

Monzodiorita de Las Minas

» **Cordillera Central**
Departamento del Huila

María Isabel Arango, Gabriel Rodríguez,
José Gilberto Bermúdez y Gilberto Zapata

Catálogo de las unidades litoestratigráficas de Colombia / Jurásico

Citación: Arango, M. I., Rodríguez, G., Bermúdez, J. G. y Zapata, G. (2022). Monzodiorita de Las Minas. *En Catálogos de las unidades litoestratigráficas de Colombia: Valle Superior del Magdalena*. Vol. 2. Servicio Geológico Colombiano. <https://doi.org/10.32685/9789585313194.4>

Este catálogo es resultado del proyecto “Magmatismo Jurásico de Colombia”, que tiene por objeto mejorar la información geológica básica y el conocimiento sobre los eventos magmáticos jurásicos en el territorio nacional. Por tanto, desde 2014, el Servicio Geológico Colombiano (SGC) ha adelantado este proyecto dentro del cual se han desarrollado actividades de compilación, control de campo, muestreo para petrografía, química mineral, geoquímica de roca total y geocronología U-Pb en circón. Para esto, se ha recurrido a la información tanto de las muestras aquí recolectadas como de los estudios anteriores y datos del SGC y de otros investigadores, ya publicados.

La Monzodiorita de Las Minas aflora en el costado oriental de la serranía de Las Minas, en el departamento del Huila. En este catálogo se integra información petrográfica y geocronológica U-Pb de otros trabajos y se presenta nueva información petrográfica, litogeoquímica y geocronológica U-Pb para mejorar el conocimiento de este cuerpo intrusivo y del magmatismo de arco que ocurrió durante el Jurásico inferior y medio.

1. Proponente del nombre

Velandia *et al.* (2001) nombran y describen esta unidad ignea en el borde oriental de la serranía de Las Minas, en

la plancha 366 Garzón a escala 1:100.000, teniendo en cuenta su composición monzodiorítica predominante.

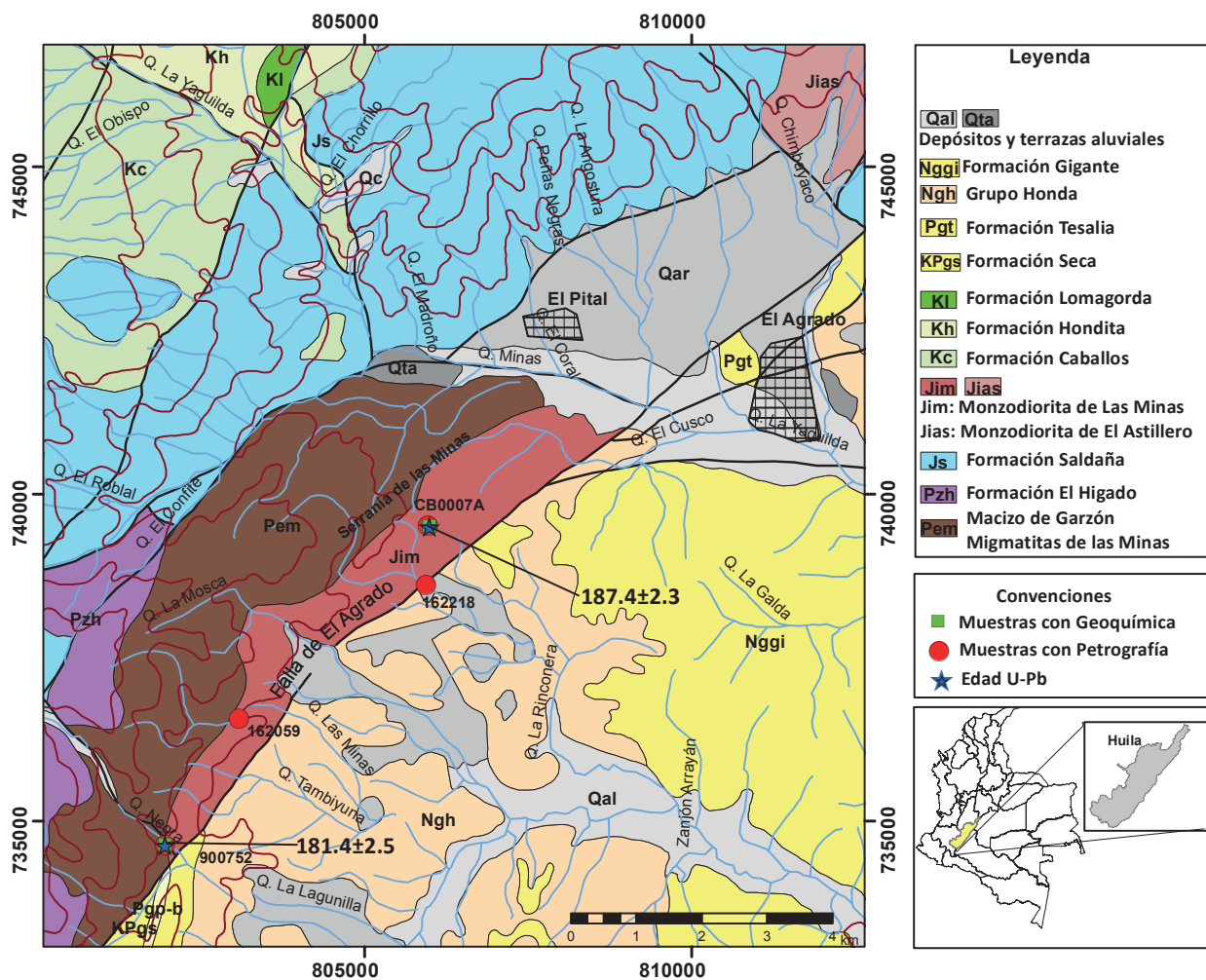


Figura 1. Localización y muestreo de la monzodiorita de Las Minas
Fuente: modificada de Cartografía de la plancha geológica 366, escala 1: 100.000, Rodríguez *et al.* (1998).

2. Proveniencia del nombre y distribución geográfica

La Monzodiorita de Las Minas toma su nombre de la serranía de Las Minas, al sur del municipio de El Pital y al suroeste del municipio del Agrado, en el departamento del Huila.

Este plutón se presenta como un cuerpo alargado con extensión noreste-suroeste, cubriendo un área de 6,75 km², limitado hacia el oriente por la falla de El Agrado (figura 1) y hacia el oeste por la unidad migmatitas de Las Minas, de acuerdo con Rodríguez *et al.* (1998).

Su mejor exposición se encuentra sobre la vía que lleva del municipio El Agrado hacia la vereda Eureka, en la quebrada Las Minas. Además Velandia *et al.* (2001) reportan un cuerpo apófisis en la quebrada El Hígado, que se encuentra intruyendo la formación del mismo nombre.

3. Reseña histórica

Velandia *et al.* (2001) realizaron una descripción petrográfica referente al cuerpo ígneo que aflora en la serranía de Las Minas. Bustamante *et al.* (2010) hicieron una correlación regional de las unidades de rocas ígneas del Jurásico Medio que afloran entre el macizo de Garzón, valle superior del Magdalena, y parte de la cordillera Central, al sur de Colombia, para lo cual utilizaron dataciones U-Pb en circón.

