

Cuarzomonzonita de Sombrerillo

» **Cordillera Central**
Departamentos del Huila y Cauca

José Gilberto Bermúdez C., Gilberto Zapata G.,
Gabriel Rodríguez G. y María Isabel Arango M.

Catálogo de las unidades litoestratigráficas de Colombia / Cretácico Inferior
(Valanginiano)

Citación: Bermúdez, J. G., Zapata, G., Rodríguez, G. y Arango, M. I. (2022). Cuarzomonzonita de Sombrerillo. En *Catálogos de las unidades litoestratigráficas de Colombia: Valle Superior del Magdalena*. Vol. 2. Servicio Geológico Colombiano. <https://doi.org/10.32685/9789585313194.2>

En el Valle Superior del Magdalena hay evidencia de actividad magmática jurásica, como el emplazamiento de cuerpos intrusivos entre graníticos y dioríticos, cuerpos hipoabisales y vulcanismo riolítico-riodacítico. Dicha actividad tiene una orientación preferencial norte-noreste, concordante con el rumbo de las fallas regionales que marcan la tectónica del valle y delimitan las diferentes unidades. La Cuarzomonzonita de Sombrerillo es uno de estos cuerpos.

Los catálogos de las unidades litoestratigráficas de Colombia tienen por objeto la divulgación, unificación y homologación de la nomenclatura estratigráfica del país. En el catálogo de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo se incluyen los análisis petrográficos, químicos y de geocronología U-Pb realizados en el plutón. Con este trabajo se pretende ampliar el conocimiento geológico del país.

1. Proponente del nombre

Atendiendo a las recomendaciones de la International Subcommission on Stratigraphic Classification (1987; Salvador, 1994), se propone utilizar la denominación *Cuarzomonzonita de Sombrerillo* para este cuerpo intrusivo, teniendo en cuenta su litología dominante y manteniendo el nombre geográfico con el que se describió originalmente.

2. Proveniencia del nombre y distribución geográfica

El componente geográfico del nombre proviene del río Sombrerillo, a partir del cual fue descrito por Grosse (1935) como *Macizo del Río Sombrerillo en el camino Pitalito-San Agustín, entre la desembocadura de la quebrada Ahorcado y el río Sombrerillo*, como "una intrusión de granodiorita que aflora en las dos márgenes del río Sombrerillo, al SE de San Agustín".

Álvarez (1983) propuso el nombre de *Granitoide de San Agustín*, refiriendo que su composición varía entre granodiorita y granito.

En la Plancha 412: San Juan de Villalobos (Ingeominas y Geoestudios, 1999), este cuerpo fue considerado parte del Batolito de Mocoa, pero Cárdenas *et al.* (2003) pudieron establecer que no hay continuidad espacial con el batolito y que ambos cuerpos están separados por el Sistema de Fallas Algeciras.

Cárdenas *et al.* (2003) separaron las rocas intrusivas del Macizo del Río Sombrerillo en dos cuerpos, para los cuales propusieron los nombres de Cuarzomonzodiorita Sombrerillo y Granito Altamira.

2.1. Distribución geográfica

La Cuarzomonzodiorita de Sombrerillo está expuesta en la Plancha 388: Pitalito, continúa en la Plancha 412: San Juan de Villalobos, y se prolonga hasta el sector oriental de la Plancha 411: La Cruz, y en el norte de la Plancha 430: Mocoa (figura 1). Este cuerpo tiene un área de 1 229 km².

Según Cárdenas *et al.* (2003), en la Plancha 388 los mejores afloramientos están ubicados en la carretera Pitalito-San Agustín, entre la vía que conduce a las veredas Los Cauchos y Bajo Frutal, hasta el puente sobre el río Sombrerillo; también en una cantera localizada en la partida hacia el Alto del Obispo, donde se observan dos tipos de roca: una ácida de color rosado y otra intermedia de color gris verdoso. Asimismo, en el río Granadillo y sobre la vía río Granadillo-vereda Argelia se observan buenas exposiciones del plutón; también se encuentran manifestaciones del intrusivo en el río Guachicos, al SW de Bruselas. Otros afloramientos se encuentran en el río Granates, al NW de Saladoblanco, por la carretera que conduce a La Cabaña y Morelia.

Para Núñez (2003), los afloramientos más accesibles en la Plancha 412 se encuentran en la carretera Pitalito-Mocoa, en los alrededores de la población de San Juan de Villalobos, especialmente al sur de ella; también hay exposición de rocas de este cuerpo, muy cizalladas por efectos de la Falla San Francisco-Yunguillo, en los alrededores de la población de San Francisco (Plancha 430). En la Plancha 411 afloran en el río Caquetá y su afluente, el Cascabel, cerca de la localidad de Descanse.

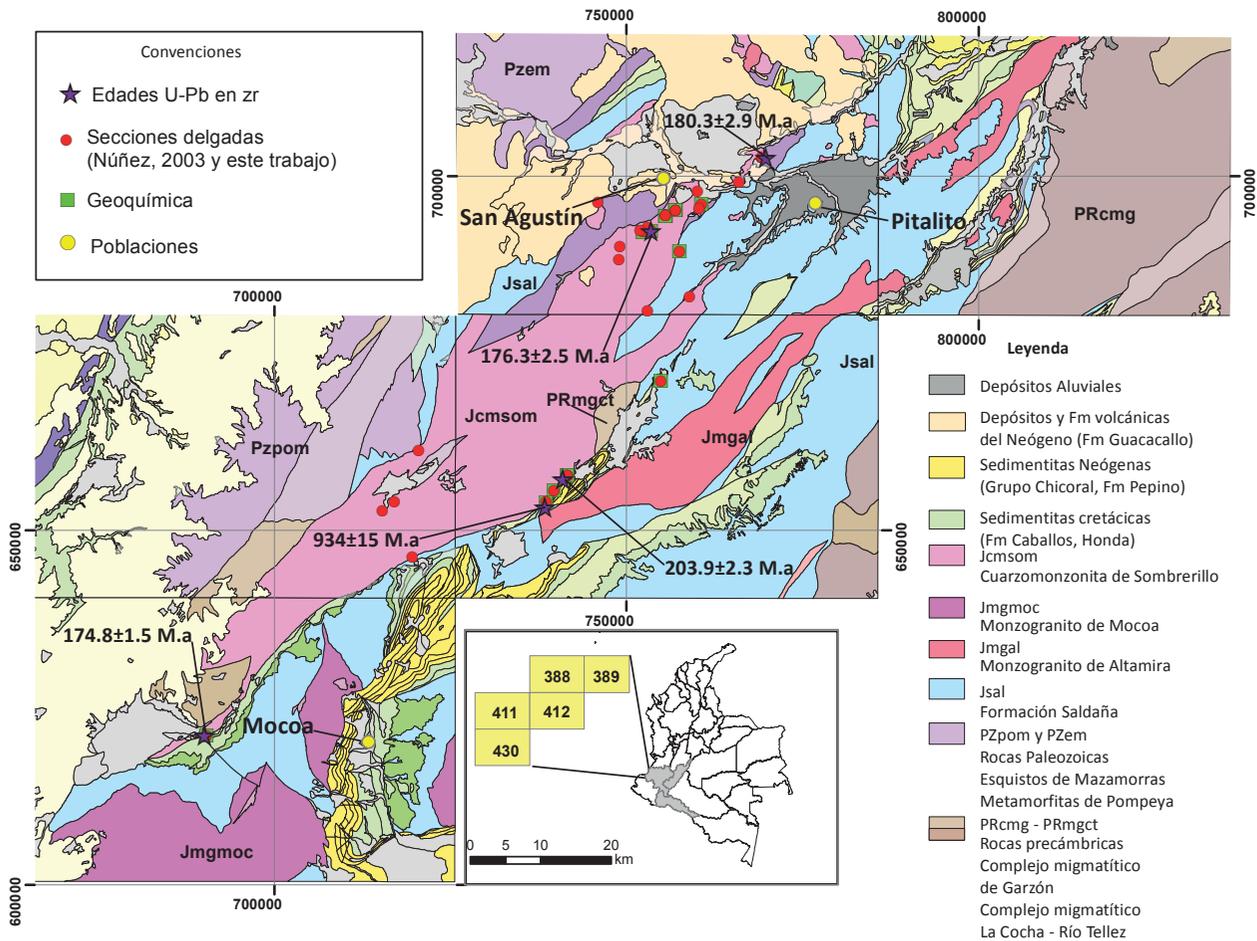


Figura 1. Localización de la cuarzomonzonita de Sombrerillo
Fuente: Cartografía Ingeominas, de las planchas 388, 389, 411, 412 y 430.

3. Reseña histórica

La primera referencia a este cuerpo intrusivo, descrito como Macizo de Sombrerillo, fue hecha por Grosse (1930 y publicada en 1935) en un trabajo titulado *Acerca de la geología del sur de Colombia*, donde se lo consideró un intrusivo del Terciario Inferior (Julivert, 1968).

El Macizo de Sombrerillo fue descrito por Grosse (1935) como “una intrusión de granodiorita que aflora en las dos márgenes del río Sombrerillo, al SE de San Agustín”; también mencionó afloramientos cerca de la quebrada Ahorcado y otros macizos (Descanse-Yunguillo, Tarabita, Río Sombrerillo, y La Plata-La Topa), que por la inexistencia de cartografía en la época, no se pudo aseverar si eran cuerpos intrusivos aislados o formaban uno o varios cuerpos. Grosse (1935, en Julivert, 1968) indica que, “dada la posición del Macizo del Río Sombrerillo, situado al NE del Macizo de Descanse-Yunguillo, en

la dirección de la Cordillera, sería posible que ambos macizos fueran la continuación uno del otro”.

Hubach y Radelli (1962, en Julivert, 1968), en el *Mapa geológico de Colombia*, interpretan que los tres macizos de Yunguillo-Descanse, Tarabita y Río Sombrerillo forman un solo cuerpo de forma alargada. Posteriormente, Álvarez (1983) propuso el nombre de Granitoide de San Agustín.

Ingeominas y Geostudios (1999) consideraron que en la Plancha 412: San Juan de Villalobos, este cuerpo hace parte del Batolito de Mocoa, pero Cárdenas *et al.* (2003) definieron que están separados por el Sistema de Fallas Algeciras y que no hay continuidad espacial con el Batolito de Mocoa.

Cárdenas *et al.* (2003) separaron en dos cuerpos las rocas intrusivas del Macizo del Río Sombrerillo y propusieron los nombres de Cuarzomonzodiorita Sombrerillo y Granito Altamira.

Núñez (2003), en la memoria de las planchas 411, 412, 430, 431, 448, 449 y 465, emplea la denominación Cuarzomonzodiorita Sombrerillos.

4. Descripción geológica

Macroscópicamente las rocas de este plutón son de colores gris y rosado, con diversas tonalidades, dependiendo de la composición mineralógica y el grado de meteorización (figura 2). Por lo regular, las rocas se encuentran entre moderada y altamente meteorizadas, forman saprolitos y suelos areno-arcillosos, con espesores que alcanzan hasta 15 m. Tienen textura fanerítica media a gruesa y en algunas zonas se presentan texturas levemente porfiríticas. Ocasionalmente hay presencia de autolitos o garros con diámetro de 10 a 20 cm. Se presentan diques andesíticos a dacíticos, con espesor de hasta 40 cm. Con

menor frecuencia se encuentran diques y venillas cuarzo-feldespáticas, aplíticas y de cuarzo.

Microscópicamente corresponde a rocas holocristalinas, con textura dominante hipidiomórfica inequigranular, con variaciones a alotriomórfica y panidiomórfica, subordinadas. Los análisis petrográficos realizados a 29 secciones delgadas muestran que no es un cuerpo homogéneo, está conformado por cuarzomonzonitas, monzogranitos, cuarzomonzodioritas, granodioritas, monzodiorita, sienogranito y tonalita (tabla 1), entre los que predomina la cuarzomonzonita (37,93%) y abundan el monzogranito (20,69%), cuarzomonzodiorita (20,69%) y granodiorita (10,34%).

La composición mineralógica es bastante uniforme, pero varía en el contenido de los minerales esenciales, lo que se refleja en la diversidad composicional (tabla 1 y figura 3). Presenta texturas mirmequíticas, ocasionalmente micrográficas, pertitas y antipertitas, por exsolución en forma de lamelas de plagioclasa en feldespatos y viceversa, y texturas poiquilíticas por inclusiones múltiples de cuarzo y opacos en hornblenda.



Figura 2. Afloramientos de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo a) Estación MIA-532 (IGM-900808) en la vía Villalobos-Mocoa; b) Vista desde la Estación MIA-532: relieves pronunciados del intrusivo en la quebrada La Cascada, vía Villalobos-Mocoa.

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

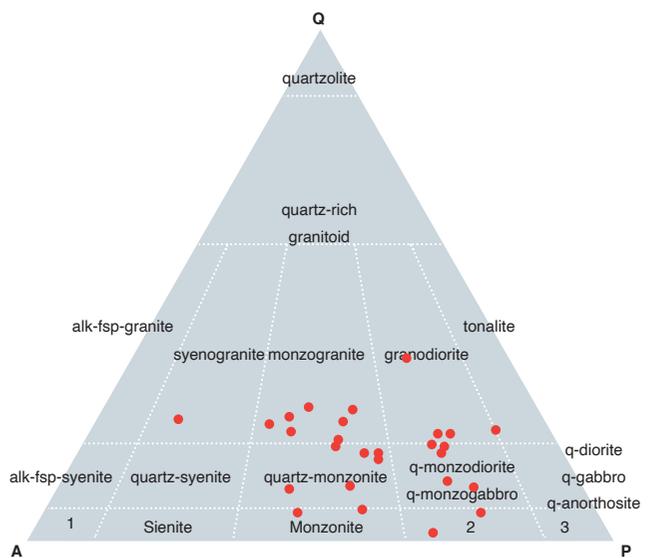


Figura 3. Diagrama de clasificación QAPF correspondiente a las rocas de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo Fuente: Strekeisen (1974).

Tabla 1. Composición modal de las rocas de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo

IGM	Qtz	Pl	Kfs	Cpx	Opx	Hbl	Bt	Op	Ttn	Ap	Zrn	Ep	All	Chl	Otros	Clasificación petrográfica
900764	20	35	28		1	4	3	0,5		0,5	0,5			Tr	Qtz de introducción(7,5)	Monzogranito con metamorfismo sobreimpuesto
900765A	4,5	37	44		1	6	4	1	1	0,5	0,5	0,5		Tr		Cuarzomonzonita
900766	4,5	41	29,5	5	2	10,5	4	1	Tr	0,5	1	0,5			Ser (0,5%)	Cuarzomonzonita
900768	15	48	5	2,7		14	14,5	0,8	Tr	Tr	Tr	Tr				Tonalita
900769	24	39	28			7		1	Tr	0,5	0,5					Monzogranito
900773	9,8	43,6	34,6	1,4	Tr	5,3	3,8	0,8	Tr	0,7	Tr					Cuarzomonzonita
900774	8,9	62	14,6	4,5		7	0,6	2,5		Tr	Tr					Cuarzomonzodiorita
900796	16,4	46,4	13,6			20		0,71	0,19			2,70		Tr	Ser (Tr)	Granodiorita
900808	13,5	43	25,5				11	2,2		1	0,5	2,8			Ser+Cal (0,5%)	Cuarzomonzonita
900810	14	40,5	24				15	1,5		0,5	Tr	3,5			Ser+Cal de Pl (1%)	Cuarzomonzonita con recristalización térmica
900811	12	40,7	25,3			13,5		2	0,5	1,5	Tr	2,5			Ser + Cal de Pl (1%) Bt de Hbl (1%)	Granofels
901238	24,1	31	34,4				8,2	0,5			Tr	1,5	Tr	Tr		Monzogranito
*163425	22	28	38			5	5,6									Monzogranito
*163432	9,7	38	48,4				3									Cuarzomonzonita
*163433	24	12	62			Tr	1,5									Sienogranito
*163435	8,6	40	31,2				9,2	6,6								Cuarzomonzonita hornbléndica
*163436	12,9	43	12,4				14,7	14,1								Cuarzomonzodiorita hornbléndica
*163463	0,8	47	19,4	15			7,2	8,6								Monzodiorita
*163519	14,2	39	26,2				8,8	10,8								Cuarzomonzonita biotítica hornbléndica
*163523	14,6	33	28,4				11,2	9,4								Cuarzomonzonita biotítica hornbléndica
*163568	3,4	49	11,8				30,4	2,8								Cuarzomonzodiorita hornbléndica
*163569	9,8	57	18				8,6	1,8								Cuarzomonzodiorita hornbléndica
*163573	17,8	51	12,8				5,8	10,8								Granodiorita biotítica
*163577	15,2	54	16,4				10,6	2,4								Cuarzomonzodiorita hornbléndica
C-844	35	44,3	14,7				Tr			Tr		Tr	Tr	6	Ser (Tr)	Granodiorita
H-864	6	13	11		23	25	1		Tr	Tr		Tr		19	Cb 2%, Ser	Cuarzomonzonita hornbléndica piroxénica
Z-705	22	27,3	44,7					Tr	0,8		Tr	0,4		4,4	Ser (Tr) + carbonatos (0,4%)	Monzogranito
Z-728	16	50	16,8			8,8	8	0,4	Tr	Tr	Tr	Tr			Ser	Cuarzomonzodiorita
Z-792	19,2	29,2	38,4			6		Tr	0,4	Tr		1,6		5,2	Ser, Sau, Kln	Monzogranito

* Porcentajes tomados de Cárdenas et al. (2003) y Núñez (2003).

Granofels: roca metamórfica

4.1. Cuarzomonzonita-monzogranito

Las cuarzomonzonitas y monzogranitos conforman el 58,62% del cuerpo. Macroscópicamente son rocas entre leucocráticas y mesocráticas, equigranulares, de color blanco moteado de verde y rosado, de grano medio a grueso, compuestas por cristales subhedrales de plagioclasa, feldespato rosado, cuarzo anhedral y hornblenda (figura 4).

Prevalecen las cuarzomonzonitas, de las cuales se analizaron once secciones delgadas, sobre los monzogranitos (se analizaron seis secciones delgadas). Están constituidas por cuarzo que varía entre 4,5% y 14,6%; la plagioclasa varía del 13% al 43,6%; el contenido de feldespato (corresponde a ortosa y microclina), entre 11% y 48,4%; como minerales máficos son comunes la

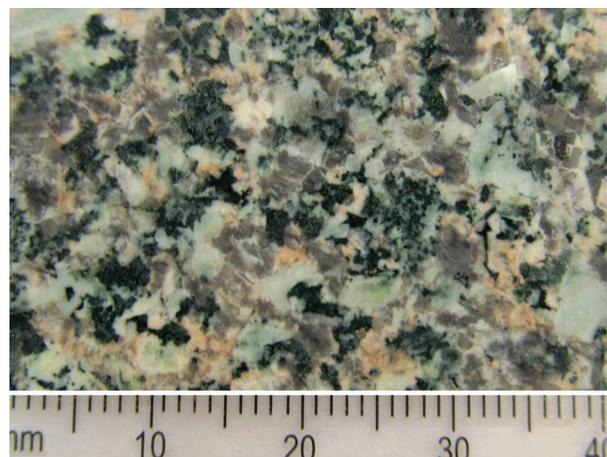


Figura 4. Aspecto macroscópico Monzogranito (IGM 900769)

hornblenda, hasta el 25%, biotita en el monzogranito hasta el 15%; el clinopiroxeno no está presente en la cuarzomonzonita, y en el monzogranito y en las demás rocas puede llegar hasta el 5%, y el ortopiroxeno, hasta el 23% en la muestra H-864. Como minerales accesorios es común encontrar titanita, apatito, opacos, circón y, ocasionalmente, rutilo, allanita y carbonatos. Los minerales félsicos se alteran frecuentemente a sericita, saussurita, caolín y epidota, mientras que los minerales máficos, a clorita, biotita, hornblenda, calcita y óxidos de hierro. Las rocas presentan textura hipidiomórfica a alotriomórfica granular inequigranular, y frecuentemente muestran intercrecimientos micrográficos y desmezclas peritíticas y antipertíticas en finas lamelas en el feldespato alcalino y la plagioclasa, respectivamente.

La plagioclasa de composición $An_{(10-42)}$ oligoclasa-andesina aparece como cristales euhedrales a subhedrales de hábito tabular, forma texturas mirmequíticas por intercrecimiento con cuarzo y, más frecuentemente, perfitas y antiperfitas por intercrecimiento en los bordes con feldespato potásico en forma de lamelas; otras veces aparece con textura poiquilítica dada por la inclusión de opacos, maclada según la ley albita-Carlsbad, y menos frecuentemente por periclina, presenta inclusiones de biotita, hornblenda, circón, cuarzo, clinopiroxeno y opacos. Generalmente el tamaño de los cristales varía de 0,3 a 1 mm; ocasionalmente alcanza los 3 mm. Normalmente se presenta alterada en diferente grado a sericita, saussurita y minerales arcillosos y epidota. Es menos frecuente la alteración a calcita, que se restringe al centro de los cristales que presentan zonación (figuras 5, y 6 c y d).

