

# MONZOGRANITO DE SANTA BÁRBARA

» **Cordillera Oriental**  
**Departamento de Santander**

---

Gabriel Rodríguez, Gilberto Zapata,  
María Isabel Arango y Ana María Correa Martínez

Catálogo de las unidades litoestratigráficas de Colombia / Triásico-Jurásico

Citación: Rodríguez, G., Zapata, G., Arango, M. I. y Correa Martínez, A. M. (2020). Monzogranito de Santa Bárbara. En *Catálogos de las unidades litoestratigráficas de Colombia: Macizo de Santander*. Vol. 1. Servicio Geológico Colombiano. <https://doi.org/10.32685/9789585279445.3>

**En el Macizo de Santander, la actividad magmática del periodo Jurásico se evidencia en el emplazamiento de cuerpos intrusivos graníticos, cuerpos hipoabisales y vulcanismo riolítico-riodacítico en basamentos metamórficos del Paleozoico. Los cuerpos son alargados y orientados preferencialmente en dirección norte-noroeste, lo que concuerda con el rumbo de las fallas regionales, principalmente la falla de Bucaramanga, que marcan la tectónica del Macizo de Santander y delimitan las diferentes unidades.**

**El Monzogranito de Santa Bárbara es uno de los cuerpos resultado del magmatismo Triásico-Jurásico. En el catálogo del Monzogranito de Santa Bárbara se incluyen los análisis petrográficos, químicos y edades radiométricas U-Pb de este plutón y de diques y cuerpos menores que lo intruyen, lo que constituye un aporte al desarrollo del conocimiento geológico del país.**

## 1. Origen del nombre, distribución geográfica y reseña histórica

En este trabajo, y con el fin de uniformar la nomenclatura de la unidad según las sugerencias de la International Subcommission on Stratigraphic Classification (ISSC) (1987 y 1994), se utiliza el nombre de *Monzogranito de Santa Bárbara*, teniendo en cuenta que la mayoría de rocas del cuerpo pertenecen al campo de monzogranitos situados en el triángulo de Streckeisen (1976), y no en el de las cuarzomonzonitas, como sugiere el nombre propuesto por Ward *et al.* (1973); además, se conserva el nombre del sitio geográfico de la descripción original. La unidad toma el nombre del municipio de Santa Bárbara (Santander), localizado al oriente de Bucaramanga, en la cordillera Oriental de Colombia.

### 1.1. Distribución geográfica

El Monzogranito de Santa Bárbara aflora en su totalidad al oriente de la falla de Bucaramanga y tiene aproximadamente 51 km de largo por 12 km de ancho en su sección más amplia. Su orientación preferencial es norte-sur (figura 1), si se toman como base los mapas de Ward *et al.* (1977) y Vargas *et al.* (1976). El Monzogranito de Santa Bárbara se encuentra distribuido en las planchas 110, 121 y 136 del IGAC, en un área aproximada de 428,5 km<sup>2</sup>.

### 1.2. Reseña histórica

El nombre de *Batolito de Santa Bárbara* fue dado por Ward *et al.* (1970). Posteriormente, Ward *et al.* (1973) utilizaron por primera vez el nombre de *Cuarzomonzonita de Santa Bárbara*.

Vargas *et al.* (1981) propusieron para este plutón el nombre de *Cuarzomonzonita Rosada*.

Royero y Clavijo (2001) incluyen en la Cuarzomonzonita Rosada lo que Ward *et al.* (1977) denominaron *cuarzomonzonita, aplita y pórfido en el área de California (Santander)*. En este catálogo no se incluye como parte de la “Cuarzomonzonita de Santa Bárbara” la unidad que denominaron *tonalita y granodiorita del plutón de Páramo Rico (TRTGD)* (Ward *et al.*, 1973), y que fue cartografiada en el mapa geológico del cuadrángulo H-13 (Pamplona), en los alrededores del municipio de California (Santander). Al analizar los tipos de roca es posible la separación regional del plutón de Páramo Rico por sus características composicionales, que corresponden a rocas intermedias que varían entre cuarzodiorita y tonalita. Los trabajos locales y en semidetalle recientemente publicados por Mantilla *et al.* (2011 y 2013) definen así las unidades de roca: *alasitas I*, correlacionable con la cuarzomonzonita, aplita y el pórfido, y rocas intermedias (dioritas a granodioritas) correlacionables con la unidad de tonalita y granodiorita, al tiempo que discriminan una nueva unidad llamada *alasitas II*.

## 2. Descripción geológica

### 2.1. Marco geológico

El Macizo de Santander hace parte de un bloque regional de forma triangular formado por las fallas de Santa Marta-Bucaramanga, al occidente, Oca-Ancón, al norte, y Boconó, al oriente.

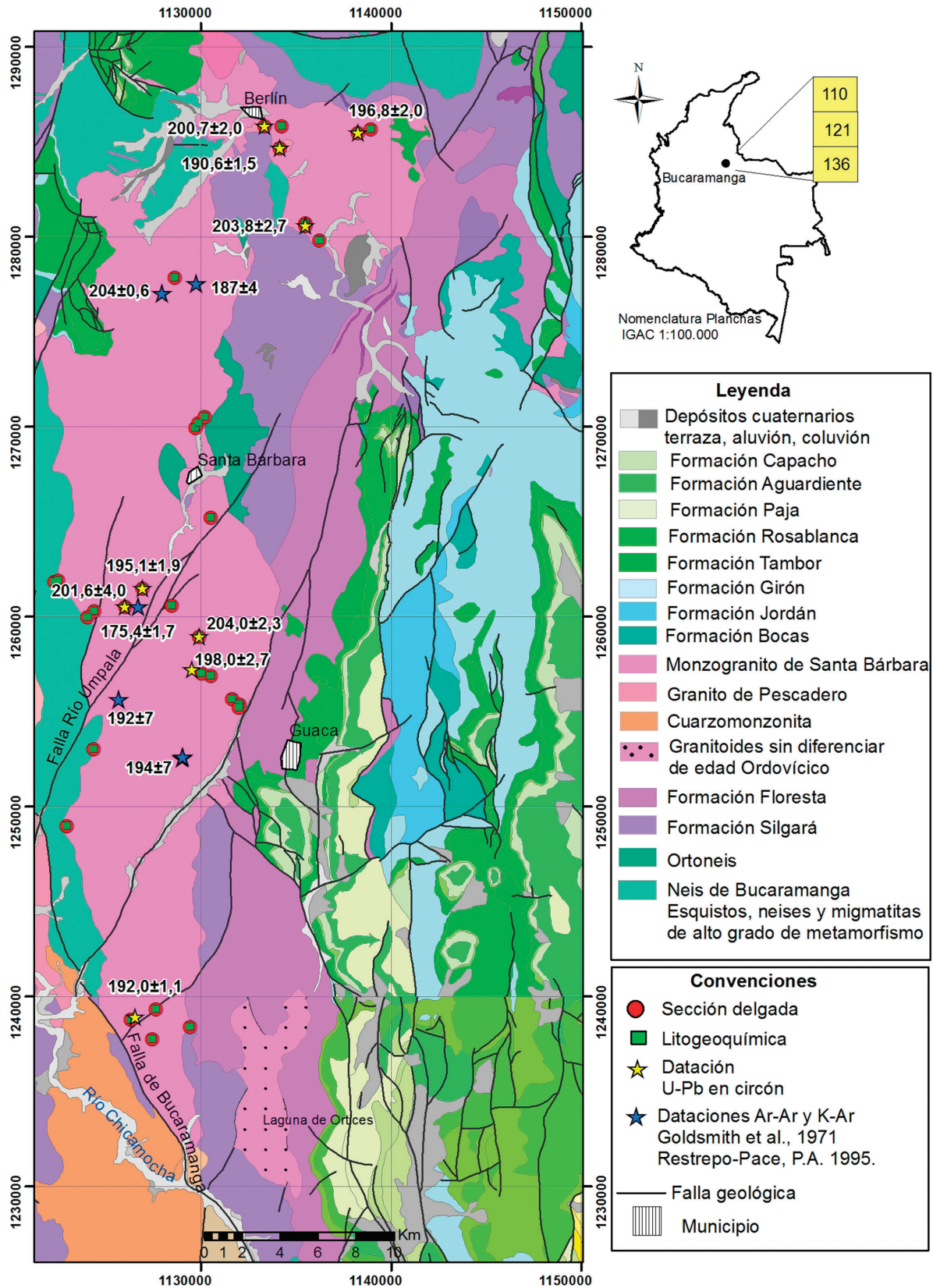


Figura 1. Mapa de localización del Monzogranito de Santa Bárbara y localización de muestras con petrografía, litogeoquímica y geocronología

Fuente: Ward *et al.* (1970), Goldsmith *et al.* (1971), Vargas *et al.* (1976) y este trabajo

Las rocas más antiguas del Macizo de Santander comprenden unidades metamórficas, como el Neis de Bucaramanga (Ward *et al.*, 1973), denominado también *Complejo Bucaramanga* (Clavijo, 1994), que consiste de paraneises migmatíticos de alto grado, del Paleozoico, y que fue considerado del Proterozoico (García y Ríos, 1999; Ordóñez *et al.*, 2006), con un pico de metamorfismo de edad  $1.057 \pm 28$  Ma (U/Pb-Shrimp en circón), relacionado con la orogenia Grenvilliana en el Gabro del Alto de Sanín.

La Formación Silgará se encuentra en contacto discordante sobre el Neis de Bucaramanga y está compuesta por rocas del Paleozoico temprano. Comprende ortoanfibolitas, esquistos, filitas, metalodolitas, metaareniscas, y escasos mármoles, que son parte del basamento del Macizo de Santander (Ward *et al.*, 1973; García y Ríos, 1999; Ríos *et al.*, 2003; Mantilla *et al.*, 2013). Presenta edades de metamorfismo del Ordovícico inferior-medio, relacionadas con la orogenia Caledoniana (Forero, 1990; Ríos *et al.*, 2003; Ordóñez Cardona *et al.*, 2006; Clavijo *et al.*, 2008; Mantilla *et al.*, 2013; Van der Lelij, 2013).

Algunas edades U/Pb en circón obtenidas en el presente trabajo evidencian magmatismo posterior al metamorfismo, representado por metavulcanitas y plutones que intruyen el basamento metamórfico, con edades U/Pb en circón del Silúrico, Devónico inferior, Carbonífero y límite entre el Triásico y el Jurásico.

Los plutones Triásico-Jurásicos del Macizo de Santander se encuentran emplazados en rocas metamórficas precámbricas y paleozoicas del Terreno Chibcha, según Restrepo y Toussaint (1988) y Restrepo *et al.* (2011).

Durante el límite Triásico-Jurásico se desarrolló un importante magmatismo de arco, con el emplazamiento de grandes batolitos, *stocks* graníticos y cuerpos riolíticos subvolcánicos localizados hacia la margen occidental del Macizo de Santander, dentro del basamento metamórfico.

Unidades sedimentarias cretácicas reposan discordantes sobre el basamento metamórfico y los plutones. Después de la sedimentación cretácica, durante el Mioceno se dio un escaso magmatismo y se emplazaron cuerpos pequeños de pórfidos con mineralización de oro (Leal, 2011; Mantilla *et al.*, 2013).

## 2.2. Descripción macroscópica y microscópica

El Monzogranito de Santa Bárbara es un cuerpo litológicamente homogéneo con variaciones composicionales menores. Está constituido por granitoides faneríticos de grano medio, holocristalinos, en él predomina la textura granular e inequigranular bimodal, puede presentar xenolitos y techos colgantes de neises y esquistos del Neis de Bucaramanga y la Formación Silgará, así como enclaves intermedios de microdioritas.

Este plutón generalmente presenta meteorización profunda, con desarrollo de saprolito arcillo-arenoso de color blanco crema ligeramente moteado de pardo, con bloques de roca esferoidales locales (figura 2 A y B). En el interior del plutón son frecuentes los diques y cuerpos pequeños intrusivos constituidos por rocas de color rosado, faneríticas finas, equigranulares, con textura aplítica y composición monzogranítica, que algunos autores han llamado *alaskitas* (Mantilla *et al.*, 2011, 2013), que se caracterizan por su mayor resistencia a la meteorización y generan colinas y cuerpos tabulares que sobresalen en la topografía (Ward *et al.*, 1973; figura 2 C y D). Además, presenta diques de cuarzo lechoso, riolitas y dacitas porfídicas de color rosado.

El Monzogranito de Santa Bárbara está constituido principalmente por rocas de composición monzogranítica biotítica de color blanco moteado entre rosado y gris, equigranular a inequigranular, de grano medio a medio-grueso. Contiene feldespato de potasio, plagioclase, cuarzo y escasa biotita. Esta última forma localmente nidos de hasta 5 mm de diámetro. El feldespato potásico y la plagioclase se encuentran en porcentajes similares, aunque generalmente el primero es ligeramente más abundante que la segunda, y de color rosado. El cuarzo varía entre el 15 % y el 25 %.

Para realizar el estudio petrográfico del plutón se analizaron veinticuatro secciones delgadas de granitoides, doce de diques y cuerpos menores intrusivos, y quince rocas metamórficas que se presentan como xenolitos, techos colgantes y rocas de caja. Para su clasificación se realizó el conteo modal de entre 150 y 300 puntos.

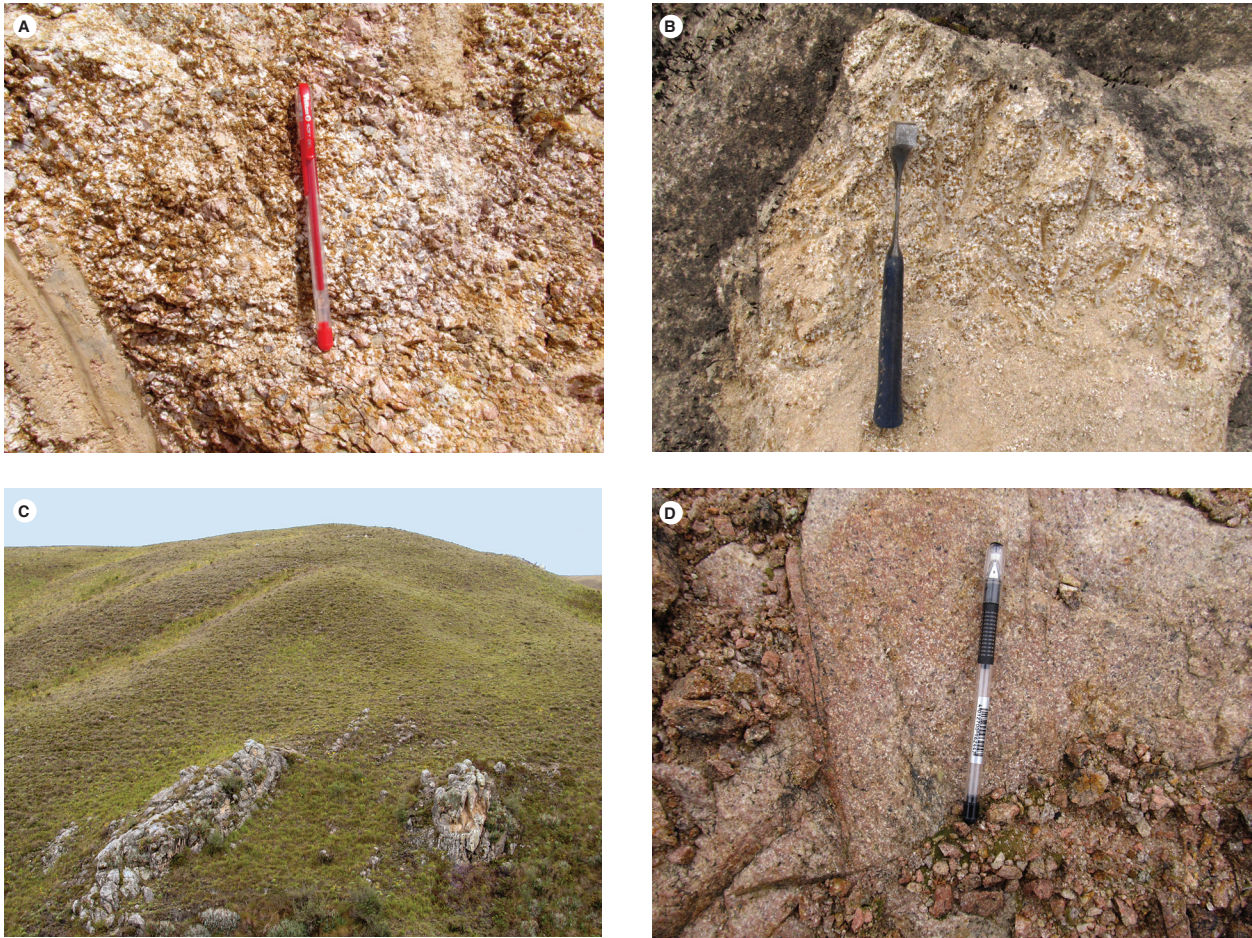


Figura 2. Afloramientos del Monzogranito de Santa Bárbara

A y B) Aspecto macroscópico del saprolito del Monzogranito de Santa Bárbara. C) Diques de granito aplítico en el páramo de Berlín. D) Aspecto macroscópico de rocas graníticas aplíticas (alaskitas) que atraviesan el Monzogranito de Santa Bárbara

### 2.2.1. Monzogranitos, granodioritas y sienogranitos

El plutón está constituido principalmente por monzogranitos que pueden variar a granodioritas y sienogranitos, y hacia los bordes del cuerpo pueden aparecer localmente dioritas y tonalitas. En general, las rocas son faneríticas, de grano medio a grueso, de color rosado moteado de blanco y negro, con textura granular e inequigranular, localmente bimodal, constituidas por cristales de feldespato alcalino de color rosado, cuarzo blanco translúcido y plagioclasa blanca lechosa, escasa hornblenda y, como mineral máfico principal, biotita (figura 3).

Los monzogranitos están constituidos por cuarzo (20,5 % a 34,6 %), plagioclasas (23 % a 40,7 %) de tipo oligoclasa-andesina ( $An_{28}$  a  $An_{36}$ ), feldespato potásico (25,3 % a 44,8 %), biotita (1,2 % a 10 %) y hornblenda, que puede estar ausente o alcanzar hasta un 3 % del volumen

de la roca. Los minerales accesorios son opacos, circón, apatito, titanita y, en algunas rocas, granate y allanita. Las granodioritas presentan más del 20 % de cuarzo. Los

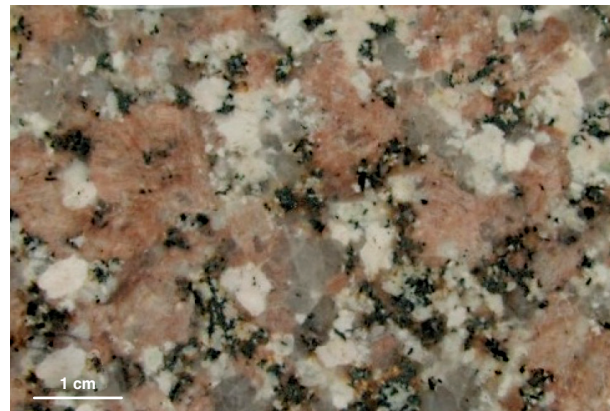


Figura 3. Aspecto macroscópico del Monzogranito de Santa Bárbara

contenidos de plagioclasa son similares a los de monzogranitos, presentan valores menores de feldespato alcalino y tienen los mismos minerales característicos y accesorios. Los sienogranitos tienen mayores cantidades de

feldespato alcalino (41 % a 46,5 %; tabla 1; figuras 4 y 5B). Los minerales de alteración más frecuentes son sericita, arcilla, clorita y epidota.

Tabla 1. Composición modal de rocas del Monzogranito de Santa Bárbara

IGM	N campo	X	Y	Qtz	Pl	Kfs	Hbl	Bt	Grt	Chl	Op	Ap	Zrn	Ttn	Ep	Otros	Clasificación petrográfica
10926	HCH-38	1130520	1267650	29,6	25,6	44,8		Tr			Tr	Tr	Tr				Monzogranito
10927	HCH-39	1130260	1268160	33,3	38,8	12,4		14			1,5	Tr	Tr	Tr			Granodiorita
10933	HCH-45	1129700	1268100	21,5	40,7	25,9	3	8,9			TR	Tr	Tr	Tr			Monzogranito
37328	GIR-557	1122960	1248960	21	50	5	7	14				1	Tr	2			Tonalita
37356	<b>BC-79-3</b>	1124400	1260290	40	35	17		6		Tr	0,5	0,5			1		Granodiorita
37435	GIR-950	1130190	1289720	19	50	6	8	16		Tr	1	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Granodiorita
37439	GIR-755C	1130640	1291080	30	25	43		2		Tr	Tr	Tr	Tr		Tr	Tr	Monzogranito
37620	GIR-E-2-2	1130260	1290750	34	39,5	15		7,7		X		0,3	X		3,3	0,2	Granodiorita
37769	GIR-796	1136260	1279800	29	35	31,2		1,2			1		Tr		0,4	2,2	Monzogranito
37843	GIR-905	1131650	1255650	23,2	25,2	33,7		9,3				1,8	0,2	1,2	2	3,4	Monzogranito
37952	GIR-1319A	1130200	1270500	21,5	17	41		Tr				,5	Tr	0,5	16,5	0,5	Sienogranito
37976	GIR-1370A	1122300	1261820	6	55	0,5	18	Tr		6	1,5	1		0,5	11,5	Pirita	Diorita
37978	GIR-1372A	1122500	1261880	43	23	30			2,5		1		Tr			0,5	Monzogranito
900857	AMC-0123	1131987	1255454	24,5	22,2	46,5		6		Tr	0,8				Tr	Tr	Sienogranito
900870	AMC-0138A	1126314	1238798	34,7	30,5	26,8		5,9		Tr	2,1				Tr		Monzogranito
900881	GR-6718	1135523	1280563	34,6	26,8	35,3	0,6	2			0,6	Tr	Tr	Tr			Monzogranito
900882	GR-6719	1138272	1285445	32,2	24,5	37,1		6,2			Tr	Tr	Tr	Tr			Monzogranito
900896	GZ-6820	1130042	1257023	5,2	25,5	66,2		3,1			Tr		Tr				Cuarzosienita
900908	JGB-457	1126936	1261464	27	24	37		2,3		0,3	0,3	TR	TR	TR	TR		Monzogranito
900920	LMC-062	1138946	1285633	27	35	29		9		Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Monzogranito
900933	MIA-628A	1124047	1259950	23,7	32,8	34,3	Tr	6,4			1,2	1,1	0,5		Tr	Tr	Monzogranito
900935	MIA-629B	1128475	1260575	26,3	28,6	42,7		1,4			1					Tr	Monzogranito
900941	MIA-635	1127633	1239321	28,4	32,8	25,3		10			1,5	0,5	Tr	1	0,5	0,5	Monzogranito
900955	TCR-363	1130187	1289698	14	46	7	10	19		Tr	1,5	0,5	0,5	1,5		Tr	Granodiorita
900959	TCR-372	1128653	1277828	20,5	29	39,5		9,5		Tr	1		0,5		Tr	Tr	Monzogranito

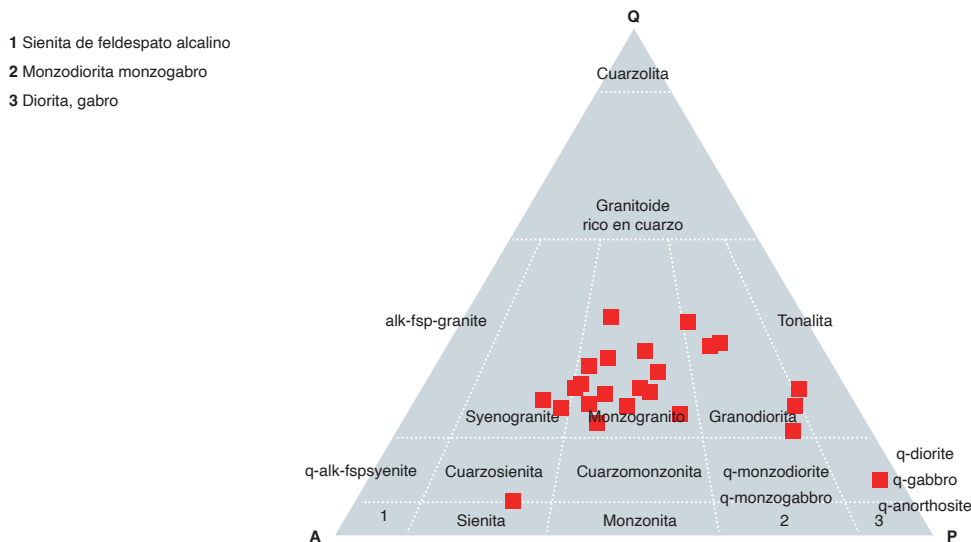


Figura 4. Clasificación modal de rocas del Monzogranito de Santa Bárbara.

Fuente: Streckeisen (1976) y este trabajo

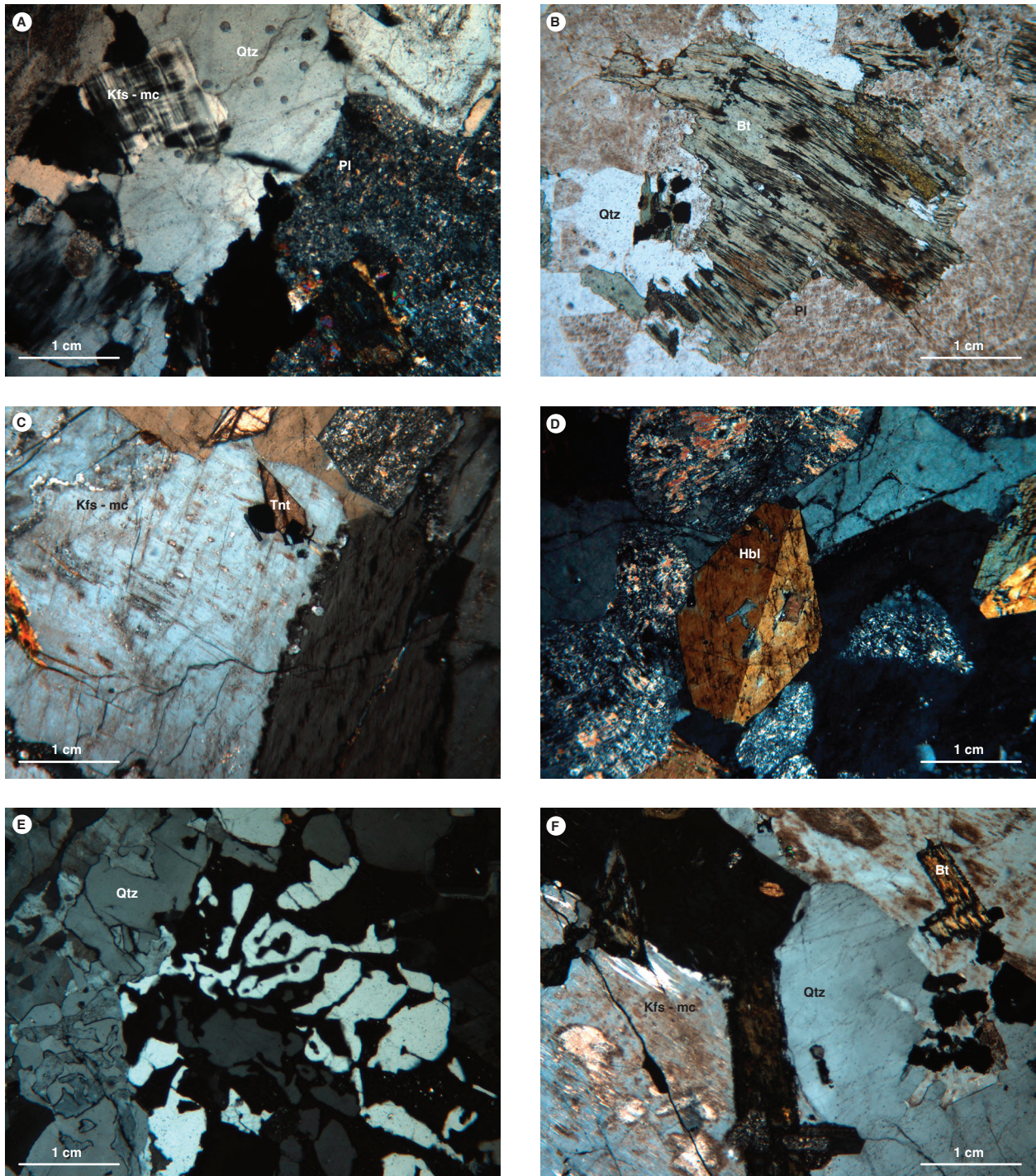


Figura 5. Características microscópicas del Monzogranito de Santa Bárbara

A) IGM 900941 (MIA-635) monzogranito. Nícoles cruzados. Textura holocristalina subidiomórfica, compuesta por plagioclasa (Pl), cuarzo (Qtz), microclina (Kfs mc) y biotita cloritizada (Bt). B) IGM 900857 (AMC-0123) Sienogranito. Nícoles paralelos. Láminas de biotita reemplazadas por clorita y epidota. C) IGM-900882 (GR-6719) monzogranito. Nícoles cruzados. Cristales de plagioclasa (Pl), feldespato alcalino (Kfs), cuarzo, opacos (Op) y titanita (Tnt). D) IGM 900955 (TCR-363) granodiorita. Nícoles cruzados. Cristales de hornblenda (Hbl), plagioclasa (Pl) y cuarzo (Qtz). E) INM 10926 (HCH-38) monzogranito. Nícoles cruzados. Cristales de feldespato (Kfs) con intercrecimientos gráficos con cuarzo (Qtz). F) INM-10933 (HCH-45) monzogranito. Nícoles cruzados. Cristales de feldespato (Kfs) poiquilítico, junto a cuarzo (Qtz) y con láminas de biotita (Bt) parcialmente alteradas a clorita

El cuarzo se presenta como cristales anhedrales inequigranulares. En algunas rocas es bimodal, su tamaño varía entre 0,25 y 5 mm, con bordes irregulares, limpios y extinción ondulatoria, localmente con intercrecimientos gráficos con feldespato e inclusiones de polvo a manera de líneas o caminitos. Puede tener inclusiones de feldespato y microfracturas irregulares internas (figura 5).

La composición de la plagioclasa varía entre oligoclasa ( $An_{28}$ ) y andesina ( $An_{36}$ ), aparece en cristales subhedrales a euhedrales tabulares cortos, inequigranulares bimodales, con bordes rectos cristalinos a irregulares, con tamaños que varían entre 0,3 y 3,0 mm, con extinción zonada normal ligeramente oscilatoria. Por lo general los núcleos de la plagioclasa están más alterados que los bordes, reemplazados por sericita en agregados y escamas finas, y saussurita. Pueden tener los bordes limpios y los núcleos alterados, con maclas de albita y albita Carlsbad, y con menos frecuencia, de periclina (figura 5).

El feldespato alcalino es ortosa, se encuentra en cristales anhedrales inequigranulares, cuyo tamaño oscila entre 0,25 y 5,0 mm. En algunas rocas el feldespato presenta texturas poiquilíticas, gráficas, de bordes de reacción con las plagioclasa y peritíticas en filoncillos y parches. Los cristales están microfracturados, pueden tener parches desdoblados a microclina con maclas en parrilla, y además se presentan empolvados por alteración a caolín y tienen inclusiones de cuarzo, plagioclasa, biotita y apatito (figura 5C).

La biotita se presenta en láminas subhedrales a euhedrales, de entre 0,4 mm y 2,0 mm de tamaño, de color marrón, con un pleocroísmo X amarillo pálido, Y y Z marrón oscuro. En ella se aprecian inclusiones de plagioclasa, apatito, circón y opacos. Los cristales, en algunos casos, se están alterando a clorita y epidota, a lo largo del clivaje (figura 5B).

La hornblenda aparece principalmente en rocas intermedias de composición diorítica a granodiorítica (18 %) y rara vez en los monzogranitos y sienogranitos. Se presenta en cristales euhedrales a subhedrales de entre 0,75 y 3,0 mm, de color verde, con un pleocroísmo X verde pálido, Y verde y Z verde, con maclas dobles; junto a cristales de biotita, titanita y opacos, tienen inclusiones de titanita y opacos (figura 5D).

La titanita se presenta en trazas y en algunas rocas puede representar hasta el 1 %. Los cristales varían de anhedral a subhedrales, con tamaños de entre 0,1 y 0,7 mm, de colores pardos, con pleocroísmo de tonos claros y me-

diados, con microfracturas irregulares internas y relieve alto. Tiene inclusiones irregulares de opacos y se presenta junto a estos y la biotita.

Los opacos generalmente aparecen en cristales finos anhedral de formas irregulares, y en algunos euhedrales hexagonales, cuyo tamaño varía entre 0,06 mm y 0,20 mm. Generalmente se presentan junto con biotita y hornblenda. Pueden tener inclusiones de apatito y circón o estar rodeados por minerales secundarios, como epidota-clinozoisita.

El apatito se encuentra en cristales euhedrales de 0,05 a 0,2 mm. Los apatitos son incoloros, generalmente en cortes basales hexagonales, y menos frecuentemente longitudinales tabulares cortos, incluidos en biotita, opacos, cuarzo y feldespatos.

El circón se presenta en microcristales que varían de euhedrales prismáticos a subhedrales de tamaños menores de 0,06 mm, generalmente junto a opacos.

La allanita y el granate pueden o no estar presentes. La allanita se encuentra en cristales euhedrales a subhedrales de color pardo marrón, con zonación de color y pleocroísmo marcado. El granate aparece en cristales anhedral subredondeados a poiquilíticos, con desarrollo intersticial e inclusiones irregulares de cuarzo; es incoloro y tiene microfracturas internas.

## 2.2.2. Rocas de dique y cuerpos menores intrusivos

Se analizaron catorce secciones delgadas de rocas de dique y cuerpos menores intrusivos que afloran en el Monzogranito de Santa Bárbara (tabla 2), que se clasifican petrográficamente como andesita (1), fenodacita (2), microdiorita (1), cuarzodiorita (2), monzogranito (4) y sienogranitos (4) (figura 6).

Las andesitas presentan textura microcristalina amigdalal e intergranular microporfídica. Están constituidas por microcristales de plagioclasa euhedrales y escasos microfenocristales euhedrales tabulares, con maclas de tipo Carlsbad. Los cristales se entrecruzan con microcristales de hornblenda de hábito tabular con bordes verdes y núcleo pardo, ligeramente fibrosos en los bordes, algunos con maclas dobles, extinción anómala e inclusiones de titanita y opaco.

El cuarzo se presenta en los intersticios de la red de cristales de plagioclasa y hornblenda. Presenta extinción ondulatoria y tiene un tamaño promedio de 0,06 mm. Aparece junto a agregados de epidota (figura 7C).



