

Cuarzomonzodiorita de El Astillero

» Serranía de Las Minas
Departamento de Huila

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

Catálogo de las unidades litoestratigráficas de Colombia / Jurásico

Citación: Rodríguez, G., Arango, M. I., Zapata, G. y Bermúdez, J. G. (2022). Cuarzomonzodiorita del Astillero. En *Catálogos de las unidades litoestratigráficas de Colombia: Valle Superior del Magdalena*. Vol. 2. Servicio Geológico Colombiano. <https://doi.org/10.32685/9789585313194.5>

Los cuerpos magmáticos jurásicos que afloran en el Valle Superior del Magdalena fueron estudiados durante la ejecución del proyecto “Magmatismo Jurásico en Colombia” por parte del Grupo de Estudios Geológicos Especiales del Servicio Geológico Colombiano. Entre los plutones investigados están varios intrusivos que fueron descritos en la serranía de Las Minas, en el departamento del Huila.

En este catálogo se redefine el nombre del cuerpo y se describen las características geológicas de campo, petrográficas, geoquímicas y geocronológicas que permiten interpretar el ambiente de formación del plutón. Se hace una interpretación de su génesis y las posibles correlaciones con otras unidades jurásicas en Colombia.

1. Proponente del nombre

Gabriel Rodríguez, María Isabel Arango, Gilberto Zapata y José Gilberto Bermúdez, en este trabajo.

2. Proveniencia del nombre y distribución geográfica

El nombre proviene de la vereda El Astillero, municipio de El Agrado (Huila). En el presente estudio se hizo el análisis petrográfico y químico de once muestras que dieron como composición dominante cuarzomonzodiorita. Por tal razón se renombra este intrusivo como *Cuarzomonzodiorita de El Astillero*.

Aflora al norte de la cabecera municipal de El Agrado, en el departamento del Huila, se localiza en el borde nororiental de la serranía de Las Minas y tiene un área de afloramiento aproximada de 25 km² (figura 1).

Regionalmente aflora en un bloque tectónico limitado al occidente por la falla de Chusma, y al oriente, por la falla de El Agrado, denominado *serranía de las Minas*. Está constituida por rocas de basamento precámbrico (Metamórfitas de Las Minas), rocas paleozoicas (Formación El Hígado) y rocas volcano-sedimentarias jurásicas (Formación Saldaña), todas ellas intruidas por plutones jurásicos y cubiertos por rocas del Mesozoico.

3. Reseña histórica

Velandia *et al.* (2001) y Rodríguez *et al.* (1998) propusieron, en la memoria y mapa geológico de la Plancha 366 Garzón, el nombre de *Monzodiorita de El Astillero*.

4. Descripción geológica

La Cuarzomonzodiorita de El Astillero está constituida por rocas de colores gris verdosos a blanco a rosado, moteadas de negro. Son faneríticas de grano fino a medio, con texturas granulares a inequigranulares (figura 2), presentan variaciones locales en composición y puntual-

mente pueden tener autolitos de microdioritas de colores más oscuros, con tamaño de grano fino a afanítico y composición básica (diorita a microdiorita) (Velandia *et al.*, 2001). Este plutón se encuentra atravesado por diques de andesita y microcuarzodiorita, así como por venas de cuarzo y feldespato.

Se analizaron once muestras de rocas, cuatro de ellas colectadas durante el trabajo de cartografía de la plancha 366 (Rodríguez *et al.*, 1998 y Velandia *et al.*, 2001), y las restantes siete se colectaron durante el proyecto “Magmatismo jurásico del Valle Superior del Magdalena y Putumayo”. Los resultados petrográficos se resumen en la tabla 1, y la clasificación petrográfica en el diagrama de Streckeisen (1976) (figura 3).

De las once muestras analizadas, ocho corresponden a rocas del intrusivo y tres a diques; cuatro pertenecen al campo de las cuarzomonzodioritas, tres a las dioritas, una es cuarzodiorita, otra es monzodiorita y una más es monzonita, lo cual indica que el cuerpo varía de composición en la serie cuarzomonzodiorita-monzonita-monzodiorita-cuarzodiorita, y los diques varían de andesita a microcuarzodiorita. Las rocas de este plutón tienen texturas hipidiomórficas granulares a inequigranulares y texturas particulares poiquilíticas en hornblenda y feldespato, intercrecimientos micrográficos, coronas de feldespato alrededor de plagioclasa y desmezclas peritéticas.

Cuarzomonzodiorita-monzonita-monzodiorita-cuarzodiorita

Presentan contenidos de cuarzo variables entre 0 y 14%; la plagioclasa varía entre 46 y 64%; el feldespato alcalino, de 0 a 35%, y como minerales máficos el más frecuente es la hornblenda (3 a 43%). La biotita se presenta en cantidades menores al 11%. Puede aparecer clinopiroxeno y ortopiroxeno, y como accesorios se

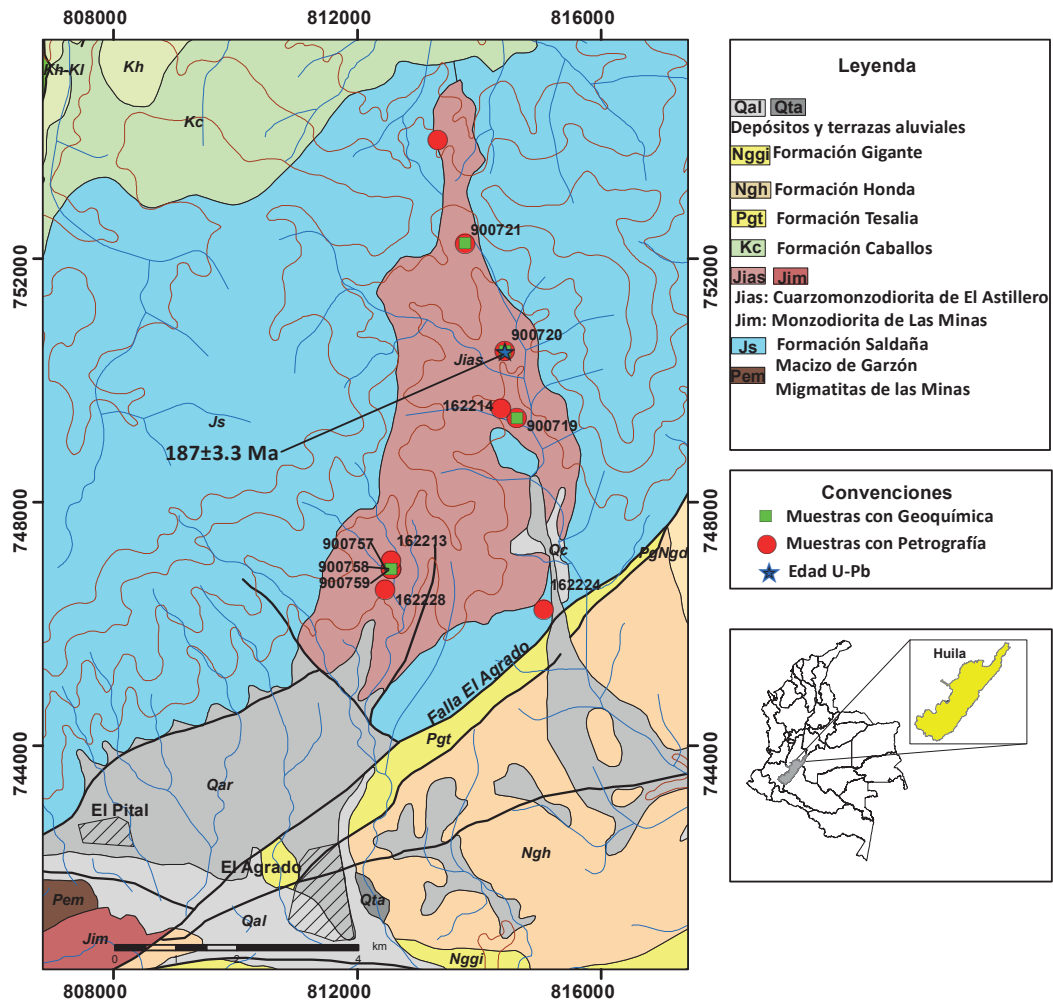


Figura 1. Localización y muestreo de la cuarzomonzodiorita de El Astillero
Fuente: cartografía tomada de la plancha 366 (Rodríguez *et al.*, 1998).