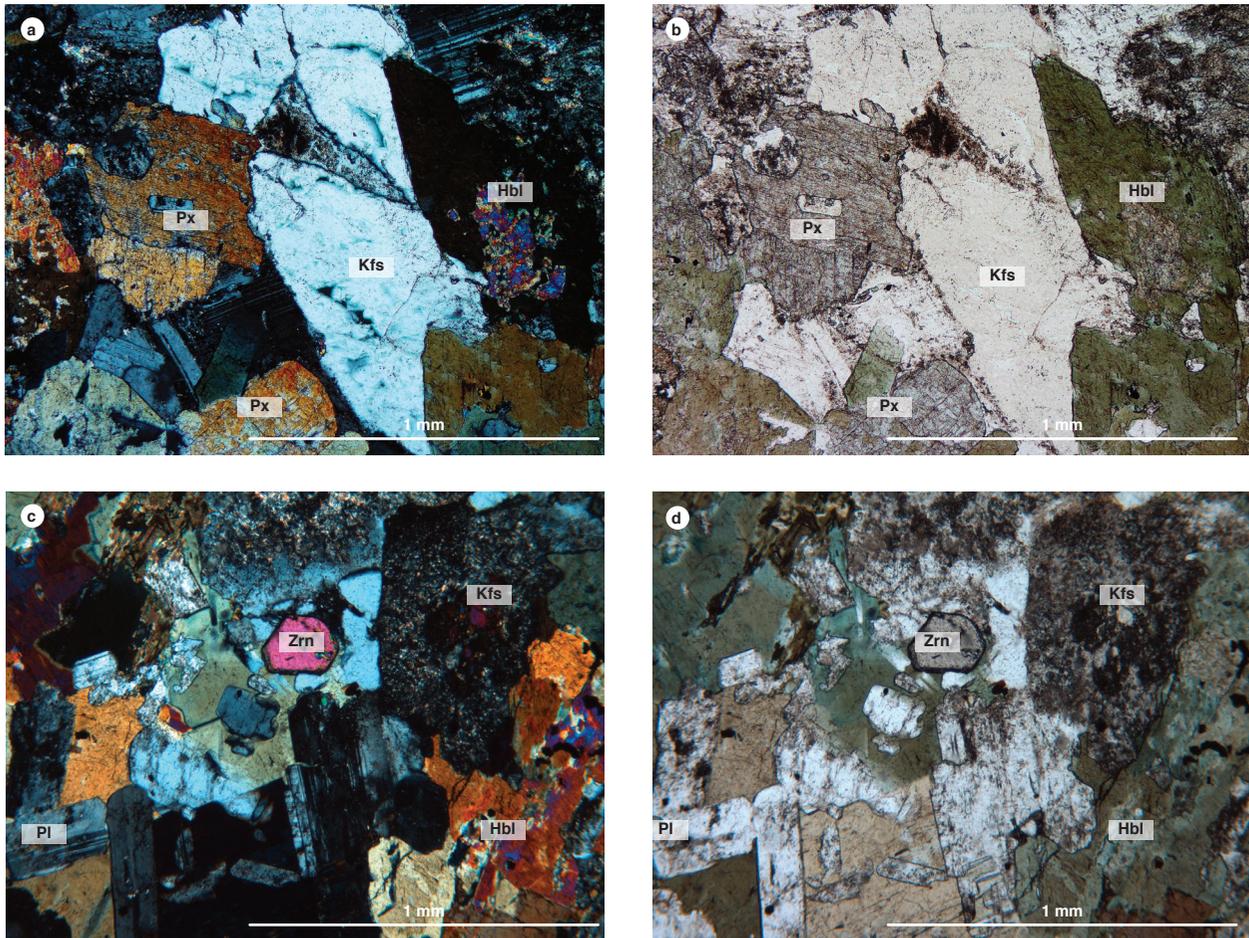


Figura 5. Aspecto microscópico cuarzomonzonita

a) Muestra H-864 compuesta por Plagioclasa (Pl), hornblenda (Hbl) cloritizado, piroxeno (Px) y feldespato potásico (Kfs) XPL; b) Muestra H-864 compuesta por Plagioclasa (Pl), hornblenda (Hbl) cloritizado, piroxeno (Px) y feldespato potásico (Kfs) PPL; c) IGM 900766. Inclusión de circón (Zrn) en feldespato (Kfs) XPL, Aumento 10X; d) IGM 900766. Inclusión de circón (Zrn) en feldespato (Kfs), hornblenda (Hbl) y plagioclasa (Pl) PPL.

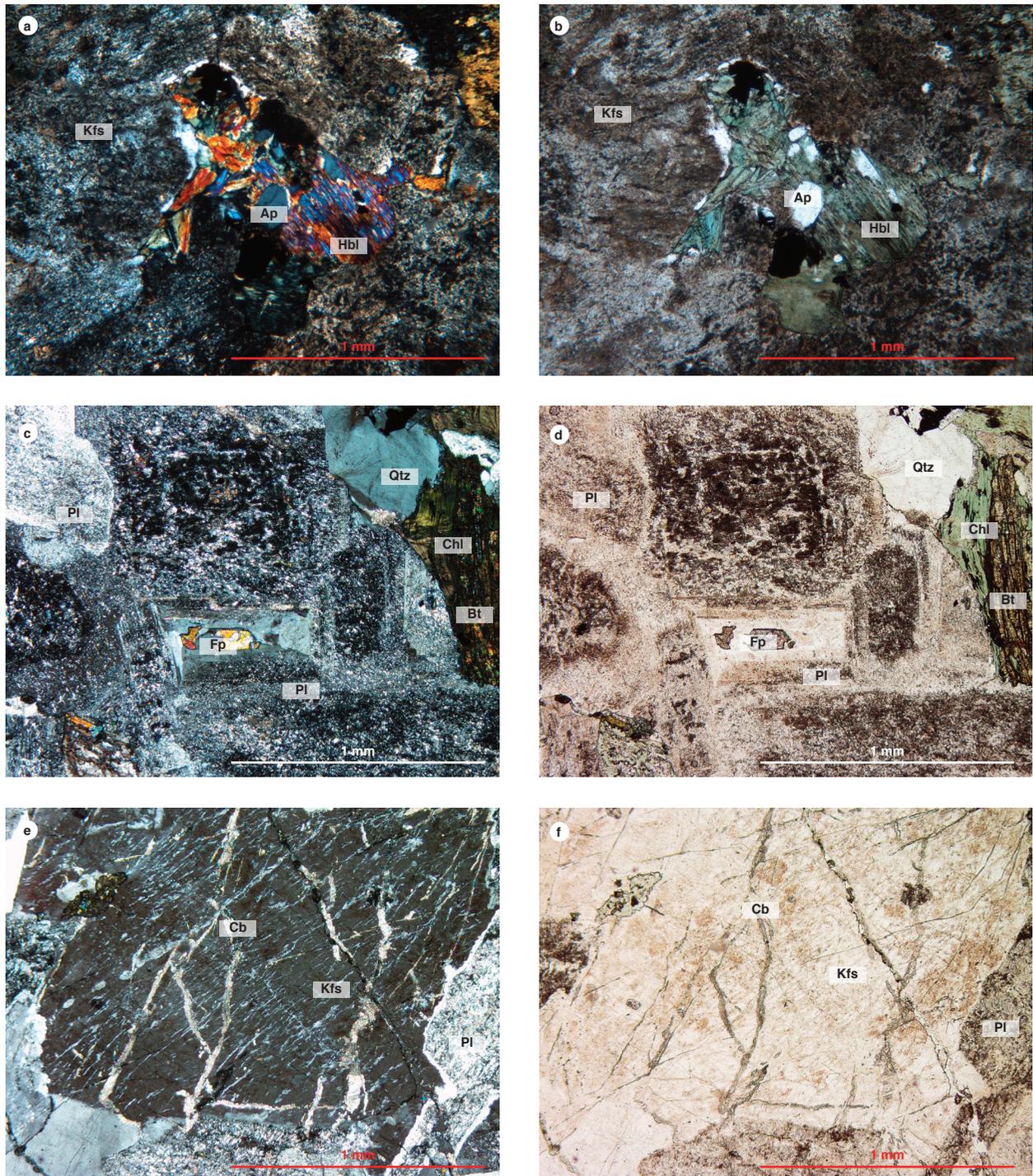


Figura 6. Aspecto Microscópico de Monzogranito

a) Alteración de cristales de feldespato a caolín, inclusiones de apatito en hornblenda (IGM 900769, XPL, aumento 10X); b) Alteración de cristales de feldespato a caolín, inclusiones de apatito en hornblenda (IGM 900769, PPL, aumento 10X); c) Plagioclasa (Pl) empolvada por alteración a saussurita y epidota (Ep), biotita cloritizada (Bt) (Muestra Z-705, XPL, 5X); d) Plagioclasa (Pl) empolvada por alteración a saussurita y epidota (Ep), biotita cloritizada (Bt) (Muestra Z-705, PPL, 5X); e) Ortoclasa (Kfs), presenta textura perítica y venillas de carbonatos (Cb); plagioclasa (Pl) empolvada por alteración a sericita-saussurita (XPL,5X); f) Ortoclasa (Kfs), presenta textura perítica y venillas de carbonatos (Cb); plagioclasa (Pl) empolvada por alteración a sericita-saussurita (pPL,5X).

El cuarzo por lo regular es anhedral e intersticial, frecuentemente con caminos de polvo e inclusiones fluidas. Son habituales las texturas de intercrecimiento con plagioclasa formando mirmequitas, así como simplectitas junto con minerales máficos y en forma de gotas *drop-like* bordeando los demás minerales. Comúnmente se presenta con inclusiones de apatito, epidota y feldspatos; es también usual encontrarlo con bordes recrystalizados. Algunos cristales presentan extinción ondulatoria. El tamaño de los cristales varía entre 0,5 y 0,9 mm; ocasionalmente los hay entre 3 y 4 mm.

El feldespato potásico corresponde a ortoclasa con algún contenido de microclina; su porcentaje varía entre 11 % y 48,4%; es anhedral, en el caso de la ortoclasa, y entre subhedral y euhedral de hábito tabular en la microclina, intersticial, con tamaños de 0,7 a 1 mm, y ocasionalmente hasta 5 mm. Comúnmente presenta texturas de exsolución peritética dadas por plagioclasa en finas lamelas; texturas poiquilíticas por inclusión de apatito, clinopiroxeno, hornblenda y opacos; menos frecuente es la textura micrográfica. También presenta inclusiones de circón, apatito y opacos; ocasionalmente se encuentra cruzado por venillas de carbonato. Algunos cristales presentan maclas de tipo microclina y raramente parches con maclas polisintéticas con bordes recrystalizados. Frecuentemente se presenta alterado a caolín y otros minerales arcillosos. A veces presenta blástesis potásica evidenciada por la inclusión de cristales de plagioclasa sericitizados, con halos de reacción de sílice en cristales de ortoclasa sin alteración (figuras 5 a y b, y 6 e y f).

Los minerales máficos predominantes son hornblenda (hasta 25%), biotita (hasta 15%), ortopiroxeno (desde trazas hasta 23%) y clinopiroxeno (hasta 5%). Los opacos varían desde trazas hasta 2,2%.

La biotita se observa en láminas xenomórficas a tabulares de bordes corroídos con tamaños de hasta 0,6 mm, de color marrón, con un pleocroísmo X: verde oliva Y: verde pálido, con una dirección de clivaje y extinción en ojo de pájaro. Los colores de interferencia son del segundo orden. Presenta inclusiones de circones finos con halos pleocroicos, opacos y titanita en agregados. También se presenta en agregados laminares finos de color pardo que rodean los cristales de plagioclasa, cuarzo y feldespato. Presenta una textura ligeramente lepidoblástica. Algunos cristales presentan alteración silíceo, y otros, alteración a clorita y epidota. Está asociada con

opacos, como producto de alteración de la hornblenda (figura 6 a y b).

La hornblenda se presenta como cristales subidiomórficos tabulares con tamaños de 0,4 a 0,8 mm, ocasionalmente hasta 2,5 mm, de color verde con pleocroísmo de verde amarillo a verde oliva, color de interferencia verde de segundo orden y clivaje en una o dos direcciones, dependiendo del corte del mineral. Presenta múltiples inclusiones de cuarzo en gotas con textura en atolón e inclusiones de circones y opacos que originan texturas poiquilíticas. Presenta alteraciones a biotita, tremolita-actinolita, clorita y epidota. En otros casos se observa en parches y coronas como mineral de alteración en cristales de clinopiroxeno. Ocasionalmente exhibe venillas de óxidos de hierro que atraviesan los cristales (figura 6 e y f).

El ortopiroxeno no es un mineral frecuente, aunque en la muestra H-864 alcanza el valor máximo de 23%. Se presenta como núcleos de cristales incoloros con pleocroísmo leve de color rosado pálido, con tamaños de 0,4 a 1,4 mm, con una dirección de clivaje, relieve alto y extinción paralela. Presenta inclusiones de opacos con bordes reemplazados por anfíbol de color verde.

El clinopiroxeno, al igual que el ortopiroxeno, solo está presente en dos de las rocas analizadas, y solo la muestra IGM 900766 contiene los dos piroxenos. Se presenta en núcleos xenomórficos a subidiomórficos prismáticos cortos, incoloros con color de interferencia que varía de amarillo a azul del tercer orden, relieve alto, extinción de 41°, con tamaños de 0,4 a 0,6 mm. Presenta inclusiones de opacos y alteración a hornblenda hacia los bordes.

Como minerales accesorios se encuentran apatito, circón, opacos y titanita. Como minerales de alteración, sericita de plagioclasa, clorita de biotita y de hornblenda, calcita y anfíbol de ortopiroxeno.

4.2. Granodiorita-cuarzomonzodiorita

Las cuarzomonzodioritas y granodioritas conforman el 31 % del plutón. De estas rocas se analizaron nueve secciones delgadas, de las cuales seis se clasificaron como cuarzomonzodioritas y tres como granodioritas (tabla 1). Se presentan como una facies rica en plagioclasa y cuarzo, y corresponden a rocas holocristalinas faneríticas hipidiomórficas a panidiomórficas equigranulares a inequigranulares, con grano entre fino y medio, con tamaños entre 0,5 y 3 mm (figura 7), con texturas poiquilítica, mirmequítica y simplectítica. Están constituidas por plagioclasa,



Figura 7. Aspecto macroscópico de granodiorita (IGM 900796)

que varía entre 43,4% y 61,8%, cuarzo, con valores entre 3,4% y 16,4% y feldespato potásico, entre 12% y 16,8%; como minerales ferromagnesianos incluye hornblenda, de 5,8% a 30,4%, y biotita, desde trazas hasta 14,1%. Como minerales accesorios es común encontrar titanita, apatito, circón, rutilo, allanita y opacos. La roca frecuentemente presenta alteración a sericita-epidota y clorita.

La plagioclasa es de composición variada: contiene albita-oligoclasa-andesina $An_{(10-40)}$ en cristales tabulares subidiomórficos de relieve bajo, presenta maclas del tipo albita-periclina, que en la mayoría de los cristales están ocultas por la alteración. Presenta inclusiones de cuarzo que forman texturas mirmequítica, poiquilitica y simplectítica. El tamaño de los cristales varía de 0,6 a 2,5 mm, y frecuentemente está alterada a sericita-epidota y minerales de arcilla, lo que impide determinar de manera precisa su ángulo de extinción; la alteración se encuentra restringida al núcleo de los cristales.

El cuarzo se presenta en cristales incoloros, xenomórficos intersticiales e inequigranulares, con color de interferencia gris de primer orden, extinción recta, ocasionalmente ondulada y en mosaico, empolvado por caminillos de polvo. Comúnmente se presenta con inclusiones de hornblenda y apatito, y menos frecuentemente, de rutilo de hábito acicular (muestra Z-728). En el caso de la cuarzomonzodiorita, se observan como inclusiones en plagioclasa. El tamaño preponderante es de 1 mm, pero en las granodioritas se encuentran algunos con tamaños mayores de 3 mm, como cristales individuales o en glomerocristales, se presenta formando textura mirmequítica por intercrecimiento con plagioclasa.

El feldespato se encuentra en cristales tabulares con inclusiones de apatito, y corresponde a ortoclasa con al-

gunos contenidos de microclina; es anhedral, en el caso de la ortoclasa, y subhedral a euhedral, en la microclina, intersticial, con tamaños de 0,7 a 1 mm, y ocasionalmente hasta 5 mm. Su relieve es menor que el del bálsamo y tiene birrefringencia gris de primer orden. Comúnmente presenta textura pertítica y poiquilitica por inclusión de apatito, hornblenda y opacos; menos frecuente es la textura micrográfica por intercrecimiento con cuarzo; ocasionalmente se encuentra cruzado por venillas de carbonato. Algunos cristales presentan maclas de microclina, y raramente parches con maclas polisintéticas con bordes recrystalizados. Frecuentemente se presenta alterado a caolín y otros minerales arcillosos. A veces presenta blástesis potásica, evidenciada por la inclusión de cristales de plagioclasa sericitizados, con halos de reacción de sílice en cristales de ortoclasa sin alteración.

La hornblenda se observa como cristales de hábito prismático y anhedral de color verde, pleocroicos, X: verde pálido Y: verde oliva, textura poiquilitica por inclusiones de cuarzo y opacos. Sus tamaños rondan los 0,8 mm, y ocasionalmente llegan a 2,5 mm. También se presenta como cristales intersticiales a manera de parches, con color de interferencia amarillo del primer orden (figura 8). Presenta clivaje en una o dos direcciones, dependiendo del corte del mineral, y diversas alteraciones a biotita, tremolita-actinolita, clorita y epidota en los bordes.

La biotita se presenta en láminas de color pardo, con tamaño de 0,5 mm. Es pleocroica, xenomórfica, con bordes corroídos por feldespato, con tamaño de hasta de 0,6 mm, con pleocroísmo a verde oliva, con clivaje en una dirección, extinción en ojo de pájaro, con birrefringencia del segundo orden. Presenta inclusiones de circones finos con halos pleocroicos, opacos y titanita en agregados. Otras veces se presenta en agregados finos rodeando cristales de plagioclasa, cuarzo y feldespato, y presenta una textura ligeramente orientada. Se observan cristales con alteración silícea y otros alterados a clorita y epidota. Se la encuentra asociada con opacos, como producto de alteración de la hornblenda. Como minerales accesorios se encuentran titanita, apatito, allanita, rutilo, circón y opacos.

Las cuarzomonzodioritas corresponden a rocas faneríticas equigranulares de color blanco con sectores verde oscuro, compuestas por plagioclasa, cuarzo, feldespato potásico, biotita y hornblenda (figura 9). Debido a que no es la roca dominante, se propone cambiar el nombre de *Cuarzomonzodiorita Sombrerillos*, con el que se conocía esta unidad, por el de *Cuarzomonzonita de Sombrerillo*.

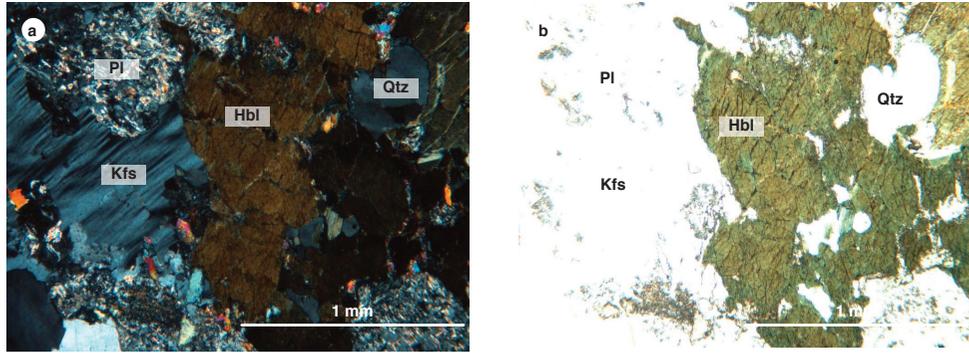


Figura 8. Aspecto microscópico Granodiorita

a) Textura holocristalina hipidiomórfica inequigranular compuesta por plagioclasa (Pl), feldespato (Kfs), cuarzo (Qtz) y hornblenda (Hbl) alterada a clorita (IGM 900796, XPL); b) Textura holocristalina hipidiomórfica inequigranular compuesta por plagioclasa (Pl), feldespato (Kfs), cuarzo (Qtz) y hornblenda (Hbl) alterada a clorita (IGM 900796, PPL).

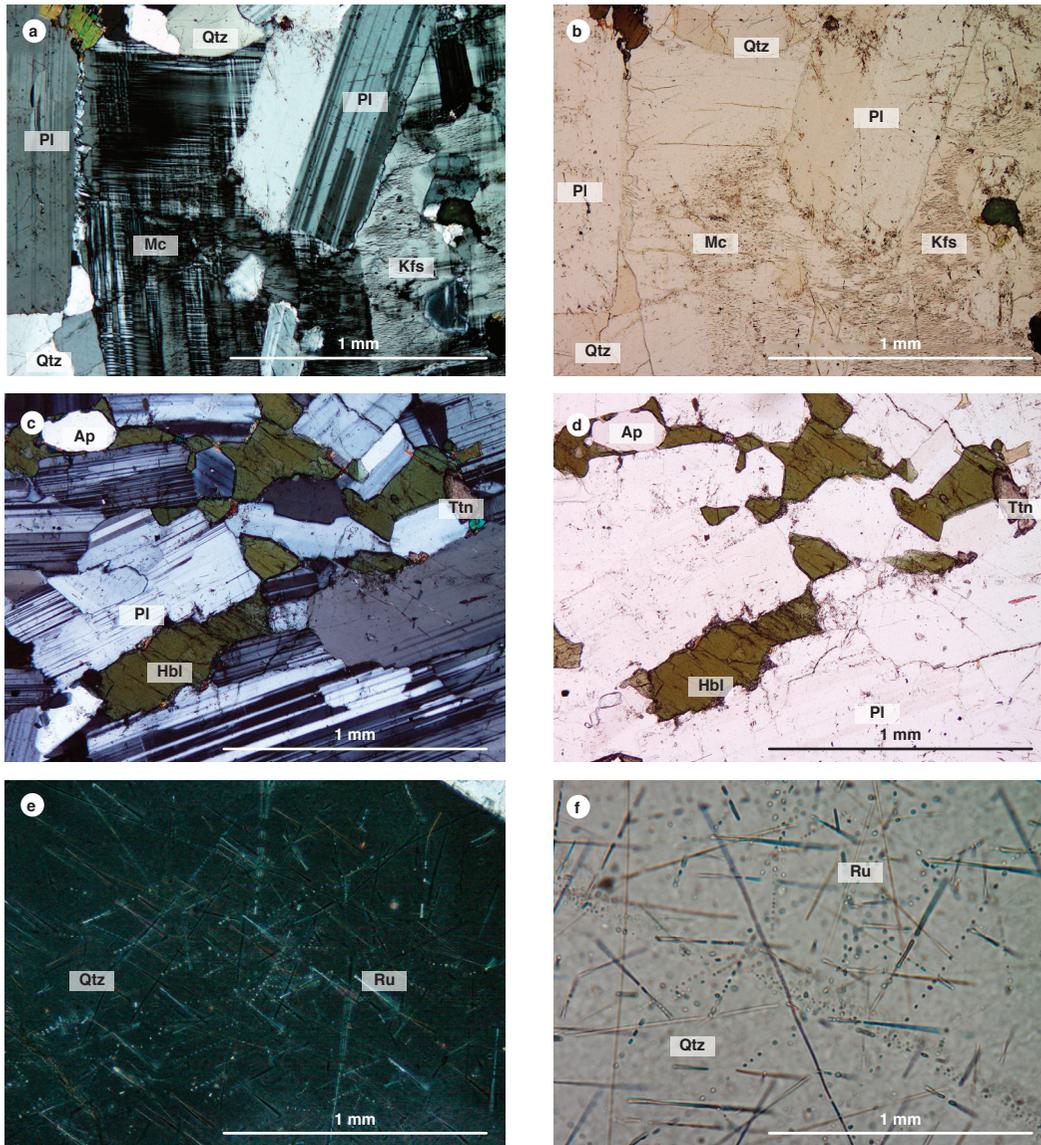


Figura 9. Aspecto Microscópico Cuarzomonzodiorita

a, b, c y d) Microclina (Mc), plagioclasa (Pl); feldespato potásico (Kfs), hornblenda (Hbl), titanita (Ttn) (Muestra Z-728, Ampliación: 5x). E y F) Ampliación: 20x. Cuarzo (Qtz) con inclusiones de rutilo (Rt) de hábito acicular.