- 1 Sienita de feldespato alcalino
- 2 Monzodiorita monzogabro
- 3 Diorita, gabro

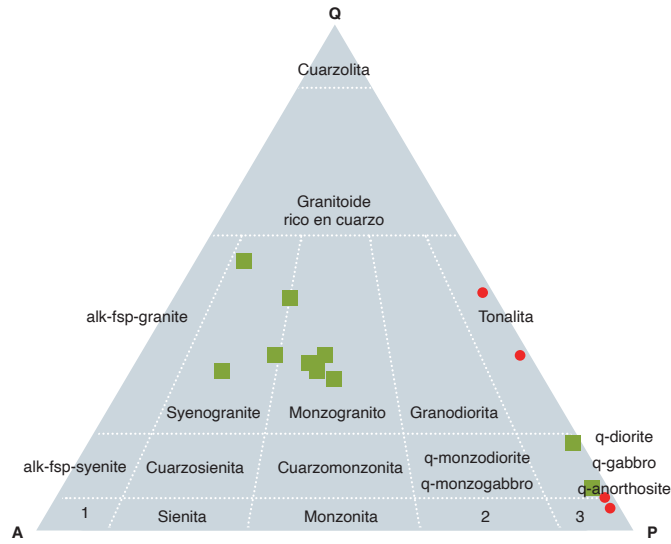


Figura 6. Rocas de dique y cuerpos menores intrusivos en el Monzogranito de Santa Bárbara. En rojo, diques con texturas volcánicas, y en verde, diques y cuerpos menores con texturas plutónicas.

Fuente: Streckeisen (1976) y este trabajo

Tabla 2. Análisis petrográfico de rocas de dique y cuerpos menores intrusivos en el Monzogranito de Santa Bárbara

IGM	N campo	X	Y	Qtz	Pl	Kfs	Hbl	Bt	Op	Ap	Zrn	Ttn	Ep	Vidrio	Otros	Clasificación petrográfica
10932	HCH-44	1129730	1269920	2	59		23		3			1	4	8		Andesita
900859	AMC-0125B	1130530	1256893	33	36							TR	TR	30	1	Fenodacita
900860	AMC-0127	1129934	1258935	2,95	5,35			1,7	Tr		TR	TR	90			Fenodacita
900934	MIA-629A	1128475	1260575	3,4	64,5		26		1,1			TR		5		Microdiorita
900940	MIA-634	1129437	1238387	9,5	49,1		27,4	13	0,5	Tr		0,5	TR		TR	Cuarzodiorita
900907	JGB-456	1126023	1260523	2	30,7	0,33		21,3	TR	TR		TR	45,66			Cuarzodiorita
38122	GIR-907b	1132040	1255380	32,5	28,5	36		Tr				1,5		1,5		Monzogranito
37438	GIR-752C	1130540	1290220	30	33	34	TR					1	TR		2	Monzogranito
37951	GIR-1316	1129900	1270200	33,5	29,5	34		TR	TR			0,5	1,5		1	Monzogranito
900880	GR-6717	1134180	1284660	32,1	31,4	35,8		0,7	TR	TR	TR					Monzogranito
900918	LMC-059A	1133364	1285807	45	18	34		2	TR	TR			TR		TR	Sienogranito
900919	LMC-061	1134263	1285805	35	21	42		1	1				TR		Qtz	Sienogranito
900911	JGB-465	1127462	1237751	30,3	13,66	52		3								Sienogranito
900858	AMC-0125A	1130530	1256893	53,5	7	38		1	0,5	Tr	Tr		Tr			Sienogranito

En la matriz se presentan, además, microcristales de opacos y titanita diseminados. Se encuentra vidrio alterado a palagonita de color verde claro. Las amígdalas son de formas irregulares y su tamaño varía entre 0,2 y 0,6 mm; pueden estar rellenas de calcita, y otras, de clorita, con ocasional epidota en agregados de color verde pálido.

Los diques de microdiorita son faneríticos, de grano muy fino a fino, de color gris verdoso, con textura subidiomórfica intergranular y poiquilítica, dada por inclusiones de opacos en plagioclasa. Están constituidos por cristales

de plagioclasa tabulares subidiomórficos, con alteración fuerte a sericita y epidota, maclados según albita, con un tamaño promedio de 0,4 mm y con disposición entrecruzada con hornblenda intergranular. La hornblenda tiene ángulo de extinción de 15°, y está reemplazada por clorita, epidota y óxidos de hierro (figura 7B).

El cuarzo puede presentarse como cristales incoloros, intersticiales entre plagioclasa y hornblenda, o en amígdalas. Como elementos accesorios se encuentran opacos incluidos en hornblenda (figura 7).

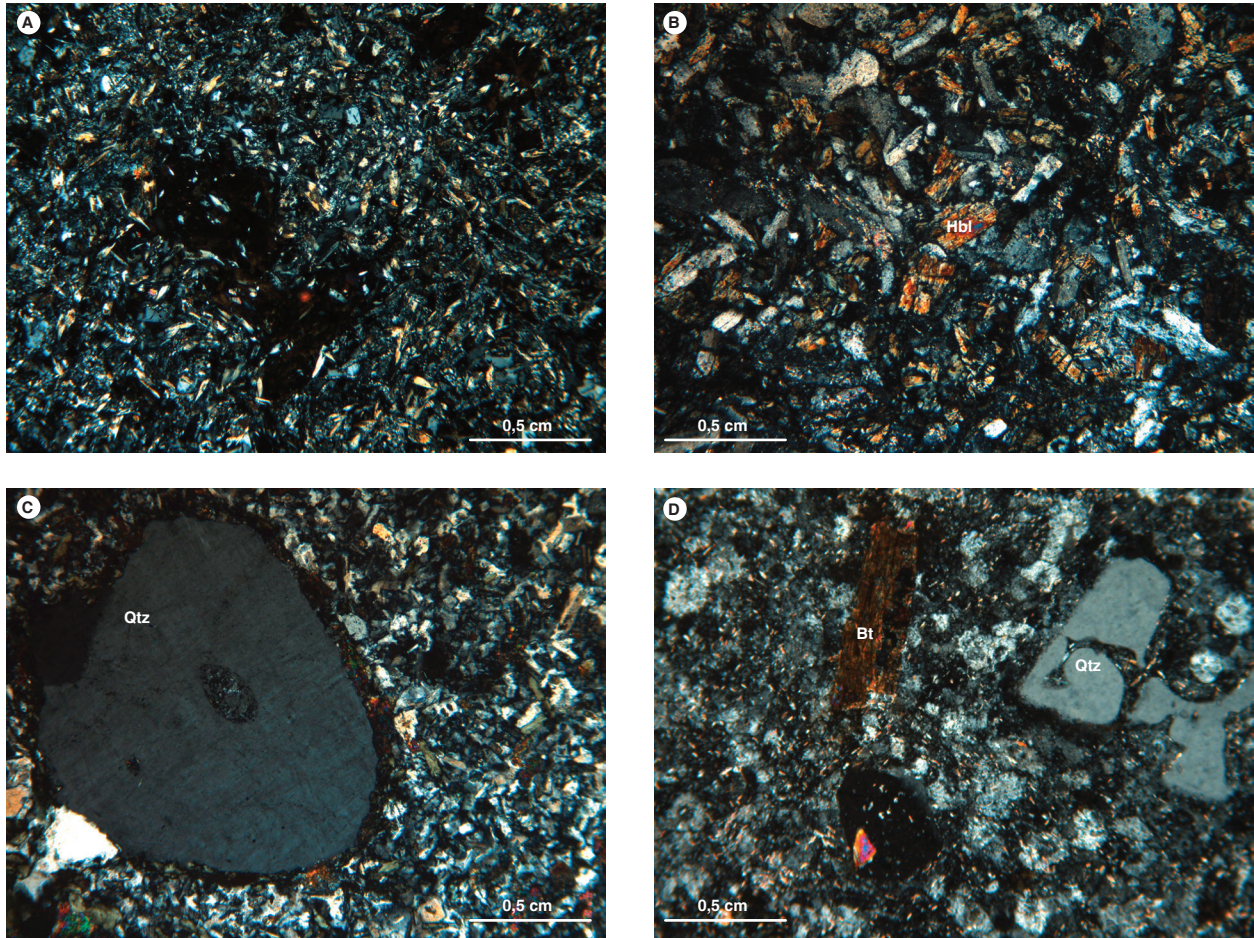


Figura 7. Aspecto microscópico de rocas de dique.

A) INM-10932 (HCH-44) andesita. Nícoles cruzados. Microcristales de plagioclasa y anfíbol en arreglo intergranular. B) 900934 (MIA-624A) microdiorita. Nícoles cruzados. Textura holocristalina subidiomorfa finogranular, compuesta por plagioclasa (Pl) y hornblenda (Hbl), con alteración a clorita (Chl) y epidota (Ep). C) IGM-900859 (AMC-125A) fenodacita. Nícoles cruzados. Fenocristal de cuarzo rodeado por agregado muy fino de epidota y matriz finogranular, 4x, XPL. D) IGM-900860 (AMC-0127) fenodacita. Nícoles cruzados. Aspecto general de matriz vítrea desvitrificada con microfenocristales de cuarzo que muestran bahía de corrosión, plagioclasa y biotita. PPL, 4x

Los diques clasificados petrográficamente como fenodacitas (IGM-900859-AMC-0125B y 900860-AMC-0127) tienen un color pardo entre claro y blanquecino, son afaníticos, tienen fenocristales de cuarzo, plagioclasa y biotita, presentan textura porfídica con matriz vítrea o desvitrificada en agregados felsíticos microcristalinos. Las fenodacitas tienen como minerales accesorios allanita, circón y opacos. La plagioclasa es de tipo andesina ( $An_{38}$ ), aparece en fenocristales y microfenocristales euhedrales y subhedrales tabulares, con maclas de albita y albita-Carlsbad; también, en la matriz, como microcristales y microlitos, con alteración leve a sericita, epidota y alteración moderada a arcilla. El cuarzo se presenta en microfenocristales equidimensionales, euhedrales a

subhedrales, algunos bipiramidales, otros redondeados y limpios; muestran bahías de corrosión. La biotita se encuentra en cristales euhedrales-subhedrales en cortes basales de contornos hexagonales y cortes longitudinales; es pleocroica, de tono pardo a amarillo claro, algunas veces alterada a epidota-clinozoisita; principalmente se encuentra como microcristales, y en menor proporción como microfenocristales (figura 7).

Son frecuentes los diques y cuerpos menores intrusivos de monzogranitos y sienogranitos con textura microgranular-aplítica sacaroidal, que algunos autores han denominado *alaskitas* (Mantilla *et al.*, 2011 y 2013). Las rocas son de color rosado moteado de blanco lechoso, con textura granular aplítica, y están constituidas por

cristales de feldespato alcalino de color rosado (36 % a 46 %), cuarzo blanco translúcido (30 % a 53.5 %) y plagioclasa de tono blanco lechoso (7 % a 33 %), y como mineral máfico, biotita < 1 %. Los minerales accesorios son circón, titanita, allanita y apatito (figura 8).

De los cuerpos monzograníticos y sienograníticos se analizaron ocho muestras (tabla 2). La plagioclasa, que se clasificó como albita y oligoclasa ( $An_6$  a  $An_{28}$ ), se presenta en cristales anhedrales a subhedrales tabulares cortos, de entre 0,5 y 1,0 mm, con extinción plana, con maclas de albita y albita Carlsbad. Pueden estar los núcleos más alterados que los bordes, reemplazados por sericita en agregados, saussurita y escasa arcilla, y pueden estar incluidos en feldespato (figura 9).



Figura 8. Aspecto macroscópico de los cuerpos intrusivos menores en el Monzogranito de Santa Bárbara

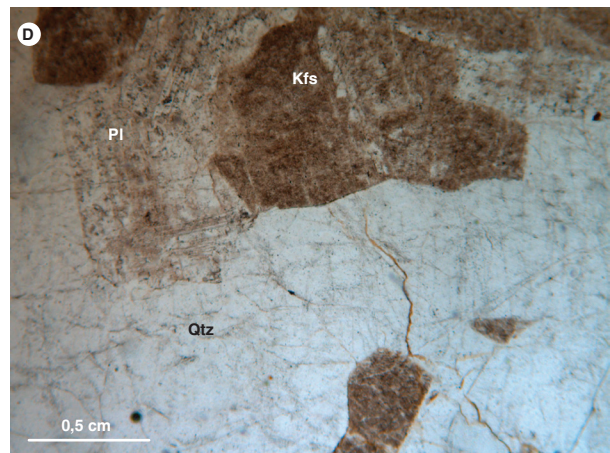
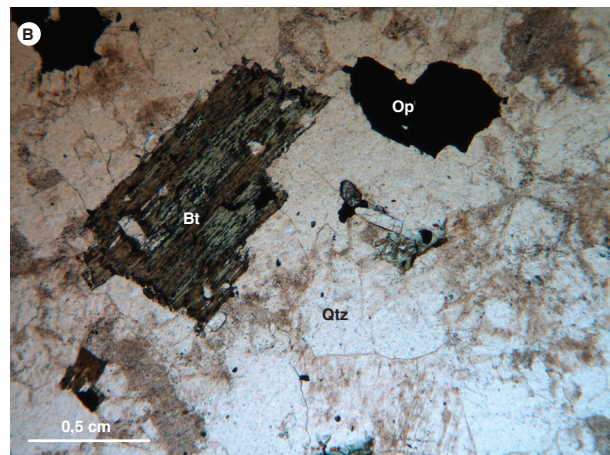
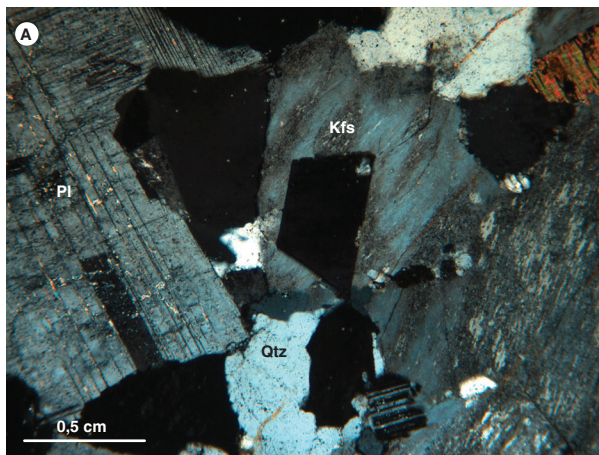


Figura 9. Aspecto microscópico y composición mineral de diques y cuerpos menores intrusivos en el Monzogranito de Santa Bárbara. A) IGM-900919 sienogranito, nicoles cruzados. Textura hipidiomorfa granular constituida por cuarzo (Qtz), ortoclasa (Or), plagioclasa (Pl) y biotita (Bt). B) IGM-900858 sienogranito. Nicoles paralelos. Textura granular con feldespato potásico (Kfs), cuarzo (Qtz), plagioclasa (Pl), biotita (Bt) y opacos (Op) C) IGM-900880 monzogranito. Nicoles paralelos. Cristales de plagioclasa (Pl), feldespato alcalino (Kfs) y cuarzo (Qtz) anhedrales con escasos opacos (Op) y biotita (Bt). D) 900918 sienogranito. Nicoles paralelos. Constituido por cuarzo (Qtz), ortoclasa (Or) alterada a caolinita y plagioclasa (Pl)

El cuarzo se encuentra en cristales anhedrales de entre 0,5 mm y 2,0 mm, con bordes irregulares, limpios, con extinción ondulatoria, con inclusiones de polvo y microfracturas irregulares internas (figura 9).

El feldespato alcalino es ortosa, se presenta en cristales anhedrales inequigranulares con contornos irregulares. Mide entre 0,5 mm y 1,0 mm, se transforma generalmente por alteración a caolín, puede tener inclusiones de cuarzo, plagioclasa y presenta desmezclas peritíticas en filoncillos y parches. Desarrolla bordes de reacción con la plagioclasa que se incluyen en el feldespato, y en algunas muestras tiene textura micrográfica (figura 9).

La biotita se encuentra en láminas subhedrales a eu-hedrales de entre 0,25 mm y 0,5 mm, presenta inclusiones de apatito y circón y se altera a clorita en los bordes y a lo largo del clivaje. En algunas muestras está reemplazada por epidota y agregados de magnetita residual (figura 9).

Los cristales de circón son euhedrales a subhedrales prismáticos, de tamaños menores de 0,06 mm. Generalmente aparecen junto a opacos e incluidos en biotita y, en menor cantidad, diseminados en la roca. Otros accesorios son apatito, allanita y opacos. La allanita se presenta en algunos granitos.

### 2.3. Química mineral

Los análisis de química mineral del Monzogranito de Santa Bárbara se realizaron en la muestra GZ-6820, clasificada petrográficamente como cuarzosienita. Para el análisis de microsonda se escogió un cristal de feldespato alcalino y un cristal de biotita (figura 10).

Los resultados de la química mineral se muestran en la tabla 3 y las figuras 11 y 12.

El feldespato potásico exhibe micropertitas en filoncillos que se pueden apreciar en la imagen de la muestra analizada (figura 10), con Or que varían entre 70,11 y 72,11, Ab entre 27,46 y 29,41, y los contenidos de An entre 0,34 y 0,48 (tabla 3) corresponden a pertita (figura 11).

La mica se clasifica como biotita, basándose en el diagrama de Si vs.  $Fe/(Mg + Fe)$  (Rieder *et al.*, 1998; figura 12A). Es decir,  $XFE = Fe/(Fe + Mg) > 0,33$ . Las micas son graficadas en el diagrama cuadrilátero (ASPE) annita-siderofilita flogopita-biotita (figura 12A), comúnmente adoptada para ilustrar el Si total y contenido XFE de micas trioctaédricas. Las biotitas analizadas con un alto aluminio tetraédrico (AlIV) (2,31-2,37 átomo/unidad de fórmula) son características de series de granitos calcoalcalinos orogénicos, como se muestra en el diagrama  $MgO$  vs.  $Al_2O_3$  (figura 12B).

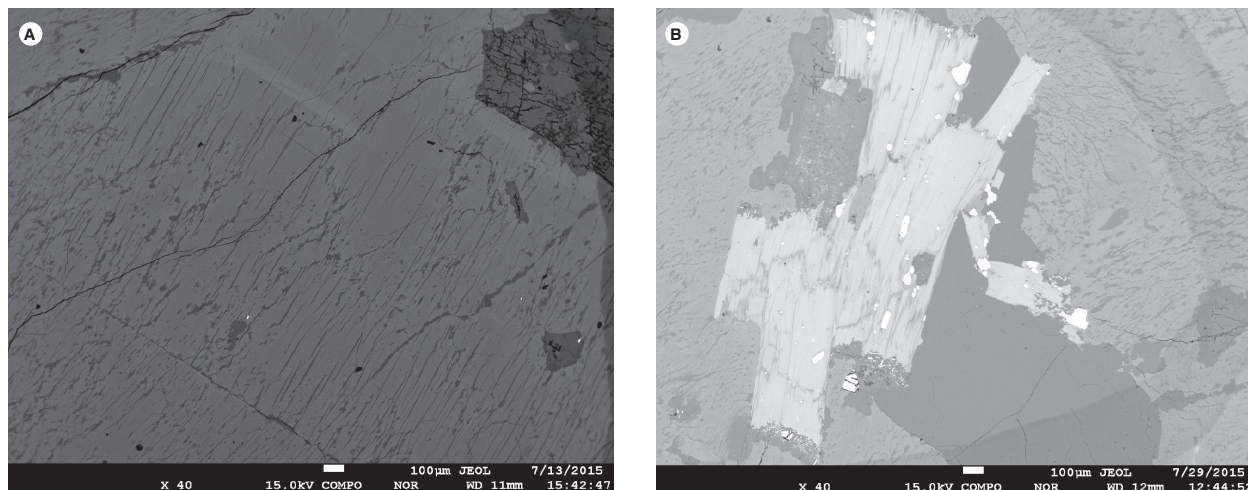


Figura 10. Imágenes de electrones retrodispersados de cristal de feldespato potásico donde se observan las micropertitas en filoncillos y de cristal de biotita, en la muestra GZ-6820

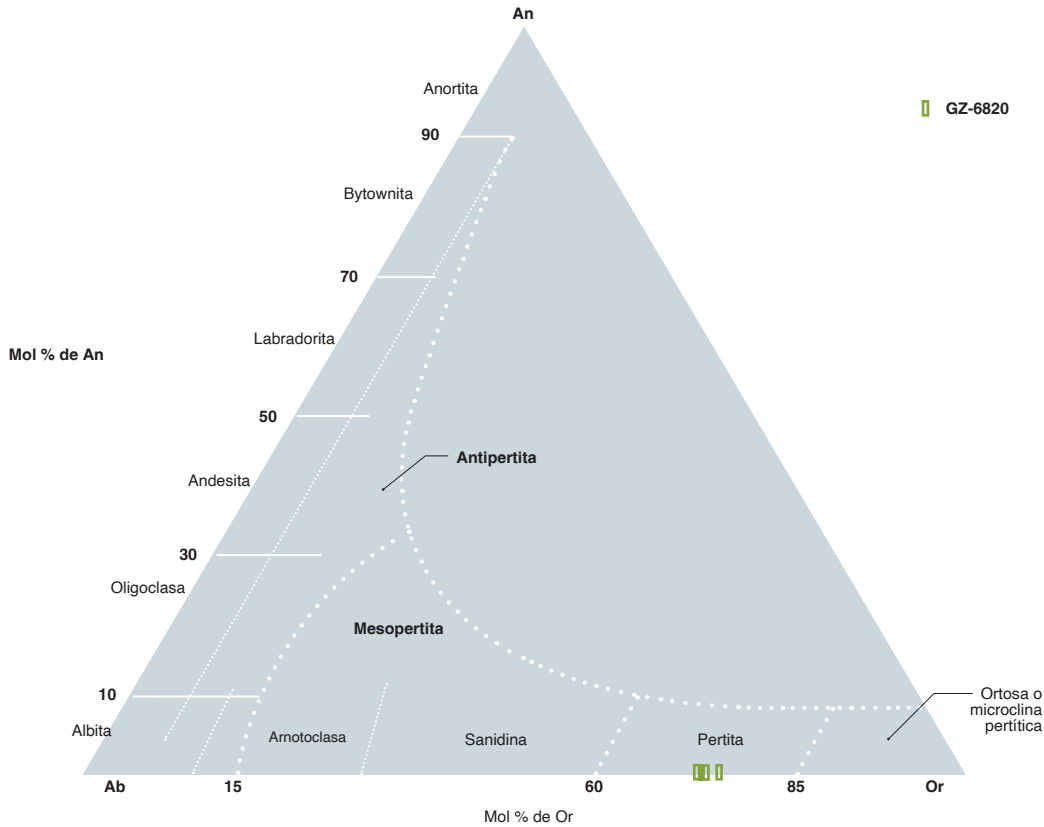


Figura 11. Composición del feldespato potásico en la muestra GZ-6820. Diagrama de Smith y Brown (1988)

Tabla 3. Composición química de feldespato alcalino y biotita en la roca GZ-6820

	GZ-6820-C1-Kfs-1	GZ-6820-C1-Kfs-2	GZ-6820-C1-Kfs-3		GZ-6820-C2-Bt-1	GZ-6820-C2-Bt-2	GZ-6820-C2-Bt-3	GZ-6820-C2-Bt-4
SiO <sub>2</sub>	65,488	65,998	66,261	SiO <sub>2</sub>	37,243	37,604	37,313	37,131
TiO <sub>2</sub>	0	0	0,004	TiO <sub>2</sub>	3,284	3,227	3,297	3,270
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,564	18,793	18,427	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,136	14,078	14,269	14,159
FeO	0,12	0,099	0,118	FeO	16,475	15,784	16,235	15,664
MgO	0	0	0	MgO	13,636	13,723	13,509	14,129
CaO	0,1	0,071	0,09	MnO	0,873	0,755	0,749	0,686
Na <sub>2</sub> O	3,381	3,324	3,16	CaO	0,000	0,000	0,000	0,000
K <sub>2</sub> O	12,25	12,399	12,614	Na <sub>2</sub> O	0,167	0,162	0,162	0,171
<b>Total</b>	<b>99,868</b>	<b>100,675</b>	<b>100,666</b>	K <sub>2</sub> O	9,355	9,457	9,333	9,447
Si	11,969	11,965	12,019	<b>Total</b>	<b>95,169</b>	<b>94,790</b>	<b>94,867</b>	<b>94,657</b>
Al	3,999	4,015	3,94	Si	5,636	5,688	5,651	5,628
Ti	0	0	0,001	AlIV	2,364	2,312	2,349	2,372
Fe <sub>2+</sub>	0,012	0,01	0,012	AlVI	0,157	0,198	0,198	0,157
Mg	0	0	0	Ti	0,374	0,367	0,375	0,373
Na	1,198	1,168	1,111	Mg	3,076	3,095	3,050	3,193
Ca	0,02	0,014	0,017	Fe <sub>2+</sub>	2,085	1,997	2,056	1,985
K	2,856	2,868	2,919	Mn	0,112	0,097	0,096	0,088
<b>Total</b>	<b>20,0531</b>	<b>20,04</b>	<b>20,019</b>	Ca	0,000	0,000	0,000	0,000
Z	15,97	15,98	15,96	Na	0,049	0,048	0,048	0,050
X	4,09	4,06	4,06	K	1,806	1,825	1,803	1,827
Or	70,11	70,81	72,11	<b>Total</b>	<b>15,658</b>	<b>15,626</b>	<b>15,626</b>	<b>15,673</b>
Ab	29,41	28,85	27,46	Fe/(Fe+Mg)	0,404	0,392	0,403	0,383
An	0,48	0,34	0,43					
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>					

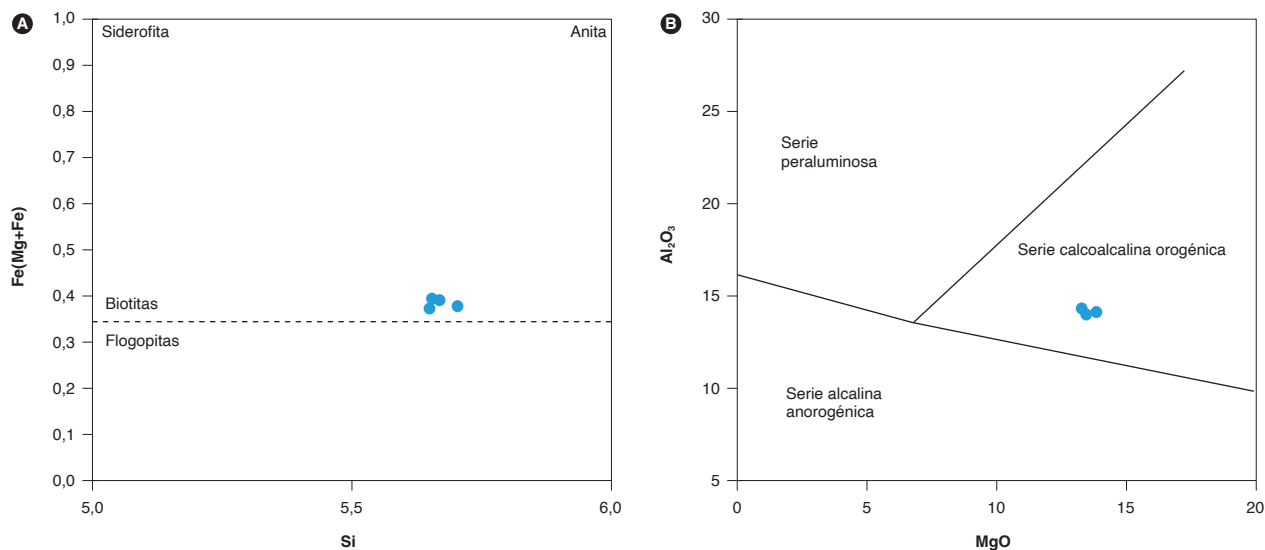


Figura 12. Diagramas de clasificación de micas.

Muestra GZ-6820 del Monzogranito de Santa Bárbara (Rieder *et al.*, 1998). A) composición de biotita del Monzogranito de Santa Bárbara representado en diagrama de  $MgO-Al_2O_3$  (Abdel Rahman, 1994). B) Clasificación de las biotitas en diferentes series, diagrama de Abdel Rahman (1994)

Abdel Rahman (1994) demostró, a partir de numerosos análisis de biotitas, que las biotitas ígneas son químicamente diferentes si cristalizan de magmas peraluminosos, calcoalcalinos orogénicos o alcalinos anorogénicos. De acuerdo con este estudio, la biotita de la muestra GZ-6820 del Monzogranito de Santa Bárbara grafica en las series calcoalcalinas orogénicas (figura 12B).

### 3. Litogeoquímica

La caracterización litogeoquímica del Monzogranito de Santa Bárbara se realizó a partir de doce análisis de rocas de la litología predominante del plutón y de nueve muestras de diques y cuerpos menores intrusivos que atraviesan los granitos, incluido el análisis petrográfico de todas las rocas. Los análisis químicos se hicieron en el Laboratorio del Servicio Geológico Colombiano, sede Bogotá. Con los óxidos mayores se utilizó el método de fluorescencia de rayos X y se incluyeron los elementos trazas V, Mo, Nb, Ta, W, Zr y Hf. Con el resto de elementos traza y tierras raras se utilizó el equipo de espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS). Para la interpretación de los óxidos mayores se hizo el recálculo, teniendo en cuenta los valores de LOI (pérdidas por ignición), que en la mayoría de muestras es  $< 3\%$ , valor normal en rocas poco alteradas. Los resultados de óxidos mayores se muestran en la tabla 4.

#### 3.1. Óxidos mayores

Los valores de  $SiO_2$  en rocas granitoides del Monzogranito de Santa Bárbara varían entre  $72\%$  y  $77\%$ , y solo una muestra presenta valores menores de  $66,32\%$  de  $SiO_2$  (IGM-900910-JGB-464); los valores de  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$  y  $CaO$  disminuyen con el aumento de  $SiO_2$ ; el  $Na_2O$  y  $K_2O$  son altos y constantes con el aumento de  $SiO_2$  y el  $TiO_2 < 0,6\%$ . La roca IGM-900910 (JGB-464) presenta un comportamiento diferente en los óxidos mayores. Los contenidos de  $Al_2O_3$  están entre  $12,69\%$  y  $14,98\%$ ; el  $MgO$  es menor de  $0,83\%$  en todas las rocas, excepto en la muestra JGB-464, en la que asciende a  $2,07\%$ ; presentan un alto contenido de álcalis ( $Na_2O + K_2O > 7\%$ ), altas razones de  $K_2O/Na_2O > 1$ , bajo  $TiO_2 (< 0,5\%)$ ; excepto en la muestra IGM-900910 (JGB-464), el  $CaO$  varía entre  $0,22\%$  y  $2,95\%$ .

En las rocas de dique y cuerpos menores intrusivos, el contenido de  $SiO_2$  varía entre  $48,9\%$  y  $79,4\%$ ; los diques andesíticos y microdioríticos tienen valores entre  $48,9\%$  y  $49,8\%$ , mientras las dacitas presentan valores de  $SiO_2$  de entre  $58,18\%$  y  $62,4\%$ ; en los diques y cuerpos menores de monzogranitos y sienogranitos, el  $SiO_2$  varía entre  $72,2\%$  y  $79,4\%$ . Claramente, los diques se agrupan en varias poblaciones: aquellos con contenidos de  $SiO_2$  entre  $48,9\%$  y  $49,52\%$  corresponden a andesitas y microdioritas; diques de composición intermedia, con

SiO<sub>2</sub> entre 58,2 % y 62,4 %, fenodacitas y cuarzodioritas, y el tercer grupo tiene contenidos de SiO<sub>2</sub> entre 72,7 % y 79,4 %, y corresponde a monzogranitos y sienogranitos aplíticos. En diques más básicos, los valores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> varían entre 11,3 % y 16,5 %; en los diques graníticos los valores son relativamente constantes, entre 13,5 % y 16,6 %; los contenidos de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, TiO<sub>2</sub>, MnO y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> son erráticos con el aumento de SiO<sub>2</sub> (tabla 4).

Los valores de Na<sub>2</sub>O son similares en todos los diques: entre 2,5 % y 3,5 %, excepto la muestra IGM-900940 (MIA-634), con Na<sub>2</sub>O de 1,08 %, mientras el K<sub>2</sub>O es mayor en los diques ácidos que presentan valores entre 4,4 % y 5,5 % (K<sub>2</sub>O > Na<sub>2</sub>O) (tabla 3); con valores de ál-

calis (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O), para estos últimos, del orden de 7,22 % a 8,2 %, mientras los básicos a intermedios el álcalis varía entre 4,5 % y 5,4 %; la muestra IGM-900940 (MIA-634) presenta un valor de álcalis de 1,67 % para un contenido de SiO<sub>2</sub> de 48,9 %.

En el diagrama K<sub>2</sub>O versus SiO<sub>2</sub> (Peccerillo y Taylor, 1976), las rocas granitoides del Monzogranito de Santa Bárbara grafican en la serie calcoalcalina alta en K, y la muestra IGM-900910 (JGB-464) se clasifica en el campo de la serie calcoalcalina. Separada de las demás muestras, corresponde a una roca con menor contenido de SiO<sub>2</sub> (62,3 %) (figura 13A).