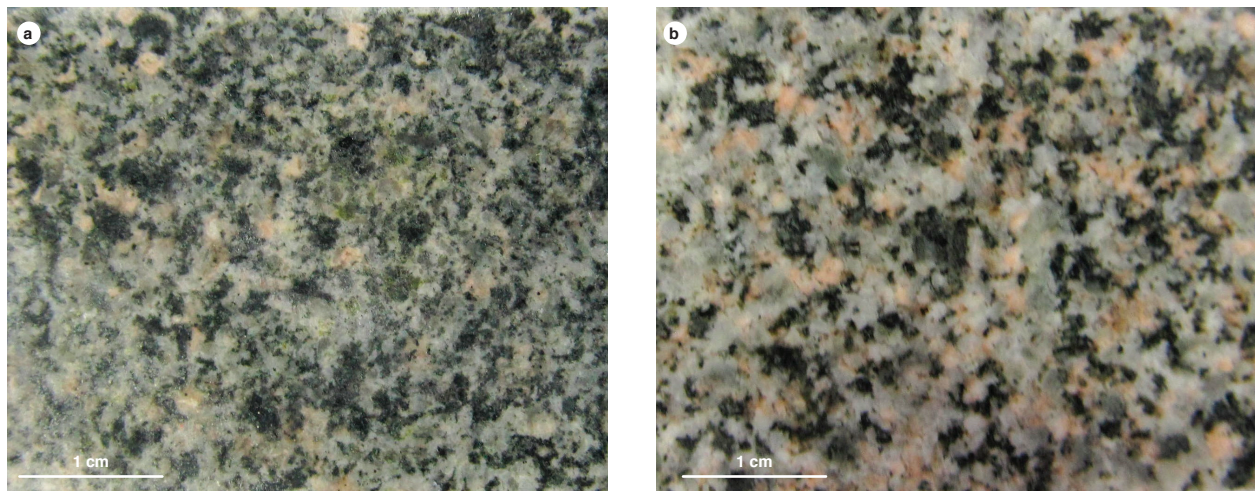


Figura 2. Aspecto macroscópico de rocas de la Cuarzomonzodiorita de El Astillero
a) Muestra IGM-900721. b) Muestra IGM-900720

Tabla 1. Composición petrográfica de rocas de la Cuarzomonzodiorita de El Astillero

IGM	W	N	Qtz	Pl	Kfs	Cpx	Opx	Ol	Hbl	Bt	Op	Ttn	Ap	Zrn	Clasificación
900719	814622	749384	13,9	59,8	12,3	2,5	2,4		4,1	3,3	1,7	TR	TR	TR	Cuarzomonzodiorita
900720	814422	750483	14	54,5	17,1	3,2			3,3	5,7	1,6				Cuarzomonzodiorita
900721	813773	752250	12,5	62,4	3,1	10,2	TR		8,6	1,6	1,6	TR	TR	TR	Cuarzodiorita
900757	812558	746903	3,5	63,5	2,5	8,5	4,0		6,5	10,5			0,5	0,5	Microcuarzodiorita
900758	812558	746903	5,0	60,0		15,0	4,0		6,0	7,0	2,0		TR	TR	Microcuarzodiorita
900759	812558	746903	0,0	56,0		25,0	12,0	0,5			5,0				Andesita
162213	812558	747044	0,0	62,0		5,0			25,0	8,0	TR		TR	TR	Diorita
162214	814363	749541	11,7	46,8	19,5	3,0			15,0	1,0	3,0		TR	TR	Cuarzomonzodiorita
162224	815056	746239	1,0	46,0	10,0	TR			43,0		TR		TR		Monzodiorita
162228	812457	746569	2,0	53,0					30,0		15,0				Diorita hornblédica
162283	813323	753944	4,5	55,5	35,0		0,5		5,0		TR		TR		Cuarzomonzonita

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

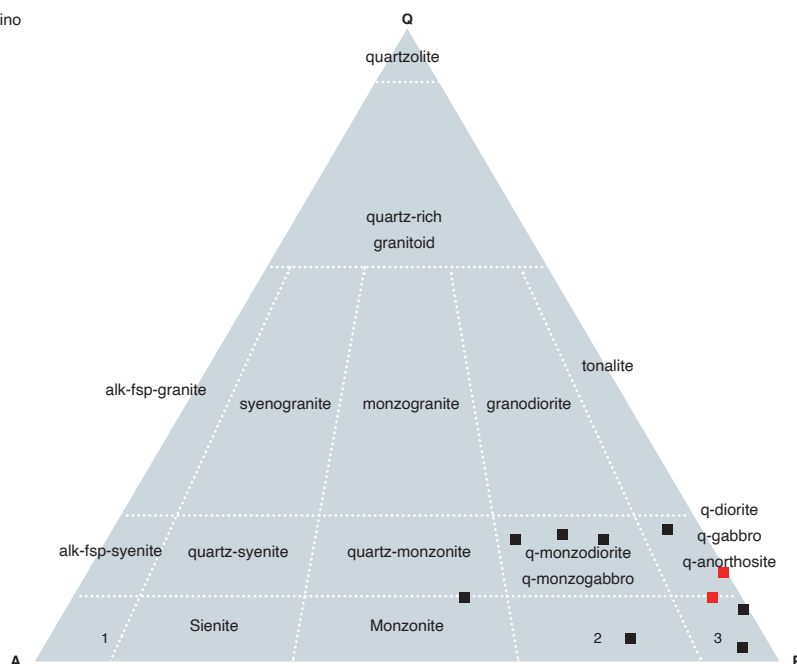


Figura 3. Clasificación petrográfica de muestras de la Cuarzomonzodiorita de El Astillero. En negro, rocas de la Cuarzomonzodiorita de El Astillero, y en rojo, rocas de dique.

encuentran opacos, apatito, circón y, en algunas rocas, titanita.

El cuarzo se encuentra en cristales anhedrales intergranulares de tamaños que oscilan entre 0,1 mm y 0,5 mm, con bordes irregulares a rectos, limpios, con extinción ondulatoria, color de interferencia blanco del primer orden. En general, muestra inclusiones de polvo a manera de líneas, se presenta intersticial entre los feldespatos y en algunas rocas desarrolla texturas micrográficas con ortosa.

La plagioclasa es de tipo andesina, varía entre An₃₉ y An₄₈, se encuentra en cristales euhedrales a subhedrales inequigranulares de tamaños entre 0,2 mm y 2 mm. Tiene formas tabulares con bordes rectos cristalinos, generalmente con maclas de albita, albita-Carlsbad y

periclina, el relieve es cercano al del bálamo, pero levemente mayor. Los cristales tienen extinción zonada normal, están alterados principalmente en el núcleo a sericita en escamas finas, saussurita y arcilla de color pardo, y pueden presentarse incluidos en ortosa y anfíbol, o pueden tener inclusiones de biotita, opacos y piroxenos (figura 4).

El feldespato alcalino es de tipo ortosa, se encuentra en cristales anhedrales inequigranulares con contornos irregulares, de tamaños entre 0,2 mm y 1,6 mm. El relieve es menor al del bálamo, con birrefringencia gris del primer orden, sin desarrollo de maclas. Con leve alteración a caolín, que localmente le imprime un color pardo sucio, tiene inclusiones de plagioclasa, opacos, apatito, anfíbol y piroxenos. Desarrolla textura poiquilítica, y

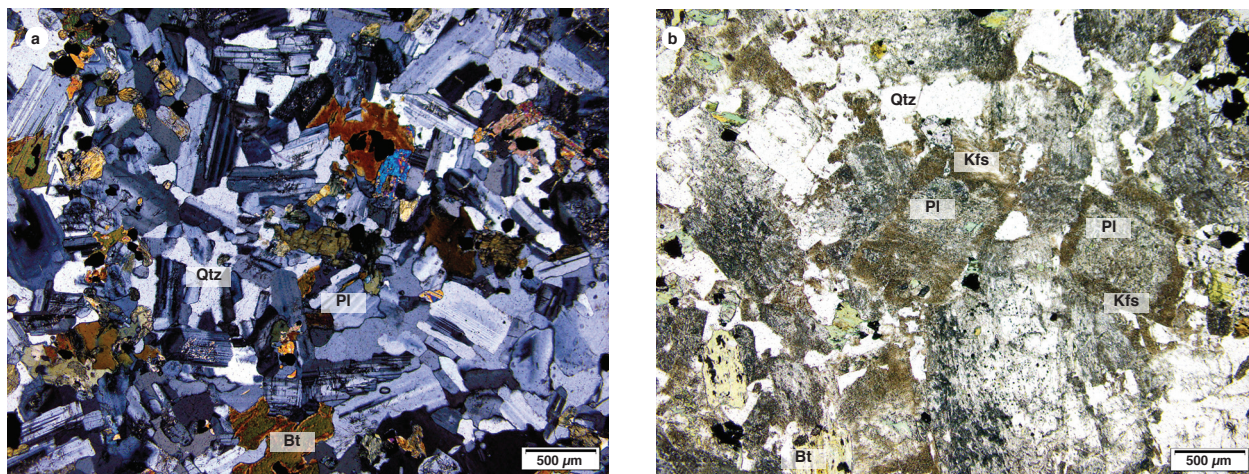


Figura 4. Aspecto microscópico de rocas de la Cuarzomonzodiorita de El Astillero

a) IGM-900719 cuarzomonzodiorita. b) IGM-900720 cuarzomonzodiorita.

