

Monzogranito de Mocoa

» **Cordillera Oriental**

Departamentos del Putumayo, Huila, Cauca y Nariño

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

Catálogo de las unidades litoestratigráficas de Colombia / Jurásico

Citación: Arango, M. I., Rodríguez, G., Zapata, G. y Bermúdez, J. G. (2022). Monzogranito de Mocoa. En *Catálogos de las unidades litoestratigráficas de Colombia: Valle Superior del Magdalena*. Vol. 2. Servicio Geológico Colombiano. <https://doi.org/10.32685/9789585313194.1>

Este trabajo aporta información sobre el Monzogranito de Mocoa, descrito en forma de catálogo de unidades litoestratigráficas por González y Núñez (2001). Se presentan nuevos resultados petrográficos, litogeoquímicos y geocronológicos que permiten caracterizar el tipo de magmatismo que dominó en la parte sur del Valle Superior del Magdalena y en la cuenca del Putumayo.

1. Proponente del nombre

González y Núñez (2001) realizan la descripción más completa de esta unidad y proponen el nombre de *Monzogranito de Mocoa*, de acuerdo con las recomendaciones de la International Subcommission on Stratigraphic Classification (ISSC) (1987 y 1994).

2. Origen del nombre y distribución geográfica

Escorce (1977), denominó *Batolito de Mocoa* un cuerpo ígneo de grandes dimensiones que aflora en el norte-noroeste del municipio de Mocoa y hacia el norte del río del mismo nombre.

Este cuerpo se presenta en el extremo sur del valle superior del Magdalena, sobre la cordillera Oriental; cubre parte de las planchas 412, 430, 431, 448, 449 y 465 del Ingeominas, sobre los departamentos del Huila, Putumayo, Nariño y Cauca.

Tiene afloramientos discontinuos intrusivos en la Formación Saldaña, que están limitados hacia el norte por las fallas Churumbelo y Los Guzmanes (figura 1), hacia el oeste del municipio de Mocoa por las fallas La Tortuga y La Tebaida, donde es cortado por el río Mocoa, que lo atraviesa en dirección este-oeste, y llega a extenderse hacia el sur hasta el límite con Ecuador.

Velandia (2001) indica que el Monzogranito de Mocoa se extiende hacia la parte oriental del sistema de fallas de Algeciras, que está conformado por las fallas Villalobos, Acevedo, San Francisco-Yunguillo y Afiladores, con una orientación noreste-suroeste, y cubre un área total de 4200 km² (Leal, 2011).

3. Reseña histórica

González y Núñez (2001), realizan la descripción más completa de esta unidad, haciendo una minuciosa com-

pilación de los trabajos anteriores, que se retoman a continuación.

Autores anteriores a Escorce (1977) ya habían reportado la presencia de rocas graníticas en esta zona de Colombia. Inicialmente, Grosse (1935) informó sobre afloramientos de edad preterciaria en las cabeceras de los ríos Magdalena y Caquetá, a los que denominó, de acuerdo con sus características estructurales no deformadas, *rocas andinas*. Estas conforman los macizos de intrusivos Yunguillo-Descanse, Tarabita, río Sombrerillo y La Plata-La Tapa.

Royo y Gómez (1942) hablan sobre afloramientos de granodioritas cortados por diques de pegmatitas y microdioritas en algunas vías al sur del Huila, cerca del municipio de Altamira y la vía hacia Florencia, en el Caquetá. Radelli (1962) realizó un estudio petrográfico de los plutones que afloran en el borde occidental del Macizo de Garzón (plutones de Suaza, Altamira, Garzón y Algeciras), y concluyó que estos cuerpos pertenecen a un solo evento magmático, de acuerdo con sus características litológicas, composición y rasgos estructurales, además de una componente subvolcánica asociada a estos cuerpos.

No obstante, Julivert (1968) plantea la posibilidad de que los plutones que afloran en el área del alto Magdalena y alto Putumayo no correspondan a un mismo evento magmático, sino más bien a dos grupos de cuerpos, unos con edad pre-Cretácico-Jurásico que podrían estar relacionados con las rocas del Grupo Payandé, y otros de edad pos-Cretácico.

Cucalón y Camacho (1966), en su trabajo de compilación geológica de la cuenca del Putumayo, mencionan afloramientos de rocas intrusivas en esta área del estudio; igualmente, Meritano y Pacheco (1972) describen varios

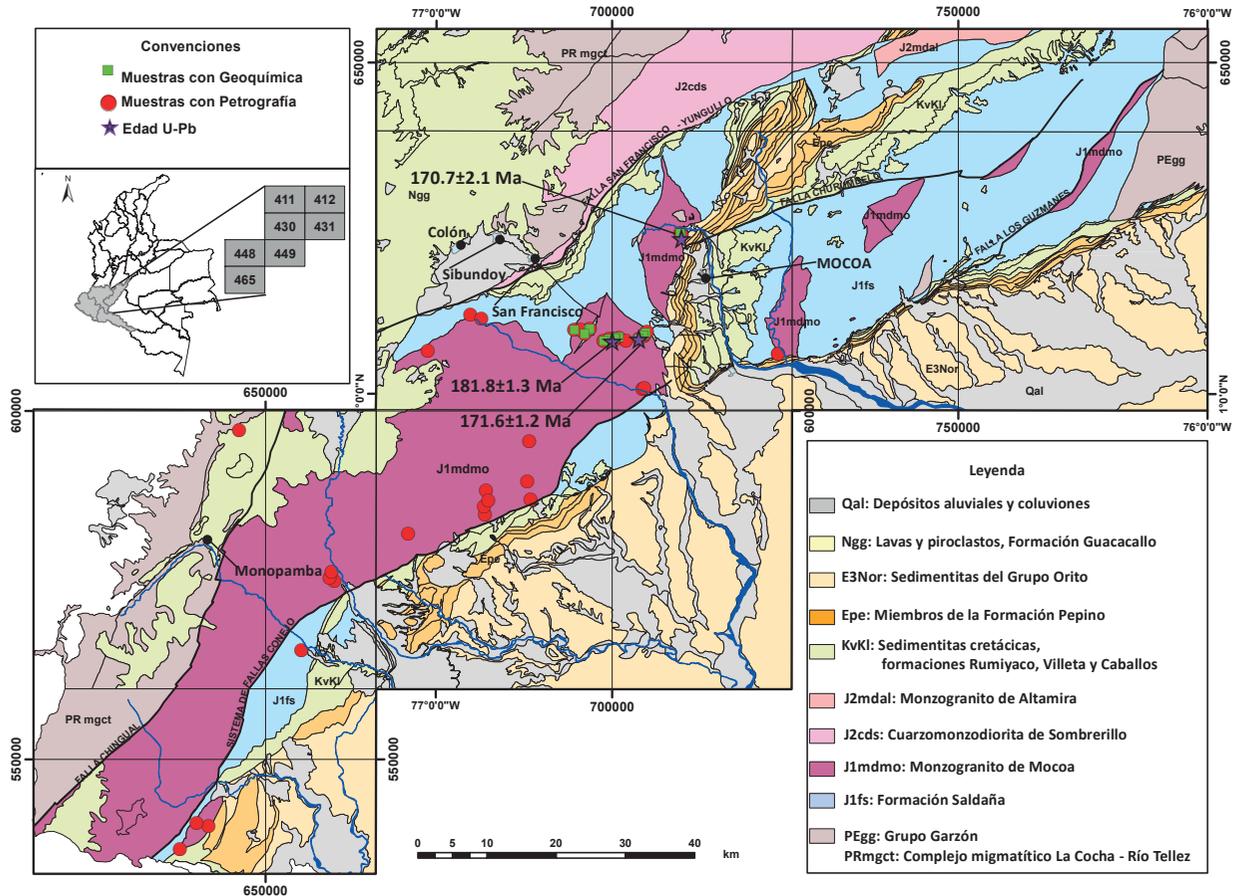


Figura 1. Mapa geológico de la región de Mocoa con la localización del Monzogranito de Mocoa y ubicación de las muestras

Fuente: cartografía tomada del Ingeominas a escala 1:100.000.

cuerpos graníticos en el sur del valle superior del Magdalena, sobre el área de Pitalito, Tamaná, Suaza y Salado Blanco, de posible edad Pérmico-Triásico hasta el Jurásico.

Han sido varios los trabajos realizados sobre el prospecto de cobre y molibdeno de tipo diseminado que se localiza sobre la plancha 430 del Ingeominas, al noroccidente de la ciudad de Mocoa. Entre ellos, Escorce (1977) mencionó la presencia de pórfidos de composición dacítica. Asimismo, Sillitoe (1978 y 1979) plasma en informes de las Naciones Unidas algunas particularidades sobre la mineralización de prospectos de pórfido cuprífero en Colombia, y hace referencia al localizado en Mocoa. Las Naciones Unidas, junto con el Ingeominas, desarrollaron en 1977 un proyecto de metales básicos en Colombia, para el área de la cordillera Central y valles del Magdalena-Caquetá, a la que llamaron *unidad n.º 9*, y específicamente del plutón de Mocoa describieron una composición intermedia a ácida.

Diversos autores obtuvieron edades que reflejan la mineralización de cobre y molibdeno en el plutón de Mocoa. Los primeros fueron Jaramillo *et al.* (1980), quienes mostraron dos dataciones K-Ar en roca total asociadas al evento térmico que generó dicha mineralización, con edades de 183 ± 3 y 170 ± 2 Ma. Igualmente, Sillitoe *et al.* (1982) reportaron edades K-Ar en las rocas dacíticas asociadas a esta mineralización, de 136 ± 3 Ma, 166 ± 4 Ma, 198 ± 4 Ma y 210 Ma.

Sillitoe *et al.* (1984) realizan un marco geológico y tectónico del prospecto de cobre y molibdeno relacionado con el Batolito de Mocoa. Ramírez y Araque (1984) diferencian dos facies en el Batolito de Mocoa: el grupo de rocas de composición granodiorita-cuarzomonzonitas hacia la parte baja de la quebrada Campucana Grande, hasta su confluencia con el río Mocoa, y facies de borde de composición más máficas que afloran como apófisis dados por cuarzodioritas y dioritas.

El término *Batolito de Mocoa* sigue siendo usado por los autores Cáceres y Teatin (1985), Moreno y Méndez (1989), Peñuela (1995) y Mojica *et al.* (1996). Ujueta (1999) describe contactos limitados por fallas regionales para este cuerpo plutónico, también llamado *Batolito de Putumayo*, que conforma un complejo ígneo litológicamente heterogéneo constituido, en orden de abundancia, por granitos, granitos alcalinos, monzogranitos y granodioritas.

Geostudios (1998a) realizó trabajos de cartografía en la parte sur del departamento del Huila y en el Putumayo, cubriendo las planchas 411, 412, 430 y 431. González y Núñez (2001) realizan la descripción de esta unidad y proponen el nombre de *Monzogranito de Mocoa*, de acuerdo con las recomendaciones de la International

Subcommission on Stratigraphic Classification (ISSC) (1987 y 1994).

4. Descripción geológica

Macroscópicamente, el Monzogranito de Mocoa consta de rocas intrusivas masivas equigranulares con variaciones en el tamaño de grano desde medio (1-4 mm) hasta grueso (4-16 mm). González y Núñez (2001) indican que las rocas que conforman los bordes del cuerpo batolítico evidencian una textura que varía entre equigranular y facies inequigranulares porfídicas. En general, son rocas leucocráticas, con variación en color entre blanco y gris claro, que reflejan un índice de color de 15 a 20%, moteadas de rosado en diferentes tonalidades (figura 2).



Figura 2. Características macroscópicas del Monzogranito de Mocoa a) Afloramiento de granito sobre la vía Mocoa-San Francisco. b) Autolitos de microdiorita en monzogranito. c) Aspecto macroscópico de monzogranito (IGM 900815). d) Aspecto macroscópico de la roca 900781 cuarzomonzonita.

Partiendo por la vía que de Mocoa conduce a San Francisco, se observa que el plutón composicionalmente es de carácter intermedio a levemente básico, siendo común la presencia de enclaves de composición diorítica, mientras que hacia la parte occidental del cuerpo, más cerca del valle de Sibundoy, varía en composición hacia rocas ácidas y con ausencia de enclaves.

González y Núñez (2001) dividen en dos grupos el cuerpo principal que aflora sobre la cordillera Oriental. Del primero hacen referencia a su localidad tipo en el departamento del Putumayo y a otro conjunto de plutones de menor dimensión que se encuentran geográficamente separados del cuerpo principal, pero han sido asociados genéticamente con este.

4.1. Características microscópicas

Litológicamente, las rocas se agrupan en monzogranitos, granodioritas, cuarzomonzonitas, cuarzomonzodioritas y cuarzodioritas (figura 3). Las rocas están compuestas por plagioclasa, feldespato alcalino y cristales de cuarzo. Como máfico predomina la biotita, y subordinados, cristales de hornblenda.

La descripción petrográfica que se presenta comprende quince muestras de roca tomadas en este estudio, y adicionalmente se compilaron veintiocho análisis petrográficos existentes tomados como anexos de las actividades de cartografía de las planchas 1:100.000 del Ingeominas del cuerpo principal, y cuerpos ígneos aledaños asociados con el Monzogranito de Mocoa

4.2. Monzogranitos, granodioritas, cuarzomonzonitas, cuarzomonzodioritas y cuarzodioritas

El Monzogranito de Mocoa está compuesto principalmente por facies monzograníticas que pueden variar a granodioritas y cuarzomonzonitas. Para la descripción petrográfica se analizaron un total de 37 secciones delgadas (tabla 1).

Estas rocas presentan una textura general subidomorfa granular y desarrollan texturas especiales poiquilíticas y pertíticas en feldespatos potásicos. El porcentaje modal de los constituyentes minerales en los monzogranitos corresponde a cuarzo (18,4%-38%), plagioclasa (19%-24,4%) y feldespato potásico (18%-40%).

