granos de circón, con tamaños que varían desde 200 hasta 400  $\mu\text{m}$ , y valores Th/U= 0.69-0.36 típicos de circones magmáticos (Rubatto, 2002). No obstante, debido a altas concentraciones de  $^{206}\text{Pb}$ , solo se consideraron los datos de 12 granos, los cuales permitieron calcular una edad de  $74.6 \pm 7.6$  Ma (Figura 7).

En la muestra W65MT (cuarzodiorita), se analizaron dieciocho granos de circón con tamaños entre 200 y 300  $\mu\text{m}$  y valores Th/U= 0.50-0.25 típicos de circones magmáticos (Rubatto, 2002). Esta muestra no presentó núcleos heredados o zircones metamórficos (Figura 7), por lo que permitió calcular una edad de  $85.4 \pm 2.4$  Ma. Incluso discordante, la edad presenta un error pequeño.

En la muestra W66HD (tonalita) se analizaron dieciocho granos de zircón, con tamaños entre 200 y 400  $\mu\text{m}$  y valores Th/U= 0.64-0.29, típicos de circones magmáticos (Rubatto, 2002); mismos que permitieron calcular una edad de  $76.7 \pm 2.4$  Ma (Figura 7). Los granos en esta muestra se presentan en dos poblaciones con errores y edades similares.

### 5.3.2. GABRO DE SANTA FE

En la muestra JPZ-121 (tonalita hornblendica) fueron analizados 54 circones subhendrales a euhedrales, prismáticos cortos e incoloros, con tamaños entre 75 y 150  $\mu\text{m}$  (Figura 8) y razones Th/U= 0.25-1.19, típicos de circones ígneos (Rubatto, 2002). El rango de dataciones obtenido varía entre 76 hasta 96 Ma en el diagrama Tera Wasserburg (Figura 8). Su edad fue calculada a partir de la relación  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  en  $79.71 \pm 0.85$  Ma (MSWD=1.09, n=18) (Figura 8).

Para la muestra JPZ-159A (tonalita), se analizaron 25 circones subhendrales a euhedrales, prismáticos e incoloros, y algunos rotos con tamaños entre 50 y 150  $\mu\text{m}$  (Figura 8). En las imágenes de CL se observa zonación oscilatoria. Las edades varían entre 86.9 a 88.3 Ma y son concordantes en el diagrama Tera Wasserburg (Figura 8). La edad media ponderada fue calculada  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  de  $86.7 \pm 1.6$  Ma (MSWD= 2.6, n= 23), con valores U/Th= 0.9-0.78; valores típicos de circones ígneos (Rubatto, 2002).

Para la muestra TCR-815 (microgabro), se analizaron 166 circones, subhendrales a anhendrales, rotos o como prismas cortos con tamaños entre 50 y 100  $\mu\text{m}$  (Figura 8). En imágenes de CL los circones presentan zonación oscilatoria. El rango de la muestra varía de 76 a 89 Ma y son concordantes en el diagrama Tera Wasserburg (Figura 8). Finalmente, su edad fue calculada  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  de

$81.86 \pm 0.61$  Ma (MSWD=1.18, n=92), y valores U/Th=0.3-1.21, valores típicos de circones ígneos (Rubatto, 2002).

Para la muestra WSF (diorita), fueron analizados 18 granos con tamaño variable entre 50 y 200  $\mu\text{m}$  y valores Th/U= 0.61-0.31, típicos de circones magmáticos, (Figura 8). Esta muestra presentó circones ígneos euhedrales, con crecimiento oscilatorio, cristalizados sin núcleos heredados y una edad  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  de  $78.4 \pm 6.4$  Ma (n=12) (Figura 8). La mayoría de los datos de este análisis fueron discordantes, debido principalmente a proporciones altas de  $^{206}\text{Pb}$ .

En la muestra W68SC (cuarzodiorita) fueron analizados 27 granos con tamaños entre 150 y 400  $\mu\text{m}$  y valores Th/U= 0.93-0.54 típicos de circones magmáticos (Rubatto, 2002), (Figura 8), de los cuales fueron concordantes 18 disparos. Presentó circones ígneos euhedrales, con crecimiento oscilatorio, bien cristalizados y sin núcleos heredados y se calculó una edad  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  de  $79 \pm 2.4$  Ma (Figura 8). Todos los análisis presentan una alta concordancia con edades semejantes (Figura 8).

En la muestra W64SA (diorita), fueron analizados 18 granos de circón, con tamaños entre 150 y 300  $\mu\text{m}$  y valores Th/U= 0.78-0.19, típicos de circones magmáticos (Rubatto, 2002; Figura 8). La muestra presentó circones ígneos euhedrales, con crecimiento oscilatorio, bien cristalizados (Vavra *et al.*, 1999) y sin núcleos heredados y una edad  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  de  $79 \pm 14$  Ma (Figura 8).

La muestra WTrCa (diorita) corresponde a una diorita con abundantes xenolitos de la Granulita de Pantanillo y cortada por diques asociadas al magmatismo terciario presente en la zona. En esta fueron analizados 19 circones con tamaños entre 100 y 300  $\mu\text{m}$  y valores Th/U= 0.82-0.29, típicos de circones magmáticos (Rubatto, 2002; Figura 8), ígneos euhedrales, con crecimiento oscilatorio, cristalizados y sin núcleos heredados y una edad  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  de  $81.4 \pm 2$  Ma.

### 5.3.2.1. STOCK DE BURITICA

La muestra WBR (tonalita) presentó una edad  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ , concordante de  $93.9 \pm 3$  Ma, con 18 granos analizados. Los granos son euhedrales, sin

núcleos heredados y tamaños entre 100 y 500  $\mu\text{m}$  y valores Th/U= 1.17-0.30 asociados a circones magmáticos (Rubatto, 2002; Figura 9). La edad obtenida fue menor, de la de 102 Ma reportada por Weber *et al.*, (2015); pero consistentemente mayor con las obtenidas en el Gabro de Santa Fe.

## 6. Discusión y conclusiones

Nuevos datos geoquímicos, geocronológicos y cartografía geológica detallada de los plutones que intruyen a ambos márgenes de la Falla Sabanalarga (Hall *et al.*, 1972; Rodríguez *et al.*, 2012a; Correa *et al.*, 2018), permitieron separar con mayores argumentos el denominado “Batolito de Sabanalarga” (González *et al.*, 1976; Álvarez y González, 1978; González, 2002; Rodríguez *et al.*, 2012a). En Cuarzodiorita de Sabanalarga y Gabro de Santa Fe, continuando la separación planteada por Nivia y Gómez (2005) hecha en base a diferencias petrográficas y relaciones de campo respecto a la definición original para el Plutón de Sabanalarga de Hall *et al.*, (1972); Álvarez *et al.*, (1975); Mejía *et al.*, (1983).

Asimismo, relaciones de campo evidenciadas durante la cartografía geológica permitieron identificar dos bloques tectónicos autónomos, intruidos por plutones de diferente composición y edad similar a ambos márgenes de la Falla Sabanalarga. Los análisis demostraron que, al este la Cuarzodiorita de Sabanalarga, un cuerpo de composición principalmente tonalita y con edades ígneas de  $76.7 \pm 2.4$ ,  $85.4 \pm 2.4$ ,  $74.6 \pm 7.6$ ,  $76.2 \pm 3.4$ ,  $71.6 \pm 1.2$ ,  $71.5 \pm 2.4$  Ma, intruye rocas metamórficas en facie esquisto verde asociadas al Complejo Cajamarca (terreno Tahami). Del mismo modo, al oeste el Gabro de Santa Fe de composición gabro-gabrodiorita y con edades ígneas de  $79.71 \pm 0.85$ ,  $86.7 \pm 1.6$ ,  $81.86 \pm 0.61$ ,  $78.4 \pm 6.4$ ,  $79 \pm 2.4$ ,  $79 \pm 14$ ,  $81.4 \pm 2$  Ma, se encuentra intruyendo rocas volcánicas básicas de ambiente oceánico de la Formación Barroso (terreno Caribe) y con algunos cuerpos de xenolitos en facie granulita de la Anfibolita de Pantanillo (Cardona, 2010; Rodríguez *et al.*, 2012), con edades de cristalización de  $87.9 \pm 1.7$ ,

## Cuarzodiorita de Sabanalarga

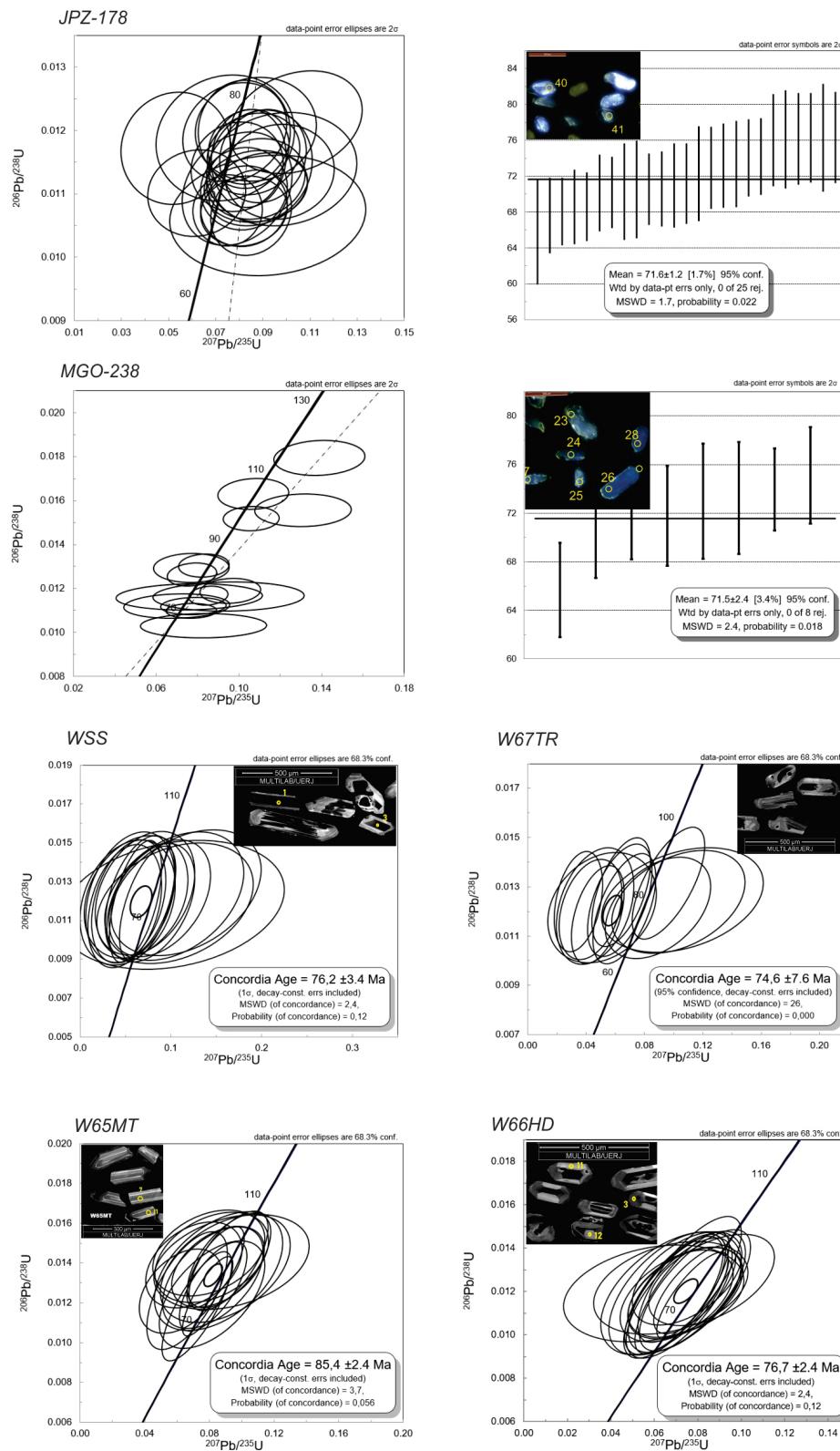
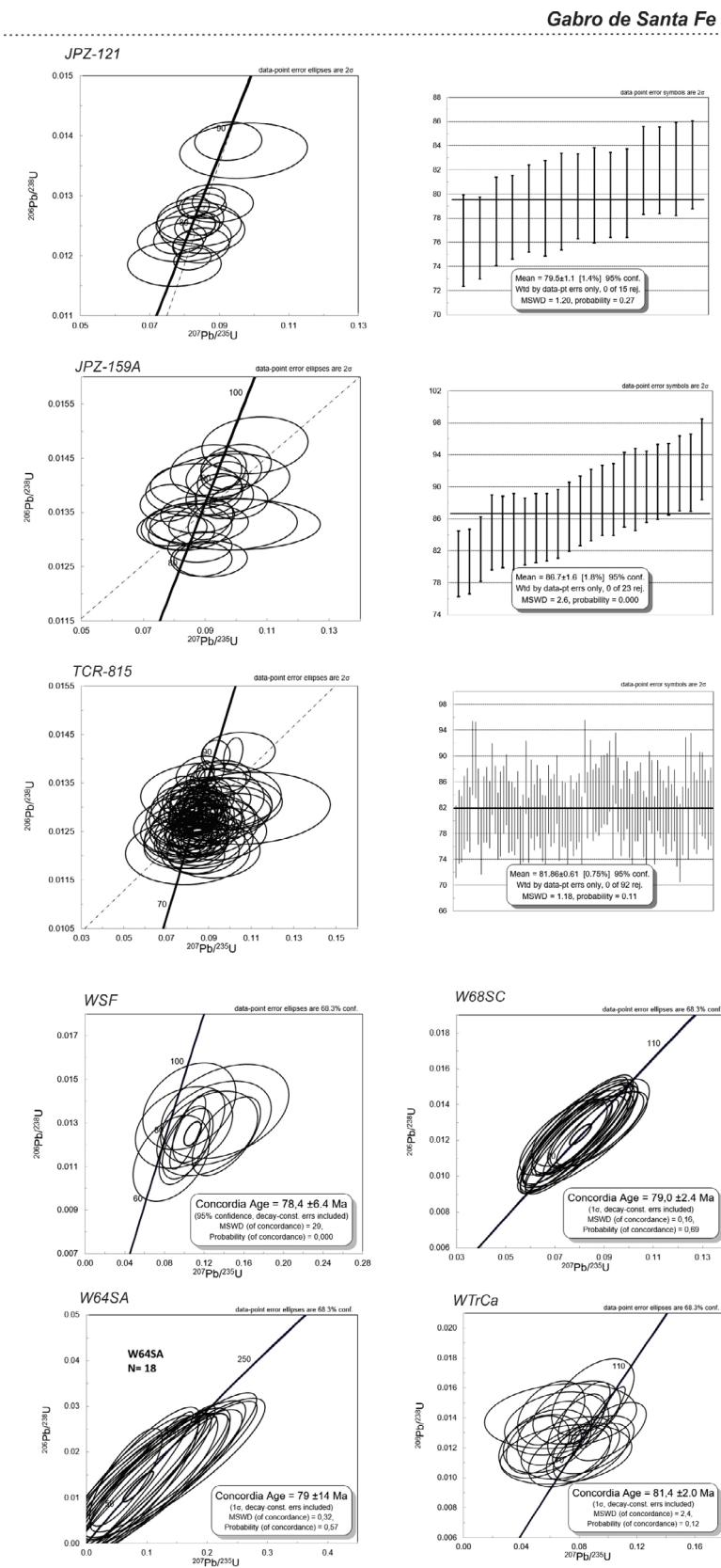


Figura 7 Edades U-Pb muestras JPZ-178, MGO-238, WSS, W67TR, W65MT, W66HD.