a) Nicoles cruzados. Cristales tabulares de plagioclasa (Pl), ortosa (Kfs), cuarzo (Qtz), biotita (Bt) y ortopiroxeno (Opx). b) Nicoles paralelos. Cristales tabulares de plagioclasa (Pl) con corona de feldespato alcalino (Fsp), cuarzo (Qtz), biotita (Bt) y anfíbol (Anf).

localmente es intersticial entre las plagioclasas. Puede tener desmezclas perfiticas irregulares y encontrarse como coronas alrededor de la plagioclasa (figura 4).

La biotita se encuentra en láminas euhedrales a subhedrales de tamaño promedio entre 0,1 mm 0,5 mm, de color marrón con un pleocroísmo X: marrón claro, Y = Z: marrón, con extinción en arce moteado, inclusiones de opacos, apatito, hornblenda y plagioclasa. Puede estar alterada a clorita en los bordes y a lo largo del clivaje, y en algunas rocas solo se conserva el esqueleto del mineral (figura 4).

El anfíbol corresponde a hornblenda y se presenta en cristales anhedrales, con pleocroísmo de verde oliva a verde; su tamaño varía entre 0,2 a 0,5 mm. Algunos cristales aparecen como bordes uralíticos alrededor de clinopiroxeno y ortopiroxeno, con birrefringencia amarilla a naranjada del primer orden, con inclusiones de opacos, apatito, biotita y plagioclasa. Puede encontrarse alterado a anfíbol fibroso, epidota y clorita.

El clinopiroxeno es augita. Se encuentra en la mayoría de las rocas como cristales anhedrales a subhedrales de color verde pálido con pleocroísmo débil, de relieve alto ($n > b$), con parches de anfíbol uralítico (textura ceda) o como núcleos en los anfíboles, con birrefringencia máxima rojo a azul del segundo orden. El ángulo de extinción varía de 46° a 47° , puede tener maclas dobles y polisintéticas, con inclusiones de opacos, cuarzo, hipertena, biotita y plagioclasa, parcialmente uralitizados.

El ortopiroxeno puede o no estar presente en las rocas. Se encuentra en cristales euhedrales a subhedrales de color rosado pálido, con un pleocroísmo X: rosa pálido, Y: verde pálido y Z: amarillo pálido. Extingue paralelo y tiene buen desarrollo de clivaje, con birrefringencia gris a amarilla del primer orden, de tamaños entre 0,1 a 0,4 mm. Su relieve es alto ($n > b$), se altera a esmectita, que le imprime un aspecto fibroso de color pardo verde, y puede estar intercrecido con clinopiroxeno.

Los opacos se encuentran en cristales finos subhedrales a anhedrales, de tamaños menores a 0,2 mm, generalmente incluidos en biotita, anfíbol y piroxenos, frecuentemente con inclusiones de apatito.

El circón se presenta en microcristales euhedrales prismáticos incoloros, de relieve alto y birrefringencia azul del segundo orden, con extinción recta. Muestra inclusiones negras muy finas. Se encuentra entre cristales de plagioclasa y como inclusiones en biotitas formando halos pleocroicos.

El apatito se encuentra en microcristales euhedrales en cortes basales y longitudinales hexagonales, de relieve alto, incoloros, junto a opacos y biotita e incluidos en los minerales principales.

Rocas de dique

Se analizaron tres rocas de diques que se clasificaron como microcuarzodioritas (2) y andesita basáltica (IGM-900757, IGM-900758 y IGM-900759, respectivamente).

Son de color verde oscuro, con tamaño de grano muy fino a afanítico, compuestas por fenocristales de plagioclasa y máficos como hornblenda y piroxenos flotando en matriz afanítica (figura 5).

Microscópicamente, la andesita basáltica tiene matriz microcristalina constituida por cristales de tamaños menores de 0,05 mm y está conformada por un mosaico de cuarzo xenomórfico, plagioclasa con maclas de tipo albita, clinopiroxeno, ortopiroxeno y opacos diseminados (figura 6).

Los fenocristales son de plagioclasa, clinopiroxeno e hipersteno. La plagioclasa es de tipo andesina (An_{46}), se encuentra en fenocristales y glomerocristales subidiomórficos tabulares de tamaños entre 0,3 mm y 0,8 mm, incoloros, de relieve mayor que el del bálamo, con ma-

clas de tipo albita y periclina y zonación normal. Pueden estar corroídos por la matriz.

Los fenocristales de clinopiroxeno son subidiomórficos, incoloros, de 0,5 mm, con colores de interferencia azules, verdes y amarillos fuertes del segundo orden. Presentan maclas dobles e inclusiones de minerales de la matriz (opacos, clinopiroxeno y plagioclasa de tamaños <0,1 mm). Algunos cristales muestran una dirección de clivaje paralela al eje mayor del cristal, ángulo de extinción de 37° y pueden formar agrupaciones glomeroporfídicas. Se alteran a calcita y opacos.

Los fenocristales de hiperstena son subidiomórficos prismáticos, con pleocroísmo rosado a verde pálido, colores de interferencia grises a amarillos del primer orden, con extinción paralela al clivaje, relieve mode-

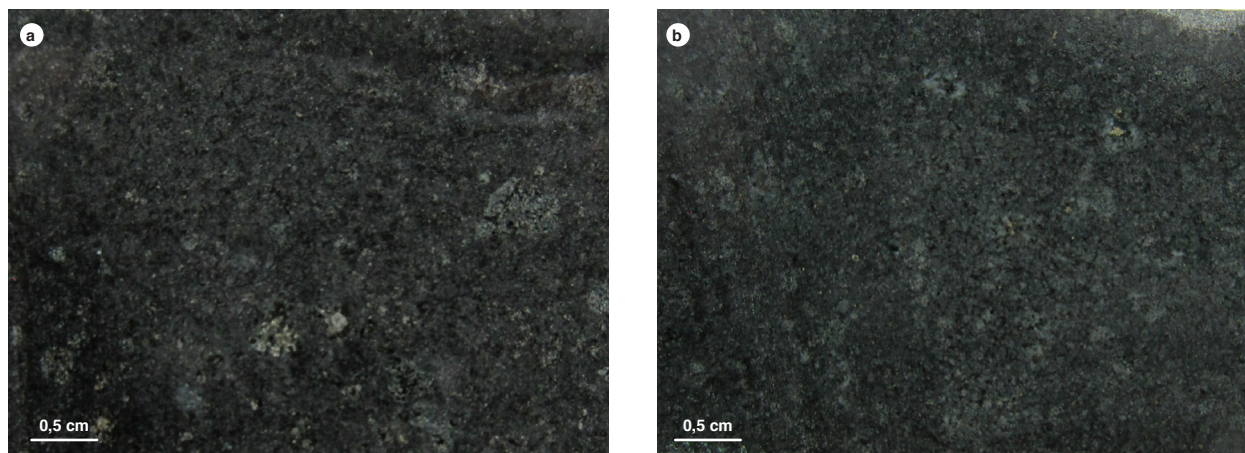


Figura 5. Aspecto macroscópico de diques dentro del cuerpo de Cuarzomonzodiorita de El Astillero, muestras IGM-900759 e IGM-900758