4.3. Rocas de dique

De las rocas de dique se analizaron cinco secciones delgadas, de las cuales cuatro se clasificaron petrográficamente como andesitas, y una como basalto piroxénico (tabla 2). En el diagrama QAP (figura 10) se muestra la clasificación petrográfica de estas rocas.

Macroscópicamente, las andesitas son rocas mesocráticas de color gris verdoso oscuro con algunas manchas blancas. En la (figura 11) se observa el aspecto macroscópico de estas rocas.

Microscópicamente son rocas de textura holocristalina porfídica, con textura glomeroporfídica y traquítica,

Tabla 2. Composición modal de los diques de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo

IGM	Qtz	Pl	Kfs	Opx	Hbl	Bt	Op	Ttn	Ap	Ep	Chl	Fenocristal	Matriz	Vidrio	Amig.	Otros	Clasificación petrográfica
900765B	3	47			36		1					27	60	13		Cal (1%)	Andesita basáltica
900767	5	19			25				Tr	12						Ser (23%)	Andesita propilitizada
900809	2	52			37,5	3,5	1,2	0,8	1	1,5		3	97			Ser (0,5%)	Andesita
M-033	0,4	31,6	3,3	4,8			0,4	Tr	Tr	Tr		33,6	56,4	6,4	3,6	Óxidos de Fe, Ser, Kln, Cb	Basalto piroxénico
Z-816	2,8	16,4	6,4				0,4				3,6	30,1	64,8	2,3	2,8	Ser, Kln	Andesita

1 Alkali-feldespar-trachyte

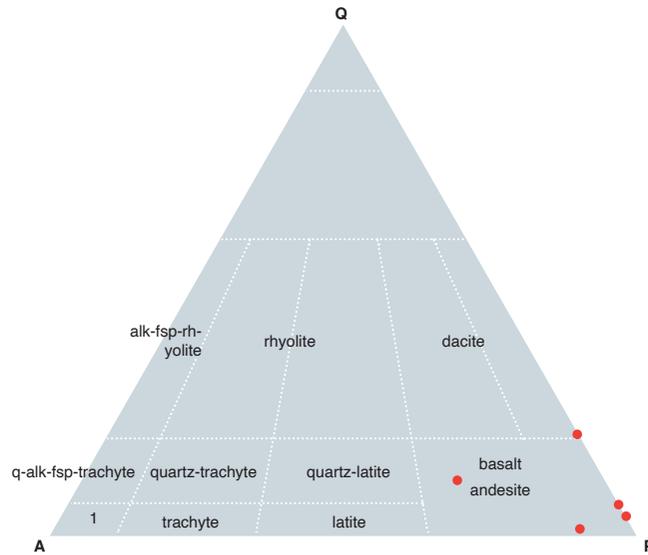


Figura 10. Diagrama de clasificación QAPF correspondiente a los diques de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo Fuente: Strekeisen (1974).

compuestas por fenocristales de hornblenda-oxihornblenda, plagioclasa, feldespato potásico y cuarzo, con porcentajes de cristales que fluctúan entre 3 y 37,2%. También las hay de textura finogranular, compuestas por microlitos de plagioclasa, hornblenda, biotita, cuarzo, apatito, epidota y titanita, con un porcentaje de matriz que oscila entre el 56,4% y el 97%.

Ocasionalmente presenta amígdalas irregulares rellenas de clorita y vidrio volcánico desvitrificado. Asimismo, se presentan rocas con textura microcristalina constituidas principalmente por vidrio intersticial (figuras 12, 13 y 14).

Fenocristales. En los fenocristales de las rocas de dique es común encontrar hornblenda en todas las andesitas, en cristales tabulares euhedrales a subhedrales en los cortes longitudinales y hexagonales, en secciones transversales, con dos direcciones de clivaje, a 56° y 124° , de color verde con pleocroísmo de verde pálido a verde oliva, color de interferencia verde del segundo orden, extinción a 12° ; son comunes las maclas simples, con tamaño de 0,5 mm, y se presentan como microfeno-cristales aislados con inclusiones de opacos y como glomero-cristales con alteración a calcita. La muestra IGM 900809 presenta oxihornblenda en fenocristales de ta-

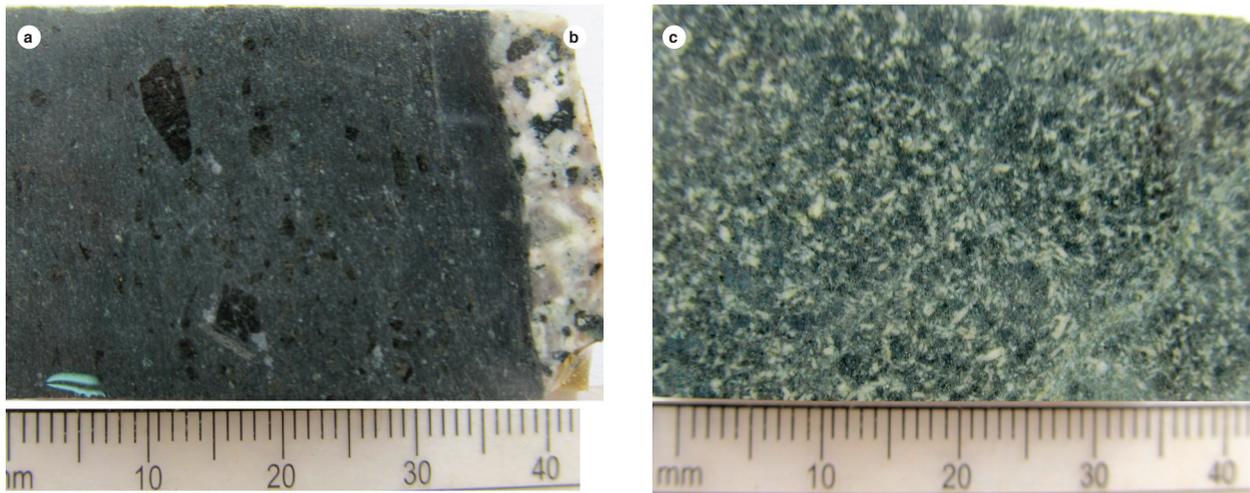


Figura 11. Aspecto macroscópico de las rocas de dique a. Cuarzomonzonita (IGM 900765); b) andesita (IGM 900765); c) Andesita propilitizada, con matriz holocristalina (IGM 900767).

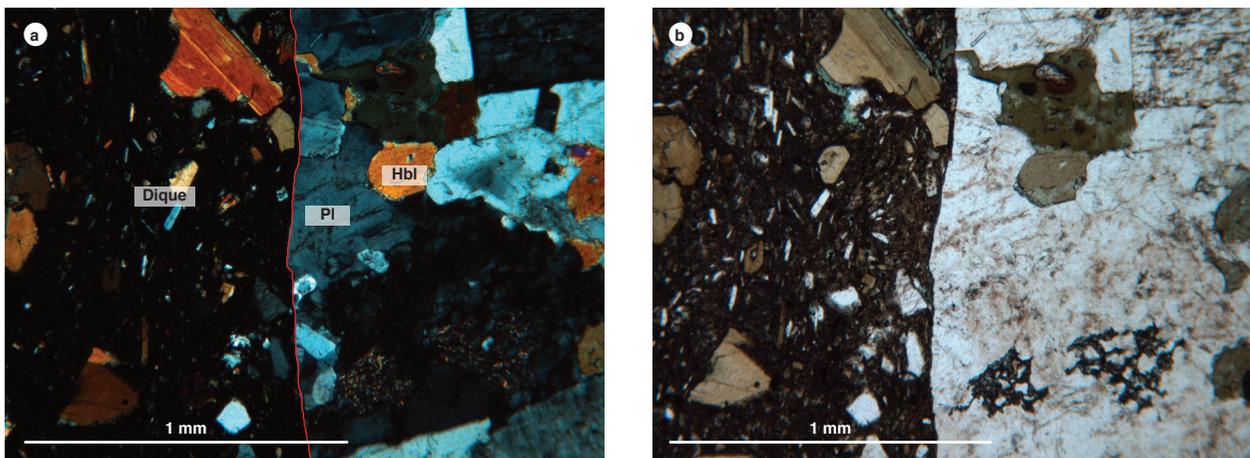


Figura 12. Aspecto microscópico de las rocas fanerítica a y b) Cuarzomonzonita. Fanerítica, compuesta por cuarzo, plagioclasa (PI) y hornblenda (Hbl). Se observa el contacto neto entre la roca granítica y el dique andesítico (IGM 900765).

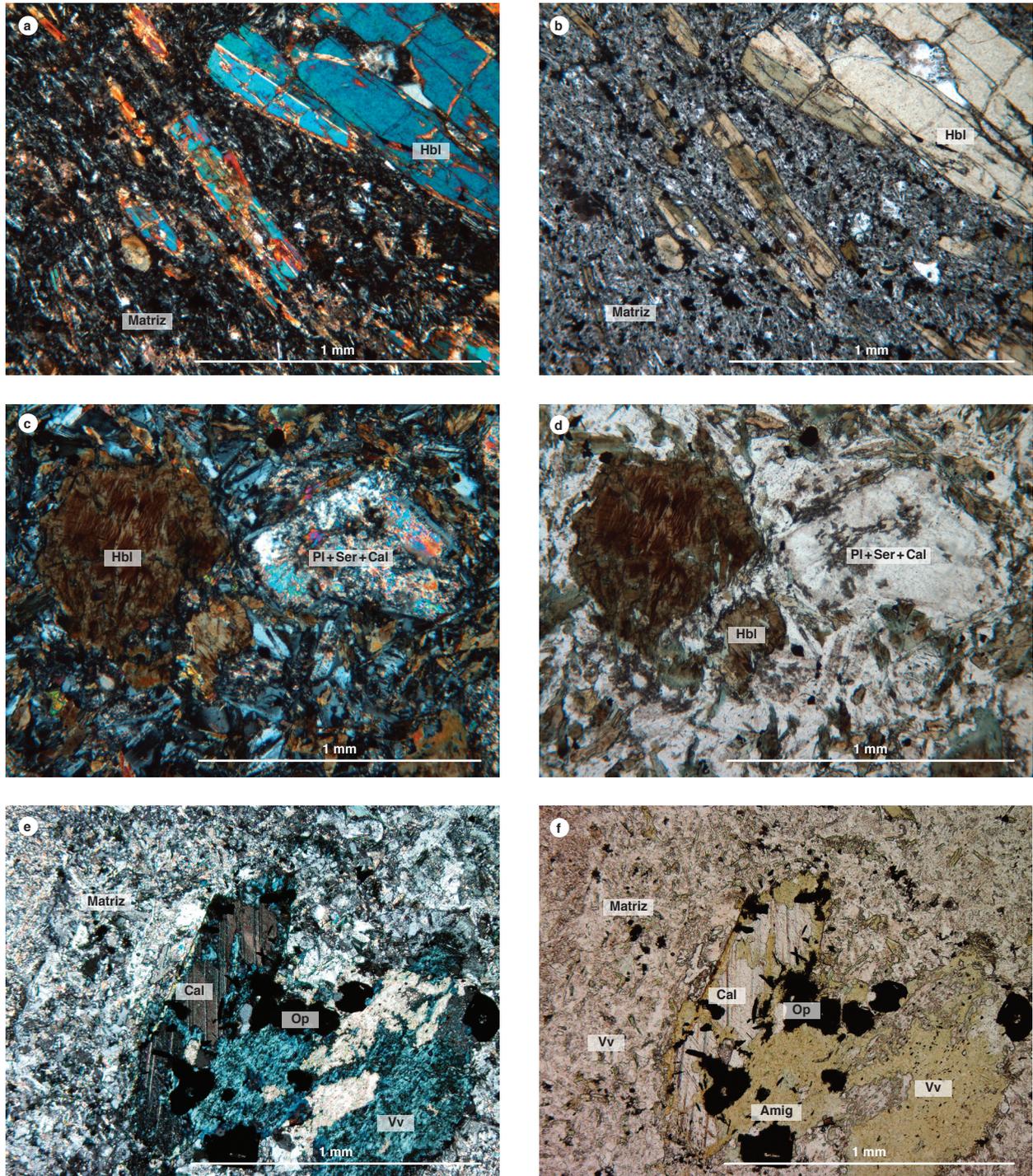


Figura 13. Aspecto microscópico de la matriz en rocas andesíticas
 a y b) Matriz traquítica, fenocristales de hornblenda (Hbl) (IGM 900765-B, 10X); c y d) Matriz microcristalina, fenocristales de hornblenda (Hbl) y plagioclasa (Pl) (IGM 900809, 10X); E y F) Matriz vítrea, amígdala (Amig) rellena de vidrio volcánico (Vv), Calcita (Cal) y opacos (Op) (Muestra Z-816, 5X).

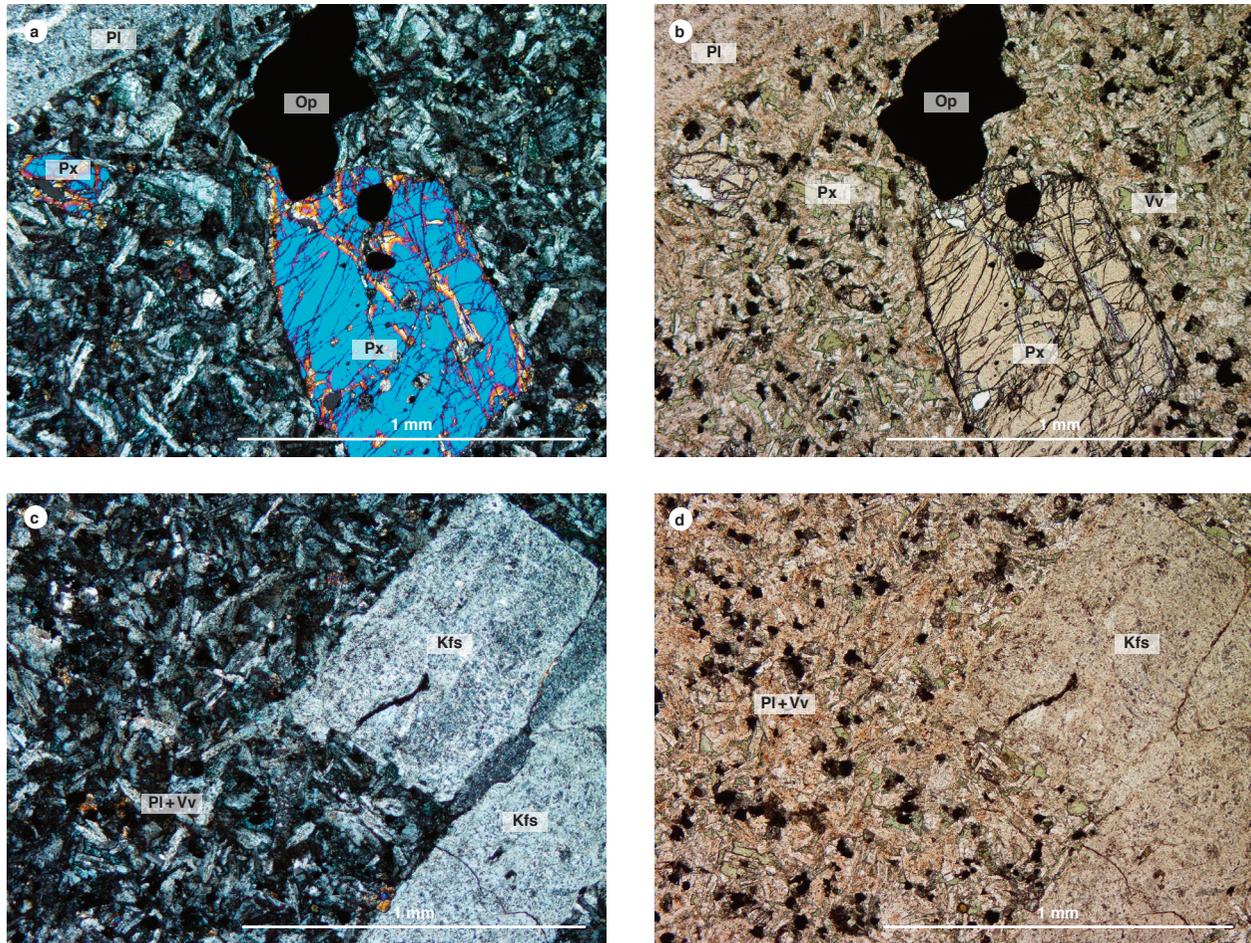


Figura 14. Aspecto microscópico de rocas basálticas a y b) Basalto Piroxénico (M-033, 5X); c y d) Matriz hipohialina panidimórfica, fenocristales de piroxeno (Px) con carbonatos en planos de fracturas e inclusión de opacos (Op), ortoclasa (Kfs) embebida en matriz microlítica (Vv); amígdalas rellenas de vidrio volcánico (Aumento 5X).

maños mayores de 1 mm, de color pardo a verde, con pleocroísmo verde a pardo, color de interferencia verde de segundo orden, ángulo de extinción de 14° ; muestra inclusiones de plagioclasa y opacos.

La plagioclasa es andesina $An_{(42)}$ en microfenocristales euhedrales a subhedrales tabulares incoloros, de 0,3 a 1 mm, alterada a sericita-epidota. Solo se conservan remanentes frescos en el núcleo de los cristales, color de interferencia gris de primer orden. Presenta maclas según la ley de albita y periclina, con inclusiones de apatito, opacos, hornblenda y vidrio volcánico.

El cuarzo intersticial se presenta en microcristales de 0,05 a 0,3 mm, xenomórficos, incoloros, con relieve bajo, color de interferencia gris de primer orden. También aparece como microcristales en la matriz. Además, se presenta en venillas como mineral de introducción.

La biotita se presenta únicamente en la muestra IGM 900809, como láminas de color pardo con pleocroísmo de verde a pardo, colores de interferencia del segundo orden, extinción paralela, clivaje paralelo al eje mayor del cristal. En los planos de exfoliación se acopian agregados de titanita y opacos.

Como minerales accesorios se observan opacos, apatito, epidota, titanita, calcita y óxidos de hierro. Es común la alteración a clorita, sericita, calcita y caolín.

Matriz. Las rocas andesíticas presentan matriz hialopilitica con microlitos de plagioclasa de 0,05 mm, alterados a sericita y epidota, orientados, siguiendo texturas de flujo dentro de una masa vítrea de color pardo. Hay microcristales diseminados de hornblenda y opacos (figura 13a). La muestra IGM 900809 presenta matriz

granular con textura holocristalina microporfídica, con cristales de plagioclasa, hornblenda, oxihornblenda, biotita y cuarzo, con tamaños entre 0,1 y 0,3 mm (figura 13b). La roca Z-816 presenta textura microcristalina hipohialina porfídica con amígdalas rellenas de vidrio volcánico desvitrificado, opacos y calcita (figura 13c).

El dique basáltico corresponde a una roca de color verdoso con textura hipohialina porfídica, panidimórfica, con un contenido de cristales del 40,1 %, matriz microcristalina a criptocristalina (56,4%) y vesículas (3,5%). La fracción cristalina se presentan como fenocristales: plagioclasa (3,8%) de tipo labradorita, piroxeno (4,8%), feldespato potásico (3,3%), y también como microfeno-cristales y microcristales de plagioclasa, con tamaños entre 2 y <0,5 mm (27,8%). Se encuentra cuarzo microcristalino (0,4%). Como minerales accesorios se presentan epidota, apatito, titanita y opacos; y como minerales de alteración, óxidos de hierro, sericita, calcita y caolín.

Los fenocristales de plagioclasa labradorita $An_{(52-66)}$ son euhedrales con macla según la ley de albita y periclina, con inclusiones de vidrio volcánico verde, microcristales de piroxeno, opacos, feldespato y epidota que le imprimen una textura poiquilítica, alterada a sericita (figura 14).

El feldespato potásico (ortoclasa) aparece como cristales euhedrales con tinción marrón claro, color de interferencia gris del primer orden, relieve bajo y extinción paralela, alterado a caolín

El piroxeno se encuentra en cristales incoloros a marrón claro con pleocroísmo a rosado, amarillo y verde, relieve alto, colores de interferencia de primer y segundo orden, de hábito prismático, con exfoliación en una dirección; presenta inclusión de opacos.

Como minerales secundarios hay titanita, apatito, epidota y opacos. Como minerales de alteración sericita, carbonatos, óxidos de hierro y caolín.

Contactos. En la Plancha 388, la Cuarzomonzonita de Sombrerillo intruye a las Lodolitas de Granadillo, consideradas de probable edad paleozoica, formando en el contacto mármoles y cornubianitas (Cárdenas *et al.*, 2003), como se observa en la carretera a Los Cauchos, en la mina La Calera, a orillas del río Magdalena, y en la carretera Alto El Obispo-San Agustín, cuando cruza sobre el río Granadillo. Con la Formación Saldaña, el contacto

es fallado, pero en algunos sitios muestra el carácter intrusivo en la secuencia vulcanosedimentaria. Esta situación se observa al sur de Bruselas, en donde la apófisis del intrusivo corta la Formación Saldaña; no se detectaron efectos térmicos debido a la intensa meteorización de las rocas encajantes.

Los depósitos del Pleistoceno, como el Lahar de Altamira, la Formación Guacacallo y las terrazas pumíticas cubren la Cuarzomonzonita de Sombrerillo inconformemente, impidiendo observar la continuidad hacia el norte de la plancha 388. No obstante, se supone que el intrusivo se extiende en esta dirección y de él hacen parte los afloramientos de rocas intrusivas descritos en el río Granates, al noroeste de Saladoblanco, y los del río Magdalena en la zona del Filo de Chillurco y monte Bonito.

5. Geoquímica

Para la caracterización litogeoquímica de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo se analizaron ocho muestras de rocas granitoides de las diferentes litologías del cuerpo principal y tres muestras de diques. Se complementó la información con el análisis petrográfico de dichas muestras. Para la elaboración de diagramas se recalcularon los óxidos mayores, teniendo en cuenta los valores de LOI (pérdidas por ignición).