4. Descripción geológica

Los afloramientos de la Monzodiorita de Las Minas se presentan con avanzado grado de meteorización. El saprolito observado en dicha unidad es arenoso de color gris, donde se reconoce aún su textura fanerítica. Bloques de roca fresca, con índice de color entre 25 y 30%,

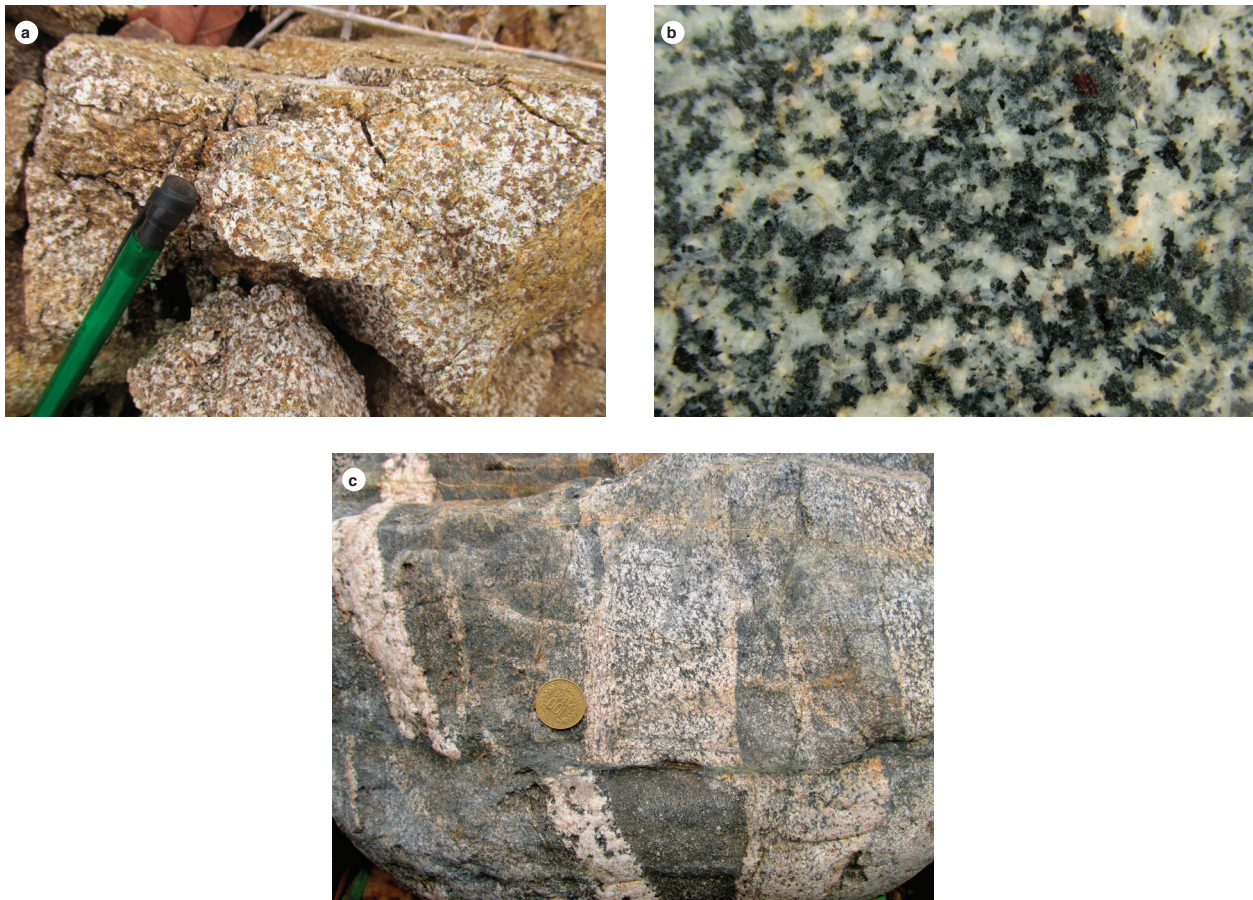


Figura 2. Características macroscópicas de la Monzodiorita de Las Minas
En a) se observa una muestra de roca alterada. En b) el aspecto de la muestra de roca fresca IGM 900752. En c) se observa un bloque rodado que muestra xenolitos máficos simulando una textura brechoide.

leucocrática de color blanco a gris moteado de verde, con tamaño de grano fino a medio. La roca está compuesta por cristales subhedrales de plagioclasa, feldespato de color rosado y, en menor proporción, cuarzo anhedral. Como minerales máficos hay biotita y hornblenda en contenidos variables.

De acuerdo con Velandia *et al.* (2001) y Bustamante *et al.* (2010), la composición y textura de la monzodiorita de las Minas varía entre sus bordes y la parte central del cuerpo. Se presentan facies intermedias a básicas hacia los bordes, constituidas por cuarzodioritas, dioritas y gabros, con texturas porfíricas, ofíticas y subofíticas. La parte central del plutón se caracteriza por una composición intermedia a ácida, dada por dioritas, monzodioritas y monzonitas, con desarrollo de texturas faneríticas equigranulares a localmente inequigranulares.

Son comunes los enclaves compuestos por las facies de borde, lo que indica un emplazamiento inicial del magma básico a intermedio que evolucionó hacia una composición más intermedia.

Debido al estado avanzado de meteorización de la unidad se presentan pocos datos petrográficos. Por consiguiente, se retomaron los análisis petrográficos de las muestras IGM 162059 y 162218 de esta unidad, adquiridas como parte de la cartografía de la plancha 366 Garzón. Además, se incluye la muestra de roca IGM 900752, tomada en este trabajo. En la tabla 1 se muestra la composición modal. La localización se muestra en la figura 1.

Aunque los análisis petrográficos muestran que las rocas tienden hacia el campo de cuarzomonzodioritas (figura 3), debido a los pocos datos que se presentan se re-

Tabla 1. Composición modal de las rocas de la Monzodiorita de Las Minas

IGM	W	N	Qz	Pl	Fsp	Cpx	Opx	Hbl	Bt	Op	Tnt	Ap	Zrn	Ep	All	Chl	Textura general	Clasificación petrográfica
900752	801952	734640	3,5	49	12	3	2	11	16	2		0,5	1				Hipidiomorfica inequigranular	Cuarzomonzodiorita
162218	805939	738606	5	60	12			23		TR	TR				TR		Hipidiomorfica inequigranular	Cuarzomonzodiorita
162059	803084	736562	TR	78	8	8		1	2	2		TR		TR	TR		Ofítica	Diorita piroxénica

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

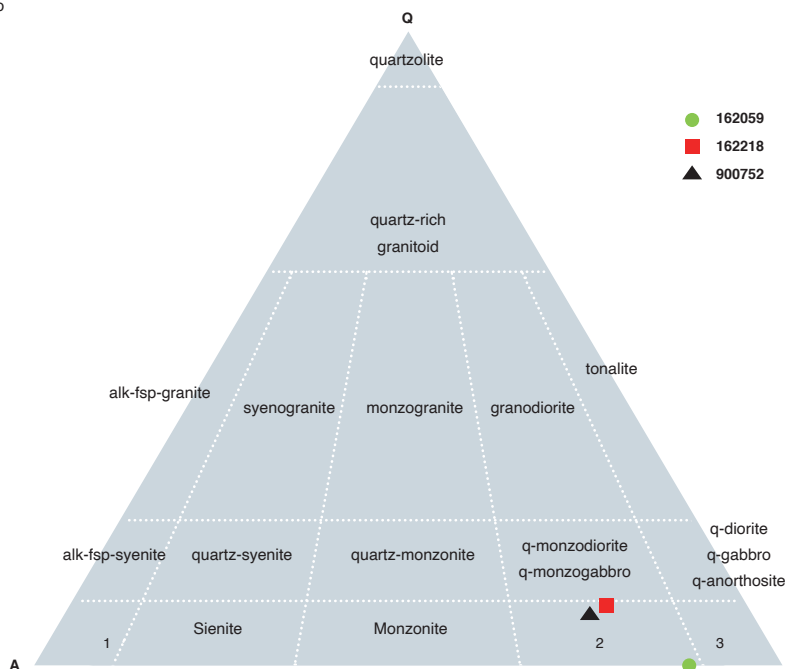


Figura 3. Diagrama de clasificación de rocas ígneas según Streckeisen (1974), correspondiente a rocas de la Monzodiorita de Las Minas