**Figura 8** Edades U-Pb muestras JPZ-121, JPZ-159A, TCR-815, WSF, W68SC, W64SA, WTrCa.

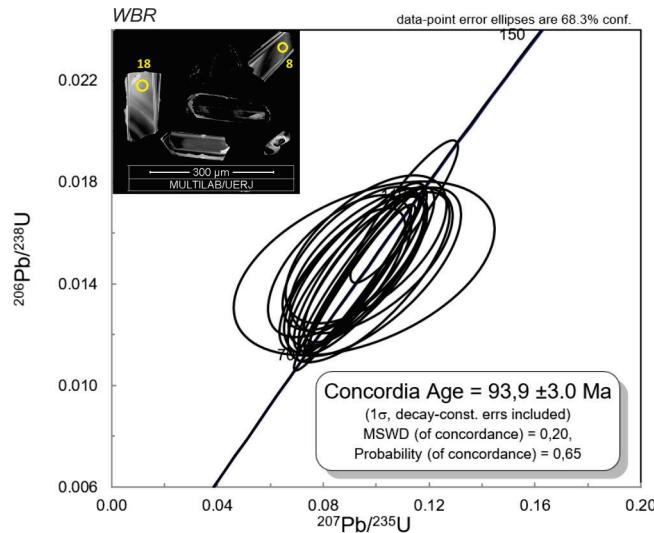


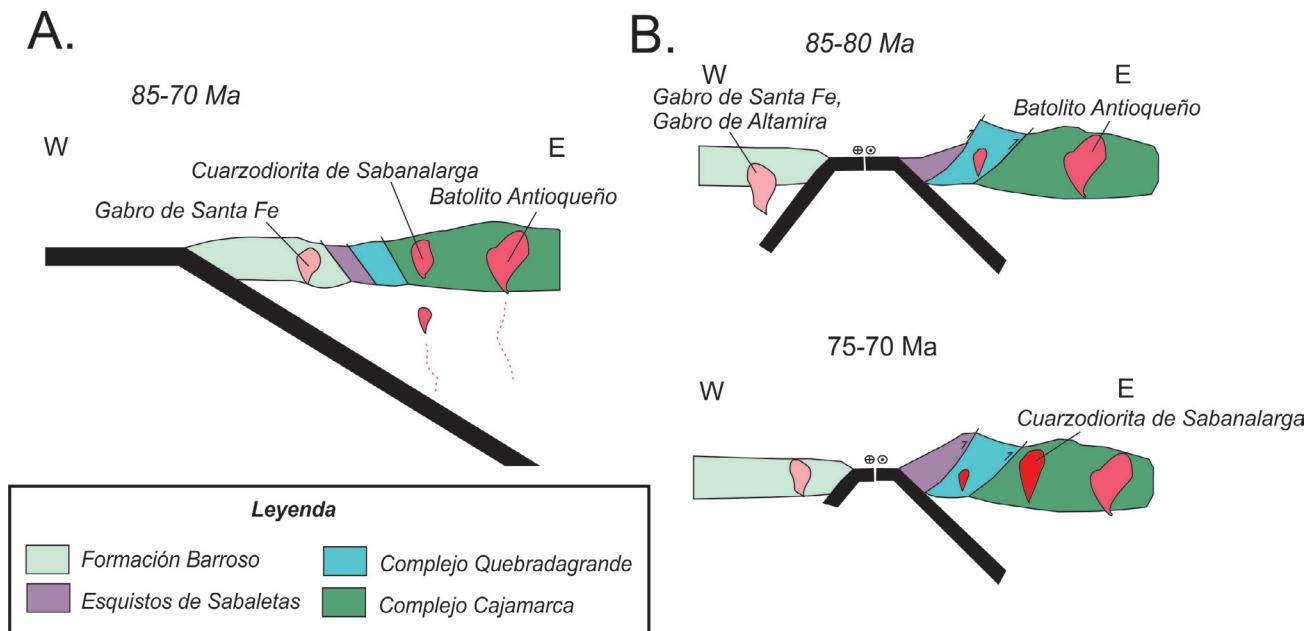
Figura 9 Edades U-Pb muestra WBR.

$84.2 \pm 0.69$  y  $80.9 \pm 1.2$  Ma (Correa *et al.*, 2018) y asociados a las raíces del arco volcánico engrosado (Toro-Toro *et al.*, 2020).

Entre ambos plutones y al interior de las trazas de la falla de Sabanalarga, se encuentran un cinturón de bloques de basaltos, esquistos, rocas ultramáficas y milonitas que varían en el grado de su deformación. Los dos intrusivos presentan anomalías de Nb-Ti, patrones de HFSE y REE en los diagramas multielementales característicos de rocas generadas en ambientes de subducción. Sin embargo, tienen algunas diferencias: la Cuarzodiorita de Sabanalarga presenta valores de Sr=78.6-504 ppm, Y=12-25 ppm y razones Sr/Y =6.5-25.1 y La/Yb=4.4-5.9 características de magmas no adakíticos; mientras tanto, el Gábro de Santa Fe presenta valores de Sr=151-732 ppm, Y=7-20.9 ppm y razones Sr/Y=9-122 y La/Yb=2.08-7.6 afines con algunas características adakíticas (Kay y Kay, 2002). Además, en el diagrama de discriminación tectónica (La/Yb)<sub>n</sub> vs Sr/Y (Condie y Kroner, 2013) de la figura 6b se observa que las rocas asociadas a la Cuarzodiorita de Sabanalarga caen en el campo de los arcos continentales; mientras que las rocas del Gábro de Santa Fe caen entre los campos de arcos oceánicos y continentales ; sugiriendo la evolución a partir de un arco inmaduro.

Las diferencias de espesor cortical, basadas en valores La/Yb y Sr/Y (Profeta *et al.*, 2015) para la Cuarzodiorita de Sabanalarga, arrojan espesores entre 23-29 km y de 17-52 Km para la corteza Gábro de Santa Fe; datos que indican que ambos plutones se emplazaron en cortezas de diferente espesor; una continental de 23-29 km (al este del SFCR) y una corteza oceánica engrosada de 15-52 km (al oeste del SFCR). En la margen oriental asociada al magmatismo tipo Batolito Antioqueño-Stock de Ovejas (Leal-Mejía, 2011; Duque-Trujillo *et al.*, 2019) y en el margen occidental asociada a la formación de granitos sobre corteza tipo Plateau en ambientes de subducción o fusión parcial de la corteza oceánica (Weber *et al.*, 2015).

Las muestras de la Cuarzodiorita de Sabanalarga presentan valores de Zr hasta 150 ppm y las del Gábro de Santa Fe presenta valores desde 25-111 ppm. El contenido de Zr en los plutones estudiados muestran que la posibilidad de que el magma sea saturado en Zr es mayor para la Cuarzodiorita de Sabanalarga; esto por estar emplazada en un ambiente continental. Mientras que para el Gábro de Santa Fe, la saturación de Zr es menor en la mayoría de las muestras: debido a su ambiente oceánico (Weber *et al.*, 2015). Las bajas cantidades de Zr en el Gábro de Santa Fe



**Figura 10** Modelos tectónicos A) Modelo de subducción con migración de la trinchera al occidente (Modificado de Rodríguez *et al.*, 2012). B) Modelo de doble subducción (Modificado de Villagómez *et al.*, 2011; Jaramillo *et al.*, 2017).

explican la dificultad para la separación de círculos presentada por las rocas de dicha unidad.

Los datos U-Pb obtenidos en este trabajo indican que ambos cuerpos cristalizaron en el Cretácico Superior. La Cuarzodiorita de Sabanalarga presenta dos grupos de edades, posiblemente correspondientes a dos pulsos: el más joven está entre 71.5 y 76.7 Ma (con una media ponderada de  $72.8 \pm 2.9$  Ma) y un dato más antiguo de 85 Ma. La morfología de cristales de circon (Giraldo, 2017) y los datos isotópicos  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.70379-0.70379$  y  $\Sigma_{\text{Nd}}=+6.58$  (Ordoñez-Carmona, 2001), permiten asociar este pulso al Stock de Altavista con  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.70292$ , 0.70456, 0.70743 y  $\Sigma_{\text{Nd}}=+7.4, +9.8, +2.6$  (Correa *et al.*, 2006).

El Gabro de Santa Fe presenta edades entre 78.4 y 81.8 Ma (con una media ponderada de  $81.0 \pm 1.4$  Ma) y una edad de  $86.7 \pm 1.6$  Ma, similares a las edades de 80 y 87 Ma de la Granulita de Pantanillo. Cuerpos satélites asociados al Gabro de Santa Fe, como el Stock de Buriticá, tienen edades U-Pb entre 93-100 Ma (Weber *et al.*, 2015). Ambos cuerpos presentan relaciones isotópicas de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.7037$  y  $\Sigma_{\text{Nd}}=+7$  (Weber *et al.*, 2015), y  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.70469$  y  $\Sigma_{\text{Nd}}=+6.67, +6.81$

(Ordoñez-Carmona, 2001), valores isotópicos primarios (Weber *et al.*, 2015).

Ambos plutones presentan una diferencia de aproximadamente 8-10 Ma en su cristalización, siendo un poco más joven los Plutones al Este de la Falla Sabanalarga y asociados a una de las primeras etapas del magmatismo del Batolito Antioqueño, entre 81-72 Ma (Stock de Ovejas) (Leal-Mejía, 2011; Duque-Trujillo *et al.*, 2019). La edad de cristalización del Gabro de Santa Fe está asociada a cuerpos intrusivos de afinidad tonalítica en el Plateau Caribe menores a 100 Ma, como el Gabro de Altamira, Granito Pujilí, el Batolito de Buga y el Batolito de Aruba (White *et al.*, 1999, Vallejo, 2007; Villagómez *et al.*, 2011; Zapata-Villada *et al.*, 2017).

La existencia de dos arcos contemporáneos podría ser explicado en base a dos modelos geológicos, una subducción única o una doble subducción tipo Molucca. El modelo de subducción única explicaría dos magmas con características distintas; esto al considerar la existencia de la trinchera al occidente de la Formación Barroso, con fusión de placa a diferentes profundidades (Rodríguez *et al.*, 2012a). Debido a la reología y composición de los materiales intruidos, al occidente el basa-

mento engrosado del Plateau Caribe y al oriente el basamento metamórfico pre-cretáceo del terreno Tahamí, es probable que se generaran magmas de diferente afinidad geoquímica (Figura 10A). En este modelo sería necesario explicar las unidades que se encuentran entre las Fallas Cauca-Oeste y Falla San Jerónimo, como los Esquistos de Sabaletas y el Complejo Quebradagrande, (Figura 10A). Las evidencias de campo, como la abstención de cornubianas y la no evidencia de intrusión de la Cuarzodiorita de Sabanalarga en los Esquistos de Sabaletas y el Complejo Quebradagrande, sugieren que estas dos unidades fueron adosados a la margen posterior a su acreción. Villagómez *et al.*, (2011) presenta evidencias de intrusiones de c.a de 80 Ma del Plutón de Córdoba sobre rocas del Complejo Quebradagrande. Sin embargo, los Esquistos de Sabaletas con edades máximas de deposición de 76 Ma (Zapata-Villada, 2018) no se observan intruidos por cuerpos cretáceos c.a 80-72 Ma; evidencia que sugiere que esta secuencia metamórfica de bajo grado no se encontraba acrecionada a la margen continental en este periodo (Figura 10A).

Por otro lado, la subducción opuesta tipo Molucca (Hall y Wilson, 2000; Zhang *et al.*, 2017) involucra la colisión de dos arcos oceánicos, sin embargo, en el Noroccidente de Suramérica comprende la colisión de un arco oceánico y arco continental, basado en reconstrucciones cinemáticas de la Placa Caribe de régimen oblicuo transpresivo (Kennan and Pindell, 2009, Villagómez *et al.*, 2011; Jaramillo *et al.*, 2017). Esta doble subducción, sugiere la existencia de una zona de subducción desarrollada al occidente sobre el Plateau Caribe y otra al oriente sobre el basamento pre-Cretácico del terreno Tahami, (Figura 10B; Vallejo *et al.*, 2006; Villagómez *et al.*, 2011; Wright and Wyld, 2011; Weber *et al.*, 2015, Jaramillo *et al.*, 2017) y permite explicar fragmentos de unidades alóctonas existentes entre ambos arcos.

Las rápidas tasas de exhumación entre 80-73 Ma del Norte de Suramérica (Villagómez y Spikings, 2013), los cambios en la sedimentación de las cuencas tras arco (Villamil, 1999; Bayona, 2018), y un cambio importante en la composición del

magmatismo del arco continental en la Cordillera Central c.a 73 Ma (Jaramillo *et al.*, 2017), sugieren una colisión de un arco oceánico y un arco continental (Jaramillo *et al.*, 2017, Pardo-Trujillo *et al.*, 2020). Además, el registro estratigráfico y proveniencia de parte del Miembro Urrao, que suprayase facies vulcanoclasticas de la Formación Barroso, es también coetáneo con la colisión de ambos arcos (Pardo-Trujillo *et al.*, 2020).

Finalmente, a pesar de los grandes avances en geología regional, trabajos estratigráficos y geocronología U-Pb en los últimos años, la poca cantidad de evidencias estructurales, la escasa información isotópica de intrusivos a ambos lados la Falla Sabanalarga o Falla Cauca Oeste (SFCR) y la perdida de kilómetros de corteza producto del régimen transpresivo oblicuo del Cretáceo (Kennan and Pindell, 2009, Moreno- Sanchez *et al.*, 2016) hacen necesario trabajos más rigurosos en el área de estudio para poder establecer un único escenario tectónico posible.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Servicio Geológico Colombiano, el fondo CAPES (Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior), FAPERJ (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro) y la Universidad del Estado de Rio de Janeiro. Un agradecimiento especial por el apoyo en campo a Francy Ortiz, Tomas Correa, Angela Viviana Rincón, Faustino Mosquera, Manuel Castro (Grupo de Cartografía 1:50.000 del Grupo de Estudios Geológicos Especiales, Medellín), y a la Universidad Nacional de Colombia, particularmente a los profesores Oswaldo Ordóñez y Jorge Julián Restrepo.