Tabla 4. Composición de óxidos mayores en rocas granitoides y diques del Monzogranito de Santa Bárbara

IGM	N campo	W	N	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	LOI	
<b>Rocas del Monzogranito de Santa Bárbara</b>															
900857	AMC-0123	1131987	1255454	72,32	0,35	14,11	2,25	0,82	1,03	3,48	4,47	0,095	0,089	1,18	
900870	AMC-0138A	1126314	1238798	72,62	0,35	14,87	1,36	0,40	0,53	2,79	5,24	0	0,045	0,85	
900881	GR-6718	1135523	1280563	77,25	0,09	12,77	0,61	0,03	0,25	3,03	5,28	0,009	0,033	0,72	
900882	GR-6719	1138272	1285445	71,97	0,64	13,74	2,58	0,03	2,15	2,56	3,85	0	0,108	0,92	
900896	GZ-6820	1130042	1257023	73,83	0,25	13,72	1,68	0,56	1,3	3,22	4,43	0,074	0,069	0,80	
900908	JGB-457	1126936	1261464	75,36	0,06	12,96	1,31	0,13	1,04	2,84	5,15	0	0,045	0,18	
900910	JGB-464	1132151	1237861	66,32	0,92	14,54	6,17	2,01	2,95	2,04	1,92	0	0,178	2,34	
900911	JGB-465	1127462	1237751	76,56	0,05	12,64	1,08	0,08	0,59	3,07	4,93	0	0,057	0,18	
900920	LMC-062	1138946	1285633	71,68	0,29	15,13	2,01	0,54	0,71	2,79	4,63	0	0,079	1,23	
900933	MIA-628A	1124047	1259950	74,77	0,23	13,48	1,51	0,41	1,29	3,04	4,49	0,052	0,061	0,65	
900935	MIA-629B	1128475	1260575	77,88	0,08	12,65	0,34	0,00	0,22	3,54	4,93	0,000	0,020	0,39	
900941	MIA-635	1127633	1239321	72,14	0,36	14,05	2,20	0,66	1,61	3,02	4,71	0,105	0,058	0,95	
<b>Rocas de dique y cuerpos menores intrusivos</b>															
900858	AMC-0125A	1130530	1256893	74,56	0,31	13,50	1,03	0,11	0,47	3,44	4,56	0	0,058	0,66	
900859	AMC-0125B	1130530	1256893	62,42	0,7	15,97	5,12	2,58	5,37	2,55	2,79	0,223	0,164	1,94	
900860	AMC-0127	1129934	1258935	75,89	0,05	13,12	0,76	0,09	0,77	3,05	4,53	0	0,039	0,74	
900880	GR-6717	1134180	1284660	72,16	0,28	14,56	1,75	0,6	2,46	2,87	4,41	0,077	0,063	0,70	
900907	JGB-456	1126023	1260523	49,85	0,78	16,50	9,12	7,92	6,49	2,52	1,80	0	0,585	3,66	
900918	LMC-059A	1133364	1285807	79,45	0,02	11,27	0,88	0,02	0,06	3,01	4,12	0	0,018	0,44	
900919	LMC-061	1134263	1285805	77,09	0,04	12,75	1,11	0,02	0,09	2,27	5,44	0	0,018	0,68	
900934	MIA-629A	1128475	1260575	58,18	1,11	15,70	7,00	5,02	3,44	3,47	2,67	0,286	0,380	2,46	
900940	MIA-634	1129437	1238387	48,94	0,48	16,60	9,96	7,53	12,07	1,08	0,55	0,037	0,215	2,49	

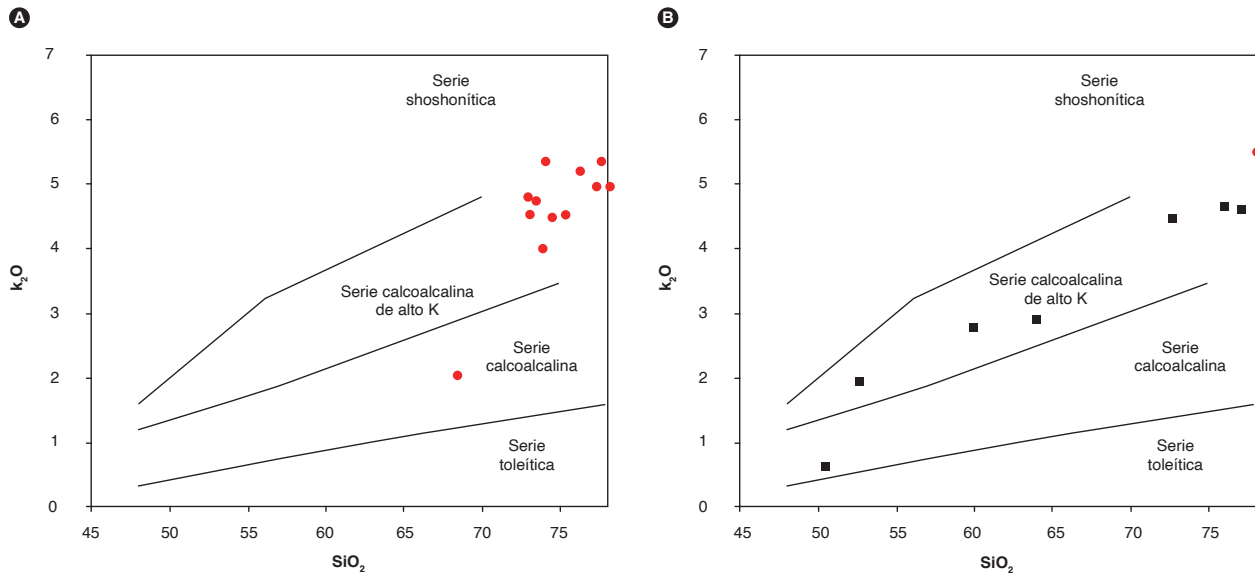


Figura 13. Diagrama  $K_2O$  Vs  $SiO_2$  (Peccerillo y Taylor, 1976)

A) Granitoides del Monzogranito de Santa Bárbara. B) Rocas de dique y cuerpos menores intrusivos en el Monzogranito de Santa Bárbara

Los diques y cuerpos intrusivos menores corresponden a la serie calcoalcalina alta en K, y únicamente la muestra IGM-900940 (MIA-634) se aparta del comportamiento general y gráfica en el campo de la serie calcoalcalina (figura 13B).

Las rocas del Monzogranito de Santa Bárbara se clasifican químicamente en el campo de los granitos y granitos de feldespato alcalino, en la serie subalcalina. La muestra IGM-900910 (JGB-464) pertenece al campo de las tonalitas, si bien se separa de las demás muestras, con una agrupación de los datos alrededor de los granitos en el diagrama TAS de Middlemost (1994) (figura 14A) y buena concordancia con la clasificación petrográfica. Los diques y cuerpos menores intrusivos se reparten químicamente en tres campos:

- Las muestras IGM-900940 (MIA-634) e IGM-900907 (JGB-456) pertenecen al campo de los gabros. La primera de ellas tiene bajos contenidos de álcalis y es más básica que la clasificación petrográfica (cuarzodiorita).
- Las muestras IGM-900934 (MIA-629A) y IGM-900858 (AMC-0125A) se clasifican como andesita y dacita, respectivamente, en el diagrama TAS de Le Bas *et al.* (1986), en la serie subalcalina, con una buena concordancia con la clasificación petrográfica.

- Las restantes muestras grafican en el campo de los granitos en el diagrama TAS de Middlemost (1994) (figura 14B) y fueron clasificadas en la petrografía como monzogranitos, sienogranitos y fenodacitas.

La clasificación petrográfica basada en la química indica la presencia de al menos tres eventos de intrusión de diques y cuerpos menores en el Monzogranito de Santa Bárbara, con composiciones mineralógica y química diferentes.

Los granitos que componen el Monzogranito de Santa Bárbara grafican en el campo peraluminoso del gráfico de Shand (1943), con valores de  $A/NK > 1$  y valores de  $A/CNK > 1$ , lo que sugiere un importante aporte al magma de material de corteza continental. Otros son granitos altamente diferenciados, con valores altos de  $SiO_2 > 71\%$  (figura 15A).

En el diagrama de Debon y Le Fort (1983), modificado por Villaseca *et al.* (1998) (figura 15B), las rocas se agrupan en el campo peraluminoso. La mayoría de muestras grafica dentro o alrededor del campo de los granitos peraluminosos félsicos y en el campo de los granitoides moderadamente peraluminosos. Únicamente la muestra IGM-900910 (JGB-464), clasificada como tonalita, se aparta de las demás muestras y grafica en el campo de los granitoides altamente peraluminosos, lo cual sugiere que corresponde a otro evento magmático.



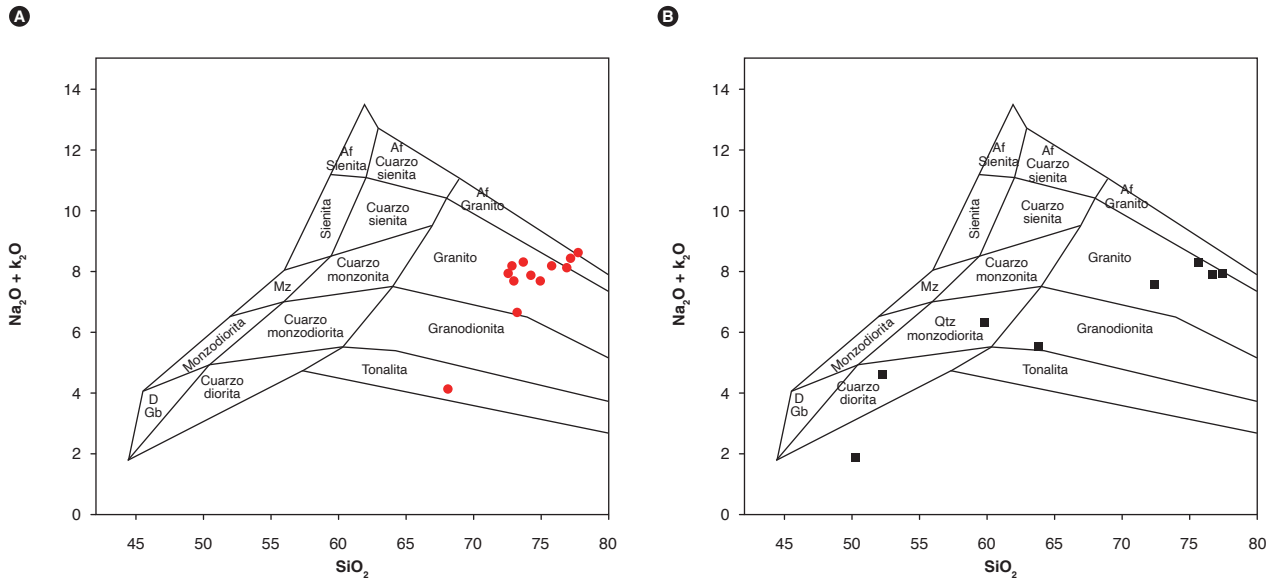


Figura 14. Diagramas de clasificación química de rocas del Monzogranito de Santa Bárbara. A) Diagrama de Middlemost (1985) para rocas graníticas. B) Rocas de dique y cuerpos menores intrusivos

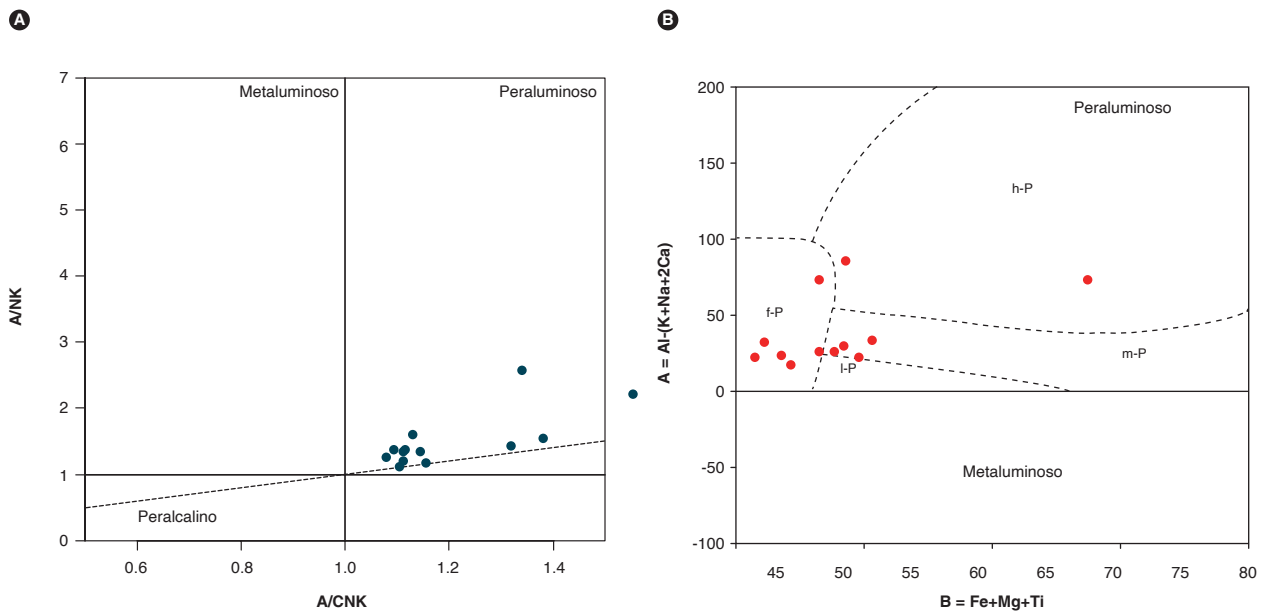


Figura 15. Diagrama de alcalinidad-aluminosidad correspondiente a rocas del Monzogranito de Santa Bárbara. A) Diagrama de Shand (1943). B) diagrama de Debon y Le Fort (1983) modificado por Villaseca *et al.* (1998): f-P granitoides peraluminosos félsicos, h-P granitoides altamente peraluminosos, m-P granitoides medianamente peraluminosos

El índice de saturación de alúmina, en la mayoría de rocas, oscila entre 1 y 2, la relación A/CNK > 1, tienen valores de A/NK > 1, y la relación K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O presenta una variación entre 1,37 y 1,8, con el Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > CaO+Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O. La muestra IGM-900910 (JGB-464) tiene un índice de saturación de alúmina > 2.

Sylvester (1998) afirma que las concentraciones de CaO y Na<sub>2</sub>O en granitoides tipo S son controladas por la proporción original de plagioclasa en la roca fuente. Así, fuentes ricas en arcillas (por ej., lutitas), pobres en plagioclasas, producen fundidos con bajas relaciones de CaO/Na<sub>2</sub>O (< 0,3). En caso contrario, fundidos obtenidos a partir de fuentes pobres en arcillas y ricas en plagioclasas (por ej., grauvacas) generarán relaciones más altas que la anterior (CaO/Na<sub>2</sub>O > 0,3). Las rocas del Monzogranito de Santa Bárbara presentan valores de CaO/Na<sub>2</sub>O mayores y menores de 0,3, aunque generalmente se considera que la fuente de estos granitos peraluminosos son sedimentos o metasedimentos (Chappell y White, 1974). Los fundidos peraluminosos pueden formarse a partir de fusión de rocas félsicas metaluminosas con biotita (Miller, 1985).

Las características mineralógicas del Monzogranito de Santa Bárbara, como la presencia de feldespato potásico

rosado, biotita parda y magnetita, son más frecuentes en granitos tipo I altamente diferenciados, de acuerdo con Chappell y White (1992, 2001).

Los diques y cuerpos menores intrusivos grafican en el campo peraluminoso (figura 16A). Únicamente las muestras IGM-900859 (AMC-01 25C), IGM-900907 (JGB-456) e IGM-900940 (MIA-634) pertenecen al campo metaluminoso, con valores de A/CNK < 1 y valores de A/NK > 1, y se clasificaron químicamente como gabros y riolitas, mientras los diques de composición granítica corresponden al campo peraluminoso, con valores de A/CNK > 1. Estos diques presentan valores altos de SiO<sub>2</sub>, entre 72,2 % y 79,45 % (figura 16B), y se agrupan en el campo de los granitoides peraluminosos félsicos en el diagrama de Debon y Le Fort (1983) modificado por Villaseca *et al.* (1998). Únicamente la muestra IGM-900859 grafica en el campo metaluminoso.

### 3.2. Elementos traza y tierras raras

En la tabla 5 se resumen los resultados de los análisis químicos de elementos traza y tierras raras de rocas del Monzogranito de Santa Bárbara, diques y cuerpos menores que atraviesan el plutón.

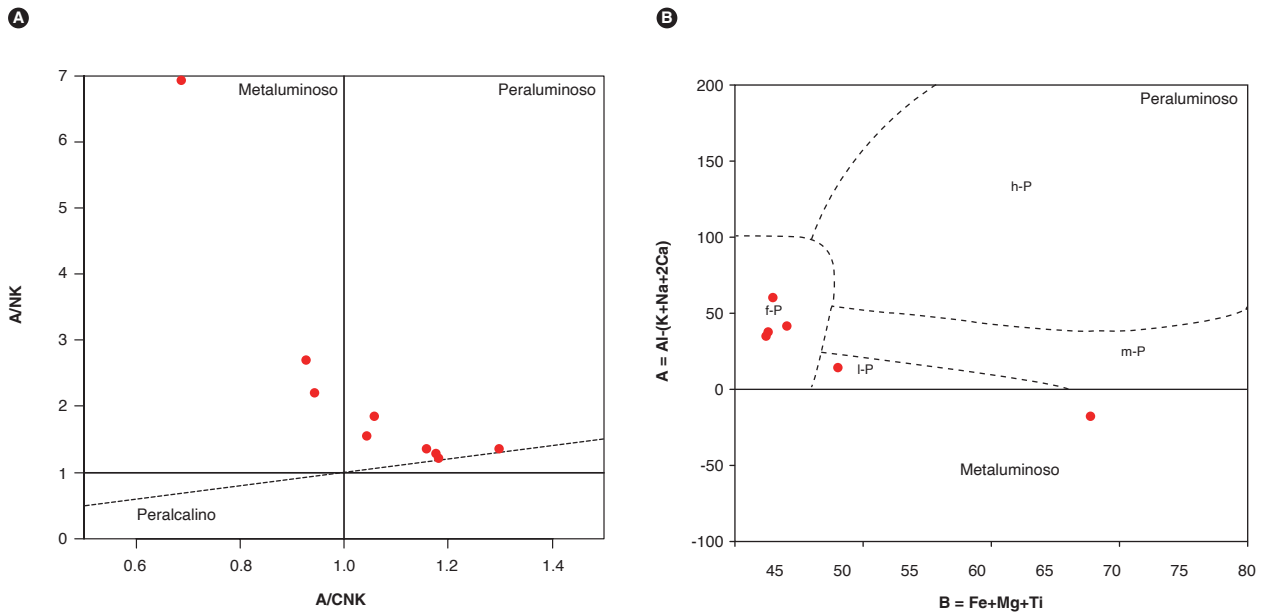


Figura 16. Diagrama de alcalinidad-aluminosidad correspondiente a diques y cuerpos menores intrusivos en el Monzogranito de Santa Bárbara A) Diagrama de Shand (1943). B) diagrama de Debon y Le Fort (1983) modificado por Villaseca *et al.* (1998), f-P granitoides peraluminosos félsicos, h-P granitoides altamente peraluminosos, m-P granitoides medianamente peraluminosos

Tabla 5. Resultados de elementos traza y tierras en rocas del Monzogranito de Santa Bárbara y diques

IGM	N campo	W	N	Li	Be	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Rb	Sr	Cd	Cs					
<b>Rocas del Monzogranito de Santa Bárbara</b>																							
900857	AMC-0123	1131987	1255454	9,7	3,9	6,8	29,4	15,2	15,0	16,7	5,9	39,3	18,4	1,7	184,4	199,7	<0,08	2,1					
900870	AMC-0138*	1126314	1238798	10,4	2,1	3,1	16,0	21,4	14,9	5,6	6,0	23,0	15,3	1,8	200,4	162,3	<0,08	1,3					
900881	GR-6718	1135523	1280563	11,0	6,3	4,9	6,2	2,9	7,0	0,6	3,0	11,6	16,8	1,2	326,7	75,8	0,1	6,4					
900882	GR-6719	1138272	1285445	39,6	4,0	7,5	32,3	8,3	17,4	7,2	4,8	47,6	17,6	2,2	185,4	270,2	0,1	2,6					
900896	GZ-6820	1130042	1257023	38,4	4,5	6,5	19,2	11,3	15,6	6,0	5,0	36,5	18,9	2,4	191,7	232,3	<0,08	3,4					
900908	JGB-457	1126936	1261464	21,7	4,5	3,8	9,9	1,9	13,1	2,3	4,3	8,4	15,8	1,0	230,4	115,6	<0,08	2,7					
900910	JGB-464	1132151	1237861	56,5	2,7	33,1	100,3	10,7	24,3	9,6	15,8	80,4	21,4	2,8	97,0	290,5	0,1	3,3					
900911	JGB-465	1127462	1237751	6,0	2,1	7,2	7,3	2,1	15,5	2,5	4,1	7,8	13,8	1,1	274,1	85,0	<0,08	3,0					
900920	LMC-062	1138946	1285633	31,5	4,4	8,5	34,3	8,2	18,5	3,8	4,8	40,9	18,7	2,3	205,5	253,9	<0,08	3,9					
900933	MIA-628A	1124047	1259950	16,0	6,1	7,1	15,6	6,9	20,4	5,5	5,0	39,4	18,8	2,1	252,7	198,5	<0,08	3,4					
900935	MIA-629B	1128475	1260575	7,2	4,0	4,2	5,3	3,5	8,9	2,3	10,7	7,7	17,3	1,1	275,1	41,0	<0,08	6,4					
900941	MIA-635	1127633	1239321	21,1	3,1	7,2	27,0	9,1	18,0	5,9	6,8	42,7	17,4	2,7	168,1	318,0	<0,08	1,9					
<b>Diques y cuerpos menores intrusivos</b>																							
900858	AMC-0125A	1130530	1256893	10,9	4,1	4,8	8,2	2,4	13,7	3,2	6,0	15,2	17,3	1,3	212,8	42,1	<0,08	2,4					
900859	AMC-0125B	1130530	1256893	47,7	3,1	13,6	109,2	76,6	24,4	37,0	6,2	77,8	29,5	2,2	98,1	785,3	0,1	1,3					
900860	AMC-0127	1129934	1258935	15,0	3,2	3,5	7,7	2,6	5,9	2,6	5,9	20,7	14,2	1,6	226,2	173,7	<0,08	3,1					
900880	GR-6717	1134180	1284660	35,8	3,7	7,1	26,0	6,5	12,6	4,2	5,1	24,3	16,8	2,5	189,2	325,3	0,1	2,9					
900907	JGB-456	1126023	1260523	94,4	2,1	45,1	181,8	200,5	37,2	78,0	13,7	307,8	23,4	3,3	49,9	766,3	0,3	0,8					
900918	LMC-059A	1133364	1285807	15,2	4,1	5,2	5,8	0,4	13,5	0,9	3,7	6,2	10,4	1,3	265,5	73,8	0,1	5,5					
900919	LMC-061	1134263	1285805	5,4	3,2	3,3	11,0	0,6	10,5	0,8	3,5	12,3	13,5	0,8	267,2	125,4	0,1	3,6					
900934	MIA-629A	1128475	1260575	51,9	3,0	30,4	141,9	208,8	33,9	83,4	176,5	458,5	21,9	2,7	157,4	509,4	1,9	3,2					
900940	MIA-634	1129437	1238387	31,3	0,8	68,1	229,4	249,6	54,4	76,0	70,0	82,0	17,1	2,3	22,1	186,4	0,2	0,5					
Límites				ppm	ppm	ppm	(mg/kg)	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm				
				0,5	0,1	0,1	0,2	0,5	0,8	0,5	1	4	0,2	0,4	0,2	1	0,08	0,1					
IGM	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Ti	Pb	Bi	Th	U	Zr	Nb	W
<b>Rocas del Monzogranito de Santa Bárbara</b>																							
900857	860,6	68,0	118,6	14,0	48,7	8,1	1,0	5,6	1,0	5,3	1,0	3,0	0,4	2,5	0,3	1,1	14,1	0,1	23,5	5,2	203,7	15,0	49,9
900870	931,1	39,4	72,2	8,0	24,8	4,4	0,8	3,3	0,5	2,7	0,5	1,6	0,2	1,4	0,2	1,1	16,3	0,0	21,8	3,0	120,6	9,5	49,2
900881	64,0	15,4	28,2	3,3	10,2	1,8	0,2	1,3	0,2	1,3	0,3	1,0	0,2	1,5	0,3	2,3	31,8	0,1	35,4	9,2	55,4	14,3	29,0
900882	870,9	40,1	79,3	9,5	31,4	6,1	1,0	4,1	0,8	3,9	0,8	2,4	0,3	2,2	0,3	1,2	22,7	0,1	20,7	3,9	147,4	12,1	52,4
900896	866,8	49,8	95,5	10,8	32,1	5,9	1,0	4,4	0,8	4,1	0,8	2,6	0,4	2,4	0,4	1,2	21,5	0,1	25,1	7,3	148,0	16,1	52,7
900908	312,0	19,0	31,2	3,4	9,8	1,8	0,4	1,6	0,3	1,7	0,4	1,3	0,2	1,6	0,3	1,4	26,7	<0,05	25,4	5,1	62,2	9,9	42,2
900910	1469,0	37,7	81,8	12,1	48,0	11,3	2,3	8,0	1,8	9,6	2,1	5,6	0,7	4,5	0,7	0,6	8,3	0,1	5,9	1,4	341,6	13,0	36,6
900911	293,2	13,9	26,1	3,0	9,0	2,3	0,4	1,7	0,4	2,6	0,5	1,6	0,3	1,8	0,3	1,7	33,5	0,1	10,9	2,4	46,5	10,8	60,2
900920	1113,4	55,0	98,2	12,2	34,0	6,4	1,2	4,7	0,8	3,6	0,7	2,3	0,3	2,2	0,3	1,4	19,0	<0,05	31,5	5,8	135,5	13,1	49,5
900933	636,1	26,6	54,6	6,1	20,3	4,0	0,9	2,8	0,6	2,8	0,6	1,8	0,3	1,6	0,2	1,5	21,1	0,1	26,5	4,8	101,4	8,9	61,7
900935	61,7	13,6	29,8	3,5	12,1	2,2	0,2	1,5	0,4	1,9	0,5	1,6	0,3	2,0	0,3	1,6	22,4	0,2	37,4	9,8	40,3	15,7	27,2
900941	1490,8	64,3	112,9	12,3	41,4	6,3	1,6	4,9	0,9	4,1	0,8	2,5	0,3	2,1	0,3	0,9	20,1	0,1	25,8	4,3	167,7	10,5	46,1
<b>Diques y cuerpos menores intrusivos</b>																							
900858	89,3	19,1	40,7	4,8	15,5	3,2	0,3	2,3	0,5	2,6	0,5	1,8	0,3	2,0	0,3	1,2	25,2	0,1	32,8	7,5	72,0	17,2	54,3
900859	803,0	47,7	87,6	10,7	38,1	6,6	1,2	4,6	0,8	4,2	0,8	2,3	0,3	1,6	0,2	0,7	11,2	1,1	9,8	3,4	180,3	8,6	37,5
900860	1031,7	45,7	78,5	8,7	25,1	4,6	0,8	3,4	0,6	3,2	0,6	1,9	0,3	1,8	0,3	1,4	16,3	0,3	23,7	6,9	89,6	13,8	27,1
900880	964,9	54,8	71,0	10,9	33,6	6,2	1,3	5,0	1,0	5,8	1,2	4,1	0,6	3,7	0,6	1,1	18,2	0,1	23,8	3,6	118,7	10,0	41,9
900907	440,9	47,8	98,6	13,8	45,2	10,7	1,8	6,9	1,5	7,1	1,3	3,7	0,4	2,5	0,3	0,6	18,7	2,0	5,1	1,0	245,2	11,6	23,6
900918	262,9	23,0	40,8	4,5	12,1	1,9	0,3	1,7	0,3	1,4	0,3	1,3	0,2	1,9	0,4	1,8	13,4	0,2	37,9	10,7	60,2	13,0	47,3
900919	171,5	7,9	11,1	1,6	5,3	1,3	0,3	1,0	0,2	1,4	0,3	1,2	0,2	1,7	0,3	1,8	26,6	0,1	29,7	9,9	30,1	17,4	38,3
900934	1460,7	48,3	96,9	12,3	49,9	8,2	2,1	5,5	1,1	5,1	0,9	2,7	0,3	2,0	0,3	1,1	13,9	18,7	5,6	1,1	236,5	12,2	22,0
900940	120,2	11,2	24,5	3,1	12,3	2,8	0,5	2,1	0,6	3,4	0,7	2,3	0,3	2,2	0,3	0,1	6,7	0,1	1,0	0,3	26,7	3,4	9,9
Límites		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
		1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	2	0,1	0,1	0	2	2	8

El diagrama de elementos de las tierras raras (REE), normalizado a condrito según los valores de Nakamura (1974), en rocas granitoides del Monzogranito de Santa Bárbara muestra al menos cuatro patrones de REE diferentes, que podrían sugerir diferentes eventos o pulsos magmáticos en el mismo plutón. El comportamiento general de los cuatro patrones es comparable al de rocas generadas en ambientes de subducción por encima de la placa subducida (arco), con enriquecimiento en tierras raras livianas (LREE), empobrecimiento hacia las tierras raras pesadas (HREE) y anomalía negativa de Eu, que crece con el aumento del contenido de  $\text{SiO}_2$  en las rocas, probablemente debido a fraccionamiento de la plagioclasa en el magma, lo cual permite que el  $\text{Eu}^{+3}$  cambie su estado de oxidación a  $\text{Eu}^{+2}$  (figura 17). En todas las muestras, las relaciones  $\text{Eu}/\text{Eu}^* < 1$  y  $(\text{La}/\text{Sm})_N > 2$  evidencian un enriquecimiento de tierras raras ligeras con relación a las HREE.

Al analizar el comportamiento de los REE se encuentra una relación estrecha entre los diferentes patrones y el contenido de  $\text{SiO}_2$ : la muestra IGM-900910 (JGB-464), clasificada químicamente como tonalita, tiene un patrón con pendiente negativa menos pronunciado que las demás muestras (granitos y granitos feldespáticos), con mayores contenidos de LREE, débil anomalía negativa de Eu y Gd, relaciones más bajas de  $(\text{Ce}/\text{Sm})_N$  de 1,71 y  $(\text{La}/\text{Sm})_N$  de 2,6 (tabla 6) y valores de  $\text{SiO}_2$  de 68,34%. El segundo y tercer patrón se encuentra en las muestras IGM-900908 (JGB-457) y IGM-900935 (MIA-629B), similares al patrón de las muestras IGM-900911 (JGB-465) y IGM-900881

(JGB-671B), que corresponden a rocas clasificadas químicamente como granitos de feldespato alcalino, con los mayores contenidos de  $\text{SiO}_2$  (75% a 79,5%), las menores sumatorias de REE, la menor relación  $(\text{Eu}/\text{Yb})_N$ , con mayores anomalías negativas de Eu. Además, estos dos patrones presentan un empobrecimiento progresivo en las tierras raras livianas (LREE) entre La y Eu y un enriquecimiento débil de las tierras raras pesadas (HREE) entre Gd y Lu, que los diferencia de los demás patrones (figura 17). Estos evidencian edades U/Pb de  $203,8 \pm 2,7$  Ma, en el caso de la muestra IGM-900881 (GR-6718), y el otro patrón arrojó una edad de  $195,1 \pm 1,9$  Ma en la muestra IGM-900908 (JGB-457). Por último, un cuarto patrón corresponde a las muestras IGM-900941 (MIA-635), IGM-900857 (AMC-0123), IGM-900920 (LMC-062), IGM-900882 (GR-6719), IGM-900870 (AMC-138A), IGM-900896 (GZ-6820) e IGM-900933 (MIA-628A), clasificadas químicamente como granitos, con enriquecimiento en LREE y pendiente negativa hacia las HREE, anomalía negativa moderada de Eu, con sumatoria de REE entre 123,2 y 277,5; relación  $(\text{La}/\text{Yb})_N$  y  $(\text{Ce}/\text{Yb})_N$  mayor que la de los otros tres trenes (10,7 a 20,5) y (8,45 a 13,77), respectivamente (tabla 5); a la muestra IGM-900882 (GR-6719) se le calculó una edad de  $196,8 \pm 2,0$  Ma (figura 17).

Las edades U/Pb obtenidas en algunas muestras asociadas a diferentes patrones de REE normalizados al condrito de Nakamura (1974) (figura 17) sugieren que los patrones se relacionan con pulsos magmáticos de diferente edad y similar composición litológica en el plutón de Santa Bárbara.

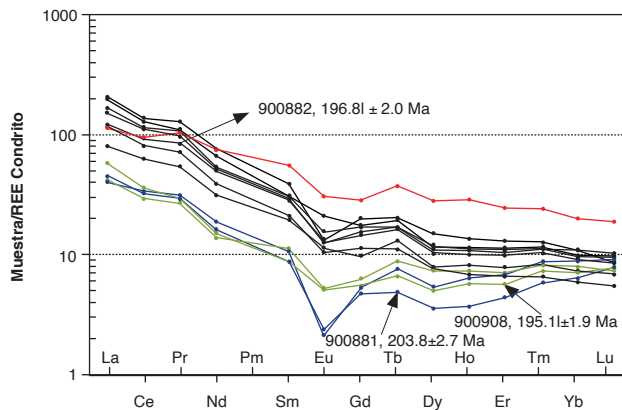


Figura 17. Diagrama de REE normalizado respecto al condrito (Nakamura, 1974), correspondiente a muestras del Monzogranito de Santa Bárbara. En negro, rocas clasificadas como granitos; en rojo, roca clasificada como tonalita, y en verde, rocas clasificadas como granitos de feldespato alcalino, y edades U/Pb de algunas muestras

Tabla 6. Valores normalizados de REE según el condrito de Nakamura (1974) y valores de SiO<sub>2</sub> en rocas del Monzogranito de Santa Bárbara

IGM	SiO <sub>2</sub>	Eu/Eu*	LaN/YbN	LaN/SmN	CeN/YbN	CeN/SmN	EuN/YbN	Σ-REE
900910	68,34	0,76	5,55	2,06	4,6	1,71	1,48	226,12
900941	72,93	0,91	20,56	6,31	13,77	4,22	2,25	254,88
900857	73,04	0,47	18,25	5,17	12,14	3,44	1,2	277,55
900920	73,25	0,68	16,68	5,28	11,36	3,59	1,58	222,02
900882	73,72	0,62	12,06	4,02	9,09	3,03	1,3	182,25
900870	73,95	0,67	19,32	5,57	13,51	3,89	1,73	159,87
900896	74,48	0,59	13,57	5,2	9,93	3,8	1,15	211,01
900933	75,27	0,8	10,77	4,06	8,45	3,18	1,52	123,24
900908	76,21	0,73	7,91	6,45	4,97	4,06	0,71	73,01
900911	77,28	0,63	5,09	3,7	3,64	2,65	0,65	63,97
900881	77,75	0,37	7,06	5,19	4,95	3,63	0,37	65,17
900935	78,15	0,29	4,48	3,79	3,75	3,18	0,24	69,75

Colores concordantes con los diagramas multielementales

Los diques y cuerpos menores intrusivos muestran al menos cuatro patrones diferentes en el diagrama de REE contrastado con el valor de condrito de Nakamura (1974), cada uno de ellos con edades U/Pb diferentes (figura 18). Los patrones de los diques y cuerpos menores intrusivos están estrechamente relacionados con los tipos de roca que representan y el contenido de SiO<sub>2</sub>, con un comportamiento general comparable al de rocas generadas en ambientes de subducción por encima de la placa subducida (arco), con enriquecimiento en tierras raras livianas (LREE) y empobrecimiento hacia las tierras raras pesadas (HREE), anomalía débil negativa de Eu que se asocia con fraccionamiento de plagioclasa. Las rocas, clasificadas químicamente como cuarzdioritas, cuarzomonzonitas y granodioritas, correspondientes a las

muestras IGM-900907 (JGB-456), IGM-900934 (MIA-629A) e IGM-900859 (AMC-0125B) (tabla 5; figura 18), tienen un patrón paralelo entre ellas con enriquecimiento de LREE que progresivamente se empobrece hacia las HREE, similar al de rocas generadas en ambiente de arco. Las muestras IGM-900880 (GR-6717), IGM-900858 (AMC-0125A) e IGM-900860 (AMC-0127), clasificadas como granitos, tienen un patrón subparalelo que presenta un empobrecimiento progresivo en las tierras raras livianas (LREE) entre La y Eu, y comportamiento plano de las HREE entre Gd y Lu (tabla 5; figura 18). Las muestras IGM-900918 (LMC-059A) e IGM-900919 (LMC-061), clasificadas como granitos de feldespato alcalino-sienogranitos, conforman un patrón no paralelo en LREE y paralelo en las HREE, corresponden a las rocas

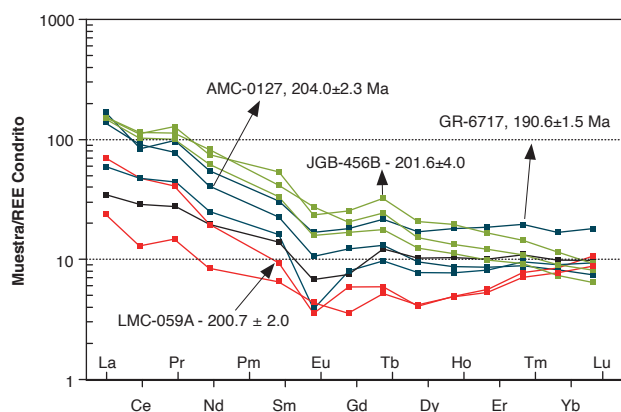


Figura 18. Diagrama de REE normalizado respecto al condrito (Nakamura, 1974) correspondiente a diques y cuerpos intrusivos menores asociados al Monzogranito de Santa Bárbara. En negro, rocas clasificadas como gabro (IGM-900940); en rojo, rocas clasificadas como granitos de feldespato alcalino-sienogranitos; en verde, rocas clasificadas como cuarzdioritas-cuarzomonzonitas y granodioritas (andesitas y dacitas), y en azul, rocas clasificadas como granitos-monzogranitos (riolitas)

con los mayores contenidos de  $\text{SiO}_2$  (75 % a 77 %), las menores sumatorias de REE (63,97 a 73,01), la menor relación  $(\text{Eu}/\text{Yb})_{\text{N}}$ , entre 0,24 y 0,71, y con relación  $(\text{Eu}/\text{Yb})_{\text{N}} > 1$  (tabla 5), además, tienen la mayor anomalía negativa de Eu. El patrón de los granitos y sienogranitos presenta un empobrecimiento progresivo en las tierras raras livianas (LREE) entre La y Eu y un enriquecimiento débil de las tierras raras pesadas (HREE) entre Gd y Lu que le imprime un tren cóncavo (rojo en la tabla 5 y figura 18). La muestra 900860 (AMC-0127) presenta un patrón independiente que se cruza con los demás patrones, y se clasificó como fenodacita.