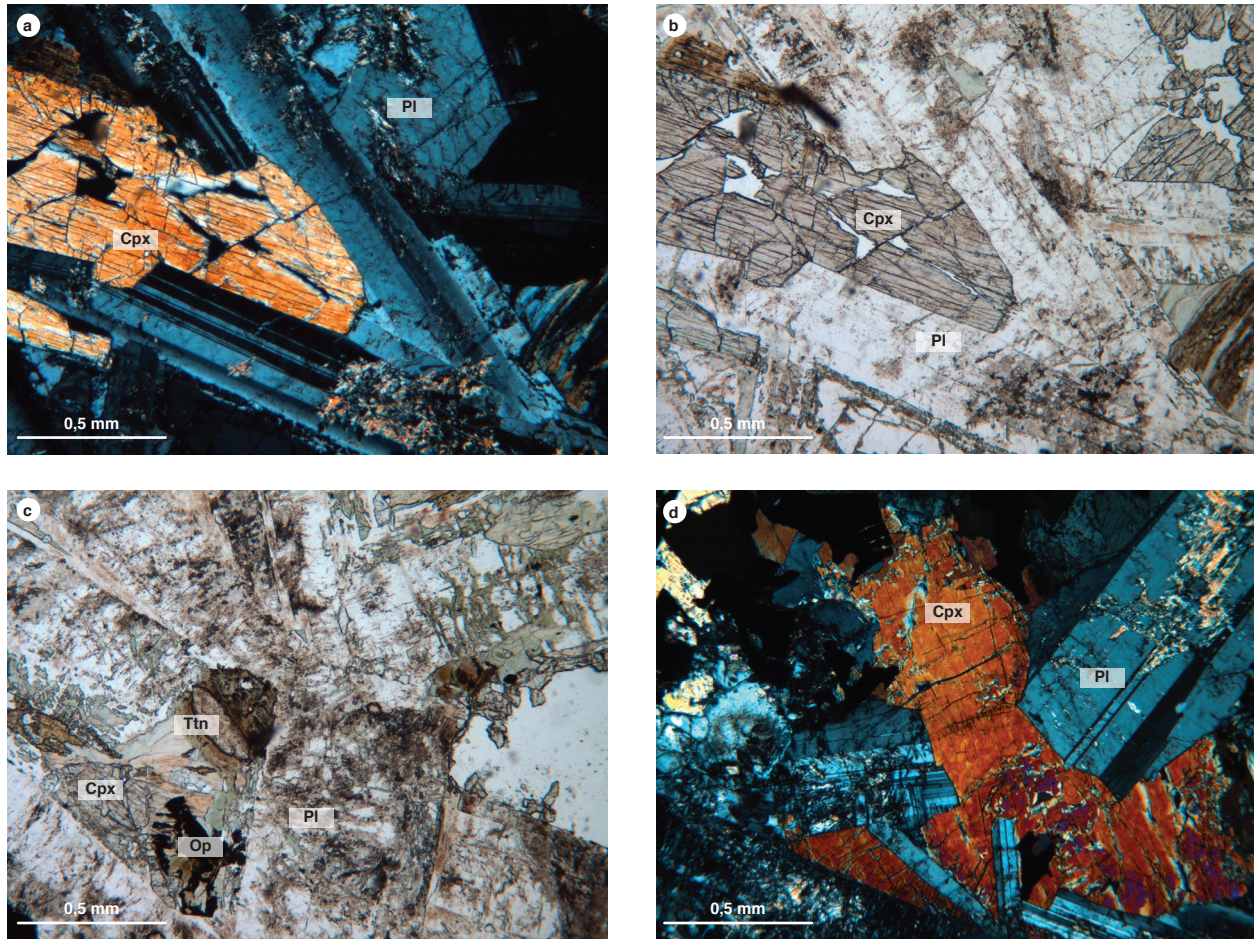


Figura 4. Aspecto microscópico de rocas de la Monzodiorita de Las Minas a) y b) Nicoles cruzados y paralelos. Textura hipidiomórfica subofítica. Cristales de clinopiroxeno (Cpx) rodeados e incluidos en plagioclasa (PI), algunos alterados a uralita y accesorios de titanita (Ttn)

comienda continuar con la nomenclatura propuesta por Velandia *et al.* (2001) como Monzodiorita de Las Minas.

Facies intermedia-básica

Corresponde al análisis de la roca IGM 162059, clasificada como diorita, que presenta una textura hipidiomórfica ofítica (figura 4). Dicha roca está compuesta por plagioclasa en cristales tabulares euhedrales a subhedrales de composición andesina cálcica (An_{45}), con desarrollo de maclas tipo albita y zonaciones de tipo continuo: hacia el borde de los cristales se presentan coronas de ortosa y cristales alterados a saussurita y sericita.

El feldespato potásico es de tipo ortosa, aparece generalmente en coronas rodeando la plagioclasa como texturas de exsolución y alcanza el 1%. Dichos cristales están alterados a caolín, son anhedrales, de relieve bajo, intersticiales entre la plagioclasa y cuarzo.

Como minerales máficos se presenta clinopiroxeno augita-egirina de color rosado pálido, con colores de interferencia azul del segundo orden. Se desarrollan maclas tipo simple, con ángulos de extinción que varían entre 26° y 38° . Los bordes de los cristales están alterados a anfíbol uralítico de color marrón. El contenido de biotita es del 2% en láminas subeuhedrales fuertemente pleocroicas X = amarillo pálido, Z = marrón, alteradas a clorita y epidota.

Como accesorios, el principal mineral es el apatito en cristales tabulares euhedrales incoloros, incluidos en plagioclasa, principalmente.

Facies intermedia

El análisis petrográfico de las rocas IGM 162218 e IGM 900752 muestra una diferenciación en la composición del magma hacia facies más intermedias. Las rocas han sido clasificadas como cuarzomonzodioritas (figura 5),

con una textura general hipidiomórfica equigranular con variaciones locales a texturas porfiríticas. Estas variaciones se presentan a manera de matriz como agregados microcristalinos, felsíticos, subidiomórficos a xenomórficos de tamaños de 0,1 mm, compuestos por plagioclasa con maclas tipo albita, feldespatos alterados a arcillas, cuarzo y opacos diseminados.

El cuarzo se presenta en un porcentaje máximo del 5%, en cristales xenomórficos intersticiales entre cristales de plagioclasa, feldespato, hornblenda y piroxeno. Tienen un relieve bajo, con tamaños en promedio de 0,5 mm, muestra texturas poiquilíticas dadas por inclusiones de apatitos.

La plagioclasa es de composición andesina ($An_{3,4}$), en cristales subidiomórficos tabulares de tamaños que oscilan entre 0,7 y más de 1 mm. Se observan alterados a sericita, calcita y epidota, dando un aspecto sucio de color pardo a los cristales. En los cristales menos alterados se identifican maclas tipo albita, con inclusiones de apatito, hornblenda y circón.

El feldespato es de tipo ortoclasa y se presenta en cristales xenomórficos de color pardo intensamente alterados a caolín, con tamaños de cristal de 0,4 a 1 mm. Muestra inclusiones de plagioclasa, circón, anfíbol, apatito y opacos.

El anfíbol corresponde a hornblenda, se presenta en cristales subidiomórficos tabulares en cortes longitudinales, con color verde oliva, pleocroísmo X: verde oliva Y: verde amarillento y colores de interferencia verde a pardo del segundo orden. Aparecen en tamaños de hasta 1 mm, con una dirección de clivaje paralela al eje mayor del cristal y un ángulo de extinción de 23°. Exhiben texturas poiquilíticas dadas por inclusiones de opacos y circón. Se alteran frecuentemente a clorita y epidota.

El contenido de piroxeno alcanza el 5%, siendo más abundante el clinopiroxeno. Probablemente es augita. Se presenta en cristales prismáticos subidiomórficos incoloros con colores de interferencia morados-verdes fuertes del segundo orden, extinción de 30° y relieve alto, con maclas de tipo simple y bordes rodeados por anfíbol uralita como producto de su alteración.

