

Nombre del semillero de investigación

SEMILLERO DE INVESTIGACION EN MINEROLOGIA Y PETROLOGIA

Nombre del proyecto

EVOLUCION DEL MAGMATISMO DE ARCO JURASICO DE LA CORDILLERA CENTRAL DE COLOMBIA Y SU RELACION CON LA TECTONICA MESOZOICA DE LOS ANDES DEL NORTE (FASE 2)

Año

2019

Marco del Proceso de ASC: Fortalecimiento o solución de asuntos de interés social.

Este semillero de investigación forma parte de la estrategia de Investigación Formativa de la Universidad EAFIT que ratifica su compromiso con el desarrollo de la Ciencia, la Tecnología, la Innovación y la Creación y lo establece como uno de sus ejes misionales. Con el desarrollo de iniciativas como estas, aportamos a los procesos científico-tecnológicos y creativos que se desarrollan en el seno de su comunidad universitaria y cómo estos permean las experiencias de aprendizaje de los estudiantes.

En el propósito de cultivar talentos y vocaciones científicas y creativas el rol del profesor es vital, ya que es quien desde su pasión, experiencia y conocimiento acerca a los estudiantes a las técnicas propias del saber científico y diseña experiencias de aprendizaje que aporten a la construcción de procesos investigativos.

En consonancia con los [Lineamientos de Investigación Formativa de la Universidad](#), se describe a continuación los principios que rigieron la ejecución del componente con sus resultados, en términos del fortalecimiento de asuntos de interés social, del presente proyecto:

Objetivos del semillero en clave de fortalecimiento de la práctica educativa

Determinar las condiciones de metamorfismo de las rocas Triásicas a partir de análisis microtexturales; Comparar el metamorfismo de estas rocas con otras similares que hayan sido identificadas en Colombia, con el fin proponer una posible

MedellínNIT 890901389
Carrera 49 # 7 sur-50
(57) 604 261 95 00**Pereira**Carrera 19 # 12-70
Megacentro Pinares
(57) 606 321 41 15**Bogotá**Carrera 15 # 88-64
oficina 401
(57) 601 611 46 18**Llanogrande**Km 3.5 vía Don Diego –
Rionegro
(57) 322 529 4323

correlación regional; Proponer un modelo tectono-metamórfico enmarcado en la tectónica Triásica de los Andes del Norte.

Metodología

Para alcanzar los objetivos propuestos se utilizarán los siguientes métodos, además de la compilación de datos ya publicados. - Trabajo de campo Las áreas de estudio propuestas se localizan en los departamentos de Antioquia y Tolima. Se tomarán muestras orientadas para obtener secciones delgadas para determinar las características petrográficas y estructurales de los diferentes litotipos. - Petrografía La petrografía será hecha por microscopía de luz transmitida, y de ser necesario, reflejada, donde serán descritas las asociaciones minerales, texturales, estructuras y paragénesis de los litotipos, buscando la identificación de los minerales y clasificación de las muestras. Luego serán seleccionados muestras representativas para análisis microestructural a partir de secciones orientadas.

Descripción del fortalecimiento, la solución o el mejoramiento de la práctica educativa

El enfoque en estos objetivos específicos no solo fortaleció el conocimiento técnico de los semilleristas en geología y petrología metamórfica, sino que también desarrolló una serie de competencias transversales esenciales para su formación académica y profesional. Entre las competencias más destacadas se encuentran: Análisis Crítico y Resolución de Problemas: Los semilleristas aprendieron a abordar problemas complejos mediante la aplicación de métodos científicos y el análisis crítico de datos. Esto les permitió desarrollar una mentalidad analítica y una capacidad para resolver problemas de manera efectiva. Trabajo en Equipo y Colaboración: Las actividades del semillero fomentaron un entorno colaborativo, donde los participantes trabajaron en equipo para alcanzar los objetivos comunes. Esta experiencia mejoró sus habilidades de comunicación y colaboración, fundamentales para el trabajo científico y profesional. Investigación y Comunicación Científica: A lo largo del proceso, los semilleristas tuvieron la oportunidad de involucrarse en todas las etapas de la investigación científica, desde la recopilación de datos hasta la presentación de resultados. Esto fortaleció sus competencias en investigación y en la comunicación efectiva de sus hallazgos a audiencias académicas. Adaptabilidad y Aprendizaje Continuo: El enfoque en problemas geológicos complejos y en la aplicación de técnicas avanzadas motivó a los

semilleristas a adaptarse continuamente y a buscar nuevos conocimientos. Esta actitud de aprendizaje continuo es crucial para su desarrollo profesional en el campo de la geología.

A partir de estas consideraciones, a continuación, se encuentra la sistematización del proceso.

INFORME FINAL:

**CARACTERIZACIÓN DE LAS ROCAS METAMÓRFICAS LOCALIZADAS
ENTRE EL ALTO DE BOQUERÓN Y EL CORREGIMIENTO DE PALMITAS,
ANTIOQUIA**

**VALENTINA ARISTIZABAL ARISTIZABAL
DANIELA LONDOÑO AMAYA
CAMILO BUSTAMANTE LONDOÑO**

**ESCUELA DE CIENCIAS APLICADAS E INGENIERÍA
UNIVERSIDAD EAFIT**

INTRODUCCIÓN

La evolución tectónica de Colombia está marcada por eventos de colisión, subducción y obducción que se desarrollaron entre el Paleozoico y el Cenozoico (Spikings et al., 2021). Estos eventos fueron construyendo la que hoy es la margen oeste de los Andes del Norte (Jaillard et al., 1990, 2000; Toussaint, 1995; Ramos, 2009; Pindell & Keenan, 2009).

La Cordillera Central de los Andes Colombianos tiene un basamento formado por rocas metamórficas de media a alta P/T con edades de metamorfismo que van desde el Proterozoico hasta el límite Cretácico-Terciario (Toussaint, 1993; Ordóñez-Carmona et al., 2006; Vinasco et al., 2006; Bustamante y Juliani, 2011; Villagómez et al., 2011; Blanco-Quintero et al., 2014) y algunas de ellas están intruidas por rocas plutónicas Meso-Cenozoicas (Bustamante et al., 2010; Villagómez et al., 2011; Aspden et al., 1987). Estas rocas metamórficas están en contacto con rocas volcano-sedimentarias Mesozoicas de afinidad oceánica (Maya y González, 1995). Todo este conjunto de rocas son el resultado de la compleja historia tectónica que caracteriza los Andes colombianos (Ramos, 2009).