El diagrama multielemental de tierras raras (Sun y McDonough, 1989, en Pearce, 2014) correspondiente a las rocas del Monzogranito de Santa Bárbara muestra empobrecimiento de los elementos inmóviles Nb, Ti y P, que puede corresponder a separación de fases minerales accesorias, como titanita, rutilo y apatito, y ser reflejo de la evolución magmática (Winter, 2001), donde el Nb se comporta geoquímicamente de modo similar al Ti (figura 19: A, B). Los mayores valores de los elementos litófilos de alto radio iónico (LILE) Cs, Ba y Th indican una afinidad de corteza continental (márgenes convergentes), donde abundan estos elementos altamente incompatibles. Los valores mayores en Sr, K, Ba y Rb se deben a su movilización desde fluidos que interactúan en la zona de subducción hacia el magma (figura 19A), y las anomalías negativas de Nb, Ti y P son características de arcos magmáticos relacionados con ambientes de subducción, con empobrecimiento progresivo hacia los elementos pesados; además, presentan anomalía negativa de Nb con respecto al Th y Ce, signature geoquímica típica de magmas originados en ambientes tectónicos relacionados con arcos. Los elementos traza más móviles

(LILE) tienen concentraciones mayores que el N-MORB, mientras que los elementos traza menos móviles están por debajo del N-MORB.

Al analizar las diversas agrupaciones de rocas que sugieren diferentes pulsos magmáticos en el Monzogranito de Santa Bárbara (figura 19: A, B), en el diagrama multielemental de tierras raras (Sun y McDonough, 1989 en Pearce, 2014) presentan pequeñas diferencias en los trenes de los elementos traza, con mayores anomalías de titanio en las muestras IGM-900908 (JGB-457), IGM-900911 (JGB-465), IGM-900881 (GR-6718) e IGM-900935 (MIA-629B), y valores más bajos en tierras raras inmóviles (en verde y azul), desde La hasta Yb, en las rocas clasificadas químicamente como granitos de feldespato alcalino, y valores más altos en las tierras raras inmóviles en la muestra 900910 (JGB-464), clasificada como tonalita.

Los diques y cuerpos intrusivos menores presentan anomalía negativa o empobrecimiento de los elementos inmóviles Nb, Ti y P (figura 20 A y B). Los mayores valores de los elementos litófilos de alto radio iónico (LILE) Cs, Ba y Th indican una afinidad de corteza continental (márgenes convergentes). Los diques y cuerpos intrusivos menores presentan anomalías positivas en K, Ba, Th, Rb, Cs y Pb (figura 20A), y anomalías negativas de Nb, Ti y P características de arcos magmáticos relacionados con ambientes de subducción, con empobrecimiento progresivo hacia los elementos inmóviles de radio iónico pequeño; además, presentan anomalía negativa de Nb con respecto al Th y Ce, signature geoquímica típica de magmas originados en ambientes tectónicos relacionados con arcos, con pequeñas diferencias en los patrones de los diversos diques.

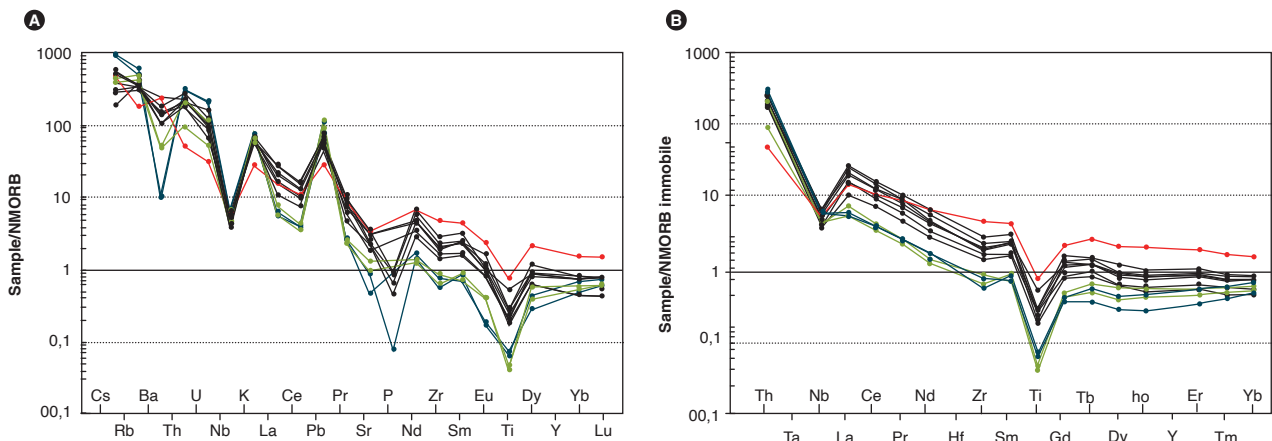


Figura 19. Diagramas multielementales correspondientes a rocas del Monzogranito de Santa Bárbara. A) Diagrama multielemental normalizado al NMORB (Sun y McDonough, 1989, en Pearce, 2014). B) Diagrama de elementos traza inmóviles normalizados al NMORB (Sun y McDonough, 1989, en Pearce, 2014). En negro, rocas clasificadas como granitos; en rojo, roca clasificada como tonalita, y en verde y azul, rocas clasificadas como granitos de feldespato alcalino

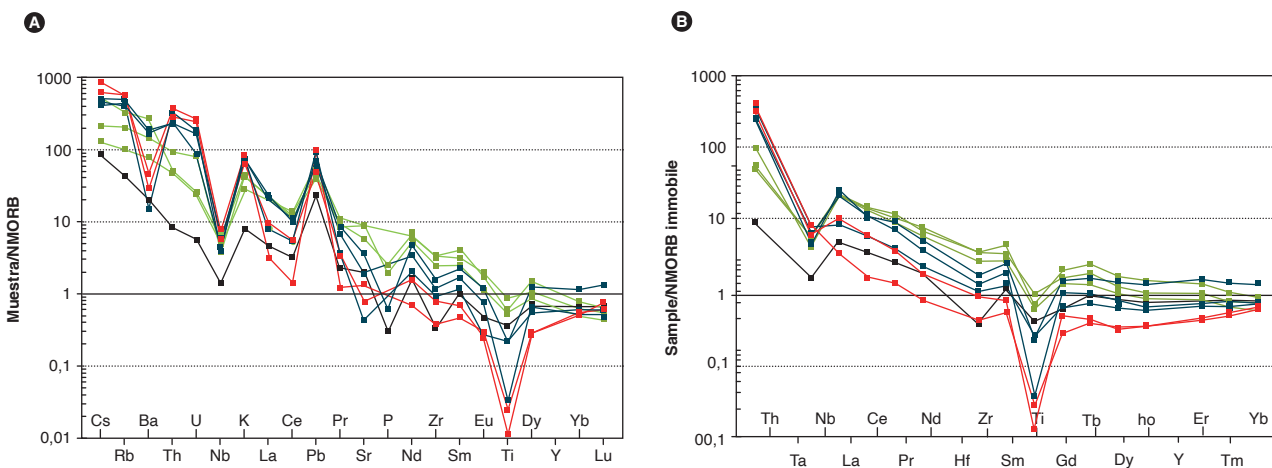


Figura 20. Diagramas multielementales correspondientes a rocas de dique y cuerpos intrusivos menores A) Diagrama multielemental normalizado al NMORB (Sun y McDonough, 1989 en Pearce, 2014). B) Diagrama de elementos traza inmóviles normalizados al NMORB (Sun y McDonough, 1989 en Pearce, 2014). En negro, rocas clasificadas como gabro (IGM-900940); en rojo, roca clasificada como granitos de feldespato alcalino-sienogranitos; en verde, rocas clasificadas como cuarzodioritas-cuarzomonzonitas y granodiorita (andesitas y dacitas), y en azul, rocas clasificadas como granitos-monzogranitos y riolitas

**3.3. Discriminación del ambiente tectónico**

Las rocas del Monzogranito de Santa Bárbara grafican en el campo de los granitos tipo I y tipo S en el diagrama A/CNK-SiO<sub>2</sub> de Frost, Barnes, Collins, Arculus, Ellis y Frost (2001); la muestra IGM-900910 (JGB-464) es clasificada como tonalita, y las muestras IGM-900920 (LMC-062) e IGM-900870 (AMC-0138A), como granitos, grafican en el campo de los granitos tipo S (figura 21 A), mientras el resto de muestras pertenecen a la interface entre granitos tipo S e I. En el gráfico de CaO vs. FeOt (Chappell y White, 2001), las rocas se distribuyen hacia los granitos tipo S. Las características mineralógicas del plutón indican que corresponde a un granito tipo I, pero los gráficos de discriminación del ambiente tectónico no son concluyentes en este aspecto. Mineralógicamente, algunas rocas analizadas del Monzogranito de Santa Bárbara tienen hornblenda y carecen de moscovita, presentan facies intermedias dioríticas a granodioríticas con hornblenda y biotita, esta última de color pardo; el feldespato potásico es de color rosado, características que se asocian a granitos tipo I altamente diferenciados (Chappell y White, 2001).

Según los diagramas Rb/Zr vs. Nb (Martin, 1994, figura 21 C) y Nbn/Zrn vs. Zr (Thyblemont y Tegye, 1994, figura 21 D), las rocas del Monzogranito de Santa Bárbara corresponden a granitos de arco magmático. El diagrama Rb/Zr vs. Nb de Martin (1994) indica que las rocas del Monzogranito de Santa Bárbara pertenecen a un arco magmático normal, donde la corteza continental pudo jugar un papel importante en la composición del magma (figura 21 C). Además, los diagramas de elementos traza y tierras raras exhiben anomalías negativas de Ba, Nb y P, junto con positiva de Pb. El empobrecimiento de Nb se explica por una combinación de dos factores: por un lado, la presencia de rutilo residual que retiene el Nb en la región fuente de la losa subducida, y, por otra parte, está relacionado con la baja solubilidad del Nb en los fluidos ricos en agua y en los magmas, ambos generados en las partes someras de las zonas de subducción (Briqueu *et al.*, 1984; Baier *et al.*, 2007).

Los diques y cuerpos menores que intruyen el Monzogranito de Santa Bárbara grafican en el campo de los granitos tipo I y tipo S en el diagrama de Frost *et al.* (2001) y Whalen *et al.* (1987) (figuras 22 A y B); las muestras IGM-900940 (MIA-634), IGM-900858 (AMC-0125A) e IGM-900859 (AMC-0125B), en el diagrama A/CNK-SiO<sub>2</sub> de Frost *et al.* (2001) grafican en el campo de los granitos tipo S, mientras que el resto de muestras pertenecen a la

Figura 21. Diagramas discriminantes del ambiente tectónico de emplazamiento del Monzogranito de Santa Bárbara. A) Diagrama de Frost *et al.* (2001) de discriminación de granitoides tipo I y S. B) Diagrama de Whalen *et al.* (1987) de discriminación de granitos I, S, A. C) Diagrama Rb/Zr vs. Nb de Martin (1994). D) Diagrama Nb<sub>n</sub>/Zr<sub>n</sub> vs. Zr de Thyblemont y Tegye (1994)

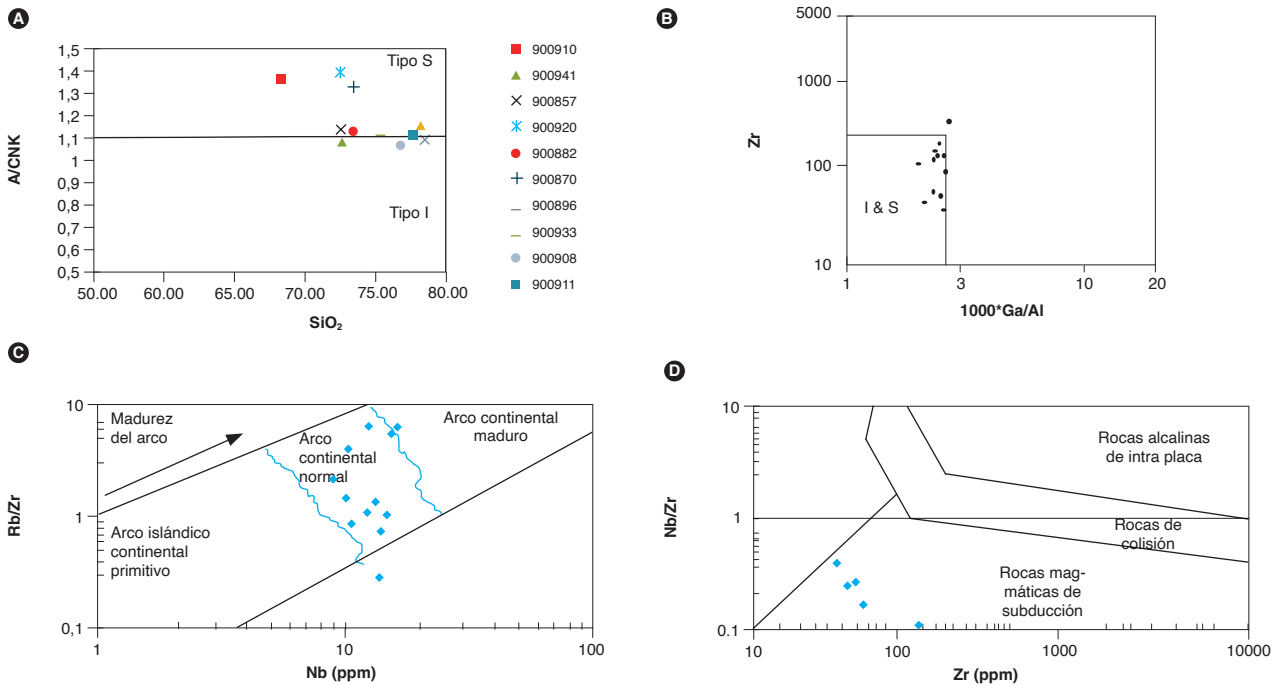


Figura 21. Diagramas discriminantes del ambiente tectónico de emplazamiento del Monzogranito de Santa Bárbara. A) Diagrama de Frost *et al.* (2001) de discriminación de granitoides tipo I y S. B) Diagrama de Whalen *et al.* (1987) de discriminación de granitos I, S, A. C) Diagrama Rb/Zr vs. Nb de Martin (1994). D) Diagrama Nb<sub>n</sub>/Zr<sub>n</sub> vs. Zr de Thyblemont y Tegye (1994)



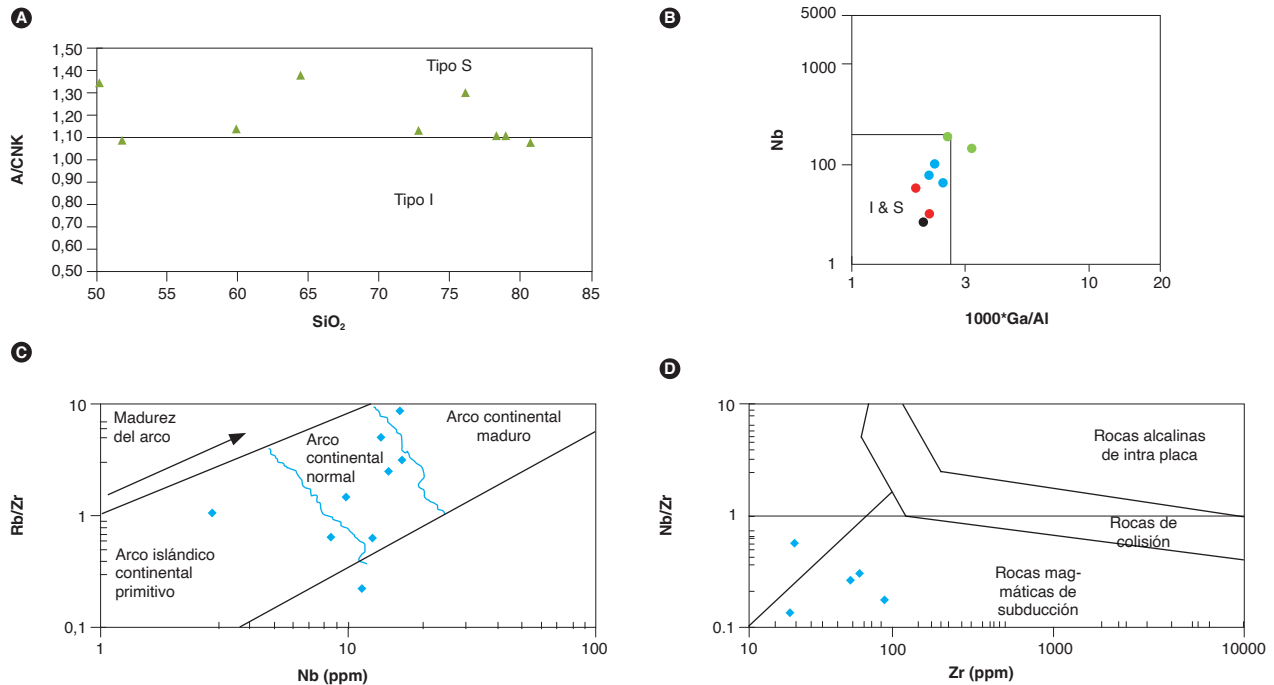


Figura 22. Diagramas discriminantes del ambiente tectónico en diques y cuerpos menores intrusivos en el Monzogranito de Santa Bárbara. A) Diagrama de Frost *et al.* (2001) de discriminación de granitoides tipo I y S. B) Diagrama de Whalen *et al.* (1987) de discriminación de granitos I, S, A. C) Diagrama Rb/Zr vs. Nb de Martin (1994). D) Diagrama (Nb)n/(Zr)n vs. Zr de Thyeblemont y Tegye (1994)

interface entre granitos tipo S e I; además, corresponden a granitos de arco magmático, según los diagramas Rb/Zr vs. Nb de Martin (1994) (figura 22C) y Nbn/Zrn vs. Zr (Thyeblemont y Tegye, 1994, figura 22D), con una fuerte dispersión de los datos.

#### 4. Posición estratigráfica y edad

El Monzogranito de Santa Bárbara intruye las formaciones Floresta y Silgará, el Ortoneis de Berlín y el Neis de Bucaramanga (que separa el Monzogranito de Santa Bárbara del Granito de Pescadero), y al sur se encuentra en contacto fallado con el Batolito de Mogotes. La Formación Tambor, del Cretácico inferior, reposa de modo discordante sobre el Monzogranito de Santa Bárbara. Los conglomerados de la Formación Girón contienen fragmentos del Monzogranito de Santa Bárbara (Vargas *et al.*, 1981; Ward *et al.*, 1973). Además, el Monzogranito de Santa Bárbara está atravesado por diques y pequeños cuerpos de composición andesítica-diorítica y riolítica-granítica de edades triásicas y jurásicas, y aparentemente algunas facies intruyen cuerpos menores de monzogranitos aplíticos.

En trabajos anteriores se han realizado algunas dataciones del Monzogranito de Santa Bárbara y de rocas metamórficas relacionadas, utilizando los métodos K/Ar y Ar/Ar (Goldsmith, 1971; Restrepo Page, 1995), cuyos resultados se resumen en la tabla 7.

Dos dataciones obtenidas con el método K/Ar en biotita (Goldsmith *et al.*, 1971), de rocas del Monzogranito de Santa Bárbara, dieron edades de cierre de  $194 \pm 7$  y  $192 \pm 7$  Ma, que son similares a las obtenidas por U-Pb en circones en el presente trabajo.

Restrepo Pace (1995) fechó, mediante el método Ar-Ar, rocas metamórficas localizadas en el Monzogranito de Santa Bárbara, y obtuvo edades de cierre de  $204 \pm 0,6$  Ma, 203,4 Ma,  $187 \pm 4$  Ma y  $175,4 \pm 1,7$  Ma, que fueron interpretadas como resultado de un evento termal sobrepuesto relacionado con la cristalización del plutón.

En este trabajo se dataron nueve muestras de rocas y saprolitos de monzogranito, previa descripción petrográfica y análisis litogeoquímico de las rocas. Para la selección se tuvieron en cuenta los resultados geoquímicos, los posibles pulsos magmáticos y la distribución espacial de las muestras. Los resultados y la localización de las dataciones se presentan en la figura 1 y en la tabla 8.

Tabla 7. Edades K/Ar y Ar/Ar en rocas del Monzogranito de Santa Bárbara y rocas metamorfas relacionadas (tomadas de Goldsmith *et al.*, 1971; Restrepo Page, 1995)

Muestra	IMN-11045	IMN-10924	CB-7	CB-7	CSB-3a	BV-4
Este	1129209	1125921	1128246	1128246	1126951	1129872
Norte	1252586	1255824	1277047	1277047	1260477	1277420
Plancha	121	121	121	121	121	121
Roca analizada	Cuarzomonzonita	Cuarzomonzonita	Ortoneis de Hbl-Pl-Qtz	Ortoneis de Hbl-Pl-Qtz	Paraneis de Qtz-Pl-Bt	Ortoneis de Qtz-Bt-Pl
Material analizado	Biotita	Biotita	Hornblenda	Hornblenda	Biotita	Biotita
Unidad	Cuarzomonzonita de Santa Bárbara	Cuarzomonzonita de Santa Bárbara	Ortoneis de Berlín	Ortoneis de Berlín	Neis de Bucaramanga	Ortoneis de Berlín
Método de datación	K-Ar	K-Ar	Ar-Ar	Ar-Ar	Ar-Ar	Ar-Ar
Edad (Ma)	194±7	192±7	204±0,6	203,4	175,4±1,7	187±4
Observaciones			Edad de meseta. Evento termal sobreimpuesto	Edad de fusión total. Evento termal sobreimpuesto	Edad integrada. Evento termal sobreimpuesto	Edad integrada
Referencia	Goldsmith <i>et al.</i> , 1971	Goldsmith <i>et al.</i> , 1971	Restrepo-Page, 1995	Restrepo-Page, 1995	Restrepo-Page, 1995	Restrepo-Page, 1995

Tabla 8. Resultados de geocronología en muestras del Monzogranito de Santa Bárbara obtenidos por el método LA-MC-ICP-MS U-Pb en circón

IGM	N Campo	W	N	Plancha	Clasificación	Edad U/Pb	No. Zr
<b>Edades en facies graníticas del plutón</b>							
900882	GR-6719	1138272	1285445	110	Monzogranito	196,8±2,0	50
	GZ-6821	1129543	1257204	121	Monzogranito	198,0±2,7	52
900881	GR-6718	1135523	1280563	110	Monzogranito	203,8±2,7	50
900908	JGB-457A	1126936	1261464	121	Monzogranito	195,1±1,9	53
<b>Edades en diques y cuerpos menores</b>							
900880	GR-6717	1134180	1284660	110	Monzogranito	190,6±1,5	51
	AMC-0137	1126567	1238901	136	Monzogranito	191,9±1,1	52
900907	JGB-456B	1126023	1260523	121	Cuarzodiorita	201,6±4,0	58
900918	LMC-059A	1133364	1285807	110	Sienogranito	200,7±2,0	54
900860	AMC-0127	1129934	1258935	121	Fenodacita	203,0±2,6	57

La separación de minerales densos se realizó en el Laboratorio Químico del Servicio Geológico Colombiano, sede Medellín, utilizando separación hidrodinámica, magnética y, por último, el montaje de los circones. La muestra AMC-0127 fue enviada al Laboratorio de Estudios Isotópicos (LEI) del Centro de Geociencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), campus Juriquilla, donde se aplicó la siguiente metodología: las concentraciones de U y Th fueron calculadas empleando un circón estándar externo, de acuerdo con Paton *et al.* (2010). Las incertidumbres de sigma 2 propagadas se lograron según Paton *et al.* (2010). Las proporciones  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ , edades y errores se calcularon según Petrus y Kamber (2012). Los puntos analizados son de 23 micrómetros, utilizando un protocolo de análisis modificado de Solari *et al.* (2010). Los datos se midieron empleando un *Thermo X series QICPMS* acoplado a un *Resonetics*, estación de trabajo láser excimer Resolución M050. Se realizó un análisis estadístico con el fin de

mejorar el rango de confiabilidad de la edad proporcionada por el laboratorio, teniendo en cuenta la relación  $[(^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}) - (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) / ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}]$ , eliminando los datos de circones con valores discordantes que estuvieran, en general, por encima del 15 % y errores de más del 5 %. Los gráficos de concordia e histogramas se elaboraron en el software de Isoplot/Ex vers. 4,15 (Ludwig, 2008).

Las demás muestras se dataron por el método U-Pb en circones en el Laboratorio de Ablación Láser del Servicio Geológico Colombiano, que cuenta con un equipo de ablación láser Photon Machines, láser exímer de 193 nm y espectrómetro ICP-Masas Element 2. Se utilizaron como patrones de referencia Plesovice, 91500 y M, Dromedry. Los puntos analizados son de 20 micrones, y la reducción de datos se realizó utilizando el programa Iolite IGROpro y un espectrómetro de masas. Se utilizaron como tiempos de integración, en la línea base, 0 a 38 s, y en las muestras y patrones de referencia, 32,5 a 8 s, tiempos que concuerdan con el tiempo de corrida

de los análisis. Los isótopos utilizados para la integración manual son  $^{238}\text{U}$ ,  $\text{Pb}^{206}$  y  $\text{Pb}^{204}$ . Los resultados finales corresponden a la media de los datos obtenidos luego de aplicar una discriminación de datos a dos desviaciones estándar. El procesamiento se lleva a cabo con las rutinas de Isoplot V3.5 y la corrección por plomo común se realiza de acuerdo con el modelo de evolución según Stacey y Krammers (1975). Se realizó un análisis estadístico con el fin de mejorar el rango de confiabilidad de la edad proporcionada por el laboratorio, teniendo en cuenta la relación  $[(^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}) - (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) / ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}]$  y se eliminaron los datos de circones con valores discordantes que estuvieran por encima del 10 % o 15 %, según la muestra, o con errores mayores de 5 %.

#### 4.1. Edades en las rocas graníticas

De la litología granítica del Monzogranito de Santa Bárbara se dataron las muestras GR-6719 (IGM-900882), GZ-6821, GR-6718 (IGM-900881) y JGB-457A (IGM-900908) (sapolito). Los circones de la muestra 6719

(IGM-900882) son euhedrales a subhedrales prismáticos cortos, y algunos tabulares más largos de tonalidad rosada pálida; los circones de la muestra GZ-6821 son prismáticos euhedrales, inequigranulares, transparentes y con tinción de óxidos de color pardo, con inclusiones de puntos negros, algunos fracturados. Los circones de la muestra GR-6718 son euhedrales prismáticos, algunos con puntas achatadas y redondeadas; los circones de la muestra JGB-457A son anhedrales inequigranulares, prismáticos cortos, y unos pocos tienen formas de “tallos” y agujas. Las imágenes de catodoluminiscencia (CL) evidencian zonación oscilatoria en todas las muestras, con escasos núcleos menos luminiscentes que parecen heredados. Los tamaños de los cristales varían entre 100 y 300  $\mu\text{m}$  (figura 28). En algunas muestras se observan diferentes edades entre los núcleos y bordes en el mismo circón, siendo ligeramente más viejos los núcleos que los bordes; esto puede incidir en la edad obtenida, que dependerá de si se analizaron más los núcleos que los bordes de los circones, aunque sean cristales ígneos.

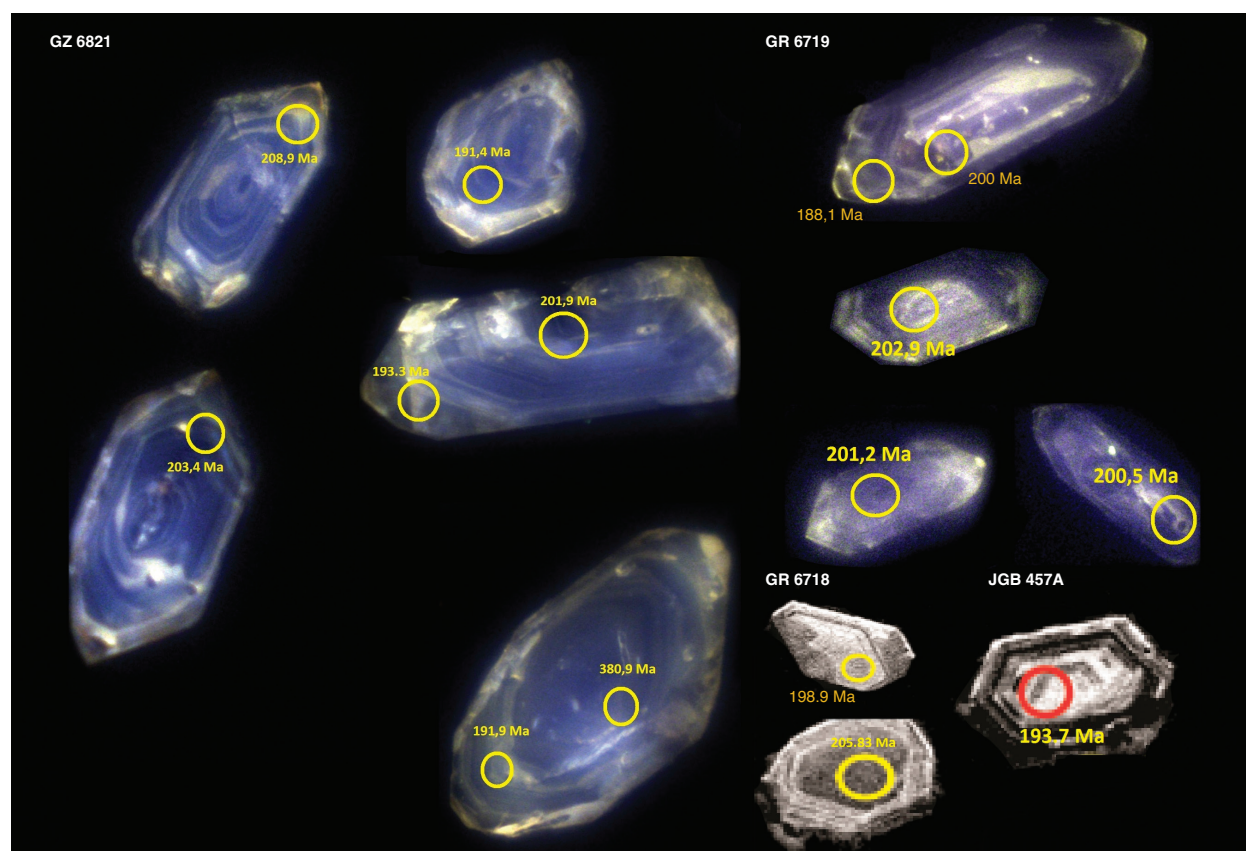


Figura 23. Imágenes de catodoluminiscencia de las muestras GZ-6821, GR-6719, GR-6718 y JGB-457A

Los datos obtenidos de las muestras GR-6719, GZ-6821, GR-6718 y JGB-457A fueron procesados en el software de Isoplot/Ex vers. 4.15 (Ludwig, 2008; Anexo A), para su ploteo e interpretación. Inicialmente se realizó un filtro de los datos para descartar los circones con valores discordantes (discordancia > 10%), de acuerdo con la relación  $[(^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}) - (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) / ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}]$ , y errores de edad corregida > 5,5, con el fin de mejorar el rango de confiabilidad de la edad. En la muestra GR-6719 se trabajó con n=35 circones; en GZ-6821, con n=37 circones; en GR-6718, con n=37, y en JGB-457A, con n=41.

Se obtuvieron cuatro edades en rocas clasificadas como monzogranitos típicos de este plutón: la muestra GZ-6821 se localiza en el sur del cuerpo. Las edades varían en el rango de 185 a 222 Ma; la muestra arrojó una edad promedio ponderada de  $198,0 \pm 2,7$  con un MSWD=5,5, edad que se interpreta como la de cristalización de esta roca. Presenta edades heredadas del Proterozoico: 973,9 Ma (n=1), discordante; Ordovícico: 447,4 a 470 Ma (n=3); Silúrico: 417,8 a 427,9 Ma (n=3); Devónico: 380,8 a 395,6 Ma (n=3), y Triásico: 213,3 a 238,4 Ma (n=4) (figura 24A: A, B, C, D).

La muestra GR-6719, localizada en el norte del cuerpo, presenta edades entre 185 y 210 Ma, dio una edad promedio ponderada de  $196,8 \pm 2,0$  Ma, con un MSWD=5, que se interpreta como la edad de cristalización de la roca. Presenta una edad heredada del Ordovícico: 474 Ma (n=1), discordante, y del Triásico: 221 a 224 Ma (n=2), discordantes (figura 24A: E, F).