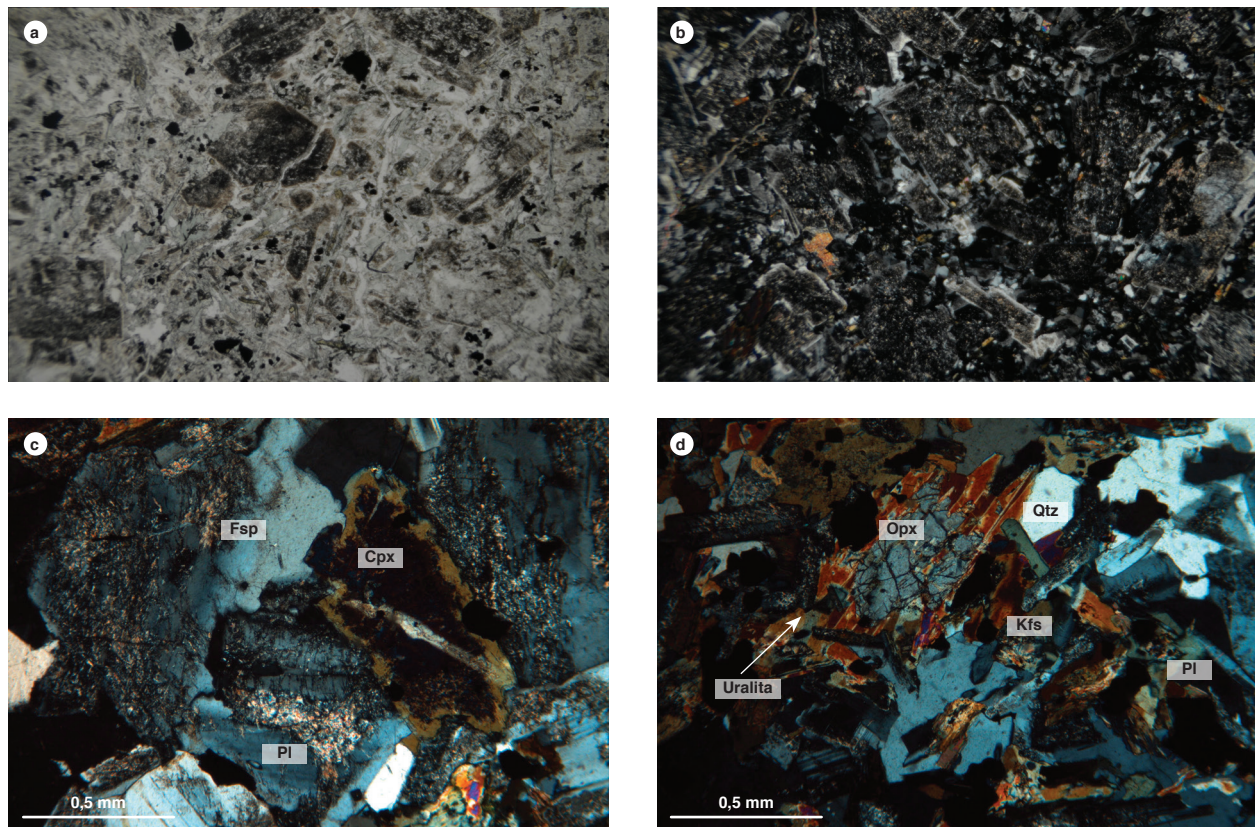


Figura 5. Características microscópicas de la Monzoniorita de Las Minas a y b) corresponden a microcristales de plagioclasa alterados a saussurita rodeando un cristal de mayor tamaño de clinopiroxeno, muestra IGM 162218. c y d) muestran clinopiroxeno y ortopiroxeno con bordes uralitizados y alteración de feldespato en la muestra IGM 900752.

El ortopiroxeno corresponde a hiperstena y ocurre en cristales incoloros xenomórficos esqueléticos con un pleocroísmo X: verde pálido, Y: rosado pálido, extinción paralela y bordes de los cristales alterados a uralita. Muestra inclusiones de opacos.

Se presentan láminas de biotita subidiomórficas de color verde a marrón rojizo, fuertemente pleocroicas, X: marrón rojizo Y:Z: verde amarillento, con relieve moderado y color de interferencia marrón del segundo orden. Tienen extinción moteada y una dirección de clivaje, en tamaños de 0,4 a 0,8 mm. Muestran inclusiones de circón, apatitos y alteraciones a clorita y epidota.

Como minerales accesorios hay circón, en cristales subidiomórficos a idiomórficos incoloros con colores de interferencia azul-fucsia fuerte de tercer orden. El circón tiene relieve muy alto y extinción recta, se presenta como mineral incluido en biotita en tamaños promedio de 0,05 mm, y algunos desarrollan halos metamícticos pleocroicos.

El apatito se presenta en cristales prismáticos, idiomórficos, hexagonales, incoloros, con color de interferencia gris del primer orden. Tienen un tamaño promedio de 0,05 mm y relieve alto, como inclusión en cuarzo, plagioclasa, hornblenda y biotita.

Los minerales opacos se presentan en cristales idiomórficos a subidiomórficos prismáticos, isotrópicos disseminados en la roca y como inclusiones, con tamaños que oscilan entre 0,01 mm y 0,6 mm. Como mineral de

alteración se presenta la uralita (tremolita-actinolita) como finas láminas de anfíbol de color verde fuertemente pleocroico, X: verde, Y: verde pálido, con color de interferencia amarillo de segundo orden, alrededor de núcleos de ortopiroxeno y clinopiroxeno.

4.1. Litogeoquímica

La caracterización geoquímica de la monzodiorita de Las Minas se realizó con la roca IGM 900752, que se tomó como referencia para compararla con la muestra CB 0007A del trabajo de correlación regional de las rocas intrusivas del Jurásico Medio (Bustamante *et al.*, 2010). En la tabla 2 se muestran los valores de óxidos mayores de las muestras referidas.

Tabla 2. Contenidos de óxidos mayores de la monzodiorita de Las Minas

Óxido	Número de muestra	
	CB0007A	IGM 900752
SiO ₂	58,1	55,30
TiO ₂	0,9	1,20
Al ₂ O ₃	17,2	16,57
Fe ₂ O ₃	7,4	7,78
MgO	3	3,43
CaO	6	6,25
Na ₂ O	3,7	3,49
K ₂ O	2,2	2,43
P ₂ O ₅	0,3	0,55
MnO	0,1	15,1
FeO		4,1
LOI	0,8	
TOTAL	99,6	101,1

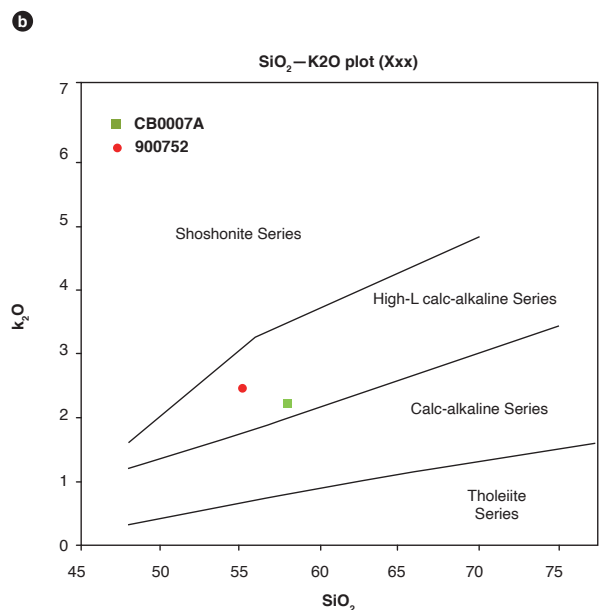
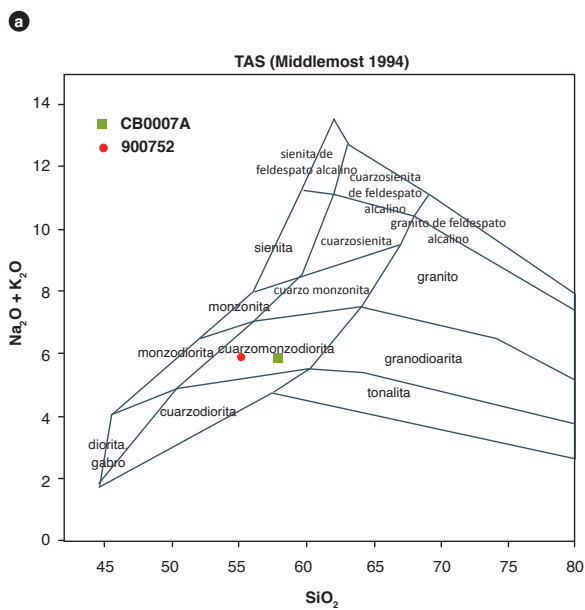