Óxidos mayores. Los valores de SiO_2 en rocas granitoides de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo varían entre 55,37% y 72,84%. Los valores de Al_2O_3 , Fe_2O_3 , y CaO tienen una relación inversamente proporcional a SiO_2 ; el $Na_2O + K_2O$ oscila entre 4,49% y 9,56%; el TiO_2 varía entre 0,27% y 1,07%. Los contenidos de Al_2O_3 están entre 14,06% y 16,6% (los valores más bajos corresponden a las muestras más félsicas). El contenido de hierro total está entre 2,43% y 13,24%, y el MgO varía entre 0,28% y 9,42% (tabla 3).

En los diques que intruyen la Cuarzomonzonita de Sombrerillo se observan valores de SiO_2 entre 48,7% y 51,25%, que corresponden a rocas básicas y al límite intermedio-básico, con contenido promedio de Al_2O_3 de 16%; el hierro total varía entre 14% y 16,3%, y el MgO, entre 5,9% y 7,8%. El contenido de álcalis ($Na_2O + K_2O$) es menor de 5% (tabla 4), con valores mayores de sodio. El menor contenido de K_2O está en la muestra IGM 900767, que presenta alteración hidrotermal.

Tabla 3. Composición de óxidos mayores en rocas de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo

IGM	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	FeO	LOI	Clasificación petrográfica
900764	67,14	0,51	16,59	2,76	0,42	2,28	3,89	5,67	0,094	0,586	1	0,35	Monzogranito
900766	58,04	0,82	16,16	7,59	3,7	6,8	3,22	2,6	0,173	1,590	4,07	0,53	Cuarzomonzonita
900768	55,37	1,04	16,6	8,65	4,44	7,4	2,91	1,58	0,267	1,907	4,59	1,33	Tonalita
900769	58,73	1,07	16,45	6,65	1,84	4,4	3,76	5,37	0,37	1,116	3,58	0,91	Monzogranito
900796	61,86	0,75	16,4	5,9	2,34	3,89	3,33	3,11	0,212	1,046	3	1,88	Cuarzodiorita
900808	72,73	0,27	14,32	2,3	0,43	1,77	4,32	3,17	0,087	0,595	1,39	0,4	Cuarzomonzonita
900810	72,84	0,27	14,06	2,38	0,47	1,76	3,91	3,51	0,09	0,694	1,14	0,53	Cuarzomonzonita
900811	64,09	0,87	15,34	5,81	0,7	4,01	2,94	4,3	0,486	1,312	3,57	0,93	Granofels

Granofels: roca metamórfica

Tabla 4. Composición de óxidos mayores en diques de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo

IGM	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	FeO	LOI	Clasificación petrográfica
900765	48,74	1,1	16,63	9,56	5,87	8,55	2,62	2,34	0,192	1,63	5,14	3,96	Andesita basáltica
900767	51,25	0,73	15,72	8,59	7,82	8,33	2,83	0,83	0,228	1,59	5,43	3,29	Propilita de andesita
900809	48,96	1,22	17,07	10,38	6,31	9,19	3,03	1,49	0,483	1,44	5,94	1,46	Andesita

Los valores se dan en porcentaje

En el diagrama de Peccerillo y Taylor (1976) (K₂O/SiO₂), las rocas de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo se ubican principalmente en los campos de las series calcoalcalinas altas en K (IGM 900766, IGM 900796 e IGM 900810), shoshoníticas (IGM 900764, IGM 900769 e IGM 900811), y dos muestras presentan afinidad calcoalcalina (IGM 900808 e IGM 900768). Los contenidos más altos de K₂O corresponden a las rocas con mayor contenido de sílice (figura 15a). Las tres muestras de diques se inscriben, cada una, en un campo diferente en el diagrama de Peccerillo y Taylor (1976), y

tienen contenidos cercanos de SiO₂ menores de 55%. La muestra IGM 900767, de andesita propilitica, es la de menor K₂O, y corresponde a la serie calcoalcalina (figura 15b).

En el diagrama TAS de Middlemost (1994), las rocas plutónicas se localizan en facies intermedias a ácidas subalcalinas, dentro de los granitos, dioritas y gabrodioritas, las más alcalinas en los campos de las monzonitas y cuarzomonzonitas (muestras IGM 900769 e IGM 900764). Las rocas de dique se ubican en el campo de los basaltos (figura 16).

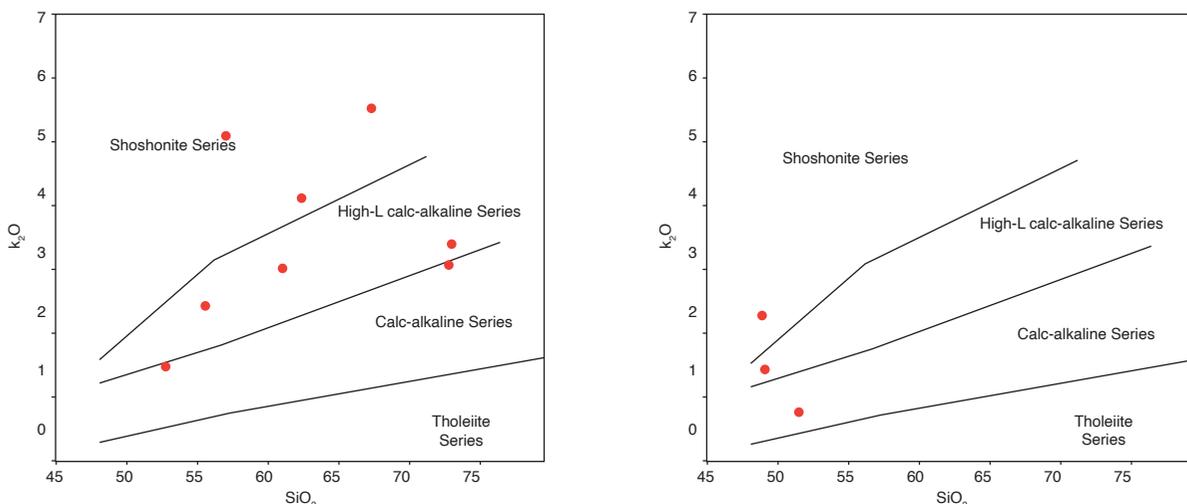


Figura 15. Diagrama K₂O Vs SiO₂ (Peccerillo y Taylor, 1976)

a) Cuarzomonzonita de Sombrerillo; b) Diques que la intruyen.

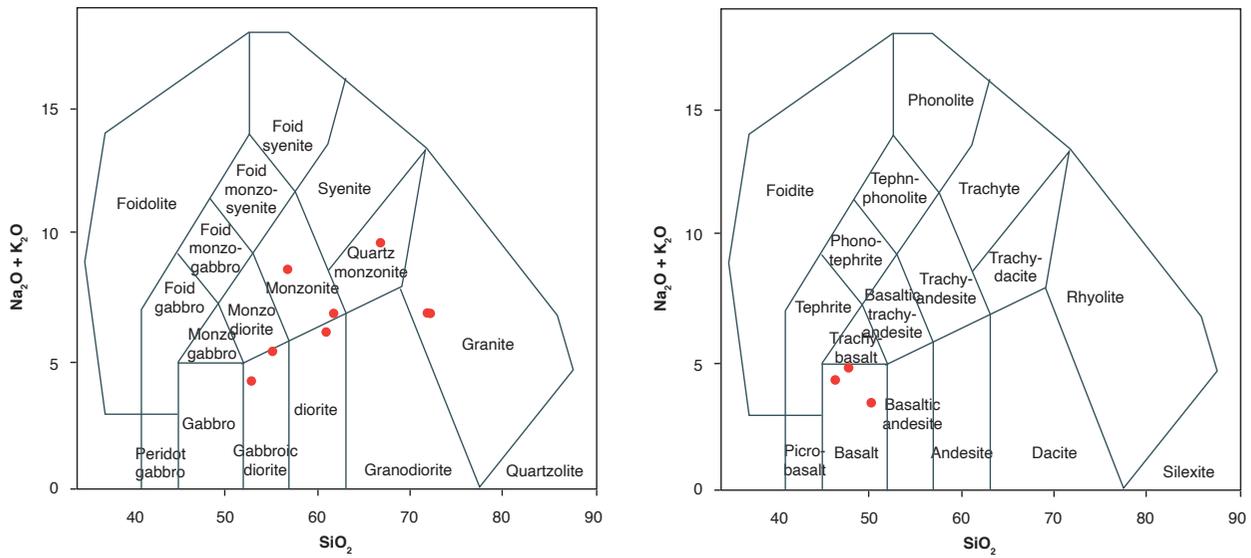


Figura 16. Diagrama de Middlemost (1994)

a) Correspondiente a rocas de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo; b) Diques que la intruyen.

En el diagrama de alcalinidad-aluminosidad (Shand, 1943), las rocas de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo se distribuyen en los campos metaluminoso y peraluminoso (figura 17), lo que sugiere una posible contaminación del magma con rocas de caja o fusión de corteza continental de las muestras peraluminosas (IGM 900796, 900808 y 900810), que corresponden a las rocas con los valores más altos de SiO₂ (> 72%). Las rocas de los diques son metaluminosas con valores de A/NK > 2 y A/CNK menor que los granitoides.

Elementos traza y tierras raras. Los resultados de los análisis de elementos traza y tierras raras de siete rocas plutónicas de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo y la muestra IGM 900811, que corresponde a un granofels, se presentan en la tabla 5, y los de tres muestras de diques que atraviesan el intrusivo, en la tabla 6.

De acuerdo con el diagrama de elementos de las tierras raras (REE) normalizado al condrito según Nakamura (1974), las rocas granitoides del cuerpo principal muestran concentraciones de valores inferiores de tierras raras, con enriquecimiento en tierras raras livianas (LREE), con un patrón homogéneo que se va empobreciendo progresivamente hacia las tierras raras pesadas (HREE), con una pendiente negativa que se aplanan en las tierras raras pesadas (figura 18a).

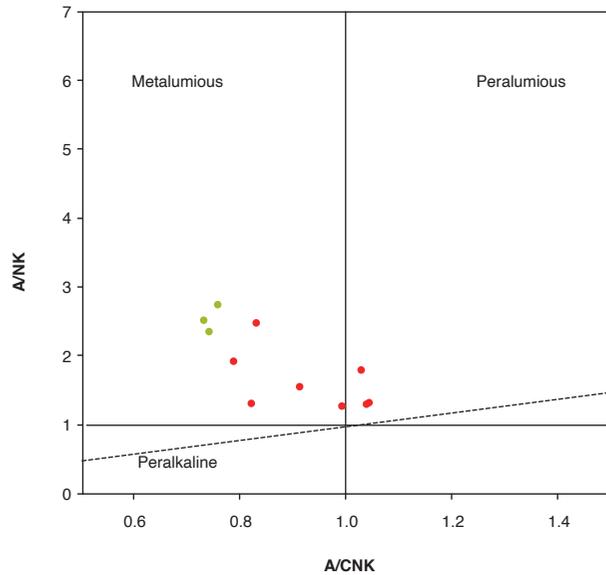


Figura 17. Diagrama de alcalinidad-aluminosidad (Shand, 1943), correspondiente a rocas de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo (rojo), y diques que la intruyen (verde)

Tabla 5. Resultados de elementos traza y tierras raras en rocas de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo (contenidos en ppm)

IGM	Li	Be	Sc	Ni	Rb	Sr	Y	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm
900764	12,492	3,3731	10,29	5,689	184,502	344,7	30,78	3,925	1416,88	59,46	122,7	14,44	52,98	8,76
900766	19,243	1,9015	38,36	26,16	96,9234	515,5	31,57	2,512	786,16	29,96	63,54	8,521	34,42	7,24
900768	13,554	1,4011	31,82	22,96	48,9959	686	23,58	2,037	530,03	24,19	52,04	6,837	28,35	5,87
900769	5,1786	1,8254	22,47	12,78	140,471	687,6	31,03	1,392	1825,77	35,93	77,32	9,983	41,87	8,61
900796	5,713	2,3399	19,52	8,65	80,1693	620,7	24,53	0,576	1372,79	29,61	65	8,273	31,57	7,32
900808	7,4952	3,2499	6,861	2,777	59,0853	256,9	26,95	0,266	1105,28	27,37	59,21	7,594	27,67	5,73
900810	11,747	3,3916	7,487	2,524	62,9519	234	33,66	0,407	1234,60	26,47	57,86	7,17	28,26	5,83
900811	10,338	8,6853	27,12	4,434	130,511	635,4	159	0,611	2441,02	114,7	235,5	35,45	158,8	29,7

IGM	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Pb	Bi	Th	U	Nb	Zr
900764	2,344	8,51	1,23	5,97	1,196	3,72	0,51	3,483	0,536	20,36	< 0,05	29,22	5,36	13,5	444,18
900766	1,998	7,11	1,15	6,19	1,287	3,81	0,54	3,629	0,555	11,91	< 0,05	11,32	2,29	7,0	303,52
900768	1,892	5,63	0,93	4,68	0,932	2,79	0,38	2,532	0,381	9,294	0,057	6,281	1,71	5,9	162,87
900769	3,77	7,94	1,28	6,18	1,237	3,7	0,5	3,287	0,5	14,13	< 0,05	8,249	1,72	8,7	281,31
900796	2,536	6,35	0,99	5,36	1,082	3,29	0,45	3,023	0,467	15,37		5,712	1,44	5,5	200,7
900808	1,663	5,74	0,92	5,07	1,043	3,18	0,45	2,915	0,435	9,398		3,048	0,35	5,8	117,3
900810	1,714	5,59	1	5,31	1,099	3,38	0,5	3,167	0,485	11,51		3,099	0,35	5,7	119,9
900811	7,977	26,5	4,37	20,9	4,238	12,6	1,7	10,82	1,6	21,59		11,03	1,81	22,6	653

Granofels: roca metamórfica

Tabla 6. Resultados de elementos traza y tierras raras correspondientes a diques en rocas de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo (contenidos en ppm)

IGM	Li	Be	Sc	Ni	Rb	Sr	Y	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm
900765	39,238	0,9551	54,74	29,59	93,9288	543,9	19,25	1,063	673,24	14,46	32,05	4,521	20,36	4,7
900767	20,063	0,9439	38,61	132,1	19,0881	663,1	41,33	0,124	368,54	15,89	32,53	4,427	18,99	3,94
900809	8,6712	1,5696	37,98	57,52	30,1062	930,4	23,36	0,453	753,06	23,5	60	8,564	36,62	9,28

IGM	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Pb	Bi	Th	U	Nb	Zr
900765	2,048	4,64	0,76	4,16	0,817	2,34	0,31	1,986	0,279	6,537	< 0,05	0,927	0,38	< 2,0	< 130
900767	1,528	3,8	0,6	3,2	0,636	1,87	0,25	1,648	0,243	3,549	< 0,05	1,789	0,43	3,1	< 130
900809	3,027	8,07	1,14	5,9	1,128	3,21	0,4	2,493	0,339	2,679		1,4	0,34	2,8	114,4

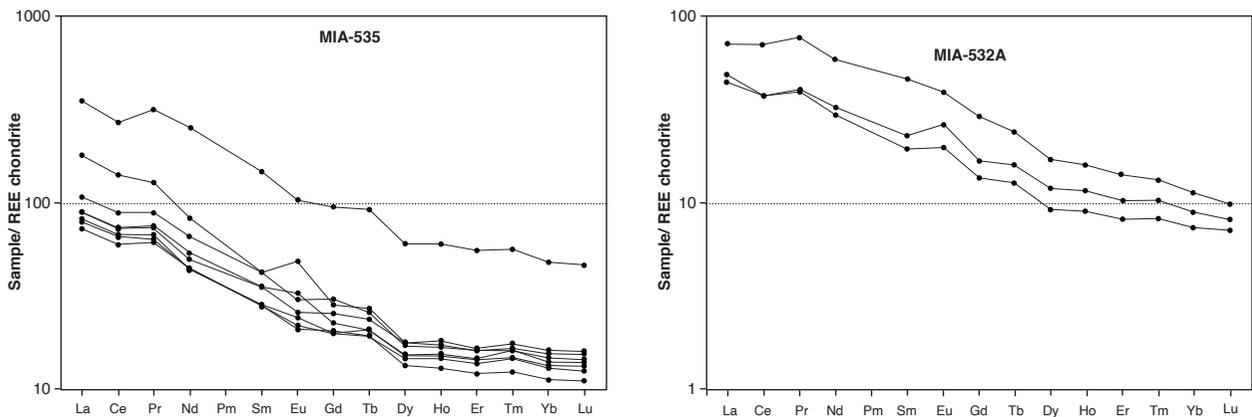


Figura 18. Diagrama de REE normalizado respecto al condrito (Nakamura, 1974)

a) Rocas granitoides de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo; b) Rocas de dique.

La muestra IGM 900811 (MIA-535) de granofels tiene un comportamiento diferente, pues presenta mayor enriquecimiento, tanto en LREE como en HREE, y valores superiores con respecto al condrito. La muestra IGM 900765 (MIA-509) presenta una pequeña anomalía positiva en Eu.

Entre los diques se diferencia la muestra IGM 900809 (MIA-532A), que presenta el mayor enriquecimiento en tierras raras, con una línea más suave y sin picos, con empobrecimiento progresivo hacia las tierras raras pesadas. Las otras dos muestras, 900765 y 900767, presentan una leve anomalía positiva en Eu (figura 18b).

En los diagramas NMORB (Sun y McDonough, 1989) correspondientes a los granitoides de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo (figura 19a), se observan líneas con varios picos, que revelan empobrecimiento de los elementos inmóviles Nb, La, Ce, P y Ti y anomalías positivas en Ba, K, Pb, Nd y Sm. Esto puede corresponder a la separación de fases minerales accesorias como titanita, rutilo y apatito, y manifiesta una evolución magmática (Winter, 2001). Se destaca la muestra IGM 900811 (MIA-535) de granofels por tener mayores contenidos de Nd, Dy, Y, Yb y Lu que las otras muestras, lo que indica claramente una procedencia diferente.

Las muestras de los diques presentan picos negativos en Nb, P y Ti, pero en la muestra IGM 900765 (MIA-509 C) se observa mayor enriquecimiento en Rb, K y Pb y comportamiento similar (paralelo) a las otras dos muestras, con empobrecimiento en elementos menos móviles (HFS) y anomalías negativas poco pronunciadas en P y Ti. Las otras muestras presentan marcadas anomalías negativas en Nb (figura 19b).

Las anomalías negativas de Nb, Sr, Ti y P y el empobrecimiento progresivo hacia los elementos pesados caracterizan los arcos magmáticos relacionados con ambientes de subducción. La anomalía negativa de Nb con respecto al Th y Ce, con un patrón semiparalelo en todas las muestras (figura 19a), es característica de magmas originados en ambientes tectónicos relacionados con los arcos.

Los valores altos de elementos litófilos de alto radio iónico Cs, Ba y Th indican una afinidad con corteza continental (márgenes convergentes), donde hay abundancia de estos elementos incompatibles. Los valores altos de Sr, K, Ba y Rb se presentan por la movilización desde los fluidos que interactúan en la zona de subducción hacia el magma.

Las relaciones La/Yb, Sm/Yb y Eu/Eu* con valores normalizados, tanto en la Cuarzomonzonita de Sombrerillo como en sus diques, se presentan en la tabla 7. Cinco muestras de rocas graníticas tienen anomalía negativa en Eu ($Eu/Eu^* < 1$), que pueden relacionarse con un origen de afinidad continental y pueden haber procedido de la fusión parcial de la corteza, donde los residuos de estos fundidos fueron ricos en plagioclasa, y habrían retenido el Eu en la corteza inferior y generado un patrón empobrecido en Eu en la corteza superior. Tres de las muestras de granitoides y los tres diques presentan anomalías positivas con valores de $Eu/Eu^* > 1$.

La relación La/Yb en los diques es mayor de 2,5 lo que indica que son basaltos de origen continental.

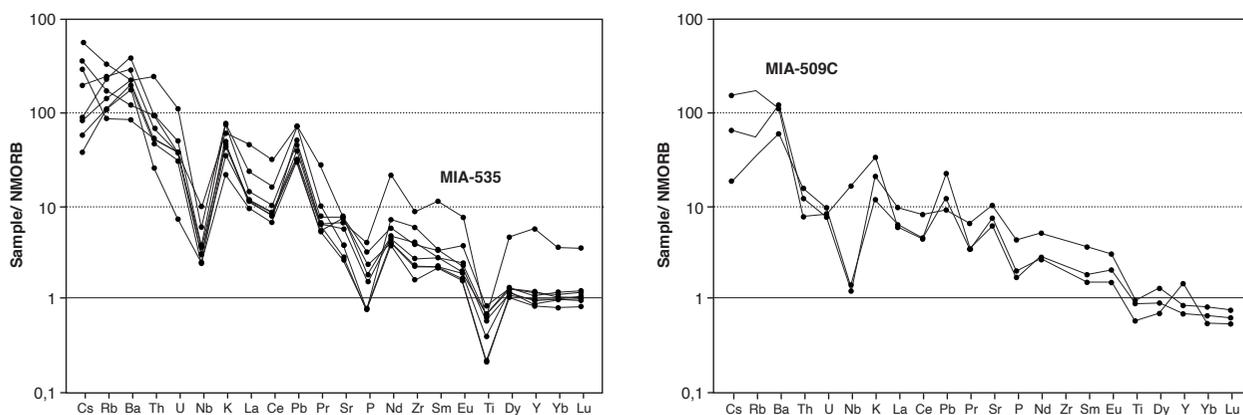


Figura 19. Diagrama normalizado a NMORB (Sun y McDonough, 1989)
 a) Rocas granitoides de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo; b) Rocas de dique.

Tabla 7. Relaciones normalizadas La/Yb, Sm/Yb y Eu/Eu* en rocas y diques de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo (contenidos en ppm)

IGM	Yb	La	La/Yb	Sm	Sm/Yb	Eu/Eu*
	0,22	0,33		0,20		
900764	15,83	180,73	11,41	43,15	2,73	0,83
900766	16,50	91,06	5,52	35,66	2,16	0,86
900768	11,51	73,52	6,39	28,94	2,51	1,01
900769	14,94	109,20	7,31	42,42	2,84	1,40
900796	13,74	90,00	6,55	36,07	2,63	1,15
900808	13,25	83,18	6,28	28,24	2,13	0,89
900810	14,40	80,44	5,59	28,72	1,99	0,92
*900811	49,17	348,48	7,09	146,07	2,97	0,88
900765	9,03	43,94	4,87	23,15	2,56	1,35
900767	7,49	48,29	6,44	19,41	2,59	1,22
900809	11,33	71,43	6,30	45,72	4,03	1,08

Nota. En el área sombreada los datos de las muestras de dique.