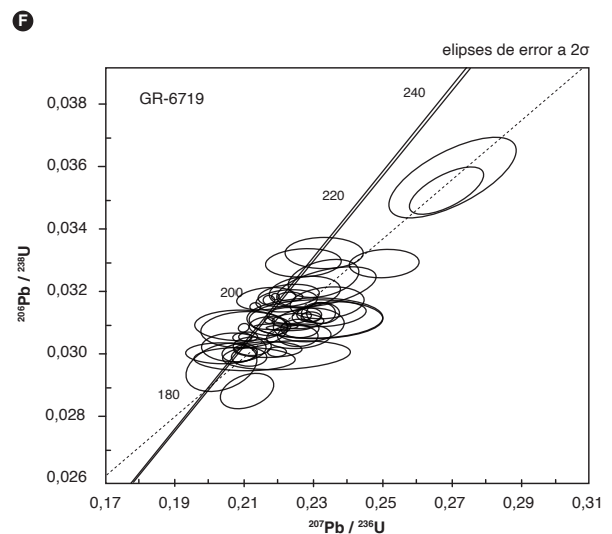
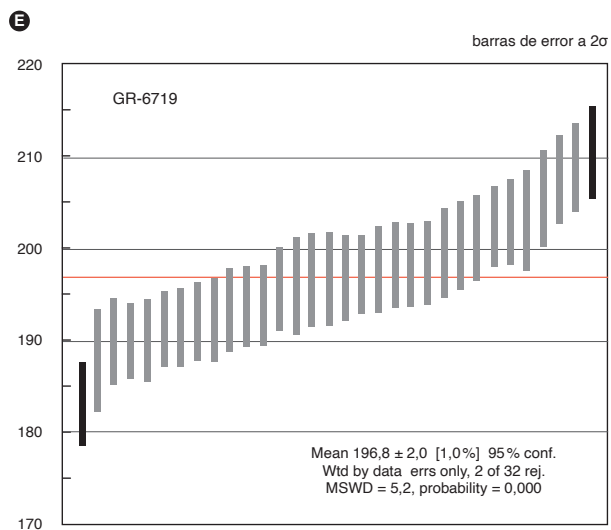
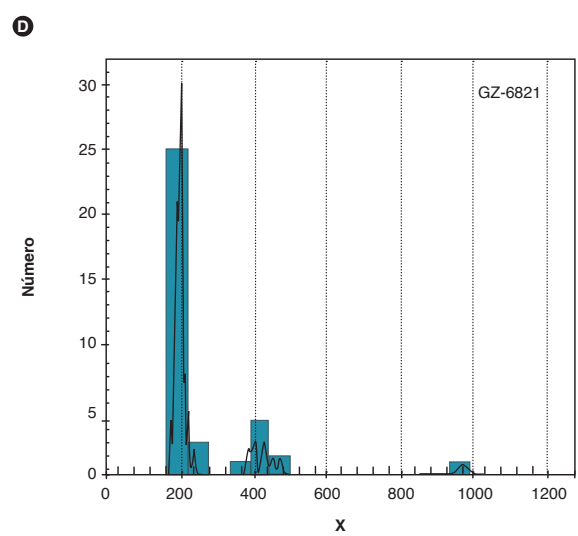
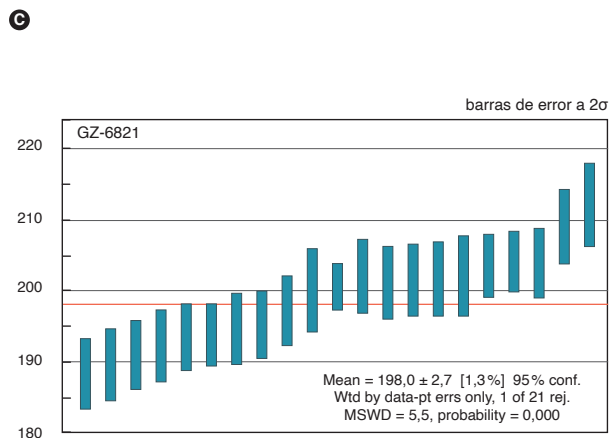
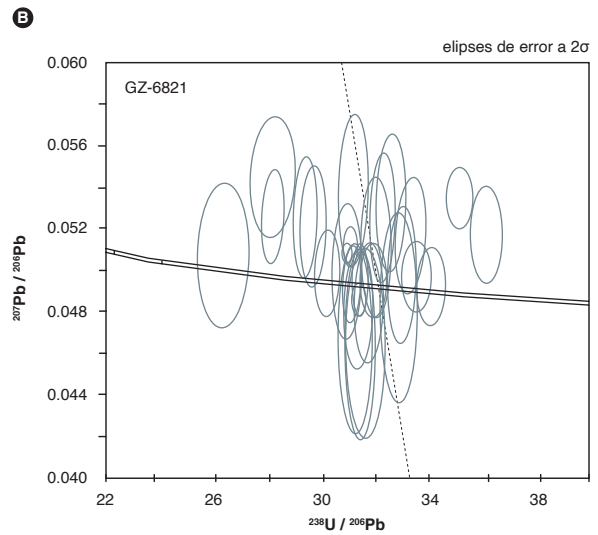
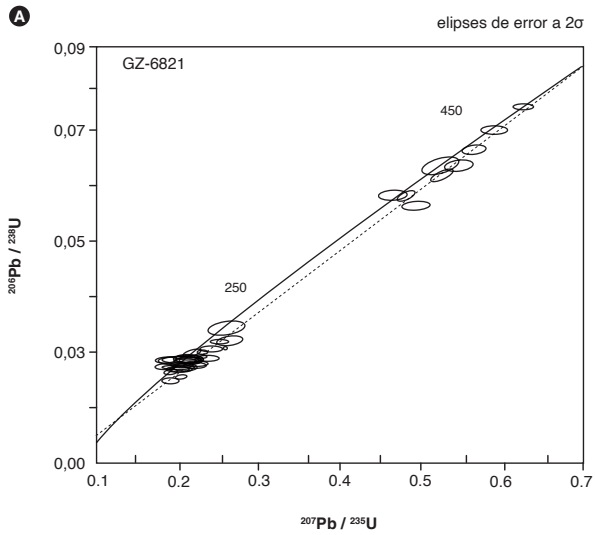
La muestra GR-6718 se localiza en el norte del cuerpo, presenta dos datos concordantes con edades de 157,2

y 160,1 Ma y un grupo coherente de datos de entre 188 y 219 Ma, que dieron una edad promedio ponderada de  $203,8 \pm 2,7$  Ma, con un MSWD=2,5, edad que se interpreta como la cristalización de la roca (figura 24B: A, B y C). Presenta en un núcleo de un cristal una edad heredada del Pérmico de 267 Ma (n=1), concordante.

La muestra JGB-457A se localiza hacia el centro del cuerpo, presenta edades que oscilan entre 186,2 y 206,9 Ma, con un amplio espectro, para una edad promedio ponderada de  $195,1 \pm 1,9$  Ma, con un MSWD=1,9, que se interpreta como la edad de cristalización de la roca. Presenta una edad heredada del Devónico de 392 Ma (n=1) (figura 24B: D, E y F).

El rango de las edades de cristalización de las cuatro muestras abarca del Triásico tardío al Jurásico temprano (Rhetiano-Sinemuriano), y se interpretan como edades de cristalización de diferentes pulsos magmáticos que en conjunto forman la facies típica granítica del Monzogranito de Santa Bárbara. Las edades coinciden con patrones geoquímicos diferentes de REE vs. condrito.

Las razones Th/U para las muestras GZ-6821, GR-6719, JGB-456B y JGB-457A son mayores de 0,1 y están alrededor de 1 en aquellos circones que definen la edad promedio ponderada, relación que sugiere cristalización ígnea (Rubatto, 2002). Los circones heredados tienen razones Th/U > 0,1, y probablemente son magmáticos (figura 25: A, B, C y D). Además, las imágenes de catodoluminiscencia muestran, en el interior de los circones, zonación concéntrica típica de circones magmáticos, y en algunos, los núcleos son menos luminiscentes y corresponden a núcleos heredados (figura 23).



Resultados geocronológicos de las muestras GZ-6821 y GR-6719

A) Gráfico de concordia. B) Gráfico Tera-Wasserburg. C) Edad promedio ponderada. D) Histograma de densidad de probabilidad. E) Gráfico de edad promedio ponderada. F) Gráfico de concordia

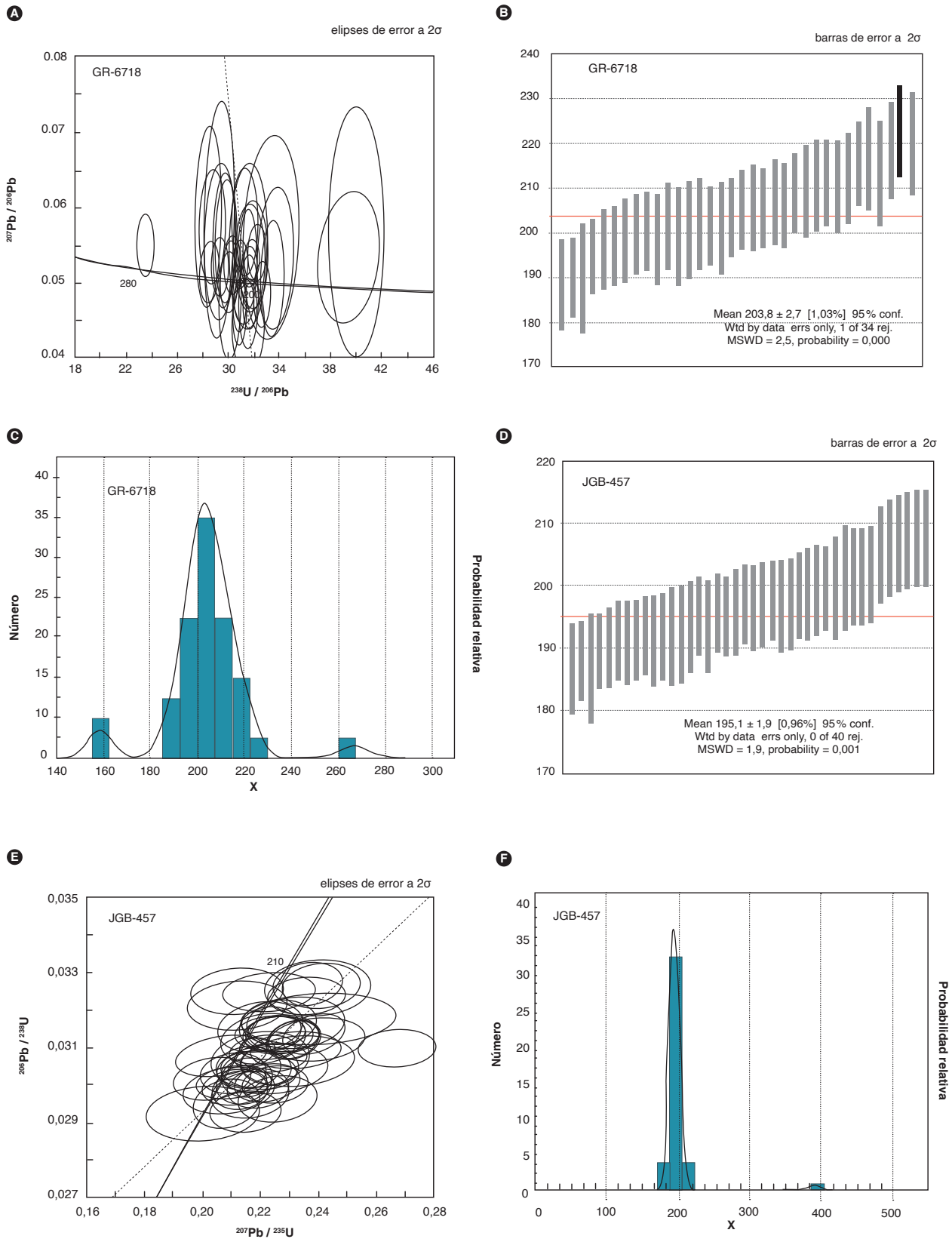


Figura 24B. Resultados geocronológicos de las muestras GR-6718 y JGB-457  
 A) Gráfico Tera-Wasserburg. B) Gráfico de edad promedio ponderada C) Histograma de densidad de probabilidad. D) Gráfico de edad promedio ponderada E) Gráfico de concordia. F) Histograma de densidad de probabilidad

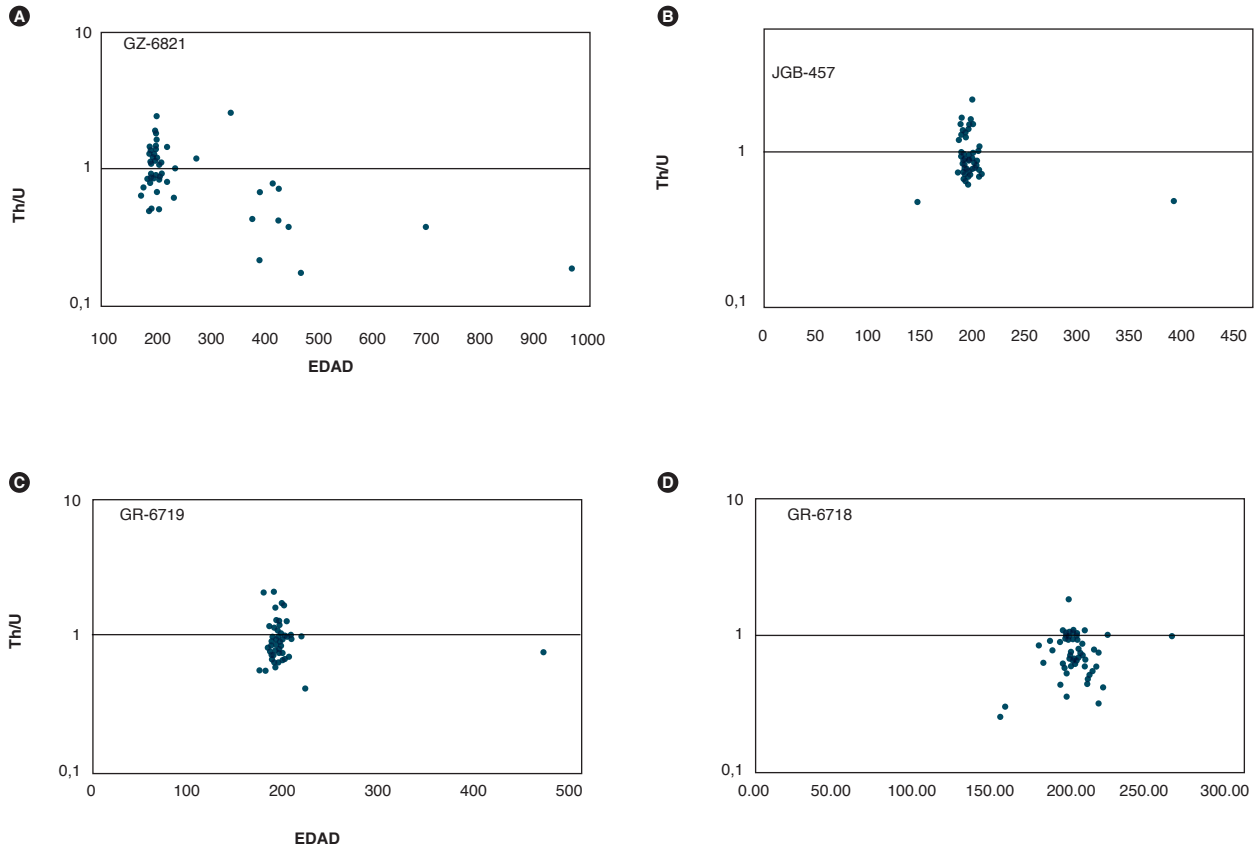


Figura 25. Gráficos de relación Th/U vs. edad en circones de las muestras GZ-6821, GR-6719, GR-6718 y JGB-457

Las edades heredadas en núcleos de circones corresponden a edades del basamento metamórfico y plutonismo anterior presente en el Macizo de Santander.

#### 4.2. Edades en cuerpos menores intrusivos y diques

Se fecharon cuatro muestras de cuerpos menores y diques: dos monzogranitos intrusivos en el Monzogranito de Santa Bárbara (GR-6717 y AMC-0137), un dique de sienogranito (LMC-059A) y una cuarzdiorita de borde (JGB-456B). La roca GR-6717 se colectó en un cuerpo pequeño de monzogranito aplítico que aflora en el páramo de Berlín; la segunda muestra, AMC-0137, corresponde a un saprolito granítico ligeramente pegmatítico localizado en el sur del cuerpo, sobre la vía Cepitá-Alto Laurel. La muestra JGB-456B se clasificó en campo como dique de microcuarzdiorita, se colectó en el centro del cuerpo, en la vía Los Curos-Santa Bárbara, y

la muestra LMC-059A corresponde a un dique de sienogranito que aflora en el norte del plutón, en el páramo de Berlín.

Los circones de la muestra GR-6717 son euhedrales de formas prismáticas cortas, y translúcidos (figura 26). Las imágenes de catodoluminiscencia muestran cristales con patrones similares y crecimiento zonado concéntrico (figura 26). La muestra AMC-0137 presenta circones euhedrales prismáticos y *stubby*, con tonalidad rosa claro, algunos con inclusiones fluidas (?), cuyo tamaño dominante oscila entre 100 y 150  $\mu\text{m}$ , y zonados de manera concéntrica (figura 26). Los circones de la muestra JGB-456B son prismáticos euhedrales cortos y achatados; aparecen junto a cristales euhedrales intermedios, con crecimiento concéntrico. Los circones de la muestra LMC-059A son euhedrales a subhedrales prismáticos cortos y achatados, algunos fracturados, con crecimiento concéntrico (figura 26).

Los circones de la muestra GR-6717 arrojaron edades entre 180 y 194 Ma. Se realizó un filtro de los datos para descartar los circones con valores discordantes > 10 %, de acuerdo con la relación  $[(^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}) - (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) / ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}]$ . Se descartaron las edades con errores > 5,5, con el fin de mejorar el rango de confiabilidad de la edad. Se obtuvo una edad promedio ponderada de

$190,6 \pm 1,5$ ,  $\text{MSWD}=1,4$  y  $n=19$ , que se interpreta como la edad de cristalización de la roca, con relaciones Th/U mayores de 0,1 y cercanas a 1. Presenta edades más antiguas heredadas del Silúrico (425,2 Ma) (n=1), discordante, y del Triásico (202,9 a 208 Ma) (n=3), una de ellas discordante (figura 27: A y B).

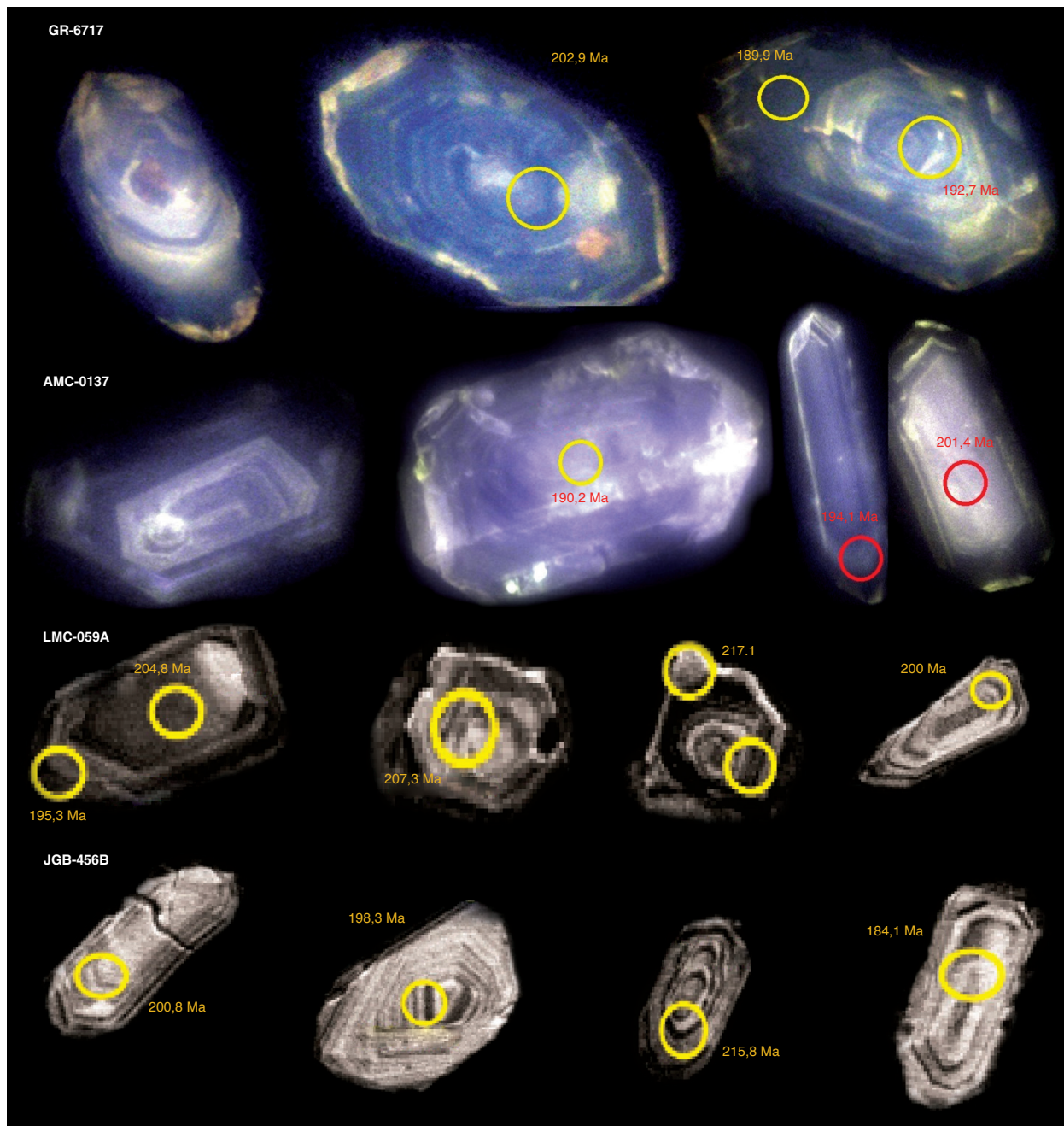


Figura 26. Imágenes de catodoluminiscencia en circones de las muestras GR-6717, AMC-0137, LMC-059A y JGB-456B



En la muestra AMC-0137, las edades varían entre 186 y 196 Ma. Se realizó un filtro de los datos para descartar los circones con valores discordantes >10 %, de acuerdo con la relación  $[(^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}) - (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) / ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}]$ . Se obtuvo una edad promedio ponderada de  $191,9 \pm 1,1$  Ma, con  $\text{MSWD} = 1,3$  y  $n = 36$ , que se interpreta como la edad de cristalización de la roca, con relaciones Th/U de los circones cercanas a 1. La muestra presenta

edades más antiguas heredadas del Mesoproterozoico, 1.122 y 1.158 Ma ( $n = 2$ ), discordantes, y del Triásico, entre 200,8 y 201,4 Ma ( $n = 3$ ) (figura 27: C y D).

Las relaciones de campo y las edades obtenidas de las muestras GR-6717 y AMC-0137 son coherentes e indican que ocurrió un pulso magmático alrededor de 191 Ma, que intruyó la facies monzogranítica del plutón, el cual se encuentra como diques y cuerpos menores intrusivos.

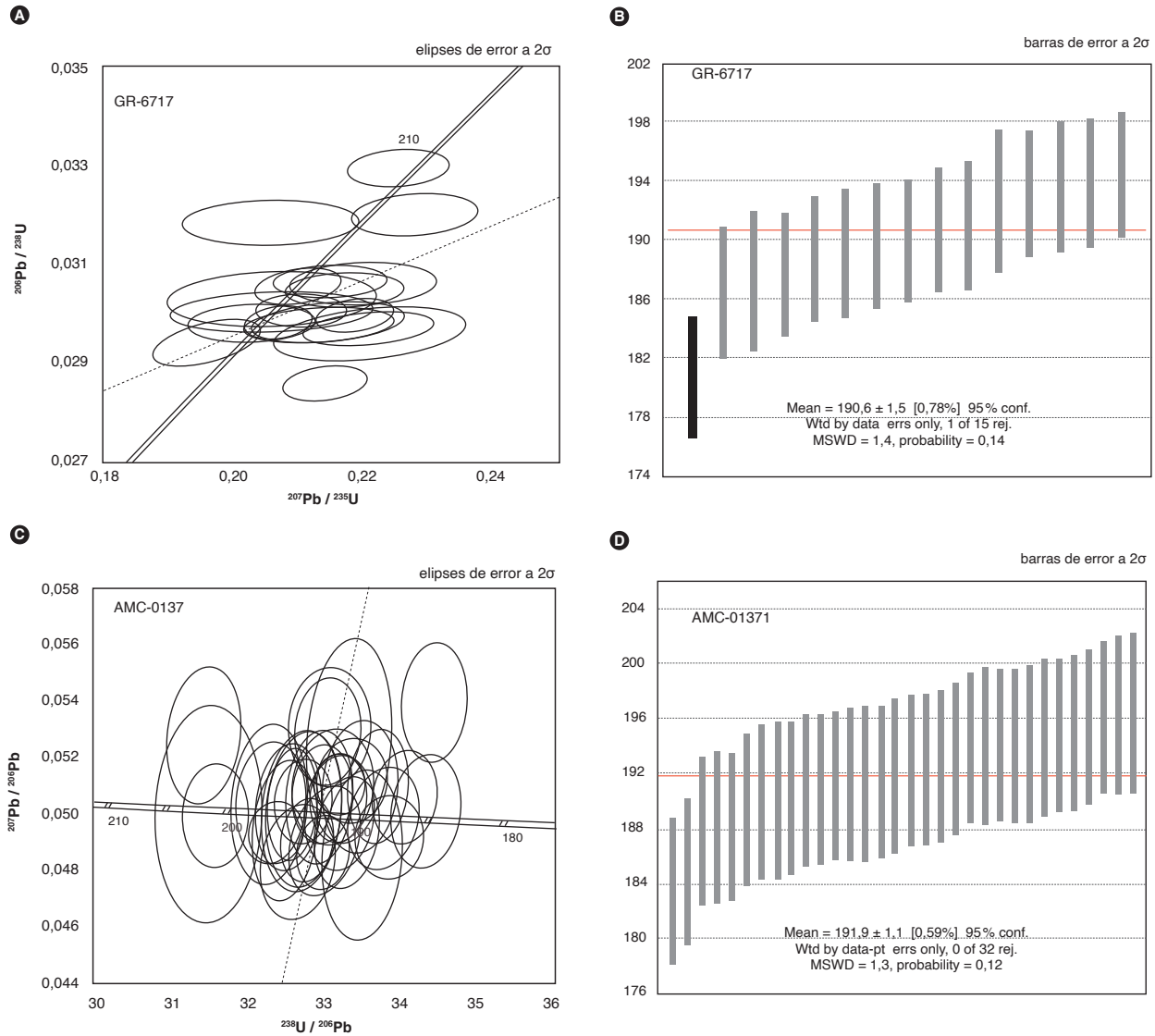


Figura 27. Resultados geocronológicos de las muestras GR-6717 y AMC-0137

A) Gráfico de concordia. B) Diagrama de edad promedio ponderada. C) Diagrama de Tera-Wasserburg. D) Diagrama de edad promedio ponderada

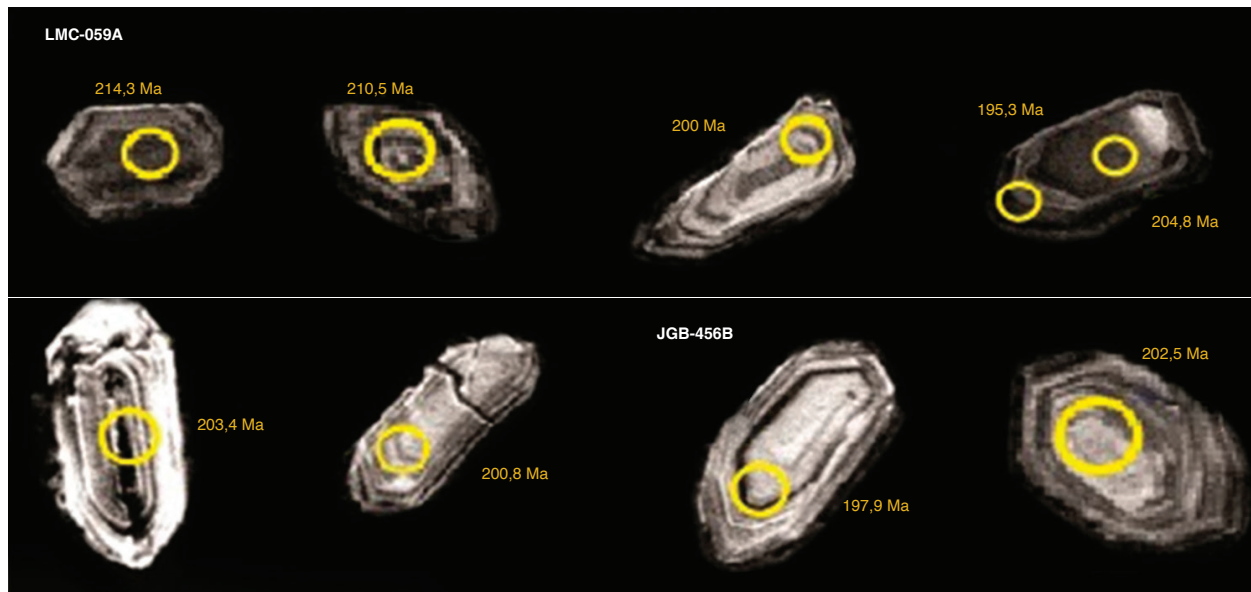


Figura 28. Imágenes de catodoluminiscencia en circones de las muestras LMC-059A y JGB-456B

Los circones de la muestra JGB-456B son euhedrales cortos y achatados, y aparecen junto a cristales euhedrales intermedios. Las imágenes de catodoluminiscencia muestran cristales con crecimiento zonado concéntrico (figura 28), algunos con núcleos menos luminiscentes. Los circones de la muestra LMC-059A son euhedrales a subhedrales cortos y achatados, y algunos están rotos. Las imágenes de catodoluminiscencia muestran cristales con núcleos heredados y bordes zonados concéntricos, y algunos con núcleos más homogéneos (figura 28).

En la muestra JGB-456B las edades varían entre 174,7 y 223,9 Ma. Se realizó un filtro de los datos para descartar los circones con valores discordantes  $>10\%$ , de acuerdo con la relación  $[(^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}) - (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) / ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}]$ . Se obtuvo una edad promedio ponderada de  $201,6 \pm 4,0$ ,  $\text{MSWD}=1,6$  y  $n=33$ , que se interpreta como la edad de cristalización de la roca (figura 29), con relación Th/U para los circones alrededor de 1, que sugiere origen ígneo. Presenta un circón con un núcleo y edad heredada del Carbonífero (304 Ma),  $n=1$ , concordante.

La muestra LMC-059A presenta un grupo de edades que varía entre 193 y 217 Ma, y edades concordantes, pero individuales, de 183 Ma ( $n=1$ ) y 228 Ma ( $n=1$ ). Se realizó un filtro de los datos para descartar los circones con valores discordantes  $>10\%$ , de acuerdo con la relación  $[(^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}) - (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) / ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}]$ . En el rango de edades entre 193 y 217 Ma se reconocen dos gru-

pos coherentes: edades más antiguas con núcleos heredados que arrojaron una edad promedio ponderada del Triásico tardío (Noriano), de  $213,9 \pm 4,3$  Ma,  $n=9$  y  $\text{MSWD}=1,4$ , y un segundo grupo coherente en bordes de cristales, que arrojaron una edad promedio ponderada de  $200,7 \pm 2,0$  Ma,  $n=18$  y  $\text{MSWD}=0,85$ , que se interpreta como la edad de cristalización de la roca (figura 29). La relación Th/U en los circones con edades del Triásico-Jurásico es cercana a 1, lo que sugiere un origen ígneo. Se presentan circones con núcleos heredados que arrojaron edades concordantes del Triásico tardío de 228 Ma ( $n=1$ ) y Neoproterozoico de 628 Ma ( $n=1$ ), esta última con relación Th/U  $<0,1$  que sugiere que el núcleo del circón es metamórfico.

Las edades y las relaciones espaciales de las muestras JGB-456B y LMC-059A sugieren que estos diques están intruyendo rocas monzograníticas anteriores a ellos, es decir, mayores a 200-201 Ma.

La muestra AMC-0127 fue clasificada petrográficamente como fenodacita y químicamente como riolita; se colectó en la vía Santa Bárbara-Guaca y corresponde a un cuerpo de pórfido intruido por rocas graníticas del Monzogranito de Santa Bárbara. Los circones de esta roca son euhedrales prismáticos largos bipiramidales (*stubby and stalky*), algunos equidimensionales de tamaños que fluctúan entre 70 y 200  $\mu\text{m}$ . Bajo catodoluminiscencia, los cristales muestran débil zonación concéntrica, con núcleos

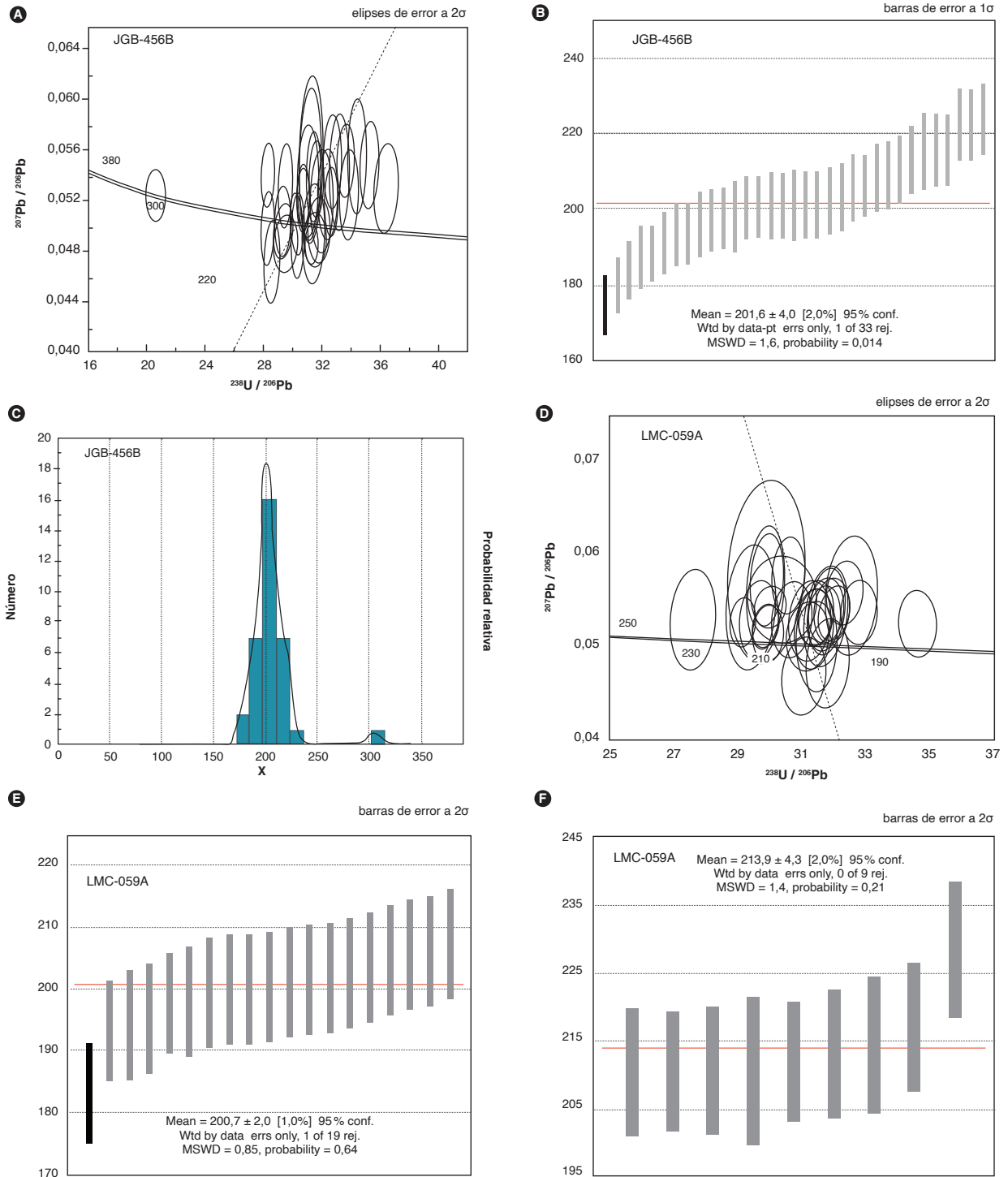


Figura 29. Resultados geocronológicos de las muestras JGB-456B y LMC-059A

A) Diagrama de Tera-Wasserburg. B) Diagrama de edad promedio ponderada. C) Diagrama de densidad de probabilidad. D) Diagrama de Tera-Wasserburg. E y F) Diagramas de edad promedio ponderada: edad de cristalización y edad en núcleos heredados

menos luminiscentes, probablemente heredados, y bordes luminiscentes; algunos escasos cristales tienen zonación plana y concéntrica (figura 30).