## Referencias

- Álvarez, E. y González, H. 1978, Geología y geoquímica del Cuadrángulo I-7 Urrao, Mapa escala 1:100.000: Medellín, INGEOMINAS, 347 p.  
Álvarez, J., Rico, H., Vásquez, H., Hall, R., Blade,

- L, 1975, Geological map of the Yarumal Quadrangle (H-8) and part of the Ituango Quadrangle (H-7), Escala 1:100.000, Bogotá, Colombia. INGEOMINAS.
- Barrera, D., 1979, Geology of the Central Western Cordillera, west of Buga and Roldanillo, Colombia: Publicaciones Geologicas Especiales del Ingeominas, 4, 1–75.
- Bayona, G., Cardona, A., Jaramillo, C., Mora, A., Montes, C., Valencia, V., Ayala, C., Montenegro, O., Ibañez, M., 2012. Early Paleogene magmatism in the northern Andes: insights on the effects of Oceanic Plateau–continent convergence: *Earth and Planetary Science Letters*, 331–332, 97–111. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2012.03.015>
- Bayona, G., 2018, El inicio de la emergencia en los Andes del norte: una perspectiva a partir del registro tectónico-sedimentológico del Coniaciano al Paleoceno: *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Fisicas y Naturales*. 42 (165), 364–378. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.632>
- Blanco-Quintero , I., García-Casco, A., Toro, L., Moreno, M., Ruiz, E., Vinasco, C., Cardona, A., Lázaro, C., Morata, D., 2014, Late Jurassic terrane collision in the northwestern margin of Gondwana (Cajamarca Complex,eastern flank of the Central Cordillera, Colombia): *International Geology Review*, 56 (15), 1852–1872. <https://doi.org/10.1080/00206814.2014.963710>
- Botero, A., 1963, Contribución al conocimiento de la geología de la zona central de Antioquia: *Anales Facultad de Minas* , Medellín, Colombia, 101 p.
- Bustamante, C., Cardona, A., Archanjo, C.J., Bayona, G., Lara, M., Valencia, V., 2016, Geochemistry and Isotopic Signatures of Paleogene Plutonic and Detrital Rocks of the Northern Andes of Colombia: a Record of Post-collisional Arc Magmatism: *Lithos*, 277, 199–209. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2016.11.025>
- Bustamante, A., Juliani, C., Hall, C.M., Essene, E.J. 2011.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  ages from blueschists of the Jambaló región, Central Cordillera of Colombia: Implications on the styles of accretion in the Northern Andes: *Geologica Acta*, 9, 351–362. <https://doi.org/10.1344/105.000001697>
- Aiglsperger, T., Proenza, J.A., Zaccarini, F., Labrador, M., Navarro-Ciurana, D., 2011, Looking for needles in a haystack: how to find PGM in laterites by using hydroseparation techniques: *Revista de La Sociedad Española de Mineralogía*, 15, 23–24.
- Buchs, D., Kerr, A.C., Brims, J.C., Zapata-Villada, J.P., Correa-Restrepo, T., Rodríguez, G., 2018. Evidence for subaerial development of the Caribbean oceanic plateau in the Late Cretaceous and palaeo-environmental implications: *Earth and Planetary Science Letters*, 499, 62–73. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2018.07.020>
- Cardona, J.D., 2010, Análisis petrográfico de rocas metamórficas al noroccidente de Santa Fe de Antioquia en el llamado Batolito de Sabanalarga al occidente de la falla Cauca Almaguer: Medellín, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Tesis de Grado, 72p.
- Castro, N., Feininger,T., 1965, Geología en la región entre Buriticá y Santa Fe de Antioquia, Con especial referencia a la geología económica de un cuerpo andesítico. INGEOMINAS, Medellín, Informe Interno, 37 p.
- Cediel, F., Shaw, R., Caceres, C., 2003, Tectonic Assembly of the Northern Andean block,in The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon Habitats, Basin Formation and Plate Tectonics: *AAPG Bulletin*, 79, 815 – 848. <https://doi.org/10.1306/M79877C37>
- Chemale, F., Kawashita, K., Dussin, I. A., Nunes Avila, J., Justino, D., Bertotti, A., 2012, U-Pb zircon in situ dating with LA-MC-ICP-MS using mixed detector configuration: *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, 84 (2), 275–295.<https://doi.org/10.1590/s0001-37652012005000032>
- Cochrane, R., 2013, U-Pb thermochronology, geochronology and geochemistry of NW South America: rift to drift transition, active

- margin dynamics and implications for the volume balance of continents: University of Geneva, Switzerlan, Thése de doctorat, 191 p. 10.13097/archive-ouverte/unige:30029
- Correa M., A.M., Pimentel, M., Restrepo, J.J., Nilson, A., Ordoñez, O., Martens, U., Laux, J.E., Junges, S., 2006, U-Pb zircon ages and Nd-Sr isotopes of Altavista Stock and the San Diego Gabbro: New insights of Cretaceous arc magmatism in the Colombian Andes, en V SSAGI: Punta del Este, Uruguay.
- Correa, T., Zapata-Villada., J., P., Rincón, A., Obando, M., Ortiz, F., Rodríguez, G., 2017, Edades U-Pb y Ar-Ar obtenidas durante la cartografía 1:50.000 del borde occidental de la Plancha 130, Santa Fe de Antioquia, en XVI Congreso Colombiano de Geología: Santa Marta, Colombia. Abstract, 1223-1228.
- Correa, T., Obando, M., Zapata- Villada, J., Rincón, A., Ortiz, F., Rodríguez, G., Cetina, L., 2018, Geología del borde Occidental de la plancha 130 Santa fe de Antioquia, Escala 1:50,000: Medellín, Servicio Geológico Colombiano, Memoria Explicativa, 552 p. <https://doi.org/10.32685/10.143.2018.754>
- Condie, K.C.,Kröner, A., 2013, The building blocks of continental crust: evidence for a major change in the tectonic setting of continental growth at the end of the Archean: *Gondwana Research*, 23, 394-402. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2011.09.011>
- Coyner, S.J., Kamenov, G.D., Mueller, P.A., Rao, V., and Foster, D.A., 2004, FC-1: a zircon reference standard for the determination of Hf isotopic compositions via laser ablation ICP-MS, en American Geophysical Union, Fall Meeting: San Francisco, USA.
- Castro, A., 2014, The Off-Crust Origin of Granite Batholiths, *Geoscience Frontiers*, 5, 63 -75. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2013.06.006>
- Duque-Trujillo, J., Bustamante,C., Solari, L., Gómez-Mafla, A., Toro-Villegas, G., Hoyos, S., 2019, Reviewing the Antioquia batholith ans satellite bodies: a record of Late Cretaceous to Eocene syn- to post-collisional arc magmatism in the central Cordillera of Colombia: Andean Geology 46 (1), 82-101. <https://doi.org/10.5027/andgeov46n1-3120>
- Flórez,J., Valencia, A, 2006, Cartografía geológica de 137 km<sup>2</sup> entre los municipios de Santa Fe de Antioquia y Olaya, Departamento de Antioquia: Colombia, Bogotá, D.C. Universidad Nacional de Colombia. Tesis de grado.
- Etayo, F., González, H., Álvarez, J., 1980, Med Albian ammonites from northern Western Cordillera, Colombia: *Geología Norandina*, 2, 25-30.
- Giraldo, W., 2017, Novas idades U-Pb (LA-ICP-MS) de rochas granitoides na região de Sabanalarga (Colômbia) e sua correlação com a evolução da Placa do Caribe: Rio de Janeiro, Brasil, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Tesis de Grado M. Sc, 90 p.
- González, H., Londoño, A.C., 2002, Catálogo de las unidades litoestratigráficas de Colombia, Batólito de Sabanalarga, Cordillera Occidental departamento de Antioquia, INGEOMINAS: Medellín, Informe técnico, 12 p.
- González, H., Restrepo, J.J., Toussaint, J.F., Linares E., 1976, Edad radiométrica K-Ar del Batolito de Sabanalarga : Publicación Especial de Geología, 8, 1-5.
- González H., Londoño, C. 1998, Edades K-Ar en algunos cuerpos plutónicos del Graben Cauca-Patía y norte de la Cordillera Occidental: *Geología Colombiana*, 23, 117-131. <https://doi.org/10.15446/gc>
- Gómez, J., Nivia, A., Montes, N.E., Jimenez, D.M., Tejada, M.L., Sepulveda, J., Osorio, J.A., Gaona, T., Diederix, H., Uribe, H., Mora, M., 2007, Geological map of Colombia, Escala 1:1'000.000: Bogotá, INGEOMINAS, 2 p.
- Guiral,J., Rincón,J., Ordoñez, O., 2015, Geología de la porción sur del Batolito de Sabanalarga, Implicaciones para la teoría de terrenos al occidente de Colombia: *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 38, 41 – 48. <https://doi.org/10.15446/rbct.n38.46367>

- Geoestudios-Ingeominas, 2005, Complementación geológica, geoquímica y geofísica de la parte occidental de las planchas 130 Santa Fé de Antioquia y 146 Medellín Occidental. Escala 1:100,000: INGEOMINAS, Informe técnico, 276 p.
- Gómez, J., Montes N. E., Nivia, Á., Diederix, H., 2015, Mapa Geológico de Colombia 2015, Escala 1:500,000: Bogotá, Servicio Geológico Colombiano, 2 p.
- Hall, R.; Álvarez, J.; Rico, P., 1972, Geología de los departamentos de Antioquia y Caldas (Sub-zona IIA): Bol, Geol, Ingeominas, 20 (1), 85 p.
- Hall, R., Wilson, M.E.J., 2000, Neogene sutures in eastern Indonesia: Journal Asian Earth Sciences, 18 (6), 781–808. [https://doi.org/10.1016/s1367-9120\(00\)00040-7](https://doi.org/10.1016/s1367-9120(00)00040-7)
- Ibáñez Mejía, M., Tassinari, C.C.G., Jaramillo, J.M., 2007, U-pb Zircon Ages of the Antioquian Batholith: Geochronological Constraints of Late Cretaceous Magmatism in the Central Andes of Colombia, en XI Congreso Colombiano de Geología: Bucaramanga, 11 p.
- Irvine, T.N., Baragar, W.R. 1971, A guide to chemical classification of the common volcanic rocks: Canadian Journal of Earth Sciences 8, 523-548. <https://doi.org/10.1139/e71-055>
- Jaramillo, J.S., Cardona, A., León, S., Valencia, V., Vinasco, C., 2017. Geochemistry and geochronology from Cretaceous magmatic and sedimentary rocks at 6°35'N, western flank of the Central cordillera (Colombian Andes): Magmatic record of arc growth and collision: Journal of South American Earth Sciences, 76, 460-481. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.04.012>
- Jackson, S.E., Pearson, N.J., Griffin, W.L., Belousova, E.A., 2004, The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U-Pb zircon geochronology: Chemical Geology, 211, 47– 69. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2004.06.017>
- Jones, D. L., Cox, A., Coney, P., Beck, M., 1982, The growth of western North America: Scientific America, 247, 70-84.
- Kay, R.W., Kay, S.M., 2002, Andean adakites: three ways to make them: Acta Petrologica Sinica, 18(3), 303-311.
- Kennan, L., Pindell, J., 2009, Dextral shear, terrane accretion and basin formation in the Northern Andes: best explained by interaction with a Pacific-derived Caribbean Plate? In: James, K.H., Lorente, M.A., Pindell, J.L. (Eds.), The Origin and Evolution of the Caribbean Plate: Geological Society of London, Special Publications 328, 487–531 <https://doi.org/10.5724/gcs.07.27.0649>
- Leal-Mejía, H., 2011, Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: A Tectono-Magmatic approach: Barcelona, España, Universidad de Barcelona, PhD thesis, 1000 p.
- Ludwig, K. R., 2000, Decay constant errors in U–Pb concordia–intercept ages: Chemical Geology, 166, 315–318. [https://doi.org/10.1016/s0009-2541\(99\)00219-3](https://doi.org/10.1016/s0009-2541(99)00219-3)
- Ludwig, K.R., 2012, User's Manual for Isoplot 3.75-4.15, A Geochronological Toolkit Microsoft Excel, Berkeley Geochronology Center, Special Publication, 75p.
- Maya, M., González, H., 1995, Unidades Litodémicas de La Cordillera Central de Colombia: Boletín Geológico, 35 (2-3), 43-57. <https://doi.org/10.32685/10.143.1995.708>
- Moreno-Sánchez, M., Pardo-Trujillo, A., 2003, Stratigraphical and sedimentological constraints on western Colombia: implications on the evolution of the Caribbean Plate. The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: hydrocarbon habitats, basin formation and plate tectonics. C. Bartolini, R. T. Buffler and J.F. Blickwede: American Association of Petroleum Geologist, Memoir 79, 891-924. <https://doi.org/10.1306/M79877C40>
- Mora-Bohórquez, J. A., Ibáñez-Mejía, M., Oncken, O., de Freitas, M., Vélez, V., Mesa, A., Serna, L., 2017, Structure and age of the Lower Magdalena Valley basin basement,

- northern Colombia: New reflection-seismic and U-Pb-Hf insights into the termination of the central andes against the Caribbean basin: *Journal of South American Earth Sciences*, 74 , 1-26. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.01.001>
- Moreno-Sánchez, M., Hincapié, J., Ossa, M., Augusto, C., Toro Toro, L.M., 2016, Caracterización geológico-estructural de algunas zonas de cizalla en el Complejo Quebradagrande en los alrededores de Manizales y Villamaría: *Boletín de Geología*, 38 (4), 15-27. <https://doi.org/10.18273/revbol.v38n4-2016001>
- Middlemost, E., 1994, Naming materials in the magma/igneous rock system: *Earth-Science Reviews*, 37, 215-224. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(94\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0012-8252(94)90029-9)
- Mejía, M., Álvarez, E., González, H., Grosse, E., 1983, Mapa Geológico de Plancha 146 Medellín Occidental, Escala 1:100,000: Bogotá, INGEOMINAS, Mapa.
- Nakamura, N., 1974, Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites: *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 38, 757-775. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(74\)90149-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(74)90149-5)
- Nivia, A., Gómez, J., 2005, 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 X Congreso Colombiano de Geología, Bogotá, Colombia, 11 p.
- Ordoñez, O., Pimentel, M., Laux, J.H., 2008, Edades U-Pb del Batolito Antioqueño: *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 1 (22), 129-130.
- Ordoñez-Carmona, O., 2001, Caracterización isotópica Rb-Sr e Sm-Nd dos principales eventos magmáticos nos andes colombinos: Brasilia-DF, Brasil, Universidad de Brasilia, Tese de doutorado, 177 p.
- Ordoñez-Carmona, O., Pimentel, M. M., 2002, Rb-Sr and Sm-Nd isotopic study of the Puquí complex, Colombian Andes: *Journal of South American Earth Sciences*, 15 (2), 173-182 [https://doi.org/10.1016/s0895-9811\(02\)00017-2](https://doi.org/10.1016/s0895-9811(02)00017-2)
- Paton, C., Woodhead, J.D., Hellstrom, J.C., Hergt, J.M., Greig, A., Maas, R., 2010, Improved laser ablation U-Pb zircon geochronology through robust downhole fractionation correction: *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 11(3), 1-36. <https://doi.org/10.1029/2009gc002618>
- Pardo-Trujillo, A., Cardona, A., Giraldo, A.S., León, S., Vallejo, D.F., Trejos-Tamayo, R., Plata, A., Ceballo, J., Echeverry, S., Barbosa-Espitia, A., Slattery, J., Salazar-Ríos, A., Botello, G.E., Celis, S.A., Osorio-Granada, E., Giraldo-Villegas, C.A., 2020, Sedimentary record of the Cretaceous–Paleocene arc-continent collision in the northwestern Colombian Andes: Insights from stratigraphic and provenance constraints: *Sedimentary Geology*, 410, 105627. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2020.105627>
- Peña-Urueña, M.L., Muñoz-Rocha, J.A., Urueña, C.L., 2018, Laboratorio de Geocronología en el Servicio Geológico Colombiano: avances sobre datación U-Pb en circones mediante la técnica LA-ICP-MS: *Boletín Geológico*, 44, 39-56. <https://doi.org/10.32685/0120-1425/boletingeo.44.2018.7>
- Pecerillo, A., Taylor, S. R., 1976, Geochemistry of Eocene Calc-alkaline volcanic rocks from Kastamonir area, Northern Turkey: Contributions to Mineralogy and Petrology, 58, 63-81. <https://doi.org/10.1007/bf00384745>
- Pearce, J.A., 2008, Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust: *Lithos*, 100, 14-48. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.06.016>