Figura 6. a) Diagrama TAS (Middlemost, 1994). b) Diagrama de Peccerillo y Taylor (1976)

Los contenidos de SiO_2 de las rocas referidas en párrafo anterior, de la unidad monzodiorita de Las Minas, se graficaron en el diagrama *Total alkalis vs. silica* (TAS), que muestra que corresponden a cuarzomonzodioritas y que son rocas de composición intermedia con valores entre 55,30% y 58,1% (figura 6a).

El valor promedio Al_2O_3 obtenido a partir del diagrama de saturación de alúmina de Shand (1943) (figura 8) es de 17%. En la muestra CB 007A el Na_2O es del 3,7%. Entretanto, en la muestra IGM 900752 el valor de Na_2O es de 3,49%. El K_2O muestra concentraciones similares en las dos rocas: de 2,2% y 2,43%, respectivamente.

El contenido de álcalis es de 5,9%, con concentraciones mayores de Na_2O que de K_2O que permiten clasificar las rocas en magmas subalcalinos. Presentan valores de Fe_2O_3 de 7,4% a 7,78%, siendo las relaciones de $\text{MgO}+\text{CaO}$ en promedio de 9,3%, y de TiO_2 entre 0,9% y 1,20% en la muestra IGM 900752.

Las rocas tienen un índice peralcalino de A/CNK de 0,86, tomado del diagrama de discriminación de SiO_2 Vs K_2O , y están localizadas en la serie calcoalcalina alta en potasio, según el diagrama de Peccerillo y Taylor (1976) (figura 6b). Los mayores valores de potasio son mostrados en la muestra IGM 9005732.

Según el diagrama de Debon y Le Fort (1983) (figura 7), las muestras analizadas hacen parte del grupo IV y se caracterizan por una asociación mineral de biotita, hornblenda y piroxeno ($\pm\text{Bt} \pm\text{Hbl} \pm\text{Opx}, \pm\text{Cpx}$).

Las rocas exhiben un número magnesiano ($\#\text{Mg}$) en promedio de 45,57. En la muestra IGM 900752 se presenta un $\#\text{Mg}$ de 46,60, mientras que en la muestra CB 0007A es de 44,54. Dicha diferencia se da por las variabilidades en los contenidos de sílice.

Elementos traza

Los contenidos de tierras raras y elementos traza se presentan en la tabla 3. La roca CB 0007A muestra valores cercanos a 100 veces el valor del condrito, mientras que la roca IGM 900752 tiene valores hasta 170 veces el valor del condrito (figura 9).

Se observa un comportamiento químico paralelo en ambas rocas, con un enriquecimiento general en tierras raras livianas (LREE) y trenes homogéneos hasta el campo de las tierras raras medias, donde se obtienen relaciones Eu/Eu^* de 0,89 y 1,24, siendo mayor en la muestra IGM 900752.

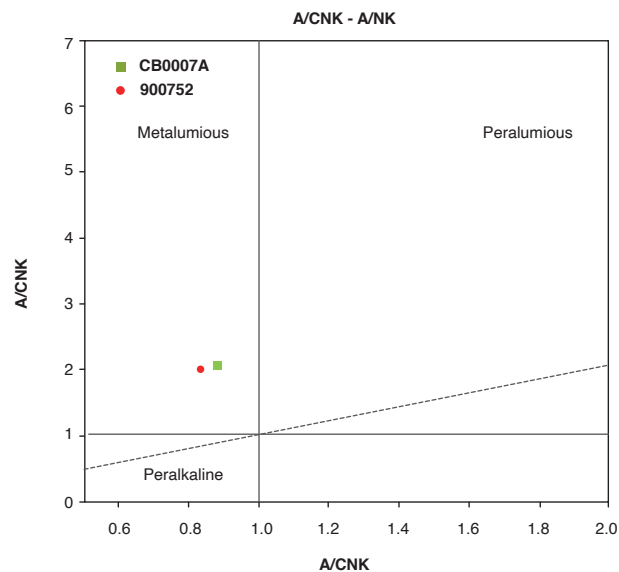


Figura 7. Diagrama de saturación de alúmina, Shand (1943)

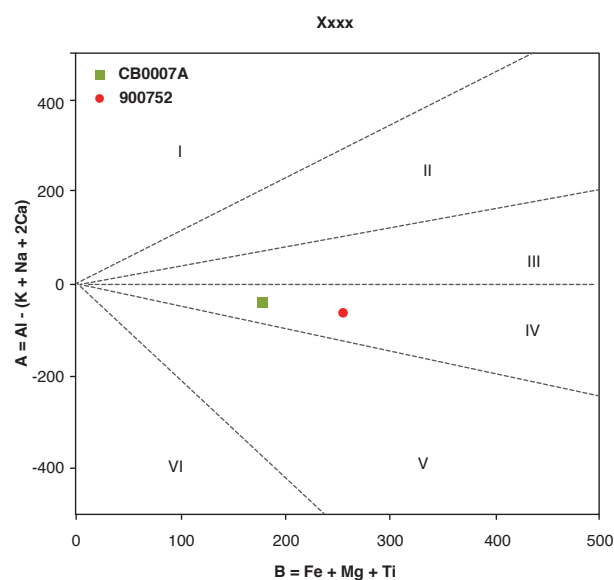


Figura 8. Diagrama de minerales característicos Debon y Le Fort (1983)

Lo expuesto refleja la presencia de plagioclasa en el fundido residual, lo cual es coherente con el predominio modal de este mineral en la roca IGM 900752.

Asimismo, las rocas presentan empobrecimiento progresivo hacia las tierras raras pesadas (HREE) dado por una relación de $(\text{La}/\text{Yb})_N$ de 12,05 en las muestras de roca CB 0007A, y 7,4 en la muestra IGM 900752. Se observa en la figura 9 un patrón horizontal que sugiere baja influencia del granate en el magma o ausencia de esta fase mineral durante la cristalización del plutón.