La distribución de los circones abarca un rango bastante amplio, desde ca. 160 a casi 1.600 Ma. Adicionalmente, el grupo más abundante es el que se ubica en el rango de 195 a 210 Ma. La media ponderada de las edades en este grupo arroja un valor de  $203,0 \pm 2,6$  Ma con  $MSWD=9,1$  ( $n=18$ ) (figura 30) con alta dispersión de las edades, que se interpreta como indicativa de la edad de cristalización de la roca, con relación Th/U para los circones cercana a 1. La muestra presenta edades más anti-

guas del Triásico (220,5 Ma) ( $n=1$ ), discordante, Ordovícico (455 a 470 Ma) ( $n=2$ ) y Proterozoico (1.012 a 1.685 Ma) ( $n=9$ ) (figura 30). Las edades en núcleos de circones se interpretan como heredadas. Se halló un circón más joven que arrojó una edad cercana a 160 Ma, posiblemente por pérdida de Pb posterior a la cristalización, aunque es concordante.

La edad de cristalización asociada a la riolita es más antigua que la edad normal del plutón, siendo similares a las edades obtenidas por Mantilla *et al.* (2013) en los leucogranitos que llamaron alaskita II en el sector de Vetatas-California.

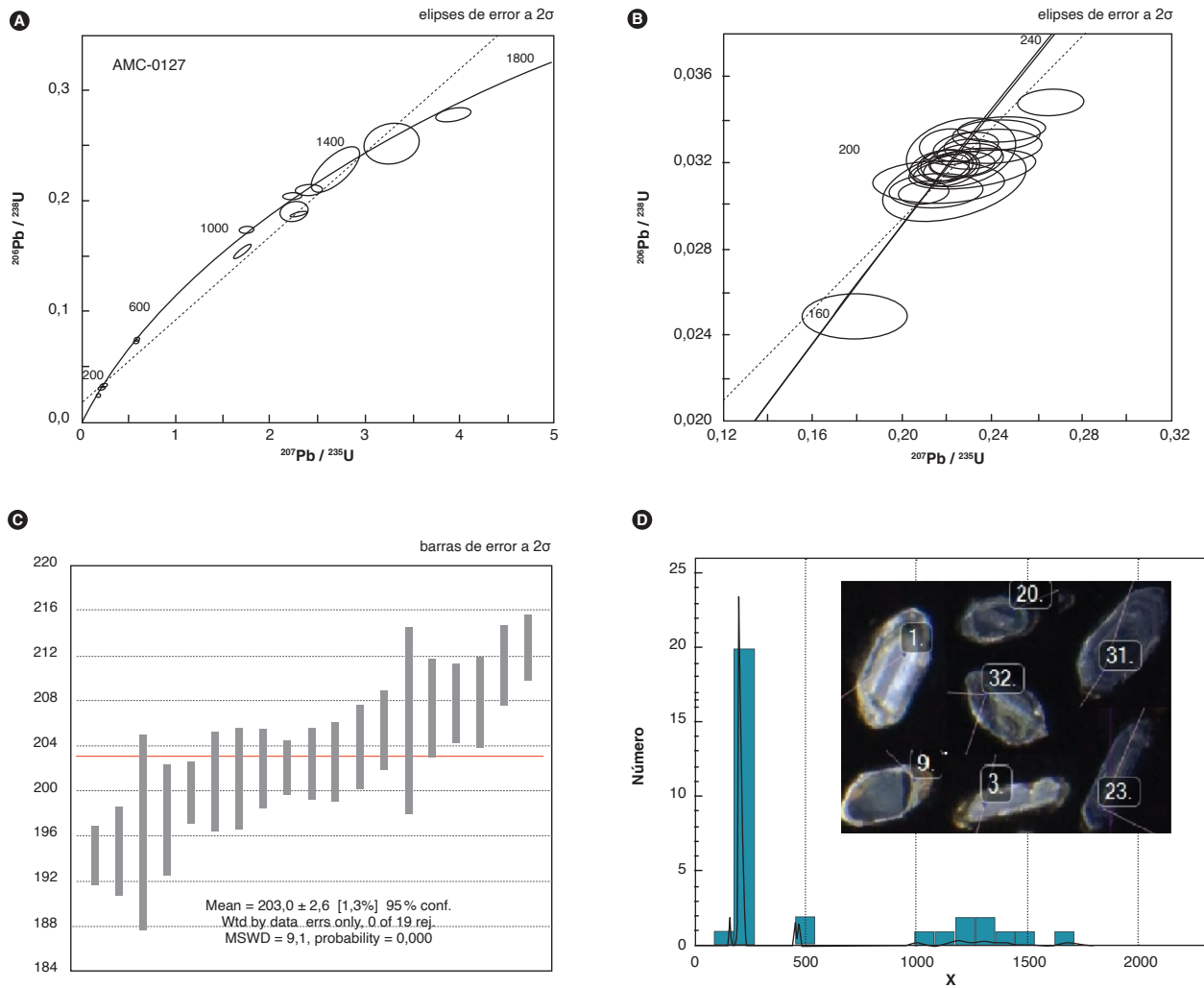


Figura 30. Resultados geocronológicos de la muestra AMC-0127

Gráficos de concordia, diagrama de edad promedio ponderada y diagrama de densidad de probabilidad, con circones con edades heredadas y edades de cristalización (circón 1, edad 1.501 Ma; circón 20, edad 1.159 Ma; circón 32, edad 1.400 Ma; circón 31, edad 160 Ma; circón 9, edad 455,6 Ma; circón 3, edad 194,8 Ma, y circón 23, edad 202,7 Ma

### 4.3. Geoquímica de elementos traza en circones

El análisis de ICP-MS permitió determinar la abundancia de los elementos traza de cada circón para la muestra AMC-0127 (tabla 9), los valores de REE se normalizaron al condrito (McDonough y Sun, 1995) y se calcularon las relaciones  $Pm^*$  y  $Tm^*$  de cada uno de ellos. En la figura 31 A se observa un comportamiento paralelo y homogéneo de los circones con edades entre 195 y 210 Ma, con un patrón de REE con anomalía positiva de Ce y negativa de Eu, que son características de circones ígneos. Los circones que arrojaron edades del Proterozoico muestran

varios patrones de REE, la mayoría de ellos con anomalía positiva de Ce y negativa de Eu, que podrían indicar fuentes diferentes (figura 31 C); en algunos la anomalía positiva de Ce es muy baja (Zr-25 y Zr-32) y la de Eu es más pronunciada, semejante a la de granitos S y A.

De acuerdo con los contenidos de Pb y Th, los circones con edades entre 195 y 210 Ma grafican en el campo de los granitos tipo I (diagrama de Wang *et al.*, 2012) (figura 31 B), y los circones con edades heredadas grafican entre los granitos tipo I, A y S (figura 31 B).

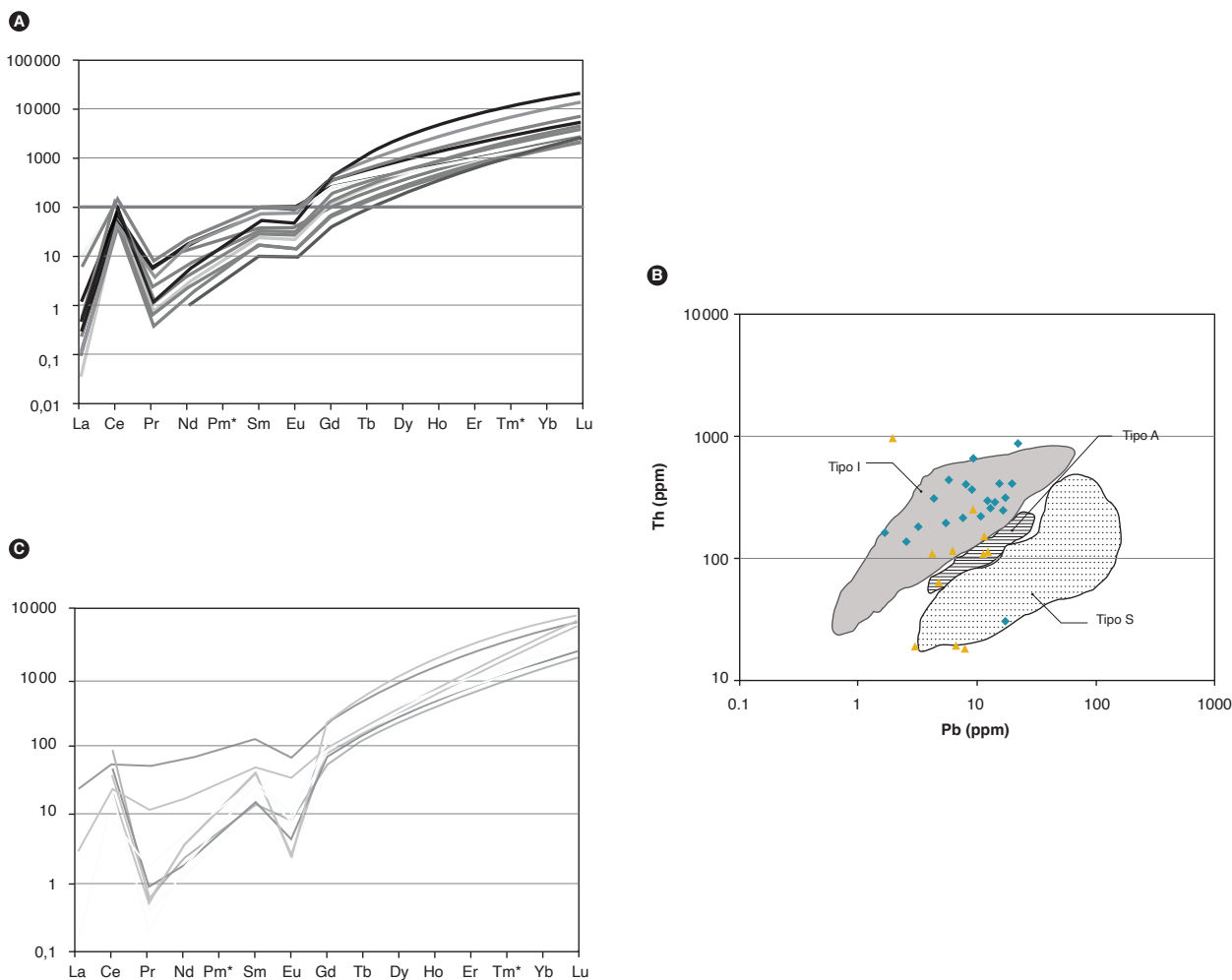


Figura 31. Patrones de los elementos de las tierras raras REE normalizados según el condrito de McDonough y Sun (1995), en circones de la muestra AMC-0127 y tipo de magma según los valores de Th y Pb (diagrama modificado de Wang *et al.*, 2012).

A) Patrón de REE en circones con edades de cristalización entre 194 y 210 Ma. B) Tipo de magma de circones jurásicos en azul, y heredados en ocre. C) Patrón de REE en circones con edades de cristalización proterozoicas

Tabla 9. Elementos traza de cada círculo de la muestra AMC-0127

	P	Ti	Y	Nb	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	Hf	Pb	Th	U
Zr-013*	397	530	983	4,96	1,85	8,2	0,39	2,93	4,57	0,73	22,3	7,52	89,8	33,9	151	326	68,6	9.550	38,3	66	270
Zr-006*	304	12,6	1354	3,94	0,01	40,1	0,1	2,38	4,06	1,71	23,1	8,07	104	42,3	210	448	97,2	8.680	9,39	228	288
Zr-017*	461	9,77	1087	3,35	0,72	57,6	0,28	2,86	4,57	1,36	21,1	7,51	87,4	35	168	374	80,3	9.920	9,86	273	300
Zr-003	135	11,1	1390	0,99	0,03	26,2	0,34	6,78	9,5	3,65	40,2	12,3	132	48,5	207	400	83,3	8.692	5,9	207	183
Zr-004	140	8,08	707	2,44	0,03	31,6	0,06	1,17	2,43	0,77	13,3	4,49	56,6	22,8	110	250	52,8	10.660	7,95	163	271
Zr-005	215	8,83	628	2,42	0	41	0,06	1,03	2,51	0,95	12,3	4,23	53,7	20,7	96,6	197	42,6	10.390	6,83	201	200
Zr-007	345	10,1	1.252	3,03	0,25	41,3	0,23	3,27	5,51	1,92	26,1	8,49	102	40,7	189	415	88,1	9.680	13,3	337	385
Zr-008	225	8,98	1.230	4,57	0	44,6	0,08	1,46	3,24	1,25	19,6	6,98	92,2	38,4	192	440	95,9	9.710	12,3	229	373
Zr-010	303	11,2	1.323	4,06	0,06	48,5	0,12	2,09	5,06	1,79	24,9	8,85	111	43,1	200	413	86,6	9.200	17,8	485	512
Zr-014	354	12,7	1.116	2,95	0,01	37,7	0,12	1,89	4,11	1,51	21,4	7,48	90,3	37	172	367	77,2	8.830	7,63	237	229
Zr-015	1.752	8,9	4.290	4,07	0,1	36,9	0,22	4,29	11,2	1,33	73,5	28,7	368	146	665	1.322	256	11.600	29,5	438	880
Zr-016	450	7,3	1.484	4,51	0	44,3	0,04	0,76	3,42	1,09	23,9	9,06	116	49,3	235	516	109	10.760	22,6	398	705
Zr-018	328	9,08	1.700	8,69	0,14	81,9	0,11	2,21	5,62	1,74	32,4	11,8	143	57,7	261	542	111	10.460	30,5	708	891
Zr-021	2.260	8,65	6.470	16,3	0,09	21,9	0,1	1,6	6,77	2,04	68	36,1	541	221	1.040	2.170	399	14.630	75,3	248	2.260
Zr-022	244	9,46	1.506	5,57	0	50,8	0,13	2,36	4,76	1,62	27,1	9,45	120	48,7	236	511	108	9.900	16,8	325	505
Zr-023	265	8,22	1.251	4,84	0	45,3	0,1	1,29	3,68	1,34	22,2	8,03	98,5	40,9	197	431	88,6	10.370	16,1	288	490
Zr-024	393	9,01	1.487	2,12	0	38,9	0,22	4,18	7,73	2,47	34	11,4	130	49,8	229	472	98,8	9.690	12,9	324	378
Zr-027	351	8,22	1.555	4,88	0	54,1	0,11	1,82	5,4	1,89	31,3	10,7	134	52,1	243	484	103	10.600	21,4	462	648
Zr-028	399	11	1.640	1,6	0,28	31,3	0,55	7	12,4	4,3	46,5	14,5	156	56,4	247	478	100	8.860	7,25	282	216
Zr-031	540	11	1.648	6,26	2,22	73,7	0,83	5,3	5,38	1,96	28	10,3	132	53,6	254	560	118	10.020	16	352	466
Zr-033	289	7,22	552	0,68	0	7,3	0	0,49	1,49	0,51	7,64	3,12	39,8	17,5	88,2	230	55,5	10.320	1,94	35	70,9
Zr-034	370	12,9	1.850	2,05	0,08	42	0,52	8,3	15,6	5,6	59	17,2	182	64	271	504	102	9.210	11,2	463	310
Zr-019	369	12,3	2.334	6,33	1,47	93,8	0,82	10,4	15	5,02	62,1	19,3	212	78,1	343	677	136	9.060	25,7	908	730
Zr-035	245	7,71	1.960	4,56	0,13	94	0,69	10,2	14,4	4,79	58,8	17	188	65,9	281	538	104	10.930	19	960	596
Zr-009	301	7,2	451	0,94	0,01	5,78	0,01	0,35	0,54	0,21	4,65	2,13	33,6	15	80,5	263	60,9	12.110	53,5	19,8	676
Zr-026	1.610	7,94	3.320	3,94	0,5	7,62	0,24	1,48	3,83	0,36	33,5	16,1	248	109	556	1.238	251	13.140	39,1	111	497
Zr-029	207	10,9	588	2,56	0	10,5	0,02	0,78	2,02	0,22	12,2	4,55	54,2	19,9	88,4	177	35,5	10.750	36,7	71,1	210
Zr-020	150	7,94	510	3,53	0	45,8	0,05	1,01	1,84	0,41	9,15	3,7	42,2	16	76,7	178	37,5	10.860	63,5	117	290
Zr-025	1.360	27	1.983	2,75	5,22	29,2	4,1	24,7	15,3	3,27	34,9	13,2	161	61,4	277	585	119	14.900	289	21	1.688
Zr-002	122	7,12	698	3,64	0	4,77	0,15	2,1	4,05	0,52	18,6	6,35	68,6	24,9	108	190	38,7	8.280	9,45	19,5	45
Zr-030	270	11,2	500	2,08	0,03	10	0,04	0,6	1,61	0,13	7,51	3,11	40,3	16,1	78,7	172	35,8	10.680	28,4	52,5	146
Zr-012	640	7,33	2.362	33,5	0	25,8	0,05	1,52	5,28	0,13	35,3	15,1	198	79,2	377	756	149	14.980	225	281	905
Zr-032	294	16,1	894	4,04	0,65	12,6	1,02	6,89	6,41	1,73	16,7	5,58	64,3	25,8	155	504	125	15.130	253	111	1.307
Zr-001	260	13,6	807	4,49	0	20,8	0,08	0,75	3,51	0,41	14,9	5,72	66,4	26,8	129	261	54,6	11.210	31,2	118	121
Zr-011	318	10,5	892	3,95	0,06	20,1	0,08	1,02	2,49	0,34	15	5,03	71,3	28,9	141	314	68,8	11.820	108	162	357

## 5. Correlaciones

El Monzogranito de Santa Bárbara se correlaciona por edad, composición litológica, química y posición tectónica con plutones con edades inscritas en el Triásico y el Jurásico, que afloran en el Macizo de Santander, entre los que se encuentra el Monzogranito de La Corcova, la tonalita y granodiorita de Páramo Rico, el Batolito de Mogotes, el Granito de Pescadero y el Monzogranito de Rionegro.

Ward *et al.* (1973) sugieren que el Batolito de Santa Bárbara, debido a la semejanza general de su litología, sus facies gradacionales, sus relaciones estratigráficas y estructurales y sus relaciones con las rocas sedimentarias más jóvenes y más antiguas, podría estar relacionado con el Batolito de Mogotes y con el Granito de Pescadero.

Al comparar las edades de los pulsos encontrados en el Monzogranito de Santa Bárbara y las edades en diques y cuerpos menores asociados, se encuentra que algunos de estos pulsos son comunes a otros plutones del Macizo de Santander, pues se trata de un magmatismo multipulsos que formó en mayor o menor medida a cada plutón.

Al comparar las edades del magmatismo jurásico del Macizo de Santander con el del valle superior del Magdalena, se puede concluir que no están relacionados. Las edades del magmatismo triásico - jurásico del Macizo de Santander son anteriores al arco que dio origen a los plutones jurásicos del valle superior del Magdalena.

## 6. Génesis

El Monzogranito de Santa Bárbara presenta una mineralogía característica de granitoides tipo I, como son la presencia de feldespato potásico rosado, biotita parda, escasa hornblenda y presencia de magnetita, común en plutones altamente diferenciados, de acuerdo a Chappell y White (2001); además, se presentan gabarros de rocas ígneas intermedias con presencia de hornblenda.

Los monzogranitos están constituidos por ortosa perfitica, característica en rocas plutónicas que se forman en ambientes de temperaturas intermedias.

La química mineral obtenida en un cristal de biotita, relacionada con un monzogranito de la facies principal del plutón, se asocia a rocas de series calcoalcalinas orogénicas, de acuerdo con el diagrama de Abdel Rahman (1994), resultado que es concordante con la química de óxidos mayores, que clasifica las rocas como subalcalinas de la serie calcoalcalina alta en K.

El Monzogranito de Santa Bárbara grafica en el campo peraluminoso, que sugiere un abundante aporte al magma de material de corteza continental, lo cual parece corroborarse con la presencia en algunas rocas de edades heredadas en núcleos de circones. Estas rocas corresponden a granitos altamente diferenciados, con valores altos de  $\text{SiO}_2 > 71\%$ .

El comportamiento de las tierras raras (REE) y elementos trazas muestran varios patrones con diferentes edades U/Pb, que se interpretan como un cuerpo multipulsos, con al menos cuatro pulsos magmáticos de composición granítica y cuatro pulsos de intrusión de diques y cuerpos menores.

De acuerdo con la caracterización geoquímica de la roca y de los circones, corresponde a un granito tipo I formado en un ambiente de arco (márgenes convergentes).

Se puede interpretar que el magma parental de los granitoides es de zona de subducción y que habría tenido dos fuentes: por un lado, un componente relacionado con la losa oceánica más los sedimentos oceánicos subducidos, y, por otra parte, un componente perteneciente a la corteza continental. La mayoría de las rocas corresponden a la interface entre granitos tipo S e I, con algunas rocas pertenecientes a los granitos tipo S. Si se analiza la composición mineralógica, algunas rocas del Monzogranito de Santa Bárbara tienen hornblenda y carecen de moscovita, presentan facies intermedias tonalíticas con hornblenda y biotita y, asociados, aparecen diques intermedios. Este tipo de características se asocia más a grani-

tos tipo I, altamente diferenciados, que a granitos tipo S, desarrollados a partir de sedimentos o metasedimentos.

La multiplicidad de pulsos y edades que presenta este plutón, así como la diferencia en las relaciones  $\text{La}_N/\text{Yb}_N$  de los patrones de REE vs. condrito sugieren diferencias en la proporción manto-corteza involucrada en cada pulso magmático, aunque composicionalmente el resultado final corresponda a monzogranitos. Van der Lelij (2013) considera que los granitoides de Santander del Triásico y Jurásico presentan valores en roca total de  $\epsilon\text{Ndt}$  que se correlacionan bien con  $\epsilon\text{Hft}$  del circón y pertenecen a los trenes de plutones formados por areniscas orogénicas recicladas y material de manto.

## 7. Localidad tipo y recursos minerales

Las mejores secciones y afloramientos del Monzogranito de Santa Bárbara se presentan en la vía que conduce de Bucaramanga a Guaca, que se propone como sección tipo del plutón. Además, se presentan buenos afloramientos, aunque meteorizados y de fácil acceso en los alrededores de Berlín, sobre parte del páramo de Berlín, y en la carretera Los Curos-Guaca.

No se conocen mineralizaciones asociadas a este cuerpo ígneo.

## Conclusiones

Este catálogo presenta nueva información del Monzogranito de Santa Bárbara, mejora el conocimiento petrográfico, litogeoquímico y geocronológico del cuerpo plutónico y define al menos cuatro pulsos magmáticos, sin incluir los pulsos que dieron origen a los diques y cuerpos intrusivos menores.

El Monzogranito de Santa Bárbara está constituido por monzogranitos y subordinadas granodioritas, sienogranitos y tonalitas. Se encuentra intruido por diques de andesita, fenodacita, microdiorita, cuarzodiorita, monzogranito y sienogranito.

El Monzogranito de Santa Bárbara es un plutón subalcalino de la serie calcoalcalina alta en K, peraluminoso con valores de  $\text{A/NK} > 1$  y valores de  $\text{A/CNK} > 1$ , con valores de  $\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ .

En los diagramas multielementales se reconocen al menos cuatro patrones con edades de cristalización, U/Pb en circón, de entre  $195,1 \pm 1,9$  y  $203,8 \pm 2,7$  Ma, que representan las rocas del cuerpo principal, y sugieren que se trata de un cuerpo formado por varios pulsos magmáticos. Se encuentra intruido por diques de monzograniti-

tos-sienogranitos aplíticos y cuarzodioritas, con edades que fluctúan entre  $190,6 \pm 1$  y  $200,7 \pm 2,0$ . Además, el plutón intruye cuerpos porfídicos de dacitas, que arrojaron una edad U/Pb en circones de  $204,0 \pm 2,3$  Ma.

La química de rocas y la química de circones clasifican el Monzogranito de Santa Bárbara como un granito tipo I, formado en un ambiente de arco continental.

## Referencias

- Abdel Rahman, A. M. (1994). Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline and peraluminous magmas. *Journal of Petrology*, 35 (12), 525-541. <https://doi.org/10.1093/petrology/35.2.525>
- Baier, J., Audetat, A. y Keppler, H. (2007). The origin of de negative niobium tantalum anomaly in subduction zone magmas. *Earth and Planetary Science Letters*, 267 (1-2), 290-300. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2007.11.032>
- Briqueu, I., Bougault, H. y Joron, J. L. (1984). Quantification of Nb, Ta, Ti and V anomalies in magmas associated with subduction zones: Petrogenetic implications. *Earth and Planetary Science Letters*, 68 (2), 297-308. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(84\)90161-4](https://doi.org/10.1016/0012-821X(84)90161-4)
- Chappell, B. W. y White, A. J. (1992). I-and S-type granites in the Lachlan Fold Belt. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 83 (1-2), 1-26. <https://doi.org/10.1017/S0263593300007720>
- Chappell, B. W. y White, A. J. R. (1974). Two contrasting granite types. *Pacific Geology*, 8, 173-174.
- Chappell, B. W. y White, A. J. R. (2001). Two contrasting granite types: 25 years later. *Australian Journal of Earth Sciences*, 48 (4), 489-499. <https://doi.org/10.1046/j.1440-0952.2001.00882.x>
- Clavijo, J. (1994). Mapa geológico generalizado del departamento de Norte de Santander: memoria explicativa. Escala 1:250.000. Informe interno. Ingeominas.
- Clavijo, J., Mantilla, F. L. C., Pinto, J., Bernal, L. y Pérez, A. (2008). Evolución geológica de la serranía de San Lucas, norte del valle medio del Magdalena y noroeste de la cordillera Oriental. *Boletín de Geología*, 30 (1), 45-62.
- Debon, F. y Le Fort, P. (1983). A chemical mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 73 (3), 135-149. <https://doi.org/10.1017/S0263593300010117>
- Forero, A. (1990). The basement of the Eastern Cordillera, Colombia: An allochthonous terrane in northwestern South America. *Journal of South American Earth Sciences*, 3 (2-3), 141-151. [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(90\)90026-W](https://doi.org/10.1016/0895-9811(90)90026-W)
- Frost, R. B., Barnes, C. G., Collins, W. J., Arculus, R. J., Ellis, D. J. y Frost, C. D. (2001). A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology*, 42 (11), 2033-2048. <https://doi.org/10.1093/petrology/42.11.2033>
- García, C. y Ríos, C. (1999). Metamorfismo y metalogénia asociada del Macizo de Santander, cordillera Oriental, Colombia. Informe final Proyecto de Investigación 1102-05-083-95. Colciencias y Universidad Industrial de Santander.
- Goldsmith, R., Marvin, R. F. y Mehnert, H. H. (1971). Radiometric ages in the Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes. *U. S. Geological Survey Professional Paper*, 750 (D), 44-49.
- International Subcommission on Stratigraphic Classification. (1994). *International Stratigraphic Guide: A guide to stratigraphic classification, terminology and procedure*. 2nd ed. Boulder: Geological Society of America. <https://doi.org/10.1130/9780813774022>
- International Subcommission on Stratigraphic Classification. (1987). Stratigraphic classification and nomenclature of igneous and metamorphic rock bodies. *GSA Bulletin*, 99 (3), 440-442. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1987\)99<440:SCANOI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1987)99<440:SCANOI>2.0.CO;2)
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A. y Zanettin, B. (1986). A chemical classification of volcanic rocks based on the total Alkali-Silica diagram. *Journal of Petrology*, 27 (3), 745-750. <https://doi.org/10.1093/petrology/27.3.745>
- Leal Mejía, H. (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: A tectono-magmatic approach [Ph.D Thesis]. Universitat de Barcelona.
- Ludwig, K. (2008). *Isoplot version 4.15: A geochronological toolkit for Microsoft Excel*. Berkeley Geochronology Center.
- Mantilla, L. C., Mendoza, H., Bissig, T. y Craig, H. (2011). Nuevas evidencias sobre el magmatismo miocénico en el distrito minero de Vetás-California (Macizo de Santander, cordillera Oriental, Colombia). *Boletín de Geología*, 33 (1), 43-58.



- Mantilla, L. C., Bissig, T., Valencia, V. y Hart, C. (2013). The magmatic history of the Vetás-California mining district, Santander Massif Eastern Cordillera, Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, 45, 235-249. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2013.03.006>
- Martin, H. (1994). Archean grey gneisses and the genesis of the continental crust. En K. Codie (ed.), *Archean crustal evolution* (pp. 205-260). Netherland: Elsevier Scientific Publishers.
- McDonough, W. F. y Sun, S. S. (1995). The composition of the Earth. *Chemical Geology*, 120 (3-4), 223-253. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)00140-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)00140-4)
- Middlemost, E. A. K. (1985). *Magma and magmatic rocks: An introduction to igneous petrology*. London, New York: Longman.
- Middlemost, E. A. K. (1994). Naming materials in magma-igneous rock system. *Earth-Science Reviews*, 37 (3-4), 215-224. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(94\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0012-8252(94)90029-9)
- Miller, C. F. (1985). Are strongly peraluminous magmas derived from pelitic sedimentary sources? *The Journal of Geology*, 93 (6), 673-689. <https://doi.org/10.1086/628995>
- Nakamura, N. (1974). Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38 (5), 757-775. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(74\)90149-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(74)90149-5)
- Ordóñez Cardona, O., Restrepo Álvarez, J. J. y Pimentel, M. M. (2006). Geochronological and isotopic review of pre-Devonian crustal basement of the Colombian Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 21 (4), 372-382. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2006.07.005>
- Paton, C., Woodhead, J. D., Hellstrom, J. C., Hergt, J. M., Greig, A. y Maas, R. (2010). Improved laser ablation U-Pb zircon geochronology through robust down-hole fractionation correction. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 11 (3). <https://doi.org/10.1029/2009GC002618>
- Pearce, J. A. (2014). Geochemical fingerprinting of the Earth's oldest rocks. *Geology*, 42 (2), 175-176. <https://doi.org/10.1130/focus022014.1>
- Peccerillo, A. y Taylor, T. S. (1976). Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58 (1), 63-81. <https://doi.org/10.1007/BF00384745>
- Petrus, J. A. y Kamber, B. S. (2012). Visual age: A novel approach to laser ablation ICP-MS U-Pb geochronology data reduction. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 36 (3), 247-270. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.2012.00158.x>
- Restrepo Pace, P. A. (1995). *Late Precambrian to early Mesozoic tectonic evolution of the Colombian Andes, based on new geochronological, geochemical and isotopic data* [Ph. D. thesis]. University of Arizona.
- Restrepo, J. J. y Toussaint, J. F. (1988). Terranes and continental accretion in the Colombian Andes. *Episodes*, 11 (3), 189-193. <https://doi.org/10.18814/epiugs/1988/v11i3/006>
- Restrepo, J. J., Ordóñez Carmona, O., Armstrong, R. y Pimentel, M. (2011). Triassic metamorphism in the northern part of the Tahamí Terrane of the Central cordillera of Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, 32 (4), 497-507. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2011.04.009>
- Rieder, M., Cavazzini, G., Dyakonov, Yu, S., Frank Kamenetskii, V. A., Gottardi, G., Guggenheim, S., Koval, P. V., Muller, G., Neiva, A. M. R. y Radoslovich, E. W. (1998). Nomenclature of the micas. *Clays and Clay Minerals*, 46 (5), 586-595. <https://doi.org/10.1346/CCMN.1998.0460513>
- Ríos, C., García, C. y Takusa, A. (2003). Tectono-metamorphic evolution of the Silgara Formation metamorphic rocks in the Southwestern Santander Massif, Colombian Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 16 (2), 133-154. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(03\)00025-7](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(03)00025-7)
- Royero, J. M. y Clavijo, J. (2001). Mapa geológico generalizado, departamento de Santander. Escala 1: 400.000. Informe. Ingeominas.
- Rubatto, D. (2002). Zircon trace element geochemistry: Partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism. *Chemical Geology*, 184 (1-2), 123-138. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(01\)00355-2](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(01)00355-2)
- Shand, S. J. (1943). *Eruptive rocks: Their genesis, composition, classification, and their relation to ore-deposits with a chapter on meteorite*. New York: John Wiley y Sons.
- Smith, J. V. y Brown, W. L. (1988). *Feldspar minerals. I. crystal structures, physical, chemical and microtextural properties* (2<sup>nd</sup> ed.). Berlin: Springer-Verlag.

- Solari, L., Gómez Tuena, A., Bernal, J., Pérez Arvizu, O. y Tanner, M. (2010). U-Pb zircon geochronology with an integrated LA-ICP-MS microanalytical workstation: Achievements in precision and accuracy. *Geo-standards and Geoanalytical Research*, 34 (1), 5-18. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.2009.00027.x>
- Stacey, J.S. y Kramers, J.D. (1975). Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a 2-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)
- Streckeisen, A. (1976). Classification and nomenclature of plutonic rocks recommendations of the IUGS sub-commission on the systematics of Igneous Rocks. *Geologische Rundschau*, 63 (2), 773-786. <https://doi.org/10.1007/BF01820841>
- Sun, S. y McDonough, W. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. En A. Sanders y M. Norry (eds.), *Magmatism in oceanic basins*, vol. 42. Londres: The Geological Society. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>
- Sylvester, P. J. (1998). Post-collisional strongly peraluminous granites. *Lithos*, 45 (1-4), 29-44. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(98\)00024-3](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(98)00024-3)
- Thyblemont, D. y Tegye, M. (1994). Une discrimination géochimique des roches différenciées témoin de la diversité d'origine et de situation tectonique des magmas calco-alcalins. *Comptes Rendus Académie Scientifique du Paris* 319, serie II, 87-94. Paris.
- Van der Lelij, R. (2013). *Reconstructing North-Western Gondwana with implications for the evolution of the lapetus and Rheic Oceans: A geochronological, thermochronological and geochemical study* [Thèse de doctorat]. Université de Genève.
- Vargas, R., Arias, A., Jaramillo, L. y Téllez, N. (1976). *Geología de la plancha 136, Málaga*. Mapa, escala: 1:100.000. Bogotá: Ingeominas.
- Vargas, R., Arias, A., Jaramillo, L. y Téllez, N. (1981). Geología de las planchas 136, Málaga, y 152, Soatá, cuadrángulo I-13. Escala 1:100.000. Memoria explicativa. *Boletín Geológico*, 24 (3), 2-84
- Villaseca, C., Barbero, L. y Herreros, V. (1998). A re-examination of the typology of peraluminous granite types in intracontinental orogenic belts. *Earth and Environmental Science Transactions of The Royal Society of Edinburgh*, 89 (2), 113-119. <https://doi.org/10.1017/S0263593300007045>
- Wang, Q., Zhu, D. C., Zhao, Z. D., Guan, Q., Zhang, X. Q., Sui, Q. L., Chu Hu, Z. y Mo, X. X. (2012). Magmatic zircons from I-, S- and A-type granitoids in Tibet: Trace element characteristics and their application to detrital zircon provenance study. *Journal of Asian Earth Sciences*, 53, 59-66. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.07.027>
- Ward, D. E., Goldsmith, R., Cruz, J., Jaramillo, L. y Vargas, R. (1970). *Geología de la plancha 110, Pamplona*. Escala 1:100.000. Versión digital 2010. Bogotá: Ingeominas.
- Ward, D. E., Goldsmith, R., Cruz, J., Jaramillo, L. y Vargas, R. (1977). *Geología de la plancha 121, Cerrito*. Escala 1:100.000. Versión digital 2010. Bogotá: Ingeominas.
- Ward, D. E., Goldsmith, R., Jimeno, A., Cruz, J., Restrepo, H. y Gómez, E. (1973). Cuadrángulo H-12, Bucaramanga. Planchas 109, Rionegro, y 120, Bucaramanga. Cuadrángulo H-13, Pamplona. Planchas 110, Pamplona, y 121, Cerrito. Escala 1:100.000. Memoria explicativa. *Boletín Geológico*, 21 (1-3), 1-134.
- Whalen, J. B., Currie, K. L. y Chappell, B. W. (1987). A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 95 (4), 407-419. <https://doi.org/10.1007/BF00402202>
- Winter, J. (2001). *An introduction to igneous and metamorphic petrology*. New Jersey: Prentice Hall.