* Granofels

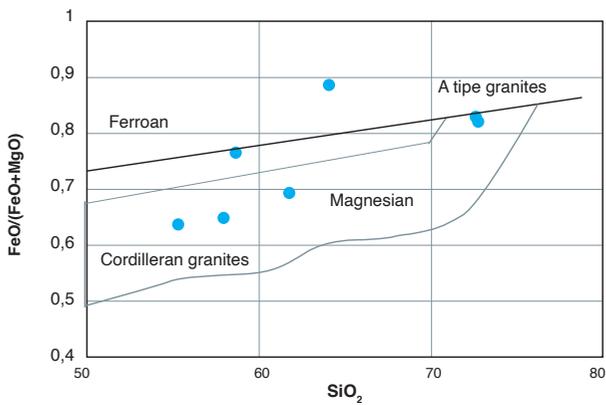


Figura 20. Diagrama de Frost et al. (2001), correspondiente a rocas y diques de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo

Discriminación de ambiente tectónico y tipo de granitoide. En el diagrama de Frost *et al.* (2001), tanto las rocas del plutón como los diques se ubican en el campo de las rocas magnesianas, que corresponden a granitos cordilleranos con contenido de sílice de 56% a 77% (figura 20).

En los diagramas de ambiente tectónico de Pearce *et al.* (1984) (figura 21), la mayoría de las rocas granitoides se ubican en el campo de los granitos de arco volcánico (VAG); en el diagrama (Rb vs. Y + Nb), en granitos sincolisionales, exceptuado la muestra IGM 900811, que se grafica en el límite del campo de los granitos intraplaca.

En el diagrama de Whalen *et al.* (1987), las rocas de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo muestran características de magmas tipo I, cordillerano (figura 22).

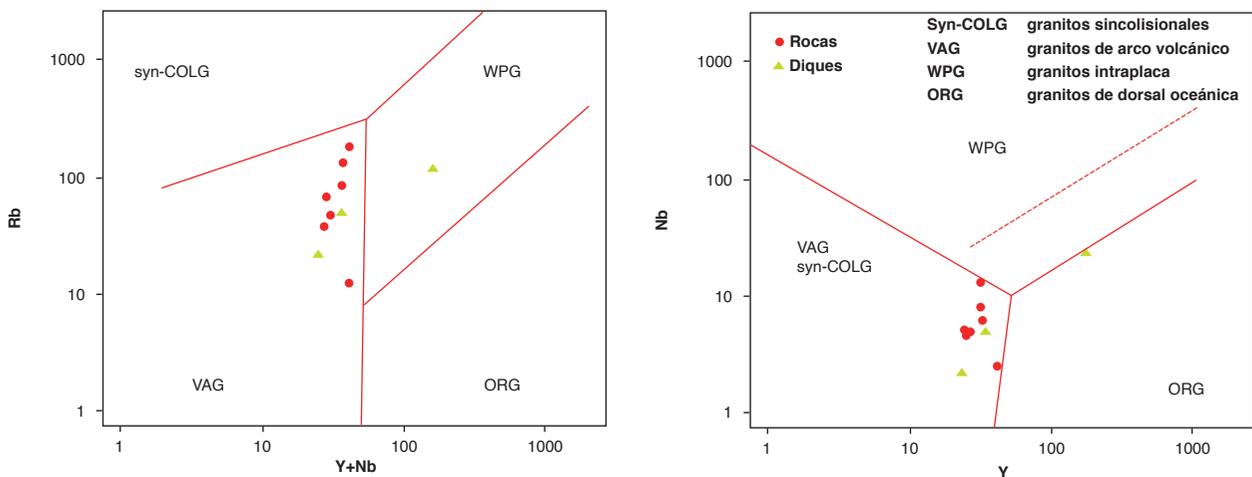


Figura 21. Diagramas de ambiente de Pearce et al. (1984), correspondientes a las rocas y diques de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo

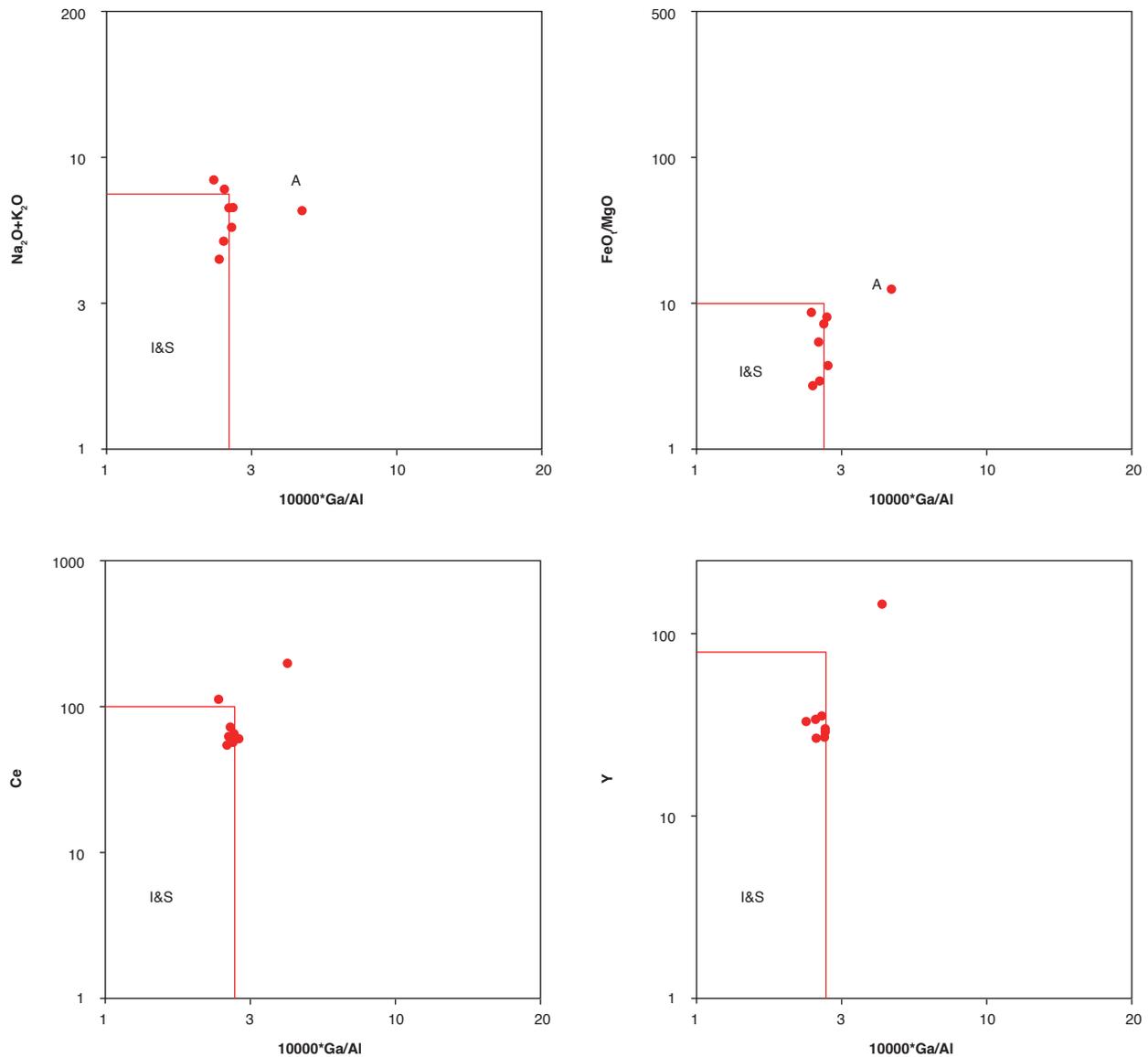


Figura 22. Diagramas de Whalen et al. (1987), correspondientes a óxidos mayores y elementos traza en la Cuarzomonzonita de Sombrello

El análisis químico de los circones de la muestra MIA-512 permitió determinar la abundancia de los elementos traza en cada uno de ellos (tabla 8). Los valores de REE se normalizaron al condrito (McDonough y Sun, 1995), se calcularon las relaciones Pm^* y Tm^* en cada uno de ellos y la relación Th/U , que varía entre 0,5 y 2,2, valores que sugieren que se trata de circones ígneos.

En la figura de REE normalizada al condrito (figura 23) se observa un comportamiento no homogéneo de las tierras raras livianas (LREE) en la mayoría de circones, con valores inferiores a 100 veces el condrito de las

muestras, pero algunos circones presentan en Ce anomalías positivas que indican cristalización en las primeras fases de fraccionamiento magmático (Nardi *et al.*, 2013).

Los circones en general muestran una leve anomalía negativa en el europio, que, según Belousova *et al.* (2002), es representativa de rocas que han sufrido fraccionamiento magmático con una tendencia hacia las rocas félsicas; tienen una tendencia de mayores concentraciones hacia las HREE, comportamiento homogéneo con tendencia paralela en estos elementos.

Tabla 8. Contenidos normalizados de elementos traza y tierras raras en circones en la muestra MIA-512 (contenidos en ppm)

Circón	La	Ce	Pr	Nd	Pm*	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm*	Yb	Lu
24	202,53	197,39	62,50	48,58	49,62	50,68	17,58	135,18	268,42	569,11	1073,26	1900,00	2979,02	4670,81	6626,02
25	25,32	56,61	14,44	19,69	36,11	66,22	46,71	233,17	393,35	682,93	1188,64	1800,00	2522,20	3534,16	4715,45
26	94,94	81,57	19,29	14,66	19,58	26,15	29,13	111,56	204,99	386,18	717,95	1331,25	2089,46	3279,50	4715,45
28	9,28	61,66	5,28	7,44	12,56	21,22	9,77	90,45	183,93	367,48	684,98	1276,88	2071,38	3360,25	4894,31
29	34,60	96,25	11,75	19,26	29,74	45,95	21,31	151,76	293,63	536,59	1016,48	1806,25	2929,59	4751,55	6910,57
30	4,09	96,25	5,60	12,47	33,48	89,86	18,83	296,48	573,41	983,74	1648,35	2531,25	3488,39	4807,45	6219,51
31	0,46	120,39	1,40	5,75	13,10	29,80	11,19	133,67	249,86	478,05	876,92	1430,63	2159,88	3260,87	4410,57
32	0,68	114,03	1,62	3,30	9,90	29,66	12,43	120,60	279,78	518,70	1038,46	1851,88	2979,90	4795,03	6682,93
34	0,59	86,46	3,04	14,66	31,79	68,92	20,07	286,43	548,48	926,83	1593,41	2406,25	3359,16	4689,44	5934,96
35	4,26	45,84	3,88	7,22	14,37	28,58	15,63	90,45	175,07	339,02	660,81	1183,75	1889,93	3017,39	4430,89
36	0,19	85,48	2,16	8,10	16,03	31,76	23,09	167,34	285,32	566,67	1014,65	1700,00	2603,63	3987,58	5382,11
37	0,39	137,03	3,47	12,47	30,45	74,32	53,29	281,41	515,24	930,89	1648,35	2681,25	3998,45	5962,73	8089,43

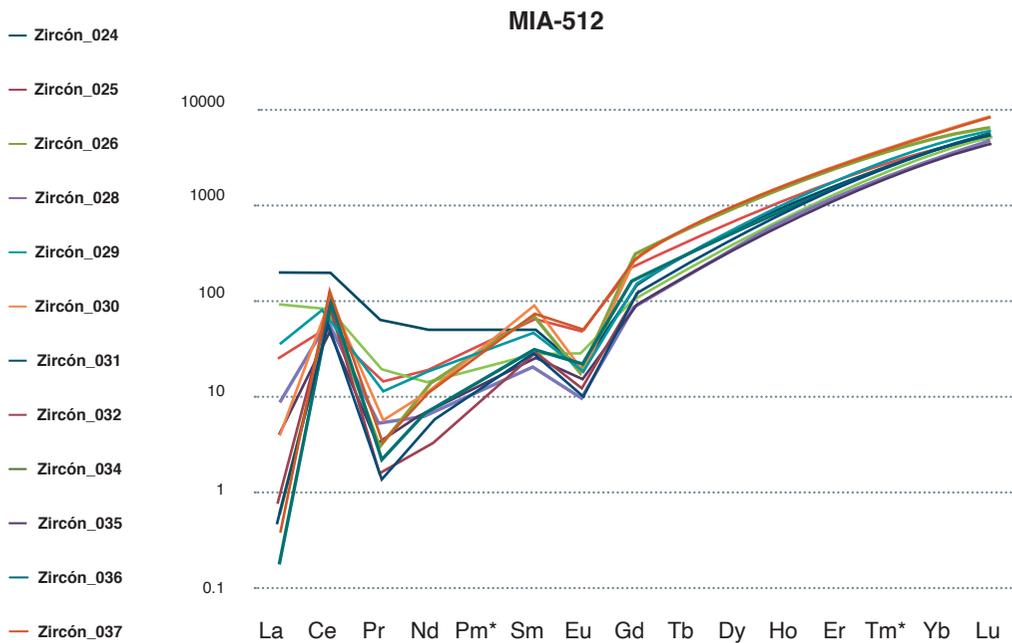


Figura 23. Patrón de tierras raras normalizadas al condrito de la muestra MIA-512. McDonough y Sun (1995)

El diagrama de Nardi *et al.* (2013) identifica patrones químicos que permiten diferenciar granitos tipo I, S y M; los contenidos de Pb y Th de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo muestran valores que se relacionan con ambientes de granitos tipo I (figura 24), con valores de Pb que varían entre 5,8 y 26,2 ppm (tabla 8). Los resultados de Th se encuentran entre 176 y 1560 ppm. Las concentraciones típicas de Th en este tipo de granitos están entre 30 y 700 ppm; tres circones estuvieron por encima del estándar. En la figura 24, la mayor concentración de circones se ubica en el campo de los granitos tipo I,

lo cual es coherente con lo observado en el diagrama de ambiente tectónico de Whalen *et al.* (1987) (figura 22).

En la figura 25, las relaciones Hf-Y muestran la afinidad de los circones de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo con su magma generador. Los circones se concentran principalmente en los campos III y IV, que corresponden a rocas intermedias e intermedias con cuarzo, y rocas félsicas con alto contenido de SiO₂, excepto dos circones con contenido de Y < 1.000, que están en el campo II, correspondiente a las rocas ultramáficas.

Tabla 9. Contenidos en ppm de Y, Hf, Pb e Y en circones en la muestra MIA-512

Circón	Y	Hf	Hf Wt	Pb	Th
24	1880	14200	1,42	19	510
25	1920	9520	0,952	5,8	176
26	1310	13840	1,384	15,5	268,2
28	1255	15480	1,548	10,825	271,3
29	1820	15950	1,595	23,575	604
30	2640	15310	1,531	18	690
31	1408	14090	1,409	17,325	691
32	1786	16590	1,659	26,2	871
34	2500	13650	1,365	18	690
35	1091	10960	1,096	9,955	242,5
36	1692	14020	1,402	17,275	990
37	2790	11530	1,153	19,25	1560

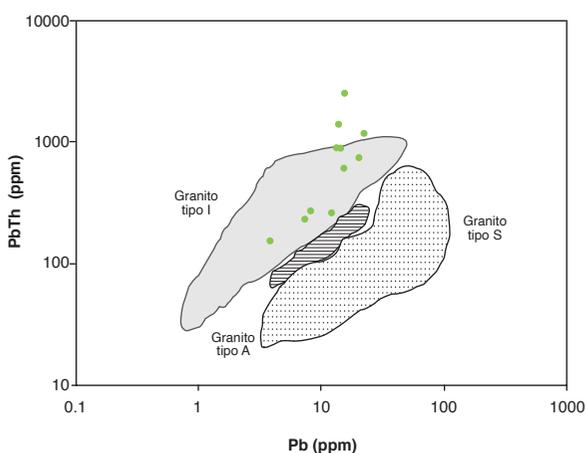


Figura 24. Diagrama de discriminación para identificar la fuente de los circones de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo

Fuente: modificado a partir de Nardi et al. (2013).

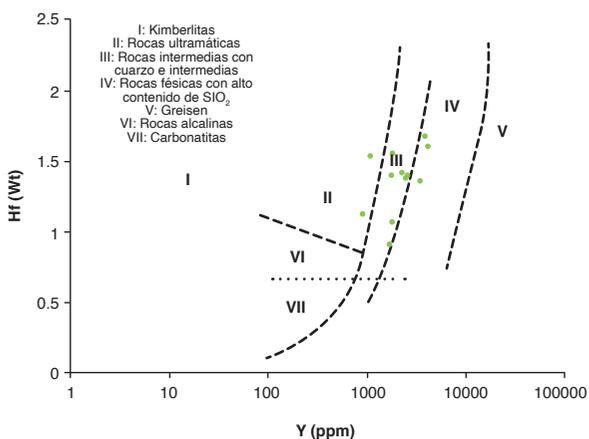


Figura 25. Diagrama de discriminación de ambientes de los circones de Cuarzomonzonita de Sombrerillo

Fuente: modificado a partir de Shnukov et al. (1997).

6. Posición estratigráfica y edad

Grosse (1935) considera que los macizos de Descanse-Yunguillo y Tarabita, expuestos en las cabeceras del río Caquetá, al sur de lo representado en la plancha 388, son la continuación del Macizo de Sombrerillos, situación que fue comprobada por Ingeominas-Geoestudios (1999) con la cartografía geológica regional de la plancha 412: San Juan de Villalobos.

Por otra parte, se asume que el intrusivo se prolonga por debajo de la cubierta volcánica y volcanoclástica del Pleistoceno y aflora nuevamente en el río Granates, extendiéndose en la plancha 365: Coconucos, en donde también aparece en áreas restringidas a manera de ventanas geológicas. Varios de estos afloramientos continúan en la plancha 366: Garzón, en donde Velandia *et al.* (1996) lo asimilaron a la prolongación del Batolito de Ibagué, haciéndolo equivalente al Plutón de La Plata, en el sentido de Álvarez y Linares (1983). Con esta investigación se postula, entonces, que la Cuarzomonzonita de Sombrerillos se emplazó en el Jurásico, y que en este cuerpo pueden estar incluidos varios pulsos magmáticos.

En el presente estudio se realizaron cinco dataciones radiométricas por el método U-Pb de muestras del área de afloramiento de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo, precedidas por la clasificación petrográfica y el análisis litogeoquímico de las muestras. Su localización se presenta en la figura 1 y la tabla 10.

De estas muestras, tres corresponden propiamente a la Cuarzomonzonita de Sombrerillo, con edades de $173,8 \pm 2,2$ (GZ-6780); $176,3 \pm 2,5$ (MIA-512) y $181,5 \pm 4,0$ (MIA-525), Jurásico Medio (Aaleniano-Toarciense). Se observa en este cuerpo una disminución de las edades de norte a sur.

Un saprolito de roca granítica (muestra MIA-533) presenta una edad de $203,9 \pm 2,3$ Ma, Triásico Superior (Noriano), y otra población de edades precámbricas heredadas, de 625,25 Ma, se localiza en el borde del cuerpo y podría corresponder a un cuerpo no definido en la cartografía. La muestra MIA-535 de granofels, con edad de 934 ± 15 Ma (Neoproterozoica) correspondería a un techo colgante no cartografiado del basamento Neoproterozoico. Es una roca de apariencia ígnea de la cual no se conoce la relación con la Cuarzomonzodiorita de Sombrerillo. Estas dos muestras con edades más antiguas están en la zona del contacto oriental del cuerpo que corresponde a la Falla San Francisco-Yunguillo. Las muestras se obtuvieron a partir de saprolito o por trituración de muestra de roca.

Tabla 10. Dataciones isotópicas U-Pb de la Cuarzomonzonita de Sombrerillos

N.º campo	N	W	Clasificación	Edad U-Pb (Ma)	Edades heredadas
GZ-6780	621073	690094	Cuarzomonzodiorita	174,0±1,5	
MIA-525	702534	769738	Saprolito de monzogranito	180,3±2,9	
MIA-512	692266	753452	Granodiorita	176,3±2,5	
MIA-533	657259	740964	Saprolito de monzonita	203,9±2,3	612,25
MIA-535	654001	738626	Granofels de Qtz-Pl-Kfs	934±15	

Granofels: roca metamórfica

La muestra MIA-512 corresponde a una granodiorita. Los circones son cortos, prismáticos, con pirámides achatadas. Bajo CL es evidente algún zonamiento concéntrico, así como la ausencia de núcleos heredados (figura 26). Con el fin de mejorar el rango de confiabi-

lidad de la edad, en esta muestra se trabajó con 12 circones, con MSWD 1,3 y discordancia <10% (figura 27). Los circones analizados tienen edades que van desde los ~168,5 a los ~183,8 Ma.

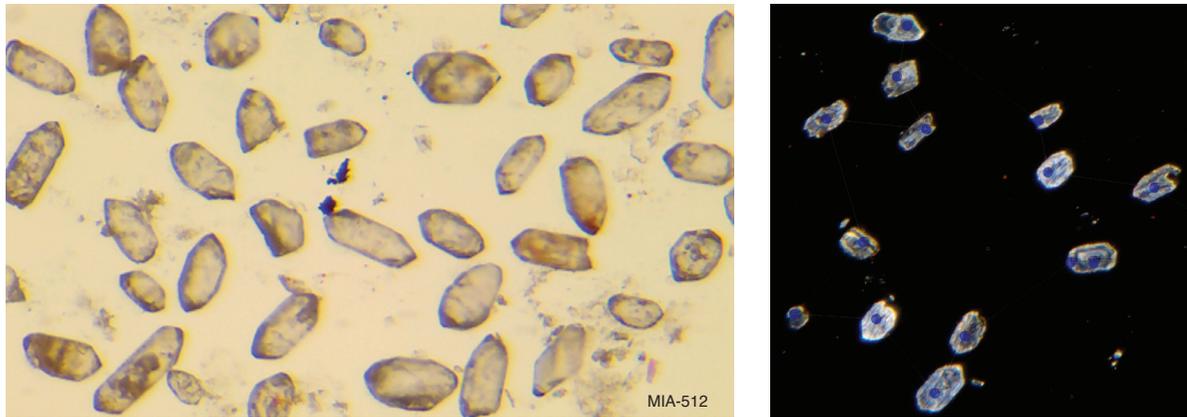


Figura 26. Vista microscópica con aumento de 4x. Nícoles paralelos y de catodoluminiscencia de la muestra MIA-512

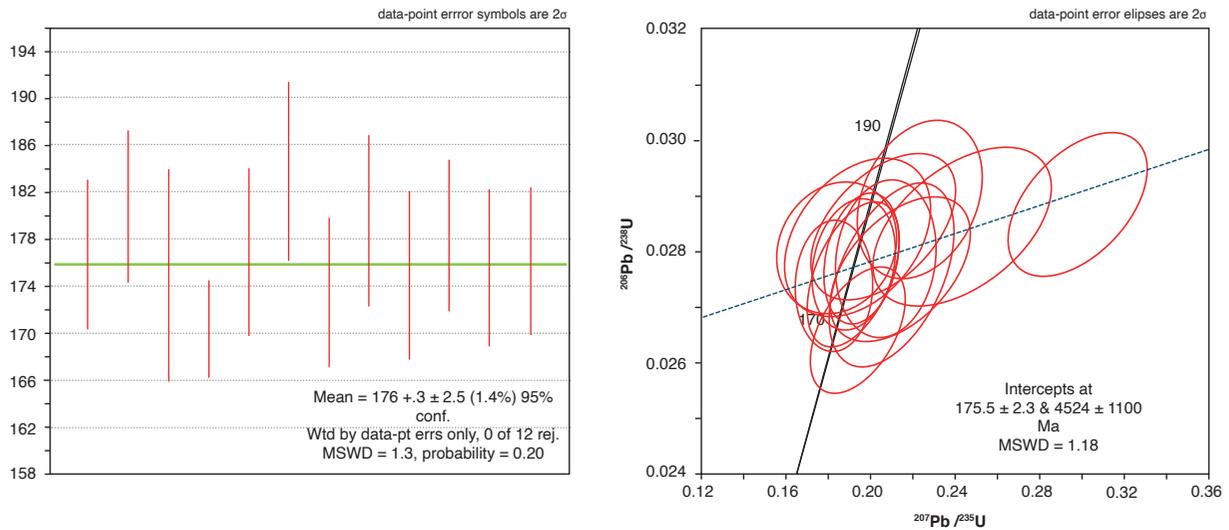


Figura 27. Diagramas utilizados en el cálculo de la edad para la muestra MIA-512
a) Diagrama de cálculo de la edad media ponderada; b) Diagrama de concordia.