- Pindell, J., Kennan, L., Maresch, W. V., Stanek, K., Draper, G., Higgs, R., 2005, Plate kinematics and crustal dynamics of circum Caribbean arc continent interactions: Tectonic controls on basin development in proto-Caribbean margins: Special Paper Geological Society of America, 394, 7–52. <https://doi.org/10.1130/0-8137-2394-9.7>
- Profeta, L., Ducea, M.N., Chapman, J.B., Paterson, S.R., Henriquez-Gonzales, S.M., Kirsch, M., Petrescu, L., DeCelles, P.G., 2015, Quantifying crustal thickness over time in magmatic arcs: Scientific Reports, 5: 17786, 1-7. <https://doi.org/10.1038/srep17786>
- Rubatto, D., 2002, Zircon trace element geochemistry: distribution coefficients and the link between U–Pb ages and metamorphism: Chemical Geology, 184, 123–138. [https://doi.org/10.1016/s0009-2541\(01\)00355-2](https://doi.org/10.1016/s0009-2541(01)00355-2)
- Restrepo, J.J., Toussaint, J.F., 1975, Edades radiométricas de algunas rocas de Antioquia, Colombia: Publicación Especial Geológica, 6, 24p.
- Restrepo, J.J., Ordoñez-Carmona, O., Martes, U., Correa, A. M., 2009, Terrenos , complejos y provincias en la Cordillera Central de Colombia, en XII Congreso Colombiano de Geología: Paipa, Boyacá, 1-16.
- Rodríguez, G., Arango, M.A., Bermúdez, J.G., 2012a, Batolito de Sabanalarga, plutonismo de arco en la zona de sutura entre las cortezas oceánica y continental de los Andes del Norte: Boletín Ciencias Tierra, 32, 81-98.
- Rodríguez, G., González, I., Restrepo, J.J., Martens, U., Cardona, F., David, J., 2012b, Ocurrence of granulites in the northern part of the Western Cordillera of Colombia: Boletín de Geología, 34, 37–53.
- Rodríguez, G., González, H., Zapata, G., Cossío, U., Correa , A., 2016, Geología de la plancha 147 Medellín Oriental, escala 1:5000: Servicio Geológico Colombiano, Memoria explicativa, 464p. <https://doi.org/10.32685/10.143.2016.501>
- Rodríguez, G., Zapata, G. 1995, Exploración de metales base (Cu - Pb - Zn) y oro en una faja al oeste del Municipio de Ituango: Medellín, INGEOMINAS, Informe 2186, 49 p.
- Rodríguez, G., Arango, M.A., 2013, Barroso Formation: a Tholeiitic volcanic arc and San Jose de Urama diabases: a T-MORB Type accretionary prism in the northern segment of Western Cordillera of Colombia: Boletín Ciencias la Tierra 33, 17-38.
- Simon, E.J., Pearson, N.J., Griffin, W.L., Belousova, E.A., 2004, The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U–Pb zircon geochronology: Chemical Geology, 211(1–2), 47-69. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2004.06.017>
- Sláma, J., Košler, J., Condon, D.J., Crowley, J.L., Gerdes, A., Hanchar, J.M., Horstwood, M.S.A., Morris, G.A., Nasdala, L., Norberg, N., Schaltegger, U., Schoene, B., Tubrett, M.N., Whitehouse, M.J., 2008, Plešovice zircon - A new natural reference material for U–Pb and Hf isotopic microanalysis: Chemical Geology, 249 (1-2), 1-35. doi: 10.1016/j.chemgeo.2007.11.005. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2007.11.005>
- Spikings, R., Cochrane, R., Villagómez, D., Van der Lelij, R., Vallejo, C., Winkler, W., Beate, B., 2015, The geological history of northwestern south America: from pangaea to the early collision of the caribbean large igneous province (290-75 Ma): Gondwana Research, 27, 95-139. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2014.06.004>
- Stacey, J.S., Kramers, J.D., 1975, Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model: Earth and Planetary Science Letters, 26(2), 207-221. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(75\)90088-6](https://doi.org/10.1016/0012-821X(75)90088-6)
- Sun, S., McDonough, W., 1989, Chemical and isotropic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Magmatism in ocean basin: Geological Society Special Publication, 42,

- 313-345. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1989.042.01.19>
- Suter, F., Sartori, M., Neuwerth, R., Gorin, G., 2008, Structural imprints at the front of the Chocó-Panamá indenter: Fiel data from the North Cauca alley Basin, Central Colombia: Tectonophysics, 460, 134-157. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2008.07.015>
- Toro-Toro, L.M., Vallejo, D., Salazar-Ríos, André., Murcia, H., Osorio-Ocampo, S., García-Arias, M., Arredondo, C., 2020, Granulite rocks at the Western Cordillera of Colombia: Evidence of metamorphism in the Colombian Caribbean oceanic plateau: Journal of South American Earth Sciences, 101, 102632. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102632>
- Toussaint, J., Restrepo, J., 1978, Edad Cretácea de una anfibolita granatifera de Pijao-Quindío: Boletín Ciencia de la Tierra, 17, 1.
- Vallejo, C., Spikings, R.A., Luzieux,L., Winkler,W., Chew, D., Page, L., 2006, The early interaction between the Caribbean Plateau and the NW South American Plate: Terra Nova, 18(4), 264–269. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.2006.00688.x>
- Villagómez, D., Spikings, R., Magna, T., Kammer, A., Winkler, W., Beltran, A., 2011, Geochronology, geochemistry and tectonic evolution of the Western and Central cordilleras of Colombia: Lithos, 125, 875 - 896. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2011.05.003>
- Villagómez, D., Spikings, R., 2013, Thermochronology and tectonics of the central and western cordilleras of Colombia: early cretaceous- tertiary evolution of the northern Andes: Lithos 168, 228-249. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2012.12.008>
- Villamil, T., 1999, Campanian–Miocene tectonostratigraphy, depocenter evolution and basin development of Colombia and western Venezuela: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 153, 239–275. [https://doi.org/10.1016/s0031-0182\(99\)00075-9](https://doi.org/10.1016/s0031-0182(99)00075-9)
- White, R.V., Tarney, J., Kerr, A.C., Saunders, A.D., Kempton, P.D., Pringle, M.S., Klaver, G.T., 1999, Modification of an oceanic plateau, Aruba, Dutch Caribbean: Implications for the generation of continental crust: Lithos, 46, 43-68. [https://doi.org/10.1016/s0024-4937\(98\)00061-9](https://doi.org/10.1016/s0024-4937(98)00061-9)
- Weber, M., Gomez-Tapias, J., Duarte, E., Cardona, A., Vinasco-Vallejo, C.J., 2011, Geochemistry of the Santa Fe Batholith, in NW Colombia: Remnant of an accreted Cretaceous arc, en Memorias XIV Congreso Latinoamericano de Geología: Medellín, Colombia, 128-129.
- Weber, M., Gómez-Tapias, J., Cardona, A., Duarte, E., Pardo-Trujillo, A., Valencia, V.A., 2015, Geochemistry of the Santa Fe batholith and buriticá tonalite in NW Colombia - evidence of subduction initiation beneath the colombian caribbean plateau: Journal of South America Earth Science, 62, 257-274. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2015.04.002>
- Wright, J.E., Wyld, S. J., 2011, Department of Geology, University of Georg Late Cretaceous subduction initiation on the eastern margin of the Caribbean-Colombian Oceanic Plateau: One Great Arc of the Caribbean: Geophere, 7 (2), 468-493. <https://doi.org/10.1130/ges00577.1>
- Wetherill, G. W., 1956, Discordant uranium–lead ages: Transactions of the American Geophysical Union, 37, 320–326. <https://doi.org/10.1029/tr037i003p00320>
- Wiedenbeck, M., Allé, P., Corfu, F., Griffin, W., Meier, M., Oberli, F., von Quadt, A., Roddick, J.C. and Spiegel W., 1995, Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses: Geostandards Newsletter, 19, 1–23. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908x.1995.tb00147.x>
- Wiedenbeck, M., Hanchar, J.M., Peck, W.H., Sylvester, P., Valley, J., Whitehouse, M., Kronz, A., Morishita, Y., Nasdala, L., Fiebig,

- J., Franchi, I., Girard, J.P., Greenwood, R.C., Hinton, R., Kita, N., Mason, P.R.D., Norman, M., Ogasawara, M., Piccoli, P.M., Rhede, D., Satoh, H., Schulz-Dobrick, B., Skår, Ø., Spicuzza, M.J., Terada, K., Tindle, A., Togashi, S., Vennemann, T., Xie, Q., Zheng, Y.F. 2004, Further characterisation of the 91500 zircon crystal: Geostandards and Geoanalytical Research, 28(1), 9-39. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.2004.tb01041.x>.
- Zapata, S., 2015, Mesozoic evolution of Colombia Central Cordillera: From extensional tectonics to volcanic arc settings: Medellín, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, Thesis MSc, 1-48 p.
- Zapata, S., Cardona, A., Jaramillo, J. S., Patiño, A., Valencia, V., León, S., Mejía, D., Pardo-Trujillo, A., Castaleda, J.P., 2018, Cretaceous extensional and compreessional tectonics in the Northwestern Andes, prior to the collision with the Caribbean oceanic plateau: *Godwana Research*, 66, 207-226. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2018.10.008>
- Zapata, J., Correa, T., Obando, M., Rincón, A., Ortiz, F., Rodríguez, G., 2017, Redefinición cronoestratigráfica del Batolito de Sabanalarga, en Congreso Colombiano de Geología 16 y Simposio de Exploradores, 3, Santa Marta, Colombia, 1472-1477.
- Zapata-Villada, J.P., Restrepo, J.J., Cardona A., Martens, U., 2017, Geoquímica y geocronología de las rocas volcánicas básicas y el gabro de Altamira, Cordillera Occidental(Colombia): registro de ambientes de Plateau y arco oceánico superpuestos durante el Cretácico. *Boletín de Geología*, 39 (2), 13-30. <https://doi.org/10.18273/revbol.v39n2-2017001>
- Zapata-Villada, 2018, Registro magmático y metamórfico en una zona de colisión Cretácea en la margen occidental de la Cordillera Central: Implicaciones tectónicas en los Andes del Norte: Medellín, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, Tesis de Maestría, 52p.
- Zhang, Q., Guo, F., Zhao, L., Wu, Y., 2017, Geodynamics of divergent double subduction: 3-D numerical modeling of a Cenozoic example in the Molucca Sea region, Indonesia: 3-D numerical modeling of DDS: *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 122 (5), 3977-3998. <https://doi.org/10.1002/2017JB013991>