## ANEXO A

### Resultados de geocronología U-Pb en circón

#### Muestra GR-6719 (Laboratorio de la Universidad Nacional Autónoma de México)

Identificación muestra	Relación final $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	Error interno relación final $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ a 2 D.E.	Relación final $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	Error interno relación final $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ a 2 D.E.	Ajuste error de correlación (datos negativos)	Error de correlación $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ vs. $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	Edad corregida $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma)	Edad $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (Ma)	% discordia	Edad corregida $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma)	$\pm 2\sigma$	Relación final U/Th
GR_6719_31	0,6720	0,0650	0,03476	0,00081	0,7534	0,75336	197,51	487,00	146,57	197,51	7,14	0,96
GR_6719_35	0,4010	0,0320	0,03310	0,00050	0,2618	0,26182	200,59	335,00	67,01	200,59	5,40	1,38
GR_6719_29	0,3340	0,0250	0,03257	0,00058	0,1163	0,11628	200,10	304,00	51,93	200,10	5,57	0,55
GR_6719_7	0,2560	0,0140	0,02998	0,00050	0,0750	0,07503	187,68	229,00	22,01	187,68	4,97	0,83
GR_6719_13	0,2520	0,0190	0,03035	0,00060	0,1000	-0,01138	190,38	226,00	18,71	190,38	5,51	1,05
GR_6719_14	0,2362	0,0055	0,02885	0,00024	0,2980	0,29804	181,26	214,80	18,50	181,26	3,93	0,44
GR_6719_34	0,2184	0,0049	0,02823	0,00022	0,2365	0,23647	178,16	201,20	12,93	178,16	3,82	1,92
GR_6719_17	0,2470	0,0270	0,03070	0,00079	0,0205	0,02046	193,11	214,00	10,82	193,11	6,47	1,83
GR_6719_22	0,2234	0,0070	0,02951	0,00035	0,1141	0,11412	186,37	205,40	10,21	186,37	4,33	1,26
GR_6719_9	0,2684	0,0086	0,03515	0,00064	0,6643	0,66426	221,52	240,20	8,43	221,52	5,99	1,02
GR_6719_39	0,2700	0,0150	0,03560	0,00100	0,6909	0,69090	224,49	242,00	7,80	224,49	7,55	2,73
GR_6719_21	0,6410	0,0360	0,07660	0,00360	0,9392	0,93922	474,07	492,00	3,78	474,07	23,69	1,39
GR_6719_2	0,2105	0,0064	0,02893	0,00042	0,3087	0,30871	183,20	194,20	6,00	183,20	4,51	1,96
GR_6719_28	0,2034	0,0083	0,02969	0,00065	0,4020	0,40201	188,15	187,40	-0,40	188,15	5,58	1,39
GR_6719_26	0,2220	0,0150	0,03009	0,00041	0,0578	0,05783	190,14	203,00	6,76	190,14	4,70	1,12
GR_6719_16	0,2113	0,0043	0,02997	0,00022	0,1221	0,12209	190,17	194,30	2,17	190,17	4,08	1,52
GR_6719_40	0,2100	0,0120	0,02996	0,00035	0,1000	-0,02657	190,20	195,00	2,52	190,20	4,44	1,63
GR_6719_15	0,2219	0,0042	0,03024	0,00023	0,3402	0,34016	191,48	203,10	6,07	191,48	4,07	0,43
GR_6719_20	0,2037	0,0087	0,03013	0,00030	0,2160	0,21598	191,60	187,60	-2,09	191,60	4,29	1,16
GR_6719_44	0,2151	0,0071	0,03031	0,00028	0,0600	0,05998	192,38	197,40	2,61	192,38	4,28	1,66
GR_6719_25	0,2071	0,0078	0,03030	0,00038	0,1395	0,13951	192,41	190,60	-0,94	192,41	4,53	0,86
GR_6719_24	0,2197	0,0095	0,03057	0,00034	0,1814	0,18140	193,56	200,30	3,48	193,56	4,47	0,58
GR_6719_37	0,2273	0,0063	0,03064	0,00031	0,1485	0,14845	193,87	208,20	7,39	193,87	4,39	0,74
GR_6719_10	0,2160	0,0078	0,03060	0,00032	0,2906	0,29063	194,06	198,00	2,03	194,06	4,40	1,35
GR_6719_43	0,2198	0,0096	0,03086	0,00033	0,1000	-0,00634	195,84	200,10	2,18	195,84	4,48	1,33
GR_6719_27	0,2180	0,0170	0,03091	0,00055	0,2050	0,20498	196,20	197,00	0,41	196,20	5,34	1,10
GR_6719_12	0,2300	0,0160	0,03111	0,00047	0,1577	0,15771	196,67	209,00	6,27	196,67	5,02	0,82
GR_6719_18	0,2330	0,0140	0,03114	0,00049	0,1000	-0,11622	196,81	212,00	7,72	196,81	5,06	1,39
GR_6719_42	0,2090	0,0110	0,03098	0,00040	0,0366	0,03658	196,96	193,10	-1,96	196,96	4,75	1,15
GR_6719_41	0,2254	0,0062	0,03111	0,00024	0,0525	0,05248	197,19	205,70	4,32	197,19	4,27	1,64
GR_6719_6	0,2240	0,0100	0,03125	0,00039	0,2379	0,23785	197,94	205,80	3,97	197,94	4,66	0,98
GR_6719_23	0,2214	0,0089	0,03127	0,00036	0,0896	0,08957	198,34	202,50	2,10	198,34	4,60	0,96
GR_6719_19	0,2350	0,0083	0,03138	0,00034	0,0685	0,06851	198,39	213,30	7,52	198,39	4,52	1,21
GR_6719_8	0,2266	0,0090	0,03136	0,00033	0,0365	0,03645	198,51	207,60	4,58	198,51	4,53	0,76
GR_6719_11	0,2197	0,0074	0,03149	0,00043	0,3126	0,31258	199,65	202,20	1,28	199,65	4,83	0,95
GR_6719_38	0,2339	0,0088	0,03168	0,00041	0,2374	0,23742	200,51	212,10	5,78	200,51	4,77	1,04
GR_6719_32	0,2200	0,0100	0,03173	0,00034	0,0839	0,08393	201,25	200,90	-0,17	201,25	4,60	1,07
GR_6719_33	0,2255	0,0051	0,03196	0,00024	0,1386	0,13856	202,59	206,40	1,88	202,59	4,33	1,59
GR_6719_30	0,2274	0,0086	0,03205	0,00036	0,0913	0,09128	202,96	208,00	2,48	202,96	4,66	1,00
GR_6719_1	0,2310	0,0140	0,03210	0,00056	0,5338	0,53378	203,22	206,70	1,71	203,22	5,42	0,56
GR_6719_5	0,2327	0,0086	0,03242	0,00048	0,3703	0,37025	205,56	211,20	2,75	205,56	5,15	0,76
GR_6719_36	0,2501	0,0082	0,03289	0,00036	0,1880	0,18796	207,76	225,50	8,54	207,76	4,76	1,51
GR_6719_3	0,2273	0,0088	0,03292	0,00036	0,1159	0,11590	209,00	209,00	0,00	209,00	4,79	1,00
GR_6719_4	0,2327	0,0095	0,03322	0,00042	0,0658	0,06584	210,63	212,10	0,70	210,63	4,97	1,07

## Muestra GR-6821 (Laboratorio del Servicio Geológico Colombiano)

Identificación muestra	Relación final $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	Error interno relación final $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ a 2 D,E,	Relación final $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	Error interno relación final $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ a 2 D,E,	Ajuste error de correlación (datos negativos)	Error de correlación $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ vs. $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	Edad corregida $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma)	Edad $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (Ma)	% discordia	Edad corregida $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma)	$\pm 2\sigma$	Relación final U/Th
GZ_6821_50	1,3300	0,0610	0,04690	0,00130	0,1000	-0,23866	235,54	842,00	257,48	235,54	10,10	1,61
GZ_6821_51	0,8960	0,0420	0,03535	0,00044	0,5703	0,57028	188,17	641,00	240,65	188,17	5,51	2,03
GZ_6821_10	0,6000	0,0650	0,03401	0,00098	0,8535	0,85346	195,95	444,00	126,58	195,95	7,56	1,12
GZ_6821_33	0,5120	0,0220	0,03323	0,00055	0,1023	0,10226	194,79	421,00	116,13	194,79	5,37	0,82
GZ_6821_52	0,8280	0,0340	0,05780	0,00170	0,6962	0,69616	340,88	629,00	84,52	340,88	12,48	0,39
GZ_6821_21	0,4370	0,0430	0,03304	0,00063	0,8683	0,86827	198,72	358,00	80,15	198,72	5,87	0,53
GZ_6821_38	0,3020	0,0210	0,03262	0,00049	0,5449	0,54486	203,58	262,00	28,70	203,58	5,16	0,61
GZ_6821_31	0,4080	0,0270	0,04470	0,00190	0,1641	0,16410	277,06	346,00	24,88	277,06	13,00	0,84
GZ_6821_1	0,2630	0,0200	0,03118	0,00058	0,1426	0,14258	194,90	237,00	21,60	194,90	5,45	0,69
GZ_6821_44	0,2640	0,0160	0,03202	0,00054	0,1000	-0,08052	200,48	237,00	18,22	200,48	5,37	1,10
GZ_6821_27	0,2400	0,0180	0,03045	0,00057	0,0364	0,03639	191,92	218,00	13,59	191,92	5,38	1,26
GZ_6821_43	0,2410	0,0170	0,03089	0,00050	0,0734	0,07345	194,71	217,00	11,45	194,71	5,08	0,80
GZ_6821_4	0,2537	0,0057	0,03291	0,00030	0,1709	0,17093	207,29	229,60	10,76	207,29	4,56	1,96
GZ_6821_30	0,2550	0,0160	0,03293	0,00045	0,1543	0,15431	207,49	229,00	10,37	207,49	5,12	0,93
GZ_6821_6	1,1700	0,1500	0,11600	0,01100	0,3622	0,36220	702,55	708,00	0,78	702,55	64,87	2,66
GZ_6821_39	0,2013	0,0083	0,02763	0,00038	0,2638	0,26378	175,17	185,70	6,01	175,17	4,27	1,56
GZ_6821_15	0,2147	0,0058	0,02841	0,00032	0,4052	0,40520	179,26	197,10	9,95	179,26	4,13	1,37
GZ_6821_32	0,2023	0,0068	0,02928	0,00037	0,2405	0,24051	185,90	187,70	0,97	185,90	4,40	1,17
GZ_6821_41	0,2077	0,0067	0,02974	0,00039	0,3400	0,34003	188,63	191,30	1,41	188,63	4,52	0,77
GZ_6821_40	0,2180	0,0100	0,02994	0,00039	0,0303	0,03028	189,63	200,60	5,79	189,63	4,54	0,69
GZ_6821_24	0,2110	0,0120	0,03016	0,00040	0,0166	0,01658	191,39	193,00	0,84	191,39	4,62	0,88
GZ_6821_36	0,2060	0,0180	0,03030	0,00054	0,1000	-0,03946	192,41	186,00	-3,33	192,41	5,24	1,09
GZ_6821_2	0,2300	0,0130	0,03055	0,00044	0,1503	0,15027	193,19	208,00	7,67	193,19	4,79	0,92
GZ_6821_25	0,2173	0,0080	0,03051	0,00043	0,1321	0,13208	193,30	199,20	3,05	193,30	4,71	1,96
GZ_6821_46	0,2070	0,0170	0,03062	0,00054	0,0876	0,08765	194,64	188,00	-3,41	194,64	5,23	1,14
GZ_6821_49	0,2290	0,0120	0,03091	0,00036	0,0927	0,09269	195,47	208,60	6,72	195,47	4,55	1,14
GZ_6821_3	0,2240	0,0130	0,03114	0,00045	0,0895	0,08948	197,25	205,00	3,93	197,25	4,87	0,87
GZ_6821_13	0,2130	0,0110	0,03134	0,00042	0,0629	0,06290	198,53	195,00	-1,78	198,53	4,81	0,81
GZ_6821_14	0,2070	0,0200	0,03142	0,00062	0,1000	-0,05090	200,17	185,00	-7,58	200,17	5,69	1,12
GZ_6821_5	0,2206	0,0069	0,03171	0,00026	0,2515	0,25145	201,20	201,70	0,25	201,20	4,34	0,82
GZ_6821_20	0,2430	0,0140	0,03194	0,00047	0,0049	0,00487	201,34	219,00	8,77	201,34	5,05	0,86
GZ_6821_42	0,2150	0,0120	0,03173	0,00045	0,0917	0,09167	201,75	199,70	-1,02	201,75	4,99	0,80
GZ_6821_26	0,2020	0,0150	0,03168	0,00047	0,1000	-0,01682	201,93	185,00	-8,39	201,93	5,10	0,71
GZ_6821_29	0,2080	0,0180	0,03181	0,00055	0,0339	0,03385	202,40	192,00	-5,14	202,40	5,44	0,55
GZ_6821_23	0,2243	0,0091	0,03206	0,00031	0,1000	-0,01463	203,40	205,30	0,93	203,40	4,54	0,41
GZ_6821_35	0,2260	0,0058	0,03215	0,00031	0,4206	0,42056	204,01	207,60	1,76	204,01	4,52	1,45
GZ_6821_22	0,2260	0,0130	0,03219	0,00044	0,1000	-0,00803	204,06	207,00	1,44	204,06	5,00	0,68
GZ_6821_34	0,2308	0,0086	0,03294	0,00043	0,2130	0,21301	208,95	210,30	0,65	208,95	5,03	1,19
GZ_6821_12	0,2470	0,0120	0,03353	0,00049	0,2576	0,25757	211,73	223,90	5,75	211,73	5,21	1,09
GZ_6821_18	0,2510	0,0120	0,03383	0,00041	0,0347	0,03470	213,34	225,90	5,89	213,34	5,04	0,90
GZ_6821_45	0,2720	0,0140	0,03528	0,00081	0,4274	0,42741	222,22	239,00	7,55	222,22	6,94	0,69
GZ_6821_37	0,2615	0,0099	0,03523	0,00044	0,1618	0,16178	222,65	234,30	5,23	222,65	5,27	1,24
GZ_6821_16	0,2690	0,0180	0,03770	0,00110	0,4416	0,44159	238,40	238,00	-0,17	238,40	8,22	0,99
GZ_6821_28	0,4980	0,0140	0,06121	0,00063	0,2530	0,25302	380,92	410,00	7,63	380,92	8,71	2,31
GZ_6821_11	0,4859	0,0094	0,06312	0,00086	0,6468	0,64684	393,81	401,90	2,05	393,81	9,30	4,57
GZ_6821_9	0,4700	0,0140	0,06325	0,00081	0,3079	0,30792	395,64	391,90	-0,95	395,64	9,34	1,47
GZ_6821_19	0,5300	0,0120	0,06710	0,00100	0,7695	0,76948	417,81	431,30	3,23	417,81	10,50	1,26
GZ_6821_8	0,5270	0,0180	0,06870	0,00130	0,4871	0,48709	427,54	429,00	0,34	427,54	11,72	2,38
GZ_6821_47	0,5500	0,0140	0,06886	0,00082	0,3449	0,34492	427,94	444,20	3,80	427,94	9,89	1,38
GZ_6821_7	0,5680	0,0120	0,07204	0,00075	0,3638	0,36381	447,40	456,50	2,03	447,40	9,88	2,64
GZ_6821_17	0,5930	0,0120	0,07571	0,00056	0,2182	0,21816	470,10	471,80	0,36	470,10	9,89	5,70
GZ_6821_48	1,8130	0,0290	0,16470	0,00160	0,6702	0,67016	973,99	1051,00	7,91	973,99	21,11	5,25

### Muestra GR-6718 (Laboratorio del Servicio Geológico Colombiano)

Identificación muestra	Relación final $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	Error interno relación final $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ a 2 D,E,	Relación final $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	Error interno relación final $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ a 2 D,E,	Ajuste error de correlación (datos negativos)	Error de correlación $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ vs, $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	Edad corregida $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma)	Edad $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (Ma)	% discordia	Edad corregida $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma)	$\pm 2\sigma$	Relación final U/Th
GR_6718_7	0,1620	0,0340	0,02830	0,00140	0,0339	0,03389	181,17	149,00	-17,76	181,17	11,01	1,23
GR_6718_24	0,2810	0,0640	0,02980	0,00110	0,1000	-0,06834	184,57	229,00	24,07	184,57	11,26	1,69
GR_6718_15	0,3500	0,1000	0,03190	0,00180	0,1000	-0,07327	195,44	292,00	49,40	195,44	15,51	2,56
GR_6718_16	0,2940	0,0540	0,03230	0,00120	0,0101	0,01014	200,92	261,00	29,90	200,92	11,64	1,07
GR_6718_2	0,4160	0,0990	0,03290	0,00150	0,0719	0,07190	198,92	348,00	74,94	198,92	13,61	2,08
GR_6718_6	0,2820	0,0410	0,03350	0,00130	0,0707	0,07066	210,62	245,00	16,32	210,62	12,07	1,82
GR_6718_8	0,2770	0,0770	0,03520	0,00190	0,1112	0,11120	219,87	254,00	15,52	219,87	15,55	3,65
GR_6718_19	0,3090	0,0430	0,03610	0,00100	0,1353	0,13525	225,60	267,00	18,35	225,60	12,01	1,00
GR_6718_1	0,1960	0,0480	0,02500	0,00110	0,1546	0,15457	157,24	178,00	13,20	157,24	9,76	4,76
GR_6718_3	0,1870	0,0250	0,02540	0,00130	0,1723	0,17226	160,12	176,00	9,92	160,12	10,14	3,93
GR_6718_13	0,2190	0,0310	0,02980	0,00110	0,0514	0,05145	188,56	193,00	2,35	188,56	10,22	1,10
GR_6718_36	0,2090	0,0260	0,02994	0,00068	0,1000	-0,05171	189,91	187,00	-1,53	189,91	8,94	1,35
GR_6718_4	0,2320	0,0460	0,03000	0,00160	0,1475	0,14752	190,05	212,00	11,55	190,05	12,25	1,32
GR_6718_42	0,2050	0,0150	0,03068	0,00054	0,1569	0,15687	194,90	187,00	-4,05	194,90	8,23	1,14
GR_6718_18	0,2260	0,0180	0,03109	0,00064	0,1000	-0,02054	196,52	208,00	5,84	196,52	8,85	0,90
GR_6718_45	0,2450	0,0220	0,03129	0,00066	0,0606	0,06058	197,06	219,00	11,13	197,06	8,84	1,74
GR_6718_44	0,2410	0,0190	0,03146	0,00083	0,1728	0,17279	198,34	214,00	7,89	198,34	9,44	1,91
GR_6718_35	0,2170	0,0210	0,03150	0,00058	0,1000	-0,01123	199,73	201,00	0,63	199,73	8,89	0,99
GR_6718_38	0,2210	0,0150	0,03161	0,00057	0,1608	0,16082	200,47	201,00	0,26	200,47	8,85	0,96
GR_6718_31	0,2390	0,0320	0,03165	0,00087	0,1307	0,13072	198,88	220,00	10,62	198,88	10,15	1,06
GR_6718_25	0,2210	0,0330	0,03167	0,00076	0,0833	0,08334	201,57	194,00	-3,76	201,57	9,63	1,53
GR_6718_28	0,2480	0,0330	0,03170	0,00120	0,1442	0,14424	199,22	225,00	12,94	199,22	10,76	3,20
GR_6718_14	0,2280	0,0300	0,03170	0,00110	0,1548	0,15483	200,89	202,00	0,55	200,89	10,81	0,50
GR_6718_5	0,1940	0,0230	0,03170	0,00110	0,2554	0,25541	202,18	174,00	-13,94	202,18	10,21	1,82
GR_6718_39	0,2190	0,0140	0,03178	0,00049	0,1728	0,17279	201,72	201,00	-0,35	201,72	8,85	1,38
GR_6718_33	0,2420	0,0380	0,03197	0,00092	0,1215	0,12154	201,22	219,00	8,83	201,22	10,25	1,54
GR_6718_32	0,2320	0,0120	0,03220	0,00050	0,2375	0,23749	203,52	211,00	3,68	203,52	8,81	0,91
GR_6718_34	0,2170	0,0250	0,03236	0,00059	0,0604	0,06043	205,31	197,00	-4,05	205,31	8,93	1,69
GR_6718_21	0,2220	0,0230	0,03241	0,00073	0,1843	0,18434	205,83	204,00	-0,89	205,83	9,53	1,07
GR_6718_41	0,2300	0,0120	0,03249	0,00049	0,0447	0,04475	205,66	209,00	1,62	205,66	8,82	0,95
GR_6718_29	0,2290	0,0160	0,03264	0,00060	0,0588	0,05884	206,78	208,00	0,59	206,78	9,46	1,52
GR_6718_37	0,2620	0,0120	0,03288	0,00050	0,0235	0,02352	206,25	236,40	14,62	206,25	9,36	1,31
GR_6718_43	0,2370	0,0150	0,03301	0,00057	0,1593	0,15929	208,90	212,00	1,49	208,90	8,83	1,42
GR_6718_11	0,2450	0,0290	0,03308	0,00082	0,1299	0,12992	209,28	221,00	5,60	209,28	10,18	1,16
GR_6718_20	0,2200	0,0310	0,03321	0,00076	0,0813	0,08133	210,64	207,00	-1,73	210,64	10,20	0,92
GR_6718_40	0,2310	0,0150	0,03329	0,00062	0,2159	0,21588	211,25	210,00	-0,59	211,25	9,47	1,59
GR_6718_17	0,2560	0,0310	0,03339	0,00087	0,0963	0,09629	210,59	232,00	10,17	210,59	10,14	1,60
GR_6718_30	0,2590	0,0340	0,03374	0,00079	0,0889	0,08893	212,12	239,00	12,67	212,12	10,17	2,51
GR_6718_27	0,2450	0,0150	0,03407	0,00065	0,1316	0,13164	215,53	223,00	3,47	215,53	9,45	2,02
GR_6718_12	0,2610	0,0400	0,03410	0,00120	0,1179	0,11790	216,52	218,00	0,68	216,52	11,56	1,30
GR_6718_22	0,2750	0,0600	0,03410	0,00120	0,0209	0,02093	213,34	223,00	4,53	213,34	11,75	2,24
GR_6718_9	0,2760	0,0300	0,03480	0,00100	0,1454	0,14538	218,54	240,00	9,82	218,54	10,73	1,82
GR_6718_26	0,2480	0,0170	0,03515	0,00072	0,0785	0,07853	222,62	224,00	0,62	222,62	10,09	2,70
GR_6718_10	0,2870	0,0470	0,03520	0,00100	0,1000	-0,06276	219,87	252,00	14,61	219,87	11,46	1,38
GR_6718_23	0,3230	0,0210	0,04250	0,00100	0,2887	0,28870	267,06	282,00	5,59	267,06	11,86	1,01

## Muestra JGB-457 (Laboratorio del Servicio Geológico Colombiano)

Identificación muestra	Relación final $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	Error interno relación final $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ a 2 D.E.	Relación final $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	Error interno relación final $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ a 2 D.E.	Ajuste error de correlación (datos negativos)	Error de correlación $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ vs. $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	Edad corregida $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma)	Edad $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (Ma)	% discordia	Edad corregida $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma)	$\pm 2\sigma$	Relación final U/Th
JGB_457_8	0,426	0,029	0,03269	0,00059	0,1955	0,1955	196,484	360	83,221	196,48	4,64	1,37
JGB_457_40	0,402	0,03	0,03239	0,00081	0,1	-0,0071747	196,76082	343	74,3233	196,76	4,69	1,41
JGB_457_11	0,239	0,01	0,02394	0,00034	0,16277	0,16277	148,28971	217,8	46,8747	148,29	4,14	2,08
JGB_457_7	0,313	0,024	0,03369	0,00066	0,47976	0,47976	208,94779	281	34,4834	208,95	4,45	1,39
JGB_457_38	0,261	0,015	0,03017	0,00062	0,11627	0,11627	188,71807	233	23,4646	188,72	4,62	0,75
JGB_457_49	0,247	0,015	0,03051	0,00076	0,2991	0,2991	191,66607	225	17,3917	191,67	4,89	1,47
JGB_457_5	0,261	0,011	0,03269	0,00046	0,40676	0,40676	205,47859	234,7	14,2211	205,48	4,25	0,98
JGB_457_42	0,229	0,01	0,0299	0,00044	0,19055	0,19055	189,07185	208,8	10,4342	189,07	4,32	0,64
JGB_457_36	0,215	0,01	0,02929	0,00044	0,14511	0,14511	185,80492	197	6,02518	185,80	4,43	0,82
JGB_457_41	0,2	0,016	0,02925	0,00058	0,12486	0,12486	186,22262	184	-1,19353	186,22	4,38	1,33
JGB_457_45	0,2084	0,0095	0,0295	0,00053	0,2388	0,2388	187,31059	190,9	1,91629	187,31	4,36	0,81
JGB_457_46	0,226	0,011	0,02963	0,00051	0,20266	0,20266	187,38059	205,5	9,66985	187,38	4,34	0,83
JGB_457_47	0,217	0,011	0,02976	0,00053	0,23827	0,23827	188,54686	198,6	5,33191	188,55	4,33	0,60
JGB_457_14	0,208	0,012	0,02983	0,00049	0,13733	0,13733	189,52695	190,2	0,35512	189,53	4,30	1,05
JGB_457_29	0,2252	0,0093	0,03001	0,00039	0,16306	0,16306	189,61889	205,6	8,42801	189,62	4,31	0,98
JGB_457_27	0,2148	0,0083	0,02995	0,00038	0,1039	0,1039	189,6683	197,5	4,12916	189,67	4,31	1,17
JGB_457_18	0,2114	0,009	0,02996	0,00041	0,26014	0,26014	190,0616	194,4	2,28263	190,06	4,29	1,33
JGB_457_31	0,22	0,011	0,0301	0,00041	0,038074	0,038074	190,44307	200,8	5,43833	190,44	4,29	0,78
JGB_457_21	0,21	0,01	0,03007	0,00037	0,12586	0,12586	190,8001	193,5	1,41504	190,80	4,62	1,19
JGB_457_48	0,218	0,012	0,03014	0,00066	0,28675	0,28675	191,02622	198	3,65069	191,03	4,29	0,71
JGB_457_19	0,207	0,014	0,03018	0,00047	0,1839	0,1839	191,77668	191	-0,40499	191,78	4,26	1,22
JGB_457_37	0,215	0,013	0,03034	0,00048	0,11788	0,11788	192,35324	198	2,93562	192,35	4,58	0,75
JGB_457_25	0,225	0,015	0,03044	0,00054	0,1522	0,1522	192,62139	206	6,94555	192,62	4,25	1,49
JGB_457_20	0,22	0,011	0,03042	0,00046	0,16735	0,16735	192,78362	201,7	4,62507	192,78	4,57	1,06
JGB_457_43	0,221	0,013	0,03046	0,00051	0,16758	0,16758	193,13062	202	4,59242	193,13	4,23	0,79
JGB_457_15	0,2164	0,0097	0,03051	0,00045	0,18572	0,18572	193,39649	199,6	3,20766	193,40	4,55	1,27
JGB_457_39	0,233	0,016	0,03064	0,00055	0,090812	0,090812	193,72988	210	8,39835	193,73	4,54	1,03
JGB_457_50	0,22	0,014	0,03067	0,00063	0,18118	0,18118	194,54568	206	5,88773	194,55	4,20	1,29
JGB_457_33	0,223	0,011	0,03081	0,00039	0,010182	0,010182	195,20665	204,6	4,812	195,21	4,20	0,70
JGB_457_24	0,208	0,014	0,03078	0,00046	0,26955	0,26955	195,62433	191	-2,36388	195,62	4,18	1,61
JGB_457_10	0,232	0,013	0,03093	0,0004	0,087009	0,087009	195,69159	209	6,80071	195,69	4,18	1,10
JGB_457_17	0,2207	0,0094	0,03089	0,00036	0,22091	0,22091	195,90308	200,9	2,55071	195,90	4,17	1,08
JGB_457_32	0,2201	0,0094	0,03092	0,00039	0,39551	0,39551	196,23751	201,7	2,78361	196,24	4,15	0,66
JGB_457_28	0,239	0,014	0,03121	0,00048	0,1	-0,068479	197,1508	216	9,56081	197,15	4,14	1,30
JGB_457_22	0,227	0,011	0,03124	0,00049	0,032428	0,032428	197,75641	206,8	4,5731	197,76	4,43	1,08
JGB_457_12	0,2385	0,0089	0,03136	0,00044	0,27096	0,27096	197,86683	217,5	9,92242	197,87	4,13	0,61
JGB_457_3	0,221	0,012	0,03126	0,00051	0,14233	0,14233	198,00476	200,2	1,10868	198,00	4,43	1,37
JGB_457_35	0,226	0,012	0,03136	0,0004	0,056689	0,056689	198,97732	205,5	3,2781	198,98	4,71	0,45
JGB_457_34	0,232	0,014	0,03163	0,00059	0,20126	0,20126	200,17551	210	4,90794	200,18	4,41	0,64
JGB_457_13	0,24	0,022	0,03176	0,00055	0,1	-0,00088479	200,19054	216	7,89721	200,19	4,40	1,14
JGB_457_9	0,226	0,011	0,03161	0,00047	0,23147	0,23147	200,39832	207,6	3,59368	200,40	4,41	1,00
JGB_457_44	0,22	0,012	0,03154	0,00058	0,22015	0,22015	200,65375	201,5	0,42174	200,65	4,33	1,22
JGB_457_2	0,212	0,014	0,03212	0,00053	0,12262	0,12262	203,80047	195	-4,31818	203,80	4,29	1,13
JGB_457_30	0,236	0,011	0,03238	0,00041	0,040798	0,040798	204,97501	215,1	4,93962	204,98	4,26	0,96
JGB_457_1	0,241	0,011	0,03264	0,0005	0,15797	0,15797	205,80875	216,9	5,38911	205,81	4,27	1,25
JGB_457_23	0,241	0,014	0,03259	0,00061	0,10267	0,10267	206,03452	218	5,80751	206,03	4,28	0,92
JGB_457_16	0,223	0,013	0,03247	0,00042	0,11544	0,11544	206,5085	206	-0,24624	206,51	4,25	1,42
JGB_457_4	0,235	0,011	0,03268	0,00047	0,19718	0,19718	206,6233	215,1	4,10249	206,62	4,28	0,90
JGB_457_6	0,212	0,013	0,03249	0,0005	0,09254	0,09254	206,91521	199	-3,82534	206,92	4,86	1,31
JGB_457_26	0,464	0,02	0,0627	0,0015	0,58285	0,58285	392,21832	389	-0,82054	392,22	4,64	2,03