Tabla 3. Elementos traza y tierras raras de la Monzodiorita de Las Minas

Elemento	Muestra CB0007A	Muestra IGM 900752
Ba	780	1368,3
Be		1,6
Co		25,9
Cs	0,7	0,7
Ga	17,7	20,2
Nb	6	9,7
Rb	48,6	53,9
Sr	609,8	765,2
Hf	3,5	
Th	2,7	4,3
U	0,7	0,9
V	150	162,4
Zr	120,6	192,5
Li		17,2
Sc	17	22,1
Cr		14,5
Ni		27
Cu		48,6
Zn		113,1
Y	21,3	97,3
Cd		0,2
In		0,1

Elemento	Muestra CB0007A	Muestra IGM 900752
La	21,8	40,08
Ce	45,7	85,32
Pr	5,7	11,53
Nd	23,2	48,61
Sm	4,6	8,67
Eu	1,3	3,45
Gd	4,3	8,23
Tb	0,7	1,19
Dy	3,7	5,34
Ho	0,8	1,05
Er	2,1	2,96
Tm	0,3	0,37
Yb	2,1	2,38
Lu	0,3	0,35

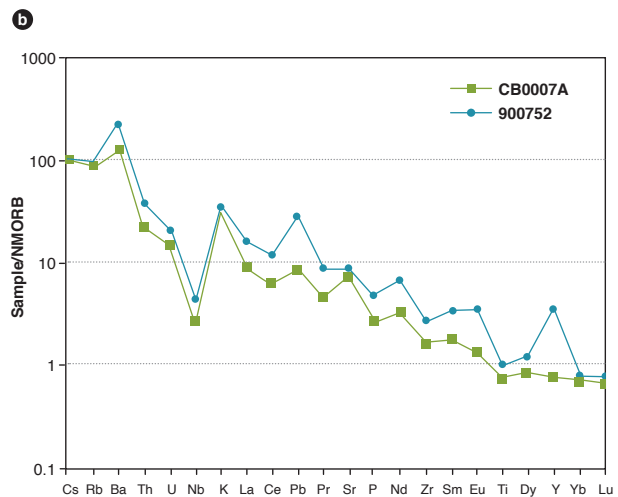
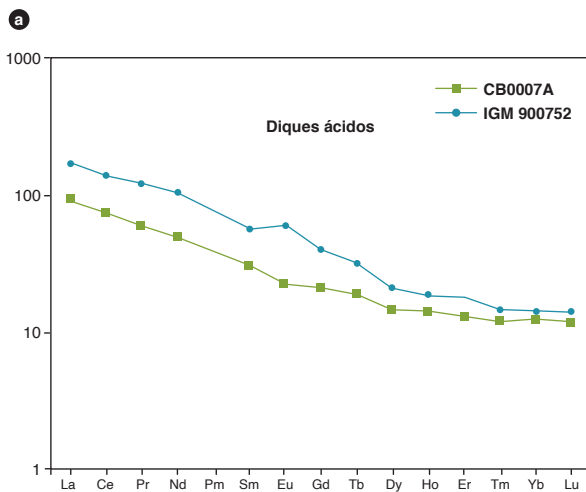


Figura 9. Diagramas multielementales para rocas de la Monzodiorita de Las Minas
 a) Diagrama REE correspondiente a la normalizado a condrito (Sun y McDonough, 1989). b) Diagrama correspondiente a las rocas de la Monzodiorita de Las Minas normalizado a N-Morb, Sun y McDonough (1989).

En general, el comportamiento químico de las rocas de la monzodiorita de Las Minas concuerda con las rocas generadas en ambientes de subducción por encima de la placa subducida, donde son movilizados los elementos K, Rb, Cs, Ba, Pb y Sr en presencia de fases fluidas desde sedimentos o corteza subducida.

En el diagrama normalizado a N-Morb (Sun y McDonough, 1989) (figura 9), ambas rocas muestran enriquecimientos homogéneos de los elementos Ba y K, lo que sugiere aporte de material cortical. Hay una mayor concentración de Pb de 8 ppm en la roca IGM 900752, con un incremento anómalo de Y.

Las rocas muestran empobrecimientos de Nb, P y Ti propios de rocas generadas en márgenes convergentes.

Asimismo, se observa reducción en U y Ce. La muestra CB 0007A tiene un ligero incremento en Zr.

4.2. Discriminación de ambiente tectónico

Las rocas de la Monzodiorita de Las Minas se localizan en ambientes de arco, según el diagrama multicatiónico de Batchelor y Bowden (1985) (figura 10).

Por otra parte, las rocas grafican en los campos de márgenes continentales activas con características de magmas tipo I (andino o cordillerano), con una separación de la muestra IGM 900752, debido a su menor contenido de sílice y mayor contenido de niobio. Igualmente, se evidencia una separación entre las rocas en el diagrama de Whalen *et al.* (1987) entre granitos, así: de

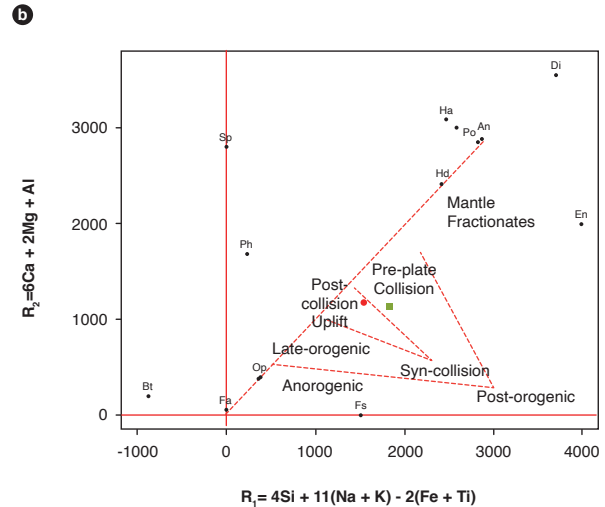
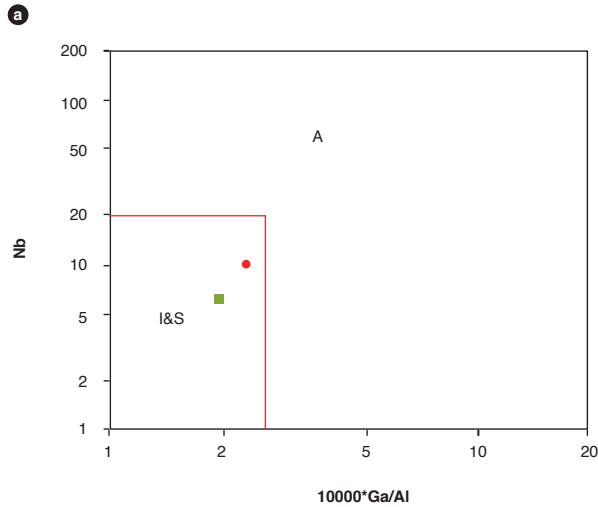


Figura 10. Diagrama de discriminación de ambientes tectónicos Fuente: a) Whalen *et al.* (1987). b) Batchelor y Bowden (1985).

poscolisión y levantamiento (*post collision uplift*) en la roca IGM 900752, y precolisión de placas (*pre-plate collision*) en la roca CB 0007A.

Las figuras 11 y 12 muestran la afinidad geotectónica de los circones separados para la datación de esta unidad ígnea con respecto a su magma generador, utilizando las relaciones de Hf y Y que permiten discriminar el tipo de roca que hospeda a los circones.

La mayoría de los granos se concentran entre los campos II y III, que corresponden a rocas ígneas máficas a intermedias y rocas intermedias con contenidos bajos de cuarzo, respectivamente. En el diagrama de Wang *et al.* (2012) se observa una concentración de circones en el campo de los granitos tipo I, lo cual es coherente con los análisis de petrografía y litogeoquímica.

5. Posición estratigráfica y edad

De acuerdo con la cartografía realizada en la plancha 366 a escala 1:100.000 (Rodríguez *et al.*, 1998 y Velandia *et al.*, 2001), la falla El Agrado pone a cabalgar la Monzodiorita de Las Minas sobre rocas sedimentarias cretáceas y paleógenas de la formación Honda y el grupo Chicoral. Dicha monzodiorita intruye hacia el oeste las migmatitas de Las Minas. Esta observación se hizo en la vía que del municipio del Pital conduce a la vereda Flor Amarilla.