## Anexo 1. Resultados isotópicos U-Pb en circones.

## Anexo 1. (Continuación) Resultados isotópicos U-Pb en circones.

Spot number	<i>Pb</i> ppm	<i>Th</i> ppm	<i>U</i> ppm	Isotope ratios			Ages (Ma)													
				207Pb/ 235U	1 s [%]	206Pb/ 238U	1 s [%]	206Pb/ 206Ra	1 s [%]	206Pb/ 238U	1 s [%]	207Pb/ obs	1 s [%]	206Pb/ obs	1 s [%]	%	Conc			
65MT/01 A	0.09808907	2.12006103	81.7021362	0.502716558	1.62, 5.2127	0.301369857	27.91233792	0.07054733	2.38U	0.15, 38957	10.6J	Rho	0.36752139	26.95899332	88.9780101	9.12781961	63.2187041	19.3205872	-148.00719	-15.60599
65MT/02 A	0.19743526	1.02919888	31.629594	55.6689382	1.77, 22.891	19.71/31.013	0.01435274	0.079548672	28.786226	0.0443386	12.463261	7.5, 1690111	0.0443386	12.463261	7.5, 1690111	0.0577672	11.447864	-91.1856159	-32.489763	
65MT/03 A	0.12835356	1.57037298	45.0626995	121.4838345	0.33703574	0.079548672	28.786226	0.01435274	0.03975881	27.0657603	9.38719547	9.010328243	77.7205689	22.3728004	9.366, 50087	9.9, 223313	-26.33326	-25.33326		
65MT/04 A	0.11050475	1.25141951	40.3344791	102.3533196	0.394075151	0.06630391	24.8132675	0.01261531	15.4740541	0.62326102	0.13811588	19.3972335	80.18418024	12.50533263	65.1859486	16.1747638	-47.6, 94954	-92.514921		
65MT/05 A	0.08994759	2.25078473	75.505137	167.417623	0.4509998	0.0835703	13.9546954	0.01368054	9.7656405	6.69986169	8.3811686	8.63098724	81.1683487	11.3989023	11.3989023	-16.94409	-16.94409			
65MT/06 A	0.08994759	1.409181	51.2680843	121.277617	0.42727332	28.4703399	0.01428113	10.4942991	0.3666016	3.3662016	9.4108976	9.59285071	79.4336216	26.6167338	-70.51961	-70.51961	-30.31186	-30.31186		
65MT/07 A	0.12072555	1.409181	29.6994463	109.671476	0.2708384	0.08524419	22.1164579	0.0138098	9.75582066	0.44110994	0.04476887	15.848451	8.8120459	8.6255518	8.8120459	-13.595685	-13.595685	-32.215118	-32.215118	
65MT/08 A	0.03234697	3.78095645	11.026784	23.931975	0.37423276	0.07893926	13.142851	0.01233439	10.6728268	0.8117267	0.0464114	7.67907344	70.0222003	8.94322494	77.1368694	10.1424161	19.0451226	14.46288921	14.46288921	
65MT/09 A	0.11530997	1.74763103	33.1426942	139.73896	0.2586443	0.0623233	27.740552	0.01258833	11.584886	0.40912393	0.03585746	28.8889978	80.6430462	9.9882902	61.13013852	16.7131729	-64.2, 00103	-15.974748		
65MT/01 B	0.14706059	1.22592365	26.30088778	93.6553616	0.28082576	0.08981614	29.509577	0.01371352	12.9526963	0.438395	0.04750117	26.514726	87.802341	11.3727706	87.3320882	23.7711508	74.4967297	19.7526038	11.7, 880656	
65MT/02 B	0.14957583	1.7779951	67.1461724	135.774334	0.49454246	0.09362041	33.9316275	0.01405331	11.212074	0.330033141	0.04833167	32.0256833	89.9614309	10.0865422	90.870352	13.4804656	13.4804656	78.3604397	78.3604397	
65MT/03 B	0.07731509	1.16195422	33.4562622	104.68525	0.310363625	0.0528422	36.465874	0.0085496	16.4486297	0.50870857	0.044862123	31.222442	54.833768	10.167815	52.885071	18.8616463	45.3, 184707	-19.7, 277808		
65MT/04 B	0.13601601	1.5263054	37.4562627	122.11683	0.30672519	0.0925504	18.427751	0.0141119	11.126873	0.60351069	0.04741363	14.6882717	90.3325262	10.051549	89.601874	16.5116103	10.1110891	10.2980884	12.8, 845898	
65MT/05 B	0.11643551	3.14420271	106.531761	23.3733946	0.45580165	0.08231797	16.8159795	0.01284143	11.5663644	0.68242448	0.04659164	12.215563	83.0815096	9.4850026	80.1235572	13.2250197	28.3464333	3.4620776	28.505462	
65MT/06 B	0.21551022	1.0840612	23.4764224	89.1262878	0.26340626	0.08561971	30.03680287	0.01358924	14.791158	0.4721824	0.045699592	26.9985294	87.0119684	83.141789	75.5568597	-18.401367	4.9680984	47.2, 855602		
65MT/07 B	0.1169742	1.29334997	47.6973552	116.204438	0.41046053	0.08173746	26.38085038	0.01204038	14.39464601	0.5465784	0.04778819	22.1070123	79.7178679	11.404341	88.2458079	19.7774457	21.0451771	89.449204		
65MT/08 B	0.07861315	2.9441739	104.59792	226.730716	0.46123337	0.09187103	17.6229152	0.0141155	11.6728227	0.66241117	0.04720527	13.207283	90.352167	10.5522504	89.2466899	15.73741156	59.624205	7.8473747	151.546049	
65MT/09 B	0.08013996	2.133410361	82.0630251	165.218661	0.49669344	0.08212144	25.0546681	0.01327076	12.7026654	0.50699795	0.04488067	21.5958024	84.9861617	10.7955078	80.1374949	20.0781833	-62.127721	-13.41698	-13.6, 79266	

Spot number	<i>Pb</i> ppm	<i>Th</i> ppm	<i>U</i> ppm	Isotope ratios			Ages (Ma)									
				207Pb/ 235U	1 s [%]	206Pb/ 238U	1 s [%]	206Pb/ 206Ra	1 s [%]	207Pb/ obs	1 s [%]	%	Conc			
Q03-Sample 1	0.32080647	0.787655861	32.8619176	67.4179326	0.48743666	0.06652317	27.2662296	0.01191492	15.6419502	0.57367485	0.04049360	22.3333086	11.9433363	65.3594123	71.3378237	-23.9058837
Q04-Sample 2	0.04915584	1.41463301	46.1370703	118.928552	0.39230305	0.071467176	22.46224	0.01170506	15.1668225	0.69760743	0.04428283	16.0937562	75.0174987	11.7515111	9.4638886	-15.38251
Q05-Sample 3	0.23749406	1.2374942	35.091312	99.142942	0.39571492	0.089510132	15.4869948	0.014667487	7.0460684	0.6059733	0.046202656	16.0631677	73.4176717	17.4322454	-38.77224	
Q06-Sample 4	0.21104288	0.848813	21.8625339	74.9432157	0.07488359	23.74433432	0.021217232	15.1418982	0.50620265	0.04536336	18.06303167	76.8213464	11.8419274	73.4176717	-36.067373	
Q01-Sample 5	0.05440807	1.54702333	69.7409338	123.173871	0.0726671	15.6661995	0.0726671	15.16231257	0.783348517	0.0441577	12.23264	76.48337931	11.7916916	71.2272543	14.0212852	-75.063994
Q08-Sample 6	0.295816	1.54712433	0.07625165	20.6472304	0.02125662	0.73942397	0.0440027	13.9006033	80.5021531	12.2926533	7.1547257	15.0559417	-11.0, 1755	7.0671599	-7.0671599	
Q09-Sample 7	0.06414161	1.34747183	55.2272636	110.76934	0.04857964	0.06830889	0.0117387	15.7711833	0.71721965	0.04245135	15.3320024	7.5231451	14.8401789	-37.6751184		
Q10-Sample 8	0.06610246	1.50947501	58.47471968	118.333052	0.49408271	0.078372867	21.4536512	0.01205366	15.301165	0.71231965	0.0473102	15.0377333	77.283307	11.8138612	10.2213918	11.1333177
Q11-Sample 9	0.134323506	0.83362151	27.11242326	62.067671	0.44652106	0.06756048	31.4433293	0.01190956	15.765753	0.50606126	0.04126427	21.2534937	7.3203955	12.0983341	13.39867	
66HD/01 B	0.10833737	0.83373419	23.5409179	63.6041989	0.37011578	0.08635468	22.1001871	0.012335256	11.0942606	0.50199849	0.049693232	19.1137556	80.3051894	11.93867791	19.3, 872791	
66HD/02 B	0.11276908	1.16222267	40.7007703	90.5932335	0.44927399	0.07404502	23.5257869	0.01169839	11.4747352	0.49346137	0.044868487	20.2242323	76.6985758	16.8562223	-62.801961	
66HD/03 B	0.07355881	1.75793326	83.252266	128.297512	0.64890904	0.07875753	15.9553365	0.02128981	11.1477194	0.7380827	0.04714956	11.2747892	7.4645517	13.7462779	-13.6, 7462779	
66HD/04 B	0.15833387	0.50778942	13.6189978	41.6056878	0.32373347	0.04835144	24.365702	0.0117807	11.876105	0.4861381	0.04328354	11.397151685	6.9263613	10.935336	-32.30718	
66HD/05 B	0.1906841	0.65308229	24.068014	49.2646504	0.48851381	0.07501376	22.1727058	0.01260013	11.3011156	0.5056859	0.0431702	9.120527	7.34461738	16.2850041	-51.30595	
66HD/06 B	0.07949759	1.05500539	31.1880367	78.44323648	0.39759175	0.074581367	24.747871	0.012335251	11.6911424	0.49631343	0.04517192	11.3968987	16.4219983	12.760849	-16.24325	
66HD/07 B	0.16177326	0.585202074	21.115315	44.2818424	0.47656744	0.0676341	14.3647608	0.01180611	11.2483096	0.40546132	0.03348038	16.479767	7.64226669	7.5612189	-23.62719	
66HD/08 B	0.046306022	2.90184315	148.385081	209.020722	0.70982475	0.07764386	14.05201611	0.01180611	11.2483096	0.40476979	0.0476979	10.6931602	7.51021397	1.0, 1089131	89.7407841	
66HD/09 B	0.1744338	0.5366123	20.8845584	41.8423304	0.05914909	45.766782	0.01192291	12.2760646	0.27041565	0.0363457	44.061					

## Anexo 1. (Continuación) Resultados isotópicos U-Pb en circones.

## Anexo 1. (Continuación) Resultados isotópicos U-Pb en circones.

Spot number	Pb f206 ppm	Th ppm	U ppm	207Pb/ 235U			1 s [%]	206Pb/ 238U	1 s [%]	207Pb/ 206Pb [%]	Rho	207Pb/ 235U	1 s abs	207Pb/ 236Pb [%]	207Pb/ 235U	1 s abs	207Pb/ 236Pb [%]	Ages (Ma)	% Concf
				207Pb/ 235U	Th/U	1 s [%]													
JPZ_159_A_5	31.6	97.2	0.32510388	0.116	0.028	0.01227	0.00048	-0.05976	0.0535	0.0057	76.5017621	4.83408989	107	25	240	390	39.8660594		
JPZ_159_A_11	168.5	372.8	0.4519898	0.0917	0.0097	0.01264	0.00027	0.053295	0.0535	0.0057	80.3753813	4.10285701	87.8	9.1	210	180	9.2374819		
JPZ_159_A_8	173	520	0.33269231	0.0887	0.0081	0.01264	0.00026	0.03097	0.051	0.0058	80.6295227	4.03927396	85.6	7.6	210	150	6.16456733		
JPZ_159_A_3	163.8	810	0.20222225	0.097	0.01	0.01285	0.00026	0.073095	0.0541	0.0058	81.6431134	4.10258877	91.6	9.6	290	180	12.1956233		
JPZ_159_A_12	160.6	463	0.34686325	0.0882	0.0085	0.01286	0.00023	-0.027143	0.049	0.0047	82.2337055	4.0499361	85.6	7.8	230	160	4.09357028		
JPZ_159_A_2	34.02	75.9	0.44822334	0.209	0.057	0.01302	0.00072	0.13336	0.128	0.038	74.9806324	6.65673903	167	50	200	650	122.774182		
JPZ_159_A_14	97.6	278.5	0.35049883	0.105	0.013	0.01309	0.0003	-0.0891932	0.0573	0.0071	82.8247798	4.2808593	101	12	370	220	21.94427		
JPZ_159_A_4	497	665	0.74736842	0.0823	0.0087	0.01313	0.00026	-0.067555	0.0446	0.0049	84.4170089	4.195950183	80	8.1	0	160	5.2323683		
JPZ_159_A_1	210.7	353	0.59688385	0.129	0.017	0.01318	0.00031	0.110651	0.0705	0.0091	81.9329446	4.27748285	120	15	600	240	46.3534312		
JPZ_159_A_10	127.6	347	0.36772334	0.0793	0.0092	0.01322	0.00026	-0.055371	0.0437	0.0047	84.9605265	4.20579165	78.2	8.6	200	380	49.3242223		
JPZ_159_A_38	60.7	199	0.30502513	0.139	0.03	0.01321	0.00055	0.27718	0.075	0.016	81.7013039	5.32281809	122	26	200	150	2.16331045		
JPZ_159_A_36	137.9	393	0.35089059	0.084	0.012	0.01323	0.00035	-0.093453	0.0512	0.0071	84.3553351	4.45212773	80	11	30	340	9.03840598		
JPZ_159_A_15	142	240	0.59166567	0.099	0.023	0.01328	0.00039	0.0039	0.054	0.013	84.3793777	4.674120138	92	21	160	270	9.13504059		
JPZ_159_A_25	35	141.1	0.24805103	0.099	0.017	0.01328	0.00039	0.086803	0.0547	0.0092	84.2992331	4.66426855	92	15	600	240	46.3534312		
JPZ_159_A_7	74.4	285	0.26105263	0.088	0.013	0.01329	0.0003	-0.089314	0.0503	0.0072	84.8323594	4.33649141	87	11	210	210	2.55204931		
JPZ_159_A_17	15.8	60.6	0.26072607	0.106	0.041	0.01333	0.00069	0.067059	0.074	0.027	82.5475994	6.36778386	104	38	350	550	25.3879158		
JPZ_159_A_24	140	212	0.66037376	0.116	0.032	0.01335	0.00054	0.076924	0.049	0.017	83.1001376	5.37892255	104	30	400	25.1538214			
JPZ_159_A_17	90.3	1002	0.99011976	0.0917	0.0059	0.01335	0.00029	0.37116	0.049	0.0028	85.3531102	4.28309422	88.8	5.5	140	100	4.0383888		
JPZ_159_A_23	353	626	0.56389776	0.0875	0.0098	0.01346	0.00028	0.011882	0.0472	0.0054	86.24748982	4.32122914	83.9	9	0	180	-2.722671		
JPZ_159_A_16	44	140.2	0.40513352	0.12	0.019	0.01335	0.00044	-0.064849	0.072	0.012	83.82129839	4.84576933	111	18	360	280	2.4377141		
JPZ_159_A_28	81.4	178.9	0.45505279	0.124	0.024	0.01355	0.00044	0.044831	0.073	0.015	84.0132237	4.96777036	107	21	270	320	27.3609026		
JPZ_159_A_21	10.57	60.4	0.175	0.111	0.046	0.01364	0.00067	0.1245	0.083	0.031	83.4729198	6.556102672	117	42	610	610	40.163218		
JPZ_159_A_17	63.3	1000	0.633	0.0781	0.0075	0.01367	0.00028	-0.013797	0.0407	0.004	88.3010357	4.40006959	76.3	7.1	120	150	-13.5919785		
JPZ_159_A_31	341.2	434.2	0.78581299	0.1008	0.0077	0.01337	0.00026	0.145453	0.0544	0.0041	86.9864174	4.333038179	96.2	7.1	390	130	10.5919785		
JPZ_159_A_27	44	105	0.41904762	0.125	0.035	0.01376	0.00055	0.048086	0.068	0.002	85.62478196	5.610030124	120	30	320	120	4.5309025		
JPZ_159_A_37	414	800	0.50479175	0.0962	0.0077	0.01378	0.00032	0.124663	0.0526	0.0044	87.65129198	6.44999294	92	7.1	210	140	4.91348874		
JPZ_159_A_21	182.1	389	0.46812339	0.0929	0.0075	0.01383	0.00031	0.251533	0.0489	0.0039	88.4198954	4.48338775	89	7	110	140	6.6571152		
JPZ_159_A_6	45.6	256.8	0.35259567	0.127	0.021	0.01396	0.00037	-0.073978	0.069	0.012	85.9295797	4.73363087	118	19	520	520	2.1631634		
JPZ_159_A_18	66	256.8	0.2570935	0.087	0.012	0.01398	0.00034	0.013798	0.0465	0.0063	85.6429172	4.636538136	86	11	210	210	-4.0633093		
JPZ_159_A_20	147	607	0.24217463	0.094	0.019	0.014	0.00047	0.265159	0.0475	0.009	85.6561557	5.14301979	88	17	20	270	-1.8494198		
JPZ_159_A_26	151	445	0.33932584	0.0957	0.0067	0.01409	0.00028	0.194533	0.0497	0.0033	85.9829605	4.47356777	93.9	6	160	120	4.5309025		
JPZ_159_A_13	191.9	457	0.41904247	0.1302	0.0099	0.01418	0.00026	-0.020664	0.0656	0.005	88.7449725	4.41338969	123.6	8.7	690	150	39.2754953		
JPZ_159_A_32	164.7	268	0.61455224	0.096	0.01	0.0142	0.00035	0.251513	0.0504	0.0051	90.603371	4.68106591	94.6	9.5	270	170	4.41229458		
JPZ_159_A_34	430	159.8	0.26908436	0.0952	0.0054	0.01423	0.00027	0.18841	0.049	0.0028	90.5927832	4.4729605	91.7	5	140	140	0.82154364		
JPZ_159_A_41	71.2	188.4	0.3779132	0.173	0.037	0.01423	0.00063	0.20845	0.085	0.019	86.8388421	5.9260875	165	31	680	390	9.00495316		
JPZ_159_A_35	90.8	389	0.23341902	0.0981	0.01	0.01428	0.00038	0.15247	0.0448	0.0051	91.7523336	4.83866431	87.2	9.7	-20	180	-4.5614417		
JPZ_159_A_19	597	870	0.686269	0.1	0.01434	0.00034	0.18834	0.049	0.0046	91.6825159	4.68186356	97.6	8.7	170	160	6.48916622			
JPZ_159_A_40	184	519	0.35452794	0.125	0.017	0.01455	0.00056	0.11096	0.0635	0.0083	91.2952473	5.53148142	117	15	610	230	28.156728		
JPZ_159_A_33	52.8	171.4	0.30805134	0.106	0.014	0.01474	0.00043	0.12436	0.0554	0.0072	93.4397634	5.06613094	99	13	250	230	5.95061074		
JPZ_159_A_30	13.42	47.1	0.28492569	0.052	0.015	0.022494	0.00077	0.134	0.028	0.028	85.1913349	6.6707083	216	40	840	440	152.279465		
JPZ_159_A_22	76.2	230	0.33310435	0.182	0.036	0.016338	0.00058	0.163265	0.071	0.012	101.734515	6.07673578	144	26	280	280	41.544835		