La muestra MIA-525 se tomó de saprolito de monzogranito. Los circones son de formas prismáticas, con dos poblaciones de tamaño: una mayor de 200 μm y menor de 300 μm , de coloración amarilla más intensa, y otra con tamaños entre 60 y 100 μm , incoloros (figura 28). Varían de euhedrales a anhedrales, tienen forma prismática, y predominan los prismáticos cortos; presentan manchas color café producto de la oxidación; en su mayoría presen-

tan inclusiones. En las imágenes de catodoluminiscencia (CL) se observan terminaciones bipiramidales, la presencia de zonamiento oscilatorio y zonas de núcleos más oscuros. Para optimizar el rango de confiabilidad de la edad estimada de la muestra se trabajó con ocho circones, con MSWD 0,6 y discordancia <10% (figura 29). Los circones estudiados tienen edades desde ~176,3 a ~184,9 Ma.

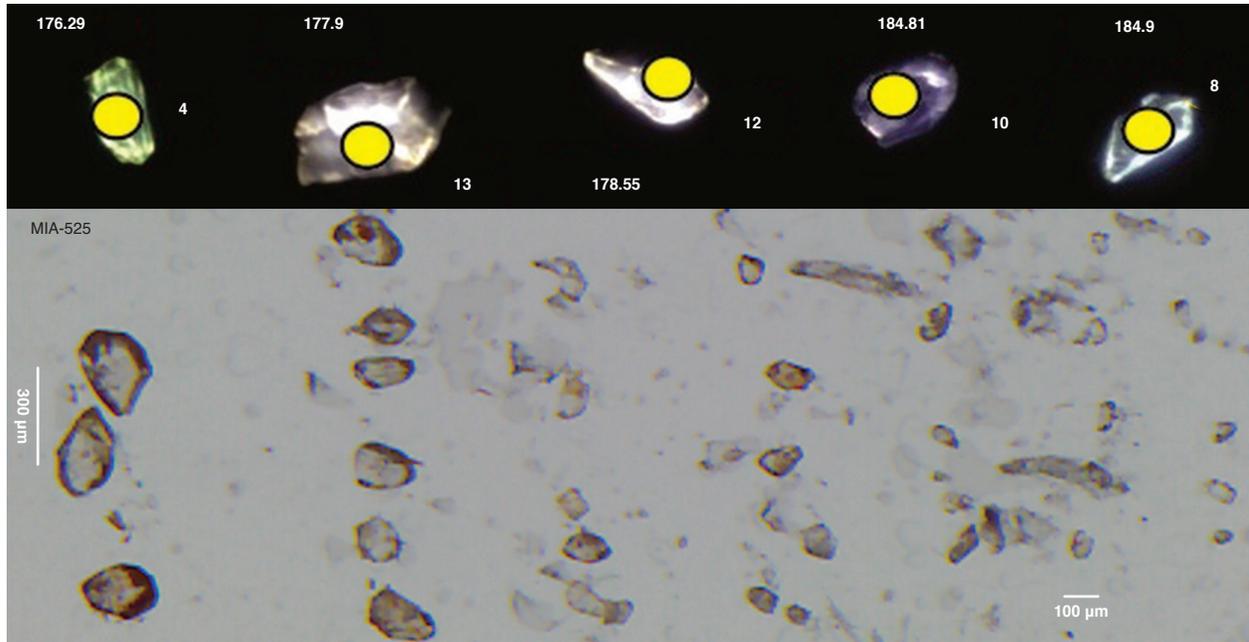


Figura 28. Parte superior: vista con lupa binocular, aumento de 2,5x. Parte inferior: imágenes de catodoluminiscencia de la muestra MIA-525

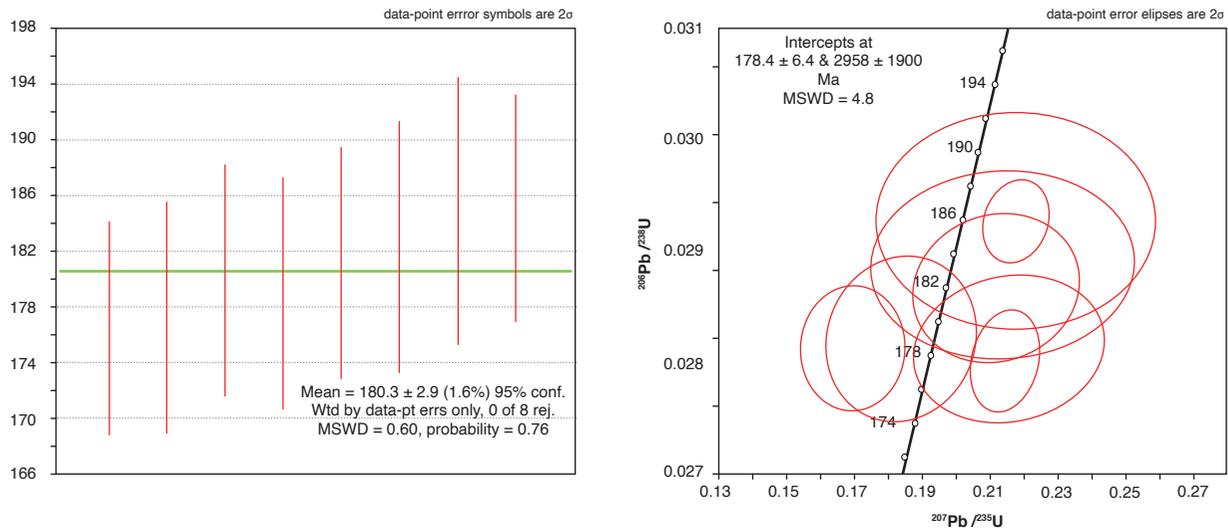


Figura 29. Diagramas utilizados en el cálculo de la edad para la muestra MIA-525 a) Diagrama de cálculo de la edad media ponderada; b) Diagrama de concordia.

Los circones de la muestra GZ-6780 son euhedrales a subhedrales, con tamaños entre 50 y 200 μm , si bien predomina el rango entre 50 y 100 μm ; tienen forma prismática corta y larga, la mayoría son de color amarillo pálido, algunos incoloros; en su mayoría presentan inclusiones de núcleos más oscuros. En las imágenes de catodoluminiscencia (CL) se observan terminaciones bipiramidales en

los cristales de mayor tamaño y zonamiento concéntrico (figura 30). En el diagrama de concordia de las muestras analizadas, los circones tienen un comportamiento que va de concordante a ligeramente discordante, con edades comprendidas entre ~ 166 y ~ 180 Ma (figura 31). Las edades obtenidas en estas tres muestras corresponderían a la edad de cristalización del cuerpo.

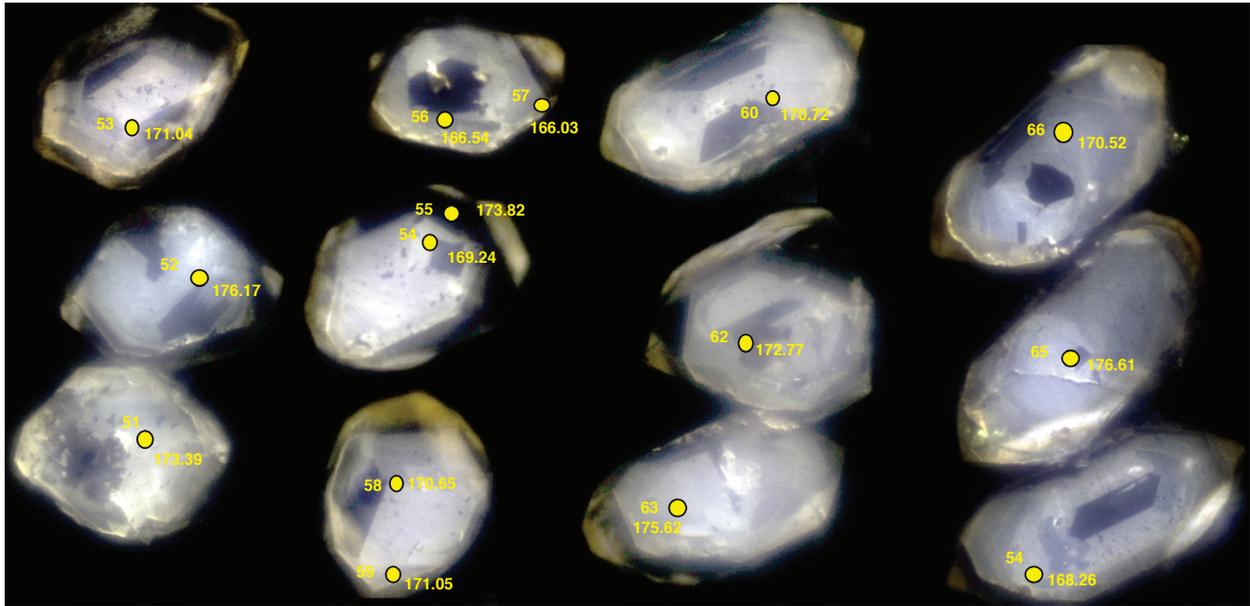


Figura 30. Imagen de catodoluminiscencia de la muestra GZ-6780

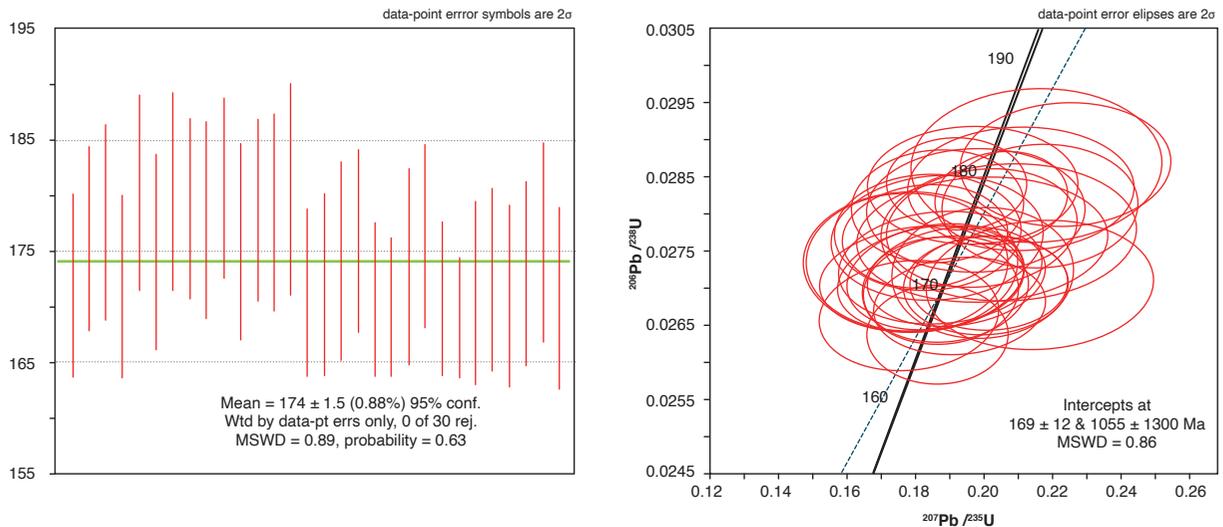


Figura 31. Diagramas utilizados en el cálculo de la edad para la muestra GZ-680
 a) Diagrama de cálculo la edad media ponderada; b) Diagrama de concordia.

Las otras dos rocas más antiguas corresponden a muestras de aspecto ígneo, de saprolito de monzonita y granofels de Qtz-Pl-Kfs.

En la muestra MIA-533 aparecen principalmente cristales mayores de 100 μm , entre incoloros y amarillo pálido, de forma prismática alargada, y algunos más re-

dondeados; presentan núcleos heredados (figura 32). En la probeta se montaron 44 circones, de los cuales se escogieron 27 con discordancia <10%, con el fin de mejorar el rango de confiabilidad de la edad. Se observó un MSWD de 1,3, con edades comprendidas entre ~193 y ~217 Ma (figura 33); tiene una edad heredada de 612,25 Ma.

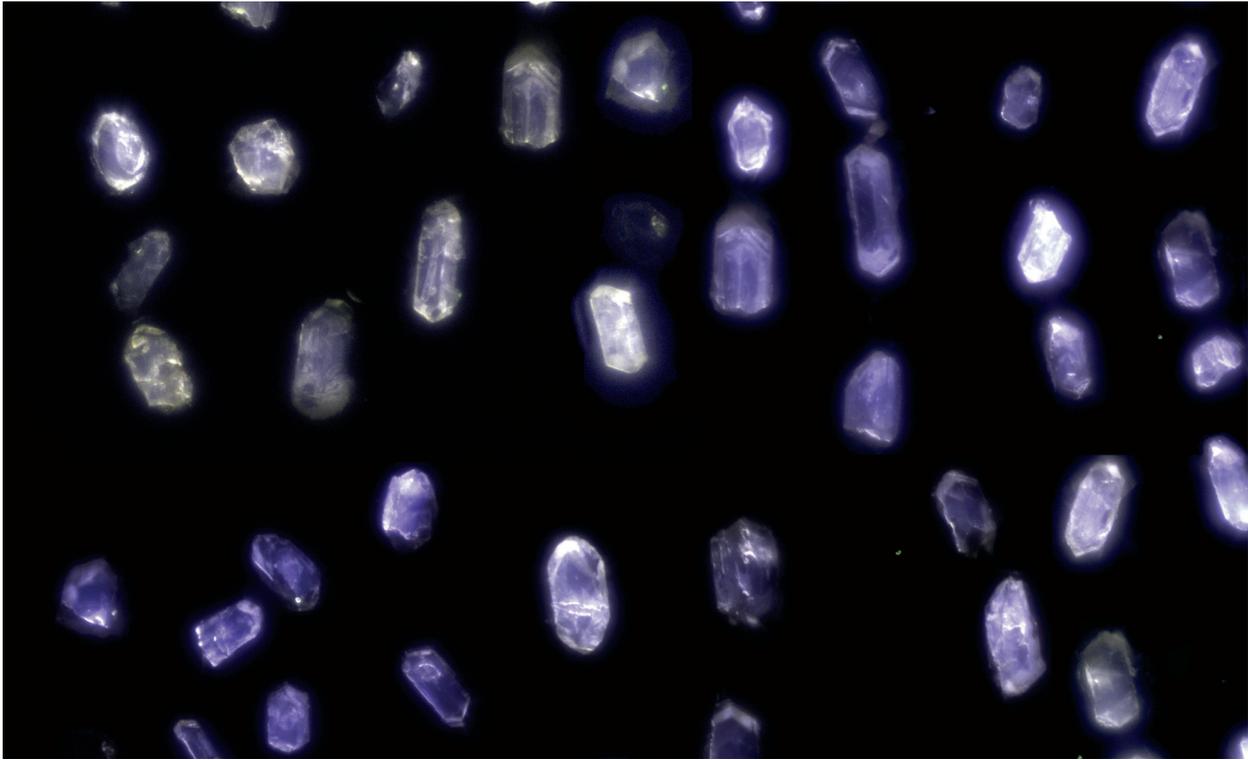


Figura 32. Imagen de catodoluminiscencia de la muestra MIA-533

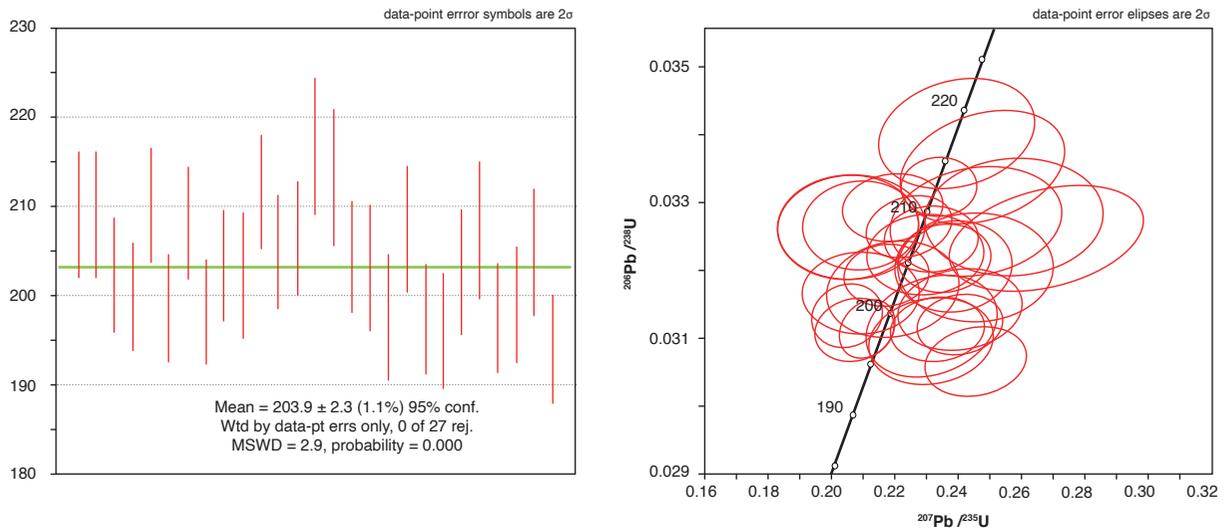


Figura 33. Diagramas utilizados en el cálculo de la edad para la muestra MIA-533 a) Diagrama de cálculo de la edad media ponderada; b) Diagrama de concordia.

La muestra MIA-535 de granofels de Qtz-Pl-Kfs tiene circones con formas prismáticas largas, euhedrales, de incoloros a amarillo pardusco claro, con inclusiones de color pardo; en las imágenes de catodoluminiscencia (CL) se observan terminaciones bipiramidales (figura 34). En la probeta se montaron 46 circones, de los cuales se escogieron 35 con discordancia < 10% y un MSWD de

1,5. Para el tratamiento estadístico de esta muestra fue tomada la relación de $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$. Se encuentran edades comprendidas entre ~858 y ~990 Ma (figura 35). Esta edad posiblemente está relacionada con el basamento Neoproterozoico, que comprende un conjunto de rocas metamórficas y rocas con aspecto granitoide.

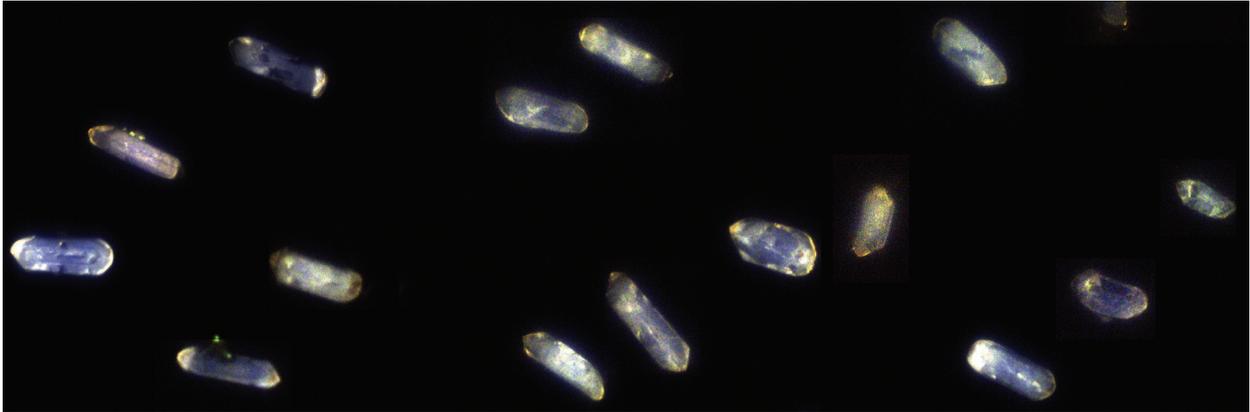


Figura 34. Imagen de catodoluminiscencia de la muestra MIA-535

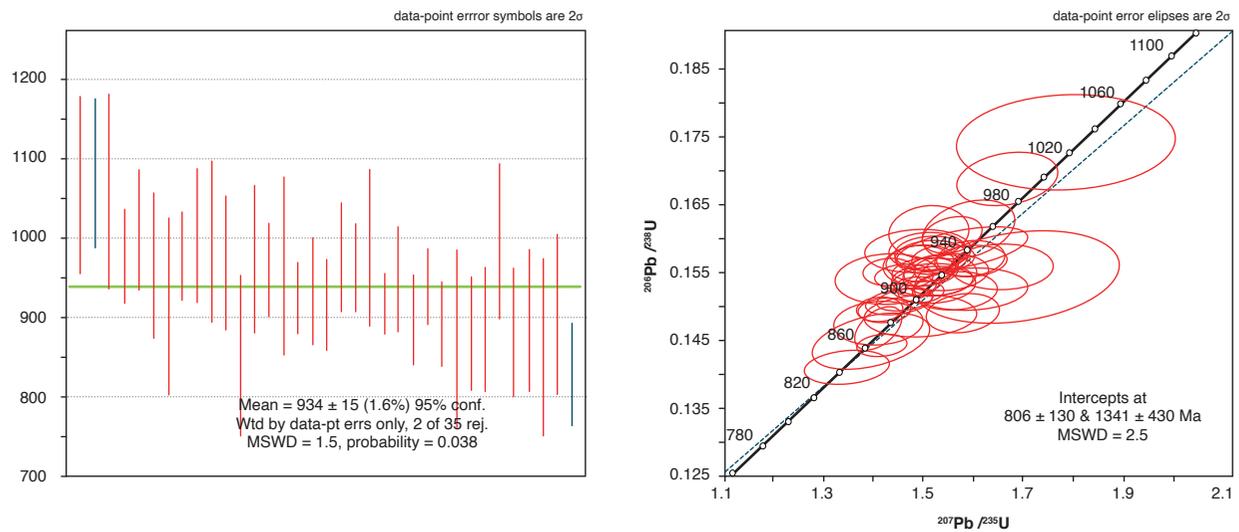


Figura 35. Diagramas utilizados en el cálculo de la edad para la muestra MIA-535
a) Diagrama de cálculo de la edad media ponderada; b) Diagrama de concordia.