Para poder entender esta compleja historia tectónica, se hace necesario entender la interacción entre rocas formadas en contextos tectónicos contrastantes, aprovechando los cortes que exponen dichas litologías, para poder estudiar su composición y relaciones tectónicas. Es por esta razón que las rocas metamórficas encontradas en la Cordillera Central de Colombia, más específicamente en el departamento de Antioquia, presentan características geoquímicas, geocronológicas, petrográficas y estructurales de alta complejidad y suma importancia en la construcción del marco geológico regional del país. Dentro de éstas, se encuentran las rocas del denominado Complejo Cajamarca (Maya y González, 1995), que están en contacto con la Ofiolita de Aburrá (Ibáñez et

al., 2020) y con el stock de Altavista (Duque-Trujillo et al., 2019). Dichas rocas, que afloran entre el alto de Boquerón y Palmitas (occidente de Medellín) permiten entender una porción de esta historia geológica, que son el objeto de este estudio.

Mediante las observaciones de campo y petrografía de diferentes tipos de roca que afloran a lo largo de este corte, se pretende proponer una historia de evolución tectónica, apoyada en los modelos tectónicos propuestos para el área, con el fin de que este corte sirva de ejemplo para entender la interacción entre las rocas del basamento Paleozoico del occidente de Gondwana con la generación y posterior obducción de las secuencias oceánicas producidas durante la separación del supercontinente Pangea (Spikings et al., 2015).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Cordillera Central de Colombia se presenta como una zona con un continuo dinamismo y una serie de eventos que dan como resultado una geología compleja de entender. A partir de las rocas tomadas en campo, se busca identificar las características composicionales y definir el grado de metamorfismo y deformación de cada roca, para así poder llegar a una posible correlación con otras rocas que afloran a lo largo de la cordillera y definir su posible implicación tectónica.

Esto con el fin de dar una conclusión sobre si estas rocas sufrieron como primer evento un metamorfismo regional de enterramiento, y como segundo evento una deformación causada por un metamorfismo de contacto. Logrando dar un aporte a la evolución geológica de esta zona, que debido a la gran extensión de eventos tectónicos y metamórficos que ha sufrido, los estudios previos y la cartografía actual no reconocen diferentes litologías encontradas allí.

MARCO GEOLÓGICO

La evolución tectónica Mesozoica de Colombia está marcada por la separación de Pangea durante el Pérmico-Triásico y la subsecuente interacción de las placas Pacífico, Caribe y Nazca, la cual dio origen a la sucesión de procesos de subducción y colisión de terrenos que fueron construyendo la que hoy es la margen oeste de los Andes del Norte (Jaillard *et al.*, 1990, 2000; Toussaint, 1995; Ramos, 2009; Pindell & Keenan, 2010).

La Cordillera Central de los Andes Colombianos tiene un basamento formado por rocas metamórficas de media a alta P/T con edades de metamorfismo que van desde el Proterozoico hasta el límite Cretácico-Terciario (Toussaint, 1993; Ordóñez-Carmona *et al.*, 2006; Vinasco *et al.*, 2006; Bustamante y Juliani, 2011; Villagómez *et al.*, 2011; Blanco-Quintero *et al.*, 2014) y algunas de ellas están intruidas por rocas plutónicas Meso-Cenozoicas (Bustamante *et al.*, 2010; Villagómez *et al.*, 2011; Aspden *et al.*, 1987). Estas rocas metamórficas están en contacto fallado con rocas volcano-sedimentarias Mesozoicas de afinidad oceánica (Maya y González, 1995).

El basamento metamórfico en el flanco occidental de la Cordillera Central está compuesto por rocas con metamorfismo de media a alta presión que incluyen principalmente esquistos anfibólicos, anfibolitas, metagabros y lentes de esquistos azules y eclogitas, agrupadas en el denominado Complejo Arquía (Maya y González, 1995; Bustamante, 2008). Este complejo conforma una franja alargada en sentido norte-sur limitada al este por la falla Cauca-Almaguer y al oeste por la falla Silvia-Pijao (Maya y González, 1995). No existen muchos datos sistemáticos sobre las edades de metamorfismo de los diferentes tipos de rocas que conforman este complejo. Restrepo *et al.* (2008) reportan una edad Ar-Ar en hornblenda de ~107 Ma en anfibolitas, mientras que en las rocas de alta presión las edades Ar-Ar en mica blanca son de

~120 Ma para los esquistos de Barragán y de ~64 Ma para los esquistos de Jambaló (Bustamante, 2008; Bustamante et al., 2011).

El Complejo Quebradagrande se encuentra al este del Complejo Arquía, y ambos son separados por la falla Silvia-Pijao (Maya y González, 1995). Este complejo se compone de basaltos, andesitas, tobas, dioritas y gabros normalmente sin metamorfismo, aunque puede llegar a esquistos verdes en algunas zonas (Maya y González, 1995; Villagómez et al., 2011). Su origen ha sido interpretado como producto de un arco de islas (Toussaint y Restrepo, 1994), de una dorsal meso-oceánica (González, 1980), una cuenca marginal (Nivia et al., 2006), relacionado con una zona de subducción en la que coetáneamente se dio el metamorfismo regional del Complejo Arquía (Villagómez et al., 2011), o como parte de un arco denominado Barroso-Sabanalarga posteriormente segmentado por el sistema de fallas de Romeral (Rodríguez y Zapata, 2013). El Complejo Quebradagrande es considerado de edad Cretácico Inferior según datos paleontológicos (González, 1980). Datos radiométricos obtenidos recientemente sugieren una historia entre 117 y 107 Ma (Villagómez et al., 2011; Cochrane et al., 2014) e incluso Jurásica-Triási (Vinasco et al., 2013).

El Complejo Cajamarca conforma el otro segmento de rocas metamórficas que componen el basamento de la Cordillera Central, el cual se encuentra separado del Complejo Quebradagrande al oeste por la falla San Jerónimo (Maya y González, 1995). Está conformado por esquistos pelíticos, anfibolitas, cuarcitas y mármoles (Maya y González, 1995). La edad de metamorfismo está entre 240 a 230 Ma según datos de Ar-Ar en anfibolitas para la parte más norte de este Complejo (Vinasco et al., 2006; Restrepo et al., 2011; Martens et al., 2014; Cochrane et al., 2014), mientras que la parte sur reporta edades de metamorfismo Jurásicas entre 146 y 158 Ma (Blanco-Quintero et al., 2014). Por otro lado, estas rocas del Complejo

Cajamarca fueron intruidas durante el Meso-Cenozoico por una serie de rocas magmáticas conocidas como el Stock de Altavista, el cual es un cuerpo plutónico con una extensión de 83 kilómetros (Montoya, 1988 citado en Mejía, 1999), aflorando en la margen occidental del Valle de Aburrá, específicamente al occidente del río Medellín y al norte del municipio de Itagüí (Hernández 2012). Este stock se ha definido como un cuerpo plutónico petrográfica, textural y estructuralmente heterogéneo, debido a la presencia de varios episodios magmáticos. Está constituido por facies dioríticas muy variadas hasta llegar a la granodiorita, con facies aplíticas y a veces porfídicas (Pereira et al. 2005). Este cuerpo plutónico ha sido datado con edades de 104 ± 9 Ma. Rb/Sr (Pereira et al., 2005), y 77 - 151 Ma (Mejía et al. 1999) K/Ar y Rb/Sr.

METODOLOGÍA

La metodología utilizada para el desarrollo del presente informe se describe a continuación.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se revisó la bibliografía básica sobre conceptos de metamorfismo, estructuras de las rocas metamórficas en campo y su significado tectónico, teniendo en cuenta los libros de Bucher and Grapes (2011) y Yardley (2020).

Por otro lado, se hizo una revisión sobre la evolución geológica de la Cordillera Central, con énfasis en las rocas metamórficas, su distribución y origen. Fueron revisados los trabajos de Maya y González (1995), Vinasco et al. (2006), Botero (1963), Ibáñez-Mejía (2020), Jaramillo et al. (2017), Montes et al. (2019), Pereira et al. (2005), entre otros.

Se buscó información sobre el Grupo Ayurá-Montebello, ya que allí se encuentran agrupadas las rocas objeto de estudio. El reconocimiento de información existente de la zona, se realiza con el objetivo de identificar las unidades geológicas presentes entre el alto del Boquerón y Palmitas.

TRABAJO DE CAMPO

Se realizó una salida de campo a lo largo de la vía que conduce de el alto de Boquerón hasta el corregimiento de Palmitas (municipio de Medellín). En este recorrido fueron tomadas muestras representativas de cada litología, anotando los cambios composicionales, las estructuras, y en donde fuera posible, la naturaleza de los contactos entre rocas.

Durante la salida de campo se verificó la información previamente recopilada, permitiendo definir e identificar las rocas metamórficas que afloran en el kilómetro 22 y el kilómetro vía San Jerónimo – Medellín, entre las coordenadas 6°19'38.10"N 75°40'19.43"O y 6°20'43.47"N 75°40'54.32"O. Para la etapa de campo, se utilizó la plancha 146 – Medellín Occidental del Servicio Geológico colombiano (escala 1:100.000). Asimismo, se lograron identificar posibles

rasgos estructurales que ayudan en la caracterización de las rocas metamórficas encontradas en el área de estudio. En esta etapa se recolectaron un total de 10 muestras, de las cuales 9 fueron utilizadas para la realización de 9 secciones delgadas.

PETROGRAFÍA

La última etapa corresponde al análisis de la información primaria y a la caracterización petrográfica de nueve (9) secciones delgadas realizada en el laboratorio de la Universidad EAFIT. En este análisis, se realizó la descripción mineralógica, textural y microestructural de las muestras recogidas en campo. Esta etapa involucra la definición del origen de estas rocas, pretendiendo aportar información frente a los procesos que dieron origen a las rocas que afloran entre el alto del Boquerón y Palmitas.

Las rocas metamórficas fueron clasificadas según la subcomisión de la sistemática de las rocas metamórficas de la IUGS, donde primero se clasifica si la roca todavía presenta texturas ígneas o metamórficas, seguido se evalúa si la roca presenta más del 75% de un mineral en específico, y por último, se observa si la roca presenta o no esquistosidad. Para las rocas ígneas se usó el QAPF de Steckeinsen, que, según el conteo previamente realizado, se seleccionan los valores de cuarzo, plagioclasa y feldespato, se ubican en el diagrama según el contenido de cada uno de ellos, y se le asigna un nombre a la roca.

LOCALIZACIÓN

La zona de estudio se encuentra en el flanco occidental de la Cordillera Central, en el departamento de Antioquia entre el Alto de Boquerón y el corregimiento de Palmitas, desde el kilómetro 22 al 27 vía San Jerónimo – Medellín. La Figura 1 muestra la distribución espacial de las muestras tomadas en campo.

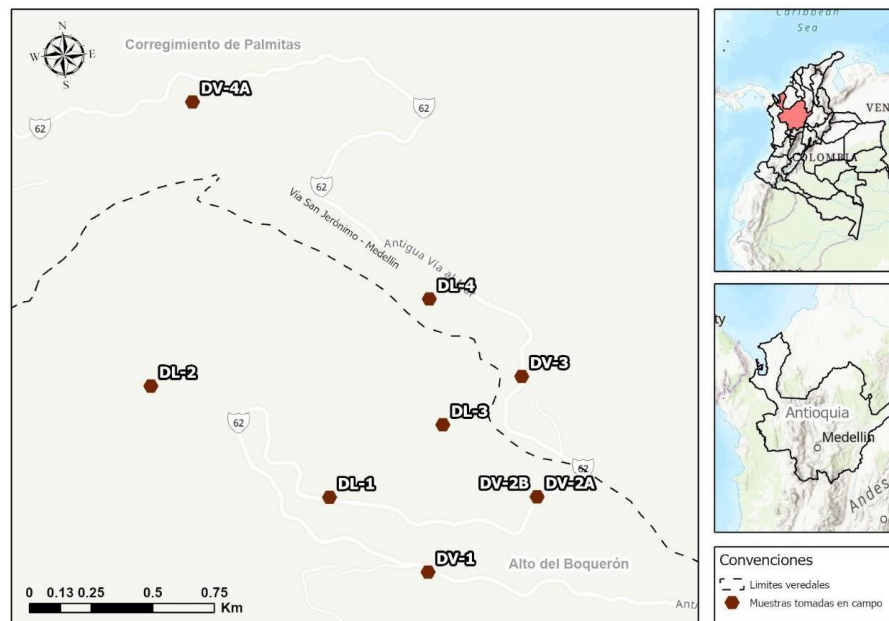


Figura 1. Mapa de localización de la zona de estudio.

RESULTADOS

RELACIONES DE CAMPO

En la zona de estudio afloran rocas metamórficas clasificadas en campo como filitas (Figura 2c, Figura 2d). Éstas están compuestas por mica, posiblemente moscovita debido al brillo que presenta la roca. Adicionalmente, se observan lentes de cuarzo que van de 2 a 7 cm, los cuales son concordantes con a la foliación de las filitas. En algunas muestras se observan minerales con tonalidades verdes que pueden corresponder a clorita.

A medida que se desciende en dirección al sector de Palmitas, las filitas adquieren un aumento en el tamaño de los cristales, lo que coincide con el aumento de la presencia de diques de composición granitoide que intruyen de manera casi vertical (Figura 2d). Los diques están compuestos de roca ígnea plutónica equigranular, con cuarzo, plagioclasa, máficos (posiblemente anfíboles), los cuales miden entre 2 y 4 metros. Además, los contactos con las filitas no siempre son visibles debido al intemperismo de la zona.

En las zonas aún más cercanas al corregimiento de Palmitas, se observan cornubianas asociadas con la aparición de un cuerpo de diorita de 10 metros (Figura 2e). La Tabla 1 resume los tipos de roca, localización y características litológicas.

Tabla 1. Información de las paradas que se realizar en campo.

Estación	Coordenadas geográficas	Tipo de roca	Muestra	Datos estructurales
1	6°19'39" N 75°40'21" W	Filitas	DV-1	- 355/27° NE
				- 50°/41° NW
				- 36/34° NW
				- 190/30° NW
				- 310/85° SW
2	6°19'39" N 75°40'21" W	Filitas		- 210/45° SE
				- 190/40° SE
3	6°19'53" N 75°40'38" W	Filitas en contacto con dique igneo	-	- 5/15° SW
				- 245/70° SE
4	6°19'48" N 75°40'6" W	Contacto entre roca ígnea plutónica equigranular y filitas	DV-2A	- 295/90° SW
			DV-2B	
5	6°19'4" N 75°40'7" W	Granito	DV-3	-
6	6°19'43" N 75°40'48" W	Cornubiana	DV-4	-

A continuación, en la Figura 2 se muestran las fotografías de los afloramientos descritos en campo.





Figura 2. a) Contacto fallado inferido entre la filita y los diques intrusivos, se sugiere que hay un enjambre de diques. b) Clivaje de crenulación en filitas. c) Primera parada: afloramiento con medidas de 10 m de alto y 7 m de ancho; se observan filitas con bajo grado de metamorfismo, de color grisáceo, brillantes por contenido de micas y cuarzo. d) Segunda parada: Afloramiento con medidas de 7 m de alto y 10 m de ancho; se puede observar una continuación de la estación 1 pero con cristales más grandes, puede deberse a una mayor temperatura. e) Sexta parada: el afloramiento mide 4 m de alto y 10 m de ancho; se observa una roca ígnea (tonalita-diorita), perteneciente a la fuente de diques.

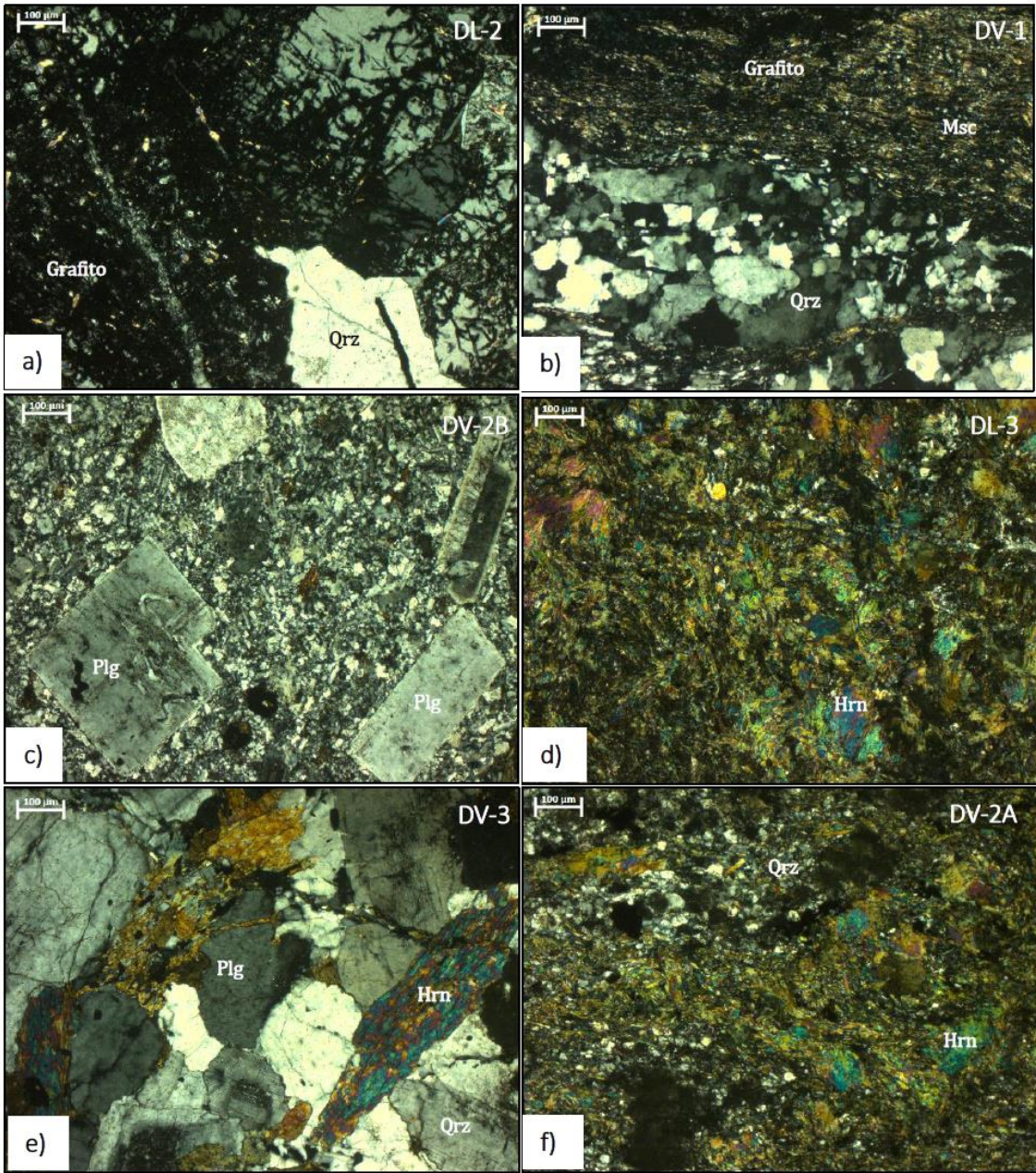
ANÁLISIS DE MUESTRAS

Las muestras DL-1 y DV-1 se clasificaron como filitas, compuestas principalmente por moscovita, plagioclasa y lentes de cuarzo (ver Figura 3b y Figura 3i). Adicional a esto, se observa un clivaje de creanulación relacionado a un evento deformacional, más no, a un evento metamórfico, debido a que en esta segunda foliación no se ve el desarrollo de ningún mineral metamórfico (Figura 3i).

La muestra DL-2 se clasificó como un esquisto compuesto principalmente por cuarzo, grafito y mica (ver Figura 4a). Por su parte, las muestras DV-2B, DV-3 y DL-4 se identificaron como rocas ígneas y se clasificaron como tonalitas-dioritas, se encuentran compuestas principalmente por plagioclasa, cuarzo, anfíboles como hornblenda y tremolita (ver Figura 3c, Figura 3e y Figura 3g). Estas están relacionadas con el Stock de Altavista, el cual posee petrografías muy variadas, entre ellas, las mencionadas anteriormente.

Las muestras DV-2A y DL-3, se clasificaron como anfibolitas, compuestas principalmente por hornblenda, cuarzo y plagioclasa (ver Figura 3d y Figura 3f). Estas rocas hacen parte de la Ofiolita de Aburrá, relacionándolas con el fondo oceánico de la cuenca. La muestra DV-4A se clasificó como cornubiana, compuesta principalmente por silimanita variación fibrolita, plagioclasa, cuarzo y biotita (Figura 3h). Estas rocas son típicas de metamorfismo de contacto de alta temperatura, relacionadas con la intrusión de este cuerpo ígneo en la zona.

A continuación, en la Figura 3 se muestran las fotografías de los afloramientos descritos en campo.



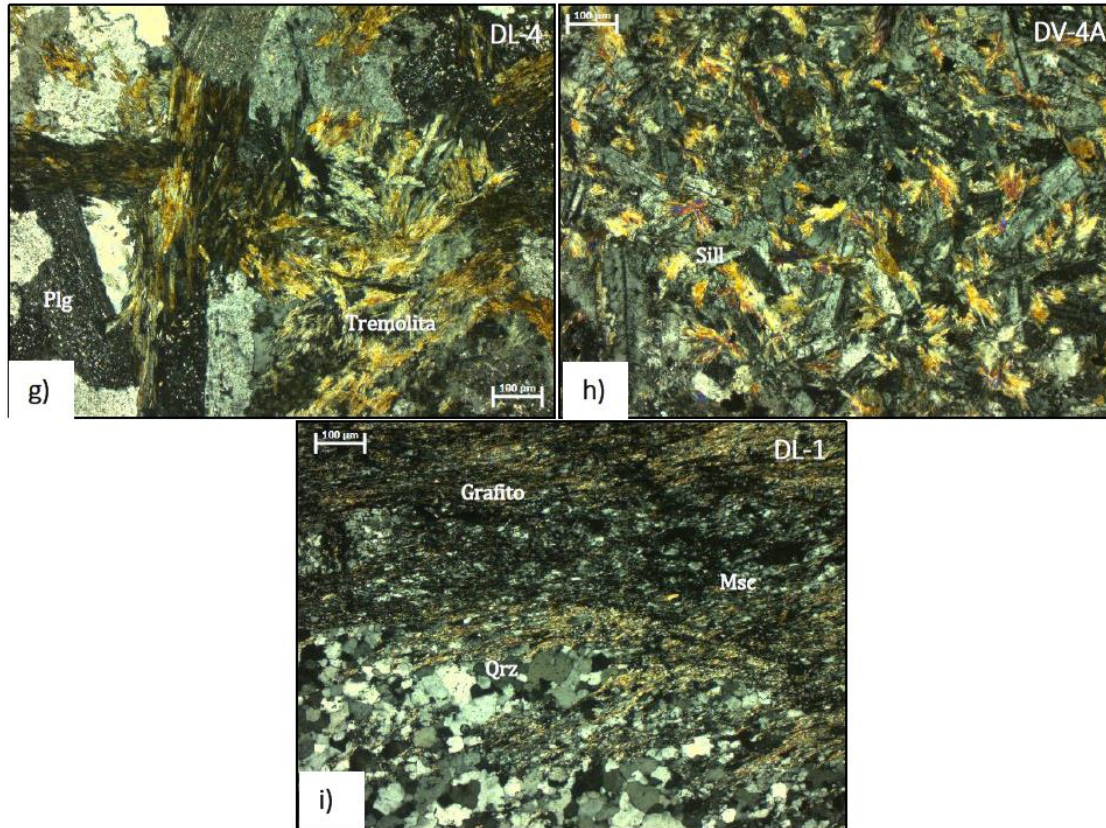


Figura 3. a) Roca metamórfica holocristalina, presenta textura nematoblástica y estructura foliada. Clasificación: Esquisto. b) Roca metamórfica holocristalina, presenta textura granolepidoblástica, clivaje de crenulación y estructura foliada. Clasificación: Filita. c) Roca metamórfica holocristalina, presenta textura porfídica y estructura masiva. Clasificación: Tonalita – diorita. d) Roca metamórfica holocristalina, presenta textura nematoblástica y estructura foliada. Clasificación: Anfibolita. e) Roca metamórfica holocristalina, presenta textura porfídica y estructura masiva. Clasificación: Diorita. f) Roca metamórfica holocristalina, presenta textura granoblástica y no presenta estructura foliada. Clasificación: Anfibolita. g) Roca metamórfica holocristalina, presenta textura porfídica y estructura masiva. Clasificación: Tonalita – diorita. i) Roca metamórfica holocristalina, presenta textura granoblástica y estructura masiva. Clasificación: Cornubiana. h) Roca metamórfica holocristalina, presenta textura granolepidoblástica, clivaje de crenulación y estructura foliada. Clasificación: Filita.

Tabla 2. Composición mineral de las muestras analizadas con conteo de 500 puntos por muestra.

Muestra	Ms	Bt	Zrn	Qz	Grto	Apto	Epta	Pl	Hb	Trm	Sil	Clr	Op	Crb
DL-1	48%	1,3%	-	34%	14%	2,7%	-	-	-	-	-	0,8%	-	-
DV-1	43%	2,6%	-	38%	9%	2,2%	0%	-	-	-	-	5,4%	-	-
DL-2	6,6%	-	-	52%	6,4%	1,6%	1,6%	18%	-	-	-	10%	3,6%	-
DV-2A	-	-	-	16,8%	-	-	-	5%	69%	-	-	0,8%	5,4%	5%
DV-2B	-	-	-	27%	-	1,9%	6%	54,3%	8,9%	-	-	-	1,6%	-
DL-3	-	-	-	12%	-	-	1%	5,9%	76%	-	-	0,5%	0,9%	3%
DV-3	-	4,1%	0,1%	7,5%	-	1,4%	0,6%	63%	19%	-	-	3,2%	0,8%	-
DL-4	-	-	-	14%	-	2,2%	4%	49%	-	26%	-	3,5%	1,1%	-
DV-4A	-	6,2%	-	11%	-	-	4%	20,4%	-	-	54%	-	4%	-

Ms: moscovita, Bt: biotita, Qz: cuarzo, Grto, grafito, Apto: apatito, Epta: epidota, Msc: moscovita, Crta: cordierita, Pl: plagioclasa, Hb: hornblenda, Zrn: zircón, Trm: tremolina, Sil: silimanita, Clr: clorita, Op: Opacos, Crb: carbonatos.

Tabla 3. Clasificación para rocas ígneas según diagrama de Steckeisen (QAPF) y para rocas metamórficas SCMR-IUGS; Schmid et al, 2002.

Muestra	Clasificación	Origen	Facies	Protolito
DL-1	Filita	Metamorfismo regional	Phenita-pumpellita a esquistos verde	Pelítico (lutitas)
DV-1	Filita	Metamorfismo regional	Phenita-pumpellita a esquistos verde	Pelítico (lutitas)
DL-2	Esquistos de cuarzo, grf, mica	Metamorfismo regional	Phenita-pumpellita a esquistos verde	Cuarzoarenita
DV-2A	Anfibolita	Metamorfismo regional	Anfibolita	Rocas máficas
DV-2B	Tonalita	NA	NA	NA
DL-3	Anfibolita	Metamorfismo regional	Anfibolita	Rocas máficas
DV-3	Diorita	NA	NA	NA
DL-4	Tonalita-diorita	NA	NA	NA
DV-4A	Cornubiana	Metamorfismo de contacto	Hornfels Hrn	Filita

DISCUSIÓN

La región occidental de la Cordillera Central se encuentra formada por rocas metamórficas predominantemente Paleozoicas (Botero, 1963.; Hall et al, 1972; Toussaint, et al, 1976; González, 1980). Estas rocas se encuentran descritas como migmatitas, anfibolitas, esquistos cuarzo-sericíticos, esquistos verdes, cuarcitas etc. El metamorfismo tiene una variación entre un grado bajo (facies esquistos verdes), hasta un grado alto (facies de anfibolita alta), estos con características de un metamorfismo tipo Abukuma. Además, existen varios cuerpos de neises graníticos intruyendo las rocas metamórficas más antiguas, lo cual forma cornubianas de andalucita.

La zona de estudio puede dividirse en dos sectores. El primero de ellos es el que se encuentra desde el alto de Boquerón, en el cual afloran rocas con características de muy bajo grado de metamorfismo, como filitas, que tienen desarrollo de clivaje de crenulación (ver Figura 3b). Esto sugiere que las rocas sufrieron un metamorfismo regional de enterramiento, y que habrían alcanzado la anquizona hasta la facies prehnita-pumpellyta. El desarrollo de la crenulación se asocia a un evento tectónico deformacional, pero que no generó un segundo evento de metamorfismo, ya que no se observa el desarrollo de nuevos minerales a lo largo de la segunda esquistosidad.



Figura 4. Distribución espacial de las muestras tomadas en campo.

Por otro lado, a medida que se desciende topográficamente, el tamaño de los cristales de la filita aumenta, manifestado en la presencia de porfiroblastos sintectónicos de cuarzo dentro de la matriz micácea. Es posible que, debido al tipo de metamorfismo, la temperatura de metamorfismo aumente hacia abajo, producto de un aumento en el gradiente geotérmico, o a la presencia de algún cuerpo ígneo que genere calor suficiente para desarrollar nuevos minerales metamórficos. Sin embargo, esta última opción no parece plausible debido a que los porfiroblastos son sintectónicos, es decir, formados simultáneamente con la deformación de las rocas.

A medida que disminuye la altura sobre el nivel del mar, es posible encontrar una serie de diques de composición andesítica, hasta que aflora un cuerpo de diorita, que posiblemente corresponde al cuerpo ígneo principal del área (stock de Altavista). Este cuerpo debió generar la temperatura suficiente para crear una aureola de contacto que promovió el crecimiento de cristales con textura decusada, evidenciado en la aparición de cuerpos de cornubiana. Estas rocas se

caracterizan por la presencia de cristales radiales de aspecto fibroso, que pueden corresponder a fibrolita (Al_2SiO_5) la cual es típica de metamorfismo de contacto de alta temperatura.

El segundo sector incluye rocas metabásicas (anfíbolitas) que presentan características texturales y composicionales distintas a las anteriores. En éstas, la presencia de anfíbol+plagioclasa son indicativas de un protolito máfico, posiblemente formado en un ambiente oceánico. Dicho ambiente es coherente con lo que se ha descrito para la Ofiolita de Aburrá (Ibáñez et al., 2020). Esta Ofiolita se habría formado durante la extensión triásica que caracterizó la margen W de Gondwana (Spikings et al., 2015). Posteriormente habría sufrido metamorfismo regional y obducción en el continente, cuando las condiciones de la convergencia cambiaron. Es en este momento en el que estas rocas de origen oceánico (anfíbolitas) se habrían puesto en contacto las rocas de origen continental descritas anteriormente (Complejo Cajamarca).

Las rocas intrusivas de stock de Altavista están también en contacto con las rocas metabásicas, pero el metamorfismo de contacto no habría ocurrido debido al contraste térmico que hay entre las rocas máficas y la de la intrusión. Este episodio de intrusión habría ocurrido durante la subducción del Cretácico que ocurrió hacia la margen NW de Suramérica (Duque-Trujillo et al., 2019).

A continuación, la Figura 6 describe la historia de formación de las rocas presentes entre el Alto de Boquerón y el corregimiento de Palmitas.

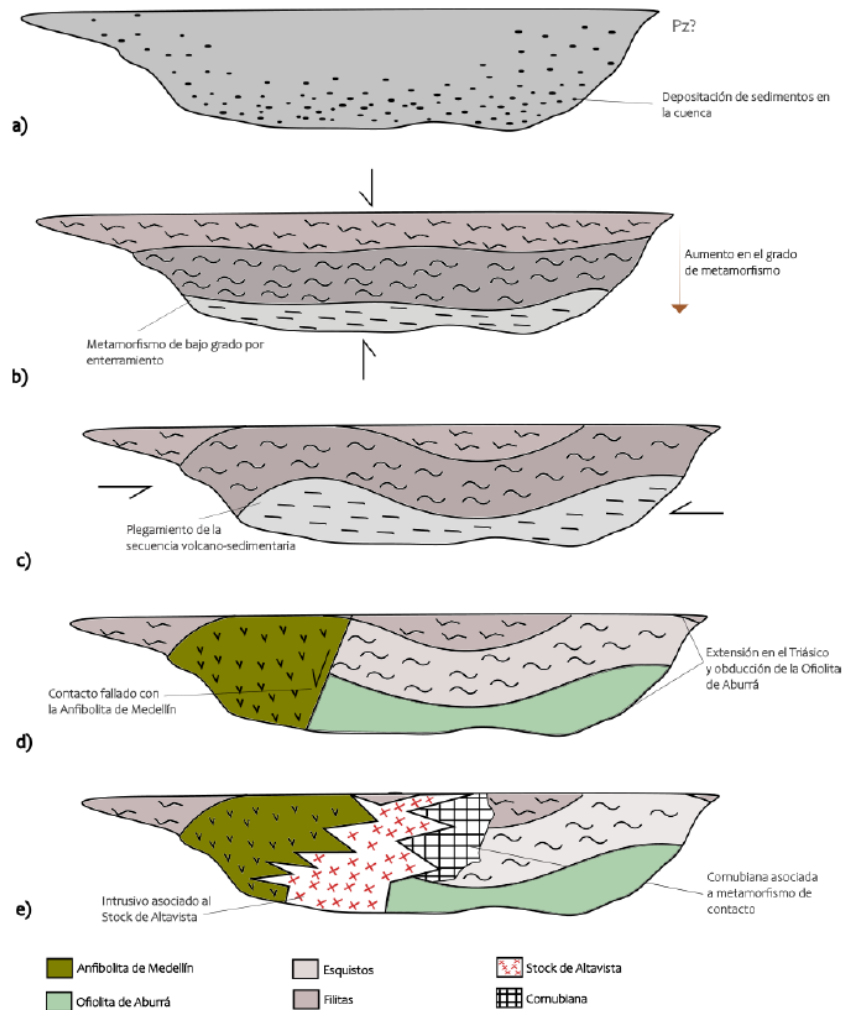


Figura 6. Evolución de las rocas presentes entre el Alto de Boquerón y el corregimiento de Palmitas. a) Deposición de sedimentos en la cuenca. b) Se da un metamorfismo de enterramiento regional de bajo grado y de baja temperatura (formando filitas). c) Se dan varios eventos de deformación, todos sobre la misma secuencia volcánico-sedimentaria, lo cual genera diferentes tipos de metamorfismo y tipos de roca afectada. d) Durante el Triásico se da la obducción de la Ofiolita de Aburrá con este bloque de roca descrito como el Complejo Cajamarca. e) La roca deformada es intruida por un cuerpo ígneo (cuarzodiorita – granito con facies de pórfidos dacíticos y andesíticos), lo cual genera un metamorfismo de contacto, registrado por la presencia de Sil + Plg (aureola de contacto). Por último, se encuentra el contacto fallado inferido entre las anfibolitas (triásico), las rocas máficas formadas en ambientes tectónicos distintos (dorsal o subducción), y las rocas metamórficas descritas anteriormente (filitas), que sufrieron un metamorfismo regional de medio grado en facies anfibolita.

CONCLUSIONES

Las rocas encontradas en la zona de estudio se correlacionan con el cinturón metamórfico de bajo grado que caracteriza la margen occidental de la Cordillera Central. Además, en las muestras analizadas microscópicamente, se encontraron minerales de alta temperatura como la Silimanita que indican un metamorfismo de contacto. Adicional, los porfiroblastos encontrados en la tonalita-diorita son sintectónicos, es decir, formados simultáneamente con la deformación de las rocas.

Como parte de la Cordillera Central se encuentran las rocas del Complejo Cajamarca, las cuales parecen estar en un contacto fallado con la Ofiolita de Aburrá y con el stock de Altavista. Por su parte, en la zona de estudio se encontró que la temperatura de metamorfismo aumenta topográficamente hacia abajo, posiblemente como producto de un incremento en el gradiente geotérmico. Es importante mencionar que la temperatura de fusión de las anfibolitas es tan alta (550°C-700°C), que la intrusión de este cuerpo ígneo no genera el crecimiento de los cristales en estas.

REFERENCIAS

- Álvarez, A. J. (1983). Geología de la Cordillera Central y el occidente colombiano y petroquímica de los intrusivos granitoides Mesocenoicos. *Boletín Geológico*, 26(2), 1-175.
<https://doi.org/10.32685/0120-1425/bolgeol26.2.1983.53>
- Aspden, J. A., McCourt, W. J., & Brook, M. (1987). Geometrical control of subduction-related magmatism: the Mesozoic and Cenozoic plutonic history of Western Colombia. *Journal of the Geological Society*, 144(6), 893-905.
- Blanco-Quintero, I.F., García-Casco, A., Toro, L.M., Moreno, M., Ruiz, E.C., Vinasco, C.J., Cardona, A., Lázaro, C., and Morata, D., 2014, Late Jurassic terrane collision in the northwestern margin of Gondwana (Cajamarca complex, eastern flank of the Central Cordillera, Colombia): *International Geology Review*, v. 56, no. 15, p. 1852– 1872, doi: 10.1080 /00206814 .2014 .963710.
- Botero, G. (1963). Contribución al conocimiento de la geología de la zona central de Antioquia. *Annals of the Mine Faculty, National University of Colombia*, 57, 1-101.
- Bustamante, A. (2008) Geobarometría, geoquímica, geocronología e evolução tectônica das rochas de fácies xisto azul nas áreas de Jambaló (Cauca) e Barragán (Valle del Cauca), Colômbia. Tesis de doctorado, Instituto de Geociências, Universidad de São Paulo, São Paulo, Brasil, 179 p.
- Bustamante, A., Juliani, C., Hall, C. M., & Essene, E. J. (2011). $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages from blueschists of the Jambaló region, Central Cordillera of Colombia: implications on the styles of accretion in the Northern Andes. *Geologica Acta*.

- Bustamante, C., Cardona, A., Bayona, G., Mora, A., Valencia, V., Gehrels, G., and Vervoort, J., 2010, U-Pb LAICP- MS geochronology and tectonic correlation of Middle Jurassic intrusive rocks from the Garzon Massif and the Central Cordillera: Southern Colombia: *Boletín de Geología*, v. 32, p. 93–109.
- Bustamante, A. & Juliani, C. (2011). Unraveling an antique subduction process from metamorphic basement around Medellín city, Central Cordillera of Colombian Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 32(3), 210-221. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2011.06.005>.
- Cochrane, R., Spikings, R. A., Chew, D., Wotzlaw, J. F., Chiaradia, M., Tyrrell, S., ... & Van der Lelij, R. (2014). High temperature (> 350 C) thermochronology and mechanisms of Pb loss in apatite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 127, 39-56.
- Duque-Trujillo, J., Bustamante, C., Solari, L., Gómez-Mafla, L., Toro-Villegas, G. & Hoyos, S. (2018). Reviewing the Antioquia batholith and satellite bodies: a record of Late Cretaceous to Eocene syn- to post-collisional arc magmatism in the Central Cordillera of Colombia. *Andean Geology*, 46(1), 82. <https://doi.org/10.5027/andgeov46n1-3120>.
- Echeverría, L. (1973). Zonación de las rocas metamórficas del Valle de Aburrá y sus alrededores. Medellín: Laboratorio de Geología, Facultad de minas.
- Euricio Pereira, Franklin Ortiz & Hazel Margaret Prichard. (2006). Contribución al conocimiento de las anfibolitas y dunitas de Medellín (Complejo Ofiolítico de Aburrá). *Dyna*, 73(149), 17-30. <https://dialnet.unirioja.es/download/articulo/4599115.pdf>
- González, H. (1980). Geología de las planchas 167 (Sonsón) y 187 (Salamina). *Boletín Geológico*, Ingeominas, Vol. 23 (1): pp 1-174, Bogotá.

- Hall, R., Álvarez, J., & Rico, H. (1972). Geología de parte de los departamentos de Antioquia y Caldas (Sub-zona II-A). *Boletín Geológico*, 20(1), 1-85.
- Hernández, D. (2009). Efectos de la no linealidad del suelo y la estructura en el comportamiento, diseño y costo de una edificación cimentada en un perfil de meteorización del stock de Altavista en la ciudad de Medellín [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Minas.
- Horton, B. K., & Folguera, A. (Eds.). (2019). *Andean tectonics*. Elsevier.
- Ibañez-Mejía, M., Restrepo, J., & García-Casco, A. (2020). Tectonic juxtaposition of Triassic and Cretaceous meta-(ultra)mafic complexes in the Central Cordillera of Colombia (Medellín area) revealed by zircon U-Pb geochronology and Lu-Hf isotopes. Sao Paulo: Solaris.
- Jaillard, E., Hérail, G., Monfret, T., Díaz-Martínez, E., Baby, P., Lavenu, A., & Campos, D. (2000). Tectonic evolution of the Andes of Ecuador, Peru, Bolivia and northern Chile. *Cordani et al.*
- Jaillard, E., Soler, P., Carlier, G., and Mourier, T., 1990, Geodynamic evolution of the Northern and Central Andes during early to middle Mesozoic times: A Tethyan model: *Journal of the Geological Society of London*, v. 147, p. 1009–1022, doi: 10.1144/gsjgs.147.6.1009.
- Jaramillo, J., Cardona, A., León, S., Valencia, V., & Vinasco, C. (2017). *Journal of South American Earth Sciences*.
- Martens, U., Restrepo, J. J., Ordóñez-Carmona, O., & Correa-Martínez, A. M. (2014). The Tahamí and Anacona terranes of the Colombian Andes: missing links between the South American and Mexican Gondwana margins. *The Journal of Geology*, 122(5), 507-530.

- Maya, M. & González, H. (1995). Boletín Geológico. Volumen 35 No. 2-3. ISSN – 0120 – 1425. Mineralizaciones de segregación magmática en el Batolito de Sabanalarga. La Erupción del Volcán Nevado del Ruiz el primero de septiembre de 1989 - Datos geológicos y modelo de la erupción. Unidades Litodémicas en la Cordillera Central de Colombia - Volcán Nevado del Tolima generalidades y consideraciones glaciológicas. Versión año 1995. Boletín. *INGEOMINAS*, 35(2-3), 43-57. <https://doi.org/10.32685/10.143.1995.708>
- Maya, H.M. y González, H., 1995. Unidades litodémicas de la cordillera Central de Colombia: Boletín Geológico Ingeominas, v. 35 (2-3), pp. 1-145.
- Mejía, C. & Rojas, C. (2005). Respuesta dinámica de los suelos del stock de Altavista [Tesis de pregrado]. Escuela de Ingeniería de Antioquia Ingeniería Civil.
- Mejía, N., 1984. Geología y geoquímica de las planchas 130 (Santafé de Antioquia) y 146 (Medellín Occidental), escala 1:100.000, memoria explicativa. Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS).
- Miyashiro, A. (1973). Paired and unpaired metamorphic belts. *Tectonophysics*, 17(3), 241-254.
- Restrepo, J. J. y Toussaint, J. F. (1976). Edades radiométricas de algunas rocas de Antioquia, Colombia. Publicación Especial Geología. Universidad Nacional de Colombia, Medellín N° 12: pp1-11.
- Miyashiro, A. (1961). Evolution of metamorphic belts. *Journal of petrology*, 2(3), 277-311.
- Montes, C., Rodríguez-Corcho, A., Bayona, G., Hoyos, N., Zapata, S., & Cardona, A. (2019). Continental margin response to multiple arc-continent collisions: The northern Andes-Caribbean margin. *Earth-Science Reviews*.

- Nivia, A., Marriner, G. F., Kerr, A. C., & Tarney, J. (2006). The Quebradagrande complex: a lower cretaceous ensialic marginal basin in the Central Cordillera of the Colombian Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 21(4), 423-436.
- Ordoñez Carmona, O., Pimentel, M.M., 2002. Rb–Sr and Sm–Nd isotopic study of the Puqui complex, Colombian Andes. *J. S. Am. Earth Sci.* 15, 173–182. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(02\)00017-2](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(02)00017-2).
- Pindell, J.L., and Kennan, L., 2009, Tectonic evolution of the Gulf of Mexico, Caribbean and northern South America in the mantle reference frame: An update, in James, K.H., Lorente, M.A., and Pindell, J., eds., *The Origin and Evolution of the Caribbean Plate: Geological Society of London Special Publication 328*, p. 1–56.
- Radelli, L. (1967). *Géologie des Andes colombiennes* (Doctoral dissertation, Université de Grenoble).
- Ramos, V. 2009 Anatomy and global context of the Andes: Main geologic features and the Andean orogenic cycle. *in* Kay, S.M., Ramos, V.A., Dickinson, W.D., eds., *Backbone of the Americas: Shallow Subduction, Plateau Uplift, and Ridge and Terrane Collision*. Geological Society of America Memoir 204, p. 31-66.
- Restrepo, J. J.; Dunlap, W. J.; Martens, U.; OrdoñezCarmona, O., and Correa, A. M. (2008). Ar–Ar ages of amphibolites from the Central Cordillera of Colombia and their implications for tectonostratigraphic terrane evolution in the northwestern Andes. VI South American Symposium on Isotope Geology. Proceedings. (CD), pp. 1-6. Bariloche, Argentina
- Restrepo, J. J., Toussaint, J. F., González, H., & Linares, E. (1980). Datación de metasedimentos del grupo Ayurá-Montebello. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (5-6), 33-37.

- Restrepo, J.J. y Toussaint, J.F., 1984. Unidades litológicas de los alrededores de Medellín: Memorias Primera conferencia sobre riesgos geológicos del Valle de Aburrá, Medellín, pp. 1-26.
- Restrepo, J. J. y Toussaint, J. F. (1976). Edades radiométricas de algunas rocas de Antioquia, Colombia. Publicación Especial Geología. Universidad Nacional de Colombia, Medellín N° 12: pp1-11
- Rodríguez, g., & Zapata, G. (2013). Análisis comparativo entre la Formación Barroso y el Complejo Quebradagrande: un arco volcánico toleítico-calcoalcalino, segmentado por el sistema de fallas de Romeral en los Andes del Norte?. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (33), 39-58.
- Spikings, R., Cochrane, R., Villagomez, D., Van der Lelij, R., Vallejo, C., Winkler, W., & Beate, B. (2015). The geological history of northwestern South America: from Pangaea to the early collision of the Caribbean Large Igneous Province (290–75 Ma). *Gondwana Research*, 27(1), 95-139.
- Spikings, R. & Van der Lelij, R. (2021). The Geochemical and Isotopic Record of Wilson Cycles in Northwestern South America: From the Iapetus to the Caribbean. *Geosciences*, 12(1), 5. <https://doi.org/10.3390/geosciences12010005>
- Toussaint, J. F., & Restrepo, J. J. (1994). The Colombian Andes during cretaceous times. In *Cretaceous tectonics of the Andes* (pp. 61-100). Vieweg+ Teubner Verlag, Wiesbaden.
- Toussaint, J. F. (1993). Evolución geológica de Colombia. Universidad Nacional de Colombia.

Villagómez, D., Spikings, R., Magna, T., Kammer, A., Winkler, W., and Beltrán, A., 2011, Geochronology, geochemistry and tectonic evolution of Western and Central Cordilleras of Colombia: *Lithos*, v. 125, p. 875–896, doi: 10.1016/j.lithos.2011.05.003.

Vinasco, C.; Cordani, U.; González, H.; Weber, M.; and Peláez, C. 2006. Geochronological, isotopic, and geochemical data from Permo-Triassic granitic gneisses and granitoids of the Colombian Central Andes. *Journal of South American Earth Sciences* 21: 355-371.