## Anexo 1. (Continuación) Resultados isotópicos U-Pb en circones.

Spot number	<i>f</i> <sub>206</sub>	Pb ppm	Th ppm	U ppm	Th/U	207Pb/ 235U	1 s	206Pb/ 238U	1 s	207Pb/ 238U	1 s	206Pb/ 238U	1 s	207Pb/ 235U	abs	207Pb/ 1 s	abs	207Pb/ 238U	1 s	207Pb/ abs	Ages(Ma)	% Conf		
TCR-815_105	100.9	179.8	1.78196234	0.11	0.015	0.0187	0.00034	-0.125152	0.0687	0.0098	74.0405702	5.08109041	102	14	260	37.7527624								
TCR-815_121	112	227.9	2.03482143	0.091	0.015	0.0193	0.00004	0.012016	0.06	0.001	75.2541193	5.32094314	84	14	180	280	11.62217966							
TCR-815_125	762	601	0.78871391	0.084	0.011	0.0201	0.00031	0.0080252	0.0493	0.0098	76.7911005	5.14457667	83	10	160	210	0.08544151							
TCR-815_137	176.8	327.8	1.8540724	0.086	0.015	0.0206	0.00036	-0.025366	0.0514	0.0098	76.3056661	5.29773956	81	14	20	280	5.32379799							
TCR-815_151	139	8.1	2.16408669	0.093	0.017	0.0205	0.00035	-0.033904	0.056	0.001	76.3960798	5.28673332	86	16	-10	290	12.5712212							
TCR-815_164	64.6	140.5	1.14519573	0.0805	0.0044	0.016	0.00016	0.023516	0.0478	0.0026	77.2550936	4.86592673	78.2	4.2	110	100	1.2230922							
TCR-815_178	92.3	2.19621749	0.08	0.024	0.01207	0.00047	0.047185	0.056	0.001	76.75223778	6.03951969	72	23	-300	410	-5.908762								
TCR-815_163	164.8	23.4	1.41950291	0.092	0.018	0.0121	0.00046	0.021974	0.056	0.001	76.7118251	5.61643904	85	17	170	330	10.80449							
TCR-815_81	147	37.5	2.55402041	0.093	0.012	0.0124	0.00028	-0.0052392	0.0568	0.0075	76.8862618	5.05033942	89	11	260	210	15.7554002							
TCR-815_135	194	3.20	1.64948454	0.079	0.016	0.0122	0.00038	0.12755	0.046	0.0098	78.3249491	5.4597288	74	16	-80	300	-5.5218026							
TCR-815_109	81.9	159	1.94139194	0.102	0.018	0.0122	0.00022	0.027963	0.062	0.0012	78.8793823	5.51674656	94	16	160	300	22.2691347							
TCR-815_65	221	3.43	1.55203662	0.079	0.012	0.0125	0.00033	0.027972	0.0472	0.0071	78.5263607	5.29103951	75	11	-20	220	-4.4906713							
TCR-815_98	253	3.58	1.41501976	0.079	0.01	0.01225	0.0003	-0.01147	0.0482	0.0064	78.4278017	5.2131139	75.2	9.6	-10	200	-4.1156345							
TCR-815_139	114.9	303.7	2.64316797	0.075	0.016	0.01227	0.0004	-0.0002133	0.046	0.001	76.7440672	5.54190639	69	15	-210	300	-12.4055979							
TCR-815_4	69.5	143.4	2.06330935	0.085	0.021	0.0123	0.00046	0.014378	0.052	0.014	78.3705592	5.753334473	76	20	-120	360	-3.0248083							
TCR-815_113	832	8.82	1.06090615	0.0844	0.0061	0.0123	0.00023	0.0088446	0.0504	0.0039	78.3288938	5.049332369	82	5.8	180	140	4.42016436							
TCR-815_162	86.3	119.6	1.38586327	0.068	0.016	0.0123	0.00046	0.049287	0.0389	0.00094	79.6668477	5.88545871	62	15	-320	310	-22.175909							
TCR-815_159	263	318	1.20912548	0.086	0.011	0.01232	0.00036	0.111738	0.0515	0.0066	78.5470312	5.32218277	81	10	110	210	3.12293							
TCR-815_126	667	6.40	0.95952024	0.0885	0.0085	0.01231	0.00027	0.06632	0.0499	0.0047	78.6411999	5.122208473	86.5	7.7	260	160	9.99211754							
TCR-815_127	860	920	1.06976744	0.0905	0.0076	0.01234	0.00021	0.06177	0.0524	0.0044	78.5842672	4.97913488	88.5	6.9	250	150	12.61213817							
TCR-815_166	385	4.98	1.23350649	0.083	0.0071	0.01234	0.00029	0.087255	0.055	0.0061	78.8229361	5.19929937	81.3	9.9	110	200	3.142462739							
TCR-815_70	414.5	446.5	1.07720145	0.085	0.011	0.01235	0.00031	0.059445	0.0506	0.0062	78.8269379	5.25982017	83	10	100	210	5.23935428							
TCR-815_162	926	106.3	1.21814255	0.0828	0.0057	0.01235	0.00043	0.049713	0.0515	0.0036	78.8070669	5.04485599	80.1	5.4	170	130	1.64053091							
TCR-815_159	91	128.8	1.41538462	0.086	0.017	0.01232	0.00043	-0.049713	0.056	0.001	78.101093	5.62006007	78	16	-20	310	-0.1293317							
TCR-815_158	235	379	1.61276596	0.095	0.012	0.01237	0.00034	0.079559	0.0544	0.0068	78.75759088	5.30625541	90	11	320	200	14.5389235							
TCR-815_84	203.9	512	2.51103482	0.087	0.016	0.01239	0.00029	0.057452	0.0502	0.006	79.1210692	5.198683328	84.4	9.7	110	200	6.67196596							
TCR-815_82	183.5	250.9	1.36730245	0.077	0.014	0.01241	0.00039	0.17055	0.0475	0.0087	79.51217979	5.50268776	74	13	-130	270	-6.9390728							
TCR-815_112	521	614	1.17850288	0.078	0.0074	0.01239	0.00027	0.11626	0.0467	0.0046	79.4699192	5.14032186	76.2	7.1	20	160	-4.1446541							
TCR-815_155	53.2	130.5	2.45330752	0.1	0.019	0.01242	0.00045	0.024632	0.061	0.012	78.2337665	5.64914061	90	17	180	310	15.0413107							
TCR-815_80	52.9	111.3	2.10396975	0.112	0.022	0.01243	0.00052	0.011882	0.068	0.014	77.5954833	5.91337868	101	21	330	350	30.1672153							
TCR-815_6	56.3	190.7	3.38721137	0.095	0.018	0.01245	0.00044	-0.052217	0.055	0.011	79.0219168	5.6807807	87	17	100	310	10.0960386							
TCR-815_79	269.8	498.7	1.84840623	0.0791	0.0076	0.01245	0.00025	0.13069	0.0458	0.0044	79.9432754	5.1439757	76.1	7.1	30	160	-4.8075031							
TCR-815_82	204.2	300.2	1.47012733	0.078	0.011	0.01247	0.00032	0.12592	0.0466	0.0063	79.5901956	5.28490289	74.5	9.9	-90	210	6.8644287							
TCR-815_112	252	378.9	1.50357143	0.082	0.01	0.01245	0.00027	0.076361	0.0482	0.0059	79.7029311	5.20861505	77.7	9.3	50	200	-2.512955							
TCR-815_155	263.1	416	1.58114785	0.0821	0.0079	0.01246	0.00028	0.051613	0.0488	0.0047	79.7065479	5.19263614	80	7.2	120	160	0.36816561							
TCR-815_160	22.3	60.3	2.70403587	0.089	0.035	0.01251	0.00072	-0.046448	0.057	0.014	79.199244	6.75149853	62	31	330	340	-21.71097							
TCR-815_107	52.3	177.7	3.39770554	0.083	0.017	0.01251	0.00043	-0.014199	0.051	0.011	79.803694	5.68881779	78	16	-50	310	-2.2601635							
TCR-815_96	149	375	2.51677852	0.117	0.015	0.01251	0.0005	0.11604	0.0685	0.0089	78.0426165	5.7427299	109	13	730	230	39.6672804							
TCR-815_123	102.3	427	4.17399804	0.104	0.014	0.01252	0.00034	0.015924	0.0579	0.0078	79.1723485	5.36199614	99	13	430	230	25.0436571							

## Anexo 1. (Continuación) Resultados isotópicos U-Pb en circones.

Spot number	<i>f</i> <sub>206</sub> ppm	<i>Pb</i> ppm	<i>Th</i> ppm	<i>U</i> ppm	Isotope ratios				Ages (Ma)				% Conf
					<i>207Pb/</i> <i>235U</i> [%]	<i>207Pb/</i> <i>238U</i> [%]	<i>206Pb/</i> <i>238U</i> [%]	<i>Rho</i>	<i>207Pb/</i> <i>206Pb</i> [%]	<i>1s</i>	<i>206Pb/</i> <i>238U</i> abs	<i>1s</i>	
TCR-815_130	472	832	1.76271186	0.098	0.011	0.0253	0.0003	0.023814	0.054	0.0059	79.6283957	5.23718441	94
TCR-815_140	447	1073	2.44044743	0.079	0.0081	0.0252	0.00026	-0.019267	0.0452	0.0047	80.451281	5.2136622	76.4
TCR-815_152	78.8	152.1	1.9302305	0.075	0.0053	0.0254	0.00038	0.11945	0.0448	0.0081	80.1615367	5.1033465	72
TCR-815_24	44.4	178.5	4.02027072	0.0869	0.0094	0.0254	0.00029	0.070422	0.0519	0.0057	79.9035036	5.2468483	84.2
TCR-815_97	394	429	1.08883249	0.076	0.011	0.0256	0.00031	0.075163	0.0438	0.006	80.8486453	5.3630294	73
TCR-815_150	111	196	1.76576577	0.103	0.016	0.0256	0.00042	0.0250563	0.0571	0.0096	79.5050847	5.7653518	94
TCR-815_83	308	890	2.889861039	0.0908	0.0068	0.0259	0.00022	-0.0079167	0.0528	0.0004	80.1296737	5.09973345	87.3
TCR-815_104	72.6	145.4	2.00275482	0.088	0.018	0.0255	0.00044	0.16628	0.046	0.011	80.5624884	5.73376234	74
TCR-815_134	1092	118.2	1.08241758	0.0869	0.0067	0.0259	0.00023	0.032583	0.0489	0.0039	80.5245421	5.12131874	80.7
TCR-815_85	76.6	97.9	1.27806789	0.0827	0.0073	0.0256	0.00025	0.060341	0.0473	0.0041	80.750367	5.1970336	80.7
TCR-815_116	42.63	97.8	2.29415904	0.115	0.034	0.0255	0.00062	-0.024198	0.081	0.024	77.0291991	5.6009894	91
TCR-815_110	78.6	167	2.12468193	0.084	0.024	0.0262	0.00054	0.11276	0.052	0.0025	80.4007979	6.13047262	78
TCR-815_149	40.9	150.9	3.68948655	0.075	0.015	0.0262	0.00035	0.091608	0.0421	0.0085	81.4057418	5.53553202	69
TCR-815_93	1191	154.1	1.2938707	0.0842	0.0055	0.0263	0.00018	0.134	0.0485	0.0031	80.8199315	5.05555056	81.9
TCR-815_86	1377	1319.7	0.95787945	0.0799	0.0061	0.0264	0.00022	0.011765	0.0464	0.0036	81.0971163	5.13423421	77.3
TCR-815_77	186.1	279.8	1.50349275	0.091	0.013	0.0266	0.00033	0.093583	0.0524	0.0073	80.6140284	5.38975298	85
TCR-815_102	1073	130.8	1.21901212	0.0845	0.0045	0.0267	0.00002	0.23509	0.0491	0.0025	81.0136789	5.111161627	82.3
TCR-815_124	140.5	26.3	1.871788612	0.092	0.016	0.0268	0.00096	0.020937	0.0544	0.0091	80.5369913	5.594407919	85
TCR-815_68	223	38.2	1.71304448	0.087	0.01	0.0272	0.00034	0.008037	0.051	0.0062	81.1376856	5.447597411	83.7
TCR-815_78	182.1	3.44	1.88907194	0.092	0.011	0.0273	0.00026	-0.029485	0.0536	0.0067	80.33550483	5.24995211	87
TCR-815_16	11.06	49.9	4.51175407	0.129	0.036	0.0276	0.00067	0.0633924	0.082	0.023	78.2104738	6.5826945	11.4
TCR-815_31	65.8	223.2	3.39209726	0.0873	0.0086	0.0274	0.00026	-0.061454	0.0519	0.0054	81.1725235	5.2431984	83.4
TCR-815_7	158.5	336	2.11987382	0.0732	0.0097	0.0277	0.00003	0.11827	0.042	0.0057	82.3793827	5.45342126	69.8
TCR-815_26	30.9	66.8	2.16118123	0.084	0.018	0.0277	0.00049	0.055495	0.05	0.011	81.5579508	5.95876493	75
TCR-815_77	77.7	178.1	2.29214929	0.105	0.013	0.0279	0.00032	0.041414	0.0609	0.0073	80.5641231	5.3409528	100
TCR-815_63	120	26.3	2.19166667	0.097	0.018	0.0279	0.00004	0.02654	0.0544	0.0095	81.23246422	6.59564164	89
TCR-815_138	118.6	291.8	2.46037099	0.081	0.017	0.0279	0.0005	-0.14302	0.045	0.01	81.1993448	5.05787559	74
TCR-815_146	86.2	29.2	3.387471	0.109	0.014	0.0286	0.00029	0.01086	0.0578	0.0075	81.1725231	5.48572371	81.2
TCR-815_120	73.3	171.7	3.34243838	0.0826	0.0096	0.0281	0.00031	0.081988	0.0465	0.0054	82.3793827	5.40436833	79.3
TCR-815_41	93.8	136	1.44989339	0.08	0.021	0.0128	0.00044	0.162	0.048	0.012	81.9545848	5.869190514	69
TCR-815_95	223	58.9	2.64125561	0.0879	0.0098	0.0128	0.00028	0.31001	0.0492	0.0056	81.18310831	5.32705485	83.6
TCR-815_2	1751	214.1	1.22272987	0.091	0.005	0.0182	0.00019	0.14327	0.0516	0.0028	81.1210998	5.09837099	88.3
TCR-815_5	138.2	483	3.49494488	0.082	0.0089	0.0182	0.00029	0.12146	0.0466	0.0052	82.2653958	5.40128939	79.1
TCR-815_146	1115	2.09584466	0.0852	0.0047	0.0182	0.00018	0.022101	0.0494	0.0028	81.937783	5.111416168	82.9	
TCR-815_154	274	325	1.18613139	0.0736	0.0092	0.0182	0.00031	0.020546	0.0422	0.0052	82.6799128	5.42936953	71.8
TCR-815_165	598	865	1.44648829	0.085	0.0068	0.0182	0.00028	-0.012941	0.0449	0.004	81.9790104	5.31199577	81.9
TCR-815_118	189.3	359.1	1.88698891	0.081	0.012	0.0183	0.00035	-0.019657	0.0459	0.0067	82.3624657	5.5498045	78
TCR-815_148	262	317	1.20932366	0.0826	0.0092	0.0183	0.00032	0.19419	0.046	0.0049	82.3521657	5.40179527	80.2
TCR-815_101	380	473	1.24473684	0.077	0.0082	0.0185	0.00028	-0.0054241	0.045	0.0049	82.5832185	5.34487942	74.6
TCR-815_76	1155	1397	1.20952381	0.0843	0.0038	0.0187	0.00017	0.09798	0.048	0.0022	82.4008476	5.115959582	81.9
TCR-815_111	59.8	144	2.40802676	0.068	0.024	0.0188	0.00055	0.051843	0.049	0.017	82.3610453	6.36078066	61