7. Correlación

Por posición estratigráfica, geotectónica y geocronológica, la Cuarzomonzonita de Sombrerillo se correlaciona con los plutones que afloran en el borde oriental del valle superior del Magdalena: Monzogranito de Algeciras, con edades que varían entre 171,5 y 179,1 Ma, Cuarzolaita de Teruel, con edad de 170 Ma, Granito de Garzón, con edades de 170,8 y 172,3 Ma, Monzogranito de Altamira, con edades de 169,4 y 172 Ma, y hacia el sur, el Monzogranito de Mocoa, con edades de 170,2 a 181,8 Ma.

Los cuerpos intrusivos que conforman este grupo están emplazados al oeste de la Falla Algeciras y marcan un evento magmático en el límite entre el Jurásico Temprano y el Jurásico Medio, ocurrido en la margen occidental de la cordillera Oriental.

8. Génesis

A partir de la caracterización geoquímica y del análisis de la edad de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo se puede afirmar que el plutón corresponde a un granito tipo I (cordillerano) sincolisional formado en un ambiente de arco volcánico.

Las rocas de este cuerpo se ubican principalmente en los campos de las series calcoalcalinas altas en K, shoshoníticas, y algunas muestras presentan afinidad calcoalcalina, se distribuyen en los campos metaluminoso y peraluminoso. Las rocas del plutón, así como los diques, se ubican en el campo de las rocas magnesianas.

La Cuarzomonzonita de Sombrerillo hace parte de un evento plutónico emplazado en el valle superior del Magdalena, ocurrido entre 170 y 179 Ma.

9. Recursos minerales

Núñez (2003) describe que por el río Caquetá, entre Yunguillo y Descanse (Plancha 411), en la Cuarzomonzodiorita de Sombrerillo se observan venas, venillas y diseminaciones con pirita, magnetita y ocasionalmente calcopirita, con leve alteración. Son manifestaciones de poca importancia, asociadas a pórfidos andesíticos-dacíticos, diques y fracturas en el intrusivo. En los drenajes, que cruzan por el contacto con las Metamorfitas Pompeya y las Lodolitas y Calizas Granadillo, se reporta la presencia de oro aluvial. Además, propuso que las rocas de la Cuarzomonzodiorita de Sombrerillo se deben analizar para la posible utilización como roca ornamental, aunque la gran distancia entre los sitios de exposición y los centros urbanos, a lo que se suma la carencia

de vías de comunicación, hacen poco factible esta posibilidad.

10. Conclusiones

La Cuarzomonzonita de Sombrerillo, al igual que los plutones que afloran en el borde oriental del valle superior del Magdalena (plutones orientales), tienen más del 68% de plagioclasa (Pl) + feldespato (Kfs) + cuarzo (Qtz), con cantidades por debajo de 32% de hornblenda, biotita, clinopiroxeno y ortopiroxeno.

Las rocas de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo corresponden a rocas holocristalinas, con textura dominante hipidiomórfica inequigranular, con variaciones a alotriomórfica y panidiomórfica, subordinadas. La composición mineralógica es bastante uniforme, pero varía en el contenido de los minerales esenciales, lo que se refleja en la diversidad composicional. Los análisis petrográficos realizados a veintinueve secciones delgadas muestran que no es un cuerpo homogéneo, y está conformado por cuarzomonzonitas, monzogranitos, cuarzomonzodioritas, granodioritas, monzodiorita, sienogranito y tonalita, entre las que predomina la cuarzomonzonita (37,93%), y son abundantes el monzogranito (20,69%), cuarzomonzodiorita (20,69%) y granodiorita (10,34%).

Las rocas de dique son principalmente de tipo andesítico (una de ellas, dacítica), con espesor de hasta 40 cm. Con menor frecuencia se encuentran diques y venillas cuarzo-feldespáticas, aplíticas y de cuarzo. Su componente esencial es plagioclasa (hasta 52%), seguida por feldespato potásico (hasta 6,4%) y cuarzo (hasta 5%). Algunas muestras tienen alto contenido de hornblenda (hasta 37,5%) y escasa biotita (3,5%); ortopiroxeno únicamente se halló en la muestra M-033. Tres de las muestras contienen vidrio (hasta 13%) y amígdalas. Los diques se encuentran frecuentemente alterados a calcita, sericita, caolín y óxidos de hierro.

La firma geoquímica se concentra en las series de granitos tipo KCG (granitoides calcoalcalinos ricos en potasio) hasta shoshonítica. Algunas muestras presentan afinidad calcoalcalina y se distribuyen en los campos metaluminoso y peraluminoso. Tanto las rocas del plutón como los diques se ubican en el campo de las rocas magnesianas. Los valores de SiO₂ en rocas granitoides de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo varían entre 55,37% y 72,84%. Los valores de Al₂O₃, Fe₂O₃ y CaO tienen una relación inversamente proporcional a SiO₂;

el $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ oscila entre 4,49% y 9,56%. El TiO_2 varía entre 0,27% y 1,07%. Los contenidos de Al_2O_3 están entre 14,06% y 16,6%; los valores más bajos corresponden a las muestras más félsicas. El contenido de hierro total está entre 2,43% y 13,24%, y el MgO varía entre 0,28% y 9,42%. El contenido de álcalis ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) oscila entre 4,17% y 8,22%. El contenido TiO_2 es bajo: entre 0,27% y 1,07%.

En los diques que intruyen la Cuarzomonzonita de Sombrerillo se observan valores de SiO_2 entre 48,7% y 51,25%, que corresponden a rocas básicas y al límite intermedio-básico, con contenido promedio de Al_2O_3 de 16%; el hierro total varía entre 14% y 16,3%, y MgO entre 5,9% y 7,8%; el contenido de álcalis ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) es menor de 5%, con valores mayores de sodio; el menor contenido de K_2O está en la muestra IGM 900767, que presenta alteración hidrotermal y corresponde a la serie calcoalcalina.

Los elementos de las tierras raras (REE), normalizados al condrito, muestran en las rocas granitoides del cuerpo principal concentraciones de tierras raras con valores bajos, con enriquecimiento en tierras raras livianas (LREE), con un patrón homogéneo que se va empobreciendo progresivamente hacia las tierras raras pesadas (HREE), con una pendiente negativa que se aplanan en las tierras raras pesadas. La muestra IGM 900811, de granofels, tiene un comportamiento diferente: presenta mayor enriquecimiento tanto en LREE como en HREE y valores superiores en comparación con el condrito. La muestra IGM 900765 presenta una pequeña anomalía positiva en Eu. Las anomalías negativas de Nb, Sr, Ti y P y el empobrecimiento progresivo hacia los elementos pesados caracterizan los arcos magmáticos relacionados con ambientes de subducción, mientras que la anomalía negativa de Nb con respecto al Th y Ce, con un patrón semiparalelo en todas las muestras, es característica de magmas originados en ambientes tectónicos relacionados con los arcos.

Entre los diques se diferencia la muestra IGM 900809, que presenta el mayor enriquecimiento en tierras raras, con empobrecimiento progresivo hacia las tierras raras pesadas. Las otras dos muestras, 900765 y 900767, presentan una leve anomalía positiva en Eu.

En los diagramas NMORB correspondientes a los granitoides de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo se observan varios picos que revelan empobrecimiento de los elementos inmóviles Nb, La, Ce, P y Ti y anomalías

positivas en Ba, K, Pb, Nd, Sm. Esto puede corresponder a la separación de fases minerales accesorias, como titanita, rutilo y apatito, lo que manifiesta una evolución magmática. Se destaca la muestra de granofels IGM900811 por los mayores contenidos de Nd, Dy, Y, Yb y Lu que los presentes en las otras muestras, lo que indica claramente una procedencia diferente.

Las muestras de los diques presentan picos negativos en Nb, P y Ti, pero la muestra IGM900765 presenta mayor enriquecimiento en Rb, K y Pb y un comportamiento similar (paralelo) a las otras dos muestras, con empobrecimiento en elementos menos móviles (HFS) y anomalías negativas poco pronunciadas en P y Ti. Las otras muestras presentan marcadas anomalías negativas en Nb (figura 19b).

Las cinco dataciones radiométricas realizadas con el método U-Pb muestran edades de 173,8±2,2 Ma (GZ-6780); 176,3±2,5 Ma (MIA-512) y 181,5±4,0 Ma (MIA-525), que corresponden al Jurásico Medio (Aaleniano-Toarciano). Se observa en este cuerpo una disminución de las edades de norte a sur. Se debe destacar que una muestra de saprolito de roca granítica (MIA-533) presenta una edad de 203,9±2,3 Ma, correspondiente al Triásico Superior (Noriano), y otra población, de edades precámbricas heredadas, de 625,25 Ma, se localiza en el borde del cuerpo y podría corresponder a un cuerpo no definido en la cartografía. La muestra MIA-535, de granofels, tiene una edad de 934±15 Ma (Neoproterozoico), y correspondería a un techo colgante no cartografiado del Complejo Migmatítico La Cocha-Río Téllez, que comprende un conjunto de rocas metamórficas y rocas con aspecto granitoide, cuya relación con la Cuarzomonzodiorita de Sombrerillo se desconoce. Estas dos muestras (MIA-533 y MIA-535), de edades más antiguas, están en la zona del contacto oriental del cuerpo, que corresponde a la Falla San Francisco-Yunguillo.

Por posición stratigráfica, geotectónica y geocronológica, la Cuarzomonzonita de Sombrerillo se correlaciona con los plutones que afloran en el borde oriental del valle superior del Magdalena: Monzogranito de Algeciras, con edades entre 171,5 y 179,1 Ma, Cuarzolita de Teruel, con edad de 170 Ma, Granito de Garzón, con edades de 170,8 y 172,3 Ma, Monzogranito de Altamira, con edades de 169,4 y 172 Ma, y hacia el sur el Monzogranito de Mocoa, con edades de 170,2 a 181,8 Ma. Los cuerpos intrusivos que conforman este grupo están emplazados al oeste de la Falla Algeciras, y marcan un evento

magmático en el límite entre el Jurásico Temprano y el Jurásico Medio, ocurrido en la margen occidental de la cordillera Oriental. La Cuarzomonzonita de Sombrerillo hace parte de un evento plutónico emplazado en el valle superior del Magdalena ocurrido entre 170 y 179 Ma.

Referencias

- Álvarez, J. (1983). Geología de la cordillera Central y el occidente colombiano y petroquímica de los intrusivos granitoides meso-cenozoicos. Ingeominas, *Boletín Geológico*, 26(2), 1-175.
- Álvarez, J. y Linares, E. (1983). Edad K/Ar del plutón granitoide de La Plata, departamento del Huila (Colombia). *Geología Norandina*, 7, 35-38.
- Belousova, E., Griffin, W., O'Reilly, S. y Fisher, N. (2002). Igneous zircon: Trace element composition as an indicator of source rock type. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 143(5), 602-622. <https://doi.org/10.1007/s00410-002-0364-7>
- Cárdenas, J. I., Núñez, A. y Fuquen, J. A. (2003). *Geología de la plancha 388 Pitalito*. Memoria explicativa, escala 1:100.000. Ingeominas.
- 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), 2033-2043. <https://doi.org/10.1093/petrology/42.11.2033>
- Grosse, E. (1935 [1930]). *Acerca de la geología del sur de Colombia. Informe rendido al Ministerio de Industrias sobre un viaje al Huila y alto Caquetá*. Compilación de los Estudios Geológicos Oficiales de Colombia. Tomo III. Servicio Geológico Nacional.
- Ingeominas y Geoestudios. (1999). *Mapa geológico de Colombia. Plancha 412: San Juan de Villalobos. Escala 1:100.000*. Informe interno. Ingeominas.
- International Subcommission on Stratigraphic Classification (ISSC). (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)
- Julivert, M. (1968). *Lexique stratigraphique internationale: Amérique Latine. Fascicule 4a Colombie (première partie): Précambrien, Paléozoïque, Mésozoïque et intrusions d'âge mésozoïque-tertiaire*. Centre National de la Recherche Scientifique.
- 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. (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)
- Nakamura, N. (1974). Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimical et Cosmochimical 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)
- Nardi, L. V. S., Formoso, M. L. L., Müller, I. F., Fontana, E., Jarvis, K. y Lamarão, C. (2013). Zircon/rock partition coefficients of REEs, Y, Th, U, Nb, and Ta in granitic rocks: Uses for provenance and mineral exploration purposes. *Chemical Geology*, 335, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2012.10.043>
- Núñez, A. (2003). *Reconocimiento geológico regional de las planchas 411 La Cruz, 412 San Juan de Villalobos, 430 Mocoa, 431 Piamonte, 448 Monopamba, 449 Orito Y 465 Churuyaco*. Memoria explicativa, escala 1:100.000. Ingeominas.
- 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., Harris, N. B. W. y Tindle, A. G. (1984). Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25(4), 956-983. <https://doi.org/10.1093/petrology/25.4.956>
- Peccerillo, A. y Taylor, S. R. (1976). Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58, 63-81. <https://doi.org/10.1007/BF00384745>
- Petrus, J. A. y Kamber, B. S. (2012). VizuAlage: 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>
- Salvador, A. (Ed.). (1994). *International Stratigraphic Guide: A guide to stratigraphic classification, terminology and procedure* (2.a ed.). International Subcommission

- on Stratigraphic Classification, International Union of Geological Sciences y Geological Society of America.
- Shand, S. J. (1943). *Eruptive rocks: Their genesis, composition, classification, and their relation to ore-deposits with a chapter on meteorite*. John Wiley & Sons.
- Shnukov, S. E., Andreev, A. V. y Savenok, S. P. (1997, 23-27 de marzo). *Admixture elements in zircons and apatites: A tool for provenance studies of terrigenous sedimentary rocks* [ponencia]. EUG IX Conference. Strasbourg, France, European Union of Geosciences.
- 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. *Geostandards 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. (1974). Classification and nomenclature of plutonic rocks recommendations of the IUGS subcommission 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*. Special Publications 42. The Geological Society of London. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>
- Velandia, F., Ferreira, P., Rodríguez, G. y Núñez, A. (1996). *Memoria explicativa levantamiento geológico de la Plancha: 366 Garzón*. Informe 1321. Ingeominas.
- Whalen, J., Currie, K. y Chappell, B. (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*. Prentice Hall.

Anexo A

Edades de circones de la Cuarzomonzonita de Sombrello

Muestra GZ-6780

Identificación muestra	Relación final Pb 207_U 235	Error interno relación final Pb 207_U 235 a 2 D. E.	Relación final Pb 206_U 238	Error interno relación final Pb 206_U 238 vs. Pb 207_U 235	Error de correlación Pb 206_U 238 vs. Pb 207_U 235	Ajuste error de correlación (datos negativos)	Edad corregida Pb 206_U 238 (Ma)	Edad Pb 207_U 235 (Ma)	% discordia
GZ_6780_46	0,206	0,021	0,02592	0,00052	0,1	-0,14112	162,70	185,00	13,71
GZ_6780_57	0,213	0,03	0,02649	0,00076	0,034534	0,034534	166,03	187,00	12,63
GZ_6780_53	0,164	0,023	0,02676	0,00066	0,018192	0,018192	171,04	150,00	-12,30
GZ_6780_64	0,225	0,034	0,02676	0,00081	0,14152	0,14152	168,26	188,00	11,73
GZ_6780_9	0,205	0,065	0,0268	0,0015	0,16145	0,16145	169,95	188,00	10,62
GZ_6780_42	0,158	0,026	0,02701	0,00089	0,1	-0,023816	173,05	141,00	-18,52
GZ_6780_49	0,168	0,027	0,02712	0,0007	0,1	-0,080458	172,91	148,00	-14,41
GZ_6780_65	0,172	0,025	0,02763	0,00073	0,038648	0,038648	176,61	153,00	-13,37
GZ_6780_14	0,268	0,024	0,02766	0,00052	0,20447	0,20447	171,75	242,00	40,90
GZ_6780_61	0,23	0,026	0,02773	0,00068	0,054405	0,054405	173,39	202,00	16,50
GZ_6780_43	0,169	0,026	0,02776	0,00078	0,11166	0,11166	177,70	154,00	-13,34
GZ_6780_67	0,233	0,034	0,02777	0,00081	0,1	-0,048529	173,09	196,00	13,24
GZ_6780_30	0,217	0,022	0,0278	0,00057	0,1	-0,071141	174,66	195,00	11,65
GZ_6780_11	0,289	0,028	0,02791	0,00064	0,18444	0,18444	172,39	255,00	47,92
GZ_6780_58	0,324	0,037	0,02797	0,00075	0,13589	0,13589	170,65	266,00	55,87
GZ_6780_16	0,293	0,026	0,0281	0,00068	0,1	-0,039009	172,93	260,00	50,35
GZ_6780_38	0,168	0,03	0,02844	0,00078	0,15803	0,15803	181,99	150,00	-17,58
GZ_6780_17	0,372	0,044	0,02848	0,00074	0,39887	0,39887	170,84	308,00	80,29
GZ_6780_8	0,266	0,053	0,0285	0,0013	0,010048	0,010048	177,04	239,00	35,00
GZ_6780_28	0,172	0,027	0,02851	0,0008	0,094361	0,094361	182,25	154,00	-15,50
GZ_6780_21	0,227	0,029	0,02887	0,00078	0,1	-0,010331	182,45	201,00	10,17
GZ_6780_24	0,293	0,034	0,02991	0,0008	0,1074	0,1074	184,75	244,00	32,07
GZ_6780_55	0,608	0,063	0,03069	0,00092	0,27453	0,27453	173,82	452,00	160,04
GZ_6780_29	0,56	0,046	0,03072	0,00065	0,27425	0,27425	175,44	436,00	148,52
GZ_6780_2	0,738	0,041	0,03148	0,00067	0,58223	0,58223	169,40	556,00	228,23
GZ_6780_10	0,855	0,094	0,0338	0,0011	0,58781	0,58781	181,73	587,00	223,01
GZ_6780_15	1,89	0,21	0,0371	0,0022	0,57186	0,57186	146,54	1053,00	618,59
GZ_6780_1	0,193	0,063	0,0281	0,0016	0,1	-0,045979	181,01	152,00	-16,03
GZ_6780_4	0,214	0,025	0,0281	0,00081	0,15552	0,15552	176,95	196,00	10,77
GZ_6780_41	0,474	0,081	0,02799	0,00076	0,042095	0,042095	478,96	469,99	-16,29
GZ_6780_12	0,222	0,023	0,02993	0,00063	0,069185	0,069185	189,57	196,00	3,39
GZ_6780_13	0,189	0,014	0,02594	0,00051	0,17237	0,17237	160,33	174,00	8,53
GZ_6780_18	0,18	0,024	0,02698	0,00062	0,11742	0,11742	171,70	158,00	-7,98
GZ_6780_19	0,199	0,02	0,02598	0,00059	0,1	-0,057484	164,47	180,00	9,44
GZ_6780_20	0,195	0,025	0,02773	0,00068	0,12299	0,12299	175,95	176,00	0,03
GZ_6780_22	0,214	0,025	0,02805	0,00071	0,015829	0,015829	177,32	191,00	7,71

Identificación muestra	Relación final Pb 207_U 235	Error interno relación final Pb 207_U 235 a 2 D. E.	Relación final Pb 206_U 238	Error interno relación final Pb 206_U 235 a 2 D. E.	Error de correlación Pb 206_U 238 vs. Pb 207_U 235	Ajuste error de correlación (datos negativos)	Edad corregida Pb 206_U 238 (Ma)	Edad Pb 207_U 235 (Ma)	% discordia
GZ_6780_23	0,177	0,026	0,02701	0,00059	0,1	-0,090939	171,60	159,00	-7,34
GZ_6780_25	0,222	0,027	0,02863	0,00071	0,060529	0,060529	180,14	195,00	8,25
GZ_6780_26	0,205	0,032	0,02768	0,00079	0,03021	0,03021	174,61	176,00	0,80
GZ_6780_27	0,193	0,027	0,02834	0,00068	0,014173	0,014173	180,17	170,00	-5,64
GZ_6780_3	0,186	0,017	0,02593	0,00049	0,1	-0,0022974	164,52	171,00	3,94
GZ_6780_31	0,202	0,017	0,02815	0,00053	0,094419	0,094419	178,64	191,00	6,92
GZ_6780_32	0,182	0,012	0,02605	0,00045	0,1	-0,02042	165,59	169,00	2,06
GZ_6780_33	0,194	0,028	0,02798	0,00071	0,020103	0,020103	177,64	173,00	-2,61
GZ_6780_34	0,188	0,018	0,02836	0,00053	0,0010267	0,0010267	180,47	170,00	-5,80
GZ_6780_35	0,182	0,027	0,0276	0,00072	0,10144	0,10144	175,64	159,00	-9,47
GZ_6780_36	0,182	0,022	0,02805	0,00064	0,073402	0,073402	178,47	164,00	-8,11
GZ_6780_37	0,205	0,033	0,02916	0,00089	0,058349	0,058349	184,90	178,00	-3,73
GZ_6780_39	0,208	0,029	0,02829	0,00071	0,0082509	0,0082509	178,27	179,00	0,41
GZ_6780_40	0,213	0,032	0,02862	0,00088	0,025654	0,025654	180,40	191,00	5,88
GZ_6780_44	0,183	0,02	0,02684	0,00062	0,010397	0,010397	170,33	165,00	-3,13
GZ_6780_45	0,188	0,023	0,02705	0,00057	0,16168	0,16168	171,78	166,00	-3,37
GZ_6780_47	0,172	0,026	0,02725	0,00081	0,0021915	0,0021915	173,86	153,00	-12,00
GZ_6780_48	0,178	0,021	0,02761	0,00059	0,1	-0,093226	175,77	161,00	-8,40
GZ_6780_5	0,173	0,023	0,02649	0,00063	0,1	-0,0048936	169,07	155,00	-8,32
GZ_6780_50	0,189	0,022	0,02664	0,00056	0,1	-0,0096699	168,42	173,00	2,72
GZ_6780_51	0,174	0,027	0,02725	0,0008	0,024639	0,024639	173,39	151,00	-12,91
GZ_6780_52	0,179	0,024	0,02767	0,00067	0,030348	0,030348	176,17	161,00	-8,61
GZ_6780_54	0,214	0,029	0,02892	0,00075	0,076479	0,076479	169,24	183,00	8,13
GZ_6780_56	0,182	0,018	0,02623	0,00057	0,015227	0,015227	166,54	164,00	-1,52
GZ_6780_59	0,182	0,023	0,02696	0,00068	0,043039	0,043039	171,05	160,00	-6,46
GZ_6780_6	0,196	0,023	0,02713	0,00073	0,041768	0,041768	172,22	185,00	7,42
GZ_6780_60	0,199	0,021	0,02703	0,0006	0,1	-0,18377	170,72	180,00	5,44
GZ_6780_62	0,183	0,026	0,02718	0,00065	0,1	-0,12071	172,77	164,00	-5,08
GZ_6780_63	0,196	0,032	0,02757	0,00072	0,063154	0,063154	175,62	167,00	-4,91
GZ_6780_66	0,197	0,021	0,0269	0,00059	0,045378	0,045378	170,52	177,00	3,80
GZ_6780_7	0,2151	0,0086	0,03015	0,00037	0,20714	0,20714	191,11	196,60	2,87