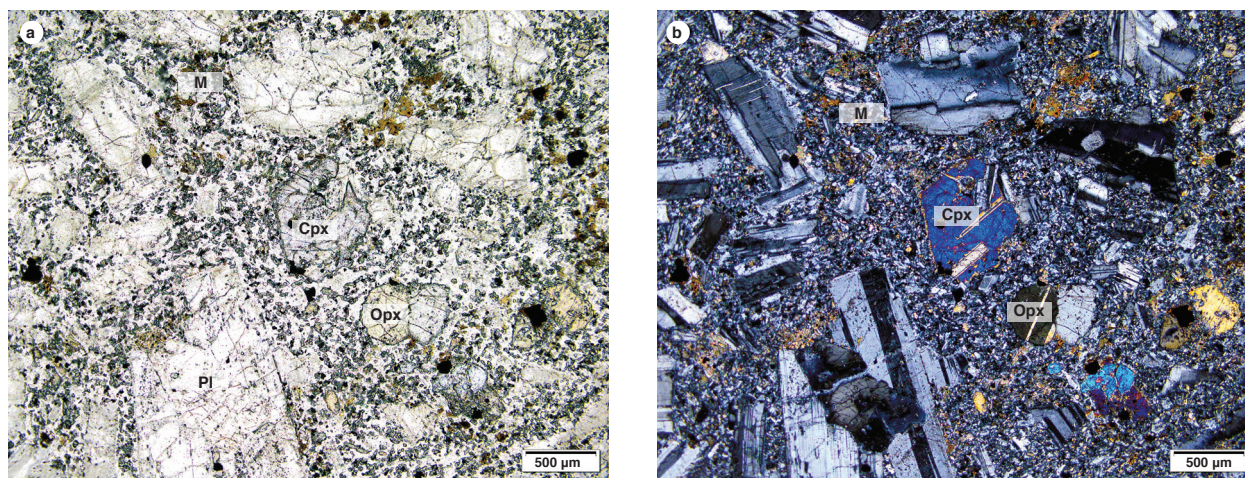


Figura 6. Aspecto microscópico de un dique de andesita basáltica IGM 900759. Escala 10X. Nícoles paralelos y nícoles cruzados, fenocristales de hiperstena (Opx), clinopiroxeno (augita) (Cpx) y plagioclasa (Pl) en una matriz microcristalina (M)

rado a alto, y forman glomero cristales de 0,4 mm con bordes irregulares.

La biotita se encuentra en láminas de tamaños entre 0,05 y 0,2 mm, de color marrón rojizo, pleocroica: X: verde pálido, Y: marrón rojizo, con extinción moteada o de ojo de pájaro, y colores de interferencia azules y amarillos del segundo orden. Las láminas se encuentran dispersas entre fenocristales y matriz. Presenta inclusiones de opacos.

Los opacos se presentan en cristales xenomórficos diseminados en la matriz, de tamaños menores a 0,1 mm y como fenocristales rodeados por óxidos con tamaños de 0,2 mm.

La roca presenta olivino alterado a iddingsita-carbonatos, reemplazado parcial a totalmente, de color café a verde.

Los diques de microcuarzodiorita presentan textura hipidiomórfica inequigranular porfídica y matriz subofítica. Se encuentran constituidos por plagioclasa de tipo andesina (An_{46} a An_{48}), en un 60 a 64%, cuarzo (<4%), y como minerales máficos clinopiroxeno (8 a 15%) hornblenda (<6%), ortopiroxeno (4%) y biotita (10,5 a 7%), junto a minerales accesorios como opacos, circón y apatito (figura 7).

La plagioclasa (An_{46} a An_{48}) se encuentra en cristales subidiomórficos tabulares, de tamaños menores a 0,8 mm, con desarrollo de maclas tipo albita y zonación normal. Está alterada a sericita y saussurita y tiene inclusiones de opacos apatitos, biotita y clinopiroxeno.

El cuarzo es xenomórfico incoloro, con color de interferencia gris de primer orden, de relieve moderado, con tamaños de 0,2 mm, intersticiales entre cristales de plagioclasa y clinopiroxeno. Muestra inclusiones de biotita, opacos y apatitos.

Los cristales de hornblenda se presentan en secciones transversales mostrando dos direcciones de clivaje a 56° ; de color verde con pleocroísmo X: verde oliva, Y: verde pálido, colores de interferencia amarillo pardo de segundo orden, con ángulo de extinción de 12° , y de tamaño promedio 0,7 mm. Muestra inclusiones de opacos y plagioclasa.

Los clinopiroxenos se encuentran en secciones transversales octogonales de tamaño promedio de 0,7 mm, incoloros, con color de interferencia azul-verde del segundo orden, relieve moderado. Son comunes las maclas dobles, el ángulo de extinción de 32° . Muestra texturas poiquilíticas con inclusiones de opacos y plagioclasa.

La hiperstena se presenta en cristales subidiomórficos incoloros con pleocroísmo rosado tenue, extinción paralela, tamaños de 0,6 mm, y muestra maclas simples e inclusiones de plagioclasa.

La biotita se presenta en láminas subidiomórficas tabulares de color rojo, fuertemente pleocróicas X: rojo, Y: verde pálido, con extinción moteada o de ojo de pájaro y color de interferencia verde del segundo orden, en tamaños de 0,2 mm. Muestra texturas poiquilíticas por

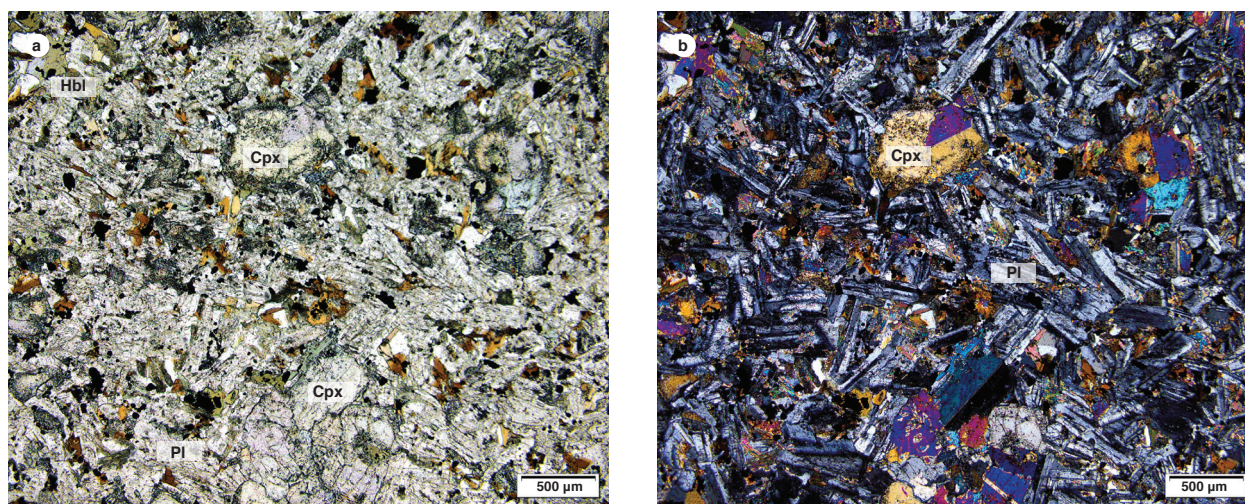


Figura 7. Aspecto microscópico de rocas de dique que atraviesan la Cuarzomonzodiorita de El Astillero IGM 900758. Dique de microcuarzodiorita. Escala 10X. a) Nicoles paralelos. b) Nicoles cruzados. Roca con textura hipidiomórfica inequigranular a porfídica, compuesta por cristales de mayor tamaño de clinopiroxeno y ortopiroxeno con coronas de anfíbol, en matriz subofítica a intergranular.

inclusión de opacos, plagioclasa, clinopiroxeno y circón con halos pleocroicos.

4.1. Litogeoquímica

La caracterización litogeoquímica de la Cuarzomonzodiorita de El Astillero se realizó a partir de seis análisis: tres en rocas del cuerpo intrusivo que se clasificaron petrográficamente como cuarzomonzodioritas, y corresponden a la litología dominante del plutón, y tres diques clasificados como andesita y microcuarzodioritas. Los análisis se hicieron en el laboratorio químico del Servicio Geológico Colombiano, sede Bogotá. Los resultados de óxidos mayores se muestran en la (tabla 2).

Óxidos mayores

Los valores de SiO₂ para las tres muestras del intrusivo (GR-6624, GR-6625, GR-6626) varían entre 59 y 62,7%. Los valores de Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, MnO, P₂O₅ y CaO disminuyen con el aumento de SiO₂; el Na₂O es relativamente constante con el aumento de SiO₂, y el K₂O aumenta con el contenido de SiO₂, variaciones que se consideran normales en la evolución magmática de un plutón.