## Muestra GR-6717 (Laboratorio del Servicio Geológico Colombiano)

Identificación muestra	Relación final $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	Error interno relación final $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ a 2 D,E,	Relación final $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	Error interno relación final $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ a 2 D,E,	Ajuste error de correlación (datos negativos)	Error de correlación $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ vs, $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	Edad corregida $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma)	Edad $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (Ma)	% discordia	Edad corregida $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma)	$\pm 2\sigma$	Relación final U/Th
GR_6717_22	0,0171	0,0047	0,00011	0,00003	0,3093	0,30929	0,24	16,90	6857,27	0,24	0,37	1,58
GR_6717_36	1,1450	0,0210	0,01601	0,00029	0,8038	0,80376	41,33	775,40	1776,14	41,33	3,84	2,58
GR_6717_20	0,0017	0,0022	0,00002	0,00002	0,1000	-0,05380	0,15	1,60	990,76	0,15	0,18	3,54
GR_6717_12	0,4920	0,0130	0,01355	0,00048	0,1000	-0,73472	61,99	406,10	555,06	61,99	3,41	2,00
GR_6717_15	0,3660	0,0780	0,01515	0,00072	0,1084	0,10835	81,12	275,00	239,00	81,12	6,78	2,56
GR_6717_6	39,0000	10,0000	0,49000	0,18000	0,7574	0,75743	1261,55	3730,00	195,67	1261,55	850,07	0,08
GR_6717_25	0,2644	0,0086	0,01413	0,00080	0,9057	0,90573	80,26	237,30	195,66	80,26	4,90	1,62
GR_6717_41	0,4990	0,0330	0,02864	0,00056	0,7728	0,77280	163,89	404,00	146,51	163,89	4,96	1,13
GR_6717_47	0,2810	0,0160	0,01968	0,00041	0,1000	-0,62371	116,50	250,00	114,59	116,50	3,62	1,92
GR_6717_18	0,5220	0,0280	0,03403	0,00030	0,2774	0,27738	199,78	424,00	112,23	199,78	4,83	1,07
GR_6717_37	0,3510	0,0330	0,02548	0,00062	0,6098	0,60980	151,88	298,00	96,21	151,88	0,37	1,19
GR_6717_45	0,4940	0,0660	0,03276	0,00088	0,9263	0,92630	196,31	360,00	83,39	196,31	3,84	1,31
GR_6717_40	0,4060	0,0150	0,03252	0,00038	0,3109	0,31091	195,83	343,00	75,15	195,83	0,18	0,65
GR_6717_39	0,3930	0,0370	0,03191	0,00037	0,5287	0,52869	193,37	324,00	67,56	193,37	3,41	1,09
GR_6717_44	0,3010	0,0130	0,02745	0,00045	0,2447	0,24466	168,03	267,40	59,14	168,03	6,78	2,79
GR_6717_3	0,2670	0,0110	0,02488	0,00063	0,8124	0,81244	152,37	242,30	59,02	152,37	850,07	0,49
GR_6717_2	0,3200	0,0410	0,03095	0,00044	0,5772	0,57717	190,09	263,00	38,36	190,09	4,90	0,48
GR_6717_32	0,2960	0,0210	0,03109	0,00041	0,3950	0,39500	192,97	261,00	35,25	192,97	4,96	0,97
GR_6717_29	0,2730	0,0120	0,02979	0,00038	0,1530	0,15300	185,14	243,90	31,74	185,14	3,62	1,05
GR_6717_46	0,2750	0,0130	0,03022	0,00030	0,1575	0,15752	188,03	246,00	30,83	188,03	4,83	1,44
GR_6717_26	0,1940	0,0065	0,02241	0,00088	0,7217	0,72174	140,02	179,30	28,06	140,02	5,11	2,91
GR_6717_16	0,2562	0,0093	0,02992	0,00036	0,2494	0,24936	187,15	232,60	24,29	187,15	7,02	1,68
GR_6717_27	0,2270	0,0140	0,02660	0,00066	0,2090	0,20896	166,40	206,00	23,80	166,40	4,71	1,17
GR_6717_10	0,1160	0,0130	0,01403	0,00030	0,2698	0,26978	88,42	109,00	23,28	88,42	4,91	1,30
GR_6717_31	0,2450	0,0210	0,02914	0,00059	0,1021	0,10213	182,54	219,00	19,97	182,54	4,40	1,30
GR_6717_17	0,1963	0,0086	0,02450	0,00150	0,2882	0,28822	152,34	180,90	18,75	152,34	4,95	2,28
GR_6717_24	1,9850	0,0420	0,16380	0,00210	0,3288	0,32879	957,76	1113,00	16,21	957,76	5,22	2,64
GR_6717_19	0,2470	0,0160	0,03073	0,00043	0,1712	0,17124	192,89	223,00	15,61	192,89	4,75	1,91
GR_6717_38	0,2560	0,0130	0,03201	0,00048	0,3914	0,39139	200,74	229,00	14,08	200,74	4,45	1,24
GR_6717_7	0,2370	0,0100	0,03065	0,00041	0,1000	-0,02734	192,92	214,50	11,18	192,92	4,28	0,81
GR_6717_30	0,2142	0,0052	0,02860	0,00029	0,2867	0,28671	180,72	197,10	9,06	180,72	6,18	0,46
GR_6717_9	0,1962	0,0068	0,02942	0,00037	0,4938	0,49383	186,46	181,70	-2,55	186,46	4,37	0,78
GR_6717_23	0,2210	0,0120	0,02960	0,00044	0,3256	0,32560	187,29	202,40	8,07	187,29	5,32	1,21
GR_6717_11	0,2208	0,0081	0,02970	0,00027	0,2997	0,29970	187,73	201,60	7,39	187,73	2,70	1,35
GR_6717_1	0,2138	0,0089	0,02978	0,00029	0,1377	0,13773	188,79	196,60	4,14	188,79	5,35	1,18
GR_6717_48	0,2140	0,0100	0,02986	0,00037	0,2202	0,22021	189,10	196,60	3,96	189,10	9,97	2,24
GR_6717_21	0,2029	0,0079	0,02982	0,00031	0,1867	0,18669	189,56	187,10	-1,30	189,56	22,72	1,54
GR_6717_42	0,2187	0,0049	0,03000	0,00027	0,3213	0,32131	189,93	200,70	5,67	189,93	4,82	1,18
GR_6717_35	0,2125	0,0073	0,03010	0,00029	0,0216	0,02160	190,73	195,90	2,71	190,73	5,03	1,27
GR_6717_49	0,2040	0,0110	0,03003	0,00033	0,1000	-0,03154	191,00	188,10	-1,52	191,00	4,71	1,68
GR_6717_43	0,2060	0,0130	0,03031	0,00045	0,1540	0,15403	192,67	190,00	-1,38	192,67	4,07	1,22
GR_6717_34	0,2172	0,0075	0,03050	0,00029	0,0941	0,09411	193,12	199,60	3,36	193,12	4,39	0,91
GR_6717_33	0,2200	0,0092	0,03062	0,00035	0,0504	0,05039	193,68	203,60	5,12	193,68	4,73	1,09
GR_6717_5	0,2100	0,0054	0,03055	0,00030	0,3005	0,30049	193,86	193,00	-0,45	193,86	4,15	1,37
GR_6717_8	0,2150	0,0071	0,03065	0,00027	0,1135	0,11350	194,37	198,40	2,07	194,37	4,22	0,83
GR_6717_4	0,2279	0,0079	0,03202	0,00035	0,2457	0,24565	202,92	207,90	2,45	202,92	4,41	0,94
GR_6717_13	0,2060	0,0110	0,03186	0,00037	0,0521	0,05206	202,94	190,10	-6,33	202,94	4,28	1,04
GR_6717_28	0,2254	0,0063	0,03295	0,00032	0,2298	0,22981	208,91	206,60	-1,10	208,91	4,14	0,93
GR_6717_14	0,5390	0,0130	0,06837	0,00069	0,6326	0,63258	425,27	437,30	2,83	425,27	4,22	1,00

## Muestra AMC-0137 (Laboratorio del Servicio Geológico Colombiano)

Identificación muestra	Relación final $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	Error interno relación final $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ a 2 D,E,	Relación final $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	Error interno relación final $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ a 2 D,E,	Ajuste error de correlación (datos negativos)	Error de correlación $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ vs, $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	Edad corregida $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma)	Edad $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (Ma)	% discordia	Edad corregida $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma)	$\pm 2\sigma$	Relación final U/Th
AMC_137_11	0,0139	0,0031	0,000465	0,00004	0,41014	0,41014	2,2611486	13,9	514,732	2,26	0.30	3,86
AMC_137_1	0,319	0,02	0,0306	0,00052	0,28907	0,28907	188,32051	279	48,1517	188,32	6.15	1,31
AMC_137_27	0,295	0,02	0,0317	0,0004	0,28803	0,28803	196,97286	257	30,4748	196,97	6.00	2,30
AMC_137_32	0,251	0,0087	0,02933	0,00043	0,66204	0,66204	183,7427	227,2	23,6512	183,74	5.61	1,38
AMC_137_36	0,246	0,01	0,03019	0,00036	0,18706	0,18706	189,91268	223,4	17,633	189,91	5.58	0,99
AMC_137_44	0,88	0,017	0,09187	0,00095	0,34099	0,34099	559,32971	640,3	14,4763	559,33	15.98	2,04
AMC_137_33	0,25	0,011	0,03184	0,0004	0,40298	0,40298	200,36415	223,9	11,7465	200,36	5.95	1,90
AMC_137_19	0,205	0,0055	0,02938	0,0003	0,23802	0,23802	186,55584	190	1,84618		5.32	1,87
AMC_137_2	0,216	0,0069	0,02905	0,00029	0,26736	0,26736	183,65486	198,3	7,97428	183,65	5.26	0,48
AMC_137_20	0,2014	0,0065	0,02915	0,00032	0,17258	0,17258	185,06308	186,4	0,72241	185,06	5.33	1,82
AMC_137_16	0,2006	0,0053	0,02956	0,00032	0,39415	0,39415	187,96764	185,5	-1,3128	187,97	5.39	1,09
AMC_137_42	0,2036	0,006	0,02961	0,00033	0,17924	0,17924	188,18916	187,9	-0,15366	188,19	5.45	0,64
AMC_137_39	0,2087	0,0069	0,02968	0,00028	0,21589	0,21589	188,25542	192,2	2,09534	188,26	5.33	0,81
AMC_137_18	0,21	0,0081	0,02988	0,00035	0,25243	0,25243	189,46475	194,6	2,7104	189,46	5.52	1,59
AMC_137_35	0,2	0,01	0,02986	0,00038	0,10507	0,10507	189,99815	184,3	-2,99906	190,00	5.60	1,65
AMC_137_38	0,219	0,011	0,03003	0,0004	0,036862	0,036862	190,17007	200,2	5,27419	190,17	5.72	0,91
AMC_137_34	0,2116	0,0055	0,03	0,00035	0,35617	0,35617	190,33656	194,8	2,34502	190,34	5.57	1,69
AMC_137_17	0,2045	0,0065	0,03004	0,00031	0,09685	0,09685	190,84831	188,7	-1,12566	190,85	5.46	1,41
AMC_137_3	0,2114	0,0067	0,0301	0,00031	0,23379	0,23379	190,89375	194,9	2,09868	190,89	5.45	0,97
AMC_137_43	0,2123	0,004	0,03014	0,00027	0,37781	0,37781	191,2851	195,8	2,3603	191,29	5.38	0,73
AMC_137_23	0,208	0,0073	0,03013	0,00034	0,29376	0,29376	191,36707	191	-0,19182	191,37	5.52	1,54
AMC_137_29	0,2213	0,0078	0,03024	0,00039	0,37917	0,37917	191,39182	203,2	6,16964	191,39	5.69	0,67
AMC_137_25	0,2208	0,0067	0,03027	0,00032	0,23699	0,23699	191,53217	202,3	5,62194	191,53	5.51	1,37
AMC_137_28	0,2126	0,007	0,03023	0,00037	0,2208	0,2208	191,94841	195,4	1,79819	191,95	5.64	1,50
AMC_137_22	0,2053	0,0063	0,03026	0,00031	0,13434	0,13434	192,32777	189,4	-1,52228	192,33	5.52	1,11
AMC_137_40	0,2121	0,0062	0,03033	0,0003	0,254	0,254	192,40993	195,5	1,60598	192,41	5.45	1,24
AMC_137_10	0,2119	0,0082	0,03037	0,00032	0,18327	0,18327	192,6373	195,8	1,64179	192,64	5.52	1,78
AMC_137_24	0,2032	0,0048	0,03036	0,00029	0,18191	0,18191	193,14847	187,8	-2,7691	193,15	5.45	1,40
AMC_137_8	0,2065	0,0053	0,03051	0,00026	0,21017	0,21017	193,97323	190,8	-1,63591	193,97	5.39	1,96
AMC_137_5	0,2115	0,0099	0,03057	0,00038	0,1996	0,1996	194,0861	193,2	-0,45655	194,09	5.72	1,82
AMC_137_45	0,2128	0,0055	0,03057	0,00029	0,30184	0,30184	194,13426	195,4	0,65199	194,13	5.45	1,10
AMC_137_13	0,2075	0,0062	0,03056	0,00032	0,18571	0,18571	194,14358	191,7	-1,25865	194,14	5.58	1,69
AMC_137_14	0,2106	0,0092	0,03057	0,00039	0,15467	0,15467	194,20648	193,9	-0,15781	194,21	5.72	1,44
AMC_137_9	0,2041	0,007	0,03062	0,00037	0,18666	0,18666	194,78625	187,7	-3,63796	194,79	5.71	2,11
AMC_137_26	0,2138	0,0074	0,0307	0,00029	0,18038	0,18038	194,85499	195,8	0,48498	194,85	5.52	1,64
AMC_137_30	0,2129	0,0077	0,03073	0,00034	0,16182	0,16182	195,09192	195	-0,04712	195,09	5.65	1,56
AMC_137_4	0,2099	0,0085	0,03078	0,00032	0,10508	0,10508	195,47892	193,9	-0,80772	195,48	5.59	1,28
AMC_137_15	0,2103	0,0039	0,0309	0,00027	0,3034	0,3034	196,2432	193,8	-1,24499	196,24	5.51	0,41
AMC_137_7	0,2152	0,0076	0,03095	0,00036	0,24085	0,24085	196,32857	197,4	0,54574	196,33	5.77	1,60
AMC_137_21	0,2151	0,0098	0,03097	0,00039	0,13281	0,13281	196,52732	196,2	-0,16655	196,53	5.84	1,59
AMC_137_12	0,2181	0,0069	0,03166	0,00035	0,33306	0,33306	200,81172	200,5	-0,15523	200,81	5.77	1,14
AMC_137_6	0,2316	0,0086	0,03181	0,0004	0,17465	0,17465	201,05295	211,6	5,24591	201,05	5.95	1,14
AMC_137_37	0,219	0,014	0,03175	0,00057	0,21536	0,21536	201,4517	199	-1,21701	201,45	6.42	1,25
AMC_137_41	2,211	0,043	0,1917	0,0022	0,39166	0,39166	1122,9018	1182	5,26299	1122,90	32.44	3,82
AMC_137_31	2,221	0,049	0,1976	0,0032	0,68572	0,68572	1158,7167	1186	2,35461	1158,72	35.72	16,85



**Muestra JGB-456 (Laboratorio del Servicio Geológico Colombiano)**

Identificación muestra	Relación final $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	Error interno relación final $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ a 2 D,E,	Relación final $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	Error interno relación final $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ a 2 D,E,	Ajuste error de correlación (datos negativos)	Error de correlación $^{206}\text{Pb}/\text{U}$ 238 vs. $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	Edad corregida $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma)	Edad $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (Ma)	% discordia	Edad corregida $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma)	$\pm 2\sigma$	Relación final U/Th
JGB_456_B_15	no value	NAN	no value	NAN	NaN	NaN	#¡VALOR!	no value	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	0,14
JGB_456_B_36	no value	NAN	no value	NAN	NaN	NaN	#¡VALOR!	no value	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	0,28
JGB_456_B_4	0,406	0,026	0,03474	0,00059	0,12947	0,12947	210,89606	341	61,691	210,90	9.18	1,28
JGB_456_B_5	0,323	0,019	0,03354	0,00048	0,0059418	0,0059418	207,55277	279	34,4236	207,55	8.67	1,45
JGB_456_B_11	0,269	0,03	0,02935	0,00065	0,044483	0,044483	183,17221	244	33,208	183,17	8.23	0,66
JGB_456_B_33	0,339	0,024	0,03575	0,00061	0,06071	0,06071	220,57912	290	31,4721	220,58	9.30	1,30
JGB_456_B_52	0,293	0,014	0,03216	0,00057	0,47583	0,47583	199,85392	259	29,5947	199,85	8.67	1,39
JGB_456_B_29	0,302	0,029	0,03263	0,00083	0,34461	0,34461	201,7455	260	28,8752	201,75	9.38	1,16
JGB_456_B_35	0,313	0,017	0,03575	0,00058	0,17436	0,17436	222,00732	277	24,7707	222,01	9.91	1,14
JGB_456_B_39	0,353	0,047	0,03467	0,00057	0,213	0,213	213,82056	266	24,4034	213,82	9.36	0,52
JGB_456_B_14	0,251	0,011	0,03011	0,00053	0,29841	0,29841	189,91251	226,1	19,0548	189,91	8.16	0,51
JGB_456_B_23	0,246	0,013	0,03032	0,00051	0,33998	0,33998	190,72273	226	18,4966	190,72	8.15	0,88
JGB_456_B_13	0,2251	0,0097	0,02844	0,00043	0,31244	0,31244	179,90066	207	15,0635	179,90	7.55	0,56
JGB_456_B_9	0,2097	0,0069	0,02729	0,00044	0,4144	0,4144	172,86208	193,4	11,8811	172,86	7.56	0,62
JGB_456_B_12	0,227	0,012	0,02878	0,0004	0,16222	0,16222	182,14524	209,2	14,8534	182,15	7.57	0,58
JGB_456_B_8	0,23	0,011	0,02955	0,00044	0,2679	0,2679	187,22894	208,1	11,1473	187,23	8.19	0,85
JGB_456_B_24	0,234	0,015	0,03034	0,00052	0,1642	0,1642	191,56444	211	10,1457	191,56	8.19	0,37
JGB_456_B_28	0,249	0,019	0,03171	0,00062	0,037537	0,037537	199,13011	225	12,9914	199,13	8.80	0,96
JGB_456_B_16	0,201	0,011	0,02748	0,00051	0,15662	0,15662	174,75006	185	5,86548	174,75	7.60	0,56
JGB_456_B_10	0,215	0,011	0,02837	0,00041	0,12142	0,12142	180,04429	197,8	9,86185	180,04	7.58	0,76
JGB_456_B_19	0,223	0,015	0,02907	0,00044	0,12929	0,12929	184,10123	202	9,72224	184,10	7.59	0,92
JGB_456_B_18	0,214	0,012	0,02952	0,00045	0,13592	0,13592	187,59932	195,4	4,15816	187,60	8.22	0,78
JGB_456_B_17	0,227	0,01	0,02976	0,00044	0,21876	0,21876	188,40609	207	9,86906	188,41	7.56	0,57
JGB_456_B_20	0,226	0,016	0,03015	0,00053	0,15585	0,15585	191,32657	206	7,66931	191,33	8.23	1,08
JGB_456_B_50	0,2194	0,0097	0,03057	0,00032	0,12144	0,12144	193,41195	200	3,40623	193,41	8.18	0,95
JGB_456_B_7	0,233	0,013	0,0306	0,00048	0,17095	0,17095	193,81681	213	9,89759	193,82	8.20	1,14
JGB_456_B_6	0,224	0,013	0,03089	0,00053	0,22828	0,22828	196,19491	205	4,48793	196,19	8.84	1,31
JGB_456_B_22	0,228	0,013	0,03111	0,0005	0,1711	0,1711	197,21098	207	4,96373	197,21	8.21	1,07
JGB_456_B_42	0,221	0,012	0,03128	0,00038	0,16049	0,16049	197,93325	202,8	2,45879	197,93	8.19	0,86
JGB_456_B_46	0,223	0,016	0,03135	0,00072	0,19495	0,19495	198,29777	202	1,86701	198,30	9.45	1,25
JGB_456_B_21	0,235	0,011	0,03164	0,00041	0,24441	0,24441	200,46215	213,5	6,5039	200,46	8.19	0,85
JGB_456_B_25	0,216	0,01	0,03161	0,00046	0,17103	0,17103	200,77131	198,1	-1,33052	200,77	8.21	1,00
JGB_456_B_49	0,237	0,013	0,03183	0,00042	0,11691	0,11691	201,00285	214	6,46615	201,00	8.80	0,94
JGB_456_B_32	0,221	0,011	0,03176	0,00049	0,2411	0,2411	201,03988	200,4	-0,31829	201,04	8.81	0,98
JGB_456_B_37	0,244	0,024	0,03197	0,0006	0,06952	0,06952	201,22433	221	9,82767	201,22	9.47	1,13
JGB_456_B_3	0,243	0,022	0,03202	0,0005	0,049544	0,049544	201,53591	217	7,67312	201,54	8.84	2,06
JGB_456_B_1	0,24	0,027	0,03194	0,0007	0,11772	0,11772	201,5398	217	7,67104	201,54	8.89	1,80
JGB_456_B_47	0,214	0,012	0,03188	0,00062	0,27711	0,27711	202,46869	196	-3,19491	202,47	8.84	1,15
JGB_456_B_2	0,238	0,017	0,03222	0,00056	0,19973	0,19973	203,38996	218	7,18326	203,39	8.81	0,81
JGB_456_B_31	0,235	0,01	0,03257	0,0004	0,19511	0,19511	205,65344	213,3	3,71818	205,65	8.79	0,82
JGB_456_B_43	0,2343	0,0097	0,03262	0,00037	0,22313	0,22313	206,32475	213,4	3,42918	206,32	8.17	0,86
JGB_456_B_34	0,2283	0,0098	0,03296	0,00035	0,20118	0,20118	208,5305	208,4	-0,06258	208,53	8.80	1,00
JGB_456_B_30	0,223	0,012	0,03298	0,00041	0,17726	0,17726	209,14788	204	-2,46136	209,15	8.83	0,57
JGB_456_B_51	0,229	0,01	0,03324	0,00036	0,10694	0,10694	210,72704	210,3	-0,20265	210,73	8.82	1,14
JGB_456_B_40	0,249	0,013	0,03388	0,00044	0,17192	0,17192	213,33164	226	5,93834	213,33	8.78	0,99
JGB_456_B_41	0,2279	0,0097	0,03395	0,00077	0,4518	0,4518	215,33931	208	-3,40825	215,34	10.07	0,42
JGB_456_B_38	0,2334	0,0087	0,0341	0,00068	0,3061	0,3061	215,82568	211,9	-1,81891	215,83	9.42	1,11
JGB_456_B_27	0,237	0,011	0,03411	0,0005	0,19103	0,19103	215,9418	215,7	-0,11197	215,94	9.43	0,75
JGB_456_B_44	0,228	0,013	0,03502	0,00051	0,1	-0,035553	222,5993	206	-7,45703	222,60	9.47	1,06
JGB_456_B_48	0,2635	0,0098	0,03533	0,00046	0,055356	0,055356	222,66563	237,5	6,66218	222,67	9.39	1,15
JGB_456_B_45	0,243	0,012	0,03533	0,00046	0,22609	0,22609	223,93869	220,5	-1,53555	223,94	9.44	1,01
JGB_456_B_26	0,351	0,014	0,0485	0,0013	0,60548	0,60548	304,65273	305	0,11399	304,65	15.51	4,23

## Muestra LMC-059 (Laboratorio del Servicio Geológico Colombiano)

Identificación muestra	Relación final $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	Error interno relación final $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ a 2 D.E.	Relación final $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	Error interno relación final $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ a 2 D.E.	Ajuste error de correlación (datos negativos)	Error de correlación $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ vs. $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	Edad corregida $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma)	Edad $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (Ma)	% discordia	Edad corregida $^{206}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ /U 238 (Ma)	$\pm 2\sigma$	Relación final U/Th
LMC_059_A_39	0,0026	0,0015	0,000007	0,000011	0,1	-0,03729	0,0391837	2,6	6535,41	0,04	0.06	4,25
LMC_059_A_38	0,0008	0,0012	0,000006	0,000011	0,19074	0,19074	0,0345658	0,8	2214,43	0,03	0.06	7,22
LMC_059_A_8	0,212	0,017	0,01838	0,00073	0,28855	0,28855	112,42681	198	76,1146	112,43	6.18	3,00
LMC_059_A_2	0,391	0,028	0,0352	0,00073	0,10004	0,10004	213,79883	330	54,3507	213,80	9.82	1,72
LMC_059_A_20	0,345	0,019	0,03252	0,00093	0,30623	0,30623	200,07477	304	51,9432	200,07	9.23	3,45
LMC_059_A_12	0,24	0,02	0,02349	0,0006	0,089294	0,089294	145,03692	218	50,3066	145,04	6.87	2,71
LMC_059_A_28	0,319	0,018	0,0308	0,00086	0,4837	0,4837	190,17104	282	48,2876	190,17	9.24	0,88
LMC_059_A_10	0,357	0,055	0,0345	0,0011	0,1	-0,049942	212,02475	302	42,4362	212,02	11.50	1,72
LMC_059_A_15	0,28	0,015	0,0295	0,00049	0,19744	0,19744	183,19234	249	35,9227	183,19	7.46	1,99
LMC_059_A_1	0,163	0,012	0,01951	0,00053	0,29538	0,29538	122,44417	155	26,5883	122,44	6.17	3,01
LMC_059_A_35	0,27	0,021	0,03133	0,00059	0,067434	0,067434	196,32323	243	23,7755	196,32	8.78	1,46
LMC_059_A_11	0,224	0,023	0,02814	0,00066	0,22419	0,22419	177,21979	212	19,6255	177,22	8.24	3,69
LMC_059_A_9	0,256	0,026	0,03175	0,00063	0,1	-0,064944	199,15403	236	18,5012	199,15	8.86	1,47
LMC_059_A_37	0,252	0,025	0,03069	0,00066	0,12771	0,12771	193,46284	227	17,3352	193,46	8.86	1,21
LMC_059_A_17	0,278	0,018	0,03351	0,00052	0,15817	0,15817	210,21076	246	17,0254	210,21	9.39	1,10
LMC_059_A_26	0,257	0,021	0,032	0,00055	0,047423	0,047423	201,33576	233	15,7271	201,34	8.82	1,04
LMC_059_A_29	0,195	0,01	0,02543	0,00042	0,069321	0,069321	161,05553	180	11,7627	161,06	6.95	2,12
LMC_059_A_40	0,21	0,012	0,02893	0,00041	0,25515	0,25515	183,29128	194,5	6,11525	183,29	8.20	1,43
LMC_059_A_34	0,227	0,012	0,03054	0,00043	0,18424	0,18424	193,46453	207,1	7,04805	193,46	8.19	1,57
LMC_059_A_33	0,236	0,022	0,03075	0,00063	0,07132	0,07132	194,32172	215	10,6413	194,32	8.86	1,36
LMC_059_A_43	0,239	0,012	0,03098	0,00046	0,13867	0,13867	195,34628	218	11,5967	195,35	8.78	1,35
LMC_059_A_41	0,232	0,01	0,03128	0,0004	0,012724	0,012724	197,85939	212,7	7,50058	197,86	8.18	0,99
LMC_059_A_36	0,235	0,016	0,03136	0,00042	0,12861	0,12861	198,11364	214	8,01881	198,11	8.82	1,15
LMC_059_A_25	0,235	0,016	0,03148	0,00047	0,11164	0,11164	199,48337	213	6,77582	199,48	8.84	1,16
LMC_059_A_30	0,231	0,013	0,03159	0,00045	0,064738	0,064738	199,92488	212	6,03983	199,92	8.82	1,60
LMC_059_A_31	0,23	0,017	0,03158	0,00053	0,10074	0,10074	200,0113	211	5,49404	200,01	8.84	1,78
LMC_059_A_14	0,21	0,017	0,03148	0,00054	0,06817	0,06817	200,42451	192	-4,20333	200,42	8.89	1,94
LMC_059_A_6	0,236	0,013	0,03186	0,00046	0,088912	0,088912	201,19038	217	7,85804	201,19	8.80	1,10
LMC_059_A_13	0,223	0,02	0,0318	0,00055	0,16795	0,16795	201,61566	202	0,19063	201,62	8.87	1,99
LMC_059_A_45	0,226	0,013	0,03188	0,00048	0,1	-0,052722	201,867	204	1,05664	201,87	8.83	0,73
LMC_059_A_22	0,234	0,016	0,03204	0,00053	0,18811	0,18811	202,64309	212	4,61743	202,64	8.83	1,32
LMC_059_A_32	0,227	0,014	0,03209	0,00057	0,23967	0,23967	203,4607	208	2,23104	203,46	8.83	1,33
LMC_059_A_44	0,209	0,015	0,03221	0,00058	0,069152	0,069152	204,8214	194	-5,28333	204,82	8.87	1,09
LMC_059_A_21	0,261	0,015	0,03272	0,00045	0,095445	0,095445	205,74237	233	13,2484	205,74	8.77	1,06
LMC_059_A_46	0,239	0,015	0,03263	0,00056	0,13045	0,13045	206,28479	218	5,67914	206,28	8.82	1,07
LMC_059_A_23	0,251	0,019	0,03294	0,00094	0,39769	0,39769	207,31853	230	10,9404	207,32	8.79	1,65
LMC_059_A_19	0,267	0,02	0,0335	0,00052	0,0080378	0,0080378	210,46429	237	12,6082	210,46	9.41	1,33
LMC_059_A_27	0,2502	0,0085	0,03334	0,00045	0,16654	0,16654	210,56901	226,4	7,5182	210,57	8.78	1,43
LMC_059_A_16	0,259	0,023	0,03346	0,00055	0,012173	0,012173	210,66218	222	5,38199	210,66	9.46	1,27
LMC_059_A_4	0,269	0,037	0,0335	0,0011	0,090301	0,090301	210,70105	233	10,5832	210,70	10.85	1,12
LMC_059_A_24	0,238	0,012	0,03344	0,00044	0,22838	0,22838	211,9027	219	3,34932	211,90	8.82	1,78
LMC_059_A_42	0,247	0,016	0,03374	0,00056	0,11377	0,11377	213,14788	226	6,02967	213,15	9.44	0,91
LMC_059_A_5	0,255	0,026	0,034	0,00073	0,096919	0,096919	214,29263	229	6,86322	214,29	10.11	1,16
LMC_059_A_18	0,25	0,01	0,03431	0,00039	0,090114	0,090114	217,11345	227,2	4,64575	217,11	9.42	0,84
LMC_059_A_3	0,265	0,022	0,03626	0,00075	0,098556	0,098556	228,31862	237	3,80231	228,32	10.06	1,68
LMC_059_A_7	0,849	0,021	0,1023	0,0014	0,52023	0,52023	628,00725	628	-0,00115	628,01	26.36	12,53

**Muestra AMC- 0127 (Laboratorio de la Universidad Nacional Autónoma de México)**

	U (ppm) <sup>1</sup>	Th (ppm) <sup>1</sup>	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	±2s abs	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	±2s abs	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	±2s abs	Rho	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	±2s	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	±2s	Best age (Ma)	±2s	Disc%	Error	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	±2s
Circón-013	269,8	66	0,24	0,1268	0,0068	2,4100	0,1100	0,1357	0,0035	0,43	1245,0	33,0	2,053,0	94,0	2,053,0	94,0	34,14	4,58%	820,0	20,0
Circón-006	288,1	228	0,79	0,0685	0,0041	0,2960	0,0180	0,0317	0,0006	0,20	266,0	14,0	830,0	140,0	201,3	3,9	24,32	1,94%	201,3	3,9
Circón-017	300,2	273,2	0,91	0,0593	0,0034	0,2620	0,0140	0,0321	0,0006	0,09	236,0	11,0	540,0	120,0	203,9	3,5	13,60	1,72%	203,9	3,5
Circón-033	70,9	35	0,49	0,0520	0,0068	0,1790	0,0190	0,0249	0,0008	0,03	166,0	16,0	240,0	240,0	158,4	5,3	4,58	3,35%	158,4	5,3
Circón-035_ AMC-0127	596	960	1,61	0,0495	0,0025	0,2093	0,0093	0,0306	0,0004	0,12	192,7	7,9	160,0	110,0	194,3	2,6	-0,83	1,34%	194,3	2,6
Circón-003	183	207	1,13	0,0511	0,0040	0,2150	0,0170	0,0307	0,0006	0,06	197,0	14,0	240,0	170,0	194,8	3,9	1,12	2,00%	194,8	3,9
Circón-004	271	163,2	0,60	0,0532	0,0039	0,2230	0,0260	0,0310	0,0014	0,43	203,0	20,0	240,0	150,0	196,5	8,6	3,20	4,38%	196,5	8,6
Circón-028	216	282	1,31	0,0511	0,0053	0,2160	0,0240	0,0311	0,0008	0,02	202,0	19,0	240,0	180,0	197,5	5,0	2,23	2,53%	197,5	5,0
Circón-018	891	708	0,79	0,0511	0,0024	0,2170	0,0100	0,0315	0,0004	0,40	199,1	8,7	230,0	110,0	199,9	2,8	-0,40	1,40%	199,9	2,8
Circón-005	199,5	201	1,01	0,0526	0,0057	0,2310	0,0230	0,0317	0,0007	0,48	210,0	19,0	270,0	210,0	200,9	4,4	4,33	2,19%	200,9	4,4
Circón-027	648	462	0,71	0,0495	0,0026	0,2170	0,0120	0,0317	0,0007	0,28	199,0	10,0	160,0	120,0	201,2	4,5	-1,11	2,24%	201,2	4,5
Circón-022	505	325	0,64	0,0505	0,0029	0,2210	0,0110	0,0319	0,0006	0,13	203,4	9,8	210,0	120,0	202,1	3,5	0,64	1,73%	202,1	3,5
Circón-021	2260	247,5	0,11	0,0513	0,0020	0,2235	0,0077	0,0319	0,0004	0,16	204,8	6,4	246,0	92,0	202,2	2,4	1,27	1,19%	202,2	2,4
Circón-023	489,6	287,6	0,59	0,0499	0,0028	0,2180	0,0100	0,0319	0,0005	0,07	202,7	8,8	190,0	120,0	202,5	3,1	0,10	1,53%	202,5	3,1
Circón-007	385	337	0,88	0,0511	0,0035	0,2240	0,0140	0,0319	0,0006	0,04	207,0	11,0	230,0	140,0	202,6	3,5	2,13	1,73%	202,6	3,5
Circón-008	373	229	0,61	0,0518	0,0034	0,2280	0,0140	0,0322	0,0006	0,13	208,0	11,0	300,0	150,0	204,0	3,7	1,92	1,81%	204,0	3,7
Circón-024	378	324	0,86	0,0517	0,0030	0,2300	0,0120	0,0324	0,0006	0,15	210,9	9,7	280,0	110,0	205,4	3,5	2,61	1,70%	205,4	3,5
Circón-016	705	398	0,56	0,0512	0,0031	0,2260	0,0200	0,0325	0,0013	0,25	206,0	15,0	230,0	110,0	206,3	8,3	-0,15	4,02%	206,3	8,3
Circón-031	466	352	0,76	0,0493	0,0028	0,2210	0,0110	0,0327	0,0007	0,05	202,8	9,2	160,0	130,0	207,5	4,3	-2,32	2,07%	207,5	4,3
Circón-010	512	485	0,95	0,0506	0,0027	0,2280	0,0120	0,0328	0,0006	0,33	207,9	9,6	200,0	120,0	207,8	3,5	0,05	1,68%	207,8	3,5
Circón-034	310	463	1,49	0,0542	0,0046	0,2400	0,0180	0,0328	0,0007	0,07	220,0	15,0	370,0	180,0	207,9	4,0	5,50	1,92%	207,9	4,0
Circón-014	229,1	236,7	1,03	0,0523	0,0034	0,2420	0,0160	0,0333	0,0006	0,01	219,0	13,0	340,0	140,0	211,2	3,5	3,56	1,66%	211,2	3,5
Circón-015	880	438	0,50	0,0524	0,0035	0,2440	0,0160	0,0335	0,0005	0,10	221,0	12,0	290,0	120,0	212,7	2,9	3,76	1,36%	212,7	2,9
Circón-019	730	908	1,24	0,0552	0,0026	0,2660	0,0120	0,0348	0,0005	0,12	238,9	9,3	430,0	110,0	220,5	3,0	7,70	1,36%	220,5	3,0
Circón-009	676	19,8	0,03	0,0574	0,0027	0,5810	0,0230	0,0732	0,0012	0,30	466,0	15,0	510,0	100,0	455,6	7,0	2,23	1,54%	455,6	7,0
Circón-026	497	110,7	0,22	0,0568	0,0024	0,5960	0,0230	0,0757	0,0012	0,36	476,0	15,0	482,0	89,0	470,5	7,3	1,16	1,55%	470,5	7,3
Circón-029	210,3	71,1	0,34	0,0729	0,0029	1,7460	0,0620	0,1743	0,0027	0,27	1,028,0	23,0	1,012,0	81,0	1,012,0	81,0	-0,78	8,00%	1,036,0	15,0
Circón-020	289,9	116,9	0,40	0,0783	0,0031	2,2320	0,0780	0,2046	0,0025	0,14	1,189,0	25,0	1,159,0	78,0	1,159,0	78,0	-0,93	6,73%	1,200,0	13,0
Circón-025	1,688	21	0,01	0,0800	0,0028	1,7090	0,0730	0,1548	0,0048	0,90	1,011,0	30,0	1,195,0	71,0	1,195,0	71,0	8,21	5,94%	928,0	26,0
Circón-002	45	19,49	0,43	0,0820	0,0045	2,4000	0,1200	0,2099	0,0044	0,23	1,237,0	36,0	1,230,0	110,0	1,230,0	110,0	0,73	8,94%	1,228,0	24,0
Circón-030	145,7	52,5	0,36	0,0851	0,0037	2,2500	0,1200	0,1905	0,0072	0,22	1,196,0	40,0	1,308,0	82,0	1,308,0	82,0	6,02	6,27%	1,124,0	39,0
Circón-012	905	281	0,31	0,0850	0,0034	2,6900	0,2100	0,2290	0,0160	0,71	1,328,0	77,0	1,312,0	81,0	1,312,0	81,0	0,08	6,17%	1,327,0	87,0
Circón-032	1,307	111,3	0,09	0,0887	0,0031	2,2940	0,0710	0,1884	0,0020	0,74	1,210,0	22,0	1,400,0	66,0	1,400,0	66,0	8,10	4,71%	1,112,0	11,0
Circón-001_ AMC-0127	121,1	117,5	0,97	0,0941	0,0039	3,2700	0,2400	0,2520	0,0150	0,16	1,472,0	68,0	1,501,0	83,0	1,501,0	83,0	1,56	5,53%	1,449,0	80,0
Circón-011	357	161,7	0,45	0,1035	0,0038	3,9300	0,1500	0,2785	0,0052	0,47	1,619,0	33,0	1,685,0	70,0	1,685,0	70,0	2,22	4,15%	1,583,0	27,0