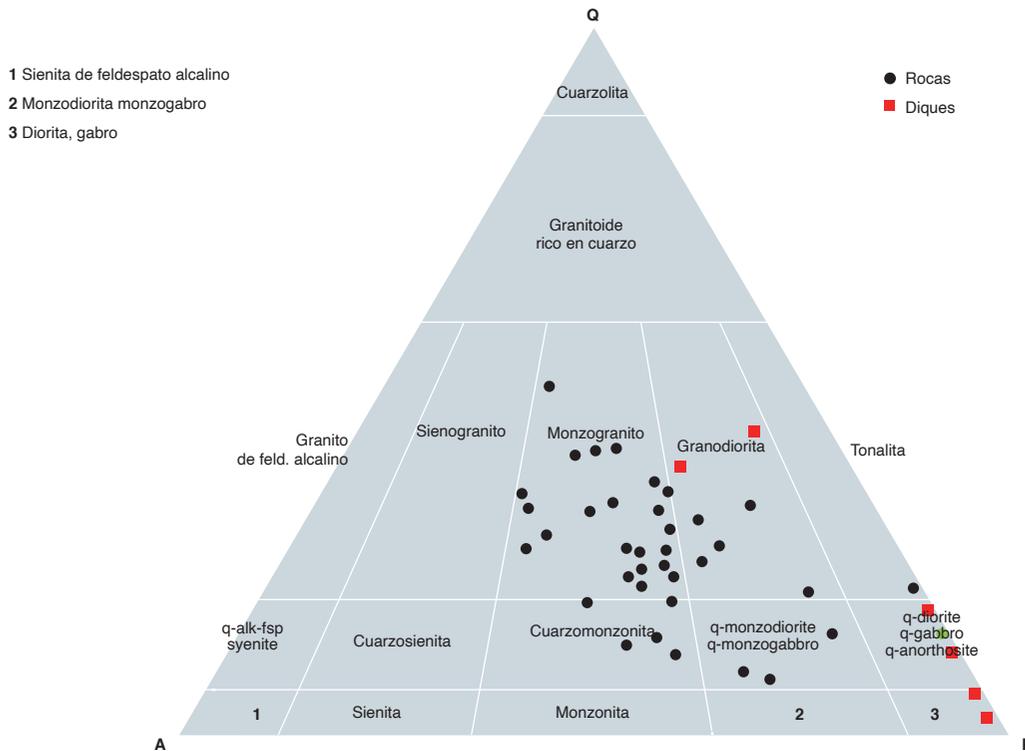


Figura 3. Clasificación modal, según Streckeisen (1976), de las unidades magmáticas que integran el Monzogranito de Mocoa y diques relacionados

Tabla 1. Composición modal del Monzogranito de Mocoa

IGM	W	N	Qz	Pl	Fk	Cpx	Opx	Hbl	Bt	Ms	Opq	Tnt	Ap	Zr	Ep	All	Chl	fenocríst	Matriz	Otros	Clasificación Petrográfica
900781	704939	611216	11	43,2	30,1			4,8	6,8		2,7	0,7	0,7	tr							Cuarzomonzonita
900782	704640	610809	10,6	57,4	9,9			12,8	5		2,8	0,7	0,7								Cuarzomonzodiorita
900784	703893	610370	5,6	58,3	20,5	tr		4,7	9,4		0,7	0,8	tr	tr							Cuarzomonzodiorita
900785	701036	610543	25,6	39,7	32,1			0,6	1,9		tr	tr	tr	tr		tr					Monzogranito
900813	700480	610391	10	41,5	34,5			7			1		tr	tr	6		tr				Cuarzomonzonita
900815	699601	610325	24	43,5	26			0,5	1,5		1		tr	0,5	3						Granito micrográfico
900816	698785	610037	23	25	41			tr	8		0,5		1	tr	1,5						Monzogranito
900818	710026	625196	18,4	36,5	29,2			5	6,4		1	2	1	0,5		tr					Monzogranito
900819	709849	625506	21	42,6	26,2				4,5		1	0,5	1,2	tr	3						Monzogranito
900820	696833	611754	20	46,5	27,5						1		1	tr	1		1	37,5	62,5		Fenorriolita
900821	696065	611042	19	42	32,5			0,5	2		0,5		0,5	tr	0,5		1	35	65		Fenorriolita
900822	694545	611623	23,5	40,5	29			3,5	1,5		1		0,5	tr	0,5						Monzogranito
H-626	641740	540380	20	41	22			7	3		4					1				2	Monzogranito
H-639	639991	540806	22	47	22			2	4		1		tr		2						Granodiorita
J-34	670527	582371	38	30	25			6			1		tr	tr							Monzogranito
L-10	710110	625549	24	45	17			3	4		1	1	tr	tr	2		3				Granodiorita
L-20	710110	625230	28	31	19				3								1		18% Cal, Ser		Monzogranito
Z-657	659904	575612	46,5	17,7	28,7				2,5	0,8		0,3	tr	tr	3,5						Monzogranito
Z-659	659257	576060	1,5	8	5	62	10				tr								12,5 Ser, Cal		Websterita con actinolita
Z-664	659526	576912	21,6	28,8	17,6			3,2	18		tr	1,2	tr	tr	9,6						Monzogranito
G-295	702070	610094	15	33	35			3	12		1	0,5	0,5								Cuarzomonzonita
G-300	700407	610215	24	25	36			6	5		2	0,5		0,5					1% Allanita		Monzogranito
G-305	695524	611614	20	38	28			5	5		2,5	0,5	0,5	0,5							Monzogranito
H-025-R-2	681710	585098	14	48	9			7	17		1,5	2,5	0,5	0,5							Cuarzomonzodiorita
H-031-R	681520	586268	28	34	19			6	10		1	1	0,5	0,5							Monzogranito
H-039-R	682146	587068	28	30	31				9		0,5		0,5	1							Monzogranito
R-42	688265	587279	12,5	63				9,2	8,2		2,6	4,5									Cuarzodiorita
R-56	687736	589802	5,9	40,2		4,9		19,6	8,8		4,9				5,9		5,9		3,9 Cal, Ser		Cuarzogabro
R-80	724009	608104	37,9	27,6	27,6						2,3									4,6	Monzogranito
R-82	724009	608104	26,2	24,4	41,4				4,2		2,2	tr			1,6						Monzogranito
C-18	688060	595674	38	26	31			3			0,5		1	0,5							Monzogranito
E-167-R	679536	613737	29	31,5	27,5			tr	8		tr	tr	tr	tr	4						Monzogranito
E-174-R	681148	613304	26,9	20,9	35,2				9		3	2	tr		3		tr				Monzogranito
E-259-R	673404	608588	13	36	22				16,4	9	3	tr	0,6	tr							Cuarzomonzonita
E-740	646151	597247	20	39,5	15,5			5	17			1	tr	tr	1,5	0,5					Granodiorita
G-266	705094	611326	5	41	17		2,7	12	16		4	1	0,8	tr	tr		tr		5% Ser, Cal		Cuarzo-monzogabro
Z-643	655145	565592	30,7	50	13															6,3	Granodiorita

tr = Contenido inferior a 0,1% del mineral.

La biotita es el mineral máfico que predomina, con rangos de 1,5 a 18%; la hornblenda, en proporciones de 0,6 a 7%. Como minerales accesorios se observan epidota (0,5% a 4%), titanita (0,5% a 2%), apatito (0,5% a 1,2%), minerales opacos (0,5% a 4%), circón y allanita en cantidades traza hasta el 1%.

Las granodioritas tienen cantidades de cuarzo entre 20% y 30,7%, plagioclasa entre 38% y 50% y feldespato alcalino entre 13% y 22%. Predomina la biotita hasta con el 17%, seguida de hornblenda, hasta un 5%. Como minerales accesorios también se presentan titanita, allanita, circón, minerales opacos, apatitos y epidota. Las cuar-

zomonzonitas presentan cuarzo en un 13%, plagioclasa en 36% y de feldespato en 22%; muestran cantidades mayores de hornblenda (16%) que de biotita (9%). Las cuarzodioritas contienen cuarzo en un 12,5% y plagioclasa en un 63%, la hornblenda es del 9,2% y la biotita está en un 8,2%; aparecen titanita en 4,5% y minerales opacos en un 2,6% (figura 4).

En general, la plagioclasa es de tipo andesina (An_{32} a An_{42}) es incolora, levemente empolvada por alteración, y se presenta en formas subhedralas a euhedrales tabulares, inequigranulares, con un tamaño que varía entre 0,5 y 3 mm. Presenta maclas de albita, albita-Carlsbad y

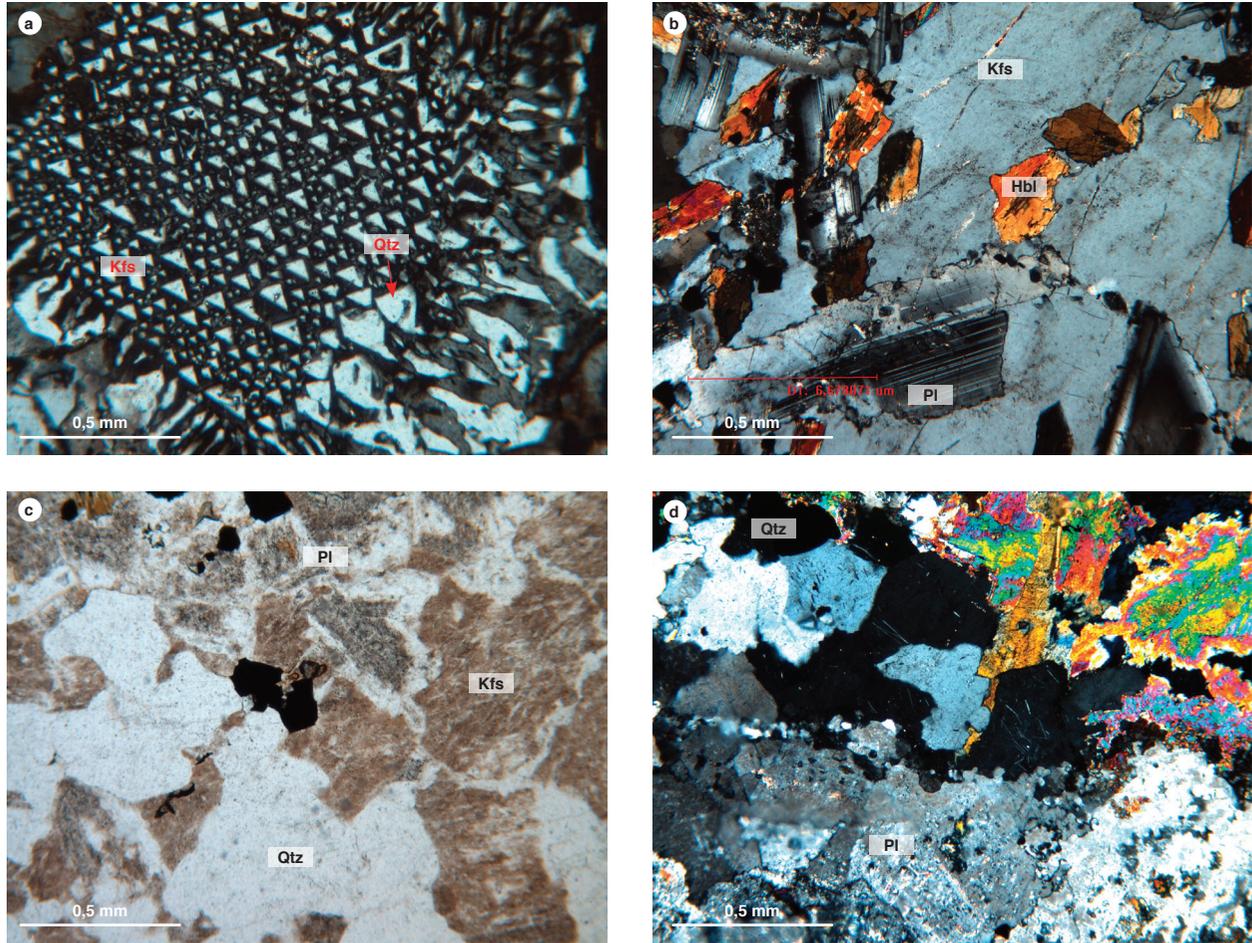


Figura 4. Aspectos microscópicos de las rocas del Monzogranito de Mocoa
a) IGM-900815, textura micrográfica. b) IGM-900782, cuarzomonzonita. Cristal poiquilitico de feldespato alcalino (Kfs) con inclusiones de plagioclasa (Pl) y hornblenda (Hbl). c) IGM-900816, monzogranito. Alteración argilica de plagioclasa (Pl) y feldespato alcalino (Kfs); cristales de cuarzo (Qtz). d) IGM-900819, monzogranito. Alteración de plagioclasa a epidota (Ep).

periclina. Algunos cristales tienen zonación de tipo normal. Se encuentra parcialmente alterada a sericita y epidota. En algunos bordes que se encuentran en contacto con el feldespato potásico desarrolla mirmequitas. Muestra inclusiones de minerales opacos y apatito.

El cuarzo se presenta en cristales anhedrales incoloros intersticiales entre plagioclasa y feldespato alcalino, en tamaños que oscilan entre 0,3 y 1,3 mm. Tienen inclusiones de minerales opacos, plagioclasa, feldespato alcalino y apatito.

El feldespato potásico es de tipo ortosa, se presenta en cristales incoloros a levemente empolvados por alteración a minerales de arcilla, inequigranulares, con tamaños de hasta 3 mm. Presenta inclusiones de plagioclasa, hornblenda, biotita y apatito. Es común el desarrollo de pertitas en forma de parches y filonci-

llos por exolución con la plagioclasa. La roca 900815 presenta abundante textura micrográfica dada por el desarrollo de cuñas triangulares, lamelas de cuarzo y texturas simplectíticas hacia los bordes de los cristales de plagioclasa.

La biotita se encuentra en láminas euhedrales a subhedrales, entre los cristales de feldespato y cuarzo, en tamaños que van de 0,25 a 0,5 mm. Es de color pardo verdoso a marrón, con pleocroísmo X: marrón claro Y = Z: marrón pardo, con exfoliación en una dirección y una extinción moteada paralela al clivaje. Tiene inclusiones de minerales opacos, apatito, circón y titanita.

La hornblenda se presenta en cristales subhedrales a anhedrales, inequigranulares, en cortes basales octogonales y longitudinales. Es de color verde, con pleocroísmo X: verde pálido, Y: verde y Z: verde oliva. El ángulo

de extinción es del orden de 14° y 21° , con color de interferencia castaño del segundo orden. Presenta maclas e inclusiones de minerales opacos, titanita, cuarzo, biotita, circón y apatito.

La titanita se presenta en cristales euhedrales a anhedrales de formas rómbicas y en agregados cristalinos. Su tamaño varía entre 0,05 y 0,5 mm. Es de color pardo, tiene relieve alto ($n > b$), extinción paralela incompleta. Está asociada a opacos, hornblenda y biotita.

Los minerales opacos se encuentran como cristales anhedrales diseminados de 0,3 mm, isotrópicos. Están asociados con titanita y apatitos, como inclusiones en biotita y hornblenda.

El circón aparece en cristales subhedrales prismáticos alargados, incoloros, de relieve alto. Su birrefringencia es alta, con colores fucsia a verde del tercer orden. Su tamaño promedio es de 0,04 mm. Se encuentra como inclusión en biotita y plagioclasa.

El apatito se presenta en cristales subhedrales incoloros de relieve alto, con una birrefringencia gris del primer orden; su extinción es paralela. El apatito se encuentra como inclusiones en plagioclasa, feldespato potásico y cuarzo.

Como mineral de alteración, la epidota se presenta en agregados granulares incoloros a verde amarillento, con pleocroísmo verde y colores de interferencia azul-verde del tercer orden. También se presenta como alteración de plagioclasa y en venillas que cortan la roca.

4.3. Unidades intrusivas

De acuerdo con Leal (2011), las facies plutónicas del Monzogranito de Mocoa presentan intrusiones tabulares de **pórfidos que fueron observados y muestreados en este trabajo en la vía que de Mocoa lleva a Sibundoy**, en el sector El Silencio-La Piragua (IGM 900820 y 900821), y han sido clasificadas petrográficamente como fenoriotitas (figura 5).

Asimismo, González y Núñez (2001) describen petrográficamente cuerpos de pórfidos de composición dacítica localizados en el río Suacita (plancha 412). Los pórfidos IGM 900820 y 900821 se caracterizan por presentar una matriz (62,5-65%) microgranular felsítica de tamaño de cristal menor de 0,05 mm, compuesta por cristales anhedrales limpios de cuarzo que contrastan en el relieve con cristales de feldespato y plagioclasa. Opacos finos diseminados en la matriz, micas de sericita incoloras y nidos de calcita.