Los contenidos de Al₂O₃ están entre 15,8 y 16,9%. El MgO varía de 2,1 a 2,8%. Presentan un alto contenido de álcalis (Na₂O+K₂O), entre 5,7 y 6,9%, con razones K₂O/Na₂O entre 0,7 y 0,9, concordante con el mayor contenido de plagioclasa que de ortosa y bajo TiO₂ (<0,85%).

Para las tres muestras de diques (MIA-495, MIA-495A y MIA-495B), el SiO₂ varía entre 52,9 y 55%; Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, MnO, P₂O₅, CaO y K₂O disminuyen con el aumento de SiO₂; el Na₂O y el K₂O aumentan con el contenido de SiO₂. Los contenidos de Al₂O₃ están entre 16,2 y 17,7%; el MgO varía entre 4,6 y 6,4%; el Fe₂O₃, entre 8,2 y 8,7%, siendo notablemente más altos los valores de hierro y magnesio en los diques que las rocas del plutón. El álcalis (Na₂O+K₂O) varía entre 4,7 y 5%, más bajo que las rocas del plutón, y tienen bajo TiO₂ <1 %.

En el diagrama K₂O versus SiO₂ (Peccerillo y Taylor, 1976) correspondiente a rocas granitoides de la Cuarzomonzodiorita de El Astillero, las muestras grafican en las series calcoalcalinas altas en K, con contenidos de K₂O entre 2,3 y 3,3% (figura 8). Presentan tendencia normal de diferenciación a medida que aumenta el contenido de SiO₂ con aumento de K₂O, y los valores están acordes con el contenido de ortosa en las rocas. Las muestras de diques se agrupan en el campo de las rocas calcoalcalinas medias en K, con valores similares de SiO₂. Tienen cambios en el contenido de K₂O.

En el diagrama TAS de Middlemost (1985) (figura 9), las rocas dioritoides se localizan en el campo de las cuarzomonzodioritas, lo que concuerda con la clasificación petrográfica y química. Los tres diques grafican en el campo de las cuarzodioritas o su equivalente volcánico (andesita), lo que coincide con la clasificación petrográfica. Las rocas plutónicas como los diques son subalcalinas.

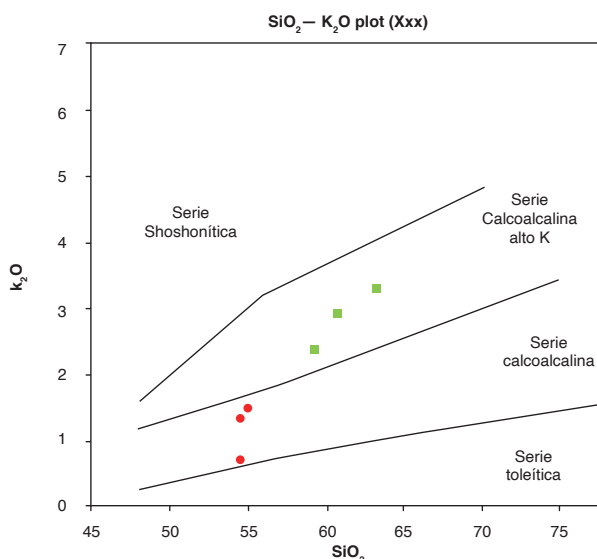


Figura 8. Diagrama K₂O Vs SiO₂ (Peccerillo y Taylor, 1976) en rocas de la Cuarzomonzodiorita de El Astillero y diques. En verde, rocas de la Cuarzomonzodiorita de El Astillero, y en rojo, diques.

Tabla 2. Composición de óxidos mayores en rocas de la Cuarzomonzodiorita de El Astillero

IGM	N CAMPO	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
900719	GR-6624	59,4	0,85	16,92	7,01	2,82	6,05	3,36	2,37	0,283	0,02	3,79	0,71
900720	GR-6625	62,7	0,8	15,78	5,61	2,13	4,28	3,53	3,27	0,195	0,01	2,85	1,4
900721	GR-6626	59,9	0,75	16,35	6,34	2,57	5,11	3,67	2,88	0,248	0,02	3,31	1,89
900757	MIA-495	53,7	0,98	17,63	8,3	5,14	8,04	3,31	1,33	0,299	0,02	4,94	0,96
900758	MIA-495A	52,9	0,98	16,19	8,71	6,36	10,23	2,59	0,72	0,176	0,02	4,73	0,87
900759	MIA-495B	55	0,95	17,69	8,16	4,57	7,89	3,54	1,48	0,295	0,02	5,11	<0,10

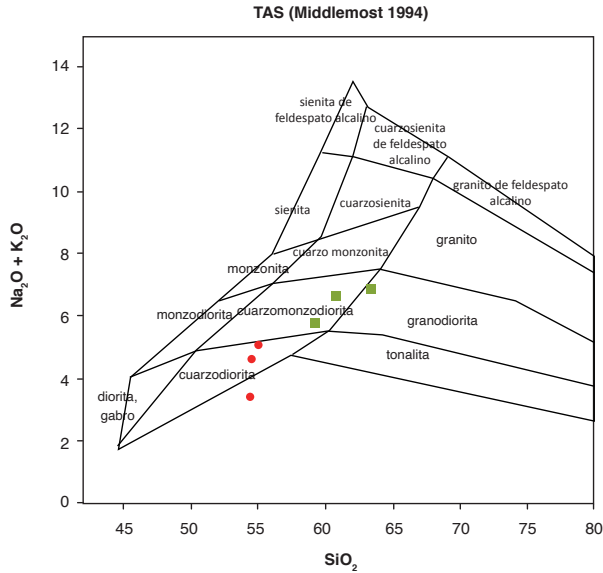


Figura 9. Diagrama de Middlemost (1985) correspondiente a rocas de la Cuarzomonzodiorita de El Astillero y diques del plutón. En verde, rocas de la Cuarzomonzodiorita de El Astillero, y en rojo, diques.

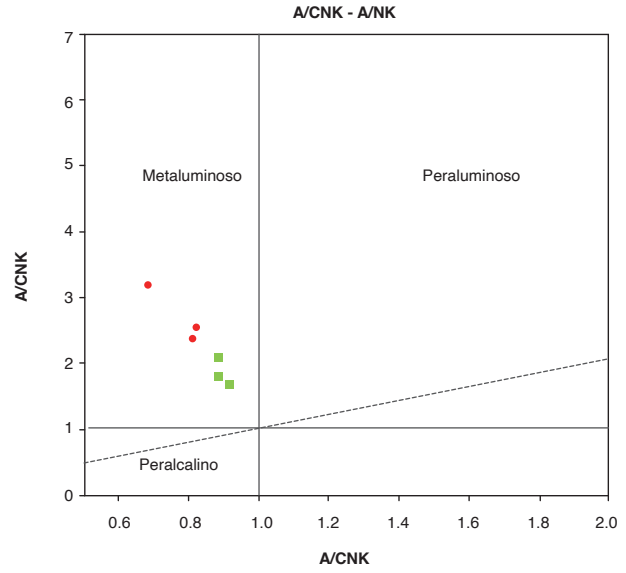


Figura 10. Diagrama de alcalinidad-aluminosidad correspondiente a las rocas de la Cuarzomonzodiorita de El Astillero.

De acuerdo con la clasificación de Shand (1927) (figura 10), el álcalis molar indica una impronta metaluminosa dada por la asociación mineralógica que predomina en estas rocas de feldespato + plagioclasa + hornblenda + biotita + cuarzo, donde $A < CNK$, y $A > NK$, tanto en las rocas del plutón como en los diques.

Elementos trazas y tierras raras

En la tabla 3 se resumen los resultados de los análisis químicos de elementos traza y tierras raras correspondientes a las rocas de la Cuarzomonzodiorita de El Astillero y los diques relacionados.