Muestra MIA-512

Circón	Ratios corregidos ²				Th/U	Ratios corregidos ²				Rho		
	U (ppm) ¹	Th (ppm) ¹	²⁰⁷ Pb/ ²³⁸ Pb	$\pm 2\sigma$ abs		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	$\pm 2\sigma$ abs	²⁰⁶ Pb/ ²³² Th	$\pm 2\sigma$ abs			
Circón_024_MIA-512	590	510	0,0514	0,0029	0,86	0,196	0,014	0,0278	0,001	0,00849	0,00075	0,25074
Circón_025	182	176	0,0518	0,0066	0,97	0,207	0,028	0,0284	0,0011	0,00832	0,00083	0,49297
Circón_026	534	268,2	0,0574	0,0058	0,50	0,211	0,024	0,0275	0,0014	0,0103	0,0014	0,47199
Circón_027	192,2	135,2	0,0754	0,0069	0,70	0,298	0,027	0,0288	0,0011	0,0113	0,001	0,49297
Circón_028	378	271,3	0,0532	0,0046	0,72	0,195	0,018	0,02648	0,00096	0,00839	0,00075	0,49297
Circón_029	771	604	0,0537	0,0044	0,78	0,208	0,019	0,0278	0,0012	0,0105	0,0013	0,10616
Circón_030	600	690	0,0558	0,0049	1,15	0,224	0,024	0,0289	0,0012	0,0108	0,0029	0,28405
Circón_031	588,5	691	0,0506	0,0046	1,17	0,184	0,015	0,0273	0,001	0,00867	0,00077	0,00466
Circón_032	943,2	871	0,0511	0,0063	0,92	0,195	0,028	0,0282	0,0012	0,00938	0,00085	0,37815
Circón_033	147	130	0,0614	0,0082	0,88	0,244	0,034	0,0284	0,0012	0,0102	0,00095	0,49297
Circón_034	650	690	0,0519	0,0046	1,06	0,193	0,018	0,0275	0,0011	0,00881	0,00082	0,49297
Circón_035	307,9	242,5	0,0488	0,0058	0,79	0,185	0,023	0,028	0,001	0,00891	0,00082	0,16277
Circón_036	618	990	0,0579	0,0069	1,60	0,215	0,027	0,0276	0,0011	0,00872	0,0008	0,49297
Circón_037_MIA-512	710	1.560	0,0512	0,0034	2,20	0,193	0,016	0,0277	0,001	0,00872	0,00083	0,20462

Circón	Edades corregidas (Ma)				Mejor edad (Ma)	Disc. %
	$\pm 2\sigma$	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	$\pm 2\sigma$	$\pm 2\sigma$		
Circón_024_MIA-512	6,4	183	280	140	176,7	6 3,44
Circón_025	6,6	189	240	250	180,8	7 4,34
Circón_026	9,1	194	520	190	174,8	9 9,90
Circón_027	6,8	264	1.010	190	182,9	7 30,72
Circón_028	6	181	360	170	168,5	6 6,91
Circón_029	7,2	195	330	180	176,9	7 9,28
Circón_030	7,7	205	410	180	183,8	8 10,34
Circón_031	6,3	171	200	180	173,5	6 -1,46
Circón_032	7,4	180	230	260	179,5	7 0,28
Circón_033	7,7	220	680	310	180,8	8 17,82
Circón_034	7,2	179	250	190	174,9	7 2,29
Circón_035	6,5	172	110	220	176,3	7 -3,66
Circón_036	6,7	197	480	270	175,6	7 10,86
Circón_037_MIA-512	6,4	179	240	140	176,1	6 1,62

Muestra MIA-525

Identificación muestra	Relación final Pb 207_U 235	Error interno relación final Pb 207_U 235 a 2 D. E.	Relación final Pb 206_U 238	Error interno relación final Pb 206-U 235 a 2 D. E.	Error de correlación Pb 206_U 238 vs. Pb 207_U 235	Ajuste error de correlación (datos negativos)	Edad corregida Pb 206_U 238 (Ma)	Edad Pb 207_U 235 (Ma)	% discordia
MIA_525_3	0,0045	0,0014	0,00041	0,00003	0,1000	-0,14834	2,50	4,50	79,72
MIA_525_5	0,2750	0,0280	0,02875	0,00074	0,1000	-0,05840	177,92	243,00	36,58
MIA_525_11	0,2480	0,0220	0,02887	0,00052	0,1569	0,15687	180,84	221,00	22,21
MIA_525_7	0,9900	0,1300	0,03420	0,00200	0,2685	0,26847	165,55	668,00	303,51
MIA_525_12	0,9900	0,0770	0,03437	0,00096	0,5542	0,55415	178,55	670,00	275,25
MIA_525_6	0,8800	0,1100	0,03490	0,00150	0,3371	0,33709	186,23	630,00	238,29
MIA_525_1	0,3400	0,1100	0,03600	0,00240	0,0599	0,05994	224,53	289,00	28,71
MIA_525_16	2,6500	0,2000	0,05160	0,00170	0,6266	0,62655	202,54	4-255-00	519-63
MIA_525_4	0,2168	0,0086	0,02798	0,00039	0,2257	0,22569	176,29	198,90	12,83
MIA_525_13	0,2180	0,0240	0,02809	0,00056	0,1000	-0,00060	177,09	198,00	11,81
MIA_525_15	0,1700	0,0130	0,02809	0,00048	0,0312	0,03118	179,73	157,00	-12,64
MIA_525_14	0,1850	0,0190	0,02818	0,00063	0,1000	-0,21690	178,85	173,00	-3,27
MIA_525_17	0,2140	0,0210	0,02866	0,00056	0,1000	-0,00715	180,99	194,00	7,19
MIA_525_18	0,2160	0,0330	0,02888	0,00072	0,0523	0,05228	182,18	187,00	2,65
MIA_525_10	0,2200	0,0350	0,02929	0,00063	0,0228	0,02280	184,81	192,00	3,89
MIA_525_8	0,2200	0,0085	0,02929	0,00032	0,1791	0,17912	184,90	202,40	9,46
MIA_525_2	0,2790	0,0400	0,03140	0,00085	0,3959	0,39586	194,88	243,00	24,69
MIA_525_9	0,3160	0,0110	0,04156	0,00045	0,0247	0,02467	260,94	279,80	7,23

Muestra MIA-533

Identificación muestra	Relación final Pb 207_U 235	Error interno relación final Pb 207_U 235 a 2 D. E.	Relación final Pb 206_U 238	Error interno relación final Pb 206_U 238 a 2 D. E.	Error de correlación Pb 206_U 238 vs. Pb 207_U 235	Ajuste error de correlación (datos negativos)	Edad corregida Pb 206_U 238 (Ma)	Edad Pb 207_U 235 (Ma)	% discordia
MIA_533_20	0,204	0,018	0,03286	0,00067	0,036913	0,036913	209,7112006	185	-11,78344337
MIA_533_17	0,209	0,016	0,03289	0,00057	0,041131	0,041131	209,5906246	195	-6,961487226
MIA_533_41	0,208	0,015	0,03182	0,00053	0,03202	0,03202	202,7421335	191	-5,791659245
MIA_533_37	0,2036	0,0089	0,03146	0,00041	0,13533	0,13533	200,199457	188,8	-5,694049921
MIA_533_7	0,218	0,013	0,03316	0,00044	0,1	-0,0074402	210,8761871	200	-5,157617497
MIA_533_38	0,206	0,01	0,03124	0,00041	0,16664	0,16664	198,936478	189,4	-4,79373021
MIA_533_9	0,223	0,011	0,03287	0,0004	0,23347	0,23347	208,8448988	203,7	-2,463502276
MIA_533_24	0,2101	0,0071	0,03124	0,00038	0,23368	0,23368	198,4939676	194,1	-2,213652951
MIA_533_42	0,216	0,011	0,0321	0,0004	0,086437	0,086437	203,8515328	199,8	-1,987491967
MIA_533_31	0,218	0,017	0,03188	0,00062	0,13465	0,13465	202,6441785	201	-0,811362297
MIA_533_39	0,2325	0,0097	0,03351	0,00038	0,0062916	0,0062916	212,3941599	210,7	-0,797649024
MIA_533_30	0,228	0,015	0,03243	0,00052	0,067884	0,067884	205,4411895	206	0,272005102
MIA_533_27	0,23	0,012	0,03267	0,00042	0,031703	0,031703	207,0227751	209	0,95507605
MIA_533_6	0,238	0,02	0,03433	0,00071	0,18931	0,18931	217,6155477	221	1,555243778
MIA_533_1	0,246	0,021	0,0338	0,00073	0,27827	0,27827	213,947256	220	2,829082327
MIA_533_11	0,234	0,012	0,03236	0,00044	0,097403	0,097403	204,849705	212,1	3,59324126
MIA_533_28	0,237	0,015	0,03224	0,00059	0,073365	0,073365	203,5909474	214	5,112728605
MIA_533_25	0,23	0,017	0,0313	0,00065	0,21928	0,21928	197,8615105	208	5,124033232
MIA_533_22	0,244	0,022	0,03295	0,0007	0,16132	0,16132	208,1055482	220	5,71556611
MIA_533_16	0,232	0,012	0,03126	0,00042	0,094795	0,094795	197,7095527	212,3	7,37973815
MIA_533_26	0,23	0,016	0,03106	0,00055	0,1008	0,1008	196,3348174	211	7,469476264
MIA_533_18	0,244	0,02	0,03222	0,0007	0,007331	0,007331	203,1366282	219	7,809212938
MIA_533_36	0,256	0,023	0,03302	0,00075	0,067799	0,067799	207,998388	225	8,173915295
MIA_533_2	0,239	0,011	0,03132	0,00039	0,15072	0,15072	197,8141278	215,2	8,768994169
MIA_533_14	0,239	0,016	0,03156	0,00052	0,10754	0,10754	199,2899886	218	9,388334815
MIA_533_32	0,266	0,025	0,03268	0,00068	0,3354	0,3354	205,4163675	228	10,99407644
MIA_533_4	0,244	0,013	0,03074	0,00044	0,17757	0,17757	193,5571065	222	14,69483298
MIA_533_21	0,891	0,052	0,1003	0,0026	0,23619	0,23619	612,2451574	639	4,369955768
MIA_533_15	0,282	0,025	0,03367	0,00067	0,16542	0,16542	210,5167715	245	16,38027613
MIA_533_34	0,263	0,013	0,03257	0,00056	0,18753	0,18753	204,0920199	238	16,61406464
MIA_533_19	0,264	0,012	0,03203	0,00042	0,069682	0,069682	200,7418001	236,6	17,86284664
MIA_533_33	0,295	0,024	0,03354	0,00051	0,71127	0,71127	209,2646576	253	20,89953596
MIA_533_23	0,287	0,02	0,03313	0,00053	0,3375	0,3375	206,6283279	250	20,99018682
MIA_533_40	0,297	0,029	0,0338	0,00078	0,27128	0,27128	209,9947157	256	21,90782952
MIA_533_29	0,299	0,017	0,03495	0,00056	0,093149	0,093149	217,9409244	267	22,51026313
MIA_533_35	0,343	0,034	0,03343	0,0009	0,098824	0,098824	205,1195486	295	43,81856925
MIA_533_13	0,305	0,024	0,02967	0,00064	0,049979	0,049979	182,0621761	279	53,24435088
MIA_533_8	0,415	0,041	0,0355	0,0011	0,25056	0,25056	214,7122356	347	61,61165622
MIA_533_10	0,385	0,023	0,03263	0,00055	0,40674	0,40674	198,0766898	329	66,09728301
MIA_533_12	0,37	0,037	0,02796	0,00061	0,66305	0,66305	169,0468426	304	79,83181193
MIA_533_3	0,739	0,072	0,0363	0,0011	0,18466	0,18466	202,7712302	538	165,3236356
MIA_533_5	1,689	0,072	0,0441	0,00094	0,33155	0,33155	201,9283693	1.005	397,701241

Muestra MIA-535

Identificación muestra	Relación final Pb 207_U 235	Error interno relación final Pb 207_U / U 235 a 2 D. E.	Relación final Pb 206_U 238	Error interno relación final Pb 206_U / U 235 a 2 D. E.	Error de correlación Pb 206_U 238 vs. Pb 207_U 235	Ajuste error de correlación (datos negativos)	Edad corregida Pb 206_U 238 (Ma)	Edad Pb 207_U 235 (Ma)	% discordia
MIA_535_34	2,2290	0,0830	0,1586	0,0019	0,1336	0,1336	913,92	1,186,00	29,79
MIA_535_26	1,6920	0,0600	0,1489	0,0017	0,2689	0,2689	880,71	1,006,00	14,23
MIA_535_23	1,6900	0,0650	0,1501	0,0018	0,1767	0,1767	888,00	1,002,00	12,84
MIA_535_13	1,7650	0,0800	0,1564	0,0017	0,2768	0,2768	924,67	1,026,00	10,96
MIA_535_7	1,5720	0,0600	0,1465	0,0024	0,1816	0,1816	871,28	959,00	10,07
MIA_535_8	1,6800	0,1700	0,1521	0,0057	0,2544	0,2544	902,10	991,00	9,85
MIA_535_1	1,4860	0,0940	0,1463	0,0027	0,0415	0,0415	873,92	916,00	4,81
MIA_535_4	1,4040	0,0730	0,1451	0,0027	0,0748	0,0748	872,28	889,00	1,92
MIA_535_6	1,7800	0,1800	0,1726	0,0059	0,0684	0,0684	1,024,12	1,019,00	-0,50
MIA_535_29	1,4810	0,0860	0,1561	0,0027	0,0840	0,0840	936,40	926,00	-1,11
MIA_535_20	4,4286	0,0880	0,1549	0,0024	0,4224	0,4224	944,64	894,00	-2,26
MIA_535_21	1,6530	0,0840	0,1537	0,0028	0,0295	0,0295	915,01	987,00	7,87
MIA_535_12	1,5600	0,0660	0,1499	0,0024	0,1589	0,1589	892,09	959,00	7,50
MIA_535_14	1,5900	0,0940	0,1503	0,0026	0,1094	0,1094	894,81	960,00	7,29
MIA_535_3	1,4100	0,0410	0,1417	0,0013	0,1348	0,1348	849,92	888,00	4,48
MIA_535_22	1,5850	0,0590	0,1548	0,0024	0,2037	0,2037	924,24	962,00	4,09
MIA_535_46	1,5170	0,0670	0,1508	0,0022	0,1343	0,1343	920,42	939,00	4,05
MIA_535_25	1,3870	0,0960	0,1423	0,0035	0,4185	0,4185	856,00	888,00	3,74
MIA_535_38	1,4850	0,0400	0,1497	0,0013	0,2484	0,2484	896,27	927,00	3,43
MIA_535_17	1,5430	0,0670	0,1526	0,0021	0,2265	0,2265	912,61	941,00	3,11
MIA_535_16	1,5280	0,0790	0,1528	0,0023	0,2670	0,2670	913,66	941,00	2,99
MIA_535_36	1,5280	0,0580	0,1522	0,0026	0,1788	0,1788	911,05	938,00	2,96
MIA_535_25	1,3870	0,0960	0,1423	0,0035	0,4185	0,4185	856,00	888,00	3,74
MIA_535_38	1,4850	0,0400	0,1497	0,0013	0,2484	0,2484	896,27	927,00	3,43
MIA_535_17	1,5430	0,0670	0,1526	0,0021	0,2265	0,2265	912,61	941,00	3,11
MIA_535_16	1,5280	0,0790	0,1528	0,0023	0,2670	0,2670	913,66	941,00	2,99
MIA_535_36	1,5280	0,0580	0,1522	0,0026	0,1788	0,1788	911,05	938,00	2,96
MIA_535_44	1,5660	0,0780	0,1546	0,0021	0,0291	0,0291	924,70	946,00	2,30
MIA_535_35	1,4030	0,0390	0,1443	0,0026	0,4908	0,4908	866,92	884,00	1,97
MIA_535_33	1,4550	0,0470	0,1488	0,0015	0,2591	0,2591	892,00	909,00	1,91
MIA_535_31	1,4220	0,0380	0,1470	0,0015	0,1720	0,1720	883,01	899,00	1,81
MIA_535_5	1,4430	0,0530	0,1484	0,0016	0,3177	0,3177	889,37	901,00	1,31
MIA_535_39	1,4800	0,0400	0,1513	0,0016	0,2558	0,2558	906,58	918,00	1,26
MIA_535_18	1,5860	0,0740	0,1594	0,0037	0,3024	0,3024	951,41	963,00	1,22
MIA_535_10	1,4720	0,0320	0,1518	0,0015	0,4384	0,4384	911,17	921,00	1,08
MIA_535_32	1,5500	0,0500	0,1585	0,0022	0,2984	0,2984	947,44	957,00	1,01
MIA_535_42	1,4050	0,0370	0,1472	0,0015	0,1636	0,1636	884,79	891,00	0,70
MIA_535_24	1,4710	0,0340	0,1521	0,0014	0,2818	0,2818	911,42	917,00	0,61
MIA_535_37	1,4060	0,0380	0,1470	0,0016	0,1847	0,1847	883,21	888,00	0,54
MIA_535_45	1,5080	0,0730	0,1545	0,0026	0,1629	0,1629	925,74	927,00	0,14
MIA_535_30	1,4520	0,0470	0,1521	0,0016	0,1008	0,1008	913,43	909,00	-0,49
MIA_535_40	1,5030	0,0560	0,1553	0,0025	0,1019	0,1019	931,77	926,00	-0,62
MIA_535_19	1,6620	0,0830	0,1670	0,0033	0,2611	0,2611	996,30	990,00	-0,63
MIA_535_15	1,4860	0,0600	0,1540	0,0024	0,2337	0,2337	924,02	918,00	-0,65
MIA_535_2	1,5020	0,0620	0,1559	0,0024	0,0359	0,0359	934,48	927,00	-0,80
MIA_535_41	1,5700	0,1100	0,1565	0,0026	0,5258	0,5258	936,00	919,00	-1,82
MIA_535_9	1,5040	0,0660	0,1589	0,0033	0,1000	0,1000	951,50	931,00	-2,15
MIA_535_27	1,4230	0,0430	0,1529	0,0017	0,1458	0,1458	920,09	899,00	-2,29

Anexo B

Análisis químico de circones de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo

Muestra MIA-512

	P	Ti	Y	Nb	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	Hf	Pb	Th	U
Circón_024_MIA-512	1.800	3	1880	6,6	48	121	5,8	22,2	7,5	0,99	26,9	9,69	140	58,6	304	752	163	14200	19	510	590
Circón_025	530	-9	1920	1,83	6	34,7	1,34	9	9,8	2,63	46,4	14,2	168	64,9	288	569	116	9520	5,8	176	182
Circón_026	1.510	38	1310	1,51	22,5	50	1,79	6,7	3,87	1,64	22,2	7,4	95	39,2	213	528	116	13840	15,5	268,2	534
Circón_028	-160	2	1255	3,61	2,2	37,8	0,49	3,4	3,14	0,55	18	6,64	90,4	37,4	204	541	120,4	15480	10,825	271,3	378
Circón_029	450	16	1820	3,47	8,2	59	1,09	8,8	6,8	1,2	30,2	10,6	132	55,5	289	765	170	15950	23,575	604	771
Circón_030	0	-16	2640	5,3	0,97	59	0,52	5,7	13,3	1,06	59	20,7	242	90	405	774	153	15310	18	690	600
Circón_031	260	28	1408	9,01	0,11	73,8	0,13	2,63	4,41	0,63	26,6	9,02	118	47,9	229	525	108,5	14090	17,325	691	588,5
Circón_032	100	26	1786	7,5	0,16	69,9	0,15	1,51	4,39	0,7	24	10,1	128	56,7	296	772	164,4	16590	26,2	871	943,2
Circón_034	-10	37	2500	5,9	0,14	53	0,282	6,7	10,2	1,13	57	19,8	228	87	385	755	146	13650	18	690	650
Circón_035	660	-19	1091	2,78	1,01	28,1	0,36	3,3	4,23	0,88	18	6,32	83,4	36,1	189	485,8	109	10960	9,955	242,5	307,9
Circón_036	920	45	1692	4,1	0,05	52,4	0,2	3,7	4,7	1,3	33,3	10,3	139	55,4	272	642	132,4	14020	17,275	990	618
Circón_037_MIA-512	440	49	2790	6,9	0,09	84	0,322	5,7	11	3	56	18,6	229	90	429	960	199	11530	19,25	1560	710
Circón_027	-220	29	1128	2,81	0,12	25	0,08	2,12	2,76	0,47	16,4	6,04	79,7	34	180	451	105,4	12290	6,385	135,2	192,2
Circón_033	90	-3	1435	1,52	0,06	13,2	0,21	4,39	7	1,18	34,4	11,1	132	49,6	225	498	90	8840	4,825	130	147