## Anexo 1. (Continuación) Resultados isotópicos U-Pb en circones.

Spot number	f206	Pb ppm	Th ppm	U ppm	207Pb/ 235U				206Pb/ 238U				Isotope ratios				Ages [Ma]			
					207Pb/ 1 s	207Pb/ 235U [%]	206Pb/ 1 s	206Pb/ 238U [%]	Rho	0.0034	0.0034	0.0034	206Pb/ 1 s	206Pb/ 235U	206Pb/ abs	207Pb/ 1 s	207Pb/ 235U	207Pb/ abs	% Conff	
TCR_815_161	267.4	269.2	1.0673149	0.085	0.01	0.01289	0.00059	0.008495	0.0479	0.0057	82.3681149	5.52689733	81	9.6	200	-1.669763				
TCR_815_91	96.3	174.6	1.81308411	0.057	0.023	0.01289	0.00059	0.008495	0.0479	0.014	84.44971288	6.62195933	47	22	410	-44.376848				
TCR_815_136	934	1529	1.637004497	0.0814	0.006	0.01287	0.00025	0.051967	0.046	0.0034	82.6077881	5.32674373	78.8	5.6	130	-4.650783				
TCR_815_18	49.1	130.5	2.65784114	0.152	0.018	0.01291	0.00039	0.12229	0.049	0.014	78.2957597	5.48406133	139	16	1180	230	77.51518413			
TCR_815_103	754	937	1.24270557	0.0899	0.0055	0.01292	0.00022	0.12226	0.0511	0.0031	82.3975979	5.22991784	86.8	5.1	230	120	5.34287676			
TCR_815_133	1164	1273	1.09364261	0.0838	0.0058	0.01292	0.00025	0.171	0.046	0.0032	82.9272328	5.62121797	81.5	5.5	60	120	1.7211793			
TCR_815_20	23.87	74.3	3.11263376	0.119	0.02	0.01294	0.00046	0.005951	0.075	0.013	80.0379653	5.851040534	109	19	560	300	36.185743			
TCR_815_64	116	247	2.12933034	0.072	0.015	0.01292	0.00041	0.0045195	0.0427	0.0092	83.2700749	5.79355534	66	14	280	280	-20.73984			
TCR_815_75	96.2	333	1.66943867	0.089	0.01	0.01293	0.00028	0.12357	0.056	0.0058	81.9517314	5.35095598	94.5	9.2	350	180	15.3117797			
TCR_815_142	52.5	150	2.85714286	0.055	0.025	0.01294	0.00062	0.030763	0.031	0.016	84.6153804	6.7195437	49	24	-950	450	-42.090906			
TCR_815_35	92	27.2	2.36086957	0.0767	0.0099	0.01294	0.00028	0.01029	0.0449	0.0058	83.1695645	5.41918874	73	9.3	-130	190	-12.275907			
TCR_815_66	48.5	127.1	2.62061856	0.148	0.033	0.01295	0.00054	0.10699	0.087	0.021	78.8498714	6.25601972	120	28	410	410	52.1879464			
TCR_815_108	135.5	233.4	1.64870849	0.076	0.014	0.01295	0.00035	0.051608	0.0442	0.0083	83.3064297	5.64712495	70	13	-240	250	-15.972872			
TCR_815_115	134.0	280	1.70149254	0.0812	0.0042	0.01295	0.00021	0.032709	0.0452	0.0023	83.2023259	5.2612528	79.2	3.9	6	91	-4.810334			
TCR_815_3	42.6	106.9	2.50938967	0.108	0.032	0.01298	0.00061	0.089168	0.0668	0.021	81.0149893	5.69027308	86	30	0	440	16.15318904			
TCR_815_17	39.9	109.3	2.73934837	0.156	0.027	0.013	0.00043	0.12842	0.088	0.015	79.048677	5.7010867	132	22	500	320	66.385634			
TCR_815_23	23	130	5.65217391	0.098	0.013	0.01294	0.00013	0.1125	0.0442	0.0074	83.6266639	5.69784653	80	13	20	240	4.3367315			
TCR_815_117	601	556	0.92512479	0.0777	0.0088	0.01299	0.00031	0.044985	0.0453	0.0052	83.4477563	5.47268082	75.1	8.3	-30	180	-10.003572			
TCR_815_120	124	254.3	2.05080645	0.099	0.017	0.01299	0.00037	0.12032	0.0547	0.0096	82.4661774	5.65975995	90	15	50	270	9.1356151			
TCR_815_72	98.3	168	1.70905392	0.099	0.017	0.01303	0.00047	0.14361	0.06	0.011	82.1615352	5.9161426	89	16	90	300	8.32013902			
TCR_815_1	601	1454	2.41930116	0.0893	0.007	0.01304	0.00024	0.016866	0.0499	0.0004	83.2853878	5.30617469	85.8	6.5	140	140	3.01927178			
TCR_815_11	804	1023	1.27238806	0.0907	0.0049	0.01304	0.0002	0.055363	0.0506	0.0028	83.2120137	5.231242897	88.3	4.6	230	100	6.11448524			
TCR_815_22	256.4	521	2.03198128	0.0839	0.0052	0.01304	0.00022	0.0022481	0.0478	0.003	83.5052067	5.69784653	82.1	4.9	110	110	-1.6831305			
TCR_815_30	24.6	100.1	4.06910569	0.072	0.015	0.01305	0.00039	0.0081384	0.0417	0.0092	84.2091161	5.8076442	65	15	-260	260	-22.811207			
TCR_815_52	197.4	261.7	1.32573455	0.09	0.013	0.01302	0.00033	0.026296	0.0506	0.0076	83.0849412	5.53277561	86	12	40	40	24.30852846			
TCR_815_14	126.3	348	2.75534442	0.0833	0.0094	0.01304	0.00032	0.016485	0.0483	0.0055	83.4530979	5.58527529	80.2	8.8	70	70	3.8981152			
TCR_815_12	684	884	1.29237666	0.0917	0.0058	0.01305	0.0002	0.0220207	0.0483	0.0032	83.202122	5.2296282	88.8	5.4	210	210	12.67780411			
TCR_815_11	16	68.7	4.29375	0.1	0.02	0.01306	0.00044	0.089808	0.059	0.012	82.4572229	5.88133576	89	18	70	300	7.93475311			
TCR_815_49	638	785	1.23040752	0.134	0.011	0.01305	0.00039	0.012479	0.0735	0.0061	80.8730583	5.18864971	125	10	880	880	160	160	54.5632162	
TCR_815_119	219	381	1.73977603	0.074	0.019	0.01303	0.00042	0.024385	0.044	0.011	83.8397158	5.87957118	65	18	-60	310	-22.47113			
TCR_815_42	182.4	211.4	1.4879386	0.085	0.011	0.01308	0.00029	0.05977	0.047	0.0061	83.844646	5.74307561	80	10	-40	200	-4.55544			
TCR_815_40	562	1148	2.04270463	0.0842	0.0049	0.0131	0.00019	0.15865	0.0472	0.0027	83.951284	5.2505053	81.6	6.6	60	100	2.8007075			
TCR_815_106	45.3	134.3	3.16556291	0.141	0.025	0.0131	0.0005	0.10551	0.083	0.015	80.1810648	6.03071473	125	21	710	320	55.897154			
TCR_815_131	120.7	333	2.67605634	0.079	0.015	0.0131	0.00038	0.02846	0.046	0.0088	84.0775771	5.7707702	75	14	-230	260	-10.796658			
TCR_815_128	91.9	240.4	2.61588683	0.089	0.017	0.01314	0.00039	0.036054	0.0494	0.0096	83.974002	5.76046813	82	16	-160	160	-2.5508441			
TCR_815_119	373	1.49379255	0.086	0.013	0.01316	0.00033	0.090508	0.0457	0.0069	84.4929931	5.61893876	83	12	-20	230	-1.7665523				
TCR_815_37	41.8	110.3	1.63875598	0.094	0.018	0.01322	0.00049	0.015354	0.059	0.011	83.3337892	5.60444642	87	17	60	290	4.39491909			
TCR_815_132	3110	2600	0.83601286	0.085	0.004	0.01321	0.0002	0.17336	0.0459	0.0022	84.7910558	5.31928374	83.1	3.7	37	85	-1.9943799			
TCR_815_13	18.62	64.8	3.48012889	0.091	0.027	0.01323	0.00056	0.020124	0.054	0.017	84.05764413	5.61809954	76	25	-240	420	-9.585523			
TCR_815_67	530	738	1.39243283	0.078	0.01	0.01323	0.00033	0.031983	0.0452	0.0058	84.9932824	5.60842482	77.7	9.3	10	180	-8.5810104			
TCR_815_32	16.73	57	3.4070532	0.115	0.025	0.01325	0.00051	0.02635	0.064	0.014	83.1192368	6.1449926	98	23	130	350	35.7929112			
TCR_815_144	553	1070	1.93490054	0.0861	0.0081	0.01325	0.00029	0.1299	0.0472	0.0049	84.9082409	5.51666688	83.2	7.4	100	100	-2.011867			

## Anexo 1. (Continuación) Resultados isotópicos U-Pb en circones.

Spot number	<i>f</i> <sub>206</sub>	Pb	Th	U	Isotope ratios			Ages (Ma)			Concf			
		ppm	ppm	ppm	207Pb/ 235U	1s [%]	206Pb/ 238U	1s [%]	207Pb/ 206Pb	1s [%]	207Pb/ 235U	1s abs	206Pb/ abs	1s abs
TCR-815_145	138.6	290	1.65323665	0.0893	0.0039	0.01325	0.0002	0.21726	0.0482	0.002	84.8017618	5.30489576	86.6	3.6
TCR-815_19	63.3	36.6	2.15323855	0.129	0.017	0.01326	0.00037	0.012462	0.0711	0.0093	82.42439841	5.631948043	80.5	2.50
TCR-815_71	118.9	211.3	1.77713363	0.078	0.016	0.01323	0.00043	0.027516	0.0448	0.0093	85.058043	5.97886278	72	1.15
TCR-815_143	413.6	2.31968592	0.0741	0.0092	0.01326	0.00032	0.012754	0.0415	0.0051	85.5793956	5.6251262	73.1	8.8	
TCR-815_60	578	879	1.52076125	0.0916	0.0072	0.01327	0.00026	0.01055	0.0497	0.0038	84.7692412	5.43311486	89.7	6.4
TCR-815_61	102.3	191	1.86705767	0.078	0.016	0.01323	0.00043	0.011651	0.042	0.0086	85.3334781	5.98626767	73	1.15
TCR-815_29	315.5	522	1.65451664	0.0841	0.0051	0.01333	0.00021	0.023567	0.0456	0.0027	85.3828192	5.38740345	81.8	4.8
TCR-815_27	35.8	209	5.8379883	0.1047	0.0096	0.01333	0.00032	0.06962	0.0591	0.0056	84.1439101	5.51740945	102.3	4.0
TCR-815_164	26.09	68.2	2.61403836	0.098	0.031	0.01342	0.00075	0.038217	0.05	0.002	85.6008294	7.3174534	7.7	2.9
TCR-815_87	34.1	81.8	2.39882698	0.118	0.053	0.01343	0.00087	0.054542	0.084	0.049	82.0849069	9.01741422	66	-1.120
TCR-815_33	20.7	87.9	3.15555556	0.116	0.022	0.01344	0.00026	0.13338	0.062	0.012	84.5220672	6.111533839	105	1.19
TCR-815_40	62.7	2.05573777	0.082	0.01345	0.0063	0.0768824	0.043	0.017	86.6379502	6.67031804	69	-72.0		
TCR-815_141	88	31.7	3.60227273	0.083	0.023	0.01335	0.00005	0.064553	0.053	0.013	85.8739888	6.266022942	70	2.1
TCR-815_122	23.7	63.5	2.67932489	0.08	0.05	0.01353	0.0009	0.097581	0.073	0.088	83.8877163	12.1003444	75	-80
TCR-815_164	931	137	1.44683136	0.087	0.049	0.01352	0.00023	0.058713	0.0454	0.0025	86.8621242	5.51510735	85	-3.100
TCR-815_45	31.18	98.9	3.17190507	0.062	0.026	0.01348	0.00062	0.039002	0.043	0.016	86.830299	6.67129203	54	2.5
TCR-815_57	3.44	458	1.33313535	0.0966	0.009	0.01355	0.00038	0.064536	0.0509	0.0048	86.4922423	5.56090466	92.7	8.4
TCR-815_51	49.6	15.2	2.322505165	0.102	0.034	0.01356	0.00006	0.074231	0.056	0.012	85.95721383	6.60617112	103	20
TCR-815_53	22.10	3630	1.64253394	0.08338	0.0036	0.01361	0.00022	0.2806	0.0453	0.0018	87.4243976	5.512129364	81.4	3.3
TCR-815_144	3890	3680	0.94601542	0.0884	0.003	0.01362	0.00015	0.14697	0.0475	0.0016	87.2356437	5.30368887	86	-3.100
TCR-815_48	245	47.1	1.92244898	0.096	0.011	0.01363	0.00027	0.078239	0.0528	0.0058	86.7191265	5.67245927	91.1	2.5
TCR-815_62	112.2	204.6	1.82352941	0.151	0.023	0.01367	0.00005	0.20978	0.078	0.012	84.2049753	6.14442769	140	-680
TCR-815_50	116.4	275	2.36254296	0.111	0.021	0.01368	0.00055	0.023694	0.062	0.012	86.0248126	6.42113222	99	240
TCR-815_157	66.7	110	1.64917541	0.121	0.022	0.01369	0.00053	0.078216	0.067	0.012	85.5275334	6.32194354	108	20
TCR-815_47	161.0	1700	1.05590062	0.08585	0.0093	0.01369	0.00003	0.23117	0.0463	0.0048	87.8338884	5.71719941	81.7	1.80
TCR-815_55	69.8	205	2.9369675	0.115	0.02	0.01371	0.00043	0.076047	0.065	0.011	85.8822497	6.0091604	112	18
TCR-815_21	7.39	37.11	5.02165088	0.246	0.047	0.01374	0.00073	0.55811	0.131	0.0018	78.7818708	7.05149948	189	3.8
TCR-815_50	19.24	28.8	1.13721414	0.0884	0.0035	0.01373	0.00018	0.11356	0.0461	0.0059	88.0013393	5.50754617	86.1	3.3
TCR-815_92	53	137.9	2.60188679	0.083	0.028	0.01377	0.00059	0.038336	0.059	0.002	86.9201066	6.656169274	65	-500
TCR-815_15	15.73	83.5	3.08332804	0.163	0.027	0.01382	0.00062	0.11494	0.083	0.016	85.5896333	6.96229303	139	240
TCR-815_8	35.5	79.9	2.25070423	0.185	0.035	0.01385	0.00063	0.041158	0.099	0.002	82.9723609	7.96557262	152	30
TCR-815_14	32.6	60	1.8404908	0.204	0.041	0.01398	0.00069	0.34968	0.115	0.024	81.9509201	7.00842567	164	34
TCR-815_59	17.9	67.8	3.7877095	0.117	0.034	0.01409	0.00076	0.051454	0.068	0.022	87.9126405	7.894923396	98	-340
TCR-815_39	1015	84.1	0.2857143	0.0932	0.0055	0.01407	0.00025	0.05774	0.0491	0.0029	89.9236018	5.64246809	89.8	3.1
TCR-815_156	1400	28.0	2.01428571	0.1014	0.0037	0.01409	0.00028	0.33776	0.0521	0.0019	89.7114708	5.7214736	275	1.10
TCR-815_36	38.2	157.2	4.11518325	0.104	0.014	0.01413	0.00034	0.078985	0.0571	0.0081	89.3977572	5.9448741	97	23.0
TCR-815_46	580	750	1.29310345	0.102	0.0084	0.01413	0.00028	0.023568	0.0527	0.0046	89.8869034	5.80117467	99.9	280
TCR-815_59	54.1	83	1.53419593	0.234	0.085	0.0143	0.0014	0.17456	0.098	0.059	85.72274	11.7130155	229	47
TCR-815_73	19.2	55.7	2.90104167	0.211	0.048	0.01483	0.00075	0.062161	0.108	0.027	87.7479322	7.847473722	156	40
TCR-815_88	220	172	0.78181818	0.217	0.054	0.01509	0.00126	0.13119	0.126	0.170	87.10202723	8.71139293	169	41
TCR-815_43	40.3	105.9	2.62779156	0.177	0.037	0.01609	0.00076	0.33296	0.081	0.016	98.6530599	7.646110033	155	29
TCR-815_38	39	155	3.97435897	0.09	0.024	0.01624	0.00069	-0.0042247	0.047	0.014	103.9590926	7.83647732	81	-260
TCR-815_69	24.5	70.4	2.87346939	0.27	0.061	0.0165	0.001	0.049126	0.13	0.033	94.6769947	9.17205364	224	51
TCR-815_56	8.22	26.91	3.27372263	0.7	0.15	0.0185	0.0016	0.36645	0.331	0.082	76.3215852	15.0609278	390	200
TCR-815_6													94	

## Anexo 1. (Continuación) Resultados isotópicos U-Pb en circones.

Spot number	$\frac{\text{Pb}}{\text{ppm}}$	$\frac{\text{Th}}{\text{ppm}}$	$\frac{\text{U}}{\text{ppm}}$	$\frac{\text{Th}}{\text{Th/Ub}}$	207Pb/ 235U	1 s [%]	206Pb/ 238U	1 s [%]	Isotope ratios				Ages (Ma)						
									Rho	206Pb/ 238U	1 s [%]	207Pb/ 235U	1 s [%]	206Pb/ 238U	1 s [%]	Concf	%		
001-A	0.554969562	0.50110875	3.22340218	12.0441895	0.26763131	1.27410628	32.7248787	0.03152872	18.8155595	0.57493065	4.02972619	26.77755658	137.310223	25.83402812	834.256549	277.999332	4014.975855	107.47432	34.20136152
002-A	0.48287257	0.22887257	12.08565599	12.08565599	22.3483869	22.3483869	22.3483869	0.01568354	16.56291635	0.01429844	16.56291634	0.01429844	16.56291634	0.01429844	16.56291634	0.01429844	16.56291634	0.01429844	4.23436264
003-A	0.4049154	0.53460109	6.33483769	1.203395927	2.28535139	2.63321494	16.56291634	0.01429844	16.56291634	0.01429844	16.56291634	0.01429844	16.56291634	0.01429844	16.56291634	0.01429844	16.56291634	0.01429844	4.23479117
004-A	0.11147587	1.203395927	27.453787	76.7453787	0.01275559	0.99516627	0.50259672	0.10209534	15.465108	81.70124648	7.267769287	237.25446176	312.51144	2154.466119	25.71095661	16.6248816	25.71095661	4.23479117	4.23479117
005-A	0.08171976	2.05462936	16.2743495	0.012624435	16.2743495	0.012624435	16.2743495	0.012624435	16.2743495	0.012624435	16.2743495	0.012624435	16.2743495	0.012624435	16.2743495	0.012624435	16.2743495	0.012624435	16.2743495
006-A	0.03872864	2.95691422	126.46435	207.061435	0.61075762	0.10356691	16.2743495	0.012624435	16.2743495	0.012624435	16.2743495	0.012624435	16.2743495	0.012624435	16.2743495	0.012624435	16.2743495	0.012624435	16.2743495
007-A	0.07246171	1.7577952	61.100085	0.07246171	0.07246171	0.10356691	0.10356691	0.10356691	0.10356691	0.10356691	0.10356691	0.10356691	0.10356691	0.10356691	0.10356691	0.10356691	0.10356691	0.10356691	13.5277524
008-A	0.11485449	0.84951686	23.140216	58.1615764	0.38912986	0.256216397	9.64905298	0.60229548	0.08343496	12.7887025	79.3293784	7.65457666	135.236138	21.6565166	127.690901	12.7887025	12.7887025	12.7887025	12.7887025
009-A	0.08373593	1.20431081	30.791455	85.8435626	0.35868905	0.10023174	16.9495245	0.01966683	9.92605772	0.58562452	0.06074698	15.7398787	76.6832597	7.6182078	98.59020234	86.5950687	12.166792	8.0282507	8.0282507
010-B	0.18758864	1.17070779	24.0259747	68.5219065	0.33535059	0.141401616	13.2982179	0.013535309	10.57406554	0.34944346	0.06456724	28.3570815	86.6673238	9.16475953	134.983235	105.520921	30.7197414	7.9887612	7.9887612
011-B	0.34398683	0.87868049	18.5656334	59.011052	0.34452638	0.12316603	27.1815214	0.01251188	10.241282	0.37619377	0.01739486	25.1751665	80.1553708	8.2047304	93.2416321	93.2416321	24.31103483	8.2728758	8.2728758
004-B	0.583315	0.50509892	17.0577952	30.8380731	0.36382243	0.61031884	17.0577952	0.0142672	15.0272406	0.01064393	8.161031884	0.01232366	91.7935156	19.84318515	19.84318515	19.84318515	19.84318515	5.06159034	5.06159034
005-B	0.27061476	0.86629547	19.0140309	53.34294909	0.33707163	0.180401411	17.5520335	0.01313789	10.0877124	0.012473187	0.09291811	11.436562129	81.4594684	8.5202873	23.0176973	5.24766302	12.166792	12.166792	12.166792
006-B	0.39923139	0.58488752	11.8775786	35.561385	0.3386165	0.13187843	17.0577952	0.012989787	12.9997817	0.012989787	0.012989787	12.9997817	0.012989787	12.9997817	0.012989787	12.9997817	0.012989787	12.9997817	0.012989787
007-B	0.83318164	0.85318167	11.8775786	35.561385	0.3386165	0.13187843	17.0577952	0.012989787	12.9997817	0.012989787	0.012989787	12.9997817	0.012989787	12.9997817	0.012989787	12.9997817	0.012989787	12.9997817	
008-B	0.09389111	1.20704069	32.9440161	94.93333939	0.347388385	0.09976864	32.2842656	0.012759358	10.0724593	0.012759358	0.012759358	10.0724593	0.012759358	10.0724593	0.012759358	10.0724593	0.012759358	10.0724593	
009-B	0.21802934	0.680808469	21.166321	48.8518939	0.43337534	0.10513567	29.54668	0.013767635	15.0272406	0.012624435	0.012624435	15.0272406	0.012624435	15.0272406	0.012624435	15.0272406	0.012624435	15.0272406	
Spot number	$\frac{\text{Pb}}{\text{ppm}}$	$\frac{\text{Th}}{\text{ppm}}$	$\frac{\text{U}}{\text{ppm}}$	$\frac{\text{Th}}{\text{Th/Ub}}$	207Pb/ 235U	1 s [%]	206Pb/ 238U	1 s [%]	Isotope ratios				Ages (Ma)						
									Rho	206Pb/ 238U	1 s [%]	207Pb/ 235U	1 s [%]	206Pb/ 238U	1 s [%]	Concf	%		
003-Sample1	0.01214492	5.37174061	302.035134	356.530054	0.84715196	0.0872806	12.515434	0.01284526	11.1504291	0.08903427	0.04922708	5.638366244	82.975506	9.17653003	84.7379342	10.1943285	9.14193285	51.1054926	
004-Sample2	0.03524999	4.48710573	241.076162	321.883737	0.75055277	0.08090277	15.949381	0.0133511	11.6687309	0.01305949	0.0470804	10.889261	91.930796	9.20608506	12.4717487	53.1272287	51.1054926		
005-Sample3	0.1696662	5.252813849	165.497162	256.497162	0.74246657	0.0807224	16.052813849	0.0121266	12.944341	0.0121266	0.0470804	10.889261581	91.78515765	9.12606566	12.4717487	-1.033999	12.4717487	12.4717487	
006-Sample4	0.02105888	1.842428775	23.443429	33.9813249	0.6086331343	0.012866209	14.910209	0.01259024	11.1938562	0.012590245	0.0470804	10.85020483	9.850108483	8.065522533	9.03206656	84.267094	42.9330775	42.9330775	
007-Samples	0.0283779	5.01525253	324.63429	347.8424775	0.6086331343	0.012866209	13.3770476	0.01250245	11.3770476	0.01250245	0.0470804	10.85020483	9.850108483	8.065522533	9.03206656	84.267094	42.9330775	42.9330775	
008-Sample1	0.03443117	3.441230319	24.63429	32.438338	0.60877843	0.012866209	14.910209	0.012590245	11.14493823	0.012590245	0.0470804	10.85020483	9.850108483	8.065522533	9.03206656	84.267094	42.9330775	42.9330775	
009-Sample1	0.03340281	3.33402552	17.11667339	16.90512031	0.616404169	0.012866209	16.90512031	0.012866209	16.90512031	0.012866209	0.0470804	10.85020483	9.850108483	8.065522533	9.03206656	84.267094	42.9330775	42.9330775	
010-Sample1	0.0303855	3.334025526	14.42462519	25.51857547	0.574073	0.012866209	15.0272406	0.012866209	15.0272406	0.012866209	0.0470804	10.85020483	9.850108483	8.065522533	9.03206656	84.267094	42.9330775	42.9330775	
011-Sample1	0.0358869	4.180844	181.080844	307.60152	0.58587384	0.012866209	15.0272406	0.012866209	15.0272406	0.012866209	0.0470804	10.85020483	9.850108483	8.065522533	9.03206656	84.267094	42.9330775	42.9330775	
012-Sample1	0.03676664	3.565281753	14.9340167	24.62040244	0.520872424	0.012866209	15.0272406	0.012866209	15.0272406	0.012866209	0.0470804	10.85020483	9.850108483	8.065522533	9.03206656	84.267094	42.9330775	42.9330775	
013-Sample1	0.03676664	3.565281753	14.9340167	24.62040244	0.520872424	0.012866209	15.0272406	0.012866209	15.0272406	0.012866209	0.0470804	10.85020483	9.850108483	8.065522533	9.03206656	84.267094	42.9330775	42.9330775	
014-Sample1	0.03676664	3.565281753	14.9340167	24.62040244	0.520872424	0.012866209	15.0272406	0.012866209	15.0272406	0.012866209	0.0470804	10.85020483	9.850108483	8.065522533	9.03206656	84.267094	42.9330775	42.9330775	
015-Sample1	0.03676664	3.565281753	14.9340167	24.62040244	0.520872424	0.012866209	15.0272406	0.012866209	15.0272406	0.012866209	0.0470804	10.85020483	9.850108483	8.065522533	9.03206656	84.267094	42.9330775	42.9330775	
016-Sample1	0.03676664	3.565281753	14.9340167	24.62040244	0.520872424	0.012866209	15.0272406	0.012866209	15.0272406	0.012866209	0.0470804	10.85020483	9.850108483	8.065522533	9.03206656	84.267094	42.9330775	42.9330775	
017-Sample1	0.03676664	3.565281753	14.9340167	24.62040244	0.520872424	0.012866209	15.0272406	0.012866209	15.0272406	0.012866209	0.0470804	10.85020483	9.850108483	8.065522533	9.03206656	84.267094	42.9330775	42.9330775	
018-Sample1	0.03676664	3.565281753	14.9340167	24.62040244	0.520872424	0.0													

## Anexo 1. (Continuación) Resultados isotópicos U-Pb en circones.

## Anexo 1. (Continuación) Resultados isotópicos U-Pb en circones.