El diagrama de elementos de las tierras raras (REE) normalizado a condrito según los valores de Nakamura (1974), correspondientes a rocas del intrusivo y diques (figura 11), muestra en las cuarzomonzodioritas y los diques enriquecimiento en tierras raras livianas (LREE) con un patrón homogéneo que se va empobreciendo progresivamente hacia las tierras raras pesadas (HREE), con una menor pendiente entre Dy y Lu. Las rocas de dique muestran un mayor empobrecimiento en las tierras raras pesadas, y la muestra 900758 tiene menores valores en tierras raras livianas, separándose del tren de los otros diques, con mayores valores de tierras raras pesadas. Las rocas del intrusivo tienen comportamiento paralelo, con una débil inflexión positiva en Eu para las muestras 900719 y 900721. Lo mismo se observa en los

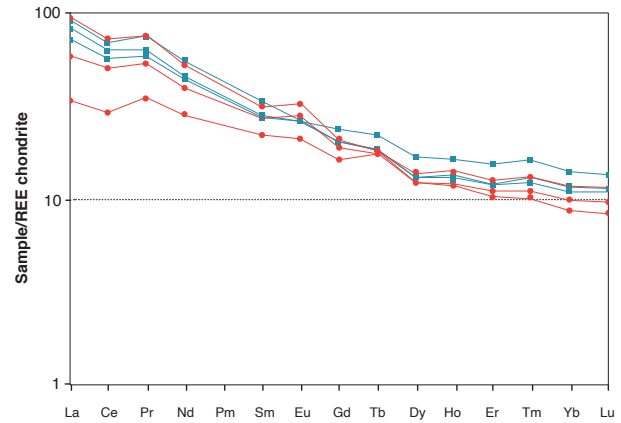


Figura 11. Diagrama de REE normalizado respecto al condrito (Nakamura, 1974) correspondiente a rocas y diques de la Cuarzomonzodiorita de El Astillero. En verde, rocas de la cuarzomonzodiorita de El Astillero, y en rojo, diques.

diques, lo que podría indicar acumulación de plagioclasa en el fundido. El comportamiento en general se ajusta a rocas generadas en arcos con un comportamiento normal en rocas generadas en ambientes de subducción por encima de la placa subducida.

Los diagramas de multielementos normalizados a MORB (Pearce, 1983) y NMORB (Sun y McDonough, 1989) correspondientes a las tres rocas de la Cuarzomonzodiorita de El Astillero y a los tres diques muestran

Tabla 3. Resultados de elementos traza y tierras raras correspondientes a rocas Cuarzomonzodiorita de El Astillero

IGM	N CAMPO	Li	Be	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	Sr	Y	Cd	In	Cs	Ba	La	Ce
900719	GR-6624	16,0	1,1	21,2	156,8	5,8	21,9	12,3	32,9	94,8	19,6	56,7	518,2	25,0	0,2	0,1	0,9	715,5	23,7	49,0
900720	GR-6625	20,6	1,4	16,7	106,4	9,9	19,1	10,1	30,5	80,1	18,3	83,6	417,5	31,0	0,1	0,1	1,0	905,7	30,4	59,6
900721	GR-6626	21,0	1,1	18,1	128,8	6,5	21,0	10,5	32,2	79,6	19,6	69,3	586,9	79,7	0,2	0,1	1,3	873,7	27,3	54,0
900757	MIA-495	14,7	1,0	31,2	168,0	23,0	34,6	36,6	39,4	108,9	21,4	23,7	687,5	20,0	0,2	0,1	0,8	695,4	19,5	43,7
900758	MIA-495A	21,0	0,7	43,2	196,1	76,8	38,1	20,5	15,2	100,7	19,4	12,5	495,7	23,9	0,2	0,1	2,5	234,9	11,4	25,2
900759	MIA-495B	5,7	1,2	31,3	184,9	18,1	33,3	29,1	51,4	109,9	22,2	27,1	782,1	20,9	0,2	0,0	0,5	827,3	30,9	61,4

IGM	N CAMPO	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Tl	Pb	Bi	Th	U	Nb	Zr
900719	GR-6624	6,5	27,6	5,6	2,0	5,7	0,9	4,6	0,9	2,8	0,4	2,5	0,4	0,3	9,6	<0,05	3,8	0,8	4,8	<130
900720	GR-6625	8,3	34,4	6,9	2,0	6,5	1,0	5,7	1,1	3,5	0,5	3,1	0,5	0,4	13,6	<0,05	5,6	1,0	6,4	229,5
900721	GR-6626	7,0	28,7	5,7	2,0	5,6	0,9	4,5	0,9	2,7	0,4	2,4	0,4	0,3	10,2	<0,05	3,9	0,9	4,5	140,7
900757	MIA-495	6,0	25,0	5,5	2,1	5,3	0,8	4,2	0,8	2,3	0,3	1,9	0,3	0,1	7,8	<0,05	1,4	0,3	4,6	133,3
900758	MIA-495A	3,9	18,2	4,5	1,6	4,5	0,8	4,7	1,0	2,8	0,4	2,5	0,4	0,1	3,6	<0,05	1,0	0,2	2,9	133,3
900759	MIA-495B	8,4	33,3	6,4	2,4	5,8	0,9	4,3	0,8	2,5	0,3	2,2	0,3	0,1	6,6	<0,05	3,8	0,9	3,7	140,7

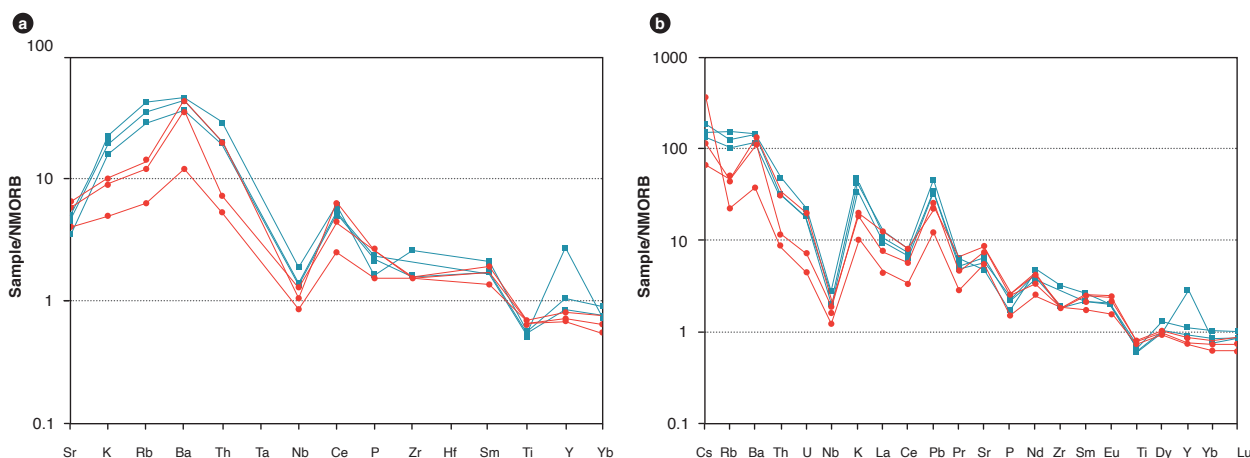


Figura 12. Diagramas multielementales correspondientes a rocas granitoides de la Cuarzomonzodiorita de El Astillero a) Normalizado a MORB (Pearce, 1983). b) Normalizado a NMORB (Sun y McDonough, 1989). En azul, rocas de la Cuarzomonzodiorita de El Astillero, y en rojo, diques.

empobrecimiento de los elementos inmóviles Nb, Ti y P, que pueden corresponder a separación de fases minerales accesorias como titanita, rutilo y apatito, lo que refleja una evolución magmática (Winter, 2001), en la que el Nb se comporta geoquímicamente similar al Ti. Los mayores valores de los elementos litófilos de alto radio iónico (LILE) Cs, Ba y Th indican una afinidad de corteza continental (márgenes convergentes) donde abundan estos elementos altamente incompatibles. Valores mayores en Sr, K, Ba y Rb se deben a su movilización desde fluidos que interactúan en la zona de subducción hacia el magma (figura 12a) y las anomalías negativas de Nb, Ti y P son características de arcos magmáticos relacionados a ambientes de subducción, con empobrecimiento progresivo hacia los elementos pesados (figura 12b).

Las muestras presentan anomalía negativa de Nb con respecto al Th y Ce, una signatura geoquímica típica de magmas originados en ambientes tectónicos relacio-

nados con arcos, con patrón subparalelo, pero agrupados en dos series para las muestras de cuarzomonzodioritas y los tres diques.

En los dos gráficos multielementales, los diques y las rocas dioritoides se agrupan de manera diferente entre ellos y presentan dos disposiciones que son consecuentes con cada grupo de rocas. La tendencia de los diques muestra comportamiento paralelo en las tres muestras de roca, con una marcada anomalía positiva de Ba y valores menores de K, Rb, Th y Y que las rocas del plutón, lo cual sugiere que son de una misma familia o un mismo evento.