Los fenocristales (35-37,5%) están constituidos por plagioclasa de tipo andesina (An_{34}), en cristales subidiomórficos alterados a sericita, calcita y epidota, en tamaños de 0,6 a 0,8 mm. Son cristales zonados y con maclas tipo albita que muestran bordes de reacción con la matriz.

El feldespato se encuentra en cristales xenomórficos con texturas de desmezclas con plagioclasa y hacia los bordes con la matriz, en tamaño promedio de 0,7 mm, y con inclusiones de apatito y opacos. El cuarzo se presenta en cristales limpios xenomórficos, incoloros, de modera-

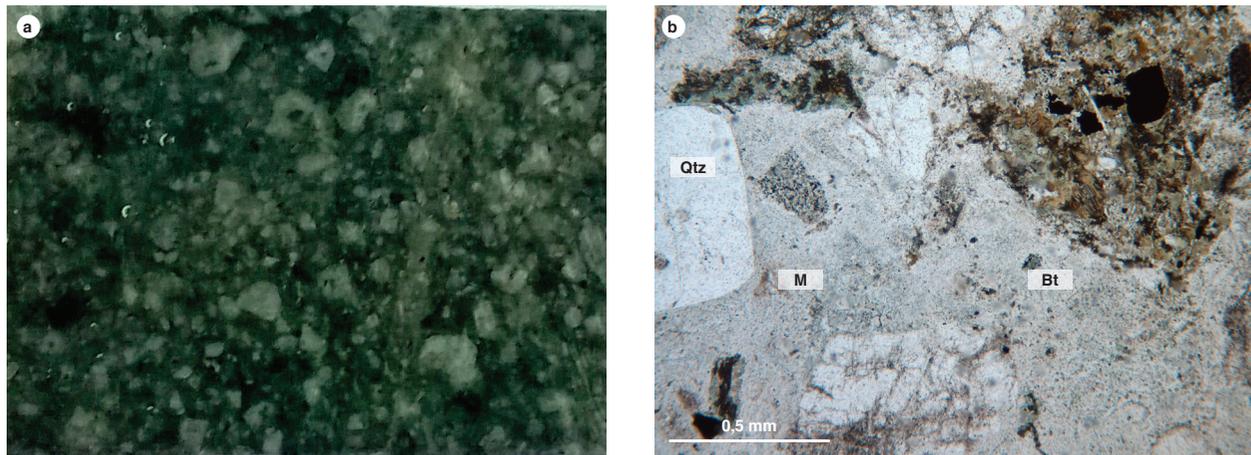


Figura 5. Aspecto de los cuerpos de pórfidos que cortan el cuerpo principal del Monzogranito de Mocoa a) IGM-900820. b) IGM-900821. Nidos de láminas de biotita (Bt), fenocristales limpios de cuarzo (Qtz) inmersos en una matriz félsica (M).

do relieve, y presenta texturas en bahías por reabsorción de la matriz. Los cristales de hornblenda son subidomórficos con un tamaño promedio de 0,6 mm, algunos alterados a biotita.

Se presentan nidos de biotita de color pardo con pleocroísmo pardo a verde y extinción moteada. Los minerales opacos son xenomorfos con tamaños que varían de 0,3 a 0,5 mm, y se encuentran diseminados en la roca. Como minerales accesorios se presentan circón y apatito.

4.4. Rocas de dique

Se analizaron seis secciones delgadas de rocas de dique. Petrográficamente predominan las andesitas (3), seguidas de dacitas (2) y microdioritas (1) (figura 6 y tabla 2). En

general, presentan una textura holocristalina porfídica, con texturas especiales seriadas dadas por cristales de plagioclasa, texturas de reacción con la matriz que generan cuarzo en bahías, textura fluidal dada por la orientación de los microcristales de plagioclasa y texturas glomero porfirítica y poiquilítica en plagioclasa y hornblenda.

4.5. Andesitas y microdioritas

Están conformadas por una matriz que varía en proporción entre el 45% y el 80% del total de la roca. La matriz es de carácter microlítico fluido, constituida por cristales finos de plagioclasa (15%-73%), que están alterados a sericita y calcita (figura 7). Aparecen cristales subidomórficos tabulares de hornblenda (16,5%-22%) de color verde pálido alterados parcialmente a clorita.



Figura 6. Cuerpo de dique básico de dimensiones centimétricas que atraviesa la roca granítica del Monzogranito de Mocoa en la quebrada Campucana, tributaria del río Mocoa, sector San Antonio

Tabla 2. Clasificación petrográfica de rocas de dique que atraviesan el Monzogranito de Mocoa

IGM	W	N	Qz	Pl	Fk	Hbl	Bt	Opq	Tnt	Ap	Ep	Chl	Fenocristal	Matriz	Amigdalas	Otros	Clasificación petrográfica
900783	704640	610809	2,9	73,7		16,8	1,5	4,4	0,7	tr							Microdiorita
900814	700480	610391	tr	66,5		22		1	0,5		tr	4	26	72,5	1,5	4,5% Sericita	Andesita
900817	696673	611648	35,5	39,5	19		3	1		0,5	1	tr	36,5	63,5			Fenodacita
H-053R	681787	588569	3,4	31,5		16,5	2,2	1			tr	tr	54,6	45,4			Andesita
P-53	704430	603108	42,9	48,2	7,7			1,2				tr	34,5	65,5			Dacita
R-56-B	704716	603228	3,0	15,0				0,5					1,5	20	80		Andesita

tr = Contenido inferior a 0,1% del mineral
Fuente: autores

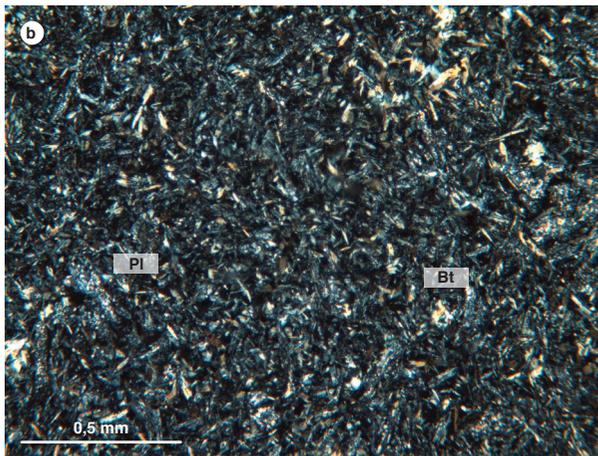
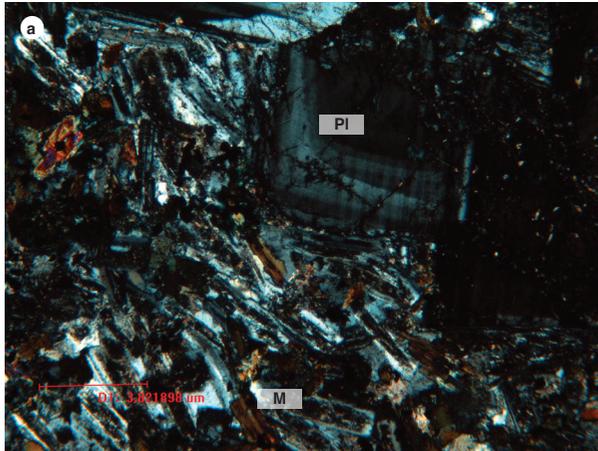


Figura 7. Aspecto de los diques de composición básica (andesitas) que cortan el Monzogranito de Mocoa
 a) IGM-900783. Fenocristal de plagioclasa (Pl) en matriz microlítica fluidal, formada por pequeños cristales orientados de plagioclasa. b) IGM-900814. Nidos de láminas de biotita (Bt), microlitos de plagioclasa (Pl) y matriz félsica (M).

De manera intersticial entre microlitos se presentan agregados de finas láminas de clorita (traza-4%) de color verde manzana, pleocroicas, con birrefringencia baja de color pardo del segundo orden, y minerales opacos (0,5%-4%) de tamaños finos (0,02 mm) diseminados en la roca (figura 7).

Los fenocristales aparecen en relaciones de 26%-54,6%, en tamaños mayores de 0,5 mm. Están conformados por plagioclasa de composición andesina (An_{32} - An_{36}), en cristales de hábito tabular que muestran extinción zonada normal, donde el núcleo es más cálcico que los bordes, y forman glomerofenocristales.

La hornblenda se presenta como fenocristales euhedrales inequigranulares de tamaños que varían entre 0,3 mm y 2,4 mm. Es de color marrón claro a verde con pleo-

croísmo X: verde oliva Y: verde pálido, y colores de interferencia amarillos del segundo orden. La hornblenda se encuentra en cortes basales y longitudinales con buen desarrollo de clivaje. Tiene inclusiones poiquilíticas de titanita y se altera parcialmente a clorita y epidota.

Como minerales accesorios, los diques de composición básica presentan titanita en cristales subhedrales a anhedrales con un tamaño promedio de 0,5 mm, asociados a los minerales opacos, hornblenda o como inclusión en plagioclasa.

El apatito se presenta como microcristales euhedrales en cortes longitudinales hexagonales, de relieve alto, incoloro, junto a opacos y hornblenda.

4.6. Dacitas

Estos diques son menos frecuentes en el plutón. Macroscópicamente se presentan como rocas inequigranulares de color gris claro, moteadas de blanco y negro, compuestas por una matriz microcristalina y fenocristales de plagioclasa, cuarzo y hornblenda de hasta 1 mm (figura 8).

Presentan una textura general holocristalina hipidiomórfica inequigranular, texturas especiales de reacción con la matriz dada por cuarzo en bahías y texturas poiquilíticas por inclusión de minerales accesorios en cuarzo y feldespato.

La matriz es microgranular felsítica de tamaño de cristal menor de 0,05 mm, y está presente en un 65% de la roca. Está compuesta por cristales xenomórficos de feldespato con aspecto ligeramente sucio por alteración a arcillas que contrastan con cristales limpios incoloros de cuarzo. La plagioclasa es subhedral y se encuentra sericitizada casi en su totalidad. Se presentan minerales opacos diseminados y láminas finas de biotitas subidiomórficas tabulares de color pardo.

Los fenocristales representan el 35% del total de la roca. Predominan los cristales de plagioclasa de tipo andesina (An_{38}) subhedrales de hasta 2,5 mm de largo, y los más pequeños de hasta 1 mm. Algunos presentan zonación normal.

El cuarzo es xenomórfico, en tamaños entre 0,4 mm y 1,1 mm, presenta texturas en bahías por reacción con la matriz.

El feldespato alcalino corresponde a sanidina, en cristales xenomórficos de tamaños desde 0,5 mm hasta 1,5 mm, incoloros de aspecto sucio por alteración a minerales de arcilla. Presenta inclusiones de minerales opacos y bordes absorbidos por la matriz.

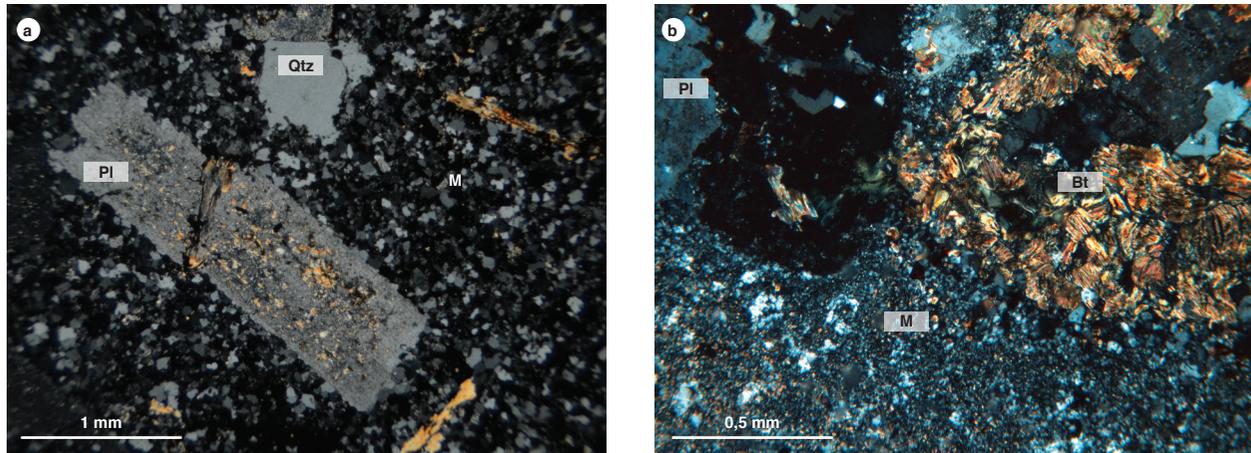


Figura 8. Aspecto de diques de composición ácida (dacitas) que cortan el plutón principal del Monzogranito de Mocoa

a) Roca P-53, P2.5X. Fenocristales de plagioclasa (Pl) y cuarzo (Qtz) en matriz microgranular. b) IGM-900817.P10X matriz felsítica (M), nidos de láminas de biotita (Bt) y fenocristal de plagioclasa (Pl).

La biotita se presenta en nidos como láminas muy finas de color marrón, pleocroicas de marrón a verde oliva, con una extinción moteada. Algunas veces están alteradas a clorita y se encuentran asociadas con minerales opacos y apatito.

Los minerales opacos se presentan en cristales finos anhedrales diseminados en la matriz de la roca. El apatito se presenta en cristales subidiomórficos prismáticos cortos, en tamaños de 0,05 mm en la matriz, y como inclusiones en fenocristales de plagioclasa y cuarzo.

Como mineral de alteración de la plagioclasa, en la matriz y en fenocristales aparecen agregados granulares de epidota de 0,2 mm, de color verde amarillento con birrefringencia fuerte fucsia a verde del tercer orden.

5. Litogeoquímica

La caracterización litogeoquímica del Monzogranito de Mocoa se limitaba a la información presentada por Leal (2011) sobre las muestras de pórfidos dacíticos asociados a la mineralización de Cu y Mo, que fueron retomadas del proyecto de recursos minerales “Proyecto Mocoa”.

Este autor compara geoquímicamente estos cuerpos porfídicos con diques porfídicos de similar composición de las regiones de Santa Cruz y Santa Rosa del Sur en la serranía de San Lucas, que también se encuentran intruyendo secuencias volcano-sedimentarias de edad Jurásica.

En este trabajo se realiza el análisis geoquímico de quince muestras con previa petrografía, correspondiente a doce rocas granitoides y tres rocas de dique.

Los análisis litogeoquímicos se elaboraron en el laboratorio químico del Servicio Geológico Colombiano, sede Bogotá, utilizando las técnicas de fluorescencia de rayos X para determinar la presencia de óxidos mayores que se expresan como wt% roca total, y los elementos traza Mo, V, Nb, Ta, W, Zr y Hf en ppm. Por otra parte, los contenidos de tierras raras se midieron con el equipo de espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS).

Para la ubicación en gráficos específicos e interpretación de los óxidos mayores se recalcularon los valores al 100%, eliminando los valores correspondientes a volátiles (LOI, pérdidas por ignición). Los resultados de óxidos mayores se muestran en la tabla 3.