La muestra adquirida, denominada IGM 900752, corresponde a un saprolito. Dicha muestra se localiza sobre la vía Lagunilla-Eureka, bajo las coordenadas este: 734640, norte: 801964, con origen Magna-Bogotá. El afloramiento observado de dicha muestra evidencia una

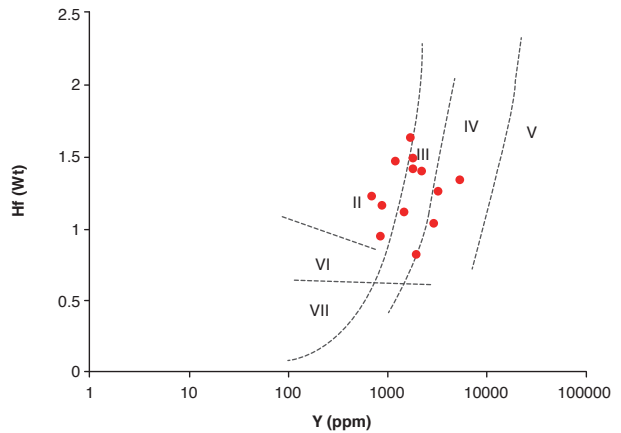


Figura 11. Diagrama de discriminación de ambientes de los circones I: kimberlitas. II: rocas ultramáficas, máficas e intermedias. III: rocas intermedias con cuarzo e intermedias. IV: rocas félsicas con alto contenido de SiO₂. V: greisen. VI: rocas alcalinas. VII: carbonatitas. Fuente: modificado de Shnukov *et al.* (1997) en Belousova *et al.* (2002).

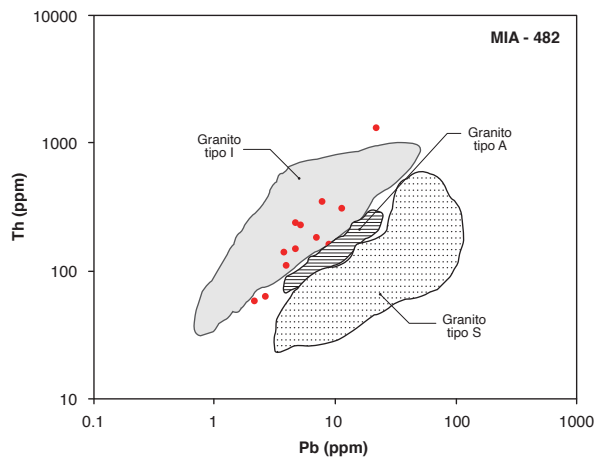


Figura 12. Discriminación de ambientes de circones Fuente: modificado de Wang *et al.* (2012).

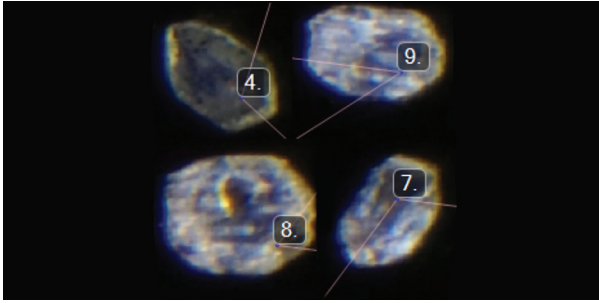


Figura 13. Circones muestra MIA-482

roca meteorizada de color blanco moteada de pardo, con cristales que conservan tamaños gruesos entre 1 y 3 mm, donde se reconoce la textura fanerítica, compuesta por plagioclasas alteradas a minerales arcillosos, biotitas lixiviadas, y en menor proporción, cristales frescos de cuarzo.

Los circones extraídos tienen forma redonda, ovoide y prismática corta. Son escasos los circones de tamaños menores de 100 μm, tienen tonalidad café pálido (figura 13a). Bajo catodoluminiscencia (CL), los circones muestran zonamientos concéntricos, así como dominios sectoriales con distintas luminescencias (figura 13c).

Se obtuvieron 23 datos de circones, de los cuales se descartaron 10 por errores estadísticos de análisis, ya que presentaban una discordancia > al 35%, de acuerdo con la relación $[(^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}) - (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U})] / (^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}) \times 100$, lo que indica una posible afectación alta de plom-

mo común en proporciones isotópicas. Para graficar las curvas de concordia e histogramas se utilizó el software de Isoplot/Ex vers. 4.15 (Ludwig, 2008).

En el diagrama de concordia Tera-Wasserburg mostrado en la figura 14a, los datos se muestran ligeramente dispersos, alrededor de la edad $181,6 \pm 3,4$ Ma, con un MSWD = 2,5. Este último es interpretado como la edad de cristalización del plutón, correspondiente al Jurásico Inferior (Toarciense) (figura 14b).

La discrepancia entre la edad reportada por Bustamante *et al.* (2010) para la roca CB 0007A (edad U/Pb en círculo de $187,4 \pm 2,3$ Ma) y la de este trabajo puede explicarse por el número de circones retirados y descartados debido a la afectación de plomo común. Por lo anterior, el material utilizado en el análisis geocronológico de la muestra IGM-900752 fue escaso, para obtener una edad promedio acorde con las unidades correlacionables y con la edad de Bustamante *et al.* (2010). Otra explicación probable para explicar esa discrepancia es que dicha edad sea el resultado de otro pulso magmático y que el plutón sea compuesto de al menos dos eventos. Cabe resaltar que ambas muestras presentan patrones geoquímicos semejantes y correlacionables entre sí, por lo que se infiere que se trata de un mismo cuerpo. Por otra parte, petrográficamente hay evidencia de la existencia de facies minerales más máficas emplazadas hacia los bordes, lo que podría sugerir, que se trata de un pulso posterior de la muestra IGM 900752 respecto a la roca CB0007A.

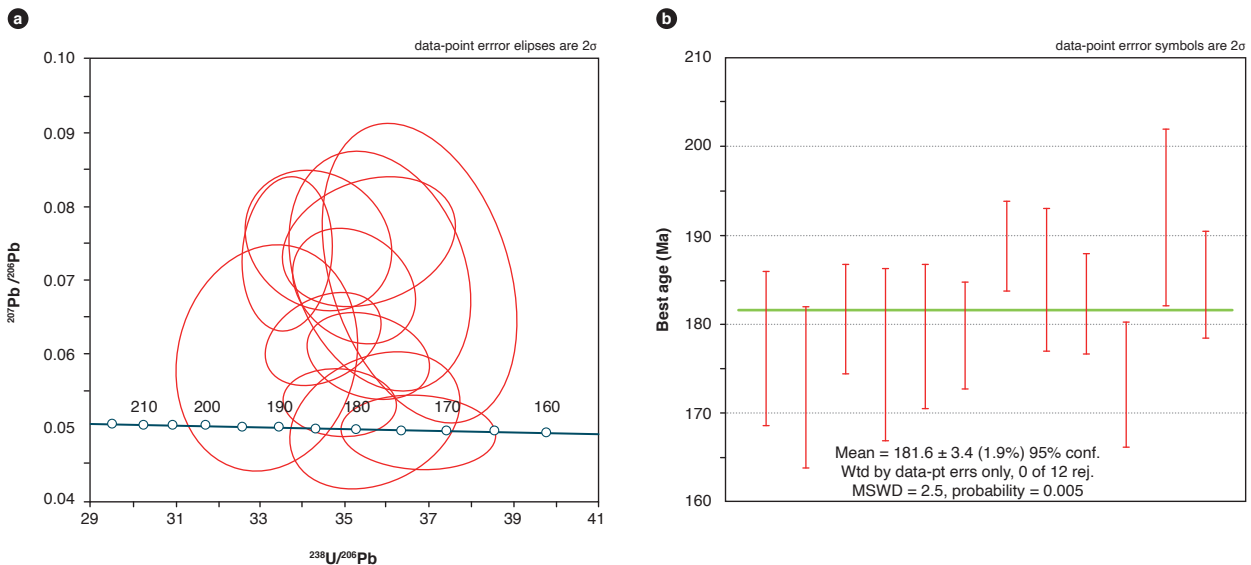


Figura 14. Edad U-Pb en circones de la muestra IGM-900752

a) Diagrama de concordia de Tera- Wasserburg. En b) el diagrama del cálculo de la media y la desviación estándar.