Discriminación de ambiente tectónico y tipo de granitoide

Las rocas de la cuarzomonzodiorita de El Astillero y los diques asociados muestran características de magmas tipo I (andino o cordillerano), de series magnesianas (figuras 13 a y b) y grafican en el diagrama de Pearce *et*

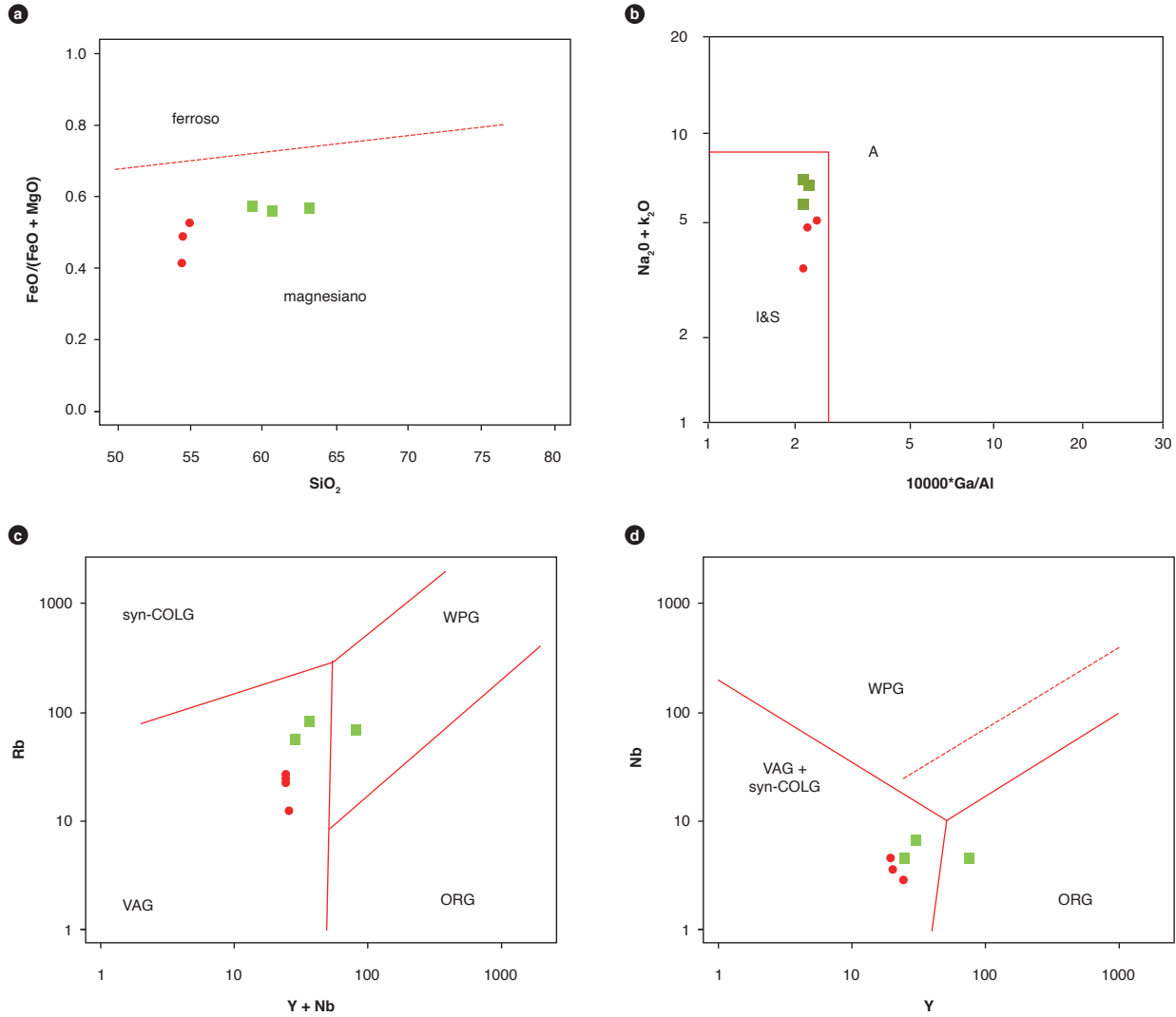


Figura 13. Diagramas de Frost *et al.* (2001), Whalen *et al.* (1987) y Pearce *et al.* (1984) correspondientes a rocas de la Cuarzomonzodiorita de El Astillero
En verde, rocas del plutón, y en rojo, rocas de dique.

al. (1984) en el campo de los granitos de arco volcánico (figura 13) y de series calcoalcalinas, lo que corrobora los resultados de los diagramas multielementales.

4.2. Posición estratigráfica y edad

Velandia *et al.* (2001) describen el contacto de la Cuarzomonzodiorita de El Astillero como intrusivo en rocas vulcano sedimentarias de la Formación Saldaña, las cuales ocasionan efectos de contacto que se manifiestan por el desarrollo de cornubianitas. En el extremo sur, el intrusivo es cortado por una falla de dirección NW y está cubierto por depósitos cuaternarios.

Se realizó la datación de una muestra de la Cuarzomonzodiorita de El Astillero (IGM 900720), previa

descripción petrográfica y análisis litogeoquímico de la muestra. Su localización se presenta en la figura 1.

La muestra datada IGM 900720 (GR-6625) corresponde a una cuarzomonzodiorita de color blanco y rosado moteada de negro, fanerítica de grano fino con textura granular, cuya muestra macroscópica se presenta en la figura 2b. Los circones son de tamaño mediano, de forma redondeada a corto-prismática (figura 14). La imagen de CL revela la presencia de zonamientos oscilatorios, o sectoriales, en algunos casos. Todos los circones analizados grafican, en el diagrama de concordia, en un rango bastante acotado cercano a los 190 Ma. La muestra se localiza en las coordenadas N: 750443 y W: 11 441 44, con origen Bogotá.

Los datos obtenidos de la muestra GR-6625 (n = 35) fueron manipulados en el software de Isoplot/Ex vers, 4,15 (Ludwig, 2008) para su ploteo e interpretación. Inicialmente se realizó un filtro de los datos para descartar los circones que tuvieran valores discordantes (Discor > al 30%), de acuerdo con la relación $[(^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}) - (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) / ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}]$, con el fin de mejorar el rango de confiabilidad de la edad, trabajando en la muestra con 24 circones.

En la figura 14 se muestra la edad de cristalización correspondiente a la Cuarzomonzodiorita de El Astillero. El comportamiento de los circones es concordante con las concentraciones de $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$. En el diagrama del cálculo de la media y la desviación estándar se observa que al reunir la edad de cada circón

se obtienen rangos moderadamente dispersos que se pueden integrar en un valor de edad comprendido entre $187 \pm 3,3$ Ma correspondiente a la muestra GR-6625, con (MSWD = 7,8), que corresponden al Jurásico Inferior, e indica la edad de cristalización de la roca, teniendo en cuenta la peculiaridad que tiene el circón en su temperatura de cierre, cercana a los 900 °C. Estas temperaturas están asociadas con eventos de cristalización magmática.

La relación Th/U varía en la muestra GR-6625 entre 0,56 y 1,3 ppm. La mayoría de valores alrededor de 1 ppm se relacionan con un origen ígneo, concordante con la forma prismática corta de los circones y la zonación oscilatoria concéntrica.

