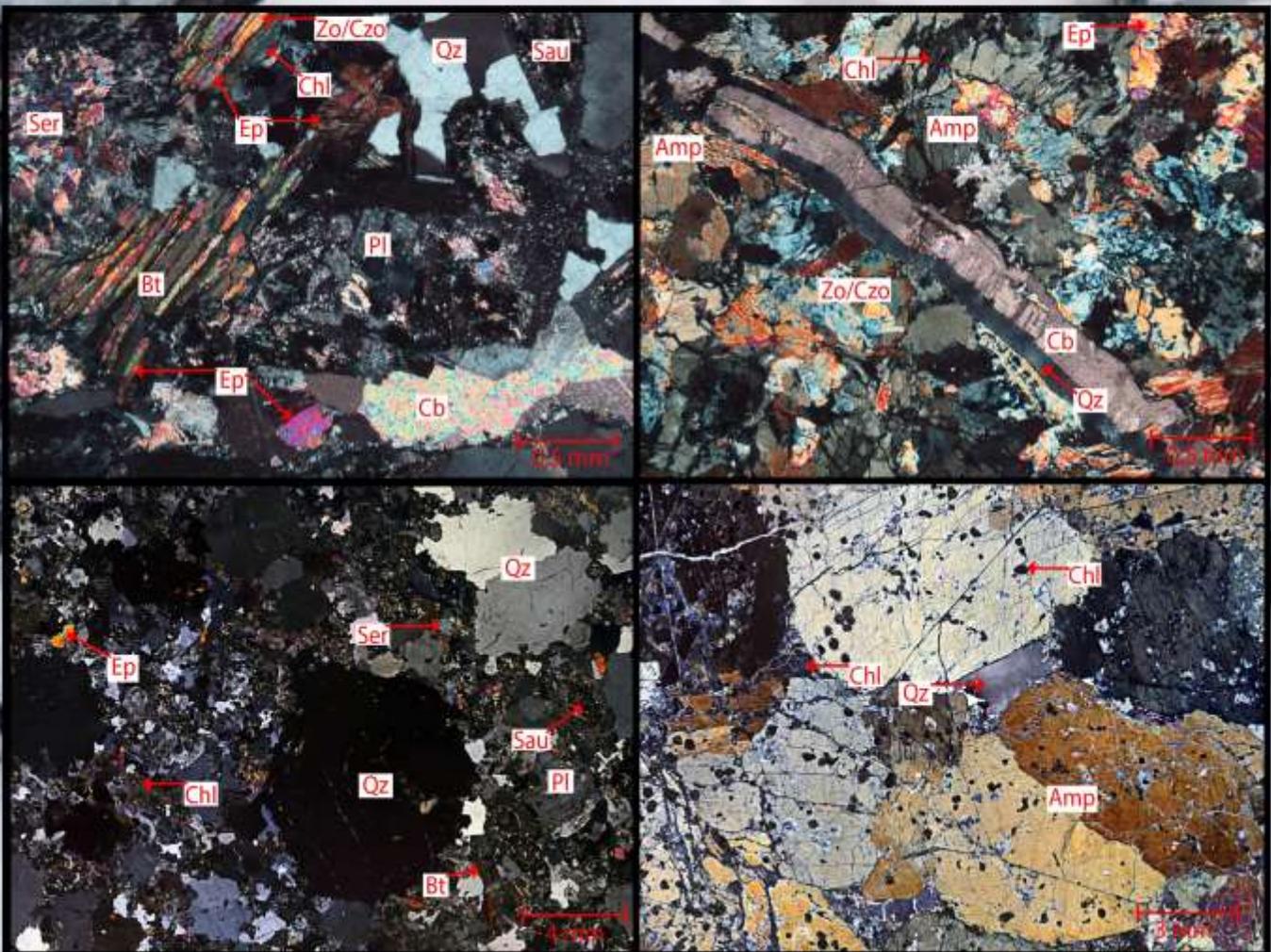


**Propuesta de mapeo y petrografía de facies plutónicas para las rocas carboníferas del plutón El Carmen, noreste de la Cordillera Central de Colombia**

Jairo Rincón Alape

Universidad de Caldas,  
 Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
 Programa de Geología  
 Operadora Minera S.A.S  
 Manizales-Caldas, 2022



**Propuesta de mapeo y petrografía de facies plutónicas para las rocas carboníferas del  
plutón El Carmen, noreste de la Cordillera Central de Colombia**

**Jairo Rincón Alape**

**Universidad de Caldas**

**Facultad de Ciencias Exactas y Naturales**

**Programa de Geología**

**Operadora Minera S.A.S.**

**Manizales-Caldas**

**2022**

**Propuesta de mapeo y petrografía de facies plutónicas para las rocas carboníferas del  
plutón El Carmen, noreste de la Cordillera Central de Colombia**

**Jairo Rincón Alape**

**Trabajo de grado para optar al título de Geólogo**

**Asesora académica**

**MSc. July Quiceno Colorado**

**Asesor institucional**

**Geol. Eliselder Zapata Cardona**

**Universidad de Caldas**

**Facultad de Ciencias Exactas y Naturales**

**Programa de Geología**

**Operadora Minera S.A.S.**

**Manizales-Caldas**

**2022**

**NOTA DE ACEPTACION**

*Joly Quiceno E.*

**Firma de la asesora académica**

*Eliselder Z.*

**Firma del asesor institucional**

## **DEDICATORIA**

A mis padres José Alcides Rincón Verjan y Adela Alape De Rincón quienes, con su amor, paciencia y esfuerzo, me brindaron las herramientas para culminar con éxito esta etapa de mi vida. A mi hija Maria Antonia Rincón González por ser mi mayor inspiración y el motivo de mi felicidad. A Valeria González Liévano por su amor, paciencia y apoyo incondicional.

## **Agradecimientos**

A July Quiceno Colorado, directora del trabajo, por brindarme su confianza, apoyo, orientación, paciencia y sus conocimientos durante todo el desarrollo de esta investigación, además por motivarme en un principio a la realización de este trabajo.

A Eliselder Zapata Cardona, asesor del trabajo por su orientación, conocimientos compartidos, su interés durante el desarrollo de este trabajo y por hacer más amena mi instancia en la empresa Operadora Minera.

A Luz Mary Toro Toro, docente, por su orientación y aporte de sus conocimientos con respecto a las secciones delgadas.

A Edwin Naranjo Sierra por brindarme sus conocimientos, por la gran gestión de los recursos para la realización de este trabajo y por hacer más amena mi instancia en la empresa Operadora Minera.

A Sebastián Hernández González por el aporte de sus conocimientos con respecto a la forma de abordar el trabajo y en general todas las investigaciones.

A los geólogos Camilo Toro, Camilo Orozco, Manuela Grajales, Kevin Franco, a los ayudantes de geología y a todos aquellos empleados de la empresa Operadora Minera que me brindaron sus conocimientos e hicieron más amena mi instancia en dicha empresa.

A la Universidad de Caldas y la empresa Operadora Minera S.A.S., por la financiación y por hacer posible la realización de este proyecto.

A mis hermanas Yeimy Carolina Rincón y Leidy Marcela Rincón, por su apoyo incondicional y por llenarme de fortaleza en los malos momentos de mi vida.

A cada uno de los maestros por brindarme sus conocimientos y valores, a mis amigos y familiares que estuvieron involucrados en este proceso de formación profesional en geología, fueron una parte esencial para continuar con mi crecimiento profesional y personal.

Gracias por su apoyo.

## Tabla de Contenido

1.	Introducción .....	17
2.	Objetivos .....	20
2.1.	Objetivo general.....	20
2.2.	Objetivos específicos .....	20
3.	Antecedentes .....	21
4.	Marco Teórico.....	25
4.1.	Cámara magmática.....	25
4.2.	Magma .....	26
4.3.	Generación del magma .....	26
4.4.	Tipos de magmas y sus principales características .....	27
4.5.	Construcción de plutones.....	28
4.6.	Geoquímica y ambiente tectónico.....	28
5.	Marco geológico .....	32
6.	Metodología .....	36
6.1.	Revisión bibliográfica.....	36
6.2.	Descripción de núcleos de perforación y toma de muestras .....	36
6.3.	Petrografía.....	37
6.4.	Análisis e interpretación de datos .....	38
7.	Resultados .....	39
7.1.	Asociación de facies de gabros-cuarzodioritas (Gab-QzDio).....	40
7.1.1.	Descripción en muestra de mano .....	41
7.1.1.1.	Facies de gabros anfibólicos (Gab-Amp) .....	41

7.1.1.2.	Facies de cuarzodioritas anfibólicas (QzDio-Amp).....	42
7.1.2.	Descripción microscópica.....	43
7.1.2.1.	Facies de gabros anfibólicos (Gab-Amp) .....	43
7.1.2.2.	Facies de cuarzodioritas anfibólicas (QzDio-Amp).....	48
7.2.	Asociación de facies de tonalitas (Ton).....	52
7.2.1.	Descripción en muestra de mano .....	53
7.2.1.1.	Facies de tonalitas de anfíbol y biotita (Ton-Amp+Bt) .....	53
7.2.1.2.	Facies de tonalitas de biotita (Ton-Bt).....	54
7.2.1.3.	Facies de tonalitas de anfíbol (Ton-Amp) .....	55
7.2.2.	Descripción microscópica.....	56
7.2.2.1.	Facies de tonalitas de biotita (Ton-Bt).....	56
7.2.2.2.	Facies de tonalitas de anfíbol y biotita (Ton-Amp+Bt) .....	60
7.2.2.3.	Facies de tonalitas de anfíbol (Ton-Amp) .....	63
7.2.3.	Enclaves microdioríticos (E-MD).....	66
7.3.	Diques .....	68
7.4.	Mapa de facies y asociaciones de facies .....	70
8.	Discusión.....	71
8.1.	Variaciones faciales y su distribución espacial.....	71
8.2.	Alteración hidrotermal .....	76
8.3.	Construcción del plutón y procesos magmáticos.....	77
8.4.	Correlación con otros plutones carboníferos y ambiente tectónico .....	79
9.	Conclusiones .....	82
10.	Referencias.....	84

ANEXOS .....	94
Anexo 1: Formatos de logueo .....	95
Anexo 2: Formatos de clasificación petrográfica. ....	113

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Ubicación de la zona de estudio .....	19
<b>Figura 2.</b> Esquema de cámara magmática .....	26
<b>Figura 3.</b> Ambientes tectónicos y magmatismo.....	29
<b>Figura 4.</b> Mapa de geología regional .....	35
<b>Figura 5.</b> Cajas con núcleos de perforación.....	37
<b>Figura 6.</b> Clasificación modal de secciones delgadas representativas del plutón El Carmen .....	39
<b>Figura 7.</b> Cajas de núcleos de perforación correspondientes a la asociación de facies de gabros-cuarzodioritas .....	41
<b>Figura 8.</b> Muestras de mano de la facies de gabros anfibólicos .....	42
<b>Figura 9.</b> Muestras de mano de la facies de cuarzodioritas anfibólicas.....	43
<b>Figura 10.</b> Clasificación modal de secciones delgadas de la facies de gabros anfibólicos.....	44
<b>Figura 11.</b> Fotomicrografías de la facies de gabros anfibólicos .....	47
<b>Figura 12.</b> Fotomicrografías de la facies de cuarzodioritas anfibólicas .....	51
<b>Figura 13.</b> Cajas de núcleos de perforación correspondientes a la asociación de facies de tonalitas.....	53
<b>Figura 14.</b> Muestras de mano de la facies de tonalitas de anfíbol y biotita.....	54
<b>Figura 15.</b> Muestras de mano de la facies de tonalitas de biotita .....	55
<b>Figura 16.</b> Muestras de mano de la facies de tonalitas de anfíbol .....	56
<b>Figura 17.</b> Fotomicrografías de la facies de tonalitas de biotita .....	59
<b>Figura 18.</b> Fotomicrografías de la facies de tonalitas de anfíbol y biotita.....	62
<b>Figura 19.</b> Fotomicrografías de la facies de tonalitas de anfíbol.....	65
<b>Figura 20.</b> Fotomicrografías del enclave microdiorítico .....	67

<b>Figura 21.</b> Muestras de mano de los diques.....	68
<b>Figura 22.</b> Mapa de facies y asociaciones de facies .....	70
<b>Figura 23.</b> Diagramas de clasificación geoquímica.....	78
<b>Figura 24.</b> Diagramas para identificar la contaminación de los magmas .....	79
<b>Figura 25.</b> Esquema del ambiente tectónico del plutón El Carmen.....	81

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Elementos traza como indicadores petrogenéticos .....	30
<b>Tabla 2.</b> Listado de núcleos y secciones delgadas correspondientes a la asociación de facies de gabros-cuarzodioritas .....	40
<b>Tabla 3.</b> Composición modal de la facies de gabros anfibólicos .....	43
<b>Tabla 4.</b> Composición modal de la facies de cuarzodioritas anfibólicas .....	48
<b>Tabla 5.</b> Listado de núcleos y secciones delgadas correspondientes a la asociación de facies de tonalitas .....	52
<b>Tabla 6.</b> Composición modal de la facies de tonalita de biotita .....	56
<b>Tabla 8.</b> Composición modal de la facies de tonalita de anfíbol y biotita .....	60
<b>Tabla 8.</b> Composición modal de la facies de tonalita de anfíbol .....	63
<b>Tabla 9.</b> Composición modal del enclave microdiorítico .....	66
<b>Tabla 10.</b> Resumen de las características principales de las facies del plutón el Carmen .....	69

## Resumen

El plutón El Carmen ubicado al noreste de la cordillera central de Colombia, que se formó durante un evento magmático Carbonífero, está constituido por dos grandes grupos litológicos para los cuales se propuso un mapa de facies y asociaciones de facies con el fin de separar parte del plutón en unidades litoestratigráficas apropiadas, y mostrar la diversidad petrográfica y mineralógica, mediante la descripción de núcleos de perforación y secciones delgadas, basados en conceptos descriptivos de facies petrográficas y asociaciones de facies.

Este cuerpo se interpretó como un plutón compuesto por cinco facies plutónicas, que se pueden agrupar en dos asociaciones de facies: I) La asociación de facies de gabros-cuarzodioritas incluye dos facies petrográficas, que muestran principalmente plagioclasa y anfíbol, se diferencian por la presencia de cuarzo como mineral principal y texturalmente, como minerales accesorios ambas facies presentan circón y apatito, como minerales de alteración saussurita, sericita, clorita, epidota, zoisita/clinozoisita, carbonatos, minerales opacos y cuarzo. II) La asociación de facies de tonalitas incluye tres facies petrográficas, que contienen cuarzo y plagioclasa principalmente, se diferencian por la presencia de anfíbol y(o) biotita como minerales principales y como minerales accesorios todas las facies de tonalitas presentan apatito y circón. Finalmente, como minerales de alteración sericita, saussurita, clorita, carbonatos, epidota, zoisita/clinozoisita, titanita y allanita. Ambas asociaciones de facies del plutón El Carmen son cortadas por diques volcánicos, subvolcánicos y vetas mineralizadas que generan alteración hidrotermal de tipo propilítica.

Las características geológicas, petrográficas y su relación con datos de geoquímica y geocronología obtenidos por otros autores, indican que el plutón El Carmen, es un plutón compuesto, donde la construcción del mismo ocurrió en al menos dos etapas, la primera dada por el ascenso de un pulso magmático de composición básica (gabros-dioritas gabroicas), donde el

proceso dominante fue la cristalización fraccionada, la segunda etapa dada por el ascenso de un pulso de composición ácida (tonalitas-trondhjemitas), donde el proceso dominante fue la mezcla de magmas, ambos emplazados en un rift, durante el carbonífero (Leal-Mejía, 2011), asociado a la etapa intermedia de formación del aulacógeno de Bolívar.

**Palabras clave: (Facies, petrografía, mapa, plutón, El Carmen).**

## Abstract

The El Carmen pluton located to the northeast of the central mountain range of Colombia, which was formed during a Carboniferous magmatic event, is made up of two large lithological groups for which a facies map and facies associations were proposed in order to separate part of the pluton in appropriate lithostratigraphic units, and show petrographic and mineralogical diversity, by describing drill cores and thin sections, based on descriptive concepts of petrographic facies and facies associations.

This was interpreted as a pluton composed of five plutonic facies, which can be grouped into two facies associations: I) The gabbros-quartzdiorite facies association includes two petrographic facies, which mainly show plagioclase and amphibole, differentiated by the presence of quartz as the main mineral and texturally, as accessory minerals both facies present zircon and apatite, as alteration minerals saussurite, sericite, chlorite, epidote, zoisite/clinozoisite, carbonates, opaque minerals and quartz. II) The association of tonalite facies includes three petrographic facies, which mainly contain quartz and plagioclase, differentiated by the presence of amphibole and/or biotite as main minerals and as accessory minerals, all the tonalite facies present apatite and zircon. Finally, as alteration minerals sericite, saussurite, chlorite, carbonates, epidote, zoisite/clinozoisite, titanite and allanite. Both facies associations of the El Carmen pluton are cut by volcanic and subvolcanic dikes and mineralized veins that generate propylitic hydrothermal alteration.

The geological and petrographic characteristics and their relationship with geochemical and geochronological data obtained by other authors indicate that the El Carmen pluton is a composite pluton, where its construction occurred in at least two stages, the first given by the ascent of a

magmatic pulse of basic composition (gabros-gabroic diorites), where the dominant process was fractional crystallization, the second stage given by the rise of a pulse of acid composition (tonalites-trondhjemites), where the dominant process was the mixture of magmas , both located in a rift, during the Carboniferous (Leal-Mejía, 2011), associated with the intermediate stage of formation of the Bolívar aulacogen.

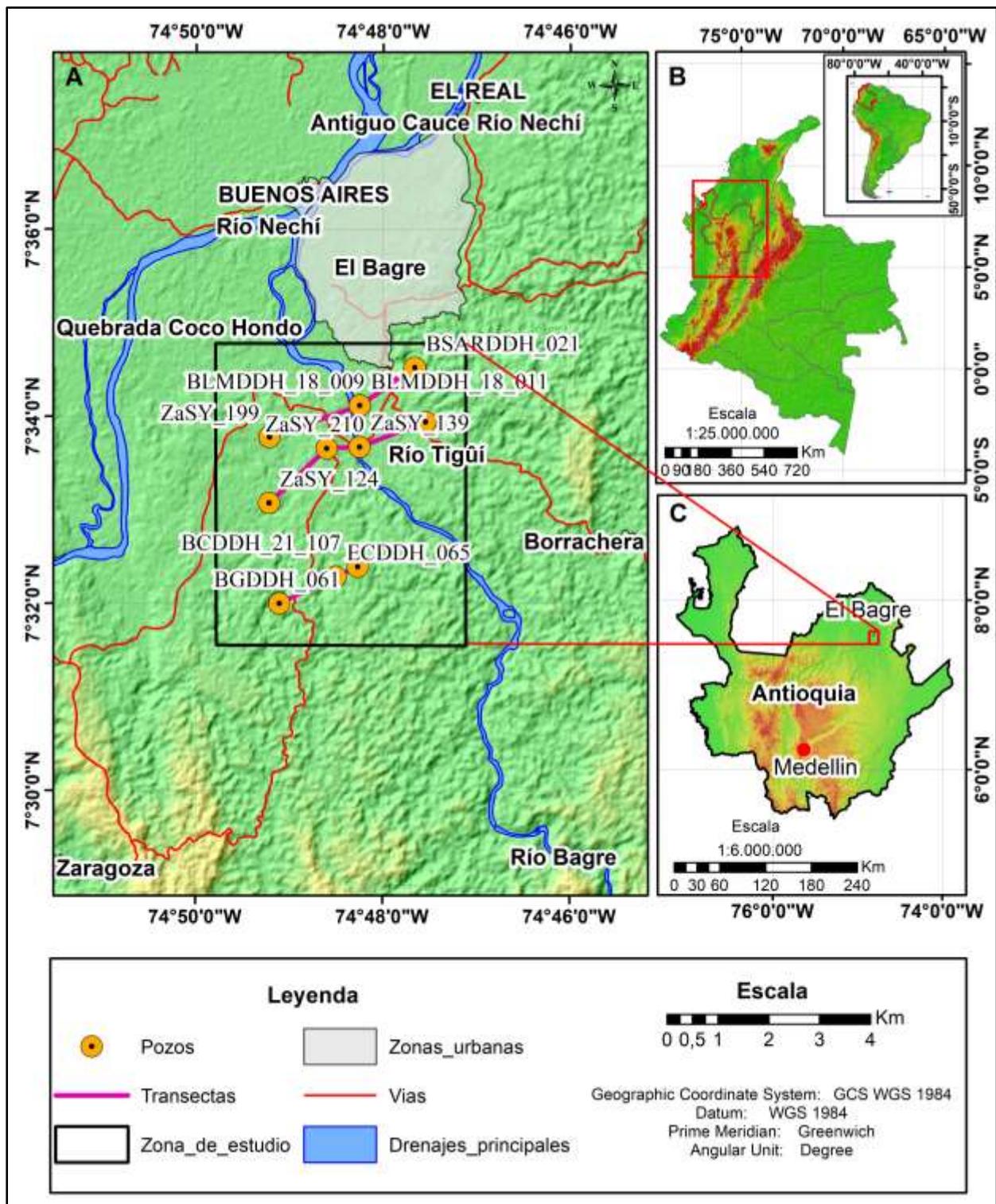
**Keywords: (Facies, petrography, map, pluton, El Carmen).**

## 1. Introducción

El plutón El Carmen es un cuerpo ígneo de edad carbonífera ubicado en las estribaciones del noreste de cordillera central de Colombia, al noreste del departamento de Antioquia, en la subregión del Bajo Cauca, al sur del municipio El Bagre, en el distrito minero El Bagre (Figura 1), el área de estudio es de aproximadamente  $30 \text{ km}^2$ , corresponde a la zona norte del plutón El Carmen, hay dos rutas de acceso: Por medio aéreo, ruta Medellín–El Bagre con una duración aproximada de 50 minutos, por vía terrestre, con ruta Medellín-Caucasia-El Bagre con una duración aproximada de 8 horas.

El *Stock* El Carmen fue nombrado informalmente por Leal-Mejía (2011), el cual separó el plutón El Carmen del Batolito de Segovia y asignó una edad carbonífera por medio de dataciones de U-Pb en circones mediante el método LA-MC-ICP-MS y SHRIMP, y corresponde a gabros-cuarzodioritas y tonalitas, con firma geoquímica toleítica y calcoalcalina respectivamente. Leal-Mejía (2011) y Varona-Bravo (2016) propusieron un ambiente de formación de arco volcánico relacionado a orógenos, donde las rocas básicas se asocian a un arco inmaduro y las rocas ácidas se asocian a un arco maduro, sin embargo, Leal-Mejía *et al.* (2019) indica que el ambiente corresponde a un rift intra-continental de corta duración, el cual fue abortado en el pérmico temprano. La extensión del cuerpo fue ampliada al noreste por Ávila-Vallejo (2015), sin limitar el cuerpo con el Batolito de Segovia. Los estudios del plutón el Carmen se han centrado en su composición general, cartografía básica, geoquímica, geocronología y caracterización de yacimientos minerales, siendo relegada una petrografía a detalle que separe el plutón en unidades litoestratigráficas apropiadas, que muestren la variedad mineralógica, textural e implicaciones genéticas del plutón.

En este trabajo se propone un mapa de facies y asociaciones de facies plutónicas con base en la metodología de Vlach (1985, 1993) y Ulbrich *et al.* (2001), teniendo como base la cartografía propuesta por Ávila-Vallejo (2015). También se muestra a detalle la variabilidad mineralógica y textural, además de relacionar la geocronología y geoquímica de Leal-Mejía (2011) y Varona-Bravo (2016), con fines de hacer la interpretación de posibles procesos durante la generación y evolución del fundido hasta su emplazamiento y así realizar un aporte al conocimiento del magmatismo carbonífero en Colombia.



**Figura 1.** Ubicación de la zona de estudio. Los mapas base fueron tomados y modificados de la cartografía del DANE (2020). **A.** Mapa de ubicación exacta de la zona de estudio (al sur del municipio el Bagre), con la ubicación de las perforaciones analizadas. **B.** Mapa de Colombia con la ubicación del departamento de Antioquia y mapa de Suramérica con la ubicación de Colombia. **C.** Mapa del departamento de Antioquia con la ubicación de la ciudad de Medellín, el municipio el Bagre y la zona de estudio.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo general**

Proponer un mapa de facies y asociaciones de facies plutónicas que separe el plutón en unidades litoestratigráficas apropiadas, teniendo como base la composición mineralógica y relación textural, además de enlazar estos resultados con la geoquímica y geocronología disponible, para inferir los procesos ocurridos dentro de la cámara magmática y ambiente de formación del plutón El Carmen.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Realizar la descripción macroscópica de las rocas del plutón El Carmen, a partir de núcleos de perforación.
- Caracterizar mineralógicamente, texturalmente, e identificar las principales facies y asociaciones de facies plutónicas del plutón El Carmen.
- Proponer un mapa de facies y asociaciones de facies plutónicas además de relacionar los resultados obtenidos a partir de la clasificación microscópica con datos geoquímicos y geocronología disponibles, para determinar posible ambiente de formación y procesos de evolución del fundido, desde la generación hasta su posicionamiento en niveles corticales.

### 3. Antecedentes

Las rocas del plutón El Carmen anteriormente se asociaban al Batolito de Segovia (Londoño *et al.*, 2009), sin embargo, Leal-Mejía (2011) separó dichas rocas e informalmente denominó a la unidad como *Stock* El Carmen, basado principalmente en criterios geocronológicos. Leal-Mejía (2011) adicionalmente realizó estudios geoquímicos con los cuales propuso a un arco como ambiente de formación para este cuerpo, el cual fue modificado por este mismo autor en el 2019 proponiendo entonces un rift intra-continental de corta duración. Ávila-Vallejo (2015) realizó estudios cartográficos básicos con fines exploratorios para la empresa Operadora Minera S.A.S., También en el 2015 la unidad ígnea fue incluida en la cartografía del Servicio Geológico Colombiano en la plancha 5-06 del atlas geológico de Colombia a escala 1:500.000 por Gómez-Tápias *et al.* (2015). Varona-Bravo (2016) realizó estudios petrográficos y geoquímicos, mientras que Naranjo-sierra *et al.* (2016), Naranjo-Sierra y Alvarán-Echeverri (2018, 2020) han realizado estudios de caracterización geológica, estructural, metalogenética e isotópica de las vetas emplazadas en el *Stock* El Carmen. Finalmente, Salgado-González *et al.* (2021) estudiaron la cinemática estructural que rigen las estructuras mineralizadas encajadas en este cuerpo.

Londoño *et al.* (2009) haciendo relación con el distrito minero El Bagre-Nechí, mencionan que este cuerpo está constituido por dioritas, cuarzodioritas y rocas graníticas, con alto grado de desarrollo de saprolito y suelos areno-arcillosos, compuesta principalmente por cuarzo, feldespato, hornblenda y biotita cloritizada. Estos autores también describieron zonas de cizalla con la presencia de milonitas con planos de esquistosidad penetrativa con tendencia N-S que se asocian a estructuras vetiformes con sulfuros (Veta La Ye y Veta El Carmen). Este cuerpo inicialmente fue asociado con el Batolito de Segovia de edad jurásica (Feininger *et al.*, 1972; Frantz *et al.*, 2007).

Leal-Mejía (2011) describió este plutón y lo denominó informalmente *Stock El Carmen*, separándolo del Batolito de Segovia, con base en datos petrográficos, geoquímicos y geocronológicos, quien además describe esta unidad como conformada por dos facies principales (dioritas porfiríticas y leucotonalitas biotíticas) que están siendo intruidas por una serie de diques y vetas mineralizadas. La facies de diorita para Leal-Mejía (2011) presenta textura fanerítica, de grano fino con ligera textura porfirítica, compuesta por plagioclasa (65%), anfíbol (35%), apatito y magnetita remplazada por pirita tardía de origen hidrotermal, el anfíbol se encuentra siendo remplazado por prehnita-pumpellita, evidenciando un posible metamorfismo de bajo grado o alteración hidrotermal. Geoquímicamente esta facies muestra afinidades con los granitos tipo I de Chappell y White (1974), metaluminosos, con firma geoquímica toleítica con un rango de edad entre  $326.0 \pm 5.6 / -5.1$  a  $333.1 \pm 4.7 / -4.8$  Ma (U-Pb en circón). La facies de leucotonalitas biotíticas según Leal-Mejía (2011), presentan textura holocristalina, fanerítica, de grano grueso, compuesta por cuarzo (25%), plagioclasa (65%), microclina sericitizada (<5%), biotita (5%), circón, apatito, ilmenita y una asociación mineral dada por remplazamiento hidrotermal: epidota-allanita-cuarzo-pirita, mostrando alteración potásica que sobrecarga la paragénesis mineral. Geoquímicamente estas facies muestran afinidad de granitos tipo I, peraluminosos, de ambiente de arco calcoalcalino con un rango de edades desde  $310.6 \pm 5.3 / -5.2$  a  $322.5 \pm 5.6$  Ma. Los diques para este autor corresponden a cuerpos pre-mineralización de diabasa y dos diques pos-minerales de textura porfirítica. Geoquímicamente estas estructuras tienen afinidad a granitos tipo I, metaluminosos, con firma geoquímica calcoalcalina. El ambiente de formación en general para el *Stock El Carmen* se interpreta como una zona de subducción restringida durante el carbonífero, sin embargo, Leal-Mejía *et al.* (2019) reclasifica los granitos, como granitoides “toleíticos” derivados del manto y de tipo RTG (*Ridge Tholeiitic Granitoids*), donde el ambiente de formación se asocia a un *rift* que

se expande al punto de permitir localmente la generación de litosfera oceánica y abortado durante el pérmico temprano. Este evento de rift de corta duración se relaciona con la fase temprana del aulacógeno de Bolívar.

Ávila-Vallejo (2015) realizó una actualización de la cartografía geológica del distrito minero El Bagre, separó la unidad en dos “cuerpos”: Cuerpo diorítico y cuerpo tonalítico-granodiorítico, correlacionables con las facies de dioritas y leucotonalitas biotítica propuestas por Leal-Mejía (2011). Para Ávila-Vallejo (2015) el cuerpo tonalítico-granodiorítico está compuesto por cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, biotita y anfíbol, se encuentra intruyendo el cuerpo diorítico que está compuesto por plagioclasa, piroxeno, anfíbol y cuarzo, variando a cuarzo-diorita ocasionalmente. El contacto intrusivo puede observarse en la quebrada Icacales y al interior de la mina Los Mangos. Este mismo autor observó la presencia de diques básicos afaníticos de tonalidad verde oscuro a gris oscuro y un dique de pegmatita granítica compuesto por plagioclasa, feldespato potásico y hornblenda, que se concentran mayormente en el sector conocido como Cordero y adicionalmente identifico dos zonas de cizalla con indicadores de movimiento dextrales, localizadas al Oeste del plutón, que posiblemente sea el contacto con las rocas metamórficas del Complejo Cajamarca.

Varona-Bravo (2016) realizó estudios petrográficos y geoquímicos en el sector norte del *Stock* El Carmen, y denominó cuerpo básico a lo correlacionable con la facies de diorita porfirítica y cuerpo ácido a lo correlacionable con la facies de leucotonalitas biotíticas de Leal-Mejía (2011). Para esta autora, el cuerpo básico se conforma de dioritas y cuarzodioritas con textura holocristalina, inequigranular, compuestas por plagioclasa epidotizada (37-45%), hornblenda ocasionalmente cloritizada y epidotizada (25-42%) y cuarzo. Geoquímicamente clasificó las rocas como gabros y dioritas gabroicas y además propuso procesos de cristalización fraccionada. El cuerpo ácido

también para esta autora, está compuesto por tonalitas y granodioritas con textura holocristalina, fanerítica, inequiangular y la mineralogía es representada por plagioclasa (20-30%), cuarzo (25-22%), ortosa (5-10%), biotita (15-20%), hornblenda (10-18%), además clorita y epidota como minerales de alteración. Geoquímicamente clasificó las rocas como granodioritas y granitos.

Varona-Bravo, (2015) también describió diques volcánicos y plutónicos. Químicamente los diques plutónicos se clasifican como gabro, monzonita, y cuarzo-monzonita, y los diques volcánicos se corresponden a andesitas, traquidacitas/dacitas, y riolitas.

Naranjo-sierra *et al.* (2016), Naranjo-Sierra y Alvarán-Echeverri (2018, 2020) estudiaron las vetas mineralizadas que se encuentran hospedadas en el Plutón el Carmen e identificaron que dichas vetas tienen una tendencia preferencial N-S y que fueron emplazadas en un régimen frágil-dúctil en dos etapas de mineralización, la primera caracterizada por cuarzo, pirita y oro, la segunda etapa caracterizada por cuarzo, pirita, calcopirita, galena, telururos de oro, plata, plomo y mercurio. Estos autores clasificaron el depósito como de tipo oro orogénico, subtipo filones auríferos hospedados en granitoides.

Salgado-González *et al.* (2021) realizaron estudios sobre la cinemática estructural que rigen las estructuras mineralizadas encajadas en el plutón El Carmen y determinaron que las vetas fueron emplazadas en una zona de cizalla sinistral inversa, que estas presentan tendencia general NNW-SSE. Identificaron tres eventos deformativos principales, el primero corresponde a una transpresión sinistral NNW-SEE, el segundo una transpresión dextral NNE-SSW y el último una transpresión sinistral NE-SE, estos eventos permitieron la generación de espacios por los cuales circularon los fluidos mineralizantes.

#### **4. Marco Teórico**

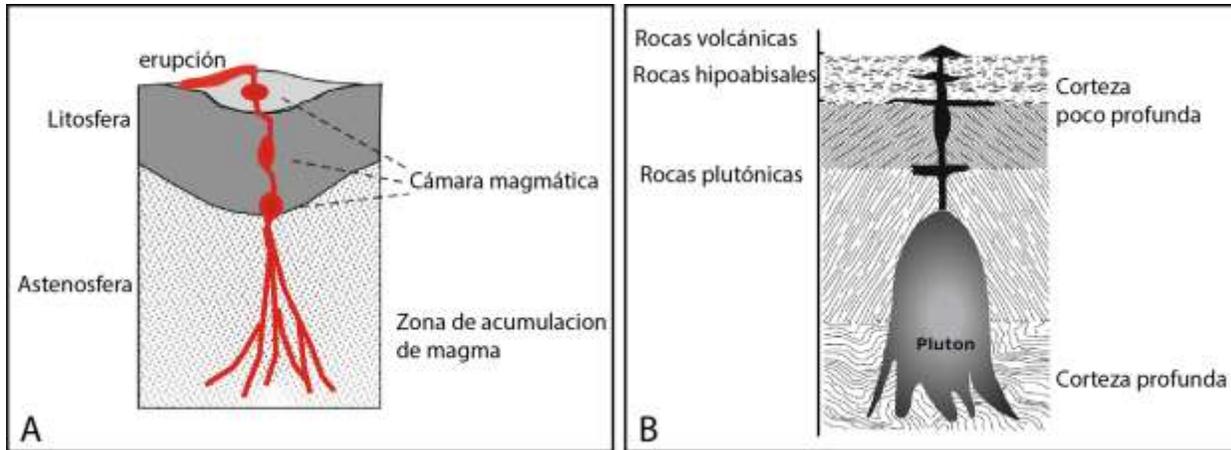
El termino de facies plutónicas, propuesto por Ulbrich *et al.* (2001), se define como el nivel jerárquico menor a la unidad estratigráfica informal que se debe poder reconocer, describir en afloramientos y muestras de mano, basado principalmente en la mineralogía, propiedades texturales y estructurales. El termino asociación de facies definido por Vlach (1985, 1993), agrupa facies petrográficas semejantes que deben mapearse juntas, teniendo en cuenta su distribución en relación con la escala de mapeo. En síntesis, el termino de facies y asociaciones de facies petrográficas debe ser usado como una unidad de mapeo a detalle, que muestra la variedad mineralógica, textural y estructural de una roca ígnea (Vlach, 1985, 1993; Ulbrich *et al.*, 2001; García-Chinchilla y Vlach, 2019).

Las rocas ígneas se forman por solidificación del magma y cuando dicho proceso se produce dentro de la litosfera en una cámara magmática, la velocidad de enfriamiento es relativamente lenta y permite la cristalización de minerales grandes y bien formados, a estas rocas se les da la connotación de rocas ígneas plutónicas (López y Bellos, 2006; Sen, 2014). Si el magma asciende de la cámara magmática hasta superficie se le denomina lava, que, al ser acumulada y consolidada con enfriamiento relativamente rápido, forma mineral de menor tamaño y sustancias solidas amorfas, esto genera las rocas ígneas volcánicas (López y Bellos, 2006; Sen, 2014).

##### **4.1. Cámara magmática**

Una cámara magmática es un depósito subterráneo que contiene magma bajo la influencia de alta presión y temperatura, pueden ser zonas previas a las erupciones volcánicas, también pueden no tener una relación directa con la superficie terrestre como se muestra en la Figura 2, se enfrían y se solidifican al interior de la corteza terrestre formando plutones, con formas y tamaños variables,

como los batolitos, stocks, lacolitos, lopolitos, diques, silos y otros (Marsh, 1989, 2015; Sen, 2014).



**Figura 2.** Esquema de cámara magmática. **A.** Esquema de cómo se acumula el magma para formar intrusiones más grandes que ascienden y generan cámaras magmáticas en diferentes profundidades donde el magma se enfría, cristaliza y eventualmente sigue ascendiendo hasta entrar en erupción a través de un volcán. Tomado y modificado de Sen (2014). **B.** Esquema que muestra la relación entre el tipo de roca ígnea y la profundidad relativa a la que se enfrió y cristalizó en la corteza. Tomado y modificado de Sen (2014).

## 4.2. Magma

El magma, es una mezcla multifase, semifluida de alta temperatura, el cual se compone por una fracción sólida y otra gaseosa que son transportadas por una fase líquida denominada “fundido” (Spera, 2000; Petford, 2003). La fracción sólida, corresponde en mayor medida a cristales de silicatos y óxidos, puede incorporar xenolitos provenientes de la roca encajante, además de incluir cristales reciclados procedentes de otros magmas que pueden o no compartir la misma historia de cristalización (Petford, 2003; Peña-Alonso, 2014). La fracción líquida, es un fundido silíceo o carbonático y en la fracción gaseosa es predominante el agua en forma molecular ( $H_2O$ ) o radical ( $OH^-$ ) y por  $CO_2$  disuelto (Petford, 2003; Leshner y Spera, 2015).

## 4.3. Generación del magma

En los arcos magmáticos para Tarney y Jones (1994), la generación del magma comienza con la liberación de fluidos, los cuales provienen de la placa en subducción y estos promueven la

hidratación en la cuña de manto, sin embargo, Tanton *et al.* (2001) postulan que incluso puede ocurrir por la descompresión del manto al ascender hacia la cuña de manto y según Best (2003) por la fusión parcial de la placa en subducción.

En ambientes distensivos, la generación del magma se da por la descompresión del manto, la cual produce la fusión parcial (algunas fases minerales) o la fusión total (todas las fases minerales), adicionalmente la adición de volátiles, principalmente agua en forma molecular (H<sub>2</sub>O) permiten un aumento en la velocidad de generación de fundido (López-Ruiz, J., y Cebriá, J. M., 2015).

#### **4.4. Tipos de magmas y sus principales características**

Los magmas generados en el manto, según Spera (2000) son de composición básica y estos en condiciones anhidras y a presiones atmosféricas, suelen presentar temperaturas de 1600° en fundidos de peridotitas y 1200°C en fundidos de gabros. Estos magmas básicos son ricos en O-Al-Ca-Mg-Fe y predomina la cristalización de plagioclasas cálcicas, olivino y piroxeno (Rogers y Hawkesworth, 2000; Spera, 2000).

Los fundidos de composición intermedia a ácida, son generados por diferenciación de los magmas primarios que incluyen procesos de cristalización fraccionada (Tatsumi, 1989; Grove *et al.* 2003). Para Rapp y Watson (1995) estos magmas se generan por la fusión parcial de metabasalto en la base de la corteza, mientras que para Kemp *et al.* (2007) por la incorporación de material cortical en los magmas generados en el manto. Según Petford (2003) fundidos de leucogranito y tonalita presentan temperaturas entre 750°C y 950°, esto con un contenido de agua del 4% y 6% respectivamente, a una presión de 8Kbar. Magmas provenientes de sistemas pegmatíticos llegan a cristalizar a temperaturas por debajo de los 400°C, a partir de un fundido de silicato hidratado (Sirbescu y Nabelek, 2003). Peña-Alonso (2014) sugiere que los magmas ácidos son ricos en O-

Al-Na-K-H, en los que predomina la cristalización de feldespatos y cuarzo, con posible presencia de micas y anfíboles.

#### **4.5. Construcción de plutones**

Los plutones pueden formarse como cámaras magmáticas individuales donde ocurren procesos como la cristalización fraccionada y mezcla de magmas (Coleman *et al.*, 2004), sin embargo, también puede darse a partir de múltiples inyecciones de magma en la corteza, donde ocurren procesos distintos para cada pulso, en ambos casos el resultado es una variación mineralógica y textural dentro del plutón (McNulty *et al.*, 1996; Coleman *et al.*, 2004; Matzel *et al.*, 2006).

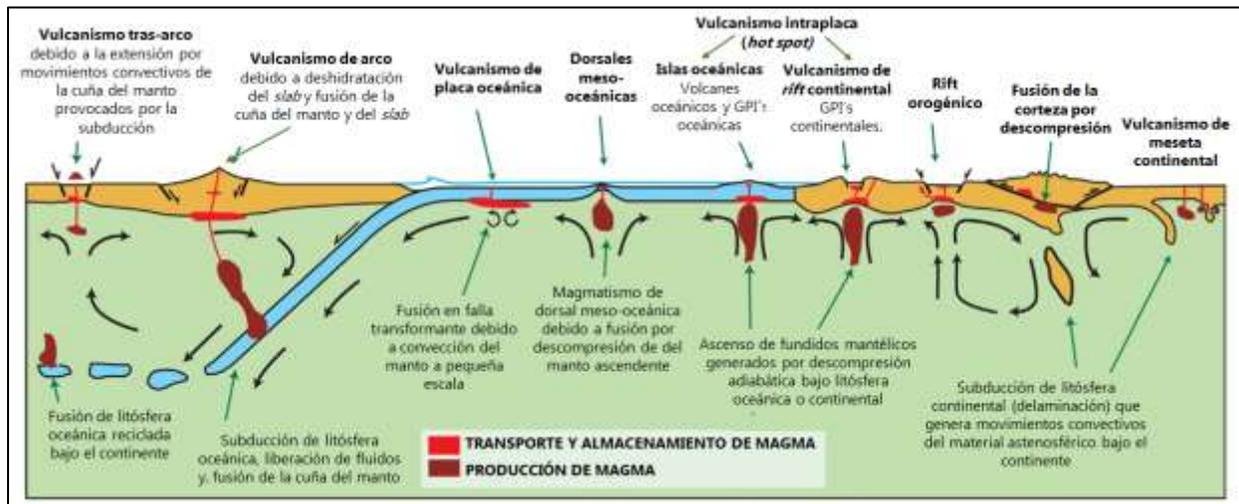
La construcción de plutones individuales se puede dar en rangos temporales que van desde los 10 mil hasta 100 mil años, mientras que la construcción de plutones compuestos o batolitos tomaría de 1 millón a 100 millones de años (Michel *et al.*, 2008). Estos están constituidos por múltiples pulsos individuales de magmas que no necesariamente están relacionados térmica o mecánicamente entre sí y su emplazamiento puede ser interrumpido por tiempo de inactividad larga para permitir el enfriamiento de cada pulso individual (Coleman *et al.*, 2004; Michel *et al.*, 2008).

Pitcher (1979) propone que las variaciones geoquímicas dentro de un plutón, se puede dar por diferentes etapas de inyecciones múltiples de magmas, además Vigneresse y Clemens (2000) señalan que la mezcla de magmas se evidencia en la zonación de algunos plutones y en la presencia de enclaves de composición distinta al cuerpo hospedante.

#### **4.6. Geoquímica y ambiente tectónico**

Las diferencias químicas de las rocas, en elementos mayores y en elementos traza, pueden indicar diferencias en el ambiente y los procesos dominantes ocurridos en la formación de las mismas, ya

que con base en la concentración de ciertos elementos se pueden definir firmas geoquímicas típicas de un ambiente tectónico (Winter, 2013).



**Figura 3.** Ambientes tectónicos y magmatismo. Muestra el sistema tectónico con los principales ambientes de generación, transporte y almacenamiento de magma. Tomado y modificado de Vries y De Vries (2018).

El contenido de  $\text{SiO}_2$  vs el álcalis ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ), permiten identificar dos series magmáticas, denominadas serie alcalina y serie subalcalina, esta última se subdivide en calcoalcalina y toleítica (Middlemost, 1985), basados en el contenido de hierro total ( $\text{FeO}_t$ ), álcalis ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) y magnesio ( $\text{MgO}$ ), se puede diferenciar la serie calcoalcalina de la serie toleítica (Irvine y Baragar, 1971). El contenido de cobalto (Co) vs torio (Th), también se puede utilizar para diferenciar la serie calcoalcalina de la serie calcoalcalina alta en k (Hastie *et al.*, 2007). La serie toleítica puede presentarse en cualquier ambiente, sin embargo, en zonas de subducción esta serie se asocia a emplazamiento en cortezas oceánicas o cortezas continentales delgadas (Best, 2003). La serie calcoalcalina es típica de magmas formados en arcos continentales (Winter, 2013) y la serie alcalina es típica de estadios iniciales de rift continental, en este ambiente la serie toleítica se asocia a estadios finales (Best, 2003).

El contenido de  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{MgO}$  vs  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , puede identificar el proceso dominante en la contaminación de los magmas, los cuales pueden ser cristalización fraccionada o mezcla de magmas, este último también se evidencia en la presencia de enclaves de composición distinta a la roca hospedante (Yang *et al.*, 2015).

Basados en el contenido de itrio + niobio (Y+Nb) vs rubidio (Rb), Pearce *et. al.* (1984), propone discriminar el ambiente tectónico de los granitos, en granitos de arco volcánico (VAG), granitos de dorsales oceánicas (ORG), granitos de itraplaca (WPG) y granito sin-colisión (syn-COLG). En ambientes de arcos volcánicos, es típico un enriquecimiento en el contenido de tierras raras livianas (LREE) respecto a las tierras raras pesadas (HREE), enriquecimiento de elementos como Ba, Pb, K y Sr, además de un empobrecimiento de elementos como Th, Nb, Zr y Ti (Best, 2003). La Tabla 1 muestra algunos elementos trazas usados como trazadores petrogenéticos (Green, 1980), los cuales permiten dar una idea de los procesos y el ambiente de generación de un fundido (Best, 2003).

**Tabla 1.** Elementos traza como indicadores petrogenéticos. Tomado y modificado de Green (1980).

<b>Elemento</b>	<b>Uso como indicador petrogenético</b>
Ni, Co, Cr	Elementos típicamente altamente compatibles. Altas concentraciones (p. ej., Ni 250–300 ppm, Cr 500–600 ppm) de estos elementos indican la derivación de magmas parentales de una fuente de manto de peridotita. Las concentraciones decrecientes de Ni y, en menor medida, de Co en una serie de rocas sugieren fraccionamiento de olivino. La disminución de Cr sugiere fraccionamiento de espinela o clinopiroxeno.
V, Ti	Elementos típicamente compatibles en ilmenita y titanomagnetita, aunque el Ti puede enriquecerse en algunos magmas máficos que carecen de estos minerales de óxido.
Nb	Elemento incompatible en la mayoría de los magmas. Sin embargo, debido a que sustituye un poco al Ti, los titanatos residuales (como el rutilo) puede causar agotamiento de Nb en las fuentes de magma de la zona de subducción. Nb tiene una menor solubilidad en fluidos acuosos que otros elementos igualmente incompatibles.
Zr, Hf	Elementos muy incompatibles que no sustituyen fases en los silicatos mayores (aunque puede remplazar Ti en la titanita o rutilo). Altas concentraciones implican un enriquecimiento en la fuente o una vasta evolución líquida.

P	Característicamente incompatible en magmas máficos, pero se convierte en un elemento compatible en magmas intermedios y silícicos donde el apatito es una fase estable.
Ba, Rb	Sustituye al K en micas, feldespato K y en menor medida anfíboles. Un cambio de comportamiento incompatible a compatible en una serie de magma puede indicar un papel cada vez más importante para una de estas fases. El Rb sustituye menos en la hornblenda, que en las micas y el feld-K, así que la relación K/Ba permite distinguir estas fases.
Sr, Eu	Sustituya fácilmente el Ca en la plagioclasa y el K en el feldespato K. La disminución de las concentraciones de Sr indica la eliminación de feldespato de una serie de magmas relacionados. Sr es más incompatible en condiciones de manto debido a la ausencia de feldespato.
REE	Generalmente, los elementos de tierras raras trivalentes son incompatibles en los magmas basálticos. Granate acomoda más fácilmente REE pesados que REE ligeros y un patrón de REE pronunciado pueden indicar que el granate permaneció en un residuo del manto. La titanita prefiere los REE medios. El apatito, la monacita y la allanita tienen coeficientes de partición muy altos para REE livianos; en consecuencia, los REE ligeros son elementos comúnmente compatibles en magmas riolíticos que contienen estos minerales.
Y	Comúnmente incompatibles. Fuertemente particionado en granates y anfíbol. Titanita y apatito también lo concentran, así que su presencia puede ser significativa.

---

## 5. Marco geológico

El *stock* El Carmen, actualmente localizado noroeste de la placa sudamericana, se plantea como el resultado de una zona de subducción al noroeste de Gondwana en el carbonífero (Leal-Mejía, 2011; Varona-Bravo, 2015), relacionada al cierre de una cuenca oceánica entre Laurasia y Gondwana (Moreno-Sánchez *et al.*, 2020), o interpretado también como el producto de un *rift* de corta duración durante el carbonífero, abortado en el pérmico temprano y relacionado con la fase intermedia del aulacógeno de Bolívar (Leal-Mejía *et al.*, 2019). La geología regional alrededor de este cuerpo es muy contrastante, teniendo como estructura principal la falla Otú, que separa dos terrenos geológicos, al Oeste se encuentra el terreno Tahamí y al Este el terreno Chibcha (Restrepo y Toussaint, 1988), al Oeste el terreno Tahamí, alóctono, y el bloque Payande – San Lucas, que hace parte del basamento autóctono de Suramérica, ambos terrenos presentan diferentes historias geológicas (Moreno-Sánchez *et al.*, 2020) (Figura 4).

El *Stock* El Carmen está compuesto por dioritas y tonalitas con afinidad de granitos tipo I, formado durante el Carbonífero (310.6+5.3/-5.2 a 333.1+4.7/-4.8 Ma), donde el ambiente de formación propuesto inicialmente corresponde a un arco continental (Leal-Mejía, 2011; Varona-Bravo, 2016), no obstante, Leal-Mejía *et al.* (2019) reclasifica los granitos, como granitoides “toleíticos” derivados del manto del tipo RTG, donde el ambiente de formación es un *rift* de corta duración, abortado durante el pérmico temprano.

Al Oeste el *Stock* El Carmen se encuentra en contacto fallado con el Complejo Cajamarca (Ávila-Vallejo, 2015). El Complejo Cajamarca (Maya y González, 1995), inicialmente fue descrito como Grupo Cajamarca (Nelson, 1959), está compuesto por neises feldespáticos, esquistos anfibólicos, esquistos cuarzo-micáceos, esquistos cuarzo-sericíticos-grafitosos, esquistos cuarzo-biotíticos (González *et al.*, 2015), con edades de 345–240 Ma, que relacionan un evento metamórfico inicial

con edades de 210-240 Ma relacionadas con la constitución del macro-continente de Pangea y la orogenia Hercínica, edades entre 105-140 Ma, podrían indicar un evento térmico regional relacionado con la intrusión del Batolito Antioqueño y edades de 55-75 Ma, asociadas a la orogenia pre-andina y comienzo de la Andina (Maya y Gonzales, 1995; Gómez *et al.*, 2015; González *et al.*, 2015).

Al Este del *Stock* El Carmen, afloran las Dioritas de Segovia (Gonzales y Londoño, 2002), que inicialmente fueron descritas como “dioritas y cuarzdioritas localizadas principalmente al Este de la Falla Otú” (Feininger *et al.*, 1972) y denominadas como Batolito de Segovia por Álvarez (1983). Este cuerpo está constituido por granodioritas, tonalitas, dioritas, cuarzdioritas, gabros y en menor proporción cuarzomonzodioritas, monzogranitos y sienogranitos con afinidad de granitos tipo I, formadas durante el Jurásico Medio-Superior (152 Ma-167 Ma), en un ambiente de arco magmático continental (González *et al.*, 2015). Este cuerpo al Este está en contacto fallado (Falla Nus; Feininger *et al.*, 1972; González *et al.*, 2015) con las Vulcanitas de Segovia y Sedimentitas de Segovia, donde localmente el contacto puede ser deposicional.

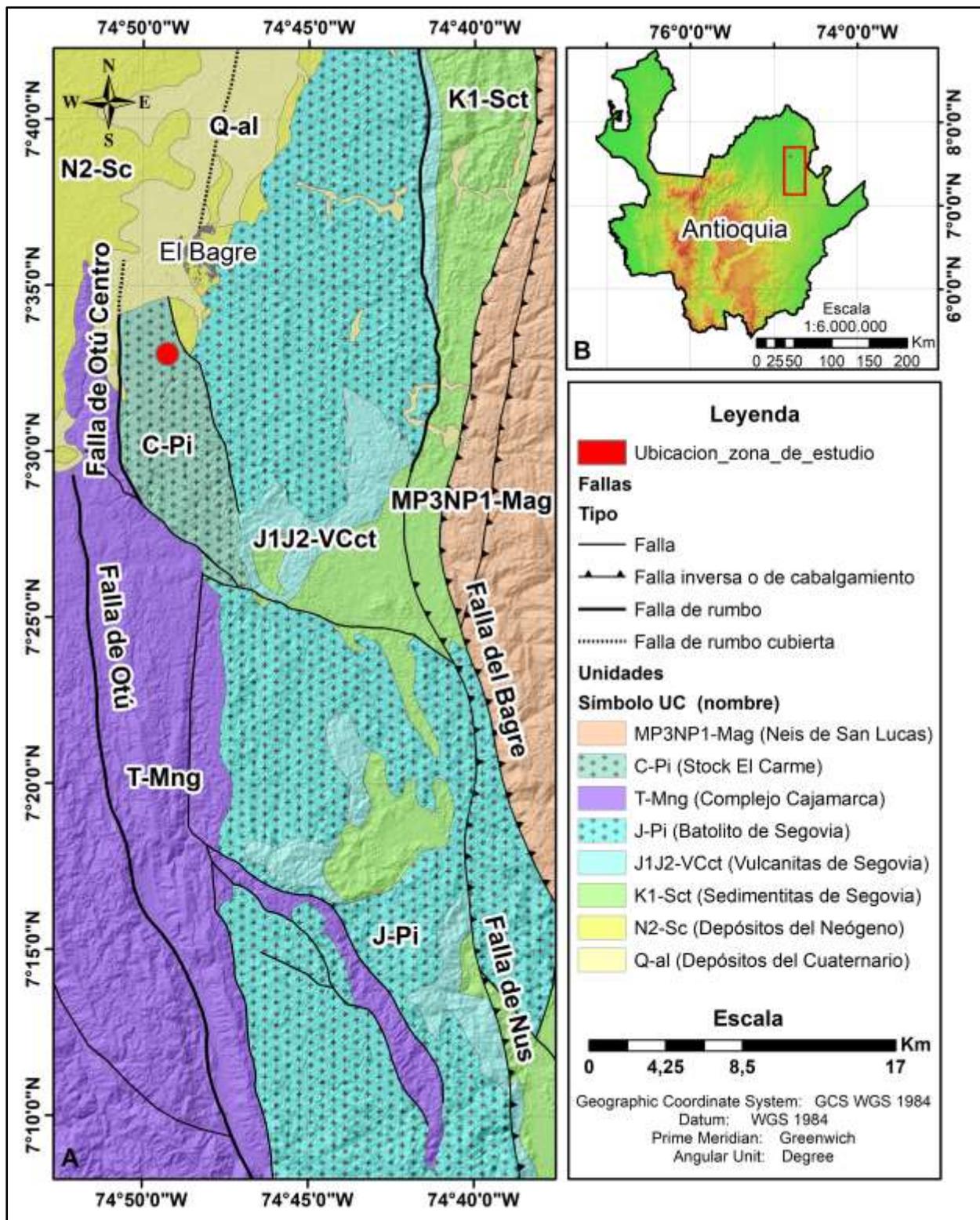
Las vulcanitas de Segovia corresponden a dacitas, andesitas y en menor proporción tobas y latitas (González *et al.*, 2015). Estas rocas se formaron en una margen continental activa durante el Jurásico Medio a Superior y se encuentran infrayaciendo las Sedimentitas de Segovia, se presume que el contacto es discordante (González *et al.*, 2015).

Las Sedimentitas de Segovia (González, 2001; González *et al.*, 2015), inicialmente mencionadas como “rocas volcánicas y sedimentarias del Cretáceo, al Este de la Falla Otú” (Feininger *et al.*, 1972), corresponden a lodolitas, lutitas, lutitas carbonosas, arcillolitas arenosas, calizas, areniscas y conglomerados, formadas en un ambiente de llanura de marea a plataforma interna muy somera de fondo inestable (González *et al.*, 2015), se asigna una edad Cretácico Superior-Paleoceno

(Feininger *et al.*, 1972), sin embargo, posteriormente se le asigna una edad Cretáceo Inferior (González, 1992; González *et al.*, 2015). La unidad de las Sedimentitas de Segovia al Este se encuentra en contacto fallado con el Neis de San Lucas (falla El Bagre; González *et al.*, 2015).

El Neis de San Lucas está compuesto por neises cuarzo-feldespáticos localmente modificados por efectos dinámicos, generando neises miloníticos y protomilonitas. El protolito de esta unidad corresponde a granitos tipo A, post-colisionales formados en un ambiente de arco orogénico, con edades de 1300–1685 Ma para el protolito ígneo, edades de 910–1170 Ma relacionada a un evento metamórfico de grado medio-alto (orogenia Grenviliana) y edades 500-650 Ma asociado a un evento térmico (González *et al.*, 2015).

Las unidades anteriormente descritas están cubiertas por depósitos pliocuaternarios aluviales conformados por intercalaciones de capas de gravas polimícticas, arenas, limos y arcillas, con espesores de hasta de 10 m y depósitos fluviales de canal compuestos por gravas de tamaño gránulo hasta bloque en matriz de arena media a gruesa, clastos principalmente de rocas metamórficas e ígneas que reposan de manera discordantemente sobre el Complejo Cajamarca, la Diorita de Segovia, las Vulcanitas y Sedimentitas de Segovia (González *et al.*, 2015).



**Figura 4.** Mapa de geología regional. Los mapas base fueron tomados de la cartografía del DANE (2020). El mapa geológico fue tomado y modificado de la cartografía del Servicio Geológico Colombiano de Gómez-Tápias *et al.* (2020). **A.** Mapa de geología regional, con la ubicación aproximada de la zona de estudio. **B.** Mapa de Antioquia, con la ubicación del mapa A.

## **6. Metodología**

El estudio se realizó teniendo como base un plan de trabajo que abarca cuatro fases principales, las cuales se llevaron a cabo con la finalidad de tener una trazabilidad y sistematicidad con respecto a la búsqueda, descripción, análisis e interpretación de los datos.

### **6.1. Revisión bibliográfica**

En esta fase se realizó una búsqueda de información en diferentes artículos, trabajos de grado, planchas geológicas disponibles y otros, con el fin de realizar una síntesis del autor que definió la unidad, los autores que han realizado estudios previos en las zonas, las principales descripciones geológicas, petrográficas, geoquímicas, geocronológicas y además de definir la metodología y terminología apropiada a usar en este caso de estudio.

### **6.2. Descripción de núcleos de perforación y toma de muestras**

Se analizaron los núcleos de perforación de once sondeos exploratorios, los cuales fueron previamente extraídos por la compañía Operadora Minera S.A.S. Los pozos a analizar se escogieron teniendo en cuenta que estuviesen distribuidos en forma de tres transectas con tendencia E-W en la zona norte, central y sur del norte del plutón El Carmen (Figura 1), las profundidades y las longitudes de los núcleos son muy variables, van aproximadamente de 100 a 300 metros.

Se realizó el logueo (Figura 5), mediante una descripción detallada de las rocas, usando los principales criterios de clasificación de rocas ígneas (Páez, 2019), como la mineralogía, los parámetros texturales y sus propiedades estructurales, dichas descripciones se asociaron a un punto específico (con coordenadas y profundidades propias) y una fotografía de la muestra de mano.

Se preseleccionaron 51 muestras, de las cuales se tomaron 18 muestras para realizar descripciones microscópicas, teniendo en cuenta como criterio su variabilidad mineralógica y textural.



**Figura 5.** Cajas con núcleos de perforación. El logueo se realiza de izquierda a derecha, de menor a mayor profundidad, con ayuda de los tacos que muestran datos de profundidad y teniendo en cuenta la sucesión de las cajas.

### 6.3. Petrografía

Se realizaron 18 secciones delgadas, a partir de las muestras seleccionadas previamente, estas fueron hechas en el laboratorio MINERLAB. El análisis se hizo en el laboratorio de petrografía de la Universidad de Caldas, en un microscopio petrográfico de luz transmitida NIKON E200.

El análisis de las rocas se realizó según los parámetros establecidos por la unión internacional de ciencias geológicas (IUGS), representados en Le Maitre *et al.* (2002). Se tuvieron en cuenta como parámetros de clasificación grado de cristalinidad, textura, tamaño, forma de los cristales. Las abreviaturas utilizadas para los nombres de los minerales se tomaron de Whitney y Evans (2010) en donde: Qz: Cuarzo; Pl: Plagioclasa; Amp: Anfíbol; Bt: Biotita; Ap: Apatito; Zrn: Circón; Ser:

Sericita, Sau: Saussurita; Chl: Clorita; Tnt: Titanita; Ep: Epidota; Zo: Zoisita; Czo: Clinozoisita; Cb: Carbonatos; Opq: Minerales opacos; Aln: Allanita.

En total, se realizó un conteo modal de 600 puntos por cada sección delgada a partir de 32 fotografías tomadas con el objetivo de 4x, reconstruidas en el programa de uso libre Image Composite Editor (Microsoft., 2011), para después ser procesadas también en el software de uso libre Image-J (Rasband, 1997), en el cual se insertó una malla de 1mm por un milímetro, que permitió hacer el registro del conteo de las fases minerales punto por punto a partir de la imagen generada y la comparación de la sección delgada al microscopio en simultáneo.

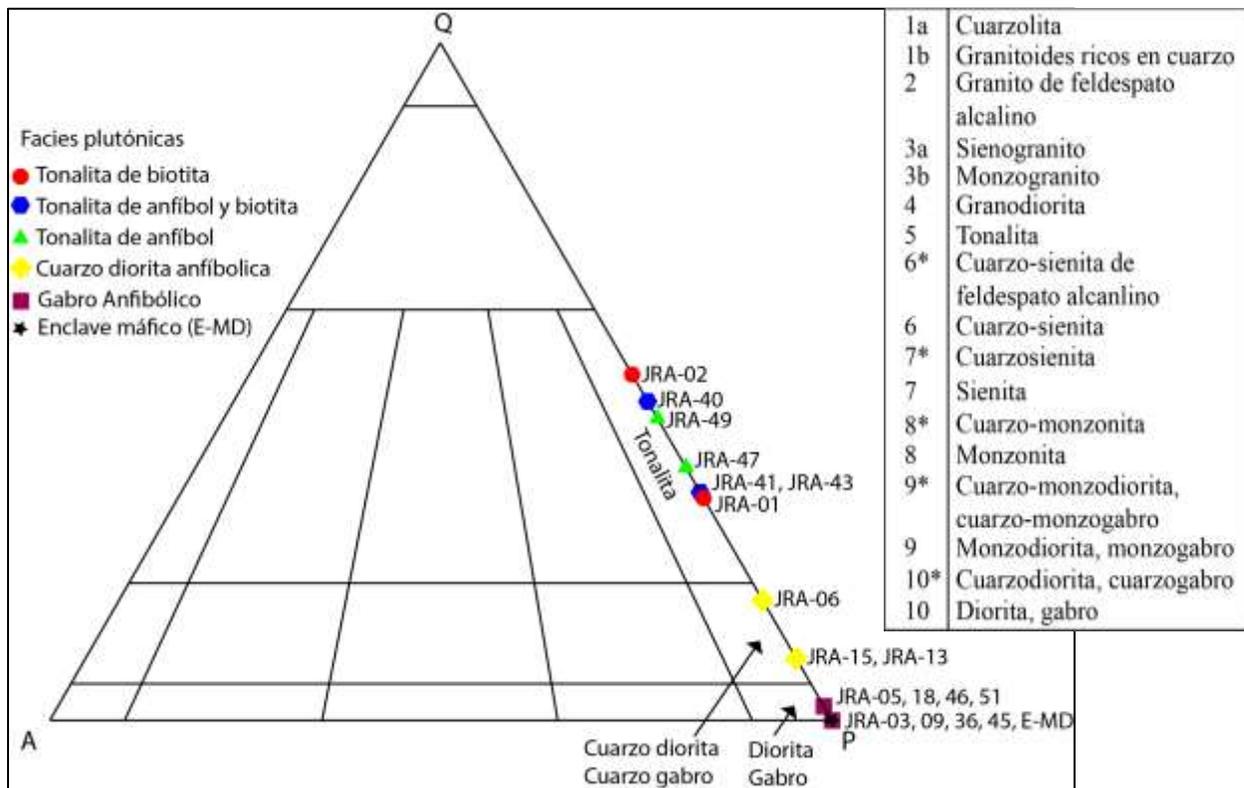
#### **6.4. Análisis e interpretación de datos**

Se propusieron las facies y asociaciones de facies plutónicas, tomando como referencia el término de asociaciones de facies petrográficas dado por Vlash (1985, 1993) y el término facies plutónicas dado por Ulbrich *et al.* (2001), por tanto, se separaron según la mineralogía, propiedades texturales y estructurales que fueron descritas previamente mediante los análisis petrográficos, estas facies y asociaciones de facies se correlacionaron con las descripciones realizadas en los análisis de núcleos, el mapa realizado por Ávila-Vallejo (2015) y se propuso un mapa que representa su distribución en el espacio.

Se relacionaron los resultados mineralógicos y texturales con los datos geoquímicos obtenidos por Leal-Mejía (2011); Varona-Bravo (2016) y con datos de geocronología obtenidos por Leal-Mejía (2011), para plantear los probables procesos, la evolución de dichas rocas y brindar una posible idea sobre el magmatismo en las estribaciones noroccidentales de la cordillera central de Colombia para el Carbonífero.

## 7. Resultados

Para el plutón de El Carmen se realizó la descripción de aproximadamente 2.100 metros de núcleos de perforación dentro de los cuales se seleccionaron 18 secciones delgadas distribuidas entre las dos asociaciones de facies principales, después de un análisis macroscópico y microscópico detallado se determinaron 5 facies, 2 pertenecientes a la asociación de facies de gabros-cuarzodioritas y 3 perteneciente a la asociación de facies de tonalitas, las cuales son descritas a continuación.



**Figura 6.** Clasificación modal de secciones delgadas representativas del plutón El Carmen. Se clasificaron de acuerdo al diagrama cuarzo-feldespatos alcalino-plagioclasa (QAP) de Streckeisen (1976).

### 7.1. Asociación de facies de gabros-cuarzodioritas (Gab-QzDio)

Aflora principalmente en el sector Este de la zona de estudio y ocupa aproximadamente el 45%vol del área (Sondeos BSARDDH\_010, BSARDD\_021, ZaSY\_139, ZaSY\_210, BLMDDH\_18\_009 y BLMDDH\_18\_011) como se muestra en la Tabla 2 y en la Figura 22, agrupa dos facies plutónicas que se diferencian principalmente por la presencia de cuarzo como mineral principal (Tabla 10), microscópicamente la mayoría de las muestras según la nomenclatura de la IUGS se clasifican como gabros anfibólicos (muestras JRA-03, JRA-05, JRA-09, JRA, 18, JRA-36, JRA-45, JRA-46 y JRA-51) y en menor medida como cuarzodioritas anfibólicas (muestras JRA-06, JRA-13 y JRA-15) como se muestra en la Figura 6 y en la Figura 10, la relación entre estas dos facies muestra límites transicionales, dados por la aparición de cuarzo, las facies se presentan intercaladas entre sí a una escala de metros y deben ser mapeadas en conjunto como asociación de facies (Figura 22).

**Tabla 2.** Listado de núcleos y secciones delgadas correspondientes a la asociación de facies de gabros-cuarzodioritas. Se relacionan los núcleos con sus coordenadas, las muestras escogidas para secciones delgadas y la profundidad donde se tomaron las mismas.

Asociación de facies	Núcleo de perforación	Coordenadas del pozo	Muestras con sección delgadas	Profundidad Promedio (m)
Gabros-cuarzodioritas	BLMDDH_18_009	N 1328780,79 E 919808,72	JRA-03	13,25
			JRA-05	42,5
			JRA-06	18,5
			JRA-09	103
			JRA-13	190
			JRA-15	200
			JRA-18	277
	BLMDDH_18_011	N 1328780,71 E 919808,98	JRA-36	235
	ZaSY_139	N 1327964,19 E 919806,24	JRA-45	175
	ZaSY_210	N 1327933 E 919161,92	JRA-46	220
		N 1327933 E 919161,92	JRA-51	115
	BSARDDH_010	N 1328455,42 E 921105,59	-	-
	BSARDDH_21	N 1329524,33 E 920893,03	-	-



**Figura 7.** Cajas de núcleos de perforación correspondientes a la asociación de facies de gabros-cuarzodioritas. **A.** Núcleo BLMDDH\_18\_009, a una profundidad de 107,6-115,2m, donde se observa variación en tamaño de grano de los gabros-cuarzodioritas, que son cortadas por venillas de cuarzo y carbonatos. **B.** Núcleo ZaSY\_210, a una profundidad de 140,65-154,45m, donde se observa que los gabros-cuarzodioritas presentan variación en el tamaño de grano y que están siendo intruidas por la asociación de facies de tonalitas y por venillas de cuarzo y carbonatos.

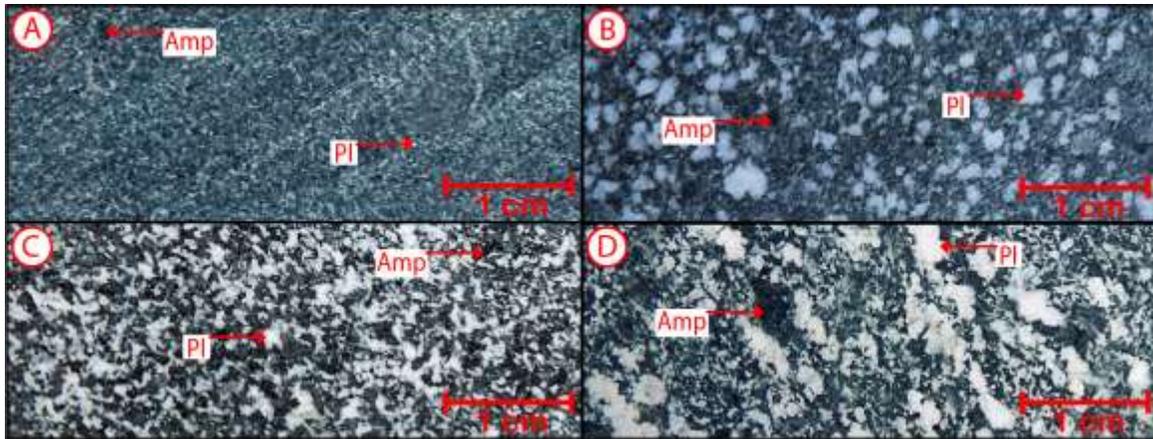
### 7.1.1. Descripción en muestra de mano

Macroscópicamente la facies de gabros anfibólicos y la facies de cuarzodioritas anfibólicas presentan leves similitudes texturales, sin embargo, se pueden diferenciar por el tamaño de grano y la presencia de cuarzo.

#### 7.1.1.1. Facies de gabros anfibólicos (Gab-Amp)

En muestra de mano el grado de cristalinidad de esta facies es holocristalina, fanerítica, inequigranular, con índice de color mesocrático y color general que varía entre gris oscuro moteado y gris verdoso moteado por alteración (Figura 8). El tamaño de grano predominante es fino a medio y ocasionalmente fino y la mineralogía está representada por plagioclasa y anfíbol (Figura 8 A). La plagioclasa (35-60%vol), presenta con hábito tabular subhedral, rara vez con leve orientación (Figura 8 D), color blanco y ocasionalmente de tonalidad verde o rosa, los tamaños varían entre 1 y 7mm. El anfíbol (40-65%vol) con tamaños entre 1 y 5 mm, se observa con hábito prismático anhedral a subhedral, y en corte basal con dos direcciones de exfoliación (56 - 124°). El color de esta fase mineral (Figura 8 D) varía de negro a verde oscuro, (Anexo 1: Formatos de logueo). Esta

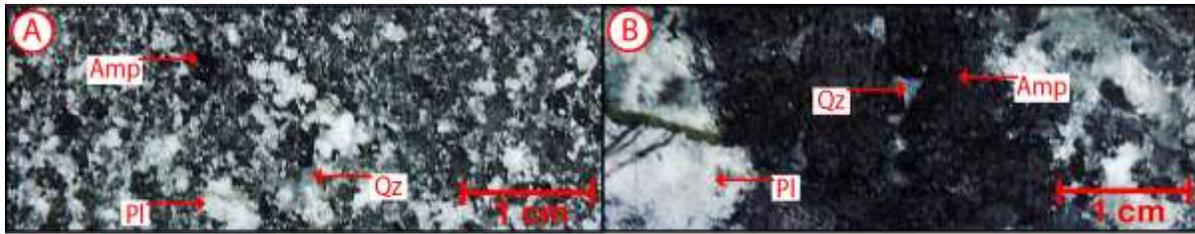
facies es cortada por diques volcánicos, subvolcánicos, vetas y venillas que generan una fuerte alteración hidrotermal.



**Figura 8.** Muestras de mano de la facies de gabros anfibólicos. Las rocas presentan colores que van de gris moteado hasta verde moteado, con textura holocristalina, fanerítica, inequigranular, con variaciones evidentes en el tamaño de grano. **A.** Muestra JRA-18. **B.** Muestra JRA-51. **C.** Muestra JRA-09. **D.** Muestra JRA-05. Los núcleos y metraje relacionados a las muestras en Tabla 2.

#### **7.1.1.2. Facies de cuarzodioritas anfibólicas (QzDio-Amp)**

En muestra de mano el grado de cristalinidad para esta facies es holocristalina, fanerítica, inequigranular, con índice de color mesocrático a melanocrático y color general moteado hasta gris verdoso moteado por alteración (Figura 9), tamaño de grano predominante fino a medio, ocasionalmente medio a grueso. La mineralogía principal de esta facies está representada por plagioclasa, anfíbol y en menor proporción cuarzo. La plagioclasa (25-55%vol) con tamaños que varían de 1 a 6 mm, con hábito tabular subhedral, color blanco, ocasionalmente con tonalidad verde o rosa. El anfíbol (40-45%vol) con hábito prismático anhedral a subhedral, esporádicamente se presenta en cúmulos donde alcanza un 65%vol (Figura 9 B), color negro a verde oscuro, exfoliación en dos direcciones y tamaños de 1-10mm. El cuarzo (5-10%vol) incoloro, anhedral, rellenando espacios entre minerales con tamaños de 1 y 5 mm (Anexo 1: Formatos de logueo). Esta facies es cortada por diques volcánicos, subvolcánicos, vetas y venillas que generan alteración hidrotermal.



**Figura 9.** Muestras de mano de la facies de cuarzodioritas anfibólicas. Las rocas presentan colores que van de moteado hasta gris verdoso moteado, textura holocristalina, fanerítica, inequigranular, con variaciones muy drásticas en el tamaño de grano. **A.** Muestra JRA-06 que presenta cuarzo, anfíbol y plagioclasa con tamaño de grano fino a medio. **B.** Muestra JRA-13 que presenta cuarzo, anfíbol y plagioclasas. Los núcleos y metraje relacionados a las muestras en Tabla 2.

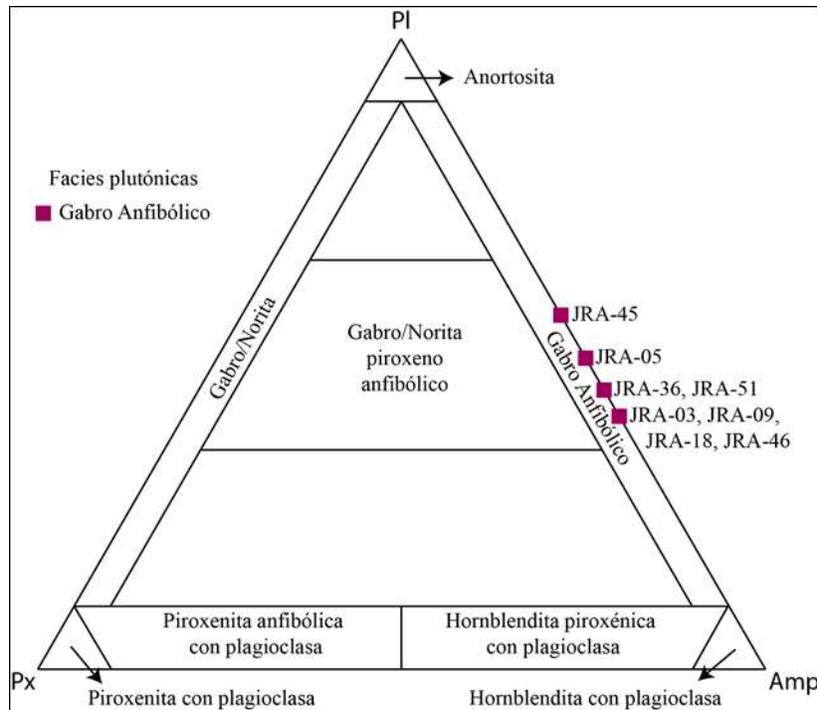
### 7.1.2. Descripción microscópica

#### 7.1.2.1. Facies de gabros anfibólicos (Gab-Amp)

Presentan textura holocristalina, fanerítica, inequigranular, hipidiomórfica, principalmente de tamaño de grano fino a medio (Figura 11). La composición mineral principal es plagioclasa y anfíbol y como minerales accesorios apatito y circón. A modo de productos de alteración fases minerales como saussurita, sericita, clorita, zoisita/clinozoisita, epidota y carbonatos además de minerales opacos remplazando anfíboles. Estas facies son atravesadas por venillas de principalmente de cuarzo y carbonatos, en menor proporción zoisita/clinozoisita y epidota (Tabla 3).

**Tabla 3.** Composición modal de la facies de gabros anfibólicos. Los porcentajes de los minerales primarios no incluyen sus productos de alteración, están dados por separado. IC (%): Índice de color.

Muestra	Minerales principales					Minerales secundarios										IC (%)	
	Félsicos		Máficos	Accesorios		Alteración					Introducción						
	Qz	Pl	Amp	Ap	Zr n	Ser	Sau	Cb	Chl	Ep	Zo/ Czo	Cb	Ep	Zo/ Czo	Opq		Qz
JRA-03	0,0	12,7	41,8	0,2	0,0	3,2	10,8	1,0	9,0	3,0	8,4	1,3	2,1	5,0	0,6	0,9	52,4
JRA-05	0,9	0,2	43,1	0,8	0,0	6,5	34,3	0,5	5,0	3,4	3,7	0,6	0,0	0,0	0,6	0,5	50,5
JRA-09	0,0	7,0	55,8	0,3	0,1	0,3	24,3	0,0	0,8	5,7	4,9	0,2	0,0	0,0	0,8	0,0	59,8
JRA-18	0,7	17,5	58,1	0,0	0,0	2,2	6,6	0,0	2,2	8,1	4,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	64,4
JRA-36	0,3	8,6	53,3	0,3	0,0	26,5	6,7	0,0	0,5	0,8	2,8	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0	54,5
JRA-45	0,0	3,7	40,4	0,0	0,0	15,8	32,0	1,4	0,3	5,4	0,7	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	43,4
JRA-46	1,2	1,7	53,6	0,2	0,0	3,2	22,6	0,0	4,3	4,8	7,4	0,6	0,0	0,0	0,3	0,1	60,4
JRA-51	1,2	13,2	36,3	0,0	0,0	1,3	22,5	0,0	14,2	0,7	10,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,0	50,8



**Figura 10.** Clasificación modal de secciones delgadas de la facies de gabros anfibólicos, donde todas las muestras se encuentran en el campo de gabros anfibólicos Streckeisen (1976).

**Plagioclasa.** Su contenido modal varía entre 34 y 56%vol, se encuentra en hábito tabular, subhedral, incoloro con aspecto turbio, tamaño de grano fino a medio (0,2 - 4,5mm), con color de interferencia gris de primer orden, con maclas simple, polisintética y compleja (Figura 11 D y F) y ocasionalmente incluido en anfíbol, configurando una textura poiquilítica. Este mineral está casi totalmente alterado a saussurita y en menor medida a sericita, epidota, zoisita/clinozoisita y carbonatos.

**Anfíbol.** Modalmente varía entre 43 y 64%vol, con tamaño de grano de fino a medio (0,2 - 4mm), hábito prismático, hexagonal, subhedral y ocasionalmente euhedral, (Figura 11 B y C). Esta fase mineral presenta pleocroísmo en tono verde-azulado a verde-marrón o verde-amarillento. Los cortes basales permiten ver exfoliación en dos direcciones, ángulo de extinción promedio de 20°. En cuanto a los colores de interferencia es posible distinguir dos grupos, el primero amarillo a naranja de primer orden donde los cristales presenta generalmente macla simple y el segundo

donde los colores son azul violáceo a verde de segundo orden donde además de macla simple presentan zonación (Figura 11 C). Los anfíboles se encuentran moderadamente alterados a clorita, epidota, carbonatos y están siendo remplazado por minerales opacos y raramente se presenta como cúmulos que muestran leve orientación de cristales.

**Cuarzo.** Su contenido modal varía entre 0 y 1,2 %vol, anhedral, incoloro limpio, con tamaño de grano fino (0,1-0,5mm) y color de interferencia gris de primer orden. Se encuentra rellenando espacios entre anfíboles y plagioclasa.

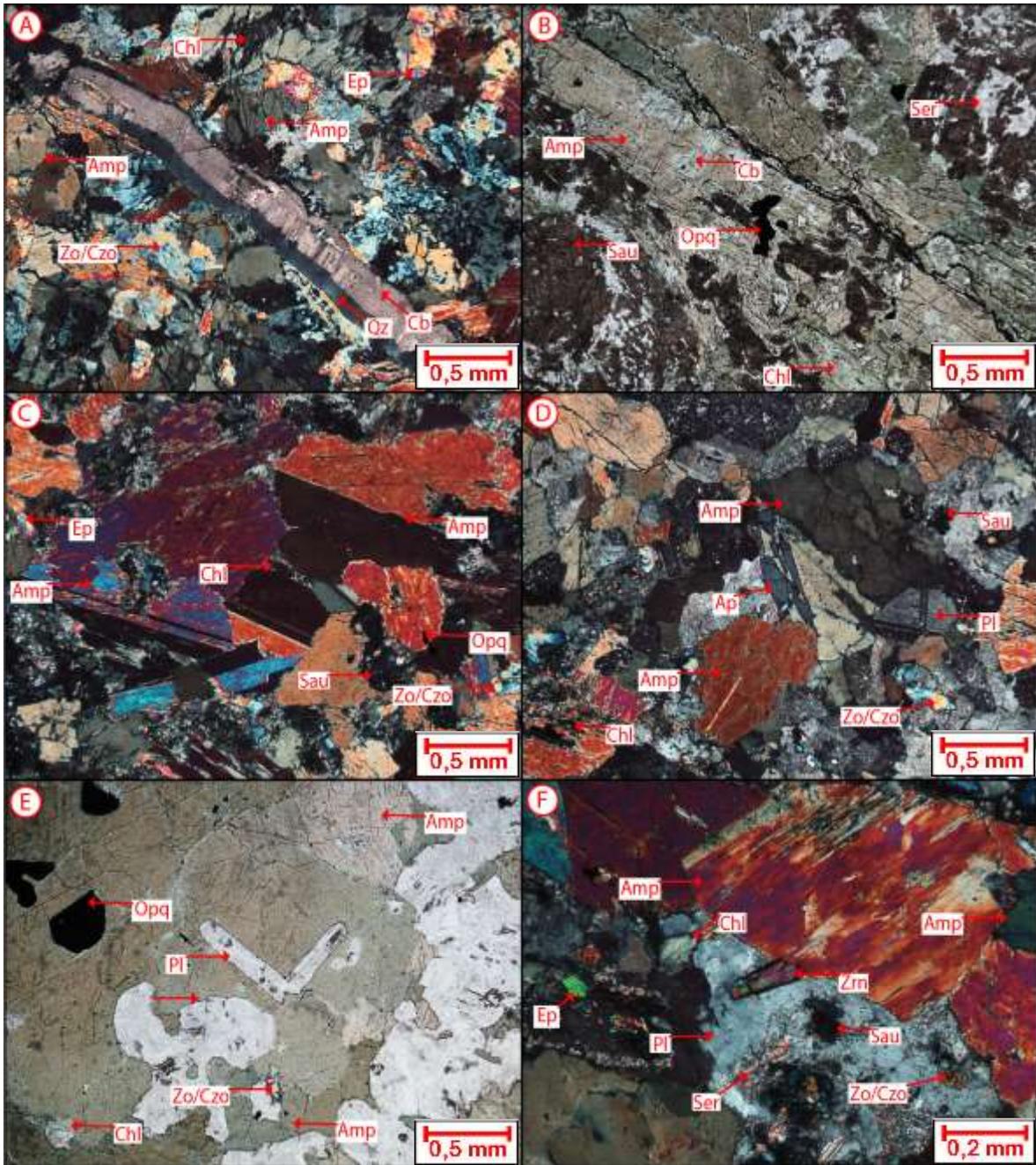
**Apatito.** El contenido varía modalmente entre 0 y 0,77%vol, con tamaño de grano fino (0,1-0,6mm), su forma es prismático, euhedral e incoloro y color de interferencia gris de primer orden. El relieve de esta mineral es alto y además presenta elongación negativa y extinción recta. Habitualmente esta fase puede ser observado incluido en cristales de plagioclasa y anfíbol, configurando una textura poiquilítica (Figura 11 D).

**Circón.** Su aparición es muy esporádica, con un contenido modal entre 0 y 0,06%vol y tamaño de grano fino (0,2mm). Este mineral presenta hábito prismático, euhedral, incoloro, y con colores de interferencia violeta, verde y azul de tercer orden. El relieve es alto y presenta extinción recta, incluido en plagioclasa y en contacto con anfíbol (Figura 11 E).

**Minerales secundarios.** Como minerales de alteración de la plagioclasa se encontró principalmente saussurita y sericita, en menor medida epidota, zoisita/clinozoisita y carbonatos (Figura 11). La epidota y la zoisita/clinozoisita se presentan en agregados xenomorfos, incoloros a ligeramente coloreados en amarillo, tamaño de grano fino (<1mm), relieve alto, con colores de interferencia gris azulado a gris amarillento de primer orden para la zoisita/clinozoisita y colores de interferencia de muy alto orden variando en un mismo grano (manto de arlequín) para la epidota.

Como alteración del anfíbol se encontró principalmente clorita, en menor medida epidota y carbonatos (Figura 11), la clorita se presenta en hábito laminar, anhedral, pleocroísmo débil de verde muy claro a verde medio, exfoliación en una dirección, con colores de interferencia gris de primer orden y marrón anómalo.

Los minerales de introducción están representados cuarzo y carbonatos en venillas, las cuales a veces pueden contener epidota y zoisita/clinozoisita (Figura 11 A). minerales opacos se observan reemplazando los anfíboles.



**Figura 11.** Fotomicrografías de la facies de gabros anfibólicos. (A-E) objetivo de 4X, (F) objetivo de 10X, (A, C, D, E y F) polarizadores cruzados (XPL) y (B) polarizadores paralelos (PPL). A. Venilla de cuarzo y carbonatos, anfíboles alterados a clorita, presencia de zoisita/clinozoisita y epidota como producto de alteración de las plagioclasas. B. Anfíboles alterados a clorita y carbonatos, siendo reemplazados por minerales opacos, saussurita y sericita como producto de alteración de plagioclasas. C. Cúmulo de anfíboles, algunos con zonación, leve alteración a clorita y epidota, siendo reemplazado por minerales opacos, presencia de zoisita/clinozoisita como producto de alteración de plagioclasas. D. Apatitos incluidos en anfíbol, que a su vez esta levemente alterado a clorita, plagioclase alterada a zoisita/clinozoisita y saussurita. E. Plagioclasas incluidas en anfíbol, el cual a su vez está siendo reemplazado por minerales opacos y alterándose a clorita. F. Círcón incluido en plagioclase, que a su vez se encuentra alterada a sericita, saussurita, zoisita/clinozoisita y epidota en contacto con anfíboles alterados a clorita.

### 7.1.2.2. Facies de cuarzodioritas anfibólicas (QzDio-Amp)

Esta facies está caracterizada por una textura holocristalina, fanerítica, inequigranular, hipidiomórfica, principalmente de tamaño de grano fino a medio, ocasionalmente medio a grueso (Figura 12). La composición mineral principal es plagioclasa, cuarzo y anfíbol, y como accesorios biotita y apatito, además, como producto de alteración saussurita, sericita, clorita, zoisita/clinozoisita, epidota y carbonatos fueron observados. Minerales de introducción se observaron a manera venillas compuestas por carbonatos, que ocasionalmente contienen epidota y zoisita/clinozoisita. Adicionalmente se observó la presencia de minerales opacos reemplazando minerales máficos (Tabla 4).

**Tabla 4.** Composición modal de la facies de cuarzodioritas anfibólicas. Los porcentajes de los minerales primarios no incluyen sus productos de alteración, están dados por separado.

Muestra	Minerales primarios					Minerales secundarios										IC (%)
	Félsicos		Máficos		Accesorios	Alteración						Introducción				
	Qz	Pl	Amp	Bt		Ap	Ser	Sau	Cb	Chl	Ep	Zo/Czo	Cb	Ep	Zo/Czo	
JRA-06	8,9	14,0	43,2	0,2	0,3	9,5	18,8	0,0	1,6	0,8	1,3	0,8	0,0	0,0	0,6	45,7
JRA-13	1,8	2,7	61,1	0,0	0,0	3,3	17,0	0,4	13,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	74,4
JRA-15	4,2	4,6	45,7	0,5	0,2	6,2	31,6	0,0	1,7	2,0	1,8	0,2	0,5	0,2	0,8	49,0

**Plagioclasa.** El contenido modal varía entre 23 y 45%vol, de tamaño de grano fino a medio (0,3-5mm), de hábito es tabular, subhedral, incoloro con aspecto turbio, y color de interferencia gris de primer orden. Esta fase mineral presenta macla simple, polisintética y compleja, y ocasionalmente se encuentra incluida en anfíbol, constituyendo una textura poiquilítica (Figura 12 C). Como mineral de alteración predomina se encuentra la saussurita que reemplaza los cristales casi en su totalidad, y en menor medida a sericita, epidota, zoisita/clinozoisita y carbonatos.

**Anfíbol.** Modalmente varía entre 45 y 48%vol, alcanza el 74%vol en la muestra JRA-13, de tamaño de grano en general es de fino a medio (0,3-5mm) y raramente alcanza tamaño grueso

(10mm). El hábito es prismático, hexagonal, subhedral y ocasionalmente euhedral, el pleocroísmo varió de verde-azulado a verde-marrón o verde-amarillento, (Figura 12 A). Los cortes basales permiten ver tamaño y exfoliación en dos direcciones, el ángulo de extinción promedio de 20° y en cuanto a los colores de interferencia es posible distinguir dos grupos de anfíboles. El primer presenta colores es amarillo a naranja de primer orden y donde los cristales presentan generalmente macla simple. En el segundo grupo los cristales muestran colores azul violáceo a verde de segundo orden, que además de macla simple, presentan zonación (Figura 12 C). Esta fase mineral raramente se observa formando cúmulos que pueden estar alterados a clorita, epidota, carbonatos y algunas veces remplazada por minerales opacos.

**Cuarzo.** El contenido varía entre 1,76 y 8,86%vol, y el tamaño de grano es fino (0,1-1,0mm), sin embargo, en las zonas de cúmulos de anfíboles puede llegar a hasta medio (2-3mm), de forma anhedral, incoloro limpio, con color de interferencia gris de primer orden (Figura 12), Este mineral se encuentra rellenando espacios entre anfíboles y plagioclasas.

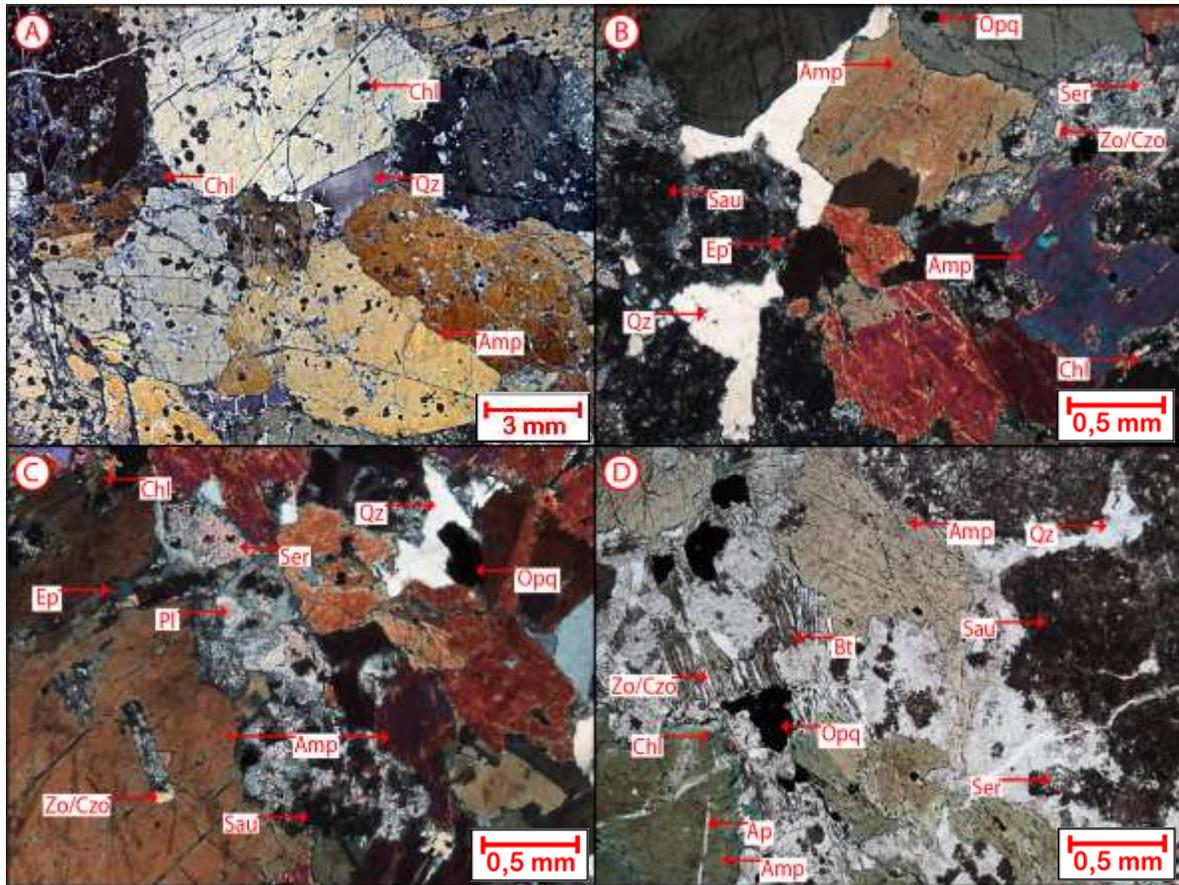
**Biotita.** La aparición de esta fase mineral es muy esporádica, el contenido modal varía entre 0 y 0,46%vol, con tamaño de grano fino (<1mm), y asociado a los bordes de los anfíboles (Figura 12 D). El hábito es laminar anhedral, con pleocroísmo marrón claro a oscuro, y colores de interferencia enmascarados por el color del mineral, exfoliación en una dirección, extinción recta y alterado casi en su totalidad a clorita. En los planos de exfoliación, de este mineral aparecen cristales de epidota y zoisita/clinozoisita.

**Apatito.** Su contenido modal varía entre 0 y 0,32%vol, tamaño de grano fino (0,1-0,4mm,) y hábito prismático, euhedral, incoloro, con color de interferencia gris de primer orden. El relieve es alto, elongación negativa, extinción recta y generalmente incluido en la plagioclasa y el anfíbol, configurando una textura poiquilítica (Figura 12 D).

**Minerales secundarios.** Como minerales de alteración de la plagioclasa se encontró principalmente saussurita y sericita, en menor medida epidota, zoisita/clinozoisita y carbonatos (Figura 12), la epidota y la zoisita/clinozoisita se presentan en agregados xenomorfos, incoloros a ligeramente coloreados en amarillo, tamaño de grano fino (<1mm), relieve alto, con colores de interferencia gris azulado a gris amarillento de primer orden para la zoisita/clinozoisita y colores de interferencia de muy alto orden variando en un mismo grano (manto de arlequín) para la epidota. Como minerales de alteración del anfíbol se encontró principalmente clorita, en menor medida epidota y carbonatos (Figura 12).

Como minerales de alteración de la biotita se encontró clorita y zoisita/clinozoisita relleno los planos de exfoliación.

Los minerales de introducción se encuentran a manera de venillas, constituidas por carbonatos, epidota y zoisita/clinozoisita. En ocasiones minerales opacos son observados reemplazando anfíboles y biotitas.



**Figura 12.** Fotomicrografías de la facies de cuarzodioritas anfibólicas. (A) compilado de varias microfotografías en 4X, (B-D) 4X, (A-C) XPL y (D) PPL. A. Cúmulo de anfíboles de grano grueso alterados a clorita y con cuarzo relleno espacios entre ellos. B. Saussurita, sericita, epidota y zoisita/clinozoisita producto de alteración de plagioclasas, anfíboles levemente alterados a clorita y siendo reemplazados por minerales opacos, uno de ellos presenta zonación, adicionalmente cuarzo relleno espacios entre minerales. C. plagioclasas alterándose a zoisita/clinozoisita, sericita y saussurita, una de ellas poiquilítica en anfíbol, que a su vez esta levemente alterado a clorita, epidota y siendo reemplazado por minerales opacos, además cuarzo relleno espacios entre minerales. D. Biotita con crecimiento de zoisita/clinozoisita en los planos de exfoliación, en contacto con anfíboles levemente alterados a clorita y uno de ellos con apatitos incluidos, además saussurita y sericita como producto de alteración de plagioclasas, cuarzo relleno espacios entre minerales y minerales opacos reemplazando máficos.

## 7.2. Asociación de facies de tonalitas (Ton)

Afloran principalmente en el sector Oeste de la zona de estudio y ocupa aproximadamente el 55%vol del área (perforaciones BCDDH\_21\_107, BGDDH\_061, ECDDH\_065, ZaSY\_124 y ZaSY\_199) como se muestra en la Tabla 5 y Figura 22. Agrupa tres facies plutónicas, que se diferencian principalmente por el contenido de minerales máficos (Tabla 10) y en menor medida por su textura (Figura 16). Microscópicamente las rocas se clasifican como tonalitas de biotita (muestras JRA-01 y JRA-02), tonalitas de anfíbol y biotita (muestras JRA-40, JRA-41 y JRA-43) y tonalitas de anfíbol (muestras JRA-47 y JRA-49) como se muestra en la Figura 6. La relación entre las facies muestra límites transicionales marcados por la aparición o desaparición de una fase máfica, las facies de tonalitas de biotita y tonalitas de anfíbol y biotita presentan extensiones de kilómetros, pueden ser mapeadas de forma individual (Figura 22).

**Tabla 5.** Listado de núcleos de perforación y secciones delgadas correspondientes a la asociación de facies de tonalitas. Se relacionan los núcleos con sus coordenadas, las muestras escogidas para secciones delgadas y la profundidad donde se tomaron las mismas.

Asociación de facies	Facies	Núcleo	Coordenadas del pozo	Muestras con secciones delgadas	Profundidad Promedio (m)	
Tonalitas	Tonalitas de biotita	ZaSY_199	N 1328159,89 E 918036,96	JRA-01 JRA-02	83,9 46,5	
		BGDDH_061	N 1324880,16 E 918230,05	-	-	
		ECDDH_065	N 1325408,03 E 919336,08	-	-	
		BCDDH_21_107	N 1325601,435 E 919771,571	-	-	
		Tonalitas de anfíbol y biotita	SaSY_124	N 1326861,43 E 918028,98	JRA-40 JRA-41 JRA-43	45 118 147
			Tonalitas de anfíbol	BSARDDH_010	N 1328455,42 E 921105,59	JRA-47 JRA-49



**Figura 13.** Cajas de núcleos de perforación correspondientes a la asociación de facies de tonalitas. **A.** Núcleo ZaSY\_124, a una profundidad de 155,1-163,0m, donde se observa una variación leve en la concentración de máficos en la facies de tonalitas de anfíbol y biotita, que son cortadas por un dique afanítico. **B.** Núcleo BCDDH\_21\_107, a una profundidad de 31,7-40,45m, donde se observa que la facies tonalitas de biotita presentan menor concentración de máficos respecto a las tonalitas de anfíbol y biotita, además están siendo intruidas por venillas de cuarzo y carbonatos.

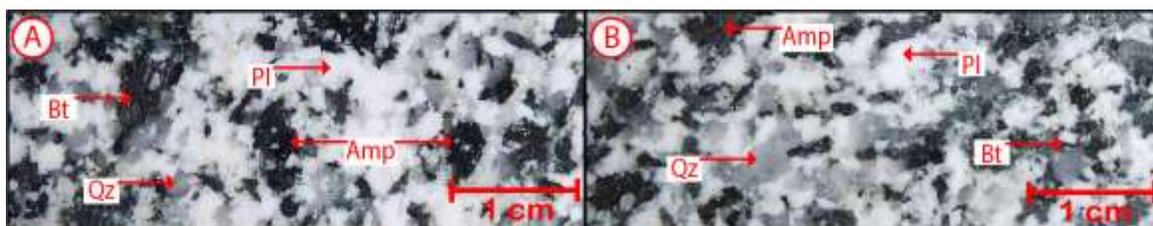
### 7.2.1. Descripción en muestra de mano

Macroscópicamente las facies de tonalitas de biotita, tonalitas de anfíbol y biotita y tonalitas de anfíbol se diferencian texturalmente y por la presencia de anfíbol y biotita como mineral principal.

#### 7.2.1.1. Facies de tonalitas de anfíbol y biotita (*Ton-Amp+Bt*)

En muestra de mano el grado de cristalinidad para esta facies es holocristalina, fanerítica, inequigranular, con índice de color leucocrático, color general gris claro moteado (Figura 14) y tamaño de grano fino a grueso. La mineralogía principal es plagioclasa, cuarzo, anfíbol y biotita. La plagioclasa (50-60%vol) con tamaños de 1 a 8 mm, hábito tabular subhedral, color blanco, ocasionalmente con tonalidad verde o rosa. El cuarzo (20-25%vol) es el segundo mineral en orden de abundancia, con tamaños que varían entre 1 a 6 mm, anhedral, incoloro, principalmente se encuentra relleno de espacios. El anfíbol (5-15%vol) se encuentra como mineral accesorio con tamaños entre 1 a 5 mm, hábito prismático anhedral a subhedral, color verde oscuro, exfoliación en dos direcciones. La biotita (5-10%vol) se encuentra con tamaños de 1-5mm está casi totalmente cloritizada, y presenta hábito laminar subhedral a anhedral, color negro, exfoliación en una

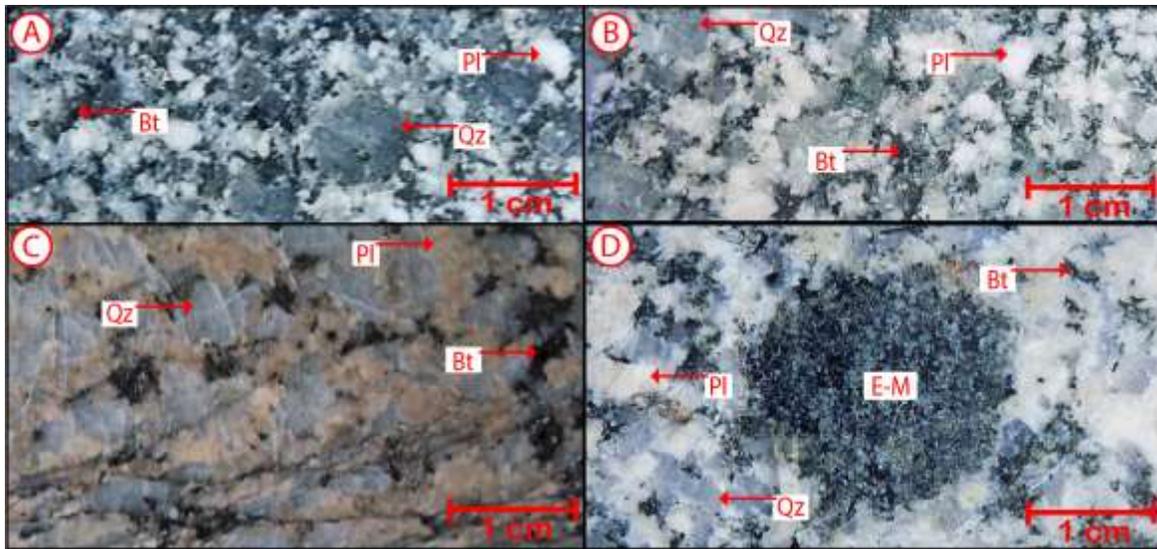
dirección (Anexo 1: Formatos de logueo). Esta facies ocupa aproximadamente el 25%vol del área de estudio (Figura 22), presenta enclaves máficos y es cortada por diques volcánicos, subvolcánicos, vetas y venillas, que a su vez generan alteración hidrotermal.



**Figura 14.** Muestras de mano de la facies de tonalitas de anfíbol y biotita. Las rocas presentan color gris claro moteado, con textura holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano fino a grueso. **A.** Muestra JRA-41. **B.** Muestra JRA-40. Los núcleos y metraje relacionados a las muestras en Tabla 5.

#### **7.2.1.2. Facies de tonalitas de biotita (Ton-Bt)**

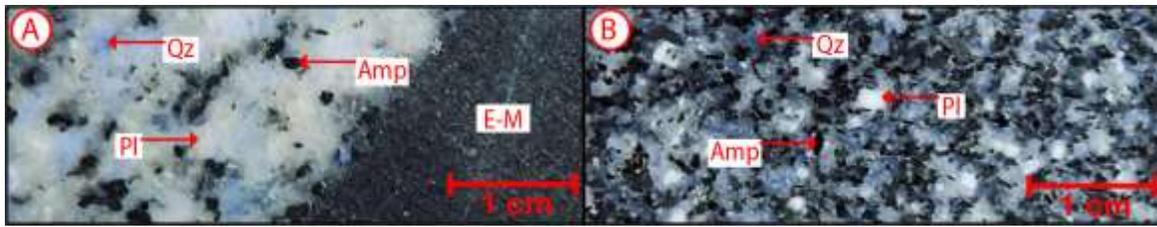
En muestra de mano el grado de cristalinidad para esta facies es holocristalina, fanerítica, inequigranular, levemente porfirítica, con índice de color leucocrático y color general gris claro moteado y hasta rosa moteado por alteración (Figura 15), tamaño de grano fino a grueso, su mineralogía principal es plagioclasa, cuarzo y biotita. La plagioclasa (50-65%vol) con hábito tabular subhedral, color blanco, ocasionalmente con tonalidad verde o rosa y tamaños de 1-8mm. El cuarzo (20-30%vol), con tamaños que varían de 1-12mm, incoloro, principalmente anhedral rellenando espacios entre otros minerales y ocasionalmente se observa como fenocristal (Figura 15 A). La biotita (5-15%vol), cloritizada, presenta hábito laminar subhedral a anhedral, color negro, exfoliación en una dirección y tamaños de 1-6mm (Anexo 1: Formatos de logueo). Esta facies ocupa aproximadamente el 30%vol del área de estudio (Figura 22), presenta enclaves máficos (Figura 15 C) y es cortada por diques volcánicos, subvolcánicos, vetas y venillas, que a su vez generan fuerte alteración hidrotermal.



**Figura 15.** Muestras de mano de la facies de tonalitas de biotita. Las rocas presentan colores que van de gris claro moteado hasta rosa moteado, con textura holocristalina, fanerítica, inequigranular, levemente porfírica. **A.** Muestra JRA-02. **B.** Muestra JRA-01. **C.** Muestra del núcleo ECDDH\_065 a una profundidad de 81,5m, con fuerte alteración hidrotermal. **D.** Muestra del núcleo BCDDH\_21\_107 a una profundidad de 119m, correspondiente a un enclave máfico incluido en la facies de tonalita de biotita. Los núcleos y metraje relacionados a las muestras en Tabla 5.

### 7.2.1.3. *Facies de tonalitas de anfíbol (Ton-Amp)*

En muestra de mano el grado de cristalinidad para esta facies es holocristalina, fanerítica, inequigranular, con índice de color leucocrático y color general gris claro moteado (Figura 16), tamaño de grano fino a medio y la mineralogía principal es plagioclasa, cuarzo y anfíbol. La plagioclasa (50-60%vol), presenta hábito tabular subhedral, color blanco, ocasionalmente con tonalidad verde o rosa y tamaños de 1-5mm. El Cuarzo (15-30%vol), es incoloro, principalmente anhedral rellenando espacios y tamaño de 1-5mm y el anfíbol (10-35%vol), se observa con hábito prismático anhedral a subhedral, color verde oscuro, exfoliación en dos direcciones y tamaño de grano entre 1-4mm (Anexo 1: Formatos de logueo). Esta facies no aflora en superficie, presenta xenolitos que corresponden a fragmentos de la asociación de facies de gabros-cuarzodioritas (Figura 16 A) y además es cortada por diques volcánicos, subvolcánicos, vetas y venillas.



**Figura 16.** Muestras de mano de la facies de tonalitas de anfíbol. Se observa que las rocas presentan color gris claro moteado, con textura holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano fino a medio. **A.** Muestra JRA-49, incluye un xenolito de composición diorítica. **B.** Muestra JRA-47. Los núcleos y el metraje de las muestras en Tabla 5.

## 7.2.2. Descripción microscópica

### 7.2.2.1. Facies de tonalitas de biotita (Ton-Bt)

Presenta textura holocristalina, fanerítica, inequigranular, levemente porfirítica, tamaño de grano fino a grueso (Figura 17 A), la composición mineral principal es cuarzo, plagioclasa y biotita, y apatito y como producto de alteración saussurita, sericita, clorita, zoisita/clinozoisita, epidota, allanita y carbonatos. Como minerales de introducción venillas de cuarzo y carbonatos además de minerales opacos remplazando biotitas (Tabla 6).

**Tabla 6.** Composición modal de la facies de tonalita de biotita. Los porcentajes de los minerales primarios no incluyen sus productos de alteración, están dados por separado.

Muestra	minerales primarios				minerales secundarios									introducción			IC (%)
	Félsicos Qz	Pl	Máficos Bt	Accesorios Ap	Alteración									Cb	Opq	Qz	
					Ser	Sau	Cb	Chl	Ttn	Ep	Zo/Czo	Aln					
JRA-01	28,8	23,5	2,2	0,2	6,2	25,8	0,3	6,2	0,3	2,2	2,0	0,3	0,3	0,2	1,7	8,8	
JRA-02	44,4	18,7	3,6	0,2	5,1	16,4	0,3	8,6	0,2	1,5	0,6	0,0	0,3	0,2	0,0	12,5	

**Cuarzo.** Modalmente varía entre 29 y 44%vol, principalmente anhedral rellenando espacios entre minerales y hexagonal subhedral como fenocristal (Figura 17 A), incoloro, con color de interferencia gris de primer orden y tamaño de grano fino a grueso (0,7-11mm).

**Plagioclasa.** El contenido modal varía entre 43 y 60%vol, con hábito tabular, subhedral, incoloro y aspecto turbio, tamaño de grano fino a medio (0,4-4mm), con color de interferencia gris de primer orden, macla simple, polisintética, compleja y zonación, parcialmente alterada a saussurita, sericita, zoisita/clinozoisita y carbonatos, ocasionalmente epidotizada y cloritizada

(Figura 17).

**Biotita.** Su contenido modal varía entre 8,65 y 12,35%vol, se encuentra en hábito laminar subhedral, pleocroísmo marrón claro a marrón oscuro, tamaño de grano de fino a medio (0,4-2mm), colores de interferencia enmascarados por el color del mineral, exfoliación en una dirección, extinción recta, fuertemente cloritizada y epidotizada, alterándose a titanita (Figura 17 C y D), comúnmente presentan leve deformación (Figura 17 D), formación de zoisita/clinozoisita en los planos de exfoliación y ocasionalmente es remplazada por minerales opacos (Figura 17).

**Apatito.** El contenido modal es inferior al 0,16%vol, presenta hábito prismático, euhedral, tamaño de grano fino (0,1-0,2mm), relieve alto, elongación negativa, incoloro, con color de interferencia gris de primer orden, incluido en la plagioclasa, configurando una textura poiquilítica.

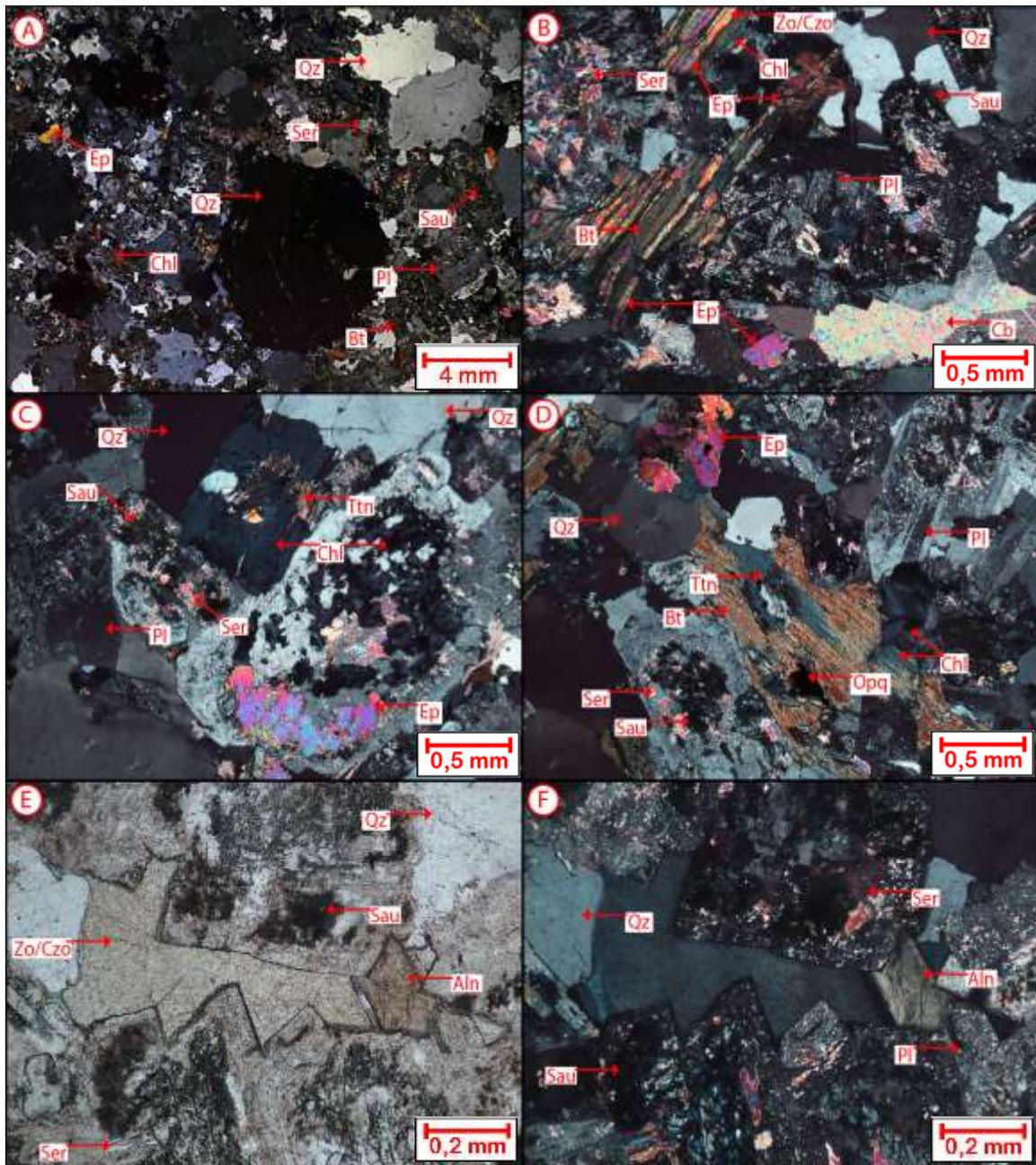
**Minerales secundarios.** Como minerales de alteración de la plagioclasa se encontró saussurita, sericita, epidota, zoisita/clinozoisita y carbonatos (Figura 17), la epidota y la zoisita/clinozoisita se presentan en agregados xenomorfos, incoloros a ligeramente coloreados en amarillo, con tamaño de grano fino (<1mm), relieve alto, con colores de interferencia gris azulado a gris amarillento de primer orden para la zoisita/clinozoisita y colores de interferencia de muy alto orden variando en un mismo grano (manto de arlequín) para la epidota.

Como minerales de alteración de la biotita se encontró clorita, titanita, con formación de epidota y zoisita/clinozoisita en los planos de exfoliación (Figura 17 B, C y D), la clorita se presenta en hábito laminar, anhedral, pleocroísmo débil de verde muy claro a verde medio, exfoliación en una dirección, con colores de interferencia azules anómalos. La titanita está estrechamente relacionada a la clorita, es anhedral, presenta pleocroísmo marrón a marrón claro, relieve alto, con colores de interferencia de alto orden, con iridiscencia.

La allanita se encontró junto con zoisita/clinozoisita y en fracturas de la plagioclasa (Figura 17 E

y F). Este mineral se presenta prismático subhedral, con pleocroísmo leve de marrón a marrón claro, tamaño de grano fino (<1mm), relieve alto, con colores de interferencia gris amarillo de primer orden.

Como minerales de introducción se encontró carbonatos y cuarzo en venillas, las cuales a veces pueden contener epidota (Figura 17 B), además de minerales opacos reemplazando micas biotita (Figura 17 D).



**Figura 17.** Fotomicrografías de la facies de tonalitas de biotita. (A) compilado de varias microfotografías en 4X y en XPL, (B-D) 4X en XPL, (E) 10X en PPL y (F) 10X en XPL. A. Fenocristales de grano grueso de cuarzo en una matriz holocrystalina, fanerítica, de grano fino a medio, con plagioclasas alteradas a saussurita, sericita y epidota, biotitas cloritizadas y epidotizadas. B. Venilla de carbonatos y cuarzo, biotita cloritizada con formación de epidota y zoisita/clinozoisita en los planos de exfoliación, sericita y saussurita como producto de alteración de plagioclasas, adicionalmente cuarzo relleno espacios entre minerales. C. Clorita y titanita de alteración de una biotita, plagioclase epidotizada, cloritizada y alterándose a saussurita y sericita, también hay presencia de cuarzo. D. Biotita alterada a titanita, clorita y epidotizada, en contacto con cuarzo y plagioclase alterada a sericita y saussurita. E-F. Allanita y Zoisita/clinozoisita como producto de alteración, relleno fracturas en una plagioclase alterada a sericita y saussurita, en contacto con cuarzo.

### 7.2.2.2. Facies de tonalitas de anfíbol y biotita (Ton-Amp+Bt)

Presenta textura holocristalina, fanerítica, inequigranular, hipidiomórfica, tamaño de grano fino a medio. La composición mineral principal es cuarzo, plagioclasa, anfíbol, biotita, apatito y circón. Los productos de alteración son saussurita, sericita, clorita, zoisita/clinozoisita, epidota y carbonatos. Los minerales opacos se asocian a un remplazamiento de minerales máficos. Como minerales de introducción cuarzo y carbonatos se presentan a manera de venillas (Tabla 7).

**Tabla 7.** Composición modal de la facies de tonalita de anfíbol y biotita. Los porcentajes de los minerales primarios no incluyen sus productos de alteración, están dados por separado.

Muestra	Minerales primarios						Minerales secundarios								IC (%)	
	Félsicos		Máficos		Accesorios		Alteración						Introducción			
	Qz	Pl	Amp	Bt	Ap	Zrn	Ser	Sau	Cb	Chl	Ttn	Ep	Zo/Czo	Cb		Opq
JRA-40	41,7	17,6	3,4	0,3	0,2	0,2	6,2	21,9	0,0	4,3	0,3	1,5	0,9	0,3	1,3	8,6
JRA-41	26,4	9,0	12,7	3,4	0,2	0,2	6,5	34,1	0,0	4,0	0,2	0,9	0,3	0,3	2,0	20,5
JRA-43	25,6	3,5	11,8	2,6	0,2	0,0	4,2	43,6	0,2	4,4	0,0	1,1	1,3	0,0	1,6	18,9

**Cuarzo.** Modalmente varía entre 26 y 42%vol, y se encuentra principalmente anhedral rellenando espacios entre minerales. Este mineral es incoloro, con color de interferencia gris de primer orden, tamaño de grano fino a medio (0,3-5mm) y ocasionalmente presenta interdigitaciones en los bordes con plagioclasa configurando una textura concertal.

**Plagioclasa.** Su contenido modal varía entre 48 y 54%vol, se encuentra en hábito tabular, subhedral, incoloro con aspecto turbio, tamaño de grano fino a medio (0,2-4mm), con color de interferencia gris de primer orden, macla simple, polisintética y compleja. Este mineral ocasionalmente es incluido en anfíbol, configurando una textura poiquilítica (Figura 18 A). Esta fase se encuentra de parcial a totalmente alterado a saussurita, sericita, epidota y zoisita/clinozoisita (Figura 18).

**Anfíbol.** El hábito de esta fase mineral es prismático, hexagonal, subhedral, y el contenido modal varía entre 4,39 y 13,65%vol con tamaño de grano de fino a medio (0,3-5,0mm). Presenta

pleocroísmo verde oliva a verde-amarillento, con colores de interferencia amarillo y naranja de primer orden, y en algunas ocasiones con macla simple, polisintética y exfoliación en dos direcciones, además de extinción promedio de 20°. Este mineral se encuentra de moderadamente alterado a clorita, epidota, carbonatos y está siendo remplazado por minerales opacos (Figura 18).

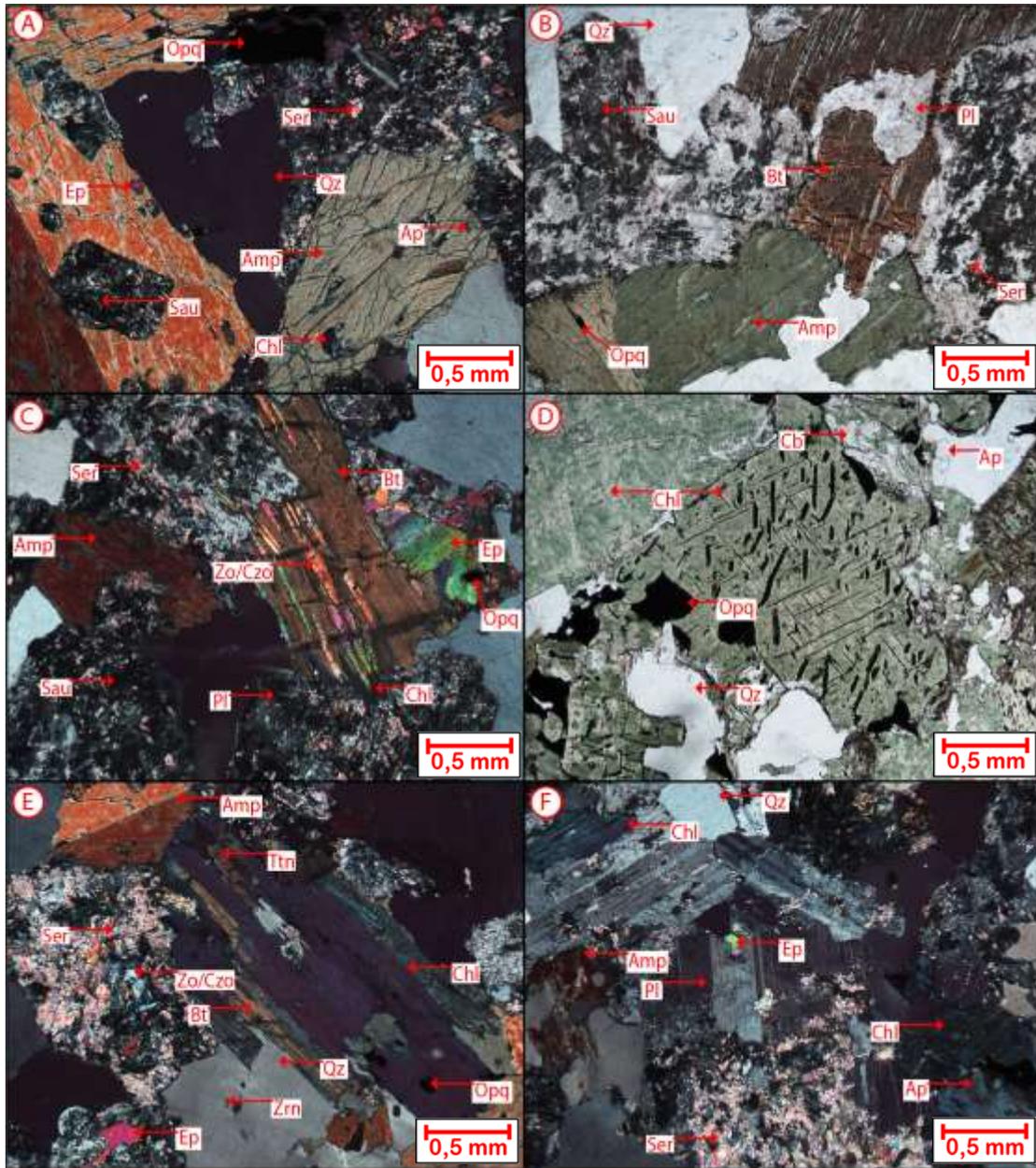
**Biotita.** Generalmente de hábito laminar subhedral, con contenido modal que varía entre 3,63 y 6,41%vol, con, pleocroísmo marrón claro a marrón oscuro, tamaño de grano de medio (1-3mm), con colores de interferencia enmascarados por el color del mineral, exfoliación en una dirección, extinción recta. ocasionalmente con interdigitaciones en los bordes con plagioclasa configurando una textura concertal (Figura 18 B). Este mineral se encuentra alterado a clorita y epidota y titanita, además de presentar formación de zoisita/clinozoisita en los planos de exfoliación (Figura 18 E). Ocasionalmente es remplazado por minerales opacos.

**Apatito.** Su contenido modal es de 0,16%vol, se encuentra en hábito prismático, euahedral, incoloro, tamaño de grano fino (0,3mm), con color de interferencia gris de primer orden, relieve alto, elongación negativa, extinción recta. Generalmente se encuentra incluido en el cuarzo, el anfíbol y la plagioclasa, configurando una textura poiquilítica (Figura 18 A, D y F).

**Circón.** De hábito prismático, euahedral con contenido de 0,16%vol, es incoloro, tamaño de grano fino (0,2mm), relieve alto, y colores de interferencia de alto orden. Este mineral se presenta incluido dentro del cuarzo, constituyendo una textura poiquilítica (Figura 18 E).

**Minerales secundarios.** Como minerales de alteración de la plagioclasa se encontró principalmente saussurita y sericita, en menor medida epidota y zoisita/clinozoisita (Figura 18). Producto de alteración del anfíbol se halló principalmente clorita y en menor medida epidota y carbonatos (Figura 18 D). Clorita y titanita con epidota y zoisita/clinozoisita se observaron en los planos de exfoliación de la biotita.

Como minerales de introducción se encontró carbonatos en venillas, además de minerales opacos reemplazando anfíbol y biotita (Figura 18).



**Figura 18.** Fotomicrografías de la facies de tonalitas de anfíbol y biotita. (A - F) 4X, (A, C, E y F) XPL y (B y D) PPL. **A.** plagioclasa alterada a saussurita y sericita, poiquilítica en anfíbol con alteración a clorita y epidota, adicionalmente cuarzo relleno espacios entre minerales. **B.** Biotita en textura concertal con plagioclasa alteada a saussurita y sericita, anfíbol con minerales opacos en planos de exfoliación, adicionalmente hay cuarzo. **C.** Biotita epidotizada, con formación de zoisita/clinozoisita en los planos de exfoliación y siendo reemplazado por minerales opacos, plagioclasas fuertemente alteradas a sericita y saussurita, adicionalmente hay presencia de cuarzo y anfíbol. **D.** Clorita, carbonatos y minerales opacos que reemplazaron totalmente un anfíbol, además se observa un apatito en contacto con cuarzo. **E.** Biotita alterada a clorita, titanita y siendo reemplazada por minerales opacos, anfíbol con macla simple, plagioclasa alterada a zoisita/clinozoisita, epidota y sericita, circón incluido en cuarzo. **F.** plagioclasa alterada a sericita y epidota, apatito incluido en anfíbol cloritizada, cuarzo relleno espacios.

### 7.2.2.3. Facies de tonalitas de anfíbol (Ton-Amp)

Presenta textura holocristalina, fanerítica, inequigranular, hipidiomórfica, con tamaño de grano fino a medio, la composición mineral principal es cuarzo, plagioclasa, anfíbol apatito y circón, como producto de alteración saussurita, sericita, clorita, zoisita/clinozoisita, epidota y carbonatos además de minerales opacos reemplazando máficos. En esta facies la alteración y la presencia de venillas son incipientes.

**Tabla 8.** Composición modal de la facies de tonalita de anfíbol. Los porcentajes de los minerales primarios no incluyen sus productos de alteración, están dados por separado.

Muestra	Minerales primarios						Minerales secundarios						IC (%)	
	Félsicos		Máficos		Accesorios		Alteración				Introducción			
	Qz	Pl	Amp	Bt	Ap	Zrn	Ser	Sau	Chl	Ep	Zo/Czo	Cb		Opq
JRA-47	23,2	30,4	32,8	0,3	0,2	0,0	1,6	4,1	2,5	2,6	2,0	0,0	0,3	35,8
JRA-49	37,0	40,9	8,0	0,2	0,2	0,2	2,6	2,2	3,5	0,4	2,0	0,2	2,6	12,2

**Cuarzo.** Este mineral se observa a anhedral rellenando espacios entre minerales. Su contenido modal varía entre 23 y 37%vol, con tamaño de grano varia de fino a medio (0,4-5mm), incoloro limpio, con color de interferencia gris de primer orden.

**Plagioclasa.** Su contenido modal varía entre 39 y 48%vol, se encuentra en hábito tabular, subhedral, incoloro con aspecto turbio, con color de interferencia gris de primer orden, tamaño de grano fino a medio (0,5-4mm), macla simple, polisintética, compleja y ocasionalmente zonación. Este mineral se encuentra levemente alterado a saussurita, sericita, epidota y zoisita/clinozoisita (Figura 19).

**Anfíbol.** se encuentra en hábito prismático, hexagonal, subhedral a euhedral, pleocroísmo verde oliva a verde-amarillento y colores de interferencia amarillo a naranja de primer orden. Su contenido modal se encuentra entre 11 y 36%vol y el tamaño de grano varía de fino a medio (0,3-2mm). Este mineral puede presentar macla simple y polisintética, exfoliación en dos direcciones, extinción promedio de 20°, generalmente se observa moderadamente alterado a clorita, epidota y

siendo remplazado por minerales opacos (Figura 19).

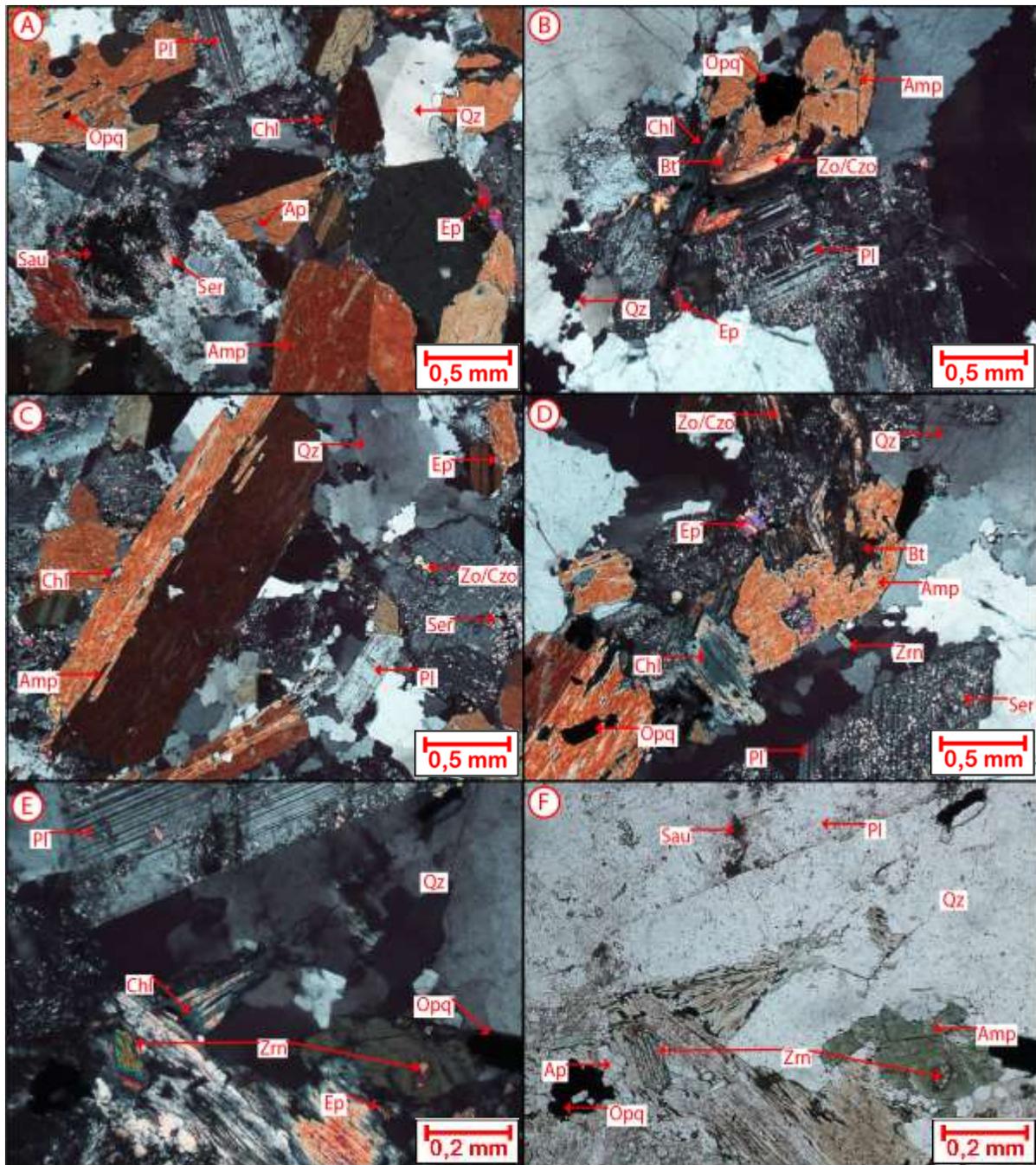
**Biotita.** Es casi imperceptible, su contenido modal varía entre 0 y 0,78%vol, el tamaño de grano es fino (<1mm), con hábito laminar subhedral, exfoliación en una dirección y extinción recta. Esta fase mineral presenta pleocroísmo marrón claro a marrón oscuro y colores de interferencia enmascarados por el color del mineral. En general, la biotita se presenta en contacto con el anfíbol y está fuertemente cloritizada y con formación de zoisita/clinozoisita en los planos de exfoliación (Figura 19 B y D).

**Apatito.** Su contenido modal varía entre 0,16 y 0,22%vol, se encuentra en hábito prismático, euhedral, incoloro, con color de interferencia gris de primer orden, tamaño de grano fino (0,1-0,2mm), relieve alto, elongación negativa, extinción recta e incluido dentro del anfíbol, configurando una textura poiquilítica (Figura 19, A).

**Circón.** Se encuentra en hábito prismático, euhedral, incoloro, tamaño de grano fino (<0,2mm), relieve alto y con colores de interferencia verde, azul violáceo, amarillo de tercer orden. Generalmente se observa zonado e incluido en el cuarzo y el anfíbol, configurando una textura poiquilítica. Su contenido modal varía entre 0 y 0,22%vol, (Figura 19 D-F).

**Minerales secundarios.** Como minerales de alteración de la plagioclasa se encontró saussurita en bajas proporciones, sericita, epidota y zoisita/clinozoisita. Como minerales de alteración del anfíbol se encontró principalmente clorita y en menor medida epidota (Figura 19). Como minerales de alteración de la biotita se encontró clorita, con epidota y zoisita/clinozoisita rellenando los planos de exfoliación (Figura 19 B y D).

Como minerales de introducción se encontró carbonatos en venillas y minerales opacos remplazando anfíboles (Figura 19).



**Figura 19.** Fotomicrografías de la facies de tonalitas de anfíbol. (A-D) 4X en XPL, (D) 10X en XPL y (F) 10X en PPL. A. Apatito incluido en anfíbol con macla simple, los cuales están alterados a clorita, epidota y siendo remplazados por minerales opacos, plagioclasa alterándose a saussurita, sericita y epidota, también hay cuarzo relleno espacios entre minerales. B. Anfíbol alterado a clorita y siendo remplazado por minerales opacos en contacto con biotita, plagioclasa alterada a zoisita/clinozoisita y epidota, adicionalmente cuarzo rodeando los cristales. C. Anfíboles con macla simple y polisintética levemente alterados a clorita y epidota, en contacto con plagioclasa alterada a sericita y zoisita/clinozoisita, además cuarzo relleno espacios entre minerales. D. Circón incluido en cuarzo, anfíbol levemente alterado a clorita y epidota, biotita con zoisita/clinozoisita en los planos de exfoliación y plagioclasa levemente alterada a sericita y epidota. E-F. Circones con zonación incluidos en anfíbol, el cual se está alterando a clorita, epidota y siendo remplazado por minerales opacos, también hay presencia de plagioclasa y cuarzo.

### 7.2.3. Enclaves microdioríticos (E-MD)

Se encontraron como agregados redondeados a elipsoidales dentro de la asociación de facies de tonalitas, presentan textura holocristalina, fanerítica, equigranular, hipidiomórfica, con tamaño de grano fino, índice de color mesocrático (54%vol). La composición mineral principal es plagioclasa, anfíbol y biotita, como producto de alteración saussurita, sericita, clorita, zoisita/clinozoisita y epidota, además minerales opacos reemplazan anfíboles y biotitas. Venillas de carbonatos representan los minerales de introducción (Tabla 9). Esta litología se clasificó como diorita de anfíbol y biotita (Le Maitre *et al.*, 2002) como se muestra en la (Figura 6).

**Tabla 9.** Composición modal del enclave microdiorítico. Los porcentajes de los minerales primarios no incluyen sus productos de alteración, están dados por separado.

Muestra	Minerales principales			Minerales secundarios					Introducción	IC (%)	
	Félsicos	Máficos		Alteración			Zo/Czo				
	Pl	Amp	Bt	Ser	Sau	Chl		Ep			
JRA-49 (E-M)	34,29	48,51	4,63	4	2,86	0,57	1,14	0,57	0,57	2,86	53,71

**Plagioclasa.** Se encuentra en hábito tabular, subhedral y contenido modal de 42,29%vol con tamaño de grano fino (0,1-0,4mm). Los cristales son incoloros con aspecto turbio y con color de interferencia gris de primer orden, macla simple, polisintética, compleja y ocasionalmente sin macla, levemente alterados a saussurita, sericita, epidota y zoisita/clinozoisita (Figura 20).

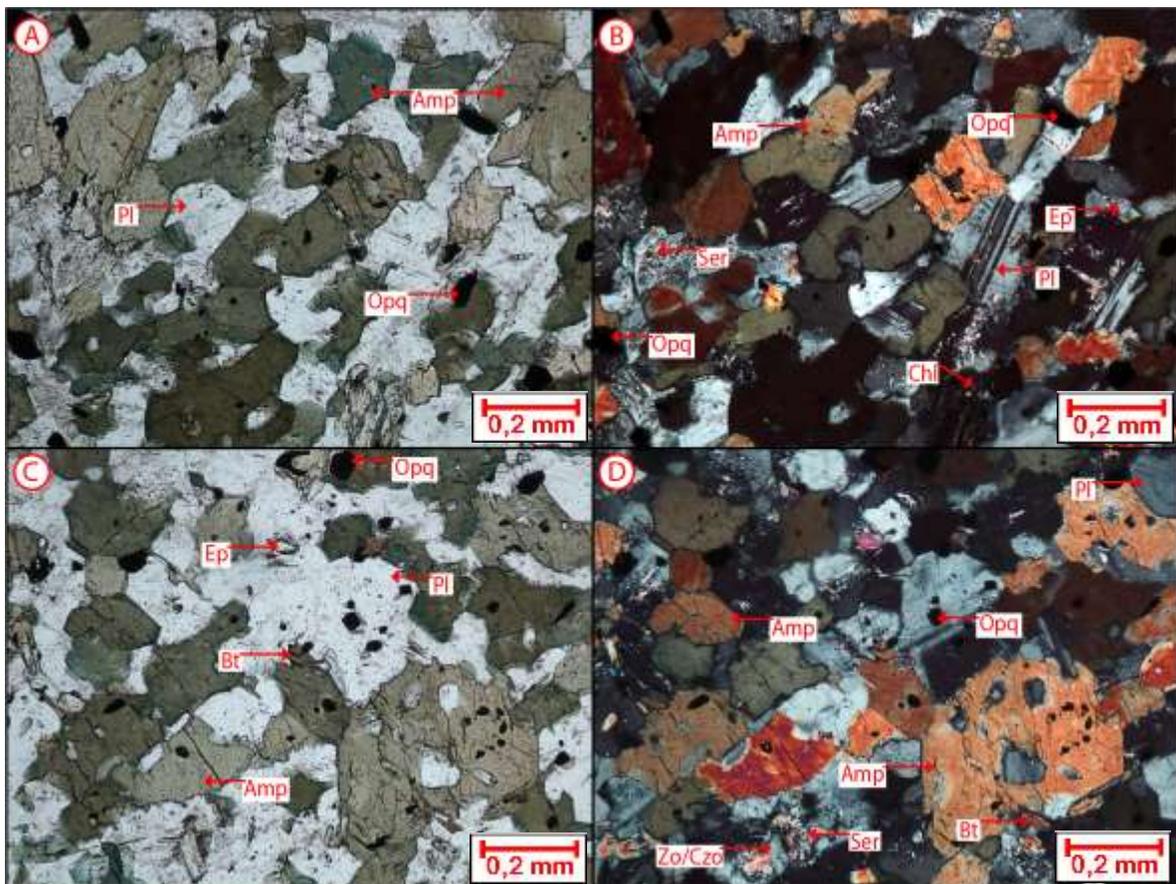
**Anfíbol.** Su contenido modal es del 48,51%vol, se encuentra en hábito prismático, hexagonal, subhedral a anhedral, tamaño de grano de fino (0,1-0,5mm), pleocroísmo verde oliva a verde-amarillento y color de interferencia naranja de primer orden, exfoliación en dos direcciones, extinción promedio de 20°. Esta fase mineral se encuentra levemente a moderadamente alterada a clorita, epidota y está siendo reemplazado por minerales opacos (Figura 20).

**Biotita.** Su contenido modal es del 5,2%vol, presenta hábito laminar subhedral, tamaño de

grano de fino (0,1-0,2mm), pleocroísmo marrón-rojizo claro a marrón-rojizo oscuro y colores de interferencia de tercer orden, exfoliación en una dirección y extinción recta. Generalmente esta fase mineral se presenta en los bordes de los anfíboles y se encuentra alterada a clorita y siendo remplazado por minerales opacos (Figura 20 C-D).

**Minerales secundarios.** Como minerales de alteración de la plagioclasa se encontró saussurita, sericita, epidota y zoisita/clinozoisita. Epidota y clorita se observan como minerales de alteración del anfíbol (Figura 20). La biotita se encontró alterada a clorita (Figura 20).

Venillas de carbonatos y minerales opacos reemplazando anfíboles y biotitas, constituyen los minerales de introducción (Figura 20).



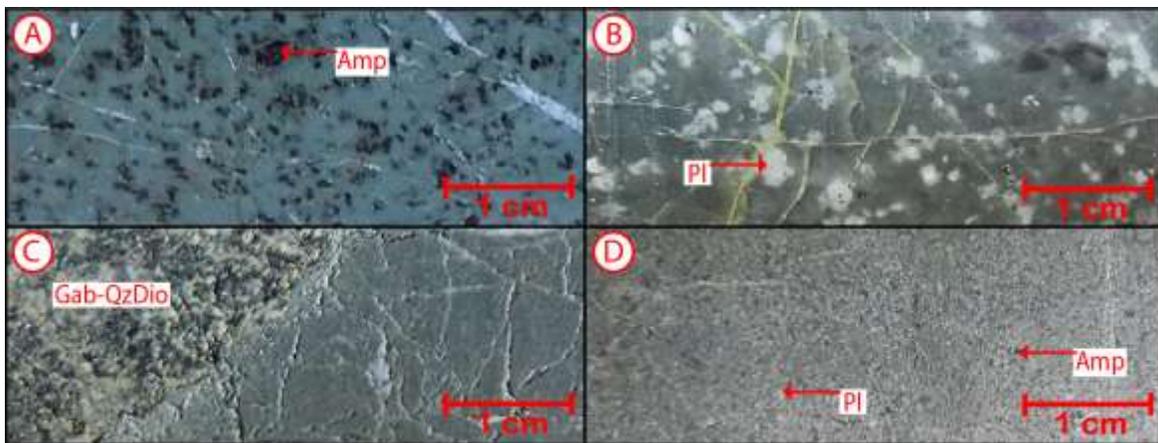
**Figura 20.** Fotomicrografías del enclave microdiorítico. (A y C) 10X en PPL, (B y D) 10X en XPL. A-B. anfíboles alterados a clorita y siendo remplazados por minerales opacos, plagioclasa con macla polisintética, ocasionalmente sin macla alterándose a sericita, zoisita/clinozoisita y epidota. C-D. Biotita en contacto con anfíboles, plagioclasas alteradas a epidota y zoisita/clinozoisita, adicionalmente minerales opacos diseminados y remplazando minerales máficos.

### 7.3. Diques

Se observaron principalmente en profundidad en casi todos los núcleos de perforación, pero se concentran más en el centro de la zona de estudio con una tendencia general N-S y corresponden a diques volcánicos y subvolcánicos.

Los diques volcánicos presentan textura afanítica y porfirítica con matriz afanítica con fenocristales de anfíbol y plagioclasa (Figura 21 A, B y C). Los diques presentan coloración entre verde manzana y verde manzana moteado (Figura 21 A, B y C).

Los diques subvolcánicos presentan textura holocristalina, fanerítica, equigranular, de grano fino, son de color moteado a gris moteado, con índice de color mesocrático (Figura 21 D). Esta roca está constituida de plagioclasa y anfíbol en proporciones similares, todos los diques observados presentan venillas de carbonatos y cuarzo principalmente (Figura 21).

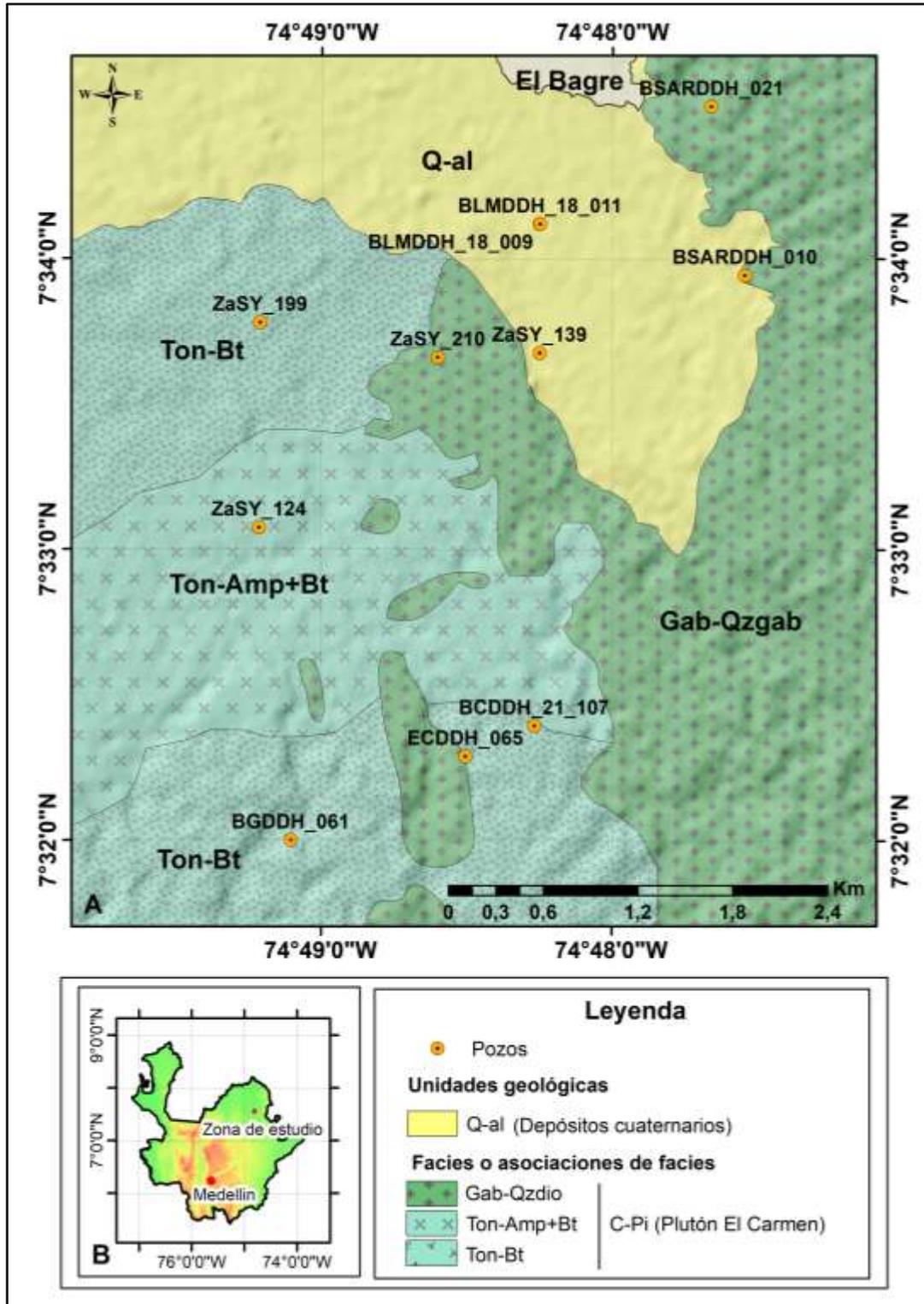


**Figura 21.** Muestras de mano de los diques. **A.** Dique volcánico, con textura porfirítica de matriz afanítica y fenocristales de anfíbol. **B.** Dique volcánico, con textura porfirítica de matriz afanítica y fenocristales de plagioclasa. **C.** Dique volcánico, con textura afanítica intruyendo la asociación de facies de gabros-cuarzodioritas. **D.** Dique subvolcánicos, con textura holocristalina, fanerítica, equigranular, de grano fino.

**Tabla 10.** Resumen de las características principales de las facies del plutón el Carmen.

Asociación de facies	Facies plutónicas	Área (%)	Textura	Índice de Color (%)	Minerales principales (>5%)	Minerales accesorios (<5%)	Minerales de alteración e introducción	Observación
Gabros y cuarzodioritas	Gabros anfibólicos	45%	Holocrystalina fanerítica inequigranular de grano fino y fino a medio	Mesocrático (60 - 41)	Pl y Amp	Ap ± Zrn ± Qz	Ser, Sau, Cb, Chl, Zo/Czo, Ep, Qz, Opq	Presenta variaciones drásticas en el tamaño de grano, ocasionalmente los anfíboles se presentan en cúmulos y con leve orientación, presenta fuerte alteración hidrotermal.
	Cuarzodioritas anfibólicas		Holocrystalina fanerítica inequigranular de grano fino a medio y medio a grueso	Mesocrático (48 - 45)	Pl, Qz y Amp	Ap ± Bt	Ser, Sal, Cb, Chl, Zo/Czo, Qz, Ep, Opq, Qz	Ocasionalmente presenta cúmulos de anfíbol de grano grueso con cuarzo rellenando intersticios, con índice de color melanocrático, presenta fuerte alteración hidrotermal.
Tonalitas	Tonalitas de anfíbol	No aflora	Holocrystalina fanerítica inequigranular de grano fino a medio	Leucocrático -mesocrático (12-36)	Qz, Pl y Amp	Ap + Zrn ± Bt	Ser, Sau, Cb, Chl, Zo/Czo, Qz, Ep, Opq	Alteración hidrotermal moderada, está intruyendo a la facies de gabros y cuarzodioritas.
	Tonalitas de anfíbol y biotita	25%	Holocrystalina fanerítica inequigranular de grano fino a medio	Leucocrático (10-21)	Qz, Pl, Amp y Bt	Ap + Zrn	Ser, Sau, Cb, Chl, Zo/Czo, Qz, Ep, Ttn, Opq	Presenta fuerte alteración hidrotermal, entre las fases de origen hidrotermal aparece titanita con clorita de alteración de biotitas, también carbonatos con clorita de alteración de anfíboles.
	Tonalitas de biotita	30%	Holocrystalina fanerítica inequigranular levemente porfirítica de grano fino a grueso	Leucocrático (9 - 13)	Qz, Pl y Bt	Ap	Ser, Sau, Cb, Chl, Zo/Czo, Ep, Ttn, Aln, Opq, Qz	Presenta fuerte alteración hidrotermal, entre las fases de origen hidrotermal aparece allanita, ocasionalmente junto con zoisita/clinozoisita rellenando fracturas en plagioclasas, también titanita con clorita de alteración de biotitas.

#### 7.4. Mapa de facies y asociaciones de facies



**Figura 22.** Mapa de facies y asociaciones de facies. Tomado y modificado de la cartografía geológica del distrito minero El Bagre (Ávila-Vallejo, 2015). **A.** Mapa de facies o asociaciones de facies con la ubicación de los pozos. **B.** Mapa de Antioquia con la ubicación de Medellín y la zona de estudio.

## 8. Discusión

El mapeo de rocas ígneas plutónicas debe hacerse con base en propiedades fácilmente observables en muestra de mano y afloramientos, los nombres estratigráficos deben ser usados con precaución, evitando ambigüedades de nomenclaturas (García-Chinchilla y Vlach, 2019). Las rocas que conforman el plutón El Carmen fueron mapeadas usando los conceptos de facies plutónicas (Ulbrich, 2001) y asociaciones de facies (Vlach, 1985, 1993) como se muestra en la Figura 22. Para un mapeo a escala regional, se ha usado el termino *Stock* El Carmen (Leal-Mejía, 2011; Ávila-Vallejo, 2015), sin embargo, no se ha determinado con exactitud el tamaño real del área expuesta del plutón, debido al desconocimiento del límite Este con las dioritas de Segovia o batolito de Segovia (Leal-Mejía *et al.*, 2019), por ello en este trabajo se usó el termino plutón El Carmen. Se necesitan más estudios de campo y geocronológicos para asignar el tamaño real del área expuesta de esta unidad ígnea.

### 8.1. Variaciones faciales y su distribución espacial

En la zona de estudio, en el noreste del plutón El Carmen se identificaron cinco facies plutónicas, las cuales se pueden agrupar en dos asociaciones de facies principales (Gabros-cuarzodioritas y tonalitas). La asociación de facies de gabros-cuarzodioritas aflora en el Este de la zona de estudio y ocupa el 45% del área (Figura 22), es correlacionable con facies de diorita porfirítica (Leal-Mejía, 2011), Cuerpo diorítico (Ávila-Vallejo, 2015) y cuerpo básico (Varona-Bravo, 2016). La asociación de facies de tonalitas aflora en el Oeste de la zona de estudio y ocupa el 55% del área (Figura 22), es correlacionable con facies leucotonalitas biotíticas (Leal-Mejía, 2011), cuerpo tonalítico-granodiorítico (Ávila-Vallejo, 2015) y cuerpo ácido (Varona-Bravo, 2016). Las dos asociaciones de facies están en contacto intrusivo (tonalitas intruyendo gabros-cuarzodioritas) esto se evidencia principalmente en profundidad, en los sondeos ZaSY\_210, BSARDDH\_021 y

BSARDDH\_010, en concordancia con Ávila-Vallejo (2015), quien describe dicho contacto en la quebrada Icacales, al interior de la mina Los Mangos y en la quebrada Corderos. Ambas asociaciones de facies son cortadas por diques volcánicos, subvolcánicos y vetas mineralizadas, las cuales han generado una fuerte alteración hidrotermal penetrativa en todas las rocas pertenecientes al plutón El Carmen.

En la asociación de facies de gabros-cuarzodioritas no es posible el mapeo de las facies de forma individual (Figura 22) y se conforma por dos facies petrográficas: La facies de gabros anfibólicos y la facies de cuarzodioritas anfibólicas, las cuales se presentan intercaladas entre sí y aunque petrográficamente se diferencian por la aparición significativa de cuarzo como mineral principal, a la escala de mapeo no es posible la separación de las mismas y deben ser descritas juntas (Figura 22). Petrográficamente la facies de gabros anfibólicos muestra textura holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano fino a medio, presenta como minerales principales plagioclasa, anfíbol, cuarzo, circón y apatito. La plagioclasa ocasionalmente se encuentra incluida dentro del anfíbol configurando una textura poiquilítica, mientras que para el anfíbol puede inferirse dos poblaciones diferentes a partir de los colores de interferencia observados en numerosos cristales. El cuarzo siempre se observa anhedral y relleno de espacios entre minerales, en bajas muy proporciones (<1,2%vol) o ausente, El apatito y el circón generalmente se encuentra incluido en plagioclasa y anfíbol configurando también una textura poiquilítica. Los productos de alteración de los minerales primarios de esta facies son respuesta a fluidos hidrotermales que atravesaron el cuerpo, donde el mineral que más presenta evidencia de esta interacción es la plagioclasa, alterada a saussurita en altas proporciones y en menor proporción sericita, clorita, zoisita/clinozoisita, epidota y carbonatos, mientras que en los anfíboles se observa principalmente un reemplazamiento por minerales opacos. Las descripciones texturales y formas de los minerales permiten sugerir la

siguiente serie de cristalización: apatito  $\pm$  circón  $\rightarrow$  plagioclasa  $\rightarrow$  anfíbol. La asociación y proporción de minerales principales encontrados y las recomendaciones Le Maitre *et al.* (2002), donde se denomina gabros a las rocas con  $>30\%$  de minerales máficos permitió esta clasificación, redefiniendo la clasificación dada para esta litología (dioritas) por Leal-Mejía, (2011) Ávila-Vallejo (2015) y Varona-Bravo (2016). La facies de cuarzdioritas anfibólicas muestran textura holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano fino a medio, ocasionalmente medio a grueso, presentan como minerales principales plagioclasa, anfíbol, cuarzo, biotita y apatito. La plagioclasa es ocasionalmente incluida en anfíbol (textura poiquilítica), y en el anfíbol al igual que en los gabros es posible de reconocer dos poblaciones, que se diferencian por su color de interferencia. El cuarzo se observa anhedral y principalmente rellenando espacios entre minerales. Como minerales accesorios biotita (en proporciones bajas) y apatito (incluido en anfíbol y plagioclasa). En esta litología los minerales secundarios también son producto de la interacción de fluidos hidrotermales con el plutón, donde la plagioclasa se encuentra reemplazada parcialmente por saussurita, sericita, clorita, zoisita/clinozoisita, epidota y carbonatos. Como minerales de introducción, carbonatos en venillas, es observado, ocasionalmente acompañado de epidota y zoisita/clinozoisita, además de minerales opacos reemplazando micas biotita y anfíbol. Las descripciones texturales y formas de los minerales permiten sugerir la siguiente secuencia de cristalización: apatito  $\rightarrow$  plagioclasa  $\rightarrow$  anfíbol  $\rightarrow$  biotita  $\rightarrow$  cuarzo. A partir de las asociaciones minerales y teniendo en cuenta que el contenido de minerales máficos en la roca es mayor al  $>30\%$ , teniendo en cuenta la plagioclasa y el cuarzo como minerales esenciales, las rocas pertenecientes a esta facies se clasificaron como cuarzdioritas. La presencia de mica biotita como mineral accesorio en bajas proporciones ( $<0,46\%$ vol), además del cuarzo como mineral esencial, permite evidenciar que esta facies tiene un mayor grado de diferenciación respecto a los gabros.

En la asociación de facies de tonalitas es posible el mapeo individual de facies (Figura 22). Esta asociación de facies se caracteriza por la presencia de enclaves máficos y se conforma por tres facies petrográficas: I) facies de tonalita de biotita, II) facies de tonalita de anfíbol y III) facies de tonalita de anfíbol y biotita. Los límites entre estas asociaciones son transicionales dados por el o los minerales máficos predominantes (anfíbol y biotita). La facies de tonalita de biotita ocupa aproximadamente un 30% de la zona de estudio (Figura 22), tiene una textura holocristalina, fanerítica, inequigranular y en zonas con textura porfirítica. El tamaño de grano varía de fino a grueso y como minerales esenciales se observa plagioclasa, cuarzo generalmente anhedral y rellenando espacios entre minerales y en algunas ocasiones como fenocristal. Como minerales accesorios biotita que esporádicamente presenta deformación y apatito que a su vez configura una textura poiquilítica al estar incluido en la plagioclasa. Los productos de alteración encontradas en esta facies corresponden a saussurita, sericita, clorita, zoisita/clinozoisita, epidota, allanita y carbonatos y los minerales de introducción principalmente se observan como venillas de cuarzo y carbonatos, además de minerales opacos remplazando biotitas. A partir del análisis textural se pudo establecer la siguiente serie de cristalización: apatito → plagioclasa → biotita → cuarzo.

La facies de tonalita de anfíbol y biotita ocupan aproximadamente un 25% de la zona de estudio (Figura 22). La textura de esta facies es holocristalina, fanerítica, inequigranular, con tamaño de grano fino a medio. Como minerales principales, la plagioclasa es la fase más abundante, seguido del anfíbol y el cuarzo. La plagioclasa ocasionalmente configura una textura poiquilítica al estar incluida en el anfíbol, el cuarzo se observa rellenando espacios entre minerales, el anfíbol y biotita ocasionalmente muestran leve deformación y finalmente el apatito y el circón se encuentran en cantidades menores al 0,16%vol, siempre incluido en las fases de mayor tamaño (biotita, anfíbol y plagioclasa), configurando también una textura poiquilítica. Como producto de alteración

saussurita, sericita, clorita, zoisita/clinozoisita, epidota y carbonatos derivados de los minerales principales y como minerales de introducción cuarzo y carbonatos se presentan a manera de venillas, además de minerales opacos remplazando minerales máficos (anfíbol y biotita). La descripción textural, permitió establecer la siguiente serie de cristalización: apatito + circón → plagioclasa → anfíbol → biotita → cuarzo.

La facies de tonalita de anfíbol, no afloran en superficie. Esta facies presenta una textura holocristalina, fanerítica, inequigranular, con tamaño de grano fino a medio. La composición mineral principal es cuarzo, plagioclasa, anfíbol, apatito, circón y biotita. Los minerales de alteración están representados por saussurita, sericita, clorita, zoisita/clinozoisita, epidota y carbonatos además de minerales opacos remplazando anfíboles. Las descripciones texturales y formas de los minerales permiten sugerir la siguiente secuencia de cristalización: apatito + circón → plagioclasa → anfíbol ± biotita → cuarzo. La asociación y proporción de minerales principales encontrados y las recomendaciones Le Maitre *et al.* (2002) permitió clasificar a cada una de estas facies como tonalitas de anfíbol y(o) biotita dependiendo de la proporción de los minerales accesorios. La clasificación dada en este trabajo es congruente con la de Leal-Mejía (2011), sin embargo, este autor no consideró la variabilidad textural y mineralógica aquí detalladas. La facies félsica presenta cambios composicionales dentro del campo de las tonalitas y en ningún caso la composición modal permite la clasificación de un tipo diferente de rocas (e.g. Granodioritas), por lo que las clasificaciones de rocas como granodioritas dada por Ávila-Vallejo (2015) y Varona-Bravo (2016), no corresponden y discrepa de las observaciones efectuadas en esta investigación, ya que no es evidente la presencia de feldespato potásico en las muestras analizadas.

## 8.2. Alteración hidrotermal

El plutón el Carmen hospeda vetas mineralizadas relacionadas con los depósitos vetiformes de tipo oro orogénico, las cuales fueron emplazadas en dos eventos, en un régimen frágil-dúctil, el primero caracterizado por cuarzo, pirita y oro, el segundo caracterizado por oro, galena, calcopirita, telururos de Au-Ag y telururos de Pb (Naranjo-sierra *et al.*, 2016; Naranjo-Sierra y Alvaran-Echeverri, 2018, 2020). La alteración hidrotermal en la roca caja (Plutón de El Carmen) se evidencia en la presencia de las vetas y venillas compuestas por cuarzo y carbonatos principalmente asociadas a zonas con boudinage de cuarzo y aparición de salbanda y en menor concentración minerales de mena como pirita, calcopirita, galena y esfalerita. La interacción entre los fluidos mineralizantes que dieron origen al sistema vetiforme y la roca caja, plutón El Carmen, dieron origen a una zona de la alteración hidrotermal con una tendencia N-S en el centro de la zona de estudio, caracterizada por tonalidades verdosas que enmascaran la textura original de la roca.

En la asociación de facies de gabros y cuarzodioritas la alteración se evidencia por la saussuritización y sericitización de las plagioclasas, proceso que según López y Bellos (2006), permite la formación de zoisita/clinozoisita en las fracturas de la plagioclasa. La cloritización y epidotización de los anfíboles con formación de carbonatos y reemplazamiento de anfíboles por minerales opacos también es un fenómeno común. En la asociación de facies de tonalitas la alteración hidrotermal se evidencia por la sericitización con sobrecrecimiento de moscovita y saussuritización de las plagioclasas, lo cual según López y Bellos (2006), permite la formación de epidota, zoisita/clinozoisita y allanita en las fracturas de la plagioclasa. La cloritización también es evidente en estas facies, los anfíboles muestran reemplazamiento a carbonatos, clorita y minerales opacos, mientras que, en los planos de exfoliación de la biotita, se observa la formación de titanita, epidota y cuarzo (López y Bellos, 2006). Estas reacciones y la

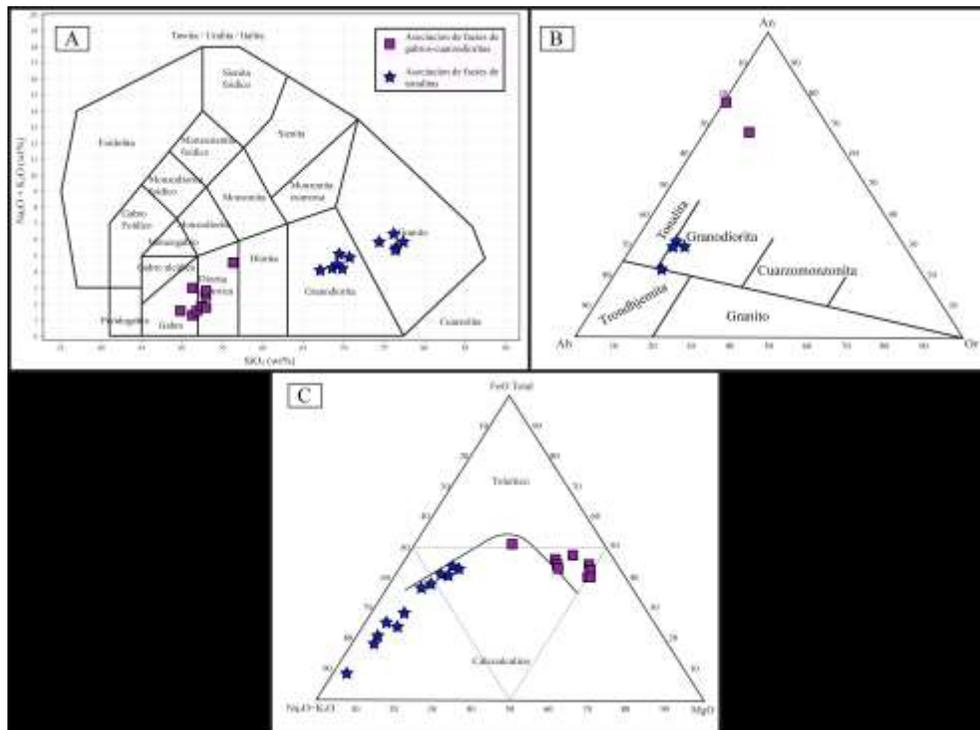
mineralogía resultante son típicos en alteración hidrotermal tipo propilítica (Plumlee, 1999), por lo anterior se deduce que las rocas del plutón el Carmen presentan este tipo de alteración.

La asociación de facies que presenta mayor intensidad en la alteración es la de gabros y cuarzodioritas, localizado en la zona central del área de estudio, cerca al contacto con las facies de tonalitas y puede ser observado en los núcleos de perforación BLMDDH\_18\_009, BLMDDH\_18\_011, ZaSY\_210 y ZaSY\_139, sin embargo, hacia el Este la alteración disminuye significativamente (núcleos de perforación BSARDDH\_021 y BSARDDH\_010). El comportamiento de la alteración en la asociación de facies de tonalitas es similar a la asociación de gabros y cuarzodioritas, es decir; la mayor intensidad en la alteración ocurre hacia el centro de la zona de estudio (transecta sur, núcleos ECDDH\_065 y BCDDH\_21\_107), sin embargo, hacia el Oeste (transecta sur, núcleo de perforación BGDDH\_061) el grado de alteración disminuye.

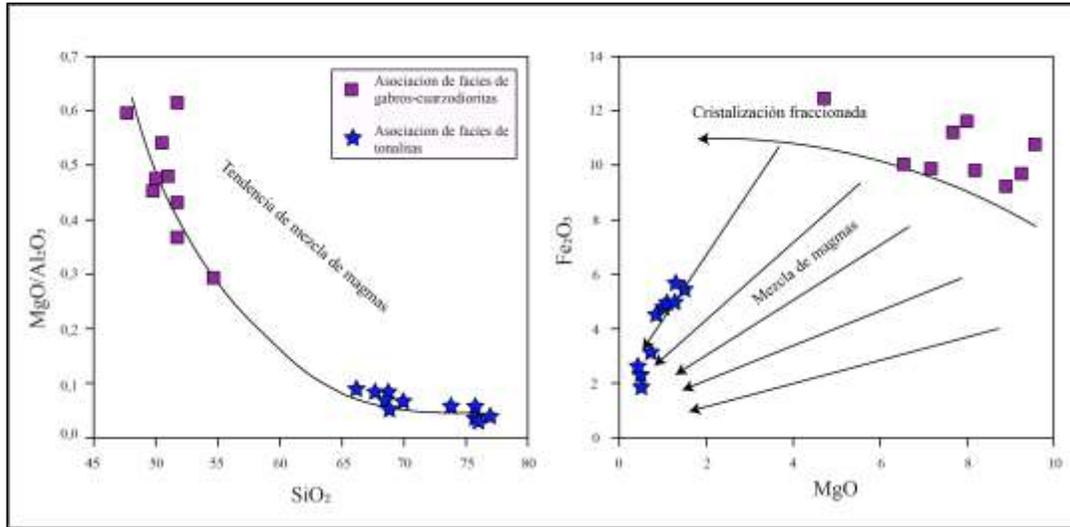
### **8.3. Construcción del plutón y procesos magmáticos**

Los resultados de las descripciones macroscópicas de los núcleos de perforación, el análisis petrográfico y las distribución de espacial de las facies (Figura 22), muestran que el plutón El Carmen presenta una zonación composicional, dada por dos asociaciones de facies: La asociación de facies de gabros-cuarzodioritas y la asociación de facies de tonalitas, que respectivamente y según la clasificación geoquímica corresponden a gabros-dioritas gabroicas y granodioritas-tonalitas-trondhjemitas (Figura 23 A y D) (Leal-Mejía, 2011; Varona-Bravo, 2016), corroborado por los resultados petrográficos. El contacto entre las asociaciones de facies (tonalitas intruyendo a gabros-cuarzodioritas) como se ve en la Figura 7 B, y la relación geocronológica ( $326.0 \pm 5$  a  $333.1 \pm 5$  Ma para los gabros-cuarzodioritas y de  $310.6 \pm 5$  a  $322.5 \pm 5$  Ma para las tonalitas) (Leal-Mejía, 2011) muestran que los gabros-cuarzodioritas fueron emplazados primero que las tonalitas. La presencia de xenolitos y enclaves de composición diorítica en las tonalitas, podría evidenciar

que cuando se emplazaron las tonalitas, los gabros-cuarzodioritas aún no completaban su cristalización y se encontraba en estado parcialmente líquido y sugiere que la construcción de este cuerpo se dio por la inyección de múltiples pulsos asociados a un mismo evento geológico (Castro-Dorado, 2015). En la asociación gabros - cuarzodioritas, la textura cúmulo y orientación sobre los anfíboles podrían indicar procesos dominantes de cristalización fraccionada, mientras que, la presencia de enclaves máficos en las tonalitas indicarían procesos de mezcla de magmas (Vigneresse y Clemens, 2000), lo que reafirmaría lo planteado por Varona-Bravo (2016) (Figura 24). Leal-Mejía (2011) y Varona-Bravo (2016) indican que, geoquímicamente la asociación de facies de gabros-cuarzodioritas pertenece a la serie toleítica con algunas muestras en límite con la calcoalcalina (Figura 23 B y C), y la asociación de facies de tonalitas pertenece a la serie calcoalcalina con algunas muestras en la serie toleítica (Figura 23, B y C).



**Figura 23.** Diagramas de clasificación geoquímica. (A-C) Tomados y modificados de Varona-Bravo (2016). **A.** Diagrama TAS para rocas plutónicas de Middlemost (1985). **B.** Triángulo de feldespatos de O'Connor (1965), tomado y modificado de Leal-Mejía (2011). **C.** Diagrama AFM para discriminar entre las series toleítica y calcoalcalina, propuesto por Irvine y Baragar (1971).

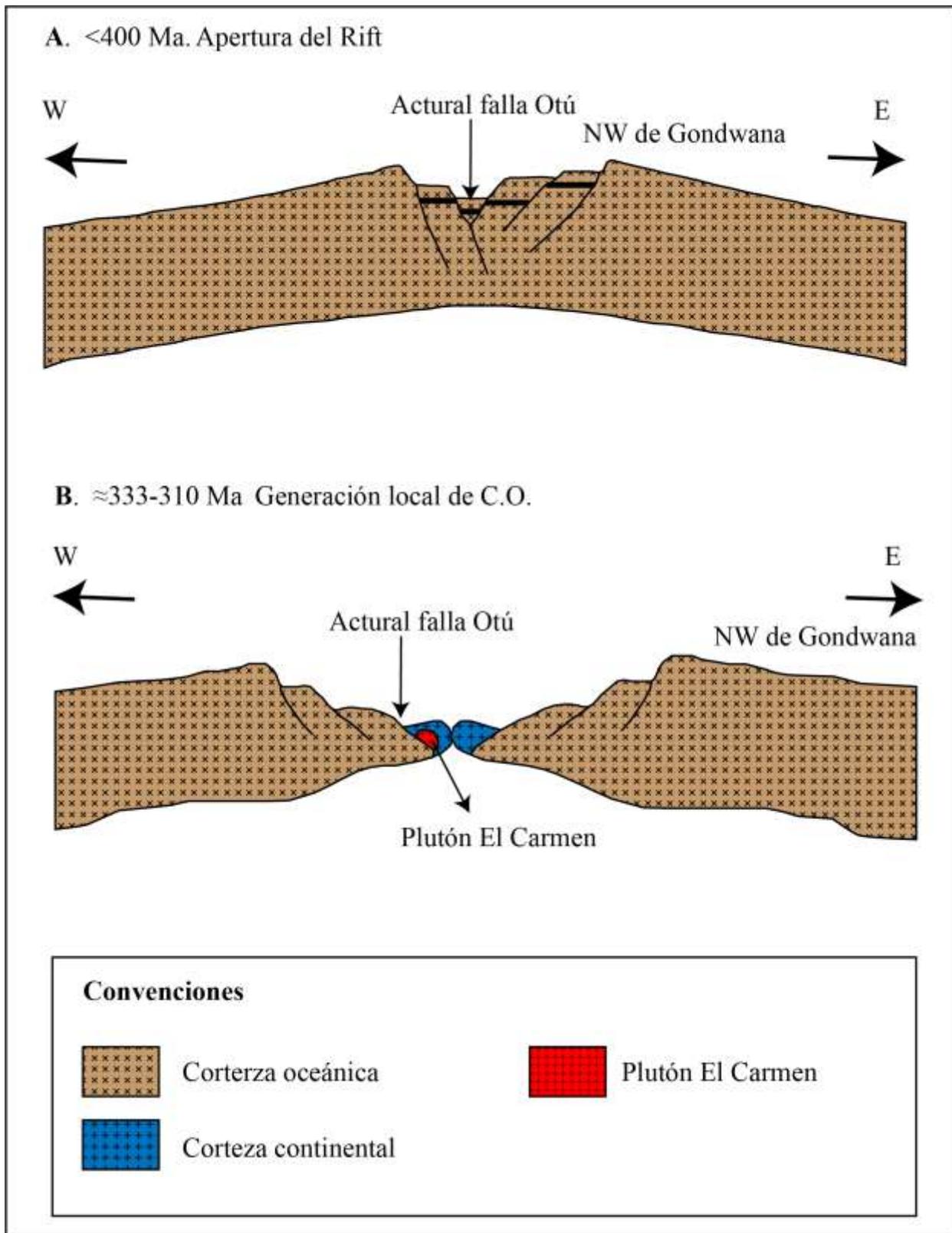


**Figura 24.** Diagramas para identificar la contaminación de los magmas, propuesto por Yang *et al.* (2015). Tomados y modificados de Varona-Bravo (2016).

#### 8.4. Correlación con otros plutones carboníferos y ambiente tectónico

En Colombia el primer registro de rocas ígneas de edad carbonífera fue realizado por Leal-Mejía (2011), posterior a ello y hasta la actualidad no se dan datado rocas ígneas de esta edad, por tanto, el magmatismo carbonífero estaría restringido a las rocas pertenecientes al plutón El Carmen. Basados en los resultados geoquímicos, principalmente en el diagrama AFM (Figura 23, B), Leal-Mejía (2011) y Varona-Bravo (2016) sugirieron que las rocas pertenecientes al plutón El Carmen se habrían formado en zona de subducción restringida durante el carbonífero, sin embargo Leal-Mejía *et al.* (2019) indica que dichos datos presentan un vacío que es producido por la naturaleza bimodal de lo que renombra como suite El Carmen-El Cordero (Plutón El Carmen) y no corresponde a una tendencia calcoalcalina típica de zonas de subducción, usando el esquema de clasificación de Barbarin (1999), Leal-Mejía *et al.* (2019) indicó que la suite Carmen-El Cordero se ajusta bien a los granitoides “toleíticos” derivados del manto, del tipo RTG, donde mineralógicamente se presenta en mayor proporción anfíbol, piroxeno, apatito, circón y en menor medida biotita, titanita y allanita, que conforman rocas como gabros, tonalitas, trondhjemitas y

plagiogranitos, lo cual es congruente con los resultados petrográficos obtenidos en el plutón de El Carmen (gabros-cuarzodioritas y tonalitas) y con la clasificación química (gabros-dioritas gabroicas y granodioritas-tonalitas-trondhjemitas) dada por Leal-Mejía (2011). Los granitos del tipo RTG presenta valores intermedios de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{CaO}$ , valores altos de  $\text{NaO}_2$  y valores bajos de  $\text{K}_2\text{O}$ , Barbarin (1999), lo cual representa bien los datos de Leal-Mejía (2011), que incluyen bajas relaciones iniciales de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  y valores de  $\epsilon\text{Nd}(t)$  ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(i)=0.70441-0.70516$ ,  $\epsilon\text{Nd}(t)=+0.58$  a  $+3.79$ ) y sugieren una fuente magmática primitiva derivada del manto sin la presencia de un componente cortical significativo. Finalmente Leal-Mejía *et al.* (2019) menciona que el plutón El Carmen se localizan a lo largo de la Falla de Otú, la cual en el pasado se ha interpretado como un potencial límite de placa (Restrepo y Toussaint 1988; González 2001), que podría representar el eje longitudinal de una cuenca de *rift* que está relacionado a etapas intermedias del aulacógeno de Bolívar, lo cual apoya la teoría de que el ambiente de formación para las rocas del plutón el Carmen corresponde a un *rift* que se abrió hasta el punto de producir al menos localmente litosfera oceánica (Figura 25) (Leal-Mejía *et al.*, 2019).



**Figura 25.** Esquema del ambiente tectónico del plutón El Carmen (sin escala). Basado en los datos de Leal-Mejía (2019).

## 9. Conclusiones

Con base en la descripción macroscópica de núcleos y la clasificación petrográfica, el plutón El Carmen se conforma por cinco facies plutónicas, que se agrupan en dos asociaciones de facies: I) La asociación de facies de gabros-cuarzodioritas, en la cual las dos facies (gabros anfibólicos y cuarzodioritas anfibólicas) deben ser mapeadas en conjunto, pero se diferencian texturalmente y por la aparición de cuarzo como mineral primario. II) La asociación de facies de tonalitas, en la cual las facies (tonalitas de anfíbol y biotita, tonalitas de anfíbol y tonalitas de biotitas) presentan límites transicionales y basados en la presencia de anfíbol y(o) biotita y diferencias texturales.

Petrográficamente la asociación de facies de gabros-cuarzo dioritas, se caracteriza por la presencia de anfíbol, plagioclasa y ocasionalmente cuarzo como minerales principales, apatito y circón como minerales accesorios, saussurita, sericita, clorita, carbonatos, epidota, zoisita/clinozoisita, minerales opacos y cuarzo como producto de la alteración hidrotermal.

La asociación de facies de tonalitas se caracteriza por la presencia de cuarzo, plagioclasa, biotita y(o) anfíbol como minerales principales, apatito y circón como minerales accesorios, saussurita, sericita, clorita, carbonatos, epidota, zoisita/clinozoisita, titanita, allanita, minerales opacos y cuarzo como producto de la alteración hidrotermal.

Ambas asociaciones de facies son cortadas por diques volcánicos, subvolcánicos y vetas mineralizadas que generan alteración propilítica en las rocas pertenecientes al plutón El Carmen.

La relación de los datos de petrografía obtenidos, con datos de geoquímica y geocronología disponibles, indican que el plutón El Carmen es un plutón compuesto, donde la construcción del mismo ocurrió en mínimo dos etapas, marcadas por el ascenso y emplazamiento de al menos dos pulsos magmáticos principales e individuales, un pulso de composición básica (gabros-dioritas

gabroicas) emplazado durante la primera etapa, relacionado a procesos de cristalización fraccionada, el cual se encontraba parcial a totalmente cristalizado durante el ascenso y emplazamiento del segundo pulso, de composición ácida (tonalitas-trondhjemitas) durante la segunda etapa, relacionado a procesos de mezcla de magmas.

El ambiente tectónico propuesto a partir de los datos disponibles de esta investigación y anteriores, es un *rift*, localizado al noroeste de Suramérica durante el carbonífero (Gondwana), el cual tuvo una duración de más de 23 Ma y se asocia a las etapas intermedias de formación del aulacógeno de Bolívar.

## 10. Referencias

- Álvarez, A. J. (1983). Geología de la Cordillera Central y el Occidente colombiano y petroquímica de los intrusivos granitoides Mesoceno-zóicos. *Boletín Geológico*, 26(2), 1-175. <https://doi.org/10.32685/0120-1425>
- Ávila-Vallejo, H. (2015). Actualización de la cartografía geológica del distrito minero El Bagre. Tesis de pregrado, Universidad de Caldas.
- Barbarin, B. (1999). A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments. *Lithos*, 46(3), 605-626. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(98\)00085-1](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(98)00085-1)
- Best, M.G. (2003). *Igneous and metamorphic petrology*. Blackwell Publishing, Turin, 735.
- Boinet, T., Bourgois, J., Bellon, H., & Toussaint, J. F. (1985). Age et répartition du magmatisme Prémésozoïque des Andes de Colombie. *Comptes-rendus des séances de l'Académie des sciences. Série 2, Mécanique-physique, chimie, sciences de l'univers, sciences de la terre*, 300(10), 445-450.
- Castro-Dorado, A. *Petrografía de Rocas Ígneas y Metamórfica*. Paraninfo: Madrid, España, 2015.
- Chappell, B. W., & White, A. J. (2001). Two contrasting granite types: 25 years later. *Australian journal of earth sciences*, 48(4), 489-499. <https://doi.org/10.1046/j.1440-0952.2001.00882.x>
- Coleman, D. S., Gray, W. & Glazner, A. F. (2004). Rethinking the emplacement and evolution of zoned plutons: Geochronologic evidence for incremental assembly of the Tuolumne Intrusive Suite, California. *Geology*, 32(5), 433-436. <https://doi.org/10.1130/G20220.1>

- De Vries, B. V. W., & De Vries, M. V. W. (2018). Tectonics and volcanic and igneous plumbing systems. In *Volcanic and igneous plumbing systems*. Elsevier, 167-189. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809749-6.00007-8>
- Donnelly, T. W., Horne, G. S., Finch, R. C., & López-Ramos, E. (1990). Northern Central America; the Maya and chortis blocks. *The Geology of North America*, 11, 37-76. <https://doi.org/10.1130/DNAG-GNA-H.37>
- Frantz, J. C., Ordonez, O. & Chemale, F. (2007). Caracterización de ambientes geológicos con mineralizaciones de Oro en los Andes Colombianos. In VIII Congreso Colombiano de Minería. Memorias CD. Medellín.
- Feininger, T., Barrero, D. & Castro, N. (1972). Geología de parte de los departamentos de Antioquia y Caldas (sub-zona II-B). *Boletín geológico*, 20(2), 1-173. <https://doi.org/10.32685/0120-1425>
- García, C. A., Correa, K., Mantilla, L. C. & Bernal, L. (2009). Aspectos petrográficos y geoquímicos de las rocas metamórficas del sector Barranco de Loba (Serranía de San Lucas). *Boletín de Geología*, 31(1), 45-60.
- García-Chinchilla, D. A. & Vlach, S. R. F. (2019). Geological mapping of intrusive rocks: a case study in the Garzón region, the Eastern Cordillera of the Colombian Andes. *Geología USP. Serie Científica*, 19(4), 43-62. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v19-158365>
- Gómez, J., Montes, N.E., Alcárcel, F.A. & Ceballos, J.A. (2015). Catálogo de dataciones radiométricas de Colombia en ArcGIS y Google Earth. En: Gómez, J. & Almanza, M.F. (editores), *Compilando la geología de Colombia: Una visión a 2015*. Servicio Geológico Colombiano, Publicaciones Geológicas Especiales. 33, 51–333.

- Gómez, J., Montes, N.E., Nivia, Á., Diederix, H. & Compiladores. (2015). Plancha 5-06 Del Atlas Geológico de Colombia 2015. Escala 1:500.000. Servicio Geológico Colombiano, Bogotá.
- Gómez, J., Montes, N.E. & compiladores. (2020). Plancha 5-06 del Atlas Geológico de Colombia 2020. Escala 1:500 000. Servicio Geológico Colombiano, Bogotá.
- González, H. (1992). Geología Plancha 106 Liberia. Escala 1:100.000. Memoria explicativa. Ingeominas. Bogotá.
- González, H., Maya, M., Cardona, O.D., Arias, E.N., Castañeda, D.M., Ruiz, C.F., Montero, J.E., Camacho, J.A., Palacio, A.F., Gómez, J.P., Vélez, W., & Alzate, G.A. (2015). Mapa geológico de la plancha 94 El Bagre. Escala 1:100 000. Servicio Geológico Colombiano, Bogotá, Colombia.
- González, H. (2001). Mapa Geológico del Departamento de Antioquia. Escala 1:400.000. Memoria Explicativa y mapa. Bogotá: INGEOMINAS.
- González, H. y Londoño, A. C. (2002). Catálogo de las unidades litoestratigráficas de Colombia. Diorita de Segovia. Batolito de Segovia (Jds). Cordillera central, departamentos de Antioquia y Bolívar. Bogotá: INGEOMINAS.
- Green, T. H. (1980). Island arc and continent-building magmatism—A review of petrogenic models based on experimental petrology and geochemistry. *Tectonophysics*, 63(1-4), 367-385. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(80\)90121-3](https://doi.org/10.1016/0040-1951(80)90121-3)
- Grove, T. L., Elkins-Tanton, L. T., Parman, S. W., Chatterjee, N., Müntener, O. & Gaetani, G. A. (2003). Fractional crystallization and mantle-melting controls on calc-alkaline differentiation trends. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 145(5), 515-533.

- Hastie, A. R., Kerr, A. C., Pearce, J. A., & Mitchell, S. F. (2007). Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements: development of the Th–Co discrimination diagram. *Journal of petrology*, 48(12), 2341-2357. <https://doi.org/10.1093/petrology/egm062>
- Irvine, T. N., & Baragar, W. R. A. (1971). A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian journal of earth sciences*, 8(5), 523-548. <https://doi.org/10.1139/e71-055>
- Kemp, A. I. S., Hawkesworth, C. J., Foster, G. L., Paterson, B. A., Woodhead, J. D., Hergt, J. M. & Whitehouse, M. J. (2007). Magmatic and crustal differentiation history of granitic rocks from Hf-O isotopes in zircon. *Science*, 315(5814), 980-983. <https://doi.org/10.1126/science.1136154>
- Leal-Mejía, H. (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: A tectono-magmatic approach (Doctoral dissertation).
- Leal-Mejía, H., Shaw, R. P., & Melgarejo i Draper, J. C. (2019). Spatial-temporal migration of granitoid magmatism and the Phanerozoic tectono-magmatic evolution of the Colombian Andes. In *Geology and tectonics of northwestern South America*. 253-410. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-76132-9\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-76132-9_5)
- Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas M.J., Bonin, B. & Bateman, P. (2002). *Igneous rocks: a classification and glossary of terms: recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks*. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/S0016756803218021>

- Leshner, C. E. & Spera, F. J. (2015). Thermodynamic and transport properties of silicate melts and magma. *Encyclopedia of volcanoes*, 113-141. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385938-9.00005-5>
- López, j. p. & Bellos, L. I. (2006). Texturas y estructuras de las rocas ígneas: Significado petrológico e implicancias en las condiciones de formación de las rocas. *INSUGEO*.
- López-Ruiz, J., & Cebriá, J. M. (2015). Volcanismo y Tectónica de placas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 23(1), 12-12.
- Londoño, C., Montoya, J.C., Ordoñez, O. & Restrepo, J.J. (2009). Características de las mineralizaciones vetiformes en el Distrito Minero Bagre-Nechí, Antioquia. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 26, 29-38.
- Marsh, B. D. (1989). Magma chambers. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 17(1), 439-472.
- Marsh, B. D. (2015). Magma chambers. *Encyclopedia of volcanoes*, 185-201. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385938-9.00008-0>
- Matzel, J. E., Bowring, S. A. & Miller, R. B. (2006). Time scales of pluton construction at differing crustal levels: Examples from the Mount Stuart and Tenpeak intrusions, North Cascades, Washington. *Geological Society of America Bulletin*, 118(11-12), 1412-1430. <https://doi.org/10.1130/B25923.1>
- Maya, M. & González, H. (1995). Unidades litodémicas en la Cordillera Central de Colombia. *Boletín Geológico*, 35(2-3), 44-57. <https://doi.org/10.32685/0120-1425>

- McNulty, B. A., Tong, W. & Tobisch, O. T. (1996). Assembly of a dike-fed magma chamber: The Jackass Lakes pluton, central Sierra Nevada, California. *Geological Society of America Bulletin*, 108(8), 926-940. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1996\)108%3C0926:AOADFM%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1996)108%3C0926:AOADFM%3E2.3.CO;2)
- Michel, J., Baumgartner, L., Putlitz, B., Schaltegger, U. & Ovtcharova, M. (2008). Incremental growth of the Patagonian Torres del Paine laccolith over 90 ky. *Geology*, 36(6), 459-462. <https://doi.org/10.1130/G24546A.1>
- Microsoft. (2011). Microsoft image composite editor.
- Middlemost, E. A. (1994). Naming materials in the 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)
- Moreno-Sánchez, M., Gómez-Cruz, A. & Buitrago-Hincapié, J. 2020. Paleozoic of Colombian Andes: New paleontological data and regional stratigraphic review. In: Gómez, J. & Mateus-Zabala, D. (editors), *The Geology of Colombia, Volume 1 Proterozoic – Paleozoic*. Servicio Geológico Colombiano, Publicaciones Geológicas Especiales 35, 167-203. Bogotá. <https://doi.org/10.32685/pub.esp.35.2019.09>
- Naranjo-Sierra, E., Alvaran-Echeverri, M. & Zapata-Cardona, E. (2016). Preliminary metallogenic analysis of La Ye lode gold deposit, Antioquia, Colombia: geological, isotopic and structural characteristics. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 33(3), 316-328.
- Naranjo-Sierra, E. & Alvarán-Echeverri, M. (2018). Características geológicas, isotópicas y estructurales del depósito vetiforme Los Mangos, Antioquia-Colombia. *Boletín de Geología*, 40(1), 93-108. <https://doi.org/10.18273/revbol.v40n1-2018006>

- Naranjo Sierra, E. & Alvarán Echeverri, M. (2020). Fluid inclusion study of shear zone hosted lode gold type deposits: El Bagre mining district, Antioquia-Colombia. *Earth Sciences Research Journal*, 24(3), 245-257. <https://doi.org/10.15446/esrj.v24n3.80653>
- Nelson, H. W. (1956). Contribution to the geology of the Central and Western Cordillera of Colombia in the sector between Ibagué and Cali (Doctoral dissertation, E. Ijdo).
- Orozco-Centeno, W. P., Branch Bedoya, J. W. & Jiménez-Builes, J. A. (2014). Classification of fine-grained igneous, sedimentary and metamorphic rocks through structured programming. *Boletín de ciencias de la tierra*, 36, 5-9. <https://doi.org/10.15446/rbct.n36.44037>
- Paez, G. N. (2019). Mapeo de rocas ígneas. <http://hdl.handle.net/11336/126266>
- Pearce, J. A., Harris, N. B., & Tindle, A. G. (1984). Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of petrology*, 25(4), 956-983. <https://doi.org/10.1093/petrology/25.4.956>
- Peña-Alonso, T. A. (2014). Revisión documental sobre la dinámica de los magmas. *GEOS*, 34(2). <https://geos.cicese.mx/index.php/geos/article/view/39>
- Petford, N. (2003). Rheology of granitic magmas during ascent and emplacement. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 31(1), 399-427. <http://doi.org/10.1146/annurev.earth.31.100901.141352>
- Pitcher, W. S. (1979). The nature, ascent and emplacement of granitic magmas. *Journal of the Geological Society*, 136(6), 627-662. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.136.6.0627>

- Plumlee, G. S. (1999). The environmental geology of mineral deposits. The environmental geochemistry of mineral deposits. Society of Economic Geologists. Part A, 71-116.
- Rasband, W. S. (1997). ImageJ.
- Rapp, R. P. & Watson, E. B. (1995). Dehydration melting of metabasalt at 8–32 kbar: implications for continental growth and crust-mantle recycling. *Journal of Petrology*, 36(4), 891-931.  
<https://doi.org/10.1093/petrology/36.4.891>
- Restrepo, J. J. & Toussaint, J. F. (1988). Terranes and continental accretion in the Colombian Andes. *Episodes Journal of International Geoscience*, 11(3), 189-193.  
<https://doi.org/10.18814/epiiugs/1988/v11i3/006>
- Salgado-González, D., Muñoz-Ospina, J. D., Naranjo-Sierra, E., & Cardona-Ríos, J. J. (2021). Características estructurales de los depósitos vetiformes La Ye y Mangos, Distrito Minero El Bagre (Antioquia, Colombia). *Boletín de Geología*, 43(3), 125-141.  
<https://doi.org/10.18273/revbol.v43n3-2021006>
- Sen, G. (2014). Introduction to igneous rocks. In *Petrology*. Springer, Berlin, Heidelberg, 19-49.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-642-38800-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-38800-2_2)
- Shand, S. J. (1947). *Eruptive rocks: their genesis, composition, classification, and their relation to ore-deposits, with a chapter on meteorites*. T. Murby.
- Sirbescu, M. L. C. & Nabelek, P. I. (2003). Crustal melts below 400 C. *Geology*, 31(8), 685-688.  
<https://doi.org/10.1130/G19497.1>
- Spera, F.J. (2000). Physical properties of magmas. *Encyclopedia of Volcanoes*, 171-190.

- 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)
- Tanton, L. T. E., Grove, T. L. & Donnelly-Nolan, J. (2001). Hot, shallow mantle melting under the Cascades volcanic arc. *Geology*, 29(7), 631-634. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2001\)029%3C0631:HSMMUT%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2001)029%3C0631:HSMMUT%3E2.0.CO;2)
- Tarney, J., & Jones, C. E. (1994). Trace element geochemistry of orogenic igneous rocks and crustal growth models. *Journal of the Geological Society*, 151(5), 855-868.  
<https://doi.org/10.1144/gsjgs.151.5.0855>
- Tatsumi, Y. (1989). Migration of fluid phases and genesis of basalt magmas in subduction zones. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 94(B4), 4697-4707.  
<https://doi.org/10.1029/JB094iB04p04697>
- Ulbrich, H., Vlach, S. R. F. & Janasi, V. A. (2001). O mapeamento faciológico em rochas ígneas plutônicas. *Revista Brasileira de Geociências*, 31(2), 163-172.
- Van der Lelij, R., Spikings, R., & Mora, A. (2016). Thermochronology and tectonics of the Mérida Andes and the Santander massif, NW South America. *Lithos*, 248, 220-239.  
<https://doi.org/10.1016/j.lithos.2016.01.006>
- Varona-Bravo, D. S. (2016). Características geoquímicas y petrográficas del sector norte del *Stock* El Carmen. Tesis de pregrado, Universidad de Caldas.
- Vignerresse, J. A. & Clemens, J. D. (2000). Granitic magma ascent and emplacement: neither diapirism nor neutral buoyancy. *Geological Society, London, Special Publications*, 174(1), 1-19. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1999.174.01.01>

- Vinasco, C. J., Cordani, U. G., González, H., Weber, M., & Pelaez, 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(4), 355-371. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2006.07.007>
- Vlach, S. (1985). *Geologia, Petrografia e Geocronologia das Regiões Meridional e Oriental do Complexo de Morungaba, SP. Dissertação (Mestrado)*. São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. <https://doi.org/10.11606/D.44.1985.tde-29082013-164250>
- Vlach, S. (1993). *Geologia e Petrologia dos Granitoides de Morungaba, SP. Tese (Doutorado)*. São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. <https://doi.org/10.11606/T.44.1993.tde-15042013-112501>
- Whitney, D. L. & Evans, B. W. (2010). Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American mineralogist*, 95(1), 185-187. <https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>
- Winter, J. D. (2013). *Principles of igneous and metamorphic petrology*. Pearson education.
- Yang, H., Ge, W. C., Zhao, G. C., Dong, Y., Xu, W. L., Ji, Z., & Yu, J. J. (2015). Late Triassic intrusive complex in the Jidong region, Jiamusi–Khanka Block, NE China: geochemistry, zircon U–Pb ages, Lu–Hf isotopes, and implications for magma mingling and mixing. *Lithos*, 224, 143-159. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2015.03.001>
- Zartman, R. E., & Doe, B. R. (1981). Plumbotectonics—the model. *Tectonophysics*, 75(1-2), 135-162. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(81\)90213-4](https://doi.org/10.1016/0040-1951(81)90213-4)

# **ANEXOS**

Anexo 1: Formatos de logueo

Formato de logueo (ZaSY_199)																	
Desde (m)	Hasta (m)	Textura			índice de color	color general	Minerales formados de roca									Muestra	Comentarios
		Grado de cristalinidad	Granularidad	tamaño de grano			Cuarzo			Plagioclasa			Biotita				
							%	Forma de cristales	Tamaño de grano	%	Forma de cristales	Tamaño de grano	%	Forma de cristales	Tamaño de grano		
0	32,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Suelo, saprolito y roca muy altamente meteorizada, por tanto, no se reconoce muy bien la mineralogía y la textura, sin embargo se puede asociar a la roca de la siguiente descripción.
32,15	80,3	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular levemente porfirítica	De grano fino a medio	Leucocrático	Moteado	20-25	Anhedral	1-6mm	60-65	Subhedral	1-5mm	10 - 15	Anhedral	1-3mm	JRA-02	Alteración de biotita a clorita, el cuarzo presenta ocasionalmente tamaños de hasta 8mm, se observa la presencia de vetillas de carbonatos principalmente.
80,3	132,8	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular levemente porfirítica	De grano fino a grueso	Leucocrático	Moteado	25-30	Anhedral	2-12mm	55-65	Subhedral	1-3mm	10 - 15	Anhedral	1-3mm	JRA-01	Alteración de biotitas a clorita, se observan venillas con ¿epidota?, ¿actinolita? y carbonatos, la tonalidad rosa de algunos granos hace pensar la posible presencia de feldespato potásico, sin embargo, esta se presenta cerca de las zonas altamente alteradas hidrotermalmente.
132,8	135,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	No se reconoce la textura original de la roca y toma una tonalidad verdosa, se observa una muy alta concentración de venillas y orientación de cuarzo, en textura auge, indicando procesos de ¿milonización? (deformación dúctil).
135,1	143	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular levemente porfirítica	De grano fino a grueso	Leucocrático	Moteado	25-30	Anhedral	2-12mm	55-65	Subhedral	1-3mm	10 - 15	Anhedral	1-3mm	-	Alteración de biotitas a clorita, se observan venillas con ¿epidota?, ¿actinolita? y carbonatos.
143	145,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Fuerte alteración y fracturamiento, a causa de dicha alteración la roca se observa con una tonalidad blanca y con una disminución muy notable de minerales máficos (hasta de 5%), hay presencia de calcopirita diseminada y exceso de sílice (silicificación).
145,15	152,15	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a grueso	Leucocrático	Moteado	25-30	Anhedral	2-12mm	55-65	Subhedral	1-7mm	5 - 15	Anhedral	1-4mm	-	Presenta una concentración media de vetillas de carbonato principalmente, con una inclinación preferencial de 20° y hasta 40°, cerca de las vetillas hay una disminución considerable de minerales máficos.

**Formato de logueo (BLMDDH\_18\_009)**

Desde (m)	Hasta (m)	Textura			índice de color	color general	Minerales formados de roca									Muestra	Comentarios
		Grado de cristalinidad	Granularidad	tamaño de grano			Cuarzo			Plagioclasa			Anfiboles				
							%	Forma de cristales	Tamaño de grano	%	Forma de cristales	Tamaño de grano	%	Forma de cristales	Tamaño de grano		
0	11,85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Suelo, saprolito y roca muy altamente meteorizada, por tanto no se reconoce muy bien la mineralogía, pero se asocia a un gabro.
11,85	15,25	Holocristalina	Fanerítica, equigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Gris moteado	-	-	-	50-60	Subhedral	1-2mm	40-50	Anhedral	1-2mm	JRA-03	Los anfíboles presentan procesos de cloritización, muy rara vez se presentan plagioclasa con tamaños de hasta 7mm y los anfíboles de hasta 5mm, hay pequeñas zonas donde predomina la concentración de plagioclasa y así mismo donde predomina la concentración de anfíboles, hay presencia de vetillas compuestas principalmente de carbonatos y en menor proporción de calcopirita y pirita.
15,25	16,6	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Gris oscuro moteado	0-5	Anhedral	1-2mm	50-55	Subhedral	2-6mm	35-40	Anhedral subhedral	1-6mm	-	Presenta alteración de anfíboles a clorita, hay presencia de vetillas con carbonatos y epidota?, en esta zona se observa una variación rápida (cm) en el tamaño de grano pasando de fino(1mm) a medio (hasta6mm).
16,6	36,1	Holocristalina	Fanerítica inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Gris moteado	0-10	Anhedral	1-2mm	40-60	Subhedral	2-5mm	30-60	Anhedral subhedral	1-5mm	JRA-06	Se observan zonas de acumulación de plagioclasas y así mismo, zonas de acumulación de anfíboles, donde el tamaño de los mismos aumenta llegando hasta 1cm, estas variaciones se dan en el orden de cm a m, al igual que la aparición de cuarzo, alta presencia de vetillas de cuarzo y carbonatos, pirita y calcopirita, con una inclinación preferencial de 30 a 65°, hay una intrusión de la tonalita a Prof. Aproximada de 34m.
36,1	57,6	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Gris moteado	-	-	-	30-60	Subhedral	1-5mm	30-50	Anhedral subhedral	1-5mm	JRA-05	Presencia de vetillas de carbonatos y cuarzo principalmente, hay zonas donde la presencia de estas es muy elevada y la roca toma tonalidades verde manzana y la plagioclasa se ve con tonalidades levemente rosas, a veces los minerales están orientados, los anfíboles alcanzan tamaños de hasta 1Cm ocasionalmente.
57,6	58,1	Afanítica	-	-	-	Verde manzana	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	La roca corresponde a un dique con un alto grado de fracturamiento y moderada presencia de venillas de cuarzo y carbonatos.
58,1	101,3	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Moteado a gris moteado	0-5	Anhedral	1-2mm	40-60	Subhedral	1-6mm	35-60	Anhedral subhedral	1-5mm	JRA-07	Presencia de vetillas de carbonatos y cuarzo principalmente, con inclinación preferencial de 40-60°, cuando la concentración es muy elevada la roca presenta tonalidades verdosas por alteración de anfíboles, ocasionalmente se presentan zonas con dominio de plagioclasa y así mismo zonas con dominio de anfíboles y estos alcanzan tamaños de hasta 1cm, la plagioclasa de hasta 7mm, la aparición de cuarzo no es constante y adicionalmente hay zonas donde predomina el tamaño de grano fino y hay zonas donde predomina el tamaño de grano medio con una variación transicional, todas estas variaciones se dan en escalas de cm a m.

101,3	133,7	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Moteado a gris moteado	-	-	-	40-65	Subhedral	1-5mm	35-65	Anhedral subhedral	1-10mm	JRA-08, 09	Presencia de venillas de carbonatos y cuarzo con presencia de pirita, la zona ocasionalmente domina el tamaño de grano fino y ocasionalmente el tamaño de grano medio, pero esta variación es de cm a m, a veces hay aparición de cuarzo, sin embargo no es tan común.
133,7	171,2	Holocristalina	Fanerítica, equigranular	De grano fino	Mesocrático	Verde manzana	-	-	-	45-50	Anhedral	<1mm	50-55	Anhedral	<1mm	JRA-10,11	La zona corresponde a un dique subvolcánicos(muestra JRA-10), los granos son menores a 1mm pero son reconocibles con la lupa, entre más cerca se encuentra a la roca caja se observa una textura más afanítica, hay zonas donde aparecen fragmentos de la roca que está siendo intruidas por el dique (muestra JRA-11), presencia de venillas de carbonatos y cuarzo con presencia de pirita.
171,2	187,4	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Moteado a gris moteado	0-10	Anhedral	1-5mm	40-60	Subhedral	1-6mm	30-60	Anhedral subhedral	1-6mm	JRA-12	Cambios muy rápidos en el tamaño de grano, formando cúmulos de minerales fino y cúmulos de mirales de tamaño medio, se observa en la roca venillas de cm de cuarzo y carbonatos, con alta presencia de pirita, hay zonas de acumulación de anfíboles, la presencia de cuarzo es esporádica.
187,4	188,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Zona Fuertemente alterada hidrotermalmente, la roca presenta coloración verdosa, la roca se encuentra altamente fracturada y posiblemente afectada por una pequeña falla.
188,3	239,9	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio, ocasionalmente medio a grueso	Mesocrático	Moteado a gris moteado	0-10	Anhedral	1-5mm	30-60	Subhedral	1-7mm	30-70	Anhedral	1-10mm	JRA-13, 14 y 15	La roca es principalmente de tamaño fino a medio con leve presencia de cuarzo (JRA-15), a veces se presenta como cúmulos de anfíboles que alcanzan hasta 1cm ,con cuarzo rellenando espacios entre ellos (muestra JRA-13), también presenta zonas con una disminución de tamaño muy drástico, hay presencia de venillas de hasta 8Cm con inclinación de 70° los de mayor tamaño y cerca de las 20°, los de menor tamaño, compuestas por cuarzo carbonatos y pirita, cerca de ellas las rocas presentan tonalidades verdosas y también hay aparición de un dique subvolcánicos el mismo descrito de la muestra JRA-10.
239,9	255	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio,	Mesocrático	Gris verdoso moteado	0-10	Anhedral	1-2mm	20-30	Subhedral	1-4mm	60-70	Anhedral	1-5mm	JRA-16	Se observan unas zonas donde hay una alta concentración en la cantidad de anfíboles, sin variar drásticamente el tamaño, los anfíboles se encuentren fuertemente alterados a clorita, hay una concentración media de venillas de cuarzo, carbonatos y pirita.
255	288,5	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio,	Mesocrático	Moteado a gris moteado	-	-	-	30-60	Subhedral	1-5mm	40-65	Anhedral	1-6mm	JRA-7 y JRA-18	La roca es principalmente de tamaño fino a medio con leve presencia de cuarzo (JRA-17), la roca también presenta tamaño de grano fino, la zona presenta venillas de cuarzo, carbonatos y pirita., una veta a Prof. De 181m la cual alcanza los 70 cm de espesor, adicionalmente se observa que es cortada por el dique subvolcánicos.

**Formato de logeo (BLMDDH\_18\_011)**

Desde (m)	Hasta (m)	Textura			índice de color	color general	Minerales formados de roca									Muestra	Comentarios
		Grado de cristalinidad	Granularidad	tamaño de grano			Cuarzo			Plagioclasa			Anfiboles				
							%	Forma de cristales	Tamaño de grano	%	Forma de cristales	Tamaño de grano	%	Forma de cristales	Tamaño de grano		
0	13,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Suelo, saprolito y roca muy altamente meteorizada, por tanto no se reconoce muy bien la mineralogía, pero se asocia a un gabro.
13,3	21,15	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Moteado a gris moteado	-	-	-	35-60	Subhedral	1-4mm	35-65	Anhedral	1-5mm	JRA-20	Los anfíboles presentan procesos de cloritización, hay pequeñas zonas donde predomina la concentración de plagioclasa y así mismo donde predomina la concentración de anfíboles, donde los anfíboles alcanzan tamaños de hasta 7mm y presentan una forma euhedral, hay presencia de venillas de cuarzo, carbonatos y pirita, donde se concentran la roca presenta tonalidades verdosas.
21,15	25,2	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Gris oscuro moteado				50-55	Subhedral	1-5mm	45-50	Anhedral	1-5mm	JRA-19	Se observa la presencia de venillas de cuarzo y carbonatos, generando tonalidad verdosa en la roca, pequeñas zonas con concentración de minerales de tamaño de grano medio a grueso..
25,2	32	Holocristalina	Fanerítica inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Gris moteado	0-5	Anhedral	1-3mm	55-60	Subhedral	2-6mm	30-45	Anhedral	2-5mm	JRA-21	A 29m se observa una veta (~40Cm) con cuarzo, carbonatos y pirita, además en la zona también hay un fuerte venilleo con inclinación entre 20 y 40°, hay zonas donde disminuye drásticamente la concentración de máficos, la aparición de cuarzo es poco constate.
32	46,5	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Moteado a gris moteado	0-10	Anhedral	1-3mm	55-60	Subhedral	2-5mm	35-45	Anhedral	2-5mm	JRA-22 y 23	Presencia de venillas de carbonatos y cuarzo principalmente, ocasionalmente pirita con una inclinación de 35 a 70°, hay zonas donde la presencia de estas es muy elevada y la roca presenta tonalidades verdosas y hay granos de tonalidad rosa que se podrían asociar a feldespato k, sin embargo, solo ocurre cerca de las zonas de alteración.
46,5	46,9	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Leucocrático	Moteado	20-25	Anhedral	2-5mm	60-70	Subhedral	2-5mm	-	-	-	JRA-24	La zona corresponde a una intrusión de la tonalita.
46,9	58,1	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Moteado a gris moteado	0-10	Anhedral	1-3mm	40-60	Subhedral	1-5mm	35-60	Anhedral	2-5mm	JRA-25	hay presencia de venillas de carbonatos y cuarzo, se observa una zona de falla con una inclinación de 40°, hay harina de falla y la roca está muy fracturada, cerca de las venillas hay granos de tonalidad rosa que hacen pensar la presencia de feldespato k.
58,1	59,6	Holocristalina	Porfírica	De grano fino	Mesocrático	Verde manzana moteado a negro moteado	-	-	-	50-60	Subhedral	<1-2mm	40-50	Anhedral	<1-1mm	JRA-26	La plagioclasa es más común como fenocristal y el anfíbol es más común dentro de la matriz, hay zonas donde no se hacen presentes los fenocristales, la zona presenta venillas de carbonatos y cuarzo principalmente.
59,6	77,5	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Moteado a gris moteado	0-10	Anhedral	1mm	50-65	Anhedral	1-4mm	50-55	Anhedral	<1mm	JRA-29	La roca presenta un grado alto de alteración y presenta una tonalidad verdosa, alta presencia de venillas de cuarzo y carbonatos, además una pequeña zona Cm de acumulación de anfíboles subhedral (5mm) y cuarzo

																	(de hasta 3mm). En 71 m hay una pequeña intrusión de un pulso más diferenciado, el cual presenta xenolitos de la roca máfica.
77,5	80	Porfírica	De matriz afanítica	-	Melanocrático	Negro moteado	-	-	-	100	Subhedral	1mm	-	-	-	JRA-27	La roca corresponde a un dique volcánico.
80	97,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Zona con una alta presencia de vetas (80-81m) y venillas de cuarzo y carbonatos con pirita, la roca está fuertemente alterada hidrotermalmente, la roca presenta coloración verdosa y variaciones muy drásticas en el tamaño de grano, haciéndose más fina cerca de las venillas.
97,6	118,2	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Moteado a gris moteado	0-5	Anhedral	1-2mm	55-60	Subhedral	1-4mm	40-55	Anhedral	1-5mm	JRA-28, 30 y 31	La roca presenta pequeñas variaciones en el contenido de plagioclasa, variaciones significativas en el tamaño de grano, haciéndose fino ocasionalmente, presenta venillas de cuarzo, carbonato y pirita, ocasionalmente se observa pirita diseminada, la muestra 31 corresponde a una zona donde hay baja concentración de máficos y aumenta la concentración de plagioclasa
118,2	121,5	Holocristalina	Fanerítica, equigranular	De grano fino	Mesocrático	Gris verdoso moteado	-	-	-	45-50	Subhedral	<1mm	50-55	Anhedral	<1mm	-	La roca la roca corresponde a un dique subvolcánico, el cual entre más cerca se encuentra a la roca caja se observa una textura más afanítica, presenta venillas de cuarzo y carbonatos.
121,5	147,3	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano medio	Mesocrático	Moteado	-	-	-	50-60	Subhedral	2-5mm	40-50	Anhedral	2-4mm	JRA-32, 33	la roca presenta pequeñas variaciones en el tamaño de grano, haciéndose ocasionalmente fino, sin embargo, predomina la textura descrita, hay presencia de venillas de carbonatos y cuarzo, que generan una coloración verde en la roca cerca de ellas, pequeña intrusión de dique anteriormente descrito.
147,3	149,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Roca fuertemente alterada, fracturada, con alta presencia de venillas, no se reconoce la textura de la roca original y hay presencia de salbanda.
149,2	163,2	Porfírica	De matriz afanítica	-	-	Verde manzana moteado	-	-	-	100	Anhedral Subhedral	1-3mm	-	-	-	-	La roca corresponde a un dique volcánico, con alta presencia de venillas, podría presentar silicificación
163,2	176,5	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Moteado	0-10	Anhedral	1-2mm	40-60	Subhedral	1-6mm	40-60	Anhedral	2-5mm	JRA-34	Se observan variaciones drásticas en el tamaño de grano y en la concentración de anfíbol respecto a la plagioclasa, hay presencia de venillas de cuarzo y carbonatos, que ocasionalmente contiene pirita.
176,5	184,9	Porfírica	De matriz afanítica	-	-	Verde manzana moteado	-	-	-	100	Anhedral Subhedral	1-3mm	-	-	-	-	La roca corresponde a un dique volcánico, con alta presencia de venillas, podría presentar silicificación
184,9	187,9	Afanítica	-	-	-	Verde manzana	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	La roca corresponde a un dique volcánico.
187,9	199,5	Porfírica	De matriz afanítica	-	-	Verde manzana moteado	-	-	-	100	Anhedral Subhedral	1-3mm	-	-	-	-	La roca corresponde a un dique volcánico, con alta presencia de venillas, podría presentar silicificación, adicionalmente de 197 hasta 199,5 la roca presenta alto grado de fracturamiento y presencia de salbanda.

199,5	218,5	Holocristalina	Fanerítica inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Moteado a gris claro moteado	0-5	Anhedral	1-2mm	45-50	Subhedral	1-6mm	45-50	Anhedral	1-5mm	-	La zona presenta una alta concentración de venillas de cuarzo y carbonatos, presenta una tonalidad verdosas cerca de ellas adicionalmente se observan cúmulos de anfíbol de grano grueso, en estas zonas es donde hay cuarzo, ya que se presenta de manera intermitente y no es muy común.
218,5	227	Holocristalina	Fanerítica inequigranular	De grano medio a grueso	Mesocrática	Moteado	0-10	Anhedral	2-3mm	55-60	Subhedral	3-9mm	40-45	Anhedral	2-8mm	JRA-35	La zona presenta una variación drástica en el tamaño de grano, en una pequeña zona (8Cm) el tamaño de los granos aumenta muy drásticamente (anfíbol: hasta 3,4cm; aparece cuarzo: (3mm-1,3Cm) y la plagioclasa se observa en forma anhedral como si fuese matriz), además se observan venillas de cuarzo y carbonato, una de 3cm que también contiene pirita.
227	264,7	Holocristalina	Fanerítica inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrática	Moteado a negro moteado	0-5	Anhedral	1-2mm	35-60	Subhedral	1-6mm	40-60	Anhedral	1-6mm	JRA-36	La zona presenta una alta cantidad de venillas de cuarzo carbonatos y pirita de Cm de grosor inclinación de 80 a 45°, cerca de estas la roca presenta tonalidades verdosas, la variación de tamaño y el contenido de anfíbol están relacionados directamente, a menor tamaño de grano mayor contenido de anfíbol.
264	291,14	Holocristalina	Fanerítica inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrática	Moteado a gris oscuro moteado	-	-	-	35-40	Subhedral	1-5mm	60-65	Anhedral	1-6	-	La zona presenta una alta cantidad de venillas de cuarzo carbonatos y pirita, la principal diferencia con la zona anterior es el predominio de tamaño de grano fino respecto al grueso, con un alto contenido de anfíbol y presencia nula de cuarzo.
291,14	301,3	Holocristalina	Fanerítica inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrática	Moteado a negro moteado	0-5	Anhedral	1-2mm	35-60	Subhedral	1-6mm	40-60	Anhedral	1-6mm	-	La zona presenta alta cantidad de venillas de cuarzo, carbonatos y pirita, ocasionalmente no se reconoce la textura original y se observa una pequeña falla a 299,2m, la presencia de cuarzo es intermitente.

**Formato de logeo (ZaSY\_124)**

Desde (m)	Hasta (m)	Textura			índice de color	color general	Minerales formados de roca												Muestra	Comentarios
		Grado de cristalinidad	Granularidad	tamaño de grano			Cuarzo			Plagioclasa			Anfíboles			Biotita				
							%	Forma de cristales	Tamaño de grano	%	Forma de cristales	Tamaño de grano	%	Forma de cristales	Tamaño de grano	%	Forma de cristales	Tamaño de grano		
0	23,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Suelo, saprolito y roca muy altamente meteorizada, por tanto, no se reconoce muy bien la mineralogía y la textura, pero se asocia a una tonalita hasta los 16m y de ahí en adelante parece ser un dique.
23,5	28,5	Porfírica	De matriz afanítica	-	-	Gris verdoso moteado	-	-	-	-	-	-	100	Anhedral	1-2mm				-	La roca corresponde a un dique volcánico, posiblemente de composición intermedia por su tonalidad.
28,5	47	Holocrystalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Leucocrático	Moteado	20	Anhedral	1-5mm	60-65	Subhedral	1-7mm	10-15	Anhedral subhedral	1-7mm	5 - 10	Anhedral	1-3mm	-	Los anfíboles ocasionalmente alcanzan tamaños de hasta 1cm, la zona presenta venillas de cuarzo, carbonatos y epidota, donde las venillas se concentran la roca toma tonalidades verdosas.
47	47,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	JRA-37	No se reconoce la textura original de la roca y presenta una tonalidad verdosa, la zona presenta procesos de milonitización, la roca presenta alta concentración de venillas de cuarzo, carbonatos y epidota.
47,5	98,5	Holocrystalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Leucocrático	Moteado	20	Anhedral	1-6mm	60-65	Subhedral	1-6mm	10-15	Anhedral subhedral	1-8mm	5 - 10	Anhedral	1-4mm	JRA-38, 39 y 40	Ocasionalmente, los anfíboles se observan en forma euhedral y en tamaños de hasta 1,3Cm, la zona presenta venillas de cuarzo, carbonatos, epidota y pirita, en ocasiones llegando hasta tamaños de 1Cm, la concentración de pirita es baja, a Prof. De 54,9m se observan enclaves máficos, 62,85-64,7m la roca se encuentra afectada por una falla y con alto grado de fracturamiento.

98,5	99,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	No se reconoce la textura original de la roca y presenta una tonalidad verdosa, ¿la zona presenta procesos de milonitización?, la roca presenta alta concentración de venillas de cuarzo, carbonatos y epidota.
99,2	120,4	Holocrystalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Leucocrático	Moteado	20	Anhedral	1-5mm	60	Subhedral	1-6mm	5-15	Anhedral subhedral	1-8mm	5 - 15	Anhedral	1-4mm	JRA-41, 42	La zona presenta venillas de cuarzo carbonatos, epidota y pirita, en ocasiones llegando hasta tamaños de 3cm con una inclinación de 65-35°, se observan enclaves máficos,
120,4	130,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Se observa una brecha hidrotermal de 120,4 a 120,6m, está fuertemente alterada, fracturada, con presencia de venillas de cuarzo, carbonatos, epidota, altos procesos de cloritización y epidotización, con una coloración verdosa de la roca de 120,6 a 124,4m, la roca presenta una tonalidad blanca y presenta silicificación y epidotización de 126,1 a 130m.
130,4	155,3	Holocrystalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Leucocrático	Moteado	20	Anhedral	1-5mm	50-60	Subhedral	1-4mm	5-15	Anhedral subhedral	1-7mm	5-15	Anhedral	1-2mm	JRA-43	Presenta moderada presencia de venillas de cuarzo, carbonatos y pirita (en menor cantidad), inclinación de 45 a 60°, ocasionalmente hay aparición de granos de color rosado que hacen pensar la presencia de feldespato aunque es cerca de las zonas de mayor concentración de venillas.
155,3	156,2	Afanítica	-	-	-	Verde manzana	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	La roca corresponde a un dique volcánico.
156,2	200	Holocrystalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Leucocrático	Moteado	20	Anhedral	1-5mm	50-60	Subhedral	1-4mm	5-15	Anhedral subhedral	1-7mm	5-15	Anhedral	1-3mm	-	La zona presenta roca fresca, con leve incidencia de venillas de cuarzo y carbonatos, se observan enclaves máficos, de 171,5 a 174m se observa fuerte cloritización y epidotización de la roca, de 178 a 180,5 la roca está fuertemente fracturada, de 192,3-193,3m está afectada por una falla.

**Formato de logeo (ZaSY\_139)**

Desde (m)	Hasta (m)	Textura			índice de color	color general	Minerales formados de roca									Muestra	Comentarios
		Grado de cristalinidad	Granularidad	tamaño de grano			Cuarzo			Plagioclasa			Anfiboles				
							%	Forma de cristales	Tamaño de grano	%	Forma de cristales	Tamaño de grano	%	Forma de cristales	Tamaño de grano		
0	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Suelo rojo y arcilloso, saprolito y roca muy altamente meteorizada, por tanto no se reconoce muy bien la mineralogía, pero se asocia a un gabro.
8	16,8	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Moteado	-	-	-	55-60	Subhedral	1-3mm	40-45	Anhedral	1-2mm	-	Hay un predominio de grano fino respecto al tamaño de grano medio, la zona se encuentra altamente fracturada y meteorizada, aunque se reconoce la roca original (puede ser antrópico, por acumulación de material).
16,8	20,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Suelo.
20,8	34,25	Porfírica	De matriz afanítica	-	-	Verde manzana moteado	-	-	-	100	Subhedral anhedral	1-3mm	-	-	-	-	La roca corresponde a un dique volcánico, presenta venillas de carbonatos y cuarzo, que ocasionalmente contienen pirita.
34,25	34,4	Porfírica	De matriz afanítica	-	-	Verde manzana moteado	-	-	-	-	-	-	100	Anhedral	1-3mm	-	La roca corresponde al mismo dique subvolcánico al de la descripción anterior y siguiente, pero en esta zona los fenocristales corresponden a anfíbol.
34,4	40,4	Porfírica	De matriz afanítica	-	-	Verde manzana moteado	-	-	-	100	Subhedral anhedral	1-3mm	-	-	-	-	La roca corresponde a un dique volcánico, presenta venillas de carbonatos y cuarzo, que ocasionalmente contienen pirita.
40,4	43,8	Holocristalina	Fanerítica inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Moteado a gris moteado	-	-	-	50-60	Subhedral	1-6mm	40	Anhedral	1-5	-	La roca presenta variaciones drásticas en el tamaño de grano, ocasionalmente fino, ocasionalmente fino a medio, hay presencia de venillas de carbonatos y cuarzo.
43,8	67,4	Porfírica	De matriz afanítica	-	-	Verde manzana moteado	-	-	-	100	Subhedral anhedral	1-3mm	-	-	-	-	La roca corresponde a dos diques volcánicos, presentan venillas de carbonatos y cuarzo, que ocasionalmente contienen pirita, adicionalmente a veces no se observan fenocristales de plagioclasa, si no de anfíbol en un 100%, los diques se diferencian por el tamaño de grano de los fenocristales en uno es fino y en el otro medio, se observa el contacto entre ambos a Prof. De 58 a 61,8m.
67,4	72,5	Holocristalina	Fanerítica inequigranular	De grano fino a grueso	Mesocrático	Moteado	5-10	Anhedral	1mm	60-65	Subhedral	1-7mm	30-35	Anhedral	1-6mm	-	La roca presenta variaciones en el tamaño de grano, el cuarzo se presenta de manera intermitente. Alta presencia de venillas con cuarzo, carbonatos y pirita, cerca de estas la roca presenta tonalidad verdosa y disminuye drásticamente el tamaño de grano.
72,5	92,3	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino	Mesocrático	Gris oscuro	0-5	Anhedral	<1mm	45-50	Subhedral	<1mm	45	Anhedral	<1mm	-	En la zona hay una alta concentración de venillas de cuarzo, carbonatos y pirita, la roca podría corresponder a un dique, o podría asociarse a una zona de fuerte alteración hidrotermal que modificó la textura original de la roca.
92,3	143,5	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino	Mesocrático	Gris oscuro	0-5	Anhedral	<1mm	40-60	Subhedral	1-5mm	40-60	Anhedral	1-4mm	-	Alta concentración de venillas de cuarzo, carbonatos y pirita, cerca de estas se observa también pirita diseminada y tonalidades verdosas en la roca, se observa la intrusión también de un dique volcánico de textura porfírica, la zona presenta variaciones drásticas en el

																		tamaño de grano, haciéndose fina ocasionalmente y fina a medio.
143,5	144	Afanítica	-	-	-	Gris oscuro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	La roca corresponde a un dique volcánico
144	169,6	Holocristalina	Fanerítica inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Moteado	0-5	Anhedral	1mm	40-50	Subhedral	1-4mm	50-60	Anhedral	1-3mm	-	-	la zona presenta variación muy notables el tamaño de grano, pasando de fino hasta grueso (zonas con cúmulos de anfíboles (1,2mm) , en estas zonas hay aparición de granos de cuarzo (5mm)), también el tamaño de grano disminuye hasta ser fino, hay alta presencia de venillas de carbonatos, cuarzo y pirita, la aparición de cuarzo en la roca es muy intermitente.
169,6	181,45	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino (domina) a medio	Mesocrático	Gris oscuro a negro moteado	-	-	-	40	Subhedral	1-2mm	60	Anhedral	1-2mm	JRA-45	-	La roca presenta una tonalidad muy oscura respecto al resto de la roca, adicionalmente contiene fragmentos de roca con más contenido de plagioclasa y tamaño de grano fino a medio, por tanto, podría corresponder a un dique subvolcánicos, la roca presenta venillas de cuarzo, carbonatos y pirita, donde estas se concentran la roca se observa en una tonalidad verdosa y no se reconoce la textura original.
181,45	189,1	Holocristalina	Fanerítica inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Moteado	0-5	Anhedral	1mm	40-50	Subhedral	1-4mm	50-60	Anhedral	1-3mm	-	-	La roca presenta variaciones drásticas en el tamaño, siendo ocasionalmente fino equigranular y ocasionalmente fino a medio, alta presencia de venillas de cuarzo y carbonatos.
189,1	193,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	La zona presenta alta concentración de venillas, una tonalidad verde clara a verde manzana, modificando drásticamente la textura de la roca original, la dureza de la roca es alta y hay exceso de sílice, posiblemente corresponda a silicificación.
193,8	202,5	Holocristalina	Fanerítica inequigranular Levemente porfírica	De grano fino a medio	Mesocrático	Gris moteado	-	-	-	60	Subhedral	1-4mm	40	Anhedral	1-2mm	-	-	La roca se encuentra altamente alterada y fracturada, sin embargo, se reconoce la textura y mineralogía original de la roca, alta presencia de venillas de carbonatos y cuarzo principalmente.
202,5	270	Holocristalina	Fanerítica inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Moteado a gris claro moteado	0-5	Anhedral	1-3mm	50-65	Subhedral	1-5mm	35-60	Anhedral	1-4mm	JRA-46	-	Ocasionalmente hay presencia de cuarzo en muy bajo contenido, se presenta de manera intermitente, hay variaciones de tamaño de grano ocasionalmente a la roca alcanza tamaño de grano grueso, en estas zonas es más común la presencia de cuarzo, hay zonas donde hay un aumento drástico en la concentración de plagioclasa y zonas donde hay un aumento drástico de anfíboles, los cuales se observan levemente orientados, la roca presenta venillas de cuarzo, carbonatos y ocasionalmente pirita y calcopirita, cerca de estas la roca presenta tonalidades verdosas y ocasionalmente no se reconoce la textura original de la roca.

**Formato de logueo (BCDDH\_21\_107)**

Desde (m)	Hasta (m)	Textura			índice de color	color general	Minerales formados de roca									Muestra	Comentarios
		Grado de cristalinidad	Granularidad	tamaño de grano			Cuarzo			Plagioclasa			Biotita				
							%	Forma de cristales	Tamaño de grano	%	Forma de cristales	Tamaño de grano	%	Forma de cristales	Tamaño de grano		
0	8,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Suelo, saprolito y roca muy altamente meteorizada, por tanto, no se reconoce muy bien la mineralogía y la textura, sin embargo se puede asociar a la roca de la siguiente descripción.
8,7	24,6	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a grueso	Leucocrático	Amarillo moteado	20-30	Anhedral	2-9mm	60-65	Subhedral	2-7mm	5-10	Anhedral	1-4mm	-	La roca presenta un fuerte grado de alteración, lo cual genera una tonalidad amarillenta en las plagioclasas, presencia moderada de venillas de carbonatos, cuarzo, pirita y calcopirita.
24,6	80,05	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a grueso	Leucocrático	Moteado	25-30	Anhedral	2-9mm	55-65	Subhedral	1-6mm	5-10	Anhedral	1-6mm	-	la roca está relativamente fresca, presenta alteraciones de biotita a clorita, se observan enclaves máficos, los 52 a 54m se observa salbanda y la roca se encuentra fuertemente fracturada, lo cual indica afectación por una pequeña falla, presencia leve de venillas de cuarzo y carbonatos.
80,05	92,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	No se reconoce la textura original de la roca y toma una tonalidad gris verdosa, levemente fracturada y con proceso de silicificación.
92,8	110,1	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a grueso	Leucocrático	Moteado	25-30	Anhedral	2-10mm	60-65	Subhedral	2-7mm	5 - 15	Anhedral	1-6mm	-	La biotita presenta alteración a clorita, en la zona hay presencia de venillas de cuarzo, carbonatos y pirita, presenta variación drástica en el contenido de biotita y ocasionalmente presenta tonalidades verdosas.
110,1	214,9	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a grueso	Leucocrático	Moteado	25-30	Anhedral	2-8mm	55-60	Subhedral	1-8mm	5-10	Anhedral	1-6mm	-	La roca presenta venillas de cuarzo y carbonatos, cuando hay alta concentración de estas la roca presenta tonalidades verdosas e incluso rosas, hay crecimiento de biotitas y posiblemente presencia de anfíboles, en la zona hay una alta presencia de enclaves máficos.
214,9	223,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Hasta los 219m la roca se encuentra fuertemente fracturada y hay presencia de salbanda, de 219 a 223 la roca presenta alteración hidrotermal (silicificación), hay alta presencia de venillas de cuarzo y carbonatos
223,5	261,7	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a grueso	Leucocrático	Moteado	25-30	Anhedral	1-10mm	55-60	Subhedral	1-8mm	5-15	Anhedral	1-6mm	-	La zona tiene una presencia moderada de venas y venillas de cuarzo y carbonatos, donde la presencia de estas es alta la roca tienen tonalidades verdosas posiblemente por cloritización de biotitas y epidotización de plagioclasas, también muestra cambios texturales que enmascaran la textura original de la roca, ocasionalmente se observan granos con tonalidad rosa, lo cual hace pensar en posible presencia de feldespato, sin embargo, es más fácilmente asociable a la alteración.

**Formato de logeo (BGDDH\_061)**

Desde (m)	Hasta (m)	Textura			índice de color	color general	Minerales formados de roca									Muestra	Comentarios
		Grado de cristalinidad	Granularidad	tamaño de grano			Cuarzo			Plagioclasa			Biotita				
							%	Forma de cristales	Tamaño de grano	%	Forma de cristales	Tamaño de grano	%	Forma de cristales	Tamaño de grano		
0	37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Suelo, saprolito y roca muy altamente meteorizada, por tanto, no se reconoce muy bien la mineralogía y la textura, sin embargo se puede asociar a la roca de la siguiente descripción.
37	75,9	Holocristalina	Fanerítica inequigranular	De grano fino a grueso	Leucocrático	Moteado	25-30	Anhedral	2-11mm	50-60	Subhedral	1-5mm	10-15	Anhedral	2-5mm	-	La zona presenta vetas y venillas de carbonatos y cuarzo, donde estas se concentran la roca presenta una tonalidad verdosa por cloritización de las biotitas y enmascara drásticamente la textura original de la roca.
75,9	77,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	La roca presenta un alto grado de fracturamiento, y alteración, hay orientación leve de cuarzo y las biotitas están totalmente cloritizadas, no se reconoce la textura original de la roca.
77,5	78,35	Holocristalina	Fanerítica inequigranular	De grano fino a grueso	Leucocrático	Moteado	25-30	Anhedral	2-11mm	50-60	Subhedral	1-5mm	5-10	Anhedral	2-6mm	-	hay zonas donde la roca se hace de grano más fino y presenta una tonalidad verdosa, pero está relacionado a alteración hidrotermal, a causa de presencia de venillas de carbonatos principalmente.
78,35	79,05	Porfírica	De matriz afanítica	-	-	Verde manzana moteado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	La zona corresponde a un dique volcánico, se reconoce anfíbol como fenocristales de 1-2mm, presenta alta presencia de venillas de carbonatos.
79,05	95,1	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a grueso	Leucocrático	Moteado	25-30	Anhedral	2-11mm	55-60	Subhedral	1-5mm	10-15	Anhedral	2-5mm	-	la zona se encuentra fuertemente alterada hidrotermalmente, ocasionalmente la roca presenta tonalidades verdosas y rosas que hace pensar en la presencia de feldespato k, sin embargo se puede asociar a la alteración, aparentemente hay una falla, a profundidad de 84,1m, ya que hay presencia de salbanda y la roca se está altamente fracturada.
95,1	95,8	Afanítica	-	-	-	Gris verdoso	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	La roca corresponde a un dique volcánico, presenta alta presencia de venillas de carbonatos.
95,8	100,5	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a grueso	Leucocrático	Moteado	25-30	Anhedral	1-9mm	55-65	Subhedral	1-7mm	5-10	Anhedral	1-6mm	-	La zona presenta menor proporción de máficos respecto al resto de la roca, la biotita se encuentra fuertemente cloritizada, leve presencia de venillas y fracturamiento.

Formato de logeo (ECDDH_065)																	
Desde (m)	Hasta (m)	Textura			índice de color	color general	Minerales formados de roca									Muestra	Comentarios
		Grado de cristalinidad	Granularidad	tamaño de grano			Cuarzo			Plagioclasa			Biotita				
							%	Forma de cristales	Tamaño de grano	%	Forma de cristales	Tamaño de grano	%	Forma de cristales	Tamaño de grano		
0	18,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Suelo, saprolito y roca muy altamente meteorizada, por tanto, no se reconoce muy bien la mineralogía y la textura, sin embargo se puede asociar a la roca de la siguiente descripción.
18,06	19,9	Porfírica	De matriz afanítica	-	-	Gris verdoso moteado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	La zona corresponde a un dique volcánico, no se reconoce ningún mineral, presenta alta presencia de venillas de carbonatos.
19,9	32,1	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a grueso	Leucocrático	Moteado	25-30	Anhedral	2-7mm	60-65	Subhedral	2-7mm	5-10	Anhedral	1-5mm	-	La zona presenta una concentración media de venillas de carbonatos principalmente y cuarzo, cuando estas se concentran la roca presenta tonalidades verdosas por la cloritización de la biotita.
32,1	36,8	Porfírica	De matriz afanítica	-	-	Gris verdoso moteado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	La roca corresponde a un dique, los cristales que se observan corresponden 100% a anfíbol, leve a moderada presencia de venillas de carbonatos.
36,8	72,2	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a grueso	Leucocrático	Moteado	25-30	Anhedral	2-9mm	60-65	Subhedral	2-9mm	5-10	Anhedral	1-6mm	JRA-48	Leve presencia de venillas de cuarzo y carbonatos, cerca de ellas, la roca presenta una tonalidad verdosa, por la cloritización de la biotita, al igual la plagioclasa presenta tonalidades verdosas y ocasionalmente rosadas o ¿posiblemente sea feldespato k?, sin embargo solo se presenta cerca de donde hay concentración de venillas.
72,2	81,5	Afanítica	De matriz afanítica	-	-	Gris verdoso Moteado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	La zona corresponde a un dique volcánico, no se reconoce ningún mineral, presenta alta presencia de venillas de carbonatos..
81,5	94,8	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a grueso	Leucocrático	Moteado	25-30	Anhedral	1-9mm	60-65	Subhedral	1-7mm	10-15	anhedral	1-4mm	-	Hay presencia de enclaves máficos, la roca presenta variación en la concentración de biotita, ¿puede haber presencia de anfíbol en baja proporción?, leve presencia de venillas de carbonatos y cuarzo, presentando leves tonalidades verdosas.
94,8	95,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Zona fuertemente afectada por una falla, se observa salbanda y un grado alto de fracturamiento.
95,8	115,8	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a grueso	Leucocrático	Moteado	25-30	Anhedral	1-9mm	55-65	Subhedral	1-7mm	5-10	Anhedral	1-6mm	-	Hay presencia de enclaves máficos, de 104 a 109m, se observa que la roca está muy fuertemente alterada y presenta una textura como de brecha por alta concentración de venillas de carbonatos, cuarzo y pirita, adicionalmente presenta una tonalidad verdosa todos los minerales donde hay alta presencia de venillas con epidota, y ocasionalmente la plagioclasa presenta tonalidades rosas.

**Formato de logueo (BSARDDH\_10)**

Desde (m)	Hasta (m)	Textura			índice de color	color general	Minerales formados de roca									Muestra	Comentarios
		Grado de cristalinidad	Granularidad	tamaño de grano			Cuarzo			Plagioclasa			Anfibol				
							%	Forma de cristales	Tamaño de grano	%	Forma de cristales	Tamaño de grano	%	Forma de cristales	Tamaño de grano		
0	6,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Suelo, saprolito y roca muy altamente meteorizada, por tanto, no se reconoce muy bien la mineralogía y la textura, sin embargo se puede asociar a la roca de la siguiente descripción.
6,8	11,65	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrática	Moteado	0-5	Anhedral	1-2mm	50-55	Subhedral	1-5mm	35-45	Anhedral subhedral	1-3mm	-	Zona fuertemente meteorizada, llegando hasta suelo, pero hay una pequeña zona donde se reconoce la roca original y corresponde a un gablo.
11,65	18,85	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Leucocrático	Moteado	15-20	Anhedral	1-3mm	50-55	Subhedral	1-3mm	20-30	Anhedral subhedral	1-3mm	JRA-47	La plagioclasa muestra una tonalidad verdosa y el cuarzo una tonalidad azulosa haciendo ver la roca con un color oscura.
18,85	22,45	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Leucocrático	Moteado	25-30	Anhedral	2-5mm	50-60	Anhedral subhedral	2-7mm	5-10	Anhedral	1-4mm	-	Se observa una disminución muy drástica en la concentración de anfíboles y adicionalmente se encuentran altamente cloritizados, respecto a la muestra anterior, el cuarzo presenta tonalidad azulosa y hay una leve a incipiente presencia de venillas de cuarzo y carbonatos.
22,45	27	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Leucocrático	Moteado	15-20	Anhedral	1-3mm	50-55	Subhedral	1-3mm	20-30	Anhedral subhedral	1-3mm	-	Se observa nuevamente el aumento de minerales máficos, sin embargo, hay zonas donde se concentran, generando enclaves de minerales máficos, leve presencia de venillas de cuarzo y carbonatos, cerca de ellas, la roca presenta una tonalidad verdosa.
27	30,45	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Leucocrático	Moteado	20-25	Anhedral	2-5mm	50-60	Subhedral	2-7mm	5-10	Anhedral	1-4mm	-	Presencia moderada de venillas de cuarzo y carbonatos, donde hay alta presencia la roca presenta tonalidades verdosas y disminuye la concentración de máficos por cloritización.
30,45	41,8	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Leucocrático	Moteado	15-20	Anhedral	1-3mm	50-60	Subhedral	1-3mm	20-30	Anhedral	1-3mm	-	La zona presenta variaciones en la concentración de máficos, hay zonas donde hay alto contenido de anfíboles, hay presencia moderada de venillas de cuarzo y carbonatos, generando leve alteración hidrotermal y leve coloración verdosa a la roca..
41,8	77,3	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano medio	Leucocrático	Moteado	25-30	Anhedral	2-5mm	50-60	Subhedral	2-5	5-10	Anhedral	2-7mm	JRA-49	La zona presenta una alta concentración de fragmentos correspondientes a una roca holocristalina fanerítica equigranular de grano fino, mesocrática con anfíbol y plagioclasa, con formas redondeadas, elipsoidales y ocasionalmente angulares, posiblemente sea una zona de intrusión de la tonalita en los gabros.

**Formato de logeo (BSARDDH 21)**

Desde (m)	Hasta (m)	Textura			índice de color	color general	Minerales formadores de roca									Muestra	Comentarios
		Grado de cristalinidad	Granularidad	tamaño de grano			Cuarzo			Plagioclasa			Anfíbol				
							%	Forma de cristales	Tamaño de grano	%	Forma de cristales	Tamaño de grano	%	Forma de cristales	Tamaño de grano		
0	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Suelo, saprolito y roca muy altamente meteorizada, por tanto, no se reconoce muy bien la mineralogía y la textura, sin embargo, se puede asociar a un gabro, ya que hay zonas donde se reconoce levemente y presenta un índice de color mesocrático.
25	28,15	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a grueso	Leucocrático	Moteado	25-30	Anhedral	2-11mm	60-65	Subhedral	2-10mm	-	-	-	-	La roca presenta contenido de máficos de entre 5 a 10%, los cuales corresponden a biotita y posiblemente anfíbol, la zona corresponde a una intrusión de la tonalita.
28,15	54,7	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Moteado a gris moteado	-	-	-	55-60	Anhedral	1-4mm	40-45	Anhedral	1-3mm	JRA-50	La zona presenta una concentración alta de vetas y venillas de cuarzo, carbonatos, pirita, calcopirita, ocasionalmente galena y esfalerita, las plagioclasas presentan una tonalidad verdosa y el anfíbol presenta cloritización, que se intensifica cerca de las vetas y venillas.
54,7	55,2	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a grueso	Leucocrático	Moteado	25-30	Anhedral	2-11mm	60-65	Subhedral	2-10mm	-	-	-	-	La roca presenta contenido de máficos de entre 5 a 10%, los cuales corresponden a biotita y posiblemente anfíbol, la zona corresponde a una intrusión de la tonalita.
55,2	64,5	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Gris moteado	-	-	-	55-60	Subhedral	1-2mm	40-45	Anhedral subhedral	1-2mm	-	Moderada presencia de venillas de carbonatos, cuarzo y pirita, cerca de ellas la roca presenta una tonalidad verdosa, por cloritización de anfíboles y alteración de la plagioclasa.
64,5	108,05	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Moteado a gris moteado	0-5	Anhedral	>1-1mm	55-65	Subhedral	1-4mm	30-45	Anhedral	1-3mm	-	De 65 a 70m la roca representa una pequeña zona de crecimiento de minerales, donde la plagioclasa es masiva y se presenta en forma anhedral, de gran tamaño envolviendo anfíboles, ocasionalmente los anfíboles alcanzan tamaños de hasta 1,5Cm, hay presencia de elevada de vetas y venillas de carbonatos, cuarzo y pirita, hay presencia de cuarzo, pero podría ser de por la alta presencia de venillas.
108,05	111,8	Afanítica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	La roca corresponde a un dique volcánico, hay presenta venillas de carbonatos principalmente.

111,8	116,9	Holocristalina	Holocristalina	De grano fino a medio	Mesocrático	Moteado a gris moteado	-	-	-	55-60	Subhedral	1-2mm	40-45	Anhedral subhedral	1-2mm	-	Moderada a alta presencia de venillas de carbonatos, cuarzo y pirita, cerca de ellas la roca presenta una tonalidad verdosa, por cloritización de anfíboles y alteración de la plagioclasa.
116,9	118	Afanítica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	La roca corresponde a un dique volcánico, hay presenta venillas de carbonatos principalmente.
118	119	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a grueso	Leucocrático	moteado	25-30	Anhedral	2-11mm	60-65	Subhedral	2-10mm	-	-	-	-	La roca presenta contenido de máficos de entre 5 a 10%, los cuales corresponden a biotita, la zona corresponde a una intrusión de la tonalita.
119	125,5	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Moteado a gris moteado	0-5	Anhedral	>1-1mm	55-60	Subhedral	1-4mm	45-55	Anhedral	1-3mm	-	la zona presenta variaciones en el tamaño de grano y ocasionalmente presenta tonalidades verdosas, la presencia de cuarzo es muy intermitente.
125,5	125,6	Porfírica	De matriz afanítica	-	-	-	-	-	-	100	Anhedral	<1mm	-	-	-	-	La zona corresponde a un dique volcánico.
125,6	145,5	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Moteado a gris moteado	0-5	Anhedral	>1-1mm	55-60	Subhedral	1-4mm	45-55	Anhedral	1-3mm	-	De 129 a 130,5 y de 140 a 145 vuelve a intruir el dique volcánico afanítico, hay alta presencia de vetas y venillas de cuarzo, carbonatos y pirita, ocasionalmente la roca presenta tonalidades verdosas, la presencia de cuarzo es ocasional, no se presenta constante en toda la roca.
145,5	163,5	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano medio a grueso	Leucocrático	moteado	25-30	Anhedral	2-11mm	60-65	Subhedral	2-10mm	-	-	-	-	La roca presenta contenido de biotita entre 5 a 10%, la zona corresponde a una intrusión de la tonalita.
163,5	166,45	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Moteado a gris moteado	0-5	Anhedral	>1-1mm	55-60	Subhedral	1-6mm	45-55	Anhedral	1-4mm	-	La zona presenta una concentración moderada a alta de vetas y venillas de cuarzo, carbonatos y pirita, donde se concentran más las rocas presentan tonalidades verdosas y ocasionalmente tiene una apariencia levemente porfírica por cristales de gran tamaño de plagioclasa, la presencia de cuarzo es intermitente y poco constante.

**Formato de logueo (ZaSY\_210)**

Desde (m)	Hasta (m)	Textura			índice de color	color general	Minerales formados de roca									Muestra	Comentarios
		Grado de cristalinidad	Granularidad	tamaño de grano			Cuarzo			Plagioclasa			Anfiboles				
							%	Forma de cristales	Tamaño de grano	%	Forma de cristales	Tamaño de grano	%	Forma de cristales	Tamaño de grano		
0	16,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Suelo, saprolito y roca muy altamente meteorizada, por tanto no se reconoce muy bien la mineralogía, pero se asocia a un gabro.
16,05	21,7	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Moteado a gris oscuro moteado	-	-	-	55	Subhedral	1-6mm	45	Anhedral	1-4mm	-	La roca se observa levemente porfirítica por el mayor tamaño de las plagioclasas, presenta venillas de cuarzo, carbonatos y pirita, esta última también se observa diseminada en la roca cerca de donde las venillas se concentran
21,7	22,7	Holocristalina	Fanerítica inequigranular	De grano fino a grueso	Leucocrático	Moteado	25-30	Anhedral	2-11mm	50-60	Subhedral	1-5mm	-	-	-	-	El mineral máfico que presenta es biotita entre un 5 a 10%, corresponde a la intrusión de la tonalita en forma de diques.
22,7	31,7	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Moteado a gris moteado	0-5	Anhedral	1-2mm	55	Subhedral	2-7mm	45	Anhedral	2-5mm	-	La roca presenta venillas de cuarzo, carbonatos y pirita, ocasionalmente contienen epidota, de 26 a 30 m la roca está fuertemente alterada, presenta tonalidades verdosas y disminuye drásticamente el tamaño de grano, la presencia de cuarzo es intermitente.
31,7	33,7	Holocristalina	Fanerítica inequigranular	De grano fino a grueso	Leucocrático	Moteado	25-30	Anhedral	2-11mm	50-60	Subhedral	1-5mm	-	-	-	-	El mineral máfico que presenta es biotita entre un 5 a 10%, corresponde a la intrusión de la tonalita en forma de diques.
33,7	46,9	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Moteado a gris oscuro moteado	-	-	-	55	Subhedral	1-6mm	45	Anhedral	1-4mm	-	Presenta venillas de cuarzo, carbonatos y pirita, esta última también se observa diseminada en la roca cerca de donde las venillas se concentran, la roca presenta variaciones drásticas en el tamaño de grano, ocasionalmente haciéndose fino, donde hay alta concentración de venillas la roca presenta tonalidades verdosas.
46,9	48,7	Holocristalina	Fanerítica inequigranular	De grano fino a grueso	Holo-leucocrático	Moteado	25-30	Anhedral	2-11mm	50-60	Subhedral	1-5mm	-	-	-	-	El mineral máfico que presenta es biotita entre un 0 y un 5%, corresponde a la intrusión de la tonalita en forma de diques.
48,7	58,6	Holocristalina	Fanerítica inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Gris verdoso moteado a gris moteado	-	-	-	50-60	Subhedral	1-2mm	40-50	Anhedral	1-2mm	-	Aunque en la zona hay un dominio de texturas de grano fino ocasionalmente aumente de tamaño de grano a grano medio, hay presencia de venillas de carbonatos y cuarzo, su tonalidad podría asociarse a la alteración hidrotermal.
58,6	59,6	Holocristalina	Fanerítica inequigranular	De grano fino a grueso	Leucocrático	Moteado	25-30	Anhedral	2-11mm	50-60	Subhedral	1-5mm	-	-	-	-	El mineral máfico que presenta es biotita entre un 5 a 10%, corresponde a la intrusión de la tonalita en forma de diques.
59,6	75,1	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Moteado a gris moteado	0-5	Anhedral	1-2mm	55	Subhedral	2-7mm	45	Anhedral	2-5mm	-	En la zona se observan variaciones drásticas en el tamaño de grano, haciéndose fina ocasionalmente, hay presencia de vetas y venillas de cuarzo, carbonatos y ocasionalmente pirita y epidota, donde estas se concentran se observa pirita descaminada y la roca presenta tonalidades verdosas, al final de la zona hay una intrusión de tonalita en forma de dique, la presencia de cuarzo es intermitente y poco continua.

75,1	77,9	Afanítica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	La roca corresponde a un dique volcánico, el cual se encuentra intruyendo a la tonalita y al gabro, hay venillas de carbonatos principalmente.
77,9	83,3	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Moteado a gris oscuro moteado	-	-	-	55	Subhedral	1-6mm	45	Anhedral	1-4mm	-	La roca se observa levemente porfírica por el mayor tamaño de las plagioclasas, presenta una veta, cerca está la roca presenta tonalidades verdosas y no se reconoce la textura original de la roca, adicionalmente hay venillas de cuarzo, carbonatos y pirita
83,3	85,65	Holocristalina	Fanerítica inequigranular	De grano fino a grueso	Leucocrático	moteado	25-30	Anhedral	2-11mm	50-60	Subhedral	1-5mm	-	-	-	-	El mineral máfico que presenta es biotita entre un 5 a 10%, corresponde a la intrusión de la tonalita en forma de diques.
85,65	88,65	Holocristalina	Fanerítica, inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Moteado a gris moteado	0-5	Anhedral	1-2mm	55	Subhedral	2-7mm	45	Anhedral	2-5mm	-	La zona presenta variaciones drásticas en el tamaño de grano, venillas de cuarzo y carbonatos y presenta tonalidad verdosa por alteración hidrotermal, la presencia de cuarzo es ocasional.
88,65	94,55	Porfírica	De matriz afanítica	-	-	Gris verdoso moteado	-	-	-	70	Subhedral	2-4mm	30	Anhedral	1-2mm	-	La roca corresponde a un dique volcánico, presenta venillas de cuarzo, carbonatos y pirita.
94,55	107,25	Holocristalina	Fanerítica inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Moteado a gris claro moteado	-	-	-	60	Subhedral	1-2mm	40	Anhedral	1-2mm	-	En la zona predomina el tamaño de grano fino, sin embargo, ocasionalmente hay pequeñas zonas con aumento de tamaño de grano a medio, hay presencia de venillas de cuarzo, carbonatos y ocasionalmente pirita, la roca presenta tonalidades verdosas cerca a ellas.
107	127	Holocristalina	Fanerítica inequigranular Levemente porfírica	De grano fino a medio	Mesocrático	Gris moteado	-	-	-	60	Subhedral	1-4mm	40	Anhedral	1-2mm	JRA-51	La plagioclasa alcanza tamaños de hasta 1cm embebidos en una matriz holocristalina de grano fino de anfíboles, haciendo ver a la roca levemente porfírica, la roca presenta presencia moderada de venillas de cuarzo y carbonatos, que ocasionalmente contiene pirita.
127	140,7	Holocristalina	Fanerítica inequigranular	De grano fino a medio	Mesocrático	Moteado a gris claro moteado	-	-	-	60	Subhedral	1-2mm	40	Anhedral	1-2mm	-	Ocasionalmente hay presencia de cuarzo en muy bajo contenido, se presenta de manera intermitente, hay variaciones de tamaño de grano ocasionalmente dominando el tamaño de grano medio, sin embargo en la zona predomina el tamaño de grano fino, hay presencia moderada de venillas de carbonatos y cuarzo principalmente.
140,7	161,1	Holocristalina	Fanerítica inequigranular Levemente porfírica	De grano fino a medio	Mesocrático	Gris moteado	0-5	Anhedral	1-2mm	55-60	Subhedral	1-6mm	40	Anhedral	1-4mm	-	La plagioclasa alcanza tamaños de grano grueso embebidos en una matriz holocristalina de grano fino a medio de anfíboles, haciendo ver a la roca levemente porfírica, la roca presenta presencia moderada de venillas de cuarzo y carbonatos, que ocasionalmente contiene pirita, cerca de ellas la roca presenta tamaño de grano fino y tonalidades verdosas, de 157,4 a 158,4 hay una intrusión de un dique volcánico con textura porfírica de matriz afanítica.

Anexo 2: Formatos de clasificación petrográfica.

PETROGRAFÍA: Muestra JRA\_01

<b>Proyecto</b>	<b>Trabajo de grado</b>				
<b>Unidad geológica</b>	<b>Plutón El Carmen</b>				
<b>Localización</b>	<i>(Distrito minero del Bagre, El Bagre, Antioquia)</i>				
<b>Coordenadas</b>	N = 1328159,89		<b>Profundidad= 83,7 - 84,1m</b>		
	E = 918036,96		<b>Origen de coordenadas: Magna Colombia Bogotá</b>		
<b>Analista</b>	<b>Jairo Rincón Alape</b>				
<b>Número de puntos de conteo</b>	<b>600</b>				
<b>Fecha del análisis</b>	<b>20-10-2021</b>				
<b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b>					
<b>Características de la roca en campo y/o en muestra de mano:</b> <i>Presenta textura holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano fino a grueso, color moteado, índice de color leucocrático, compuesta por cuarzo, plagioclasa, ocasionalmente con tonalidad rosa por alteración y biotita cloritizada.</i>					
<i>La zona donde se tomó la muestra tiene presencia de venillas de cuarzo, carbonatos, ¿actinolita? Y epidota.</i>					
<b>Clasificación de campo:</b> <i>Tonalita</i>					
<b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b>					
<b>Textura general/grado de cristalinidad</b>	<i>Holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano fino a grueso, ligeramente porfirítica.</i>				
<b>Otras texturas o texturas especiales</b>	<b>Poiquilitica de apatito en plagioclasa.</b>				
<b>Descripción de la matriz</b>					
<b>COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (%Vol.):</b>					
<b>MINERALES PRIMARIOS</b>				<b>MINERALES SECUNDARIOS</b>	
<b>Minerales principales</b>	<b>%</b>	<b>Minerales accesorios</b>	<b>%</b>	<b>Minerales de alteración</b>	
Cuarzo	28,75	Apatito	0,16	Saussurita	25,81
Plagioclasa	23,49			Sericita	6,18
Biotita	2,16			Clorita	6,18
				Carbonatos	0,31
				Epidota	2,16

				Clinozoisita /Zoisita	2,01
				Titanita	0,31
				Allanita	0,31
				<b>Minerales de introducción</b>	
				Opacos	0,16
				Cuarzo	1,70
				Carbonatos	0,31

**Clasificación de la roca:** *Tonalita de biotita*

#### **DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE MINERALES**

**Cuarzo:** *Se presenta principalmente rellenando intersticios entre minerales en forma anhedral, con tamaño de grano fino a grueso (0,6-7mm), incoloro limpio, con extinción recta y ondulante, adicionalmente se presenta en forma de venillas con carbonatos y opacos.*

**Plagioclasa:** *Se presenta en forma tabular subhedral, tamaño de grano fino a medio (predominante) (0,4-4mm), incoloro con aspecto turbio, macla polisintética, compleja y zonación, núcleo del mineral altamente alterado a saussurita, sericita, carbonatos, epidota y clinozoisita/zoisita.*

**Biotita:** *Se presenta en forma laminar subhedral, tamaño de grano fino a medio (0,4-2mm), pleocroísmo marrón claro-oscuro, exfoliación en una dirección paralela a la elongación, extinción recta, altamente alterado a clorita, presenta formación de titanita, zoisita/clinozoisita y epidota en los planos exfoliación, ocasionalmente es remplazada por minerales opacos.*

**Apatito:** *Se presenta en forma prismática euhedral dentro de la plagioclasa, tamaño de grano fino (0,1-0,2mm), extinción recta, elongación negativa.*

**Minerales opacos:** *Se presenta en formas anhedrales, remplazando la biotita, tamaño de grano fino (<1mm).*

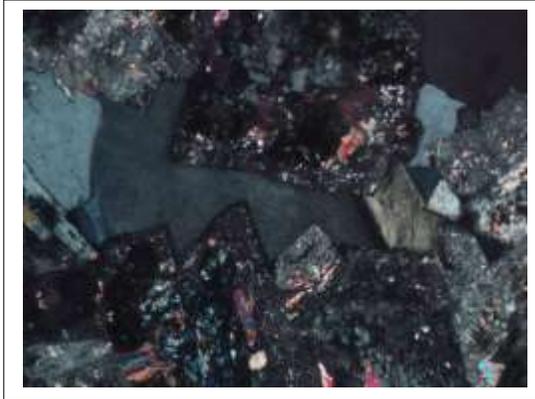
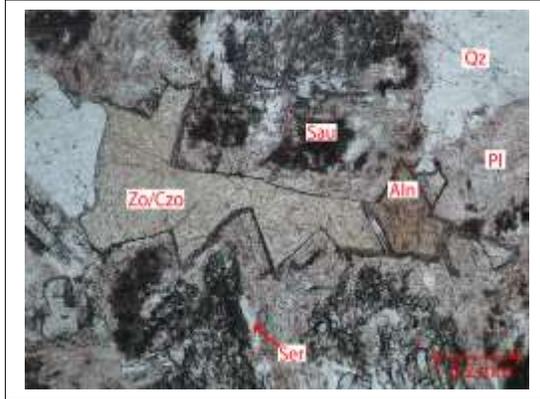
**Allanita:** *Se presenta como mineral de alteración junto con la zoisita/clinozoisita, forma tabular subhedral, tamaño de grano fino (0,2mm), pleocroísmo débil marrón claro-muy claro, relieve alto y colores de interferencia gris azulados.*

**Carbonatos:** *Se presenta principalmente en forma de venillas con cuarzo, es incoloro, relieve medio y colores de interferencia de alto orden.*

**Titanita:** *Se presenta por alteración de la biotita junto con la clorita, en forma anhedral, tamaño de grano fino (0,25mm), pleocroísmo marrón oscuro-claro y colores de interferencia de alto orden.*

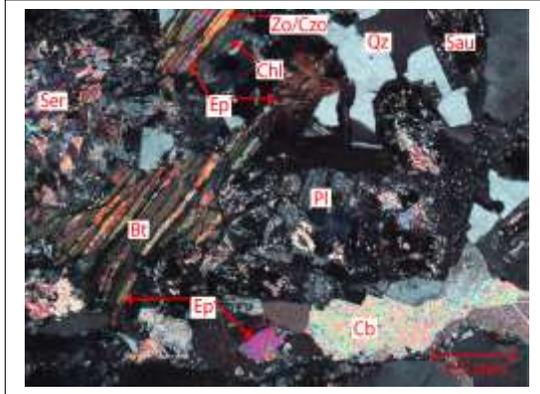
**OBSERVACIONES:** *La roca presenta intrusión de venillas de carbonatos, alteración propilitica marcada por la cloritización de la biotita, en este mismo proceso se forma titanita y epidota en los planos de exfoliación de la biotita, además de la epidotización de las plagioclasas.*

## REGISTRO FOTOGRÁFICO



**Nota:** Cuarzo (Qz) junto con plagioclasas (Pl), las cuales se encuentran alteradas a Saussurita (Sau) y sericita (Ser), Zoisita/Clinzoisita (Zo/Czo) y allanita (Aln) relleno de espacios entre minerales.

Fotos tomadas en objetivo de 10X, izquierda (PPL), derecha (XPL).



**Nota:** Cuarzo (Qz) junto con Biotita (Bt) alterándose a clorita (Chl) con planos de exfoliación rellenos de epidota (Ep) y Zoisita/Clinzoisita (Zo/Czo), plagioclasas (Pl) las cuales se encuentran alteradas a Saussurita (Sau) y sericita (Ser), adicionalmente una venilla de carbonato (Cb) con epidota (Ep).

Fotos tomadas en objetivo de 4X, izquierda (XPL), derecha (PPL).

**PETROGRAFÍA: Muestra JRA\_02**

<b>Proyecto</b>	<b>Trabajo de grado</b>
<b>Unidad geológica</b>	<b>Plutón El Carmen</b>
<b>Localización</b>	<i>(Distrito minero del Bagre, El Bagre, Antioquia)</i>
<b>Coordenadas</b>	N = 1328159,89 <b>Profundidad= 46,5m</b> E = 918036,96 <b>Origen de coordenadas: Magna Colombia Bogotá</b>
<b>Analista</b>	<b>Jairo Rincón Alape</b>
<b>Número de puntos de conteo</b>	<b>600</b>
<b>Fecha del análisis</b>	<b>28-08-2021</b>

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

**Características de la roca en campo y/o en muestra de mano:** *Presenta textura holocrystalina, porfirítica, color moteado, índice de color leucocrático, presenta fenocristales de cuarzo y una matriz holocrystalina, fanerítica, inequigranular, de grano fino a medio compuesta por plagioclasa y biotita cloritizada.*



*La alteración es hidrotermal, marcada por venillas de cuarzo principalmente.*

**Clasificación de campo:** *Tonalita*

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

<b>Textura general/grado de cristalinidad</b>	<i>Holocrystalina, Porfirítica.</i>
<b>Otras texturas o texturas especiales</b>	<b>Poiquilitica de apatito en plagioclasa.</b>
<b>Descripción de la matriz</b>	<b>Holocrystalina, fanerítica, inequigranular de grano fino a medio.</b>

**COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (% Vol.):**

<b>MINERALES PRIMARIOS</b>				<b>MINERALES SECUNDARIOS</b>	
<b>Minerales principales</b>	<b>%</b>	<b>Minerales accesorios</b>	<b>%</b>	<b>Minerales de alteración</b>	
Cuarzo	44,44	Apatito	0,16	Saussurita	16,36
Plagioclasa	18,67			Sericita	5,09
Biotita	3,55			Clorita	8,64
				Carbonatos	0,31
				Epidota	1,54
				Clinozoisita /Zoisita	0,62

				Titanita	0,16
				<b>Minerales de introducción</b>	
				Opacos	0,15
				Carbonatos	0,31

**Clasificación de la roca:** *Tonalita de biotita*

### DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE MINERALES

**Cuarzo:** *Se presenta como fenocristales y dentro de la matriz, tamaño de grano fino a grueso (0,5-11mm), hexagonal subhedral-anhedral, incoloro limpio, con extinción recta y ondulante.*

**Plagioclasa:** *Se presenta dentro de la matriz, tamaño de grano fino a medio (0,4-3,5mm), forma tabular subhedral-euhedral, incoloro con aspecto turbio, macla polisintética, compleja y zonación, núcleo del mineral altamente alterado a saussurita, sericita, carbonatos, epidota y clinozoisita/zoisita.*

**Biotita:** *Se presenta dentro de la matriz en forma laminar subhedral, tamaño de grano fino a medio (0,5-2mm), pleocroísmo marrón claro-oscuro, exfoliación en una dirección, extinción recta, altamente alterado a clorita, presenta formación de titanita, zoisita/clinozoisita y epidota en los planos exfoliación, ocasionalmente es remplazada por minerales opacos.*

**Apatito:** *Se presenta en forma prismática subhedral dentro de la plagioclasa, tamaño de grano fino (0,1-0,2mm), extinción recta, elongación negativa.*

**Minerales opacos:** *Se presenta en formas anhedrales, remplazando la biotita y diseminado, con tamaño de grano fino (<1mm).*

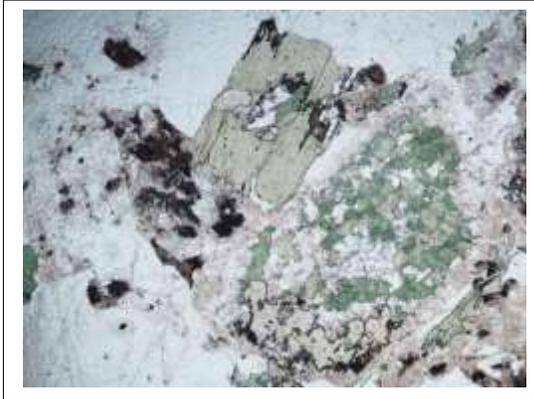
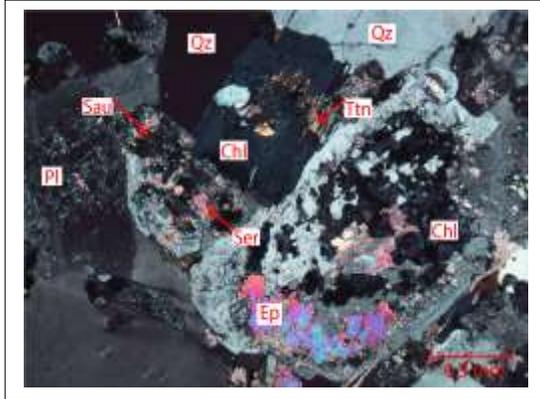
**Carbonatos:** *Se presenta principalmente en forma de venillas con cuarzo, es incoloro, relieve medio y colores de interferencia de alto orden.*

**Titanita:** *Se presenta por alteración de la biotita junto con la clorita, en forma anhedral, tamaño de grano fino (0,2-0,5mm), pleocroísmo marrón oscuro-claro y colores de interferencia de alto orden.*

**Epidota y Zoisita/Clinozoisita:** *Se presentan por alteración de la plagioclasa, principalmente en forma de agregados xenomorfos y ocasionalmente tabular o prismática, también se presenta dentro de los planos de exfoliación de la biotita, tamaño de grano fino (<1mm), incoloros, con relieve alto, la epidota con colores de interferencia de alto orden y la zoisita/clinozoisita con colores de interferencia gris amarillo de primer orden – azul anómalo.*

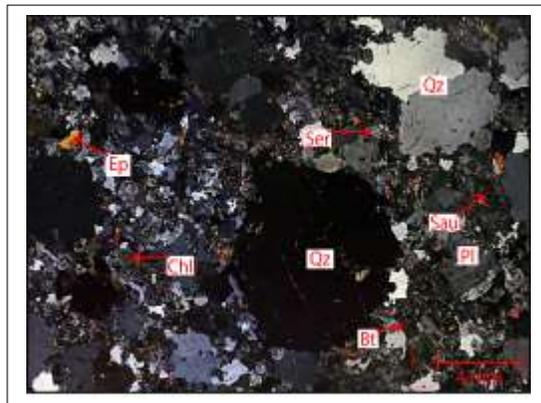
**OBSERVACIONES:** *La roca presenta intrusión de venillas de carbonatos, alteración propilitica marcada por la cloritización de la biotita, en este mismo proceso se forma titanita, epidota y zoisita/clinozoisita en los planos de exfoliación de la biotita, adicionalmente epidotización y cloritización de la plagioclasa.*

## REGISTRO FOTOGRÁFICO



*Nota:* Cuarzo (Qz) junto con plagioclasa (Pl) epidotizada, cloritizada y alterada a Saussurita (Sau) y sericita (Ser), biotita (Bt) alterándose a clorita (Chl) y a titanita (Ttn).

Fotos tomadas en objetivo de 4X, izquierda (XPL), derecha (PPL).



*Nota:* Fenocristales de cuarzo (Qz), matriz de biotita (Bt) alterándose a clorita (Chl), plagioclasa (Pl) alteradas a Saussurita (Sau), sericita (Ser) y epidota (Ep).

Compilado de varias fotografías tomadas en objetivo de 4X (XPL).

**PETROGRAFÍA: Muestra JRA\_03**

<b>Proyecto</b>	<b>Trabajo de grado</b>
<b>Unidad geológica</b>	<b>Plutón El Carmen</b>
<b>Localización</b>	<i>(Distrito minero del Bagre, El Bagre, Antioquia)</i>
<b>Coordenadas</b>	N = 1328780,791 <b>Profundidad= 13,25m</b> E = 919808,72 <b>Origen de coordenadas: Magna Colombia Bogotá</b>
<b>Analista</b>	<b>Jairo Rincón Alape</b>
<b>Número de puntos de conteo</b>	<b>600</b>
<b>Fecha del análisis</b>	<b>11-09-2021</b>

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

**Características de la roca en campo y/o en muestra de mano:** *Presenta textura holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano fino a medio, color gris oscuro moteado, índice de color mesocrático, compuesta por plagioclasa y anfíbol casi en iguales proporciones.*



*La alteración es hidrotermal marcada por venillas de cuarzo, carbonatos, piritita y calcopiritita.*

**Clasificación de campo:** *Gabro*

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

<b>Textura general/grado de cristalinidad</b>	<i>Holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano fino (predominante) a medio, hipidiomórfica.</i>
<b>Otras texturas o texturas especiales</b>	<b>Poiquilitica de apatito en anfíbol. Concertal entre plagioclasa y anfíbol.</b>
<b>Descripción de la matriz</b>	

**COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (%Vol.):**

<b>MINERALES PRIMARIOS</b>				<b>MINERALES SECUNDARIOS</b>	
<b>Minerales principales</b>	<b>%</b>	<b>Minerales accesorios</b>	<b>%</b>	<b>Minerales de alteración</b>	
Plagioclasa	12,65	Apatito	0,16	Saussurita	10,80
Anfíbol	41,82			Sericita	3,24
				Clorita	8,95
				Carbonatos	1,00
				Epidota	3,00
				Clinozoisita /Zoisita	8,43

				<b>Minerales de introducción</b>	
				Epidota	2,09
				Clinozoisita /Zoisita	5,00
				Opacos	0,16
				Cuarzo	0,93
				Carbonatos	1,31

**Clasificación de la roca:** *Gabro anfibólico*

### **DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE MINERALES**

**Plagioclasa:** *Se presenta en forma tabular subhedral, tamaño de grano fino (predominando) a medio (0,4-1,5mm), incoloro con aspecto turbio, macla simple, polisintética y compleja, altamente alterado a saussurita, sericita, carbonatos, epidota y clinozoisita/zoisita.*

**Anfíbol:** *Se presenta ocasionalmente como cúmulos en hábito prismático y hexagonal, subhedral-euhedral, de grano fino a medio (0,4-2mm), pleocroísmo verde azulado-verde marrón y verde amarillento, macla simple, exfoliación en una dirección en cortes longitudinales y en dos direcciones en cortes basales, extinción inclinada (20°) alterado a clorita y epidota, presenta formación de zoisita/clinozoisita en los planos de exfoliación.*

**Apatito:** *Se presenta en forma prismática euhedral dentro de la plagioclasa, tamaño de grano fino (0,3-0,6mm), extinción recta, elongación negativa.*

**Minerales opacos:** *Se presenta diseminados en la roca reemplazando anfíboles, de grano fino (<1mm), con formas anhedrales.*

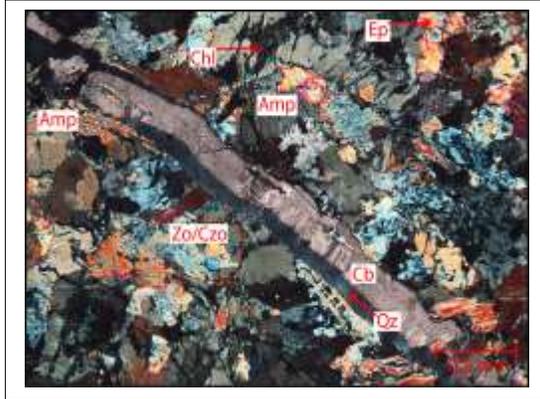
**Clinozoisita/Zoisita:** *Se presenta como mineral de alteración a partir de la plagioclasa (aumenta su proporción cerca de las venillas), en agregados granulares junto con la epidota, de grano muy fino a medio (0,1-1,5mm), incoloro, con colores de interferencia gris-amarillo de primer orden a azul anómalo, además se presenta como mineral de introducción, en las venillas junto con el cuarzo, los carbonatos y la epidota, formándose también en los planos de exfoliación de los anfíboles.*

**Epidota:** *Se presenta como mineral de alteración a partir de la plagioclasa y el anfíbol, en agregados granulares junto con la clinozoisita/zoisita (en plagioclasa), de grano fino a medio (<1mm), pleocroísmo muy leve verde muy claro-claro e incoloro, con colores de interferencia de altos ordenes (manto de arlequín), además se presenta como mineral de introducción, en las venillas junto con el cuarzo, los carbonatos y la clinozoisita/zoisita.*

**Cuarzo y carbonatos:** *Se presentan como minerales de introducción en venillas.*

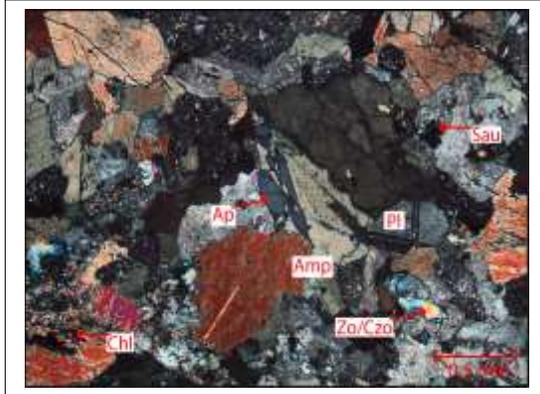
**OBSERVACIONES:** *Se observa la intrusión de venillas de carbonatos, cuarzo, epidota y zoisita/clinozoisita, alteración propilitica marcada por la cloritización, epidotización de los anfíboles y epidotización de las plagioclasas (aumenta cerca de las venillas).*

## REGISTRO FOTOGRÁFICO



**Nota:** Venilla de cuarzo (Qz) y Carbonatos (Cb) generando alteración total de plagioclasas a Zoisita/Clinzoisita (Zo/Czo) y epidota (Ep), adicionalmente anfíboles (Amp) cloritizados y epidotizados.

Fotos tomadas en objetivo de 4X, izquierda (XPL), derecha (PPL).



**Nota:** Apatito (Ap) dentro de un anfíbol (Amp) alterándose levemente a clorita (Chl,) plagioclasas (Pl) las cuales se encuentran alteradas a Saussurita (Sau) y zoisita/clinozoisita (Zo/Czo).

Fotos tomadas en objetivo de 4X, izquierda (XPL), derecha (PPL).

**PETROGRAFÍA: Muestra JRA\_05**

<b>Proyecto</b>	<b>Trabajo de grado</b>
<b>Unidad geológica</b>	<b>Plutón El Carmen</b>
<b>Localización</b>	<i>(Distrito minero del Bagre, El Bagre, Antioquia)</i>
<b>Coordenadas</b>	N = 1328780,791 <b>Profundidad= 42,5m</b> E = 919808,72 <b>Origen de coordenadas: Magna Colombia Bogotá</b>
<b>Analista</b>	<b>Jairo Rincón Alape</b>
<b>Número de puntos de conteo</b>	<b>600</b>
<b>Fecha del análisis</b>	<b>05-11-2021</b>

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

**Características de la roca en campo y/o en muestra de mano:** *Presenta textura holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano fino a medio, color moteado e índice de color mesocrático, presenta leve orientación de plagioclasa alteradas con tonalidad rosa, y de anfíboles, adicionalmente una leve presencia de cuarzo.*



*La alteración es hidrotermal marcada por venillas de cuarzo y carbonatos.*

**Clasificación de campo:** *Gabro*

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

<b>Textura general/grado de cristalinidad</b>	<i>Holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano fino a medio, hipidiomórfica.</i>
<b>Otras texturas o texturas especiales</b>	<b>Poiquilitica de apatito en anfíbol. Poiquilitica de apatito en plagioclasa. Poiquilitica de plagioclasa en anfíbol.</b>
<b>Descripción de la matriz</b>	

**COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (% Vol.):**

<b>MINERALES PRIMARIOS</b>				<b>MINERALES SECUNDARIOS</b>	
<b>Minerales principales</b>	<b>%</b>	<b>Minerales accesorios</b>	<b>%</b>	<b>Minerales de alteración</b>	
Plagioclasa	0,15	Apatito	0,77	Saussurita	34,31
Anfíbol	43,12	Cuarzo	0,93	Sericita	6,49
				Clorita	4,95
				Carbonatos	0,53
				Epidota	3,40

				Clinozoisita /Zoisita	3,40
				<b>Minerales de introducción</b>	
				Opacos	0,62
				Cuarzo	0,46
				Carbonatos	0,56

**Clasificación de la roca:** *Gabro anfibólico*

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE MINERALES**

**Plagioclasa:** *Se encuentran totalmente alterada a saussurita, que a su vez es remplazada por titanita y en menor proporción a sericita y zoisita/clinozoisita, se observan unos pocos remanentes de los cristales de plagioclasa y su hábito tabular.*

**Anfibol:** *Se presenta como cristales subhedral con hábito prismático y hexagonal subhedral, de grano fino a medio (0,4-2,5mm), ocasionalmente de grano grueso (hasta 7mm), levemente orientado y en cúmulos, pleocroísmo verde azulado-verde marrón amarillento, macla simple, exfoliación en una dirección en cortes longitudinales y en dos direcciones en cortes basales, extinción inclinada (20°), alterado a clorita, epidota y carbonatos, ocasionalmente muestra colores de interferencia alto y hábitos que probablemente sean remanentes de clinopiroxeno.*

**Apatito:** *Se presenta en forma prismática euhedral dentro de la plagioclasa y el anfíbol, tamaño de grano fino (0,1-0,25mm), extinción recta, elongación negativa.*

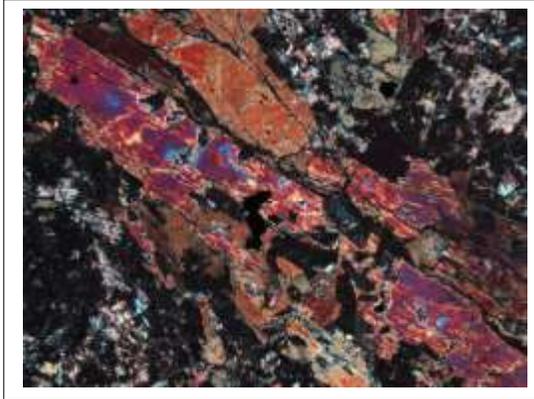
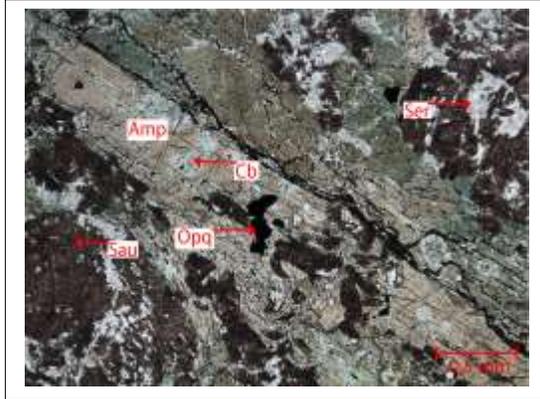
**Minerales opacos:** *Se presenta diseminados en la roca de grano fino (<1mm), con formas anhedrales, remplazando los anfíboles, ocasionalmente junto con cuarzo.*

**Cuarzo:** *Se presentan como mineral accesorio, con formas anhedrales, rellorando espacios entre minerales, tamaño de grano fino (0,1-0,5mm), adicionalmente se presenta junto con minerales opacos en fracturas de anfíboles.*

**Saussurita:** *Se encuentra parcialmente remplazada por titanita y ocasionalmente muestra sobre crecimiento de clinozoisita/zoisita, formado por alteración a partir de plagioclasas posiblemente de composición intermedia a cálcica.*

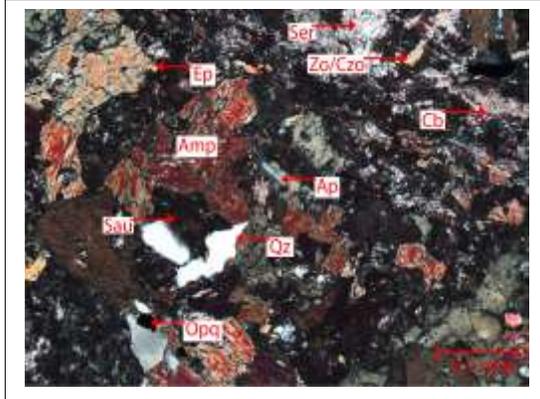
**OBSERVACIONES:** *Alteración hidrotermal marcada por la epidotización de los anfíboles, la saussuritización total de las plagioclasa y a su vez el remplazamiento de la saussurita por titanita.*

## REGISTRO FOTOGRÁFICO



*Nota:* Cristales de anfíbol (Amp), de tamaño grueso, levemente orientados, suave alteración a carbonatos (Cb) y con remplazamiento de minerales opacos (Opq), adicionalmente se observa saussurita (Sau) y sericita siendo remplazada por titanita.

Fotos tomadas en objetivo de 4X, izquierda (PPