



Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana

ISSN: 1405-3322

Sociedad Geológica Mexicana A.C.

Zapata-Villada, Juan Pablo; Giraldo, Wilmer; Rodríguez,  
Gabriel; Geraldés, Mauro Cesar; Obando, Milton  
Geoquímica y geocronología U-Pb de la cuarzodiorita de Sabanalarga y el gabro de Santa Fe, Colombia  
Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, vol. 73, núm. 1, 00014, 2021  
Sociedad Geológica Mexicana A.C.

DOI: <https://doi.org/10.18268/BSGM2021v73n1a280520>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94370810014>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc  
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso  
abierto

# 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 Geraldés<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 - 4° e 2° andar/Bloco A Maracanã, 20.550-900, Rio de Janeiro, Brasil.

\* Autor para correspondencia: [J. P. Zapata - Villada] [juanp.zapata@gmail.com](mailto:juanp.zapata@gmail.com)

## Cómo citar este artículo:

Zapata-Villada, J.P., Giraldo, W., Rodríguez, G., Geraldés, 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/>)

## 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.

**Palabras clave:** geoquímica, U-Pb, gabro de Santa Fe, cuarzodiorita de Sabanalarga.

## 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 relations  $(La/Yb)_n$  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. It is suggested for the geological setting of formation for these plutons a double subduction model type Molucca.

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

## 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 félsica) (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

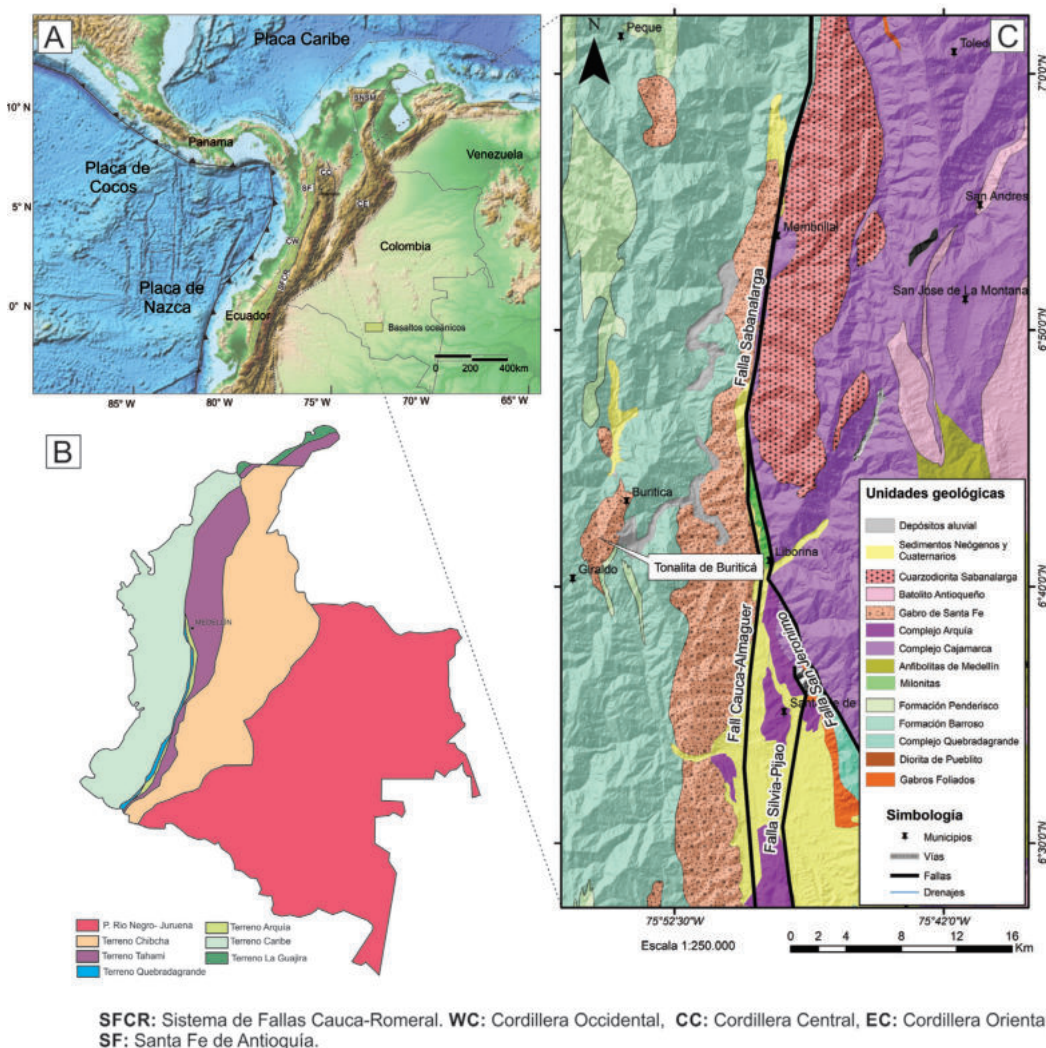
y Gómez, 2005). Nivia y Gómez (2005) separan esta unidad en dos: Gabro de Santa Fe y Cuarzodiorita de Sabanalarga. Al occidente de la Falla Sabanalarga, el Gabro de Santa Fe intruye las rocas de afinidad oceánica asociadas al terreno Caribe y presenta grandes xenolitos de la Granulita de Pantanillo (Cardona, 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 Cuarzodiorita 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



**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 circon 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  $\mu\text{m}$ , 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 software 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 IGRPro6.3.6.4® (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 “Batolito 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 Batolito 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 ( $6^{\circ}40'\text{N}$ ) y en dirección norte, sus estructuras aparentan 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). Sobrepuestas por unidades volcano-

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 Española (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, anfíbolitas granatíferas, esquistos anfibólicos, esquistos de cuarzo-micáceos, cuarcitas, eclogitas, esquistos de glaucófana-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, anfíbolitas 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 depositación de 120 Ma (Zapata, 2015, Zapata *et al.*, 2018).

## 4. Geología del área de estudio

El “Batolito 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 Tahamí; 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 al 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-

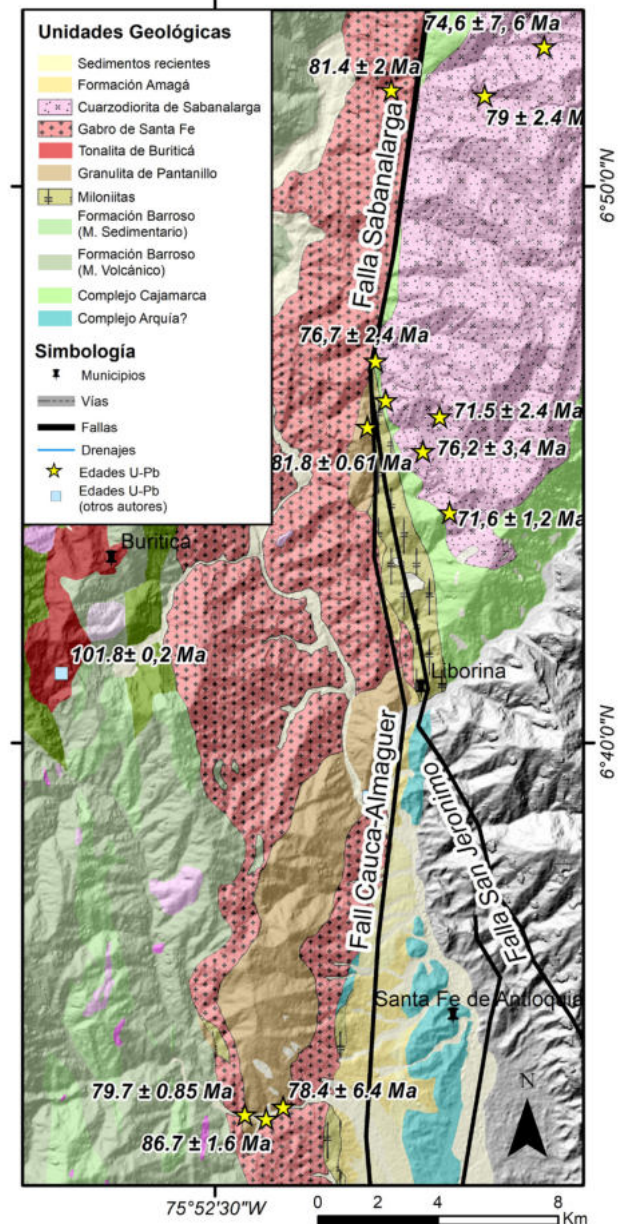


Figura 2 Mapa Geológico del área de estudio (En este trabajo).



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 (gastroica) 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-

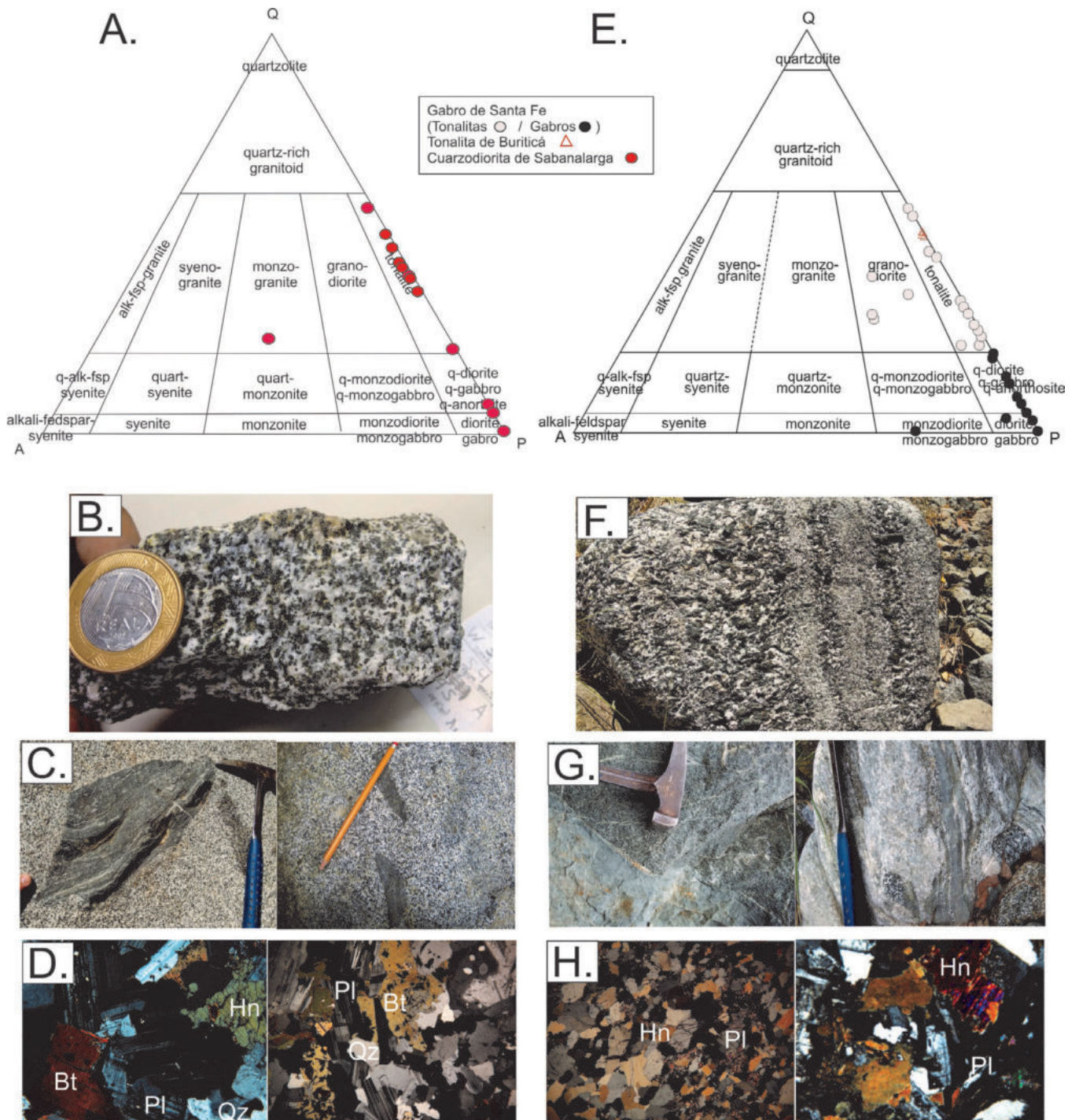
diorita y gabro. Intruye Esquistos de cuarzo-moscovita-grafito y Esquistos de cuarzo-tremollita-epidota del Complejo Cajamarca (terreno Tahamí), mostrados en abundantes xenolitos (Figura 3C); además, presenta enclaves de gabros (Figura 3C). Asimismo, la Cuarzodiorita de Sabanalarga se observa en contacto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

Para esta unidad se analizaron 14 secciones delgadas, que presentan textura subidiomórfica, compuesta por cuarzo, plagioclasas, 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).





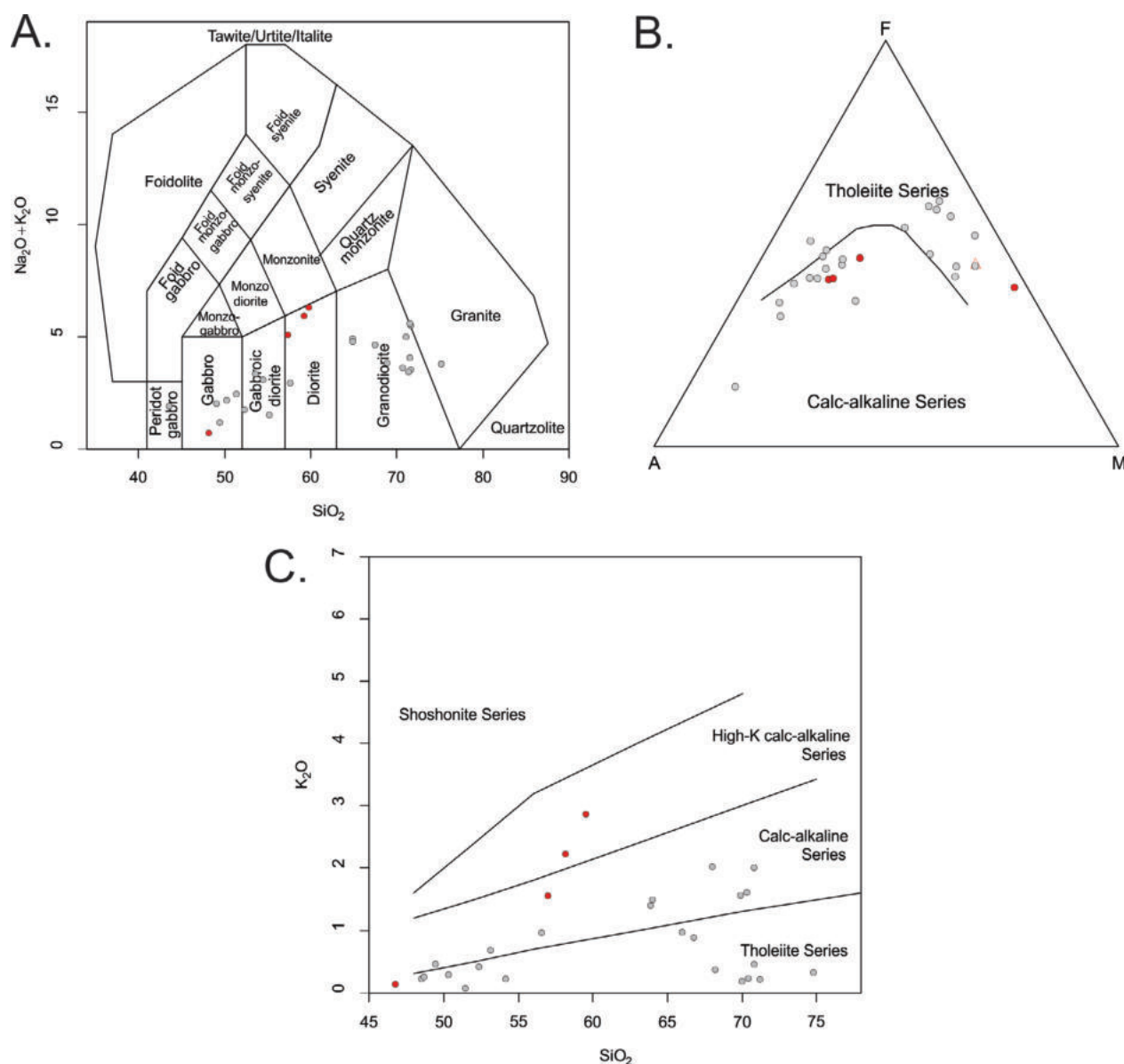
**Figura 3** A. Clasificación petrográfica de la Cuarzodiorita de Sabanalarga. B. Muestra macro de una cuarzo-diorita. C. Izq: Xenolitos de esquistos de qz-msk-graf en Cuarzodiorita, Der: Gabaros de Gabros en Cuarzodioritas. D. Microfotografías correspondientes a la Cuarzodiorita de Sabanalarga. E. Clasificación 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 Gabro de Santa Fe.

Muestra	Cuarzodiorita de Sabanalarga				Gabro 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
Sum_REE	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														
	GR146R	TCR715	TCR732	MR152R	JA74	TCR437	JPZ159A	VR301R	AN18344	AN18342	VR290R	JGT-118A	LMC-385B	TCR-812	TCR-815
SiO <sub>2</sub>	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
TiO <sub>2</sub>	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
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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
MgO	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
CaO	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
Na <sub>2</sub> O	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
K <sub>2</sub> O	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
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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
MnO	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
LOI	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
Sum	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
Li		9.51	1.63			2.63	3.21						1.52	2.608	1.71447
Be		1.62	1.34			1.34	0.72						1.86	0.517	0.22657
Sc	19	22.97	18.74	5	13	7.74	16.49	11	16	16	10	15	6.76	30.620	35.0867
Co	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
Ni	66	20.36	5.43	5		8.61	3.94	6			5		4.02	89.5913	58.5825
Cu		40.96	6.91		10	8.15	16.6		10	60		30	3.18	9.717	44.0194
Zn		51.76	43.64		40	52.44	46.32			50			10.81	61.965	67.004
Ga	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
As		0.87	0.82			0.82	0.42						0.88		
Rb	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
Sr	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
Y	20.3	6	15	12.8	9.9	15.65	4	20.9	17.6	16.6	20.2	15	14	13	36
Cs	0.2	0.4	0.06	0.7	0.1	0.27	0.12				0.4			0.087	
Ba	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
La	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
Ce	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
Pr	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
Nd	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
Sm	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
Eu	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
Gd	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
Tb	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
Dy	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
Ho	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
Er	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
Tm	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
Yb	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
Lu	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
Th	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
U	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
V	131	96	103	56	89	40.7	35	61	55	59	58	59	28	248	252
Zr	84.7	54	81	79.5	96	94.2	54	108.9	80	76	111.4	81	57	38	15
Nb	3.3	2	4	3.7	2.9	5.9	2	4.3	5.1	4.7	4.4	4.6	4	2	
Hf	2.8			2.5	2.2			3.5	2.1	2	3.6	2			
Eu/Eu*	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
LaN/YbN	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
LaN/SmN	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
Sum_REE	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  $\text{La/Yb}=4.4\text{-}5.9$ . 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  $\text{K}_2\text{O}$  (Peccherillo 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 %,  $\text{Na}_2\text{O}=0.86\text{-}3.76$  %; y el de  $\text{K}_2\text{O}$ , varía entre 0.2 hasta 1.4 %; presentando valores de  $\text{Sr}=151\text{-}732$  ppm,  $\text{Y}=7\text{-}20.9$  ppm y razones  $\text{Sr/Y}=9\text{-}122$  y  $\text{La/Yb}=2.08\text{-}7.6$  afines con algunas características adakíticas (Kay and Kay, 2002). En el diagrama TAS (Middlemost, 1994), las muestras caen en el campo de los gabros, gabbro-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  $\text{K}_2\text{O}$  (Peccherillo 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  $(\text{La/Yb})_N=3.0\text{-}3.96$  y  $(\text{La/Sm})_N=2.85\text{-}2.27$  (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  $(\text{La/Yb})_N=2.16\text{-}11.5$ , y  $(\text{La/Sm})_N=1.35\text{-}5.42$  (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

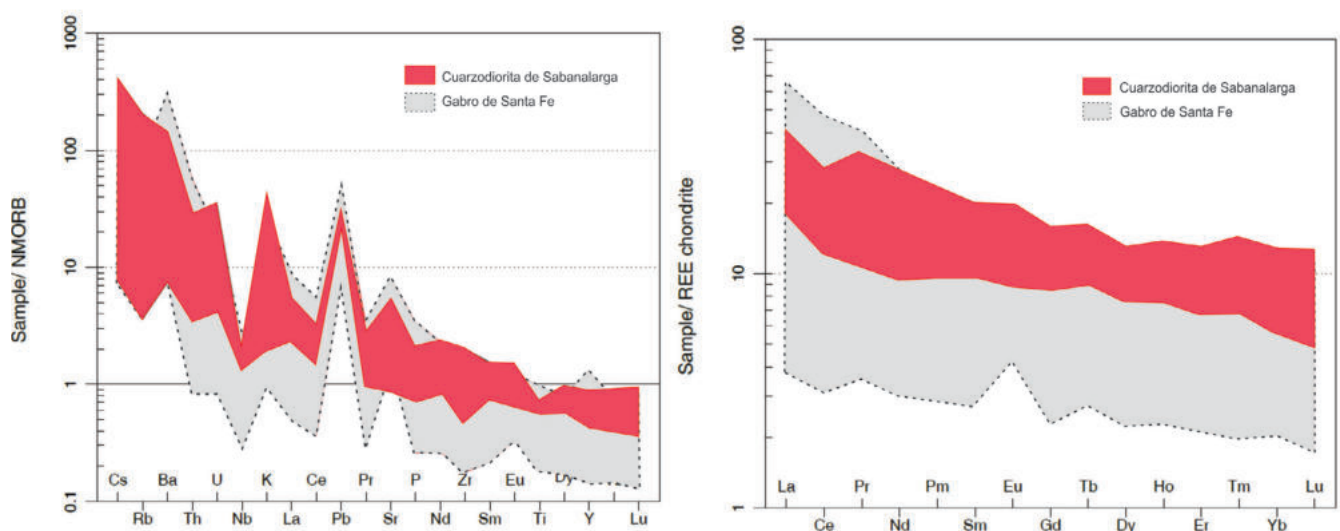


Figura 5 A. Diagrama normalizado al N-MORB (Sun & McDonough, 1989). B. Diagrama normalizado al Condrito (Nakamura, 1974).

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  $(La/Yb)_N$  vs  $Sr/Y$ , correspondientes a arcos continentales; mientras que las muestras del Gabro de Santa Fe se dispersan entre arcos oceánicos y arcos continentales (Figura 6B).

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

### 5.3. GEOCRONOLOGÍA

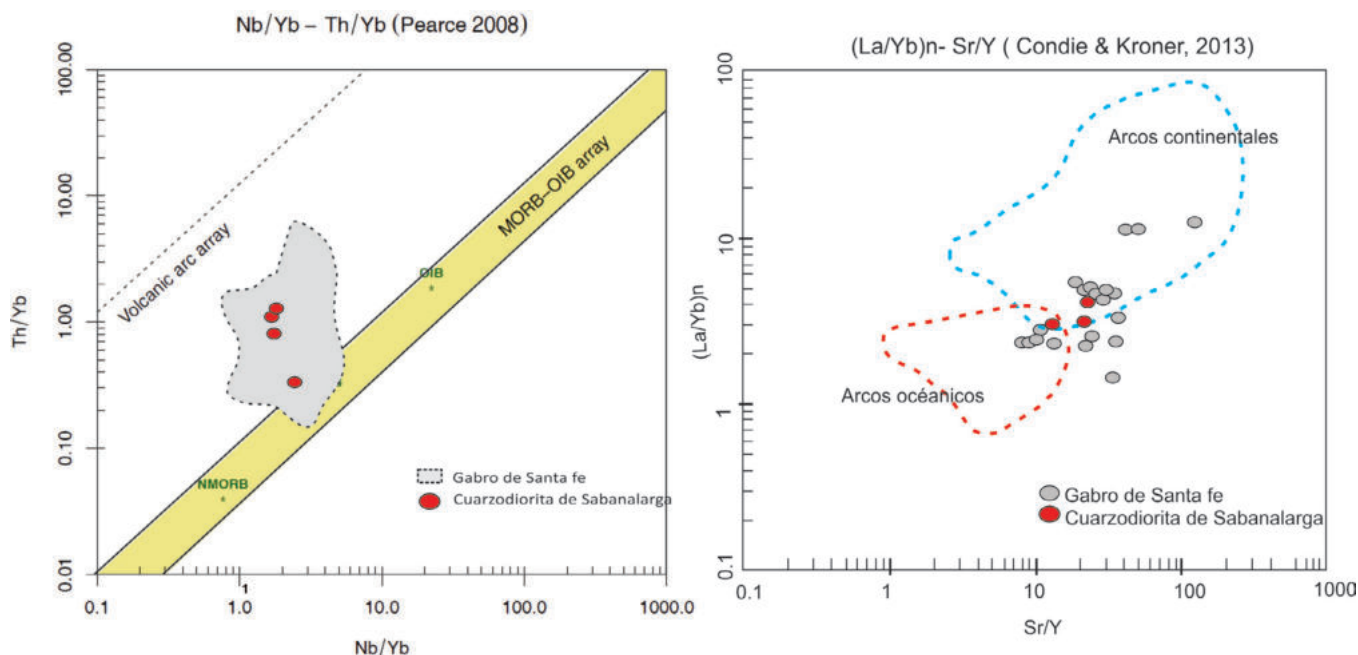
Los análisis geocronológicos fueron realizados siguiendo metodologías distintas por los grupos SGC y UERJ y su distribución espacial se puede observar en la figura 2.

En el SGC fueron analizadas 5 muestras; 2 de la Cuarzodiorita de Sabanalarga (muestras JPZ-178 y MGO-238), y 3 del Gabro 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 Gabro de Santa Fe (WSE, 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, subhedrales a euhedrales, prismáticos alargados e incoloros, con tamaños entre 70 y 100  $\mu m$ . A pesar de la catodoluminiscencia (CL) no ser de buena resolución se observan texturas de zonación oscilatoria concéntrica, texturas de reabsorción magmáticas (Vavra *et al.*, 1999) y valores  $Th/U = 0.57-0.28$  típicos de circones magmáticos (Rubatto, 2002). La edad media ponderada de cristalización de la muestra se calculó a partir de la relación  $^{206}Pb/^{238}U$   $71.6 \pm 1.2$  Ma (MSWD=1.7,  $n=26$ ; Figura 7).

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



**Figura 6** A. Diagrama de discriminación tectónica Nb/Yb vs Th/Yb (Pearce, 2008). B. Diagrama de discriminación  $(La/Yb)_N$  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 circones 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 subhedrales 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 subhedrales 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, subhedrales a anhedrales, 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±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 µm 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±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 µm 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 ± 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 µm 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 ± 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 µm 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 ± 2 Ma.

### 5.3.2.1. STOCK DE BURITICÁ

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

núcleos heredados y tamaños entre 100 y 500 µm 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±2.4, 85.4±2.4, 74.6±7.6, 76.2±3.4, 71.6±1.2, 71.5±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±0.85, 86.7±1.6, 81.86±0.61, 78.4±6.4, 79±2.4, 79±14, 81.4±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±1.7,



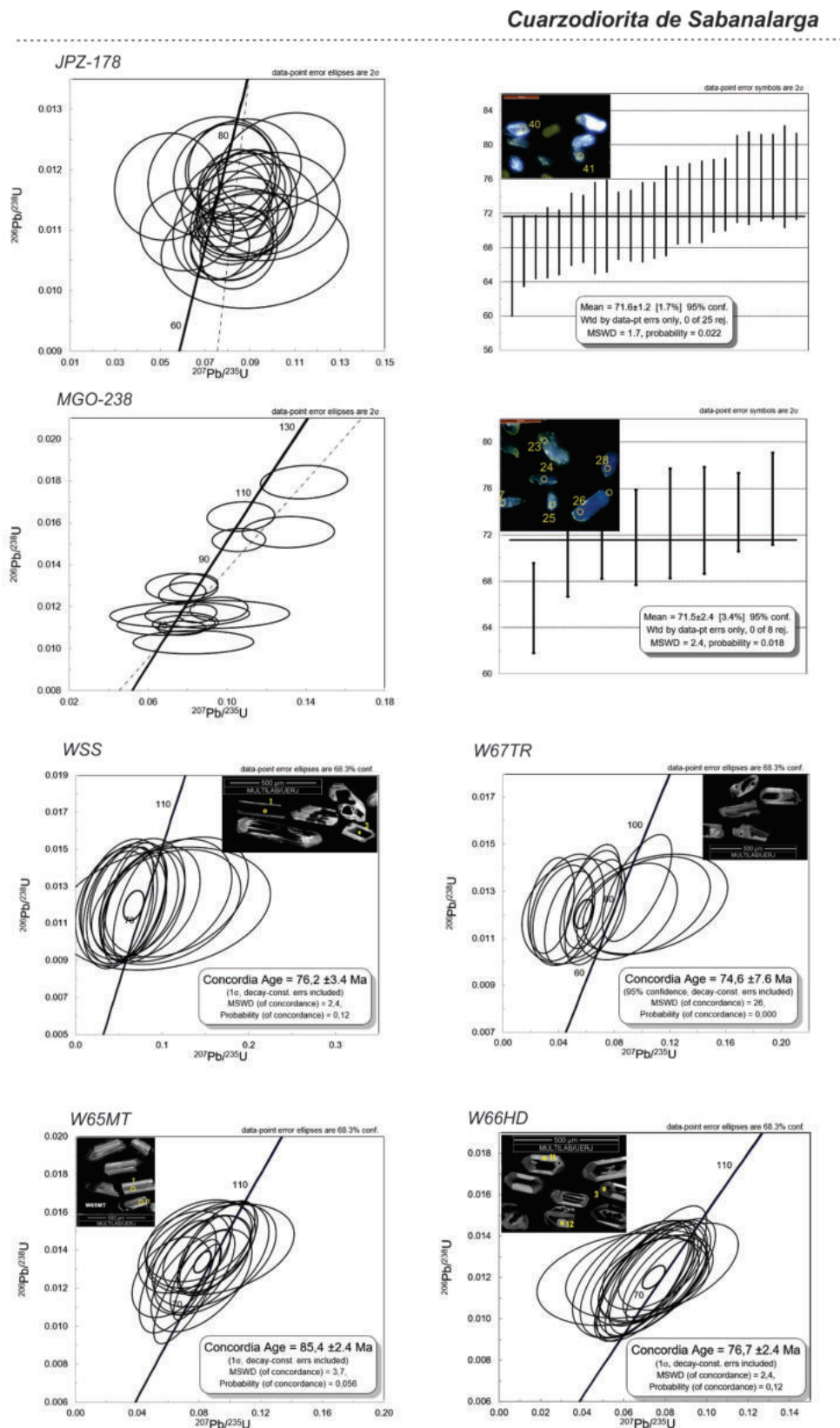


Figura 7 Edades U-Pb muestras JPZ-178, MGO-238, WSS, W67TR, W65MT, W66HD.

Gabro de Santa Fe

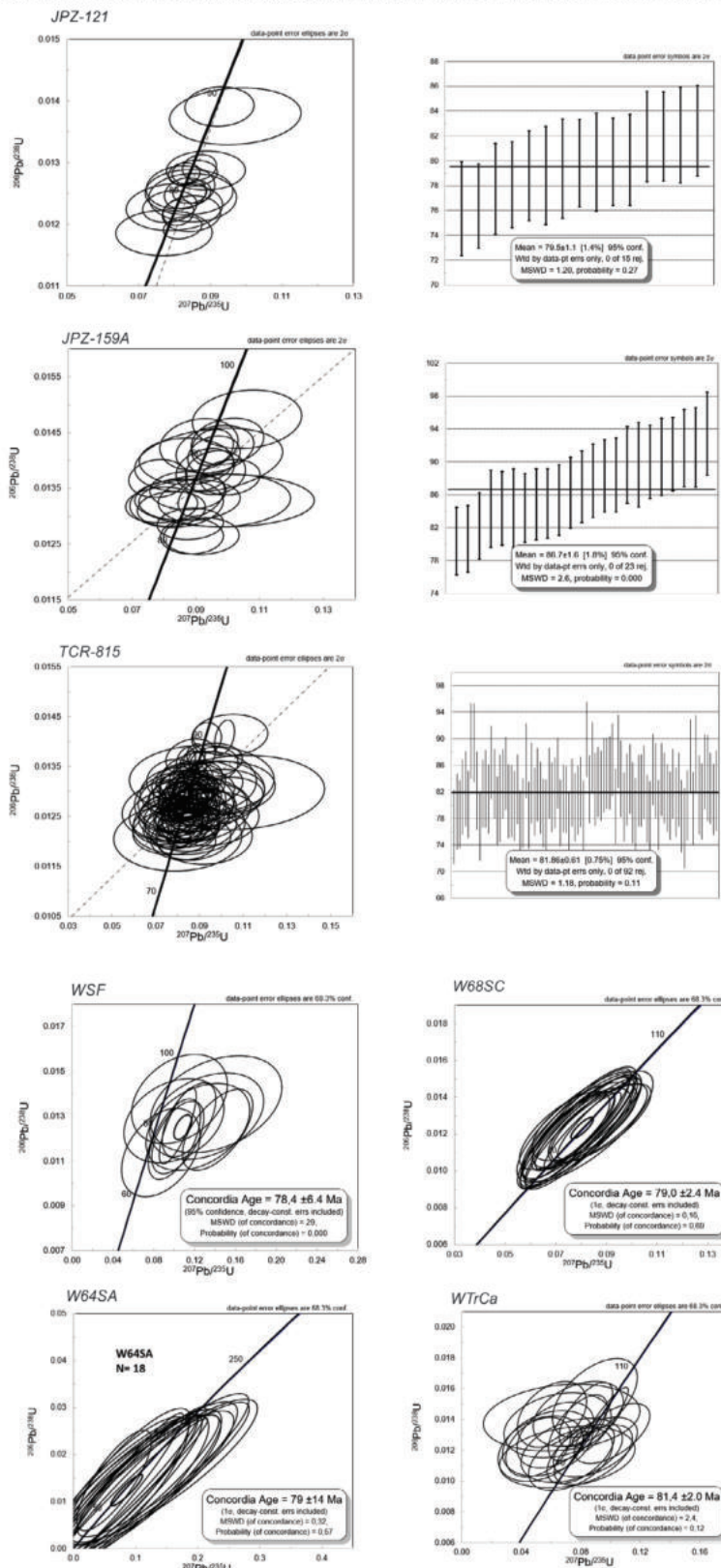


Figura 8 Edades U-Pb muestras JPZ-121, JPZ-159A, TCR-815, WSF, W68SC, W64SA, WTrCa.

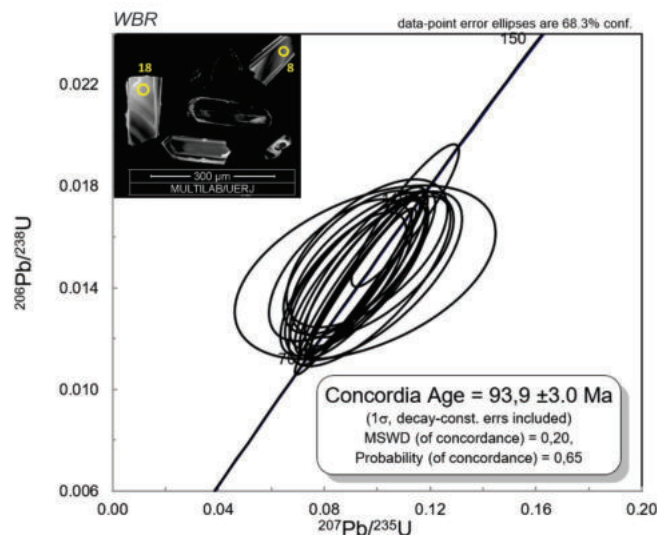


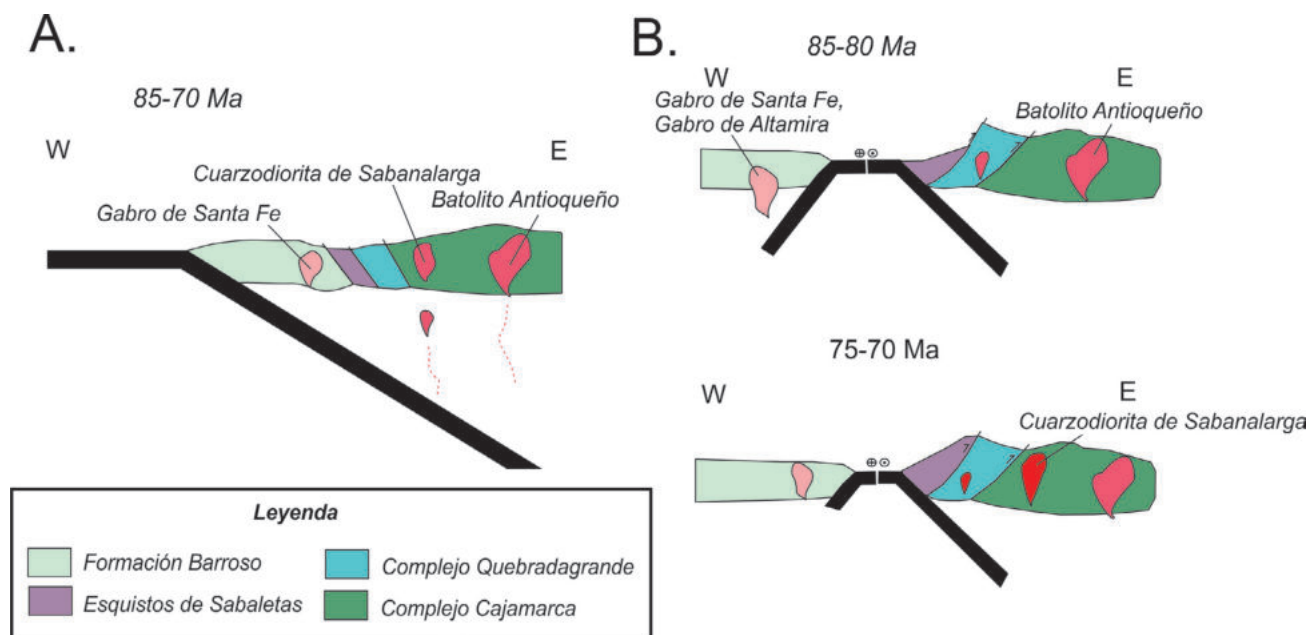
Figura 9 Edades U-Pb muestra WBR.

$84.2 \pm 0.69$  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 Gabro 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  $(La/Yb)_n$  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 Gabro 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 Gabro 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 Gabro 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 Gabro 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 Gabro 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 circones 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  $\epsilon_{\text{Nd}} = +6.58$  (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  $\epsilon_{\text{Nd}} = +7.4, +9.8, +2.6$  (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  $\epsilon_{\text{Nd}} = +7$  (Weber *et al.*, 2015), y  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.70469$  y  $\epsilon_{\text{Nd}} = +6.67, +6.81$

(Ordoñez-Carmona, 2001), valores isotópicos primitivos (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 depositación 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 Pindel, 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 Tahamí, (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 pérdida 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 Francly Ortiz, Tomas Correa, Angela Viviana Rincón, Faustino Mosquera, Manuel Castro (Grupo de Cartografía 1:50.0000 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.
- Barrero, 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, Físicas 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 hydrosorption 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, Switzerland, Thèse 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 and 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 Albion 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, II., 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°35'0 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., Gonzáles, 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, 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 principais eventos magmáticos nos andes colombianos: Brasília-DF, Brasil, Universidad de Brasília, 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., Ceballos, J., Echeverry, S., Barbosa-Espitia, A., Slaterry, 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., Henríquez-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, Occurrence of granulites in the northern part of the Western Cordillera of Colombia: Boletín de Geología, 34, 37–53.
- Rodríguez, G., González, H., Zapata, G., Cossio, 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 isotopic 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 anfíbolita granatífera 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: Geosphere, 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., Castañeda, J.P., 2018, Cretaceous extensional and compressional tectonics in the Northwestern Andes, prior to the collision with the Caribbean oceanic plateau: *Geodynamics 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 Cretácica 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.

Spot number	Isotope ratios										Ages (Ma)						
	<i>F206</i>	Pb ppm	Th ppm	U ppm	Th/Ub	207Pb/235U	1s	206Pb/238U	1s	Rho	207Pb/206Pb	1s	206Pb/238U	1s	207Pb/206Pb	1s	% Conf
WSS/001 A	0.09126334	1.01056083	30.9664586	79.7037529	0.38851946	0.06168948	61.1332129	0.01220887	17.0267126	0.2785182	0.03624666	58.7142298	13.3194639	37.1581983	-582.45947	-341.98659	-13.43044
WSS/002 A	0.07214219	1.38576114	72.1525327	103.797705	0.69512647	0.06605047	38.4702677	0.0120569	17.0876142	0.44417716	0.03925066	34.4670123	78.206584	64.9486076	24.9859032	-19.547923	-13.43044
WSS/003 A	0.12954685	0.89435001	37.5078012	69.1220307	0.54263164	0.05535036	58.2362809	0.01219046	18.1827509	0.31222376	0.03293057	55.3249671	78.1096012	14.2034742	54.7015351	31.8561307	-8.862254
WSS/004 A	0.09330719	0.98474918	43.8224572	76.8781239	0.57002506	0.05228418	66.1498265	0.0119215	17.914103	0.27081103	0.03160812	63.6779747	76.3964695	13.6857422	51.7471804	-34.23067	-7.7745614
WSS/005 A	0.04191435	2.16929024	111.504547	164.210598	0.67903418	0.06112498	31.1251253	0.01198405	17.3165043	0.55635131	0.03699251	25.8633351	76.7949106	13.298194	60.2423225	18.7504988	-144.08081
WSS/006 A	0.05489862	1.68214464	95.4400279	130.306177	0.73242904	0.05367348	50.3446248	0.01197209	17.4835196	0.3251536	0.03251536	47.21131	78.187057	13.41313	53.0868784	-918.16588	-8.3566477
WSS/007 A	0.13384915	1.11328663	52.5036387	93.0808194	0.56406507	0.04931578	54.1914121	0.01173583	17.7954468	0.32838131	0.0304769	51.1862405	75.2135443	13.3845862	48.8788252	26.4881256	-6.7716312
WSS/008 A	0.17165224	0.62197971	23.5070932	54.5940229	0.43057998	0.071553097	59.8003157	0.01238855	16.9665775	0.33398567	0.04187669	77.93710852	13.4665567	70.1512268	35.6370447	-233.94822	-112.02205
WSS/009 A	0.08823283	0.78838137	31.5960067	74.8327689	0.42222154	0.04601472	39.5081681	0.0123422	17.0968306	0.43274167	0.02703972	35.617325	79.0760801	13.5195034	45.6794813	18.0471262	#N/NUM!
WSS/001 B	0.11285071	1.27162544	41.6187087	79.7739796	0.52170782	0.17754687	28.7900698	0.01254686	15.92799	0.55324597	0.10263059	29.9826449	80.3790313	12.8077641	165.947456	47.7763886	1672.23301
WSS/002 B	0.17427611	0.79105747	40.1519295	56.0234212	0.43876421	0.11662908	46.8647616	0.01243085	17.1964447	0.36693787	0.06804634	43.5957336	79.6404197	13.6935207	112.011366	52.4934596	869.965398
WSS/003 B	0.18512959	0.58721183	17.4015278	49.924325	0.42521326	0.10351593	48.8693422	0.01225108	17.8379877	0.36501387	0.06128178	45.4974593	78.4057124	14.0020556	100.016633	48.874707	649.13899
WSS/004 B	0.11065744	1.05845418	50.2560186	77.3121135	0.65004068	0.08763967	42.1258303	0.01244431	16.3608896	0.38838141	0.05233915	48.8188984	77.8156824	12.733379	85.3022396	35.9342767	116.555827
WSS/005 B	0.04850743	1.31261083	64.3063708	93.7256945	0.6861126	0.07798629	41.1108064	0.01191044	16.8779348	0.4105474	0.04744858	37.4864471	76.3259842	12.8822499	76.2499413	31.3469657	73.8669821
WSS/006 B	0.19796528	0.6977079	15.331778	41.152106	0.37256364	0.21183429	23.9069867	0.01293705	18.1558312	0.75943672	0.11875713	15.5534501	82.8627399	15.044191	195.090782	46.6403272	1937.60821
WSS/007 B	0.13603825	0.81882761	30.1015497	60.6342906	0.49644433	0.10443652	54.487271	0.01188613	17.2635163	0.31683577	0.06372511	13.1498148	100.863347	54.9576853	732.51951	378.566884	10.985116
WSS/008 B	0.18058643	0.48015997	18.0328488	36.764822	0.49049194	0.10710433	79.4743504	0.01180099	18.6044432	0.23409368	0.06275156	77.2660796	75.628677	14.0702943	98.716939	78.454646	699.82206
WSS/009 B	0.05451788	2.45578003	141.924984	178.73163	0.79406753	0.07442022	27.4512211	0.01189016	16.3503451	0.59561449	0.04539438	22.050734	76.1967716	12.4584351	72.8853981	20.0079318	-34.440528

Spot number	Pb	Th	U	Isotope ratios					Ages (Ma)					1s abs	1s 206pb	1s 206pb	% Conf
				207Pb/235U	206Pb/238U	206Pb/235U	Rho	207Pb/206Pb	1s 206Pb/238U	1s 206Pb/238U	1s 206Pb/238U	1s 206Pb/238U	207Pb/206Pb				
1205	0.1202568	1.20591444	49.8307081	84.8442172	0.58732003	0.08926985	26.7162783	0.01214955	11.1861542	0.41870182	0.0532897	24.2616875	77.8490704	8.70831709	86.8229749	23.1958676	82.76917849
01	0.10999657	1.07534474	33.4577981	75.2012065	0.44491039	0.1032251	29.1201994	0.01239233	11.1055116	0.38136798	0.06041308	26.9193913	79.3951753	8.81724038	99.7489979	29.0471071	166.4700649
02	0.17846094	0.87427002	22.430185	61.514431	0.36463289	0.10614198	34.5055201	0.01246901	11.2453123	0.32589894	0.06173818	32.6216779	79.8834183	8.98313988	102.430882	35.3440324	216.9510519
03	0.08156243	1.48015256	78.0120938	113.164216	0.68937069	0.06413685	20.6799635	0.01278315	11.3641901	0.5495266	0.03638887	17.2776177	81.8832135	9.30536405	63.1202765	13.0532502	-601.6181608
04	0.36031405	0.79177721	36.6886047	73.4711232	0.49936088	0.04296634	32.9332243	0.01208162	11.1540905	0.33688808	0.025793	30.9868283	77.4163985	8.63509517	42.7160492	14.0677723	0
05	0.08877405	0.66501955	20.5972368	51.6769577	0.39857681	0.06620979	21.6556882	0.01211496	12.1879275	0.56280023	0.03963682	17.900588	77.6287813	9.46133962	55.0963137	14.0971719	-374.5678574
06	0.15812889	0.40360079	14.737888	31.8692738	0.46244819	0.04616122	37.7569845	0.01221719	12.7965462	0.3391865	0.02740343	35.5232631	78.2798252	10.017114	45.8216858	17.9008868	0
07	0.09182855	0.42390511	13.1635497	35.2052136	0.37188069	0.05087202	48.2347793	0.0114952	12.174051	0.35339885	0.03036817	46.673083	77.8488848	9.47767435	50.3836306	24.304325	-1121.590045
08	0.04957171	1.13943046	35.6709339	78.867783	0.6805181	0.09658273	16.9992269	0.01314701	11.4290871	0.67732815	0.05328084	12.5837639	84.1988147	9.62315588	93.6170303	15.9142108	42.88236082
09	0.15505096	0.65014732	10.574732	25.726354	0.4937189	0.06299411	23.060938	0.01246027	12.0724461	0.52338494	0.03666663	19.654545	79.8277762	9.63716528	62.022993	14.3073363	-580.9836411
10	0.06752717	0.7461898	35.959279	63.4879567	0.56534206	0.0827412	53.9840851	0.01207024	11.2265742	0.20796081	0.01986663	52.8038396	77.3553704	8.68435801	28.3106933	15.2832688	0
11	0.05796499	0.4455896	17.5828731	46.6853348	0.37662519	-0.0416542	98.4703057	0.0129542	12.2458816	0.12361116	-0.0267458	-97.705883	72.4067676	8.86684704	-43.20114	-42.540295	0
12	0.06493469	0.72018519	37.0963517	64.974956	0.57093308	-0.0134548	231.063307	0.01136713	11.8964354	0.05148768	-0.0085888	-230.75683	72.8294334	8.6644545	-13.754565	-31.781753	0
13	0.04841553	1.01630931	55.6152344	80.4280543	0.69149074	0.0479508	24.8474101	0.01186887	11.0954272	0.4465426	0.0293012	22.2325277	76.0611388	8.43930825	47.5571315	11.8167155	0
14	0.3023383	0.51913977	26.1118654	52.2763058	0.49949714	0.03468876	31.6835622	0.01239756	10.8760575	0.3432713	0.02029323	29.7583516	79.4284718	8.63868628	34.6252391	10.9705092	0

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

Spot number	f206	Pb	Th	U	Th/U	Isotope ratios				Ages (Ma)			
						207Pb/235U	1s	206Pb/238U	1s	207Pb/235U	1s	206Pb/238U	1s
		ppm	ppm	ppm		[%]	[%]	Rho	207Pb/206Pb	1s	206Pb/238U	1s	207Pb/235U
65MT/01 A	0.09808097	21.206103	81.7021362	166.521127	0.50271658	0.07054733	27.9123792	0.01389857	0.02583964	0.36752139	0.03681368	25.9589332	88.9790101
65MT/02 A	0.19743526	1.02918888	31.6329594	95.6689382	0.33065026	0.07227891	19.731013	0.01182301	15.2963762	0.77525488	0.04433861	75.7690111	9.1278041
65MT/03 A	0.12835356	1.57037298	45.0626995	121.483845	0.37093574	0.07954872	28.7862026	0.01451104	9.80255488	0.34052963	0.03975881	92.8719547	9.10382433
65MT/04 A	0.11050475	1.25141951	40.334791	102.353196	0.39407151	0.06630391	24.8132675	0.01261531	15.4740541	0.62362017	0.03811888	19.3972135	80.8148024
65MT/05 A	0.06237549	2.25087473	75.505137	167.417231	0.45099998	0.0837078	13.9549654	0.01380454	9.76564055	0.69979683	0.04011556	9.6861692	88.3811686
65MT/06 A	0.0894759	1.47615181	51.2680843	109.671476	0.42273328	0.081378	28.4703299	0.01428113	10.4942091	0.3686016	0.04132788	26.465662	91.4108976
65MT/07 A	0.12072555	1.4091381	29.6994563	123.671476	0.27080384	0.08524419	22.1164879	0.0138098	9.75580266	0.44110994	0.04476887	19.84851	88.4145785
65MT/08 A	0.03134697	3.78095645	110.026784	293.931775	0.37432763	0.07233303	13.1482851	0.01234349	10.6728266	0.68117267	0.04641417	7.67907344	79.0262003
65MT/09 A	0.11530997	1.74763103	36.1426942	139.738996	0.2586443	0.07692933	27.2740552	0.01258833	11.1584686	0.40913825	0.03585476	24.8869978	80.6430462
65MT/01 B	0.14706059	1.2592365	26.3008378	93.6553616	0.28082576	0.08981614	29.509372	0.01371352	12.9526963	0.438395	0.04750117	26.514726	87.802341
65MT/02 B	0.14957583	1.77799851	67.1461724	135.774334	0.49454246	0.09362041	33.916226	0.0140531	11.212074	0.33043141	0.0483167	32.0256836	89.9614309
65MT/03 B	0.07731509	1.16195422	32.4562143	104.685225	0.31003625	0.05284222	36.2655874	0.00854296	18.4486297	0.50870897	0.04861323	12.224422	54.8375768
65MT/04 B	0.13601601	1.52630354	37.4562607	122.116683	0.30672519	0.08231509	18.427795	0.0141119	11.126873	0.60381069	0.04741363	14.688271	92.335265
65MT/05 B	0.11643551	1.1442071	106.531761	233.722396	0.45580165	0.09725974	16.8159795	0.012843	11.556694	0.6872484	0.04659164	12.215563	80.3821506
65MT/06 B	0.21551242	1.0840612	73.764224	89.1262878	0.45540626	0.08360287	30.6360287	0.01358824	14.4791458	0.49721824	0.04505932	26.9985294	87.0119694
65MT/07 B	0.1169742	1.29334997	47.6973352	116.204438	0.40146053	0.0817346	26.3808503	0.01240438	14.39545601	0.54567819	0.04778919	22.107023	79.4716679
65MT/08 B	0.07861315	2.9441739	104.597992	226.730716	0.46133337	0.09187303	17.6299152	0.0141155	11.6782527	0.66241117	0.04720527	13.207283	90.3581267
65MT/09 B	0.08013996	2.13410361	82.0630251	165.218661	0.49669344	0.08121144	25.0546681	0.01327076	12.7026654	0.50699795	0.04488067	21.5958024	84.9861617

Spot number	f206	Pb	Th	U	Th/U	Isotope ratios				Ages (Ma)			
						207Pb/235U	1s	206Pb/238U	1s	207Pb/235U	1s	206Pb/238U	1s
		ppm	ppm	ppm		[%]	[%]	Rho	207Pb/206Pb	1s	206Pb/238U	1s	207Pb/235U
003-Sample1	0.0280647	0.78655861	32.8619716	67.4179326	0.48743666	0.06652317	27.2662296	0.01191492	15.6419502	0.57367485	0.04049306	22.3333086	76.345224
004-Sample2	0.04915684	1.41463011	46.7307053	118.928652	0.39293059	0.07146716	22.462724	0.01170506	15.6698255	0.69760743	0.04428243	16.0937502	75.0174987
005-Sample3	0.06665804	1.23749406	35.8831724	99.942924	0.35910132	0.06957156	21.9813998	0.01186948	15.4767347	0.70406684	0.04251075	15.609733	76.065045
006-Sample4	0.21104288	0.848813	12.8625339	74.9422157	0.29172132	0.07498359	23.7443452	0.0119882	15.4248918	0.64920265	0.04536996	18.0603167	76.8213464
007-Sample5	0.05440807	1.54702933	69.7409838	123.173871	0.5661995	0.0726671	19.685281	0.01193521	15.231257	0.78348517	0.0441577	12.23264	76.4837931
008-Sample6	0.2958916	0.69947767	31.318911	60.0641535	0.52142433	0.07625165	20.6473204	0.0125662	15.2671237	0.73942397	0.04000927	13.9006033	80.5021531
009-Sample7	0.06414161	1.34747183	55.2276365	110.76994	0.49857964	0.06870889	21.9940869	0.0117387	15.7711833	0.7170647	0.04245135	15.330024	75.2318451
010-Sample8	0.06610246	1.50947501	58.4761968	118.353052	0.49408271	0.07872867	21.4536512	0.01205366	15.3011655	0.71321965	0.04737102	15.0377353	77.238307
011-Sample9	0.13433506	0.83621512	27.7142526	62.0670671	0.44652106	0.06776048	31.483293	0.01190956	15.7605763	0.5060126	0.04126477	27.2543937	76.3203955
66HD/01 B	0.088337	0.83794109	23.5409179	63.0611578	0.37011578	0.08635468	22.1001871	0.01235326	11.0942606	0.5019849	0.0496332	19.217556	80.3051894
66HD/02 B	0.11276098	1.16222267	40.7007703	90.5923135	0.44927399	0.07404502	23.2577869	0.01196893	11.474352	0.49346137	0.04486827	20.2245233	76.698578
66HD/03 B	0.07355981	1.75793289	83.2522606	128.297512	0.64890004	0.07857653	15.8553625	0.01208918	11.1477194	0.70308827	0.04714056	11.2747892	77.4645517
66HD/04 B	0.15853187	0.50778942	13.6189799	41.6056878	0.32733457	0.07034446	24.4365702	0.01178707	11.8765105	0.48601381	0.04328354	21.3563682	75.5400069
66HD/05 B	0.19066841	0.65300829	24.0680412	49.2640504	0.48855181	0.07501376	22.1727058	0.01260013	11.3011156	0.5096859	0.0431782	19.0765214	80.1782012
66HD/06 B	0.07949759	1.05500639	31.1880367	78.4423648	0.39759175	0.04248805	23.5559664	0.01192551	11.6911424	0.49631343	0.04517942	20.449957	76.4219983
66HD/07 B	0.16177326	0.58582074	21.1135135	44.2818424	0.47679844	0.06766341	34.647609	0.01216925	11.600151	0.3348038	0.04032635	32.6480215	77.9451536
66HD/08 B	0.04680622	2.90184315	148.365081	208.020722	0.70982475	0.07764386	14.0520121	0.01180611	11.2483096	0.80047679	0.04769789	8.42226669	75.9737491
66HD/09 B	0.1744438	0.35661123	20.8845984	41.84233204	0.49911262	0.05974909	45.7667872	0.01192291	12.3760646	0.27041585	0.03643452	16.968027	26.968027

Spot number	Pb	Th	U	Th/Ub	Isotope ratios			206Pb/238U			207Pb/235U			207Pb/206Pb			Ages (Ma)			1 s	abs	%
					1 s	206Pb/238U	206Pb/235U	1 s	206Pb/238U	206Pb/235U	1 s	207Pb/235U	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/235U	207Pb/206Pb	1 s	abs	Conf			
JPZ_121_1	473	894	0.52908277	0.0847	0.0045	0.01069	0.00014	0.06414	0.0563	0.003	67.778006	2.99459125	82.6	4.2	440	100	21.868421					
JPZ_121_2	158.9	390	0.4074359	0.0894	0.0005	0.01106	0.00017	0.029618	0.058	0.0033	69.9639612	3.18025532	86.8	4.7	490	110	24.0638731					
JPZ_121_3	293	458	0.63973799	0.1282	0.006	0.01129	0.00022	0.37893	0.0839	0.0037	69.957589	3.27919283	122.3	5.3	1284	84	77.0981306					
JPZ_121_4	690	1048	0.65839695	0.0828	0.0036	0.01145	0.00013	0.16889	0.0517	0.0022	73.0028525	3.19496675	80.8	3.3	263	85	10.6806066					
JPZ_121_5	96.1	172.2	0.55807201	0.0879	0.0083	0.01117	0.00024	-0.045974	0.0561	0.0054	74.1761501	3.52373167	86.7	7.9	390	170	16.8839309					
JPZ_121_6	304	696	0.43678161	0.0858	0.0032	0.01179	0.00015	0.082531	0.0538	0.0022	74.962851	3.31403262	83.7	3	326	80	11.6553051					
JPZ_121_7	53.2	109.8	0.4845173	0.075	0.012	0.01179	0.00033	0.11836	0.0448	0.0076	75.8170524	3.91736365	70	11	-100	250	-7.6724856					
JPZ_121_8	74.3	138.7	0.53568854	0.077	0.011	0.01186	0.0003	0.019999	0.0461	0.0069	76.1412904	3.97726048	74	11	40	230	-2.8122591					
JPZ_121_9	59.5	133.7	0.44502618	0.096	0.015	0.01194	0.00033	0.15294	0.0479	0.0075	75.5187939	3.86122777	90	11	310	230	19.175632					
JPZ_121_10	285	406	0.70197044	0.0823	0.0044	0.01195	0.00015	0.23527	0.0598	0.0026	76.3609016	3.95068833	80.6	4.1	212	98	5.5139905					
JPZ_121_11	57.9	115.6	0.50086505	0.127	0.017	0.01215	0.00036	0.13396	0.0765	0.0097	75.0222686	4.021484	116	15	780	250	54.6193149					
JPZ_121_12	127	311	0.40836013	0.0847	0.0066	0.01217	0.00024	0.084746	0.0502	0.0038	77.7218506	3.65705144	81.7	6.1	190	130	5.11844404					
JPZ_121_13	388	606	0.64260403	0.081	0.0035	0.01219	0.00017	0.11305	0.0479	0.0022	78.074655	3.46254043	79.2	3.3	121	85	1.4413704					
JPZ_121_14	56.3	143.4	0.39560809	0.0922	0.0095	0.01222	0.00025	-0.049259	0.0541	0.0059	77.656402	3.72951521	90.1	8.9	350	250	16.0239178					
JPZ_121_15	45.8	115.5	0.39665368	0.08	0.011	0.01228	0.00031	-0.077369	0.0463	0.0063	78.806796	3.95770521	79	10	20	210	0.24516158					
JPZ_121_16	242	309	0.78317152	0.0786	0.0062	0.01229	0.00021	0.17983	0.0472	0.0037	78.7817174	3.60503307	76.1	5.8	30	130	-3.409844					
JPZ_121_17	33.3	93.1	0.35767991	0.096	0.013	0.01232	0.00037	-0.0093079	0.0588	0.0084	77.8234408	4.12833841	92	13	390	250	18.2163099					
JPZ_121_18	131	317	0.41324921	0.0978	0.0075	0.0124	0.00027	0.2875	0.0574	0.0048	78.466286	3.75992544	94.5	7.1	540	140	20.4336703					

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

Spot number	f206	Pb	Th	U	Th/Ub	Isotope ratios				Ages [Ma]			
						207Pb/235U	1s [%]	206Pb/238U	1s [%]	207Pb/235U	1s [%]	206Pb/238U	1s [%]
JPZ_159_A_5	31.6				97.2	0.32510288	0.116	0.028	0.01227	0.00048	-0.05976	0.0097	0.01264
JPZ_159_A_11	168.5				372.8	0.45198498	0.0917	0.0097	0.01264	0.00027	0.053295	0.00535	0.0057
JPZ_159_A_8	173				520	0.32692131	0.0887	0.0081	0.01264	0.00026	0.03097	0.0541	0.0047
JPZ_159_A_3	163.8				810	0.20222222	0.097	0.01	0.01285	0.00026	0.073065	0.051	0.0058
JPZ_159_A_12	160.6				463	0.34686825	0.0882	0.0085	0.01286	0.00023	-0.072143	0.049	0.0047
JPZ_159_A_2	34.02				75.9	0.44822134	0.209	0.037	0.01302	0.00072	0.13336	0.128	0.038
JPZ_159_A_14	97.6				278.5	0.35044883	0.105	0.013	0.01309	0.0003	-0.089192	0.0573	0.0071
JPZ_159_A_1	497				665	0.74736842	0.0823	0.0087	0.01313	0.00026	-0.067555	0.0446	0.0049
JPZ_159_A_4	210.7				353	0.59688385	0.129	0.017	0.01318	0.00031	0.11061	0.0705	0.0091
JPZ_159_A_10	127.6				347	0.36772334	0.0793	0.0092	0.0132	0.00026	-0.065371	0.0437	0.005
JPZ_159_A_38	60.7				199	0.30502513	0.139	0.03	0.01321	0.00035	0.27718	0.075	0.016
JPZ_159_A_36	137.9				393	0.35089059	0.084	0.012	0.01323	0.00035	-0.093453	0.0512	0.0071
JPZ_159_A_15	145				240	0.59166667	0.099	0.023	0.01328	0.00039	0.0039099	0.054	0.013
JPZ_159_A_25	32				141.1	0.24805103	0.099	0.017	0.01328	0.00039	0.066803	0.0547	0.0092
JPZ_159_A_7	74.4				285	0.26105263	0.088	0.013	0.01329	0.0003	-0.089314	0.0503	0.0072
JPZ_159_A_24	15.8				60.6	0.26072607	0.106	0.041	0.01333	0.00069	0.067095	0.074	0.027
JPZ_159_A_17	140				212	0.66037736	0.116	0.032	0.01335	0.00054	0.076924	0.07	0.017
JPZ_159_A_23	90.3				1002	0.09011976	0.0917	0.0059	0.01335	0.00029	0.37116	0.049	0.0028
JPZ_159_A_16	353				626	0.56389776	0.0875	0.0098	0.01346	0.00028	0.011882	0.0472	0.0054
JPZ_159_A_28	56.8				140.2	0.40513552	0.12	0.019	0.0135	0.00044	-0.064849	0.072	0.012
JPZ_159_A_21	81.4				178.9	0.45500279	0.124	0.024	0.01355	0.00044	0.044831	0.073	0.015
JPZ_159_A_6	10.57				60.4	0.175	0.111	0.046	0.01364	0.00067	0.1245	0.083	0.031
JPZ_159_A_18	633				1000	0.633	0.0781	0.0075	0.01367	0.00028	-0.013797	0.0407	0.004
JPZ_159_A_31	341.2				434.2	0.78581299	0.1008	0.0077	0.0137	0.00026	0.14543	0.0544	0.0041
JPZ_159_A_27	44				105	0.41904762	0.125	0.035	0.01376	0.00055	0.048086	0.068	0.02
JPZ_159_A_37	414				800	0.5175	0.0962	0.0077	0.01378	0.00032	0.12663	0.0526	0.0044
JPZ_159_A_32	182.1				389	0.46812339	0.0929	0.0075	0.01383	0.00031	0.25163	0.0489	0.0039
JPZ_159_A_34	45.6				129.4	0.35239567	0.127	0.021	0.01396	0.00037	0.079378	0.069	0.012
JPZ_159_A_9	66				256.8	0.25700935	0.087	0.012	0.01398	0.00034	0.0148	0.0465	0.0063
JPZ_159_A_20	147				607	0.24217463	0.094	0.014	0.014	0.00047	0.26519	0.0475	0.009
JPZ_159_A_26	151				445	0.33932584	0.0957	0.0067	0.01409	0.00028	0.19413	0.0497	0.0033
JPZ_159_A_13	191.9				457	0.41991247	0.1302	0.0099	0.01418	0.00026	-0.020664	0.0656	0.005
JPZ_159_A_29	164.7				268	0.61455224	0.096	0.01	0.0142	0.00035	0.25173	0.0504	0.0051
JPZ_159_A_39	430				1598	0.26908636	0.0952	0.0054	0.01423	0.00027	0.18841	0.049	0.0028
JPZ_159_A_41	71.2				188.4	0.37791932	0.173	0.037	0.01423	0.00063	0.20865	0.085	0.019
JPZ_159_A_35	90.8				389	0.23341902	0.091	0.01	0.01428	0.00038	0.15247	0.0448	0.0051
JPZ_159_A_19	597				870	0.6862069	0.1	0.0093	0.01434	0.00034	0.18834	0.049	0.0046
JPZ_159_A_40	184				519	0.35452794	0.125	0.017	0.01455	0.00056	0.11096	0.0635	0.0083
JPZ_159_A_33	52.8				171.4	0.30805134	0.106	0.014	0.01474	0.00043	0.12456	0.0554	0.0072
JPZ_159_A_30	13.42				47.1	0.28492569	0.249	0.052	0.015	0.00077	0.22494	0.134	0.028
JPZ_159_A_22	76.2				230	0.33130435	0.182	0.036	0.01638	0.00058	0.63265	0.071	0.012



Spot number	$Pb$						$Th/Ub$						Isotope ratios						Ages (Ma)							
	f206	ppm	Th	U	ppm	%	1 s	207Pb/ 238U	1 s	206Pb/ 238U	1 s	Rho	207Pb/ 206Pbe	1 s	207Pb/ 235U	1 s	abs	1 s	obs	207Pb/ 206Pb	1 s	%	Conf.			
TCCR B15_105	100.9	179.8	1.78196234	0.11	0.015	0.01187	0.00034	-0.12512	0.0687	0.0098	74.045702	5.08109041	102	14	600	280	37.7527624	260	11.6217966	210	8.08544151					
TCCR B15_121	112	227.9	2.03482143	0.091	0.015	0.01193	0.0004	0.01206	0.06	0.01	75.2541193	5.32094314	84	14	180	180	11.6217966	210	8.08544151							
TCCR B15_125	762	601	7.8871391	0.084	0.011	0.01201	0.00031	0.0080252	0.0493	0.0066	76.7911005	5.14457867	83	10	160	210	8.08544151									
TCCR B15_137	176.8	327.8	1.8140724	0.086	0.015	0.01206	0.00036	-0.025366	0.0514	0.0098	76.9056961	5.29772396	81	14	20	290	5.32379799									
TCCR B15_151	64.6	139.8	1.6408669	0.093	0.017	0.01205	0.00035	-0.033904	0.056	0.0011	76.3960798	5.28673332	86	16	-10	100	1.22309922									
TCCR B15_58	140.5	669.1	1.4515773	0.0805	0.0044	0.01206	0.00016	0.023516	0.0478	0.0026	77.2550936	4.86592673	78.2	4.2	110	410	1.22309922									
TCCR B15_74	42.3	92.9	2.19621979	0.08	0.024	0.01207	0.00055	0.047185	0.056	0.016	76.5232778	6.03951969	72	23	-300	410	1.22309922									
TCCR B15_163	164.8	234	1.41990291	0.092	0.018	0.0121	0.00046	0.021974	0.056	0.011	76.7118251	5.61643904	85	17	170	330	10.804299									
TCCR B15_81	147	375	2.55102041	0.093	0.012	0.01214	0.00028	-0.005392	0.0568	0.0075	76.8862618	5.05032942	89	11	260	310	15.7554002									
TCCR B15_135	194	320	1.64984854	0.079	0.016	0.0122	0.00038	0.127555	0.046	0.0096	78.3249949	5.95976298	74	16	-80	300	-5.5218026									
TCCR B15_109	81.9	159	1.94139194	0.102	0.018	0.01222	0.00043	0.027963	0.062	0.012	78.5765823	5.51647656	94	16	160	220	2.2691347									
TCCR B15_65	221	343	1.5520362	0.079	0.012	0.01225	0.00033	0.072972	0.0472	0.0071	78.8263607	5.29103951	75	11	-20	220	-4.4906713									
TCCR B15_98	253	308	1.41501976	0.079	0.01	0.01225	0.0003	-0.01147	0.0482	0.0064	78.4278017	5.21311139	75.2	9.6	-10	200	-11.56345									
TCCR B15_139	114.9	353.7	2.64316797	0.075	0.016	0.01227	0.0004	-0.0002138	0.046	0.01	78.77255	5.54190639	69	15	-210	300	-4.125979									
TCCR B15_4	69.5	143.4	2.06330935	0.085	0.021	0.0123	0.00046	-0.014378	0.052	0.014	78.3705592	5.75334473	76	20	-120	360	-3.0248083									
TCCR B15_113	832	882	1.06009615	0.0844	0.061	0.0123	0.00023	0.0088446	0.0504	0.0039	78.5288398	5.04932309	82	5.8	180	140	4.42016436									
TCCR B15_162	86.3	119.6	1.38586337	0.068	0.016	0.0123	0.00049	0.049287	0.0389	0.0094	79.6668477	5.88546581	82	15												

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

Spot number	Pb	Th	U	Th/U	207Pb/ 235U	1 s [%]	Isotope ratios			207Pb/ 206Pb	1 s [%]	Rho	Ages (Ma)			207Pb/ 206Pb	1 s abs	%	Concl
							206Pb/ 238U	1 s [%]	206Pb/ 238U				207Pb/ 235U	1 s abs					
TCR 815_130	472			832	1.76271186	0.098	0.011	0.01253	0.0003	0.023814	0.054	0.0059	79.6283957	5.23718441	94	10	360	180	18.0483409
TCR 815_140	447			1073	2.40044743	0.079	0.081	0.01252	0.00026	-0.019267	0.0432	0.0047	80.451281	5.21363622	76.4	7.6	0	170	-5.0356948
TCR 815_152	78.8			152.1	1.93020305	0.075	0.013	0.01254	0.00038	0.111945	0.0448	0.0081	80.6195967	5.51033465	72	13	-110	260	-10.691689
TCR 815_24	44.4			178.5	4.02027027	0.0869	0.094	0.01254	0.00029	0.070422	0.0519	0.0057	79.9035036	5.24684893	84.2	8.6	310	180	5.37710634
TCR 815_97	394			429	1.08883249	0.076	0.011	0.01256	0.00031	0.075163	0.0438	0.006	80.8486453	5.36302944	73	10	-10	200	-9.7078254
TCR 815_150	111			196	1.76576577	0.103	0.016	0.01256	0.00042	0.025063	0.0571	0.0096	79.5050847	5.57653518	94	15	340	260	18.2314319
TCR 815_83	308			890	2.89651039	0.0908	0.068	0.01259	0.00022	-0.0079167	0.0528	0.004	80.1296373	5.09973345	87.3	6.3	260	140	8.94845273
TCR 815_104	72.6			145.4	2.00275482	0.08	0.018	0.01255	0.00044	0.16628	0.046	0.011	80.5624894	5.73376234	74	18	-90	320	-8.1458374
TCR 815_134	1092			1182	1.08241758	0.0869	0.067	0.01259	0.00023	0.032583	0.0489	0.0039	80.5245421	5.12131874	83.7	6.2	140	140	3.94346597
TCR 815_85	766			979	1.27806789	0.0827	0.073	0.0126	0.00025	0.060341	0.0473	0.0041	80.750367	5.1970336	80.7	6.7	120	150	-0.0623737
TCR 815_116	42.63			97.8	2.29415904	0.115	0.034	0.01255	0.00062	-0.024198	0.081	0.024	77.0291991	6.50098942	91	31	-160	480	18.1370195
TCR 815_110	78.6			167	2.1468193	0.084	0.024	0.01262	0.00054	0.111276	0.052	0.013	80.400979	6.13047262	78	22	30	350	-2.9862559
TCR 815_149	40.9			150.9	3.68948655	0.075	0.015	0.01262	0.00035	0.091608	0.0421	0.0085	81.4057418	5.5353202	69	14	-180	270	-15.2393994
TCR 815_93	1191			154.1	1.2938707	0.0842	0.055	0.01263	0.00018	0.134	0.0485	0.0031	80.8199315	5.05555056	81.9	5.1	130	120	1.3363888
TCR 815_86	1377			1319	0.95787945	0.0799	0.061	0.01264	0.00022	0.011765	0.0464	0.0036	81.0971163	5.13423421	77.3	5.7	50	130	-4.6821841
TCR 815_77	186.1			279.8	1.50349275	0.091	0.013	0.01266	0.00033	0.093583	0.0524	0.0073	80.6140282	5.38975298	85	12	160	220	5.44070545
TCR 815_102	1073			1308	1.21901212	0.0845	0.045	0.01267	0.0002	0.23509	0.0491	0.0025	81.0136789	5.11161627	82.3	4.2	153	95	1.58778256
TCR 815_124	140.5			263	1.87188612	0.092	0.016	0.01268	0.00039	0.20937	0.0544	0.0091	80.5369013	5.59440719	85	14	210	260	5.54168166
TCR 815_68	223			382	1.71300448	0.087	0.01	0.01272	0.00034	0.008037	0.051	0.0062	81.1376856	5.44759741	83.7	9.8	150	200	3.15798306
TCR 815_78	182.1			344	1.88907194	0.092	0.011	0.01273	0.00026	-0.029485	0.0536	0.0067	80.9350483	5.2493611	87	10	130	190	7.49360364
TCR 815_16	11.06			49.9	4.51175407	0.129	0.036	0.01276	0.00067	0.063924	0.082	0.023	78.2104738	6.5826945	114	33	-10	490	45.7605285
TCR 815_31	65.8			223.2	3.39209726	0.0873	0.086	0.01274	0.00026	-0.061454	0.0519	0.0054	81.1725235	5.24361984	83.4	8.1	220	170	2.74412622
TCR 815_7	158.5			336	2.11987382	0.0732	0.097	0.01277	0.0003	0.11827	0.042	0.0057	82.3793827	5.43542126	69.8	9.1	-120	300	-8.0408593
TCR 815_26	30.9			66.8	2.1618123	0.084	0.018	0.01277	0.00049	0.055495	0.05	0.011	81.5579608	5.95876493	75	16	-120	300	-8.0408593
TCR 815_34	77.7			178.1	2.29214929	0.105	0.013	0.01279	0.00032	0.041414	0.0609	0.0073	80.5641231	5.3409528	100	12	390	220	24.1247297
TCR 815_63	120			263	2.19166667	0.097	0.018	0.01279	0.0004	0.29654	0.0544	0.0095	81.2326422	5.65964164	89	16	280	260	9.56186779
TCR 815_138	118.6			291.8	2.46037099	0.081	0.017	0.01279	0.0005	-0.14302	0.045	0.01	82.1993418	6.05787559	74	16	-160	300	-9.9749482
TCR 815_146	86.2			292	3.387471	0.109	0.014	0.01279	0.00035	0.11086	0.0578	0.0075	80.882961	5.48572371	102	13	480	210	26.1081428
TCR 815_28	73.3			171.7	2.34242838	0.0826	0.096	0.01281	0.00031	0.081988	0.0465	0.0054	82.1728322	5.40436833	79.3	9	0	190	-3.4960851
TCR 815_41	93.8			136	1.44989339	0.08	0.021	0.0128	0.00044	0.162	0.048	0.012	81.9545848	5.86919051	69	19	-120	330	-15.807029
TCR 815_95	223			589	2.64125561	0.0879	0.098	0.0128	0.00027	0.31001	0.0492	0.0056	81.8310831	5.32705485	83.6	9	50	190	2.16166869
TCR 815_2	175.1			2141	1.22272987	0.091	0.005	0.01282	0.00019	0.14237	0.0516	0.0028	81.7110098	5.09837009	88.3	4.6	230	100	8.06377286
TCR 815_5	138.2			483	3.49493488	0.082	0.089	0.01282	0.00029	0.12146	0.0466	0.0052	82.2263958	5.40128939	79.1	8.4	60	180	-3.8021803
TCR 815_9	532			1115	2.09586466	0.0852	0.047	0.01282	0.00018	0.022101	0.0494	0.0028	81.937783	5.11141658	82.9	4.4	170	110	1.17432635
TCR 815_154	274			325	1.18613139	0.0736	0.092	0.01282	0.00031	0.020546	0.0422	0.0052	82.6799128	5.42936953	71.8	8.6	-120	180	-13.159076
TCR 815_165	598			865	1.44648829	0.085	0.068	0.01282	0.00028	-0.012941	0.049	0.004	81.979014	5.31193577	81.9	6.4	130	150	-0.0963831
TCR 815_118	189.3			359.1	1.89698891	0.081	0.012	0.01283	0.00035	-0.019657	0.0459	0.0067	82.3624657	5.5498045	78	11	20	230	-5.2966672
TCR 815_148	262			317	1.20992366	0.0826	0.092	0.01283	0.00032	0.19419	0.046	0.0049	82.3521504	5.40178527	80.2	8.6	30	160	-2.6133506
TCR 815_101	380			473	1.24473684	0.077	0.082	0.01285	0.00028	-0.0054241	0.045	0.0049	82.5832815	5.34487942	74.6	7.8	-40	170	-9.6669464
TCR 815_76	1155			1397	1.20952381	0.0843	0.038	0.01287	0.00017	0.097978	0.048	0.0022	82.4008476	5.11595582	81.9	3.5	113	85	-0.6078185
TCR 815_111	59.8			144	2.0802676	0.068	0.024	0.01288	0.00055	0.051843	0.049	0.017	82.3610453	5.36078066	61	23	-310	370	-25.93586

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

Spot number	Isotope ratios										Ages (Ma)										1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb/206Pb	1 s	207Pb
-------------	----------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------------	-----	-------





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

Spot number	F206	Pb	Th	U	Th/Ub	206Pb/238U	1s	206Pb/238U	1s	Rho	207Pb/206Pb	1s	207Pb/235U	1s	Ages (Ma)	207Pb/206Pb	1s	207Pb/235U	1s	%	Conf
001 A	0.55466962	0.52110875	3.22340218	12.0441895	0.26763131	1.74106028	33.7748787	0.02152872	18.8145359	0.57493065	0.19723219	26.7755658	137.3110233	25.8342812	834.225649	172.999332	4014.75855	1074.97432	3.42013652		
002 A	0.38234478	0.53822257	5.83451577	20.8956599	0.27922142	0.42650355	33.5570816	0.02590835	12.8965168	0.3845499	0.13723142	30.9528286	100.31823	12.9375549	360.690849	270.965184	2803.42236	867.891613	3.57842025		
003 A	0.4019154	0.53460199	6.33483869	22.1999927	0.28535319	0.26211494	15.6239635	0.04128184	7.99525975	0.48273546	0.13246327	14.505284	91.0124648	7.7269287	27.259416	39.2963624	2154.46619	312.51144	4.22436264		
004 A	0.18171587	0.20546296	82.9457681	140.348293	0.53099848	0.11461211	15.0795027	0.0282473	8.53705466	0.56613635	0.10209134	15.46450181	81.7078213	7.34973508	167.675198	29.9976557	1662.48816	257.095661	4.91479117		
005 A	0.08171797	0.209564296	82.9457681	140.348293	0.53099848	0.11461211	15.0795027	0.0282473	8.53705466	0.56613635	0.10209134	15.46450181	81.7078213	7.34973508	167.675198	29.9976557	1662.48816	257.095661	4.91479117		
006 A	0.36327864	0.29569142	126.46435	207.061435	0.50751762	0.10359691	11.42374495	0.01637484	0.06738104	0.54891004	0.06738104	12.3402091	82.1478962	7.30130408	167.675198	29.9976557	1662.48816	257.095661	4.91479117		
007 A	0.07246171	1.73572952	21.1007085	20.387905	0.50752614	0.10359691	11.42374495	0.01637484	0.06738104	0.54891004	0.06738104	12.3402091	82.1478962	7.30130408	167.675198	29.9976557	1662.48816	257.095661	4.91479117		
008 A	0.1485449	0.86951686	23.120146	58.1635764	0.39912986	0.14024637	16.024638	0.01238207	0.64905298	0.60229548	0.07567683	12.7887073	96.98233	7.65457669	127.96808	163.655913	61.9913992	127.96808	163.655913		
009 A	0.08373593	0.3471081	30.791455	85.845626	0.35868905	0.10023174	16.9495245	0.01196683	0.92605722	0.58562455	0.06074698	13.7389872	76.682397	7.6188072	96.98233	163.655913	61.9913992	127.96808	163.655913		
001 B	0.19119363	1.37559568	24.9882125	67.2300364	0.37169714	0.32267989	13.3211377	0.01455676	0.26162837	0.69323806	0.16071509	9.57470356	93.1942553	8.63130559	283.961918	37.826579	2463.19745	235.843854	3.7834667		
002 B	0.18738664	0.17100779	48.2505947	18.5319065	0.35325892	0.14101616	10.2197321	0.02597321	0.308597321	0.34943436	0.07556274	28.5508185	86.6673238	9.1348532	133.948532	40.5324671	1083.50921	307.197414	7.9987621		
003 B	0.03490863	0.87685049	24.505947	59.0110542	0.31452638	0.12311603	17.1825124	0.01255188	0.10241458	0.77679377	0.07556274	28.5508185	86.6673238	9.1348532	133.948532	40.5324671	1083.50921	307.197414	7.9987621		
004 B	0.27583313	0.05089982	12.2958031	33.908731	0.3682385	0.21569793	15.6197074	0.01277074	0.03148728	0.69103184	0.09323367	15.46450181	81.7078213	7.34973508	167.675198	29.9976557	1662.48816	257.095661	4.91479117		
005 B	0.37661476	0.89629752	19.0140309	53.2490599	0.35707163	0.18041411	17.5520335	0.01318798	0.07712129	0.57473187	0.09921811	14.3635623	93.1942553	8.63130559	283.961918	37.826579	2463.19745	235.843854	3.7834667		
006 B	0.39923139	0.54887252	11.8725786	33.36815	0.3338615	0.13187843	27.9997817	0.01299879	0.1159168	0.35041672	0.07358164	26.224426	83.256652	8.3256652	168.416829	29.5605782	1609.46822	231.176973	5.2476302		
007 B	0.32536144	0.8531867	22.2506967	56.059008	0.39691563	0.08866799	29.2162244	0.01137542	1.4978761	0.39354421	0.05538484	26.8586413	72.9167401	8.38387642	84.5815654	24.71154	427.791831	14.899074	17.0449118		
008 B	0.0938911	1.27047069	32.9440161	94.8333939	0.34738835	0.09976264	32.2842965	0.01279963	0.66564557	0.29393155	0.05652872	30.8034266	61.9881332	7.92468237	96.5572164	31.172818	473.195024	145.760282	17.3264994		
009 B	0.21802934	0.68000469	21.166331	48.8518939	0.43327534	0.10513567	29.546068	0.01376635	9.60211174	0.324988	0.05358982	27.9422525	88.1833089	8.46314393	101.505921	29.93910084	427.992315	119.590694	20.5934326		

Spot number	Isotope ratios										Ages (Ma)										
	F206	Pb	Th	U	Th/Ub	207Pb/235U	1s	206Pb/238U	1s	Rho	207Pb/206Pb	1s	207Pb/235U	1s	207Pb/235U	1s	207Pb/206Pb	1s	%	Conf	
003-Sample1	0.01124492	5.37174061	302.035134	356.535045	0.84775196	0.080727	12.851434	0.01284825	11.1504291	0.89093427	0.04927308	5.08356624	82.2975506	9.17653003	84.9739342	10.6348566	160.845809	9.14193285	51.1654926		
004-Sample2	0.03524999	4.48710573	321.28377	15.9458181	0.080727	12.851434	0.01284825	11.1504291	0.89093427	0.04927308	5.08356624	82.2975506	9.17653003	84.9739342	10.6348566	160.845809	9.14193285	51.1654926			
005-Sample3	0.01696662	3.52813849	165.183652	256.246542	0.64462783	0.07682629	14.2240667	0.012166	11.6348441	0.81796889	0.04579951	9.1857163	77.9538235	9.06980581	84.9739342	10.6348566	160.845809	9.14193285	51.1654926		
006-Sample4	0.02710588	4.84248775	334.63429	339.529581	0.69105699	0.08635413	14.9140209	0.01259024	11.1983652	0.75086157	0.04894695	9.85010843	80.6552233	9.03206665	84.9739342	10.6348566	160.845809	9.14193285	51.1654926		
007-Sample5	0.08347771	5.01552253	324.635937	347.728934	0.93359098	0.0774276	13.3770445	0.01218665	11.4432767	0.85544065	0.04607977	6.9279828	78.0853295	8.93511327	72.525607	10.295744	17.9421294	0.12429688	4352.27209		
008-Sample6	0.2344317	3.41230319	150.61051	249.423836	0.60383183	0.0877843	14.8396165	0.0126035	11.1449382	0.75102375	0.05051647	9.79826074	80.3780588	8.98920674	85.4372526	12.6785991	21.8274785	0.1412867	36.8957578		
009-Sample7	0.0304281	3.3557689	168.421973	238.362597	0.70657886	0.0812794	16.7665091	0.0126993	11.0687765	0.66017168	0.04645402	12.5935722	81.2892365	8.99772225	79.3470855	21.2494556	2.67606554	382.547833			
010-Sample8	0.0285834	3.50735893	161.049202	262.836256	0.61273587	0.0739038	15.928858	0.0128535	11.4543956	0.71667526	0.04364652	11.464375	78.1350578	8.95040833	79.1916772	11.493174	130.58747	-44.5585	58.336912		
011-Sample9	0.0118755	7.07540787	364.858654	515.656104	0.74634756	0.06127357	12.851434	0.01284825	11.1504291	0.89093427	0.04927308	5.08356624	82.2975506	9.17653003	84.9739342	10.6348566	160.845809	9.14193285	51.1654926		
003-Sample1	0.0361377	3.18484841	143.499054	228.55892	0.62784272	0.07931764	18.6760472	0.01261432	15.875768	0.85047029	0.0560418	9.8192378	78.0853295	12.8289728	77.5037319	14.7505933	23.264712	-2.2844312	-347.34373		
004-Sample2	0.0561185	4.82815813	164.497606	248.94684	0.66707402	0.08707384	18.6670461	0.01261432	15.875768	0.85047029	0.0560418	9.8192378	78.0853295	12.8289728	77.5037319	14.7505933	23.264712	-2.2844312	-347.34373		
005-Sample3	0.0213163	3.76544952	164.149377	278.68684	0.58901105	0.07797848	19.1587957	0.01261432	15.875768	0.85047029	0.0560418	9.8192378	78.0853295	12.8289728	77.5037319	14.7505933	23.264712	-2.2844312	-347.34373		
006-Sample4	0.02161827	3.76544952	162.985022	297.548618	0.5477593	0.07897984	19.3058218	0.0124929	16.4548085	0.85232007	0.04714809	10.761557	77.8471414	12.8093984	77.1855362	14.9012687	56.7433442	0.27889247	32.7113914		
007-Sample5	0.0315373	4.17166739	199.60521	309.908176	0.64407855	0.07959548	18.2114953	0.01228261	16.3171429	0.8989829	0.04720858	9.79633862	78.3525679	12.8377451	77.7664259	15.1624039	59.7914108	0.76916539	56.6041879		
008-Sample6	0.03628179	3.57013457	164.006352	253.524861	0.64690442	0.07912562	20.5371457	0.01239089	16.114149	0.78446725	0.04631412	12.731849	78.3525679	12.7925846	77.3225418	15.8798431	34.9691639	134.0041939	336.8041879		
009-Sample7	0.03505855	3.43049526	144.429619	251.587547	0.740703	0.07736312	18.4393383	0.0126834	16.5127432	0.89551712	0.04649274	8.26000446	77.3318297	12.7596064	75.6627932	13.9517184	23.2490323	1.90781662	332.623865		
010-Sample8	0.0158669	4.19084644	181.088382	367.70955	0.58857874	0.07828917	18.0162769	0.01255175	15.9447015	0.8843829	0.04536588	8.3681567	78.0853295	12.851912	76.5357702	15.8793347	35.979357	-31.60291	-222.8875		
011-Sample9	0.0367664	3.56523175	149.773697	261.664572	0.57238814	0.07332401	20.8112268	0.012425	16.3991938	0.77069942	0.04805392	8.26000446	79.6032188	12.7671251	76.2735482	13.9519257	35.979357	-31.60291	-222.8875		



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

Spot number	$\lambda 206$ ppm	$\lambda$ nm	$T_h$ ppm	$U$ ppm	$T_h/U$	$207\text{ppb}/2350$	$1\text{ s}$ [%]	$207\text{ppb}/2380$	$1\text{ s}$ [%]	Isotope ratios	$\rho_{\text{iso}}$	$207\text{ppb}/206\text{Pb}$	$1\text{ s}$ [%]	$207\text{ppb}/2380$	$1\text{ s}$ [%]	Ages (Ma)	$207\text{ppb}/206\text{Pb}$	$1\text{ s}$ abs	Conf
0003-Sample1	0.00374272	195.81402	883.858215	1.17192328	0.091385001	16.08692	0.01385001	15.5405264	0.96603992	0.04775696	4.15704801	88.6702575	13.7798238	88.671664	14.2561105	87.2451105	3.2668724	101.632157	
0004-Sample2	0.00561159	154.66054	773.85247	0.933533847	0.09813865	24.275985	0.04447702	15.1590209	0.94396472	0.04936472	15.0768801	96.6525715	13.7798238	88.421981	14.2561105	87.2451105	3.2668724	101.632157	
0005-Sample3	0.00366159	180.83487	121.149549	0.073353847	0.09813865	24.275985	0.04447702	15.1590209	0.94396472	0.04936472	15.0768801	96.6525715	13.7798238	88.421981	14.2561105	87.2451105	3.2668724	101.632157	
0006-Sample4	0.00396749	88.63487	727.861074	0.90790598	0.09402166	15.1873946	0.0455969	14.7670624	0.973734683	0.93436168	9.3468024	93.1811108	13.7798238	93.793764	14.1387828	90.9521459	3.2328892	102.450701	
0007-Sample5	0.003197357	8.24429261	66.44171	0.04152656	0.09402166	15.1873946	0.0455969	14.7670624	0.973734683	0.93436168	9.3468024	93.1811108	13.7798238	93.793764	14.1387828	90.9521459	3.2328892	102.450701	
0008-Sample6	0.00080989	9.0620515	478.574752	518.426823	0.92312926	0.09576513	0.15645544	0.14869389	0.95039681	0.4765672	4.86636264	93.311569	13.8748611	92.8596921	14.5283208	81.2654667	3.95467231	114.82315	
0009-Sample7	0.01673152	4.03982814	130.447573	1.75890042	0.0924781	17.5890042	0.04452718	14.9317968	0.94892792	0.49045165	9.29594085	92.7492963	13.8748611	93.068666	14.5283208	81.2654667	3.95467231	114.82315	
0010-Sample8	0.047849147	166.275385	284.230264	0.583526237	0.0924781	17.5890042	0.04452718	14.9317968	0.94892792	0.49045165	9.29594085	92.7492963	13.8748611	93.068666	14.5283208	81.2654667	3.95467231	114.82315	
0011-Sample9	0.0479471	1.54226805	300.555396	0.302373192	0.093440956	34.1053601	0.0146044	15.4630039	0.45338665	0.47738129	30.3987613	94.4651709	14.4525245	92.5031568	13.7798238	88.421981	14.2561105	3.2668724	
0012-Sample10	0.01228943	4.9065978	198.569211	351.189419	0.093414261	16.3647245	0.04323382	12.0400309	0.92907719	0.4745977	6.05330269	91.1102101	13.8523999	90.4766379	74.2440554	3.8040729	125.801033		
0013-Sample11	0.04358816	2.91578976	62.743004	186.270888	0.34720888	18.4627288	0.0455487	13.4755487	0.7297885	0.6469559	12.6260655	92.8326772	13.5097243	88.2852347	84.8263208	74.2440554	3.8040729	125.801033	
0014-Sample12	0.02864914	2.91740505	65.633714	32.950933	0.08715805	18.081565	0.04455786	13.1606403	0.73081552	0.46465578	12.291918	90.6130769	13.9252611	88.2852347	84.8263208	74.2440554	3.8040729	125.801033	
0015-Sample13	0.02015408	7.99664396	455.747419	455.747419	0.09670584	18.3652911	0.0143098	12.9918578	0.93700577	0.48843388	9.593097	11.8996449	92.011175	12.756204	80.286637	4.9821795	89.046256		
0016-Sample14	0.06937559	1.6251104	502.008431	94.957713	0.30646684	0.99831376	20.6178826	0.04452718	14.9317968	0.94892792	0.49045165	92.7492963	13.8748611	93.068666	14.5283208	81.2654667	3.95467231	114.82315	
0017-Sample15	0.0442601	2.38953188	76.7935734	58.839127	0.48346761	0.09599862	16.0323327	0.04452718	14.9317968	0.94892792	0.49045165	92.7492963	13.8748611	93.068666	14.5283208	81.2654667	3.95467231	114.82315	
0018-Sample16	0.0064838	12.2178784	24.499151	676.264997	0.779590134	0.10662107	0.09218828	11.0215414	0.99479696	0.54762049	5.19769194	97.6091394	12.8770681	106.534	12.981399	80.456442	4.181878	138.865852	
0019-Sample17	0.03622794	2.66333627	57.7996042	172.8349291	0.32775637	0.09519805	0.09218828	11.0215414	0.99479696	0.54762049	5.19769194	97.6091394	12.8770681	106.534	12.981399	80.456442	4.181878	138.865852	
0020-Sample18	0.0335808	13.8189719	121.64091	197.65648	0.61541666	0.09144559	19.3412602	0.0150131	12.4104464	0.6416565	0.4418146	14.834397	96.0671367	11.9216444	88.857047	17.186393	-100.57062	-49.191924	-95.516833
0021-Sample19	0.02573766	5.81819307	175.91248	484.822904	0.08615660	0.07632462	0.01407001	12.5914442	0.6064297	0.40250494	10.5969275	94.0726753	13.8451131	89.312117	13.917	196.52509	32.445561	67.880022	