El Monzogranito de Mocoa varía en composición entre rocas intermedias a ácidas con contenidos de SiO_2 entre el 54,28 y 75%, K_2O entre 2,09 y 4,88%, y Na_2O entre 3,36 y 4,30%. Los valores de CaO aumentan en las rocas intermedias con valores de 4,21 a 6,32%, y disminuyen hacia las rocas ácidas con valores entre 2,20 y 0,78%. Del mismo modo se comporta el MgO, con rangos entre 0,18 y 2,99%. En general se presentan bajas concentraciones de TiO_2 , en promedio de 0,56%, y de Al_2O_3 en promedio de 15,5%.

Los contenidos de SiO_2 en las rocas de diques muestran valores de 46,30 a 54,53% y de 70,44% en la roca clasificada petrográficamente como dacita. Se incrementan los valores de MgO, TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 en las rocas más básicas. El contenido promedio de Na_2O en las rocas es de 3,33%, y el de K_2O , 2,5%. El valor de 8,06% del LOI

Tabla 3. Composición de óxidos mayores (wt%) del Monzogranito de Mocoa

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	Total
Rocas graníticas													
900781	59,64	1,00	17,80	5,54	1,85	4,29	4,15	4,42	0,36	0,10	2,66	0,37	101,81
900782	55,58	1,16	17,42	7,76	3,07	6,48	4,08	2,15	0,67	0,11	3,90	1,27	102,38
900784	58,67	1,12	17,36	6,27	2,36	5,12	4,42	3,32	0,50	0,13	3,31	0,45	102,58
900785	70,41	0,36	14,62	2,38	0,75	2,21	3,56	4,58	0,11	0,06	1,06	0,80	100,09
900813	70,12	0,36	14,63	2,58	0,76	2,03	3,35	4,87	0,12	0,10	0,78	0,88	99,71
900815	74,11	0,24	13,77	1,19	0,24	1,24	3,75	4,45	0,05	0,07	0,20	0,75	99,32
900816	74,74	0,21	13,60	1,23	0,18	0,78	3,98	4,34	0,05	0,05	0,46	0,73	99,62
900818	67,83	0,39	16,36	3,05	0,89	3,63	4,29	2,63	0,15	0,07	1,33	0,49	100,62
900819	69,63	0,32	15,22	2,86	0,67	2,37	3,73	3,86	0,12	0,05	1,32	0,92	100,16
900820	68,79	0,41	15,44	2,83	0,68	3,17	3,43	3,97	0,12	0,07	1,20	0,88	100,11
900821	67,29	0,42	16,24	3,19	1,09	3,12	3,98	3,53	0,12	0,06	1,94	0,76	100,99
900822	66,54	0,51	15,66	3,90	1,33	3,22	3,90	3,40	0,15	0,10	1,88	1,11	100,59
Rocas de dique													
900783	52,23	1,17	15,56	7,14	2,92	5,70	4,02	2,16	0,57	0,15	4,16	8,06	95,78
900814	47,92	1,23	17,06	10,03	7,46	8,67	2,41	1,64	0,42	0,48	6,15	2,43	103,47
900817	70,43	0,39	15,52	2,02	0,54	2,53	3,49	3,91	0,11	0,05	0,99	0,87	99,98

de la roca IGM 900783 (tabla 3) sugiere una alteración notable, lo cual queda comprobado con el análisis petrográfico, y por lo tanto no es tenida en cuenta en los análisis geoquímicos.

Las rocas reflejan una composición subalcalina, con valores de álcalis de 7,6% en promedio, siendo mayor en las muestras IGM 900815 y 900816, todas ellas saturadas en SiO₂, y se ubican en los campos de granitos y granodioritas.

En el diagrama TAS de Middlemost (1994) (figura 9a), dos muestras tienden hacia series alcalinas, y corresponden a las rocas más básicas (IGM 900782 y 900784), que se ubican en el campo de las cuarzomonzodioritas y cuarzomonzonitas. Por su parte, en el diagrama TAS de Le Maitre *et al.* (2002) (figura 9b), las rocas de diques muestran una distribución entre rocas básicas, que corresponden a las muestras IGM 900783 y 900814, la última de las cuales es un poco más intermedia, ubicándose en los campos de los basaltos y traquiandesitas. La roca IGM 900817, de composición más ácida, se ubica en el campo de las rocas riolíticas.

Asimismo, en el diagrama AFM (figura 9c) se muestra un enriquecimiento hacia los álcalis, con tendencia de evolución magmática hacia las series alcalinas (IGM 900815 y 900816). Por otro lado, las rocas de dique de composición básica y una roca del cuerpo muestran distribución en las series toleíticas.

En el diagrama K₂O, contrastado con SiO₂ (Peccerillo y Taylor, 1976, figura 10a), las rocas se ubican en general en la serie calco-alcalina alta en potasio, y se diferencian en dos grupos, según su contenido de sílice. Un grupo lo conforman las rocas con contenidos entre 55 y 60% de SiO₂, y el otro grupo, más ácido, tiene valores entre 66 y 74% de SiO₂. La roca IGM 900781 se localiza en el campo de la serie shoshonítica, con menores contenidos de SiO₂ (58,57%) y altos valores de Al₂O₃ (17,48%); otra muestra (IGM 900818) se localiza en la serie calco-alcalina con valores de K₂O de 2,61%.

El Monzogranito de Mocoa muestra dispersión de las rocas entre los campos metaluminoso y peraluminoso. En este último campo se ubican las rocas más enriquecidas con SiO₂, con relaciones de A/CNK entre 1,42 y 1,56 (IGM 900813, 900815, 900816, 900819, 900821), y el dique se clasifica petrográficamente como dacita (IGM 900817, figura 10b). Asimismo, esta tendencia peraluminosa fue observada por Leal (2011) en las rocas de pórfidos dacíticos.

Las rocas de composición intermedia a básica (roca de dique 900814) y la muestra 900782 presentan los valores mayores del número magnesiano (#Mg 41,58 y 55,49), lo cual es indicativo de bajo grado de evolución magmática.

En el diagrama multielemental de Sun y McDonough (1989) se observa una señal geoquímica homogénea

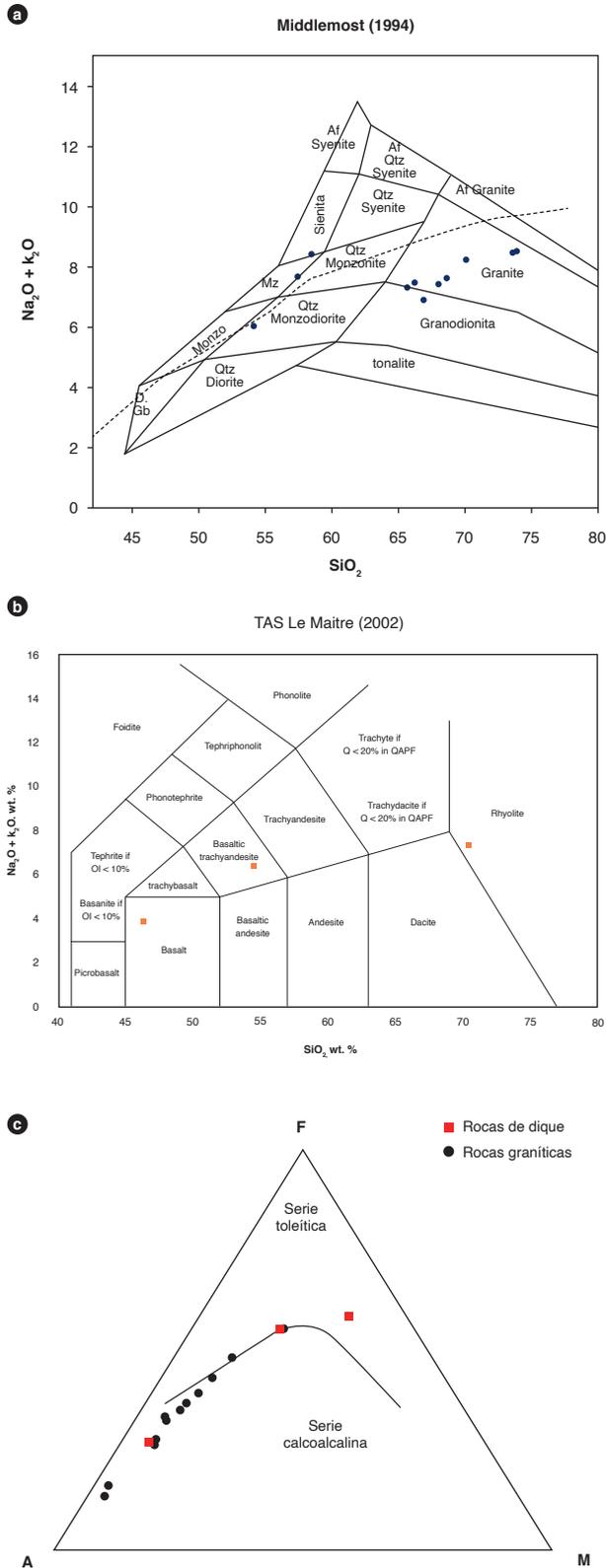


Figura 9. Diagramas de clasificación química de rocas del Monzogranito de Mocoa
a) Diagrama de TAS (Middlemost, 1994). b) Diagrama AFM correspondiente a las rocas del Monzogranito de Mocoa.

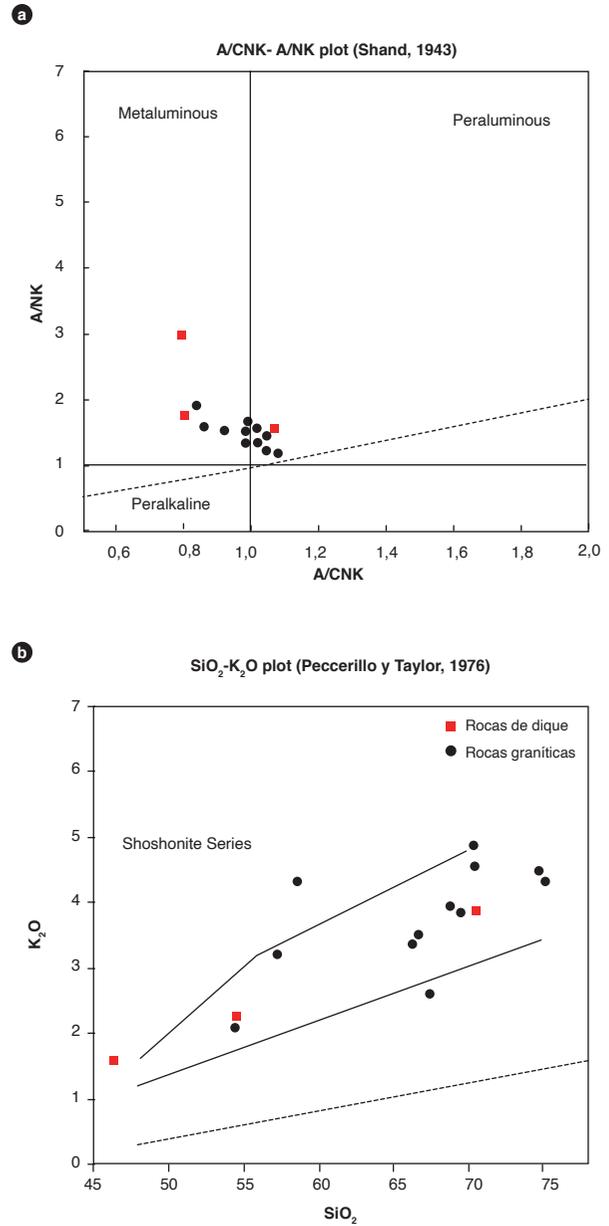


Figura 10. Diagramas de clasificación química de rocas del Monzogranito de Mocoa
a) Diagrama K₂O Vs SiO₂ (Peccerillo y Taylor, 1976), b) Diagrama de alcalinidad-aluminosidad (Shand, 1943).

y característica de magmas calco-alcalinos con alto potasio, excepto en las cuarzomonzodioritas y cuarzomonzonitas (IGM 900782 y 900784) que tienen mayor enriquecimiento en tierras raras livianas (LREE) que el patrón general, sin anomalía del europio; se trata de rocas más básicas.

Las rocas graníticas presentan valores mayores de 100 veces el condrito hacia las LREE y decaen hacia valores cercanos a 20 veces el valor del condrito en las tierras

raras pesadas (HREE), con relaciones de La/Yb en promedio de 16,48, siendo mayor en la roca IGM 900781, clasificada como cuarzomonzonita. Todas las rocas dibujan el patrón homogéneo y paralelo que decrece progresivamente hacia las tierras raras pesadas (figura 11a). La mayoría de las rocas presentan una anomalía positiva del europio poco pronunciada, con valor promedio de $Eu^* = 1,18$, que se hace más marcada en la roca 900781 ($Eu^* = 2,6$).

Los diques de composición básica exhiben discrepancia en los valores de las LREE, lo cual sugiere relaciones no cogenéticas. La roca IGM 900783 presenta una relación mayor de $La/Yb = 20,78$ con respecto a la roca IGM 900814 ($La/Yb = 7,55$). Hacia las REE medias el comportamiento de estas dos muestras se va homogeneizando. Por otra parte, la roca IGM 900817 presenta un comportamiento muy diferente, con una fuerte pen-

diente en las REE livianas y una leve anomalía positiva de Eu, con valores de $Eu^* = 1,19$ (figura 11b).

En el diagrama normalizado a N-MORB (figura 12), las rocas del Monzogranito de Mocoa muestran homogeneidad con enriquecimiento general en los elementos litófilos más móviles (Rb, Ba, Cs y Pb), y empobrecimiento de Nb, Ce, lo cual es característico de granitos formados en ambientes de arcos magmáticos (Pearce *et al*, 1984). Asimismo, se observa un valor alto en Pb relacionado con su mineralización y anomalías negativas de Sr en las rocas más ácidas (IGM 900815 y 900816), lo cual es coherente con el menor contenido modal y mayor tenor del componente albitico de plagioclasa en estas rocas.

En los diques no se observa un fraccionamiento de acuerdo con su litología. Muestran altas concentraciones de Cs, Ba y Th, con afinidad hacia ambientes de corteza continental (márgenes convergentes).

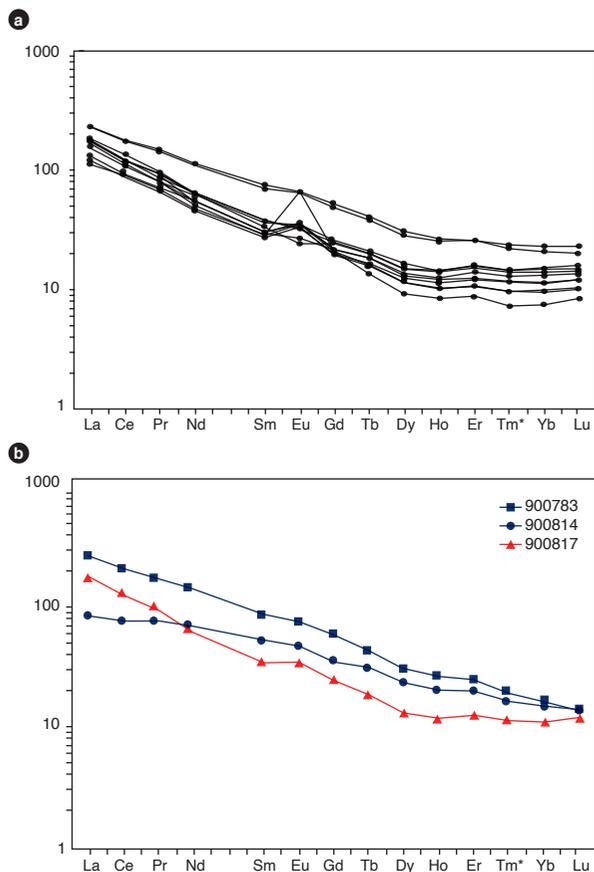


Figura 11. Diagrama multielemental correspondiente al Monzogranito de Mocoa normalizado a condrito (Sun y McDonought, 1989) a) Rocas graníticas. b) Rocas de dique (azul: diques de composición básica; rojo: dique de composición ácida).

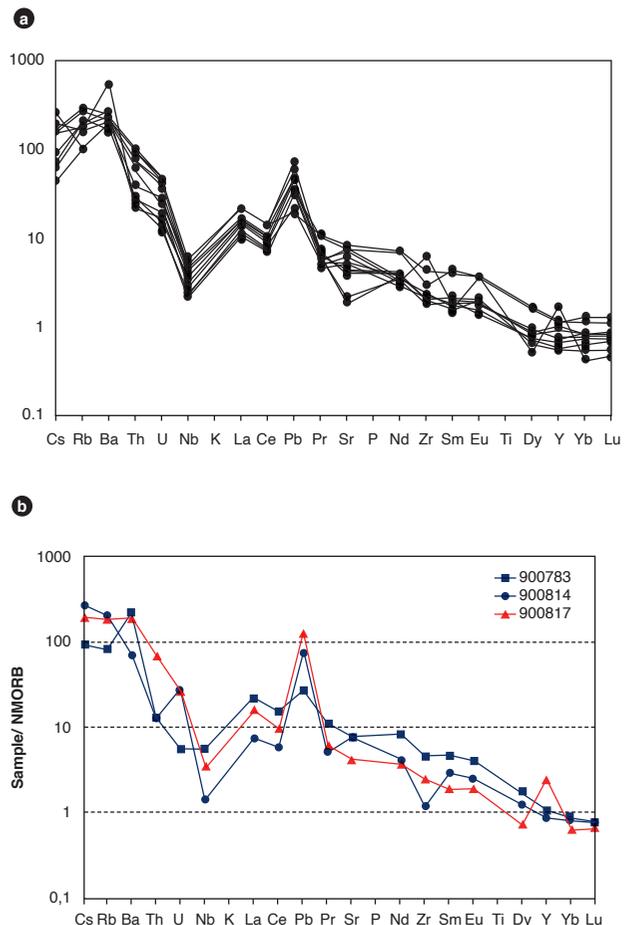


Figura 12. Diagrama correspondiente a las rocas del Monzogranito de Mocoa normalizado a N-MORB (Sun y McDonought, 1989) a) Rocas graníticas. b) Rocas de dique (azul: diques de composición básica; rojo: dique de composición ácida).

5.1. Discriminación del ambiente tectónico

Las relaciones de Nb, Y y Rb en las rocas del Monzogranito de Mocoa y diques asociados (figura 13) muestran afinidad con ambientes de arco magmático en el diagrama de Pearce *et al.* (1984), con tendencia de la roca de dique IGM 900817 hacia el campo de los granitos orogénicos.

El diagrama de Ga/Al vs Zr exhibe una diferenciación entre dos grupos de rocas (figura 13b): un grupo que pertenece al campo de granitos tipo-I, que en general consta de rocas graníticas de composición ácida (monzogranitos y la roca de dique dacítica), y otro grupo más disperso hacia el campo de granitos tipo-A, que se caracterizan por contenidos bajos de CaO, MgO, Zr y Nb (Whalen *et al.*, 1987). El comportamiento disperso de estas rocas concuerda con los diferentes patrones geoquímicos que se observan en los diagramas multie-

lementales, y corresponden a las rocas de composición intermedia a básica (IGM 900781, 900782, 900784, 900818 y los dos diques andesíticos). Igualmente, en el diagrama de Frost *et al.* (2001) (figura 13c) se observan dos tendencias entre las rocas más básicas y ácidas, que muestran características de granitos de tipo magnesianos (cordilleranos de tipo I).

6. Posición estratigráfica y edad

De acuerdo con González y Núñez (2001), el Monzogranito de Mocoa presenta contactos intrusivos que se evidencian en los efectos térmicos y diques afines que cortan las rocas encajantes; hacia la parte del Putumayo intruye formaciones triásicas que son correlacionables con la Formación Payandé situada en el valle superior del Magdalena. El contacto entre este plutón y la Formación

Tabla 4. Contenido de elementos traza y tierras raras (ppm) del Monzogranito de Mocoa

IGM	Li	Be	Sc	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	Sr	Y	Cd	In	Cs	Ba	W	Zr
900781	12,6	2,3	18,8	68	17,8	1002,2	15,1	7,1	20,3	76,1	22,1	94,3	664	48,2	0,1	0	1,3	3451,3	9,2	471,9
900782	15,6	3,5	25,1	122,8	11,8	1016,4	22,8	7,5	80,7	123,4	24,9	58,4	751,1	32,1	0,1	0	1,8	1171,9	13,8	217,5
900784	22,2	3,5	19,8	89,8	12,8	1277,7	16,9	6,5	18,9	108,1	23,3	87,9	674,3	31	0,1	0,1	1,3	1346,2	15,6	315
900785	9,9	4,1	6,5	26,6	12,2	501,3	15,3	3,9	7,2	41,5	18	150	393,6	20,6	0,2	0	1	1366,8	43,9	142
900813	9	3,8	7,1	30,2	14,9	951,4	12,5	3,9	4,6	299,1	17	160,2	357,7	21,2	0,1	0	1,1	1502,3	36,8	148,3
900815	3,3	3,4	4,4	<9	13,3	704,9	9,6	2,7	6,1	43,1	17,2	119,3	194	18,8	0,1	0	0,6	1250,7	37,4	163
900816	6,6	3,7	3,8	<9	13,2	490,6	9,2	2,6	13,1	36,7	18	120,4	163,6	28,3	0,1	0	0,5	1083,9	36	128,8
900818	22,7	2,6	7,8	29,9	17,4	584,3	11,6	6,2	5	38,5	21,6	56,4	701	15,6	0,1	0	0,3	1315,2	26,3	133,3
900819	6,3	2,6	5,7	21,1	16,3	454,1	15,9	4,2	49,3	32,7	18,3	103,8	559,5	15,2	0,1	0	0,4	1696,1	50,5	144,2
900820	6,5	2,5	6,8	39,5	12,4	576,7	12,2	4,8	5,5	72	16,9	97	472	16,1	0,2	0	1,2	1479,5	42	174,4
900821	11	2,4	9,9	50,8	14,5	535,4	13,4	4,8	14,7	53,3	19,3	117,8	450,6	16,1	0,1	0	1,2	1513,6	36,1	153,1
900822	15,8	2,8	11,6	63,3	12,9	763,8	12,7	5	21,1	59,6	18,2	101,6	438,5	26,2	0,1	0	1	1341,9	21,1	152,6
Rocas de dique																				
900783	17	3,1	25,3	129,6	23,2	1263,5	22,7	14,3	33,6	131,2	23,9	44,5	711,1	29,5	0,3	0,1	0,6	1334,1	17,4	344,6
900814	27,2	2,8	44,5	224,8	220,3	4190,9	36,3	79,9	25,1	306,8	24,2	109,4	680,7	24,6	0,2	0,1	1,9	437,2	8,9	87,5
900817	7,3	2,8	6,7	34,4	12,9	482,1	10,1	3,8	8,8	42,1	17,9	102,2	381	68,3	0,2	0	1,3	1188,6	34,9	181
Rocas de dique																				
IGM	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Tl	Pb	Th	U	Nb	
900781	41,7	69	7,3	23,3	4,3	3,7	4,3	0,5	2,3	0,5	1,4	0,2	1,3	0,2	0,3	10	2,7	0,8	7,7	
900782	53,7	107,1	14	52,3	11,4	3,7	10,6	1,5	7,6	1,5	4,3	0,6	3,5	0,5	0,3	5,7	3,2	0,9	10,9	
900784	53,7	106,2	13,4	50,8	10,6	3,7	9,9	1,4	7,1	1,4	4,2	0,6	3,9	0,6	0,4	9,8	4,6	1,4	13,3	
900785	43,2	82	9,1	29,6	5,7	1,8	5,3	0,8	4,1	0,8	2,6	0,4	2,6	0,4	0,6	18,2	12	2,2	9,3	
900813	41,7	73,2	8,7	29,1	5,5	2	5,3	0,8	3,9	0,8	2,5	0,4	2,4	0,4	0,7	21,9	11,4	1,9	8,3	
900815	39,6	69	8,2	24,8	4,6	1,5	4,5	0,7	3,4	0,7	2,3	0,3	2,2	0,3	0,6	14,7	11	2,2	10,2	
900816	40,6	72,2	8,3	28,2	5,1	1,4	4,9	0,8	3,9	0,8	2,5	0,4	2,5	0,4	0,4	11,1	12,8	2	10,9	
900818	30,8	55,5	6,7	25,5	4,6	2	4,2	0,6	2,9	0,6	1,8	0,2	1,7	0,3	0,2	6,7	3	0,6	5	
900819	26,5	54	6,4	22,1	4,3	2,1	4,1	0,6	2,9	0,6	1,7	0,2	1,6	0,3	0,3	9,2	3,6	0,7	4,6	
900820	37	64,6	7,5	26,1	4,6	2	4,5	0,7	3,2	0,7	2,1	0,3	1,9	0,3	0,4	14,9	7,1	1,1	6,8	
900821	28,6	52,2	6,1	21	4,1	1,9	4	0,6	3,1	0,6	2	0,3	1,9	0,3	0,4	10,7	9	1,8	5,2	
900822	36,2	64,2	7,6	27,9	5	1,9	4,9	0,7	3,8	0,8	2,6	0,4	2,5	0,4	0,4	13,3	9,1	2,2	6,2	
Rocas de dique																				
900783	55,8	112,5	14,6	59,7	12,2	4,1	11,2	1,5	7,6	1,4	3,9	0,5	2,7	0,3	0,2	8,1	1,5	0,3	12,9	
900814	18,5	44,5	6,7	30,3	7,6	2,6	6,8	1,1	5,7	1,1	3,2	0,4	2,5	0,3	0,7	23,4	1,6	1,3	3,3	
900817	39,2	69,3	8,1	26,6	5	1,9	4,8	0,7	3,2	0,7	2	0,3	1,9	0,3	0,4	35,8	8,3	1,2	7,7	

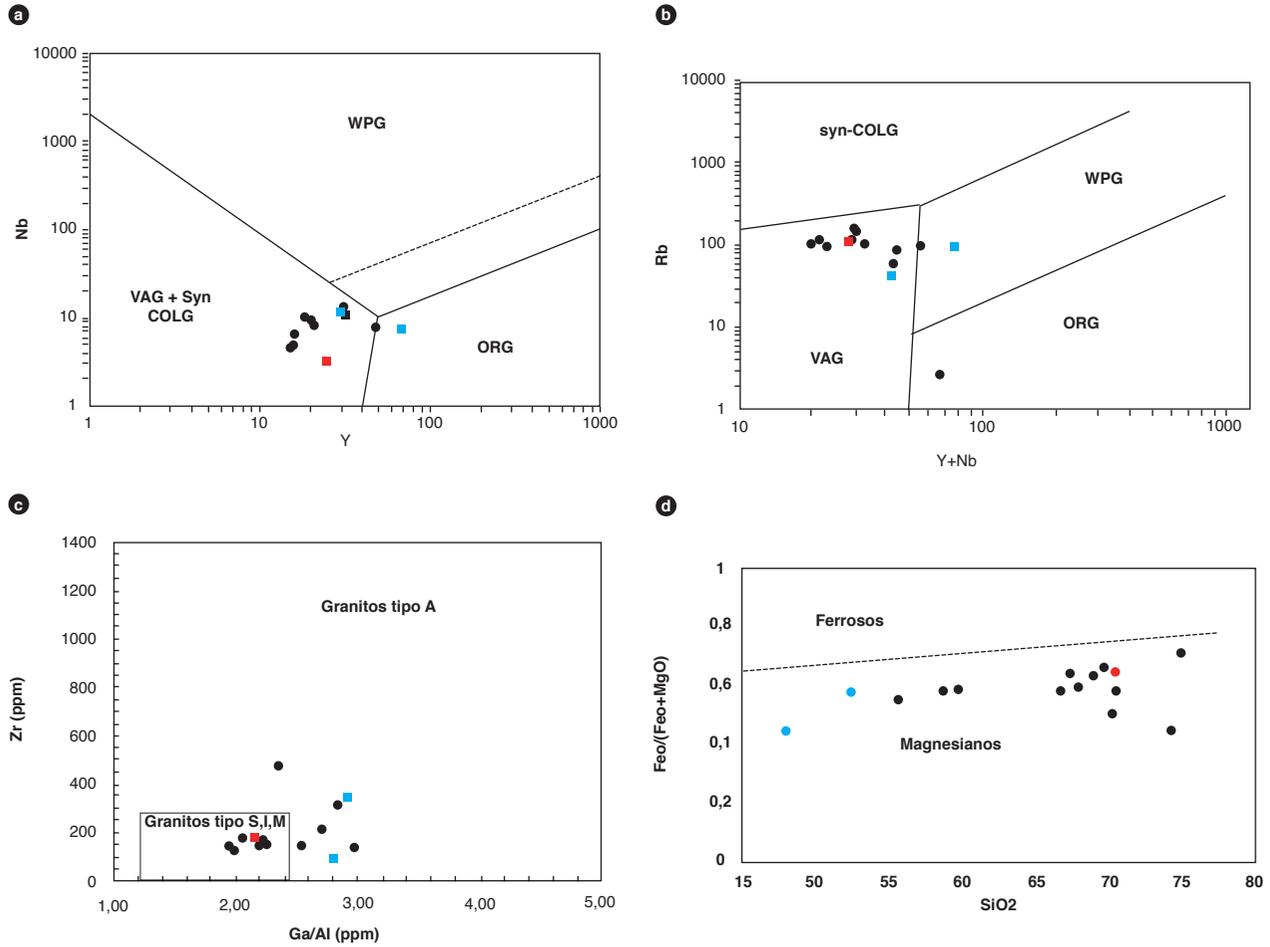


Figura 13. Diagramas de discriminación de ambientes a) Pearce *et al.* (1984). b) Whalen *et al.* (1987). c) Frost *et al.* (2001), correspondiente a las rocas del Monzogranito de Mocoa y diques (azul: diques de composición básica; rojo: dique de composición ácida).

Saldaña es señalado en los trabajos de cartografía de las planchas 430 (Mocoa) y 449 (Orito) por Geoestudios (1998 a y b) como intrusivo.

Asimismo, González y Núñez (2001) concuerdan con la idea expuesta por Macía *et al.* (1985), de que el rango de cristalización entre el plutonismo del Monzogranito de Mocoa y el vulcanismo que dio origen a la Formación Saldaña es estrecho y ambos eventos pueden ser ligeramente contemporáneos, si se tiene en cuenta que se presentan contactos intrusivos claros entre estas unidades hacia la parte sur del Huila, mientras más hacia el sur, en el área del Putumayo, son menos frecuentes los contactos de este tipo, de lo que se infiere una migración magmática desde el sur hacia el norte (tabla 6).

En el presente estudio se realizaron tres dataciones del Monzogranito de Mocoa. Las muestras MIA-538 y GR-6672 corresponden a saprolitos de rocas clasificadas como granito y cuarzomonzodiorita, respectivamente, ambas colectadas sobre el corte de la vía que del municipio de Mocoa conduce al valle del Sibundoy. La muestra MIA-538 se tomó en las coordenadas E: 700071 y N: 610101 y la muestra GR-6672 fue tomada en las coordenadas E: 703906, N: 610370. Otro saprolito de roca clasificada como granito (MIA-543) fue tomado en el corregimiento de San Antonio, en las coordenadas E: 710046 y N: 624783, en sistema Magna Colombia Bogotá. La localización se muestra en la figura 1.

Tabla 5. Edades U/Pb de los circones en las muestras GR-6672, MIA-538 y MIA-543

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 (M. A.)	Edad Pb 207 / U 235 (M. A.)	% discordia
GR_6672_41	0,1690	0,0170	0,02586	0,00055	0,02423	0,0242	165,07	153,00	-7,31
GR_6672_25	0,1880	0,0170	0,02594	0,00050	0,02821	0,0282	164,26	172,00	4,71
GR_6672_53	0,1790	0,0170	0,02612	0,00050	0,03787	0,0379	165,93	162,00	-2,37
GR_6672_69	0,1700	0,0200	0,02611	0,00063	-0,05380	0,1000	166,65	152,00	-8,79
GR_6672_64	0,1800	0,0220	0,02629	0,00063	0,04281	0,0428	167,37	159,00	-5,00
GR_6672_50	0,1840	0,0150	0,02631	0,00049	0,12382	0,1238	166,96	170,00	1,82
GR_6672_51	0,1840	0,0200	0,02637	0,00056	0,00153	0,0015	167,81	172,00	2,49
GR_6672_28	0,1900	0,0210	0,02633	0,00056	0,08611	0,0861	166,69	172,00	3,19
GR_6672_62	0,1770	0,0160	0,02634	0,00048	0,01312	0,0131	167,54	162,00	-3,31
GR_6672_60	0,1840	0,0130	0,02641	0,00043	-0,04120	0,1000	167,86	171,00	1,87
GR_6672_67	0,1770	0,0130	0,02643	0,00045	-0,01079	0,1000	167,88	168,00	0,07
GR_6672_68	0,1850	0,0170	0,02647	0,00051	0,05887	0,0589	168,05	169,00	0,57
GR_6672_34	0,2050	0,0160	0,02656	0,00050	0,18247	0,1825	167,48	189,00	12,85
GR_6672_31	0,1850	0,0100	0,02659	0,00049	0,17066	0,1707	168,93	172,50	2,11
GR_6672_57	0,1990	0,0170	0,02659	0,00052	-0,01535	0,1000	167,98	179,00	6,56
GR_6672_45	0,1880	0,0180	0,02661	0,00055	0,09569	0,0957	168,89	172,00	1,84
GR_6672_15	0,1810	0,0120	0,02663	0,00034	0,03862	0,0386	169,31	167,00	-1,36
GR_6672_30	0,1640	0,0170	0,02654	0,00065	0,08245	0,0825	169,81	150,00	-11,67
GR_6672_18	0,1900	0,0200	0,02666	0,00062	-0,01865	0,1000	168,67	176,00	4,34
GR_6672_24	0,1912	0,0074	0,02670	0,00024	0,14511	0,1451	169,37	177,40	4,74
GR_6672_23	0,1840	0,0110	0,02676	0,00038	0,18955	0,1896	170,06	171,60	0,90
GR_6672_56	0,1860	0,0190	0,02677	0,00061	0,03981	0,0398	169,77	171,00	0,73
GR_6672_26	0,1810	0,0170	0,02679	0,00058	-0,00105	0,1000	170,08	166,00	-2,40
GR_6672_48	0,1970	0,0180	0,02689	0,00062	-0,06389	0,1000	169,73	178,00	4,87
GR_6672_17	0,1720	0,0210	0,02695	0,00063	0,11205	0,1121	171,13	154,00	-10,01
GR_6672_59	0,1720	0,0140	0,02696	0,00047	-0,01248	0,1000	171,96	159,00	-7,54
GR_6672_33	0,1730	0,0130	0,02694	0,00036	0,12108	0,1211	172,03	160,00	-6,99
GR_6672_42	0,1866	0,0071	0,02697	0,00026	0,03878	0,0388	171,30	174,90	2,10
GR_6672_52	0,1660	0,0200	0,02704	0,00064	0,11189	0,1119	172,64	151,00	-12,53
GR_6672_13	0,1740	0,0130	0,02708	0,00044	-0,05511	0,1000	172,42	162,00	-6,04
GR_6672_47	0,4050	0,0460	0,02709	0,00090	0,04149	0,0415	159,13	327,00	105,49
GR_6672_61	0,1800	0,0110	0,02707	0,00045	0,27068	0,2707	172,57	167,40	-3,00
GR_6672_63	0,1810	0,0190	0,02709	0,00059	0,03142	0,0314	171,88	166,00	-3,42
GR_6672_21	0,2540	0,0130	0,02711	0,00031	0,23238	0,2324	168,52	229,00	35,89
GR_6672_39	0,1879	0,0089	0,02715	0,00029	0,34891	0,3489	172,39	174,10	0,99
GR_6672_55	0,1790	0,0180	0,02715	0,00053	0,00567	0,0057	172,63	162,00	-6,16
GR_6672_54	0,1790	0,0160	0,02718	0,00054	0,07849	0,0785	172,99	163,00	-5,77
GR_6672_6	0,1770	0,0160	0,02719	0,00050	-0,13772	0,1000	173,27	161,00	-7,08
GR_6672_29	0,2110	0,0200	0,02728	0,00057	0,04976	0,0498	171,94	189,00	9,92
GR_6672_40	0,2120	0,0190	0,02738	0,00054	-0,10972	0,1000	172,39	192,00	11,38
GR_6672_19	0,2023	0,0084	0,02739	0,00027	-0,02029	0,1000	173,19	187,60	8,32
GR_6672_14	0,1760	0,0170	0,02742	0,00049	0,07757	0,0776	174,87	163,00	-6,79
GR_6672_38	0,1830	0,0100	0,02742	0,00034	0,01836	0,0184	174,42	171,30	-1,79
GR_6672_43	0,2390	0,0160	0,02747	0,00041	0,46886	0,4689	171,93	214,00	24,47
GR_6672_27	0,1750	0,0130	0,02753	0,00044	0,07235	0,0723	175,80	166,00	-5,58
GR_6672_16	0,1755	0,0094	0,02757	0,00039	0,00649	0,0065	175,99	164,70	-6,42
GR_6672_46	0,1850	0,0170	0,02767	0,00061	0,07982	0,0798	176,32	167,00	-5,29
GR_6672_32	0,2169	0,0095	0,02777	0,00035	0,22107	0,2211	175,00	198,50	13,43
GR_6672_5	0,2020	0,0120	0,02781	0,00041	0,20899	0,2090	175,97	184,00	4,56
GR_6672_11	0,1840	0,0120	0,02786	0,00042	-0,13718	0,1000	177,30	169,00	-4,68
GR_6672_22	0,1780	0,0170	0,02796	0,00049	0,04958	0,0496	178,30	163,00	-8,58
GR_6672_2	0,2700	0,0170	0,02821	0,00046	0,15934	0,1593	175,09	240,00	37,07
GR_6672_3	0,2130	0,0150	0,02825	0,00044	0,02198	0,0220	178,53	194,00	8,66
GR_6672_49	0,2000	0,0110	0,02834	0,00038	0,05652	0,0565	179,83	184,00	2,32

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 (M. A.)	Edad Pb 207 / U 235 (M. A.)	% discordia
GR_6672_20	0,2270	0,0160	0,02849	0,00047	-0,03840	0,1000	179,56	208,00	15,84
GR_6672_8	0,1980	0,0200	0,02861	0,00065	-0,05699	0,1000	181,62	177,00	-2,54
GR_6672_37	0,4750	0,0560	0,02866	0,00063	0,85398	0,8540	167,61	369,00	120,16
GR_6672_4	0,1900	0,0490	0,02874	0,00085	0,26409	0,2641	182,19	184,00	0,99
GR_6672_44	0,2880	0,0380	0,02895	0,00083	0,37625	0,3763	178,37	242,00	35,68
GR_6672_58	0,2580	0,0210	0,02895	0,00066	0,14462	0,1446	180,10	235,00	30,48
GR_6672_7	0,1880	0,0220	0,02923	0,00069	-0,04462	0,1000	185,75	172,00	-7,40
GR_6672_9	0,2260	0,0110	0,02928	0,00044	0,02653	0,0265	184,49	205,60	11,44
GR_6672_1	0,2340	0,0230	0,02957	0,00056	0,53911	0,5391	186,47	203,00	8,87
GR_6672_10	0,2400	0,0160	0,02973	0,00049	0,46951	0,4695	186,53	217,00	16,34
GR_6672_36	0,4120	0,0260	0,02976	0,00059	0,10799	0,1080	177,02	348,00	96,59
GR_6672_12	0,2860	0,0180	0,03046	0,00049	0,29186	0,2919	188,95	257,00	36,01
GR_6672_35	0,3890	0,0370	0,03065	0,00071	0,42609	0,4261	184,25	325,00	76,39
GR_6672_65	Ningún valor	NAN	Ningún valor	NAN	NaN	NaN	Ningún valor	Ningún valor	Ningún valor
GR_6672_66	Ningún valor	NAN	Ningún valor	NAN	NaN	NaN	Ningún valor	Ningún valor	Ningún valor
MIA_538_2	0,1694	0,0049	0,02342	0,00036	0,41791	0,41791	148,66	158,70	6,751411832
MIA_538_17	0,224	0,015	0,02798	0,00049	0,3096	0,3096	175,62	204,00	16,15713592
MIA_538_39	0,213	0,016	0,02798	0,00053	0,071425	0,071425	176,84	195,00	10,26918723
MIA_538_15	0,197	0,012	0,02806	0,00041	-0,099244	0,1	178,18	183,00	2,703209234
MIA_538_38	0,218	0,012	0,02814	0,00045	0,26164	0,26164	177,55	199,00	12,07907371
MIA_538_13	0,222	0,019	0,02826	0,00052	0,11685	0,11685	178,17	205,00	15,0588565
MIA_538_3	0,204	0,018	0,0283	0,00085	-0,10844	0,1	179,45	188,00	4,765924593
MIA_538_31	0,21	0,017	0,02839	0,00056	0,094958	0,094958	179,74	191,00	6,262152146
MIA_538_7	0,213	0,012	0,02839	0,00038	0,37202	0,37202	179,30	195,00	8,758816723
MIA_538_34	0,206	0,012	0,02844	0,00043	0,1158	0,1158	180,01	187,60	4,214727197
MIA_538_19	0,196	0,014	0,0285	0,00046	0,12287	0,12287	181,24	182,00	0,416976675
MIA_538_30	0,244	0,013	0,02845	0,00041	0,073908	0,073908	177,83	221,00	24,27655863
MIA_538_36	0,204	0,014	0,02851	0,00048	0,16126	0,16126	180,88	187,00	3,38367223
MIA_538_11	0,257	0,02	0,02855	0,00064	0,095372	0,095372	177,98	229,00	28,66959599
MIA_538_24	0,195	0,011	0,02856	0,0007	0,37981	0,37981	181,28	180,90	-0,211890499
MIA_538_5	0,216	0,016	0,02864	0,00069	0,24849	0,24849	180,77	197,00	8,978321453
MIA_538_33	0,203	0,012	0,0286	0,00049	-0,036803	0,1	181,33	188,00	3,676937757
MIA_538_8	0,227	0,013	0,02872	0,00049	0,2116	0,2116	180,59	206,00	14,07046658
MIA_538_18	0,197	0,014	0,02872	0,00055	-0,0044525	0,1	182,38	180,00	-1,305522044
MIA_538_21	0,208	0,017	0,0287	0,0005	-0,0017348	0,1	181,71	186,00	2,360037785
MIA_538_14	0,189	0,016	0,02871	0,00055	0,23806	0,23806	182,98	173,00	-5,45167251
MIA_538_32	0,2041	0,0072	0,02878	0,00031	0,06445	0,06445	182,44	189,20	3,705028417
MIA_538_35	0,227	0,017	0,02901	0,00052	0,25152	0,25152	183,13	200,00	9,212267478
MIA_538_10	0,214	0,013	0,02914	0,00047	-0,0069533	0,1	184,45	197,00	6,804902204
MIA_538_6	0,218	0,021	0,02911	0,0007	0,24154	0,24154	184,03	199,00	8,13412491
MIA_538_23	0,2061	0,0098	0,02917	0,00045	0,14345	0,14345	185,19	189,30	2,219965429
MIA_538_9	0,211	0,021	0,02953	0,00063	0,15193	0,15193	187,17	191,00	2,044482475
MIA_538_20	0,21	0,015	0,02961	0,0005	0,17936	0,17936	187,61	198,00	5,540611182
MIA_538_22	0,214	0,016	0,02983	0,00061	0,056218	0,056218	188,96	194,00	2,66581027
MIA_538_1	0,328	0,041	0,0314	0,0011	0,25415	0,25415	193,50	284,00	46,77371049
MIA_538_25	0,265	0,016	0,03349	0,00051	0,12078	0,12078	210,72	234,00	11,04909011
MIA_538_37	0,398	0,051	0,0359	0,0028	0,82373	0,82373	222,06	315,00	41,85545037
MIA_538_12	0,34	0,019	0,0363	0,0011	0,33152	0,33152	225,33	296,00	31,36366821
MIA_538_26	1,525	0,072	0,1524	0,0028	0,16065	0,16065	909,97	938,00	3,079973339
MIA_538_16	1,464	0,031	0,1529	0,0015	0,26227	0,26227	917,12	916,00	-0,121589927
MIA_538_28	1,533	0,055	0,1559	0,0038	0,25876	0,25876	933,94	948,00	1,50521035
MIA_538_29	1,584	0,043	0,1601	0,0017	0,11537	0,11537	956,66	968,00	1,184852649
MIA_538_27	1,621	0,065	0,1666	0,0036	0,51035	0,51035	995,26	977,00	-1,834368198
MIA_538_4	Ningún valor	NAN	Ningún valor	NAN	NaN	NaN	Ningún valor	Ningún valor	Ningún valor
MIA_543_4	0,169	0,0093	0,02564	0,00034	0,085565	0,085565	163,59	158,30	-3,235529846

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 (M. A.)	Edad Pb 207 / U 235 (M. A.)	% discordia
MIA__543_37	0,171	0,014	0,02567	0,00045	0,15263	0,15263	163,38	157,00	-3,902825357
MIA__543_35	0,198	0,017	0,02569	0,00054	0,04559	0,04559	161,94	182,00	12,39029168
MIA__543_18	0,161	0,02	0,02571	0,0007	0,086964	0,086964	164,04	149,00	-9,166270943
MIA__543_38	0,215	0,016	0,02572	0,00048	0,18854	0,18854	161,68	195,00	20,61231869
MIA__543_1	0,182	0,015	0,0259	0,00045	0,18093	0,18093	164,38	167,00	1,595947688
MIA__543_6	0,154	0,018	0,0259	0,0007	-0,045237	0,1	165,91	140,00	-15,61928964
MIA__543_31	0,159	0,012	0,026	0,00039	0,07286	0,07286	166,45	154,30	-7,297752894
MIA__543_8	0,195	0,016	0,0261	0,00052	0,35523	0,35523	165,08	176,00	6,616670498
MIA__543_20	0,172	0,015	0,02615	0,00052	0,11088	0,11088	166,51	157,00	-5,71071006
MIA__543_23	0,176	0,014	0,02618	0,00055	0,056338	0,056338	166,28	163,00	-1,974799501
MIA__543_12	0,197	0,016	0,02626	0,00049	0,073335	0,073335	165,85	178,00	7,324461744
MIA__543_40	0,211	0,019	0,02637	0,00056	-0,075705	0,1	165,81	191,00	15,19167951
MIA__543_43	0,207	0,019	0,02655	0,00055	0,13197	0,13197	167,25	186,00	11,21200076
MIA__543_16	0,182	0,014	0,02659	0,00044	0,01627	0,01627	169,03	172,00	1,754744067
MIA__543_29	0,187	0,016	0,0267	0,0005	0,0024569	0,0024569	169,77	171,00	0,724881124
MIA__543_22	0,188	0,026	0,02682	0,00074	0,04764	0,04764	169,74	168,00	-1,025566012
MIA__543_44	0,198	0,016	0,02686	0,00063	-0,12883	0,1	169,91	182,00	7,117541074
MIA__543_11	0,177	0,017	0,02689	0,00058	-0,03674	0,1	171,37	162,00	-5,468282086
MIA__543_15	0,201	0,01	0,02714	0,00036	0,17708	0,17708	171,53	186,20	8,54997573
MIA__543_2	0,207	0,013	0,02719	0,00053	0,16272	0,16272	171,59	191,00	11,31238388
MIA__543_39	0,223	0,023	0,0272	0,00058	0,084759	0,084759	170,58	199,00	16,66334633
MIA__543_13	0,175	0,02	0,02722	0,00079	-0,059556	0,1	173,80	162,00	-6,789337581
MIA__543_46	0,263	0,022	0,02729	0,00055	0,24881	0,24881	168,57	230,00	36,44377519
MIA__543_3	0,168	0,015	0,02737	0,00055	0,083921	0,083921	174,90	156,00	-10,80642447
MIA__543_7	0,182	0,01	0,02739	0,00037	0,17996	0,17996	174,36	168,70	-3,243942176
MIA__543_26	0,258	0,031	0,02743	0,00074	0,62693	0,62693	170,42	217,00	27,33019817
MIA__543_30	0,198	0,016	0,02742	0,00055	-0,017753	0,1	173,55	180,00	3,717548681
MIA__543_27	0,206	0,018	0,02743	0,00058	-0,028539	0,1	172,98	186,00	7,525532599
MIA__543_25	0,271	0,021	0,02766	0,00056	-0,0029295	0,1	170,92	243,00	42,1704172
MIA__543_36	0,207	0,019	0,02772	0,0006	0,13371	0,13371	175,12	188,00	7,352770442
MIA__543_10	0,211	0,013	0,02815	0,00051	0,044918	0,044918	177,73	195,00	9,718889264
MIA__543_42	0,183	0,017	0,02816	0,00058	0,092359	0,092359	179,41	167,00	-6,918699599
MIA__543_28	0,245	0,049	0,0282	0,0013	0,034289	0,034289	174,52	225,00	28,92493952
MIA__543_19	0,193	0,014	0,02837	0,00047	-0,056692	0,1	180,16	181,00	0,468317873
MIA__543_9	0,187	0,017	0,02848	0,00059	0,2211	0,2211	181,37	171,00	-5,715282034
MIA__543_34	0,22	0,018	0,02871	0,00064	0,054733	0,054733	181,25	197,00	8,687838293
MIA__543_24	0,309	0,048	0,02885	0,00079	0,58494	0,58494	177,37	247,00	39,2578067
MIA__543_41	0,699	0,083	0,0329	0,0013	0,35267	0,35267	181,32	539,00	197,2659794
MIA__543_45	0,229	0,018	0,0335	0,0015	0,42203	0,42203	212,86	208,00	-2,281983105
MIA__543_32	0,233	0,014	0,03424	0,00088	0,48592	0,48592	216,94	213,00	-1,817908505
MIA__543_33	0,822	0,036	0,0903	0,0021	0,369	0,369	551,80	613,00	11,09074782
MIA__543_14	1,218	0,042	0,1231	0,002	0,52996	0,52996	741,43	812,00	9,517974842
MIA__543_5	1,437	0,042	0,1558	0,0017	0,12344	0,12344	936,83	907,00	-3,183642976
MIA__543_21	2,405	0,044	0,212	0,0022	0,40163	0,40163	1237,14	1244,00	0,554872781
MIA__543_17	Ningún valor	NAN	Ningún valor	NAN	NaN	NaN	Ningún valor	Ningún valor	Ningún valor

Tabla 6. Edades del plutón y mineralización en pórfidos del Monzogranito de Mocoa

Muestra	Método	Material analizado	Edad (Ma)	Referencia
Dacita porfídica	K-Ar	Feldespatos potásico	136±3	Sillitoe <i>et al.</i> (1982)
Dacita porfídica	K-Ar	Sericita	166±4	Sillitoe <i>et al.</i> (1982)
Dacita porfídica	K-Ar	Roca total	170±2	Jaramillo <i>et al.</i> (1980)
Dacitalítica porfídica	K-Ar	Roca total	172±2	Jaramillo <i>et al.</i> (1980)
Andesita silicificada	K-Ar	Roca total	183±3	Jaramillo <i>et al.</i> (1980)
Monzogranito	K-Ar	Biotita	198±4	Sillitoe <i>et al.</i> (1982)
Granodiorita	K-Ar	Biotita	210±4	Sillitoe <i>et al.</i> (1982)
Dacita porfídica	U-Pb	Circón	170,2±2,7	Leal (2011)
GR-6672 saprolito	U-Pb	Circón	171,6±1,2	Este trabajo
MIA-538 saprolito	U-Pb	Circón	181,8±1,3	Este trabajo
MIA-543 saprolito	U-Pb	Circón	170,7±2,1	Este trabajo

Fuente: modificado a partir de González y Núñez (2001) y autores.

Inicialmente se realizó la separación de minerales densos en el Laboratorio Químico del Servicio Geológico Colombiano, sede Medellín, utilizando separación hidrodinámica, magnética y, por último, el montaje de los circones, que tienen formas prismáticas alargadas eu-hedrales a multifacéticas, de tonalidad rosado pálido a incoloro, con tamaño promedio de alrededor de 100 µm a lo largo, mientras que a lo ancho el tamaño de los circones varía entre 50 y 60 µm. El análisis de las muestras se elaboró en el Laboratorio de Geocronología del Servicio Geológico Colombiano de Bogotá mediante la técnica ICP-MS (espectrometría de masas con fuente de plasma de acoplamiento inductivo).

Los datos obtenidos fueron tratados en el software de Isoplot/Ex vers. 4.15 (Ludwig, 2012) para observar su distribución y proceder a la interpretación. Seguidamente se hizo un análisis estadístico con el fin de mejorar el rango de confiabilidad de la edad proporcionada por el laboratorio, teniendo en cuenta la relación $(_{207}\text{Pb}/_{235}\text{U}) - (_{206}\text{Pb}/_{238}\text{U}) / _{206}\text{Pb}/_{238}\text{U}$, filtrando edades con discordias arrojadas menores del 10% y errores mayores que el 5%, trabajando finalmente con 48 circones de la muestra GR-6672, 31 granos de la MIA-538 y 33 circones de la muestra MIA-543 (tabla 5).

Las imágenes de catodoluminiscencia (figura 14) muestran una forma prismática en los circones con patrones similares de crecimiento magmático zonado. En la muestra MIA-538 se observa que dicha zonación concéntrica está interrumpida, por lo que puede corresponder a segmentos heredados.

Las edades obtenidas indican una cristalización del Monzogranito de Mocoa en el periodo Jurásico Inferior a Medio (Aalenense a Toarceniense), con datos de

172 ± 1,2 Ma, con un MSWD = 3 en la muestra GR-6672, que presenta un comportamiento de los circones sobre la línea de concordia. Por su parte, el concentrado de roca MIA-538 arrojó una edad de 182 ± 1,3 Ma, con un MSWD = 1,4 inferido como cristalización de la roca. Seis circones se comportan discordantes, con edades más antiguas heredadas, de los cuales cinco registran edades entre 909,97 y 995,26 Ma, y un circón revela una edad de 210,72 Ma. Los circones correspondientes a la muestra MIA-543 presentan un comportamiento disperso cerca de la línea de concordia, con edades en el rango de 160 a 181 Ma. La edad de cristalización se estima en 171 ± 2,1 Ma, con un MSWD = 3,3. En esta muestra, seis circones reflejan patrones heredados, con edades de 216,9 Ma, 551,8 Ma, 741,4 Ma, 936,8 Ma y 1237,1 Ma (figuras 15 a, b, c, d, e y f).

7. Correlaciones

Por su posición estratigráfica, geotectónica y geocronológica, el Monzogranito de Mocoa se correlaciona con los plutones que afloran en el borde oriental del valle superior del Magdalena (Rodríguez *et al.* 2015a y Arango *et al.* 2015a), como son el Monzogranito de Algeciras, con edades de 172 ± 2,5 Ma, 170 ± 1,2 Ma y 179 ± 1,9 Ma; el Monzogranito de Altamira, con edades de 172 ± 1 Ma, 172 ± 3,9 Ma; la Cuarzolatita de Teruel, con edad de 170 ± 1,10 Ma, y con el Granito de Garzón, con edades de 171 ± 2,4 Ma y 172 ± 2,0 Ma.

8. Localidad tipo

La localidad tipo de esta unidad se encuentra en la quebrada Campucana, al noroccidente de Mocoa. Igualmente se presentan como sección alterna los aflor-

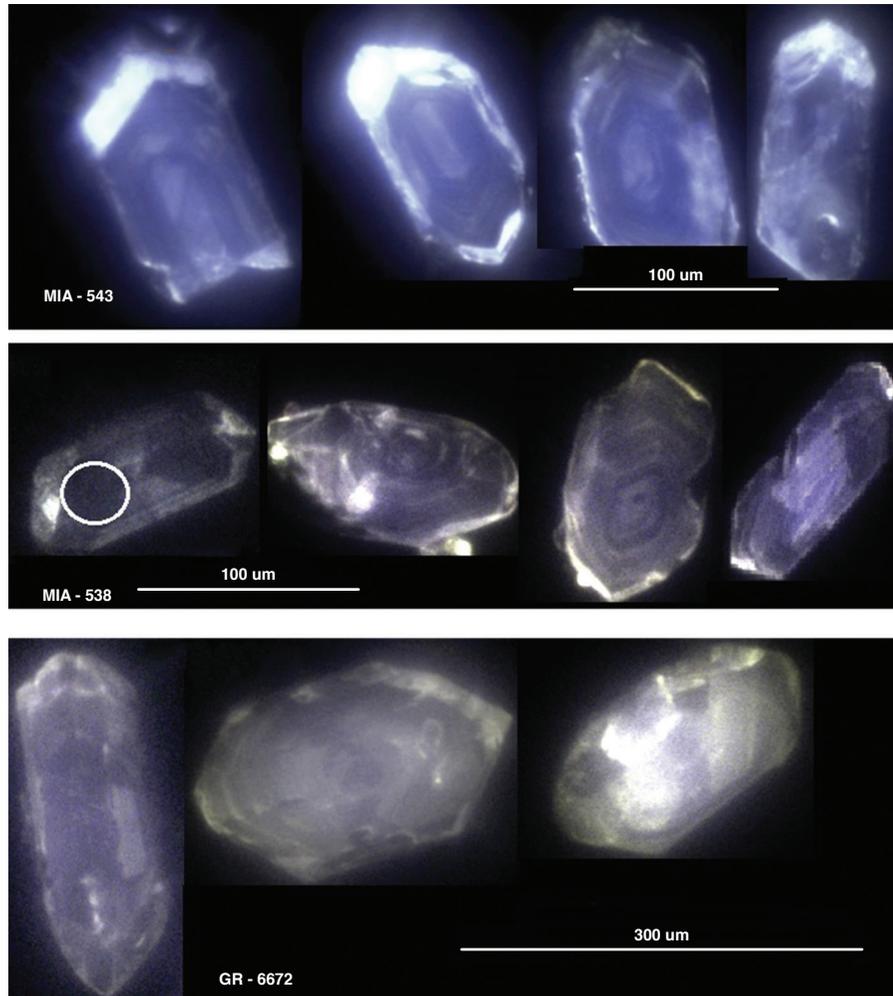


Figura 14. Catodoluminiscencia de granos de circón

ramientos sobre la vía que conduce de Mocoa al municipio de San Francisco, entrando al valle de Sibundoy. También se encuentran afloramientos en los cauces de los ríos Mocoa y Putumayo, en la plancha 430 Mocoa. Asimismo, Núñez (2003) reporta otros sitios de exposición del Monzogranito de Mocoa en las planchas 448 Monopamba, en los ríos Guamués y Sucio, en la plancha 449 Orito, en los ríos Conejo y Orito, y en la plancha 465 Churuyaco, en el río San Miguel, cerca de la frontera con el Ecuador.

9. Génesis

De acuerdo con los resultados geoquímicos en roca total, el Monzogranito de Mocoa corresponde a un granito de tipo magnesiano de la serie calcoalcalina alta en K. Su ambiente de formación es de arco magmático de margen continental y forma parte del evento magmático

plutónico emplazado en el valle superior del Magdalena (VSM) ocurrido entre 170 y 182 Ma. Corresponde a un plutón compuesto con al menos dos pulsos magmáticos representados por rocas de edades que rondan los 182 Ma, y rocas de edades próximas a 171 Ma, característica común en otros plutones del VSM. De acuerdo con los datos reportados en cuerpos porfiríticos mineralizados, las diferencias de edades entre las rocas granitoides y los cuerpos porfídicos son estrechas y están limitadas a un periodo menor de 1 Ma, lo que sugiere que estos últimos corresponden a los líquidos residuales tardíos inyectados en el plutón.