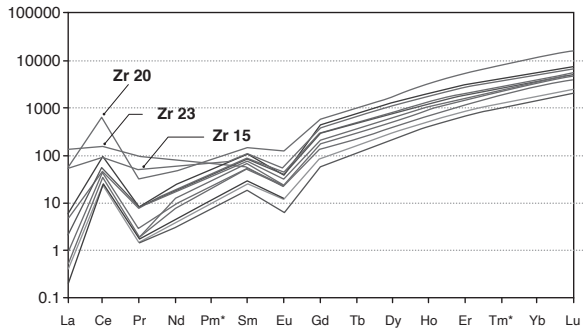


Figura 15. Diagrama REE correspondiente a los circones de la Monzodiorita de Las Minas, normalizado a condrito (McDonough y Sun, 1995)

El análisis químico de los circones (ICP-MS) permitió determinar la abundancia de los elementos traza de cada circón. Los valores de REE se normalizaron a condrito (McDonough y Sun, 1995) y se calcularon las relaciones Pm* y Tm* en cada uno de ellos.

En la figura 15, las curvas muestran la homogeneidad química en el magma de los 13 circones analizados. Se presentan en dicha curva valores anómalos de lantano entre 56,54 y 135 ppm en los circones 15, 20 y 23. Es característica la anomalía positiva de cerio, lo que indica un magma parental bajo condiciones oxidantes (Belousova *et al.*, 2002), siendo el mayor valor de este elemento 650 ppm, correspondiente al circón 20. Asimismo, se muestra un incremento en los valores de las tierras raras medias hacia las pesadas, con anomalía negativa en europio. Dichos comportamientos indican, según Belousova *et al.* (2002), que las rocas han sufrido fraccionamiento magmático con una tendencia hacia las rocas félsicas.

6. Correlaciones

Velandia *et al.* (2001) correlacionan este cuerpo con los plutones de edad jurásica que afloran en la parte oriental de la cordillera Central, como los batolitos de Ibagué y Mocoa.

Este cuerpo, por posición estratigráfica, geotectónica y geocronológica, se correlaciona con los plutones jurásicos que afloran en el borde occidental del valle superior del Magdalena, como lo son la Cuarzomonzonita de Anchique, cuya edad U/Pb es $186,4 \pm 1,4$ Ma, la Cuarzomonzonita de Los Naranjos, cuya edad U/Pb es $187,9 \pm 1,3$ Ma, la Cuarzomonzodiorita El Astillero, con edad U/Pb $187 \pm 3,3$ Ma. Además, con el evento volcánico de la formación Saldaña, en la serranía de Las Minas ($187,1 \pm 2,4$ Ma) (información extraída de este proyecto).

7. Localidad tipo

Su mejor exposición se encuentra sobre la vía que lleva del municipio de El Agrado hacia la vereda Eureka. También hay buenos afloramientos en la quebrada Las Minas. Velandia *et al.* (2001) reportan un cuerpo apófisis en la quebrada El Hígado intruyendo la formación del mismo nombre.

8. Génesis

De acuerdo con los resultados geoquímicos en roca total y en circones de saprolito, la Monzodiorita de Las Minas corresponde a un granito de tipo I (cordillerano), de la serie calcoalcalina alta en K, magnesiano, formado en un ambiente de arco magmático de margen continental, y hace parte de un evento plutónico emplazado en el valle superior del Magdalena ocurrido entre 180 y 188 Ma.

9. Recursos minerales

Ramírez *et al.* (2005) hacen referencia a apariciones de minerales metálicos (oro) y otros yacimientos minerales, como feldespato, agregados pétreos, rocas ornamentales y piedras semipreciosas en diferentes cuerpos que afloran en el valle superior del Magdalena, incluida la Monzodiorita de Las Minas.

10. Marco geológico regional

La serranía de Las Minas se encuentra en el sur del departamento del Huila, cerca de la zona de unión de las cordilleras Central y Oriental, y está conformada geológicamente por neises y migmatitas con texturas “layered” correspondientes a la unidad migmatitas de Las Minas, de edad Neoproterozoica correlacionable con las rocas del macizo de Garzón.

Mojica *et al.* (1988) hacen referencia, respecto al costado occidental de la serranía de Las Minas, a una unidad sedimentaria fosilífera denominada formación El Hígado, de edad Ordovícico Medio (Llanvirniano-Llandeiliano), teniendo en cuenta al registro de fósiles encontrados, principalmente graptolites, braquiópodos y trilobites.

Asimismo, al oeste de dicha serranía afloran rocas volcánicas (tobas) y volcano-sedimentarias de la formación Saldaña, en contacto discordante con la formación El Hígado y contacto fallado con las migmatitas de Las Minas.

La Monzodiorita de Las Minas hace parte del flanco oriental de la serranía de las Minas; se encuentra intruyendo las migmatitas de Las Minas, y en contacto fallado

con rocas sedimentarias del Cenozoico (falla El Agrado); hacia las estribaciones orientales de la serranía cabalga sobre unidades sedimentarias terciarias del grupo Honda y Chicoral (Velandia *et al.*, 2001).

Regionalmente, la Monzodiorita de Las Minas se localiza al oriente de la falla de Chusma, y corresponde, de acuerdo con Restrepo y Toussaint (1988), al terreno Chibcha, que está relacionado a la orogenia nickerriana y conformado por los macizos de rocas metamórficas de edad precámbricas.

Referencias

- Batchelor, R. y Bowden, P. (1985). Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. *Chemical Geology*, 48(1-4), 43-55. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(85\)90034-8](https://doi.org/10.1016/0009-2541(85)90034-8)
- Belousova, E., Griffin, W., O'Reilly, S. y Fisher, N. (2002). Igneous zircon: Trace element composition as an indicator of source rock type. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 143(5), 602-622. <https://doi.org/10.1007/s00410-002-0364-7>
- 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.
- Debon, F. y Le Fort, P. (1983). A chemical mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. *Earth and Environmental Science Transactions of The Royal Society of Edinburgh*, 73(3), 153-149. <https://doi.org/10.1017/S0263593300010117>
- 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. (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., Villarreal, C. y Macía, C. (1988). Nuevos afloramientos fosilíferos del Ordovícico Medio (Fm El Hígado) al oeste de Tarqui, valle superior del Magdalena (Huila, Colombia). *Geología Colombiana*, (16), 95-97.
- 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>
- Ramírez, P., Plazas, H. y Vargas Cuervo, G. (2005). Yacimientos minerales del departamento del Huila. En *La Universidad Surcolombiana piensa la región: perspectiva de la investigación en el primer centenario del Huila*. Editorial Universidad Surcolombiana.
- Restrepo, J. y Toussaint, J. (1988). Terranes and continental accretion in the Colombian Andes. *Episodes*, 11(3), 189-193. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/1988/v11i3/006>
- Rodríguez, G., Ferreira, P., Velandia, F. y Núñez, A. (1998). *Geología de la plancha 366 Garzón*. 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.
- Streckeisen, A. (1974). Classification and nomenclature of plutonic rocks recommendations of the IUGS subcommission on the systematics of Igneous Rocks. *Geologische Rundschau*, 63(2), 773-786. <https://doi.org/10.1007/BF01820841>
- Sun, S. y McDonough, W. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. En A. Sanders y M. Norry (eds.), *Magmatism in oceanic basins*. Special Publications 42. The Geological Society of London. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>
- Velandia, F., Ferreira, P., Rodríguez, G. y Núñez, A. (2001). *Levantamiento geológico de la plancha 366 Garzón: memoria explicativa*. Ingeominas.
- Wang, Q., Zhu, D., Zhao, Z., Guan, Q., Zhang, X., Sui, Q., Hu, Z. y Mo, X. (2012). Magmatic zircons from I-, S- and A-type granitoids in Tibet: Trace element characteristics and their application to detrital zircon provenance study. *Journal of Asian Earth Sciences*, 53, 59-66. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.07.027>
- 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>