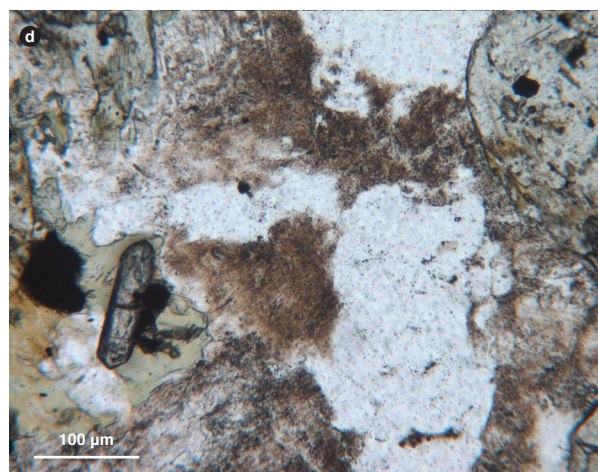
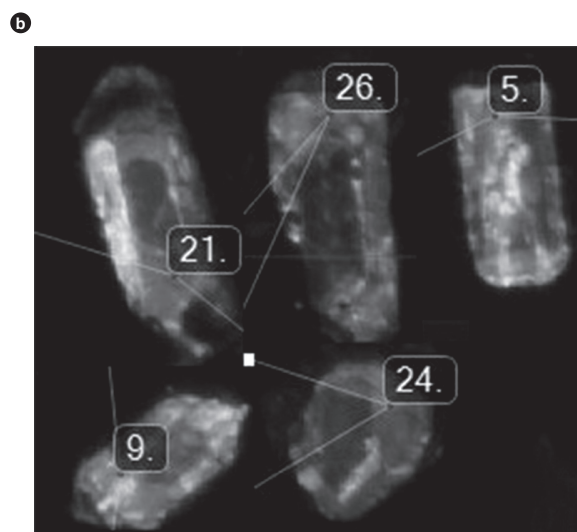
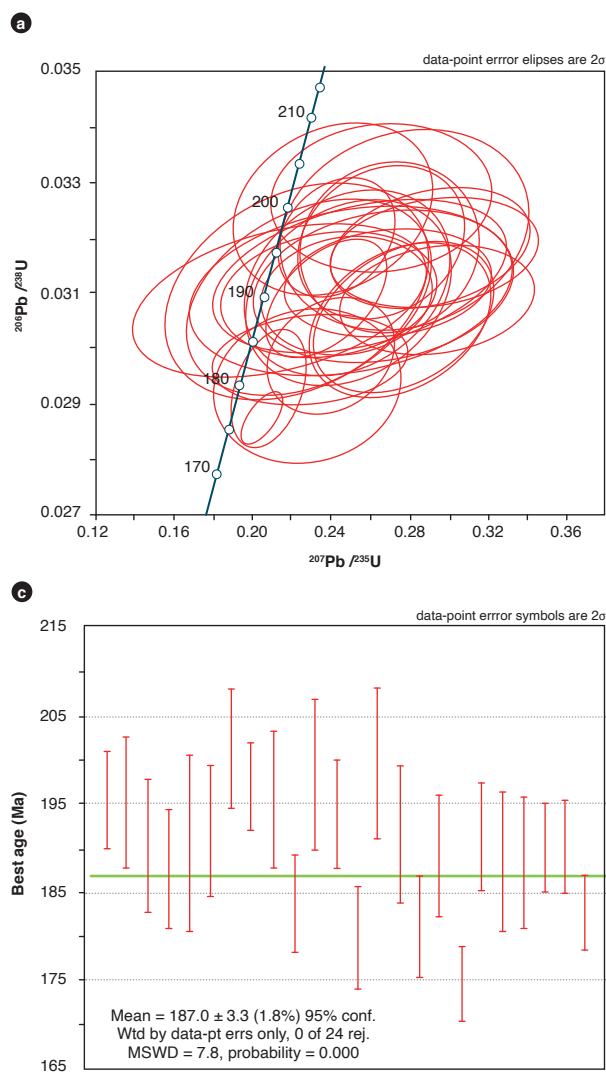


Figura 14. Edad U-Pb en circones de la muestra GR-6625 (IGM-900720) de la Cuarzomonzodiorita de El Astillero a) Diagrama de concordia. b) Imagen de catodoluminiscencia. c) Diagrama del cálculo de la media y la desviación estándar. d) Cristal de circón (Zr), junto a feldespatos (Kfs), cuarzo (Qtz), clinopiroxeno (Cpx) y plagioclasa (Pl).

El análisis de ICP-MS permitió determinar la abundancia de los elementos traza de cada circón en la muestra GR-6625. Los valores de REE se normalizaron a condrito (McDonough y Sun, 1995) y se calcularon las relaciones Pm^* y Tm^* de cada uno de ellos. En la figura 15 se observa un comportamiento paralelo y homogéneo en la mayoría de los circones.

La muestra GR-6625 presenta tres circones enriquecidos con tierras raras livianas (LREE), lo que puede sugerir que los circones cristalizaron junto con otro mineral enriquecido en los elementos de las LREE.

5. Correlaciones

La Cuarzomonzodiorita de El Astillero se correlaciona por edad, composición litológica, química y posición tectónica con una serie de plutones que afloran en el borde occidental del Valle Superior del Magdalena y la serranía de Las Minas, entre los que se encuentran la Cuarzomonzonita de Los Naranjos, con una edad U/Pb de $1\,87,9 \pm 1,3$ Ma; la Cuarzomonzonita de Anchique, con una edad U/Pb de $1\,86,4 \pm 1,4$; la Monzodiorita de Las Minas, con dos edades U/Pb de $1\,81,6 \pm 3,4$ Ma, obtenida en este trabajo, y $1\,87,4 \pm 2,3$ Ma, correspondiente a la roca CB0007A (Bustamante *et al.* 2010); el plutón de Páez, con edades de alrededor de 188 Ma. Además, se correlaciona con el pulso magmático que dio origen a la extrusión de rocas volcánicas de la Formación Saldaña en la serranía de Las Minas y el borde oriental de la cordillera Central, pero no se correlaciona con el evento magmático que generó las rocas plutónicas que afloran en el borde occidental de la cordillera Oriental, que son más jóvenes.

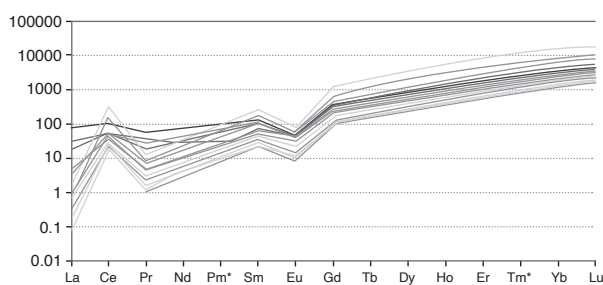


Figura 15. Patrón de tierras raras de circones de la muestra GR-6625 normalizadas al condrito de McDonough y Sun (1995), $Pm^* = (Nd^*/Sm)^{1/2}$ y $Tm^* = (Er^*/Yb)^{1/2}$

6. Localidad tipo

Se propone como localidad tipo la sección que se encuentra al norte del municipio de El Agrado, sobre la carretera que va a la vereda El Astillero, donde el intrusivo está localmente fresco y generalmente desarrolla sectores meteorizados, con suelos areno-arcillosos y presencia de meteorización esferoidal.

7. Génesis

La Cuarzomonzodiorita de El Astillero se emplazó en un nivel epizonal, con texturas inequigranulares en algunos sectores del cuerpo. De acuerdo con los resultados químicos, corresponde a un granito de tipo I (cordillera), formado en un ambiente de arco magmático, afín con la serie calcoalcalina alta en K.

8. Recursos minerales

No se conoce hasta el momento ningún tipo de mineralización asociada a este plutón.

Referencias

- Bustamante, C., Cardona, A., Bayona, G., Mora, A., Valencia, V., Gehrels, G. y Vervoort, J. (2010). U-Pb LA-ICP-MS geochronology and regional correlation of Middle Jurassic intrusive rocks from the Garzon Massif, Upper Magdalena Valley and Central Cordillera, Southern Colombia, *Boletín de Geología*, 32(2), 93-109.
- 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>
- Ludwig, K. (2008). *Isoplot version 4.15: A geochronological toolkit for Microsoft Excel*. Special Publication n.º 4. Berkeley Geochronology Center.
- McDonough, W. y Sun, 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. (1985). *Magma and magmatic rocks: An introduction to igneous petrology*. Longman.
- Nakamura, N. (1974). Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38(5), 757-775. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(74\)90149-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(74)90149-5)
- Paton, C., Woodhead, J., Hellstrom, J., Hergt, J., Greig, A. y Maas, R. (2010). Improved laser ablation U-Pb zircon geochronology through robust downhole fractionation

- tion correction. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 11(3). <https://doi.org/10.1029/2009GC002618>
- Pearce, J. (1983). Role of sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. En C. Hawkesworth, y J. Norry (eds.), *Continental basalts and mantle xenoliths* (pp. 230-249). Shiva.
- 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>
- Petrus, J. y Kamber, B. (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>
- Rodríguez, G., Ferreira, P., Velandia, F. y Núñez, A. (1998). *Geología de la plancha 366 Garzón, escala 1:100.000*. Informe. Ingeominas.
- Shand, S. (1943). *Eruptive rocks: Their genesis, composition, classification, and their relation to ore-deposits with a chapter on meteorite*. John Wiley & Sons.
- 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>
- 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>
- Velandia, F., Ferreira, P., Rodríguez, G. y Núñez, A. (2001). *Levantamiento geológico de la Plancha 366 (Garzón). Escala 1:100.000*. 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.