10. Recursos minerales

El Monzogranito de Mocoa tiene asociados diques porfídicos de composición dacítica con mineralización de Cu y Mo desarrollada por inyección de fluidos hidroter-

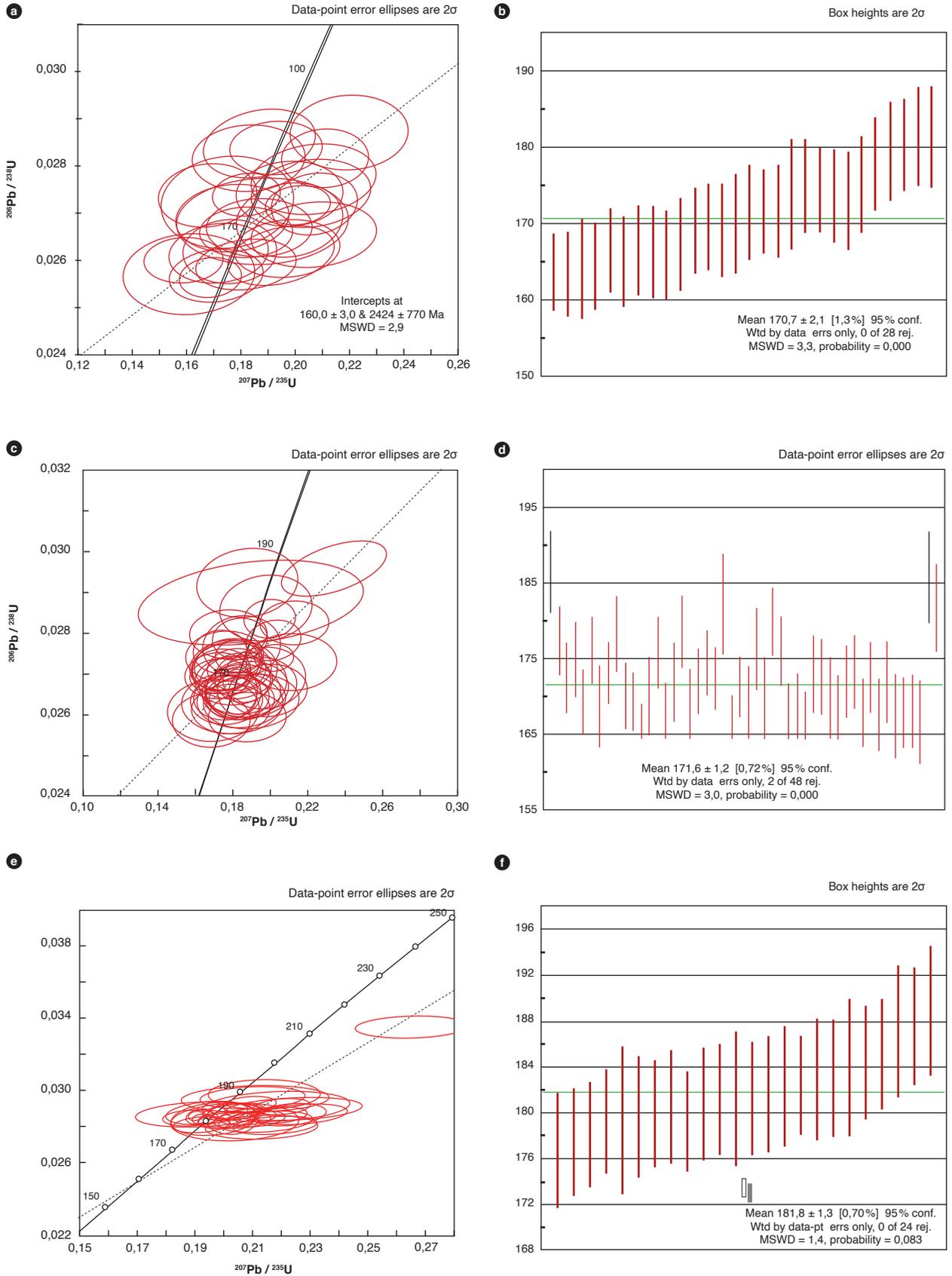


Figura 15. Diagramas de concordia. Cálculo de la edad media y desviación estándar en las edades U-Pb de norte a sur del Monzogranito de Mocoa a) MIA-543. b) GR-6672. c) MIA-538 edad de cristalización.

males enriquecidos en estos elementos (Cunningham *et al.*, 2008; Leal, 2011).

Buenaventura (1982) realiza un estudio paragenético de sulfuros asociados al prospecto de Cu y Mo, al igual que un análisis estructural de este tipo de mineralización.

Actualmente, empresas mineras han desarrollado etapas de exploración en el proyecto La Vega (Mocoa).

La mineralización asociada con el plutón cuenta con las dataciones K-Ar en roca total de pórfidos dacíticos, que arrojan edades de 170 ± 2 y 172 ± 2 Ma, y en pórfidos andesíticos, de 183 ± 3 Ma (Jaramillo *et al.*, 1980). Igualmente, Sillitoe *et al.* (1982) presentan edades K-Ar de 166 ± 4 Ma en sericita y de 136 ± 3 Ma en feldespato correspondientes a muestras de roca de composición dacítica.

Leal (2011) retoma una muestra de pórfido dacítico asociada a la mineralización del “Proyecto Mocoa” y realiza el análisis geocronológico U-Pb por el método de LA-MC-ICP-MS, que arroja una edad de $170 \pm 2,7$ Ma, correspondiente al Jurásico Medio, con edades heredadas de ca. 184 Ma, ca. 230 Ma, ca. 720 Ma, ca. 820 Ma y ca. 1200 Ma, lo cual indica una posible asimilación de magmas anteriores del batolito o de rocas del basamento.

11. Marco geológico regional

El Monzogranito de Mocoa se encuentra aflorando en la parte sur de la cordillera Oriental, y está afectado por un esquema tectónico complejo desarrollado a partir del levantamiento de dicha cordillera. El mismo está compuesto por sistemas de fallas (fallas Los Guzmanes, San Francisco-Yunguillo), con predominio NE-SW, rasgo paralelo a la disposición espacial actual de este cuerpo ígneo.

Sus límites con unidades adyacentes varían entre tectónico, intrusivos e inconformes. Intruye rocas metamórficas de edad precámbrica, como el Complejo Migmatítico La Cocha-río Tellez, relacionado con el terreno Chibcha (Restrepo y Toussaint, 1988).

A la vez, se encuentra cabalgando, en la parte occidental, sobre sedimentos cretácicos (formaciones Caballos, Villeta, Rumiayaco) depositados durante intrusiones y transgresiones marinas (Etayo *et al.*, 1969). Hacia el lado oriental, el Monzogranito de Mocoa es cubierto en discordancia por unidades sedimentarias paleógenas, como la Formación Pepino y el Grupo Orito, asociados con ambientes continentales fluviales y costeros.

En el área de estudio, y relacionado con el magmatismo jurásico del valle superior del Magdalena, afloran los cuerpos ígneos Cuarzomonzonita de Sombrerillo y Monzogranito de Altamira, asociados, por sus características geoquímicas, a una zona de subducción (Núñez, 2003). Asimismo, Jaramillo (1980) plantea que las rocas volcánicas y los derrames lávicos de la Formación Saldaña pueden corresponder al componente volcánico de este magmatismo.

Referencias

- Arango, M., Rodríguez, G., Zapata, G. y Bermúdez, J. (2015a). *Monzogranito de Altamira. Catálogo de Unidades litoestratigráficas de Colombia: cordilleras Oriental y Central*. Informe. Servicio Geológico Colombiano.
- Arango, M., Rodríguez, G., Zapata, G. y Bermúdez, J. (2015b). *Cuarzolatita de Teruel. Catálogo de Unidades litoestratigráficas de Colombia: cordillera Central*. Informe Servicio Geológico Colombiano.
- Buenaventura, J. (1982). Estudio paragenético de los sulfuros. Prospecto de Mocoa, Colombia. *Geología Norandina*, 6, 47-55.
- Cáceres, H. y Teatin, P. (1985). Cuenca del Putumayo, provincia petrolera meridional de Colombia. En *Memorias del II Simposio Bolivariano de Exploración Petrolera en Cuencas Subandinas*, 1, 1-80.
- Cucalón, I. y Camacho, R. (1966). *Compilación geológica de la cuenca del Putumayo*. Informe 1502. Ingeominas.
- Cunningham, C., Zappettini E., Vivallo, W., Celada, C., Quispe, J., Singer, D., Briskey, J., Sutphin, D., Gajardo, M., Díaz, A., Portigliati, C., Berger, V., Carrasco, R. y Schulz, K. (2008). *Quantitative mineral resource assessment of copper, molybdenum, gold, and silver in undiscovered porphyry copper deposits in the Andes Mountains of South America*. USGS Open-File Report, 1253. Disponible en: <https://pubs.usgs.gov/of/2008/1253/>
- Escorce, E. (1977). *Mineralización de tipo pórfido cuprífero, área de Mocoa, departamento del Putumayo*. Informe 1785. Ingeominas.
- Etayo Serna, F., Renzoni, G. y Barrero, D. (1969). Con-tornos sucesivos del mar Cretáceo en Colombia. En *Memorias de I Congreso Colombiano de Geología* (pp. 217-253). Bogotá.

- Frost, B., Arculus, R., Barnes, C., Collins, W., Ellis, D. y Frost, C. (2001). A geochemical classification of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 42(11), 2033-2048. <https://doi.org/10.1093/petrology/42.11.2033>
- Geoestudios Ltda. (1998a). *Mapa geológico de Colombia: plancha 430-Mocoa, escala 1:100 000*. Informe. Ingeominas.
- Geoestudios Ltda. (1998b). *Mapa geológico de Colombia: plancha 449-Orito, escala 1:100 000*. Informe. Ingeominas.
- González, H. y Núñez, A. (2001). *Catálogo de unidades litoestratigráficas de Colombia. Monzogranito de Mocoa*. Informe. Ingeominas.
- 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.
- International Subcommission on Stratigraphic Classification (ISSC). (1994). *International Stratigraphic Guide: A guide to stratigraphic classification, terminology and procedure*. Geological Society of America. <https://doi.org/10.1130/9780813774022>
- 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)
- Jaramillo, L., Escobar, R. y Vesga, J. (1980). Edades K/Ar de rocas con alteración hidrotermal asociadas al sistema de pórfido de cobre y molibdeno de Mocoa, Colombia. *Geología Norandina*, 1, 11-18.
- Julivert, M. (1968). *Lexique stratigraphique international: Amérique Latine. Fascicule 4a Colombie (première partie): Précambrien, Paléozoïque, Mésozoïque et intrusions d'âge mésozoïque-tertiaire*. Centre National de la Recherche Scientifique.
- Le Maitre, R. W., Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M. J., Bonin, B., Bateman, P., Bellieni, G., Dudek, A., Efremova, S., Keller, J., Lameyre, J., Sabine, P. A., Schmid, R., Sorensen, H. y Woolley A. R. (2002). *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences*. Subcommission of the Systematics of Igneous Rocks. Cambridge University Press.
- Leal Mejía, H. (2011). *Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: A tectono- magmatic approach* [Tesis de doctorado]. Universitat de Barcelona.
- Ludwig, K. R. (2012). *User's Manual for Isoplot 3.75-4.15: a geochronological toolkit Microsoft Excel*. Special Publication n.º 5. Berkeley Geochronology Center.
- Macía, C., Mojica, J. y Colmenares, F. (1985). Consideraciones sobre la importancia de la paleogeografía y las áreas de aporte precretácicas en la prospección de hidrocarburos en el valle superior del Magdalena, Colombia. *Geología Colombiana*, 14, 49-70.
- Meritano, J. y Pachecho, A. (1972). *Estudio geológico de la región Pitalito-Timaná-Suaza-Saladoblanco*. Informe D-372. Ingeominas-CIAF.
- Middlemost, E. (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)
- Mojica, J., Kammer, A. y Ujueta, G. (1996). El Jurásico en el sector noroccidental de Suramérica y Guía de excursión al VSM, regiones de Payandé y Prado, departamento del Tolima. *Geología Colombiana*, 21, 3-40.
- Moreno, E. y Méndez, A. (1989). *Características estratigráficas de la formación Villeta en el sector NW de la cuenca del Putumayo* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Colombia.
- Naciones Unidas e Ingeominas. (1977). *Proyecto de metales básicos en las cordilleras Central y Occidental. Informe técnico preparado para el Gobierno de Colombia*. Naciones Unidas.
- Naciones Unidas, Ingeominas y Ecominas (1984). *Depósito de cobre y molibdeno de Mocoa, Colombia*. Informe preliminar de factibilidad COL/76/030/05. Bogotá.
- 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.
- Pearce, J., Harris, N. y Tindle, A. (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, T. (1976). Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58(1), 63-81. <https://doi.org/10.1007/BF00384745>

- Peñuela, A. (1995). *Cartografía geológica y geotécnica de un área al NW de Mocoa, Putumayo* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Colombia.
- Radelli, L. (1962). Introducción al estudio de la petrografía del Macizo de Garzón (Huila-Colombia). *Geología Colombiana*, 3, 16-46.
- Ramírez, R. y Araque, L. (1984). *Petrografía del skarn de Mocoa* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Colombia.
- Restrepo, J. y Toussaint, J. (1988). Terranes and continental accretion in the Colombian Andes. *Episodes*, 11(3), 189-193. <https://doi.org/10.18814/epiugs/1988/v11i3/006>
- Rodríguez, G., Arango, M., Zapata, G. y Bermúdez, J. (2015a). *Granito de Garzón. Catálogo de unidades litoestratigráficas de Colombia: cordillera Oriental*. Informe. Servicio Geológico Colombiano.
- Rodríguez, G., Zapata, G., Arango, M. y Bermúdez, J. (2015b). *Monzogranito de Algeciras. Catálogo de Unidades litoestratigráficas de Colombia: cordillera Oriental*. Informe. Servicio Geológico Colombiano.
- Royo y Gómez, J. (1942). *Datos para la geología económica de Nariño y alto Putumayo*. Compilación de los Estudios Geológicos Oficiales de Colombia, tomo V. Bogotá.
- Shand, S. (1943). *Eruptive rocks: Their genesis, composition, classification, and their relation to ore-deposits with a chapter on meteorite*. John Wiley & Sons.
- Siivola, J. y Schmid, R. (2007). *A systematic nomenclature for metamorphic rocks. 12. List of mineral abbreviations*. Recommendations by the IUGS Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks: Web version 01.02.07.
- Sillitoe, R. (1978). *An appraisal of porphyry copper prospects in Colombia* United Nations. Unpublished internal report. New York.
- Sillitoe, R. (1979). *An appraisal of porphyry copper prospects in Colombia: First followup with emphases on the Mocoa prospect*. Internal report. United Nations.
- Sillitoe, R., Jaramillo, L. y Castro, H. (1984). Geological exploration of molibdenum rich porphyry copper deposit at Mocoa, Colombia. *Economic Geology*, 79(1), 106-123. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.79.1.106>
- Sillitoe, R., Jaramillo, L., Damon, P., Shafiquillan, H. y Escobar, R. (1982). Setting, characteristics and age of the Andean porphyry copper belt in Colombia. *Economic Geology*, 77(8), 1837-1850. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.77.8.1837>
- Streckeisen, A. (1976). To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Reviews*, 12(1), 1-33. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(76\)90052-0](https://doi.org/10.1016/0012-8252(76)90052-0)
- 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>
- Ujueta, G. (1999). La cordillera Oriental colombiana no se desprende de la cordillera Central. *Geología Colombiana*, 24, 3-28.
- Velandia, F. (2001). Fallas transversales de basamento en el departamento del Huila, valle superior del Magdalena, Colombia. En *XI Congreso Latinoamericano de Geología*. Montevideo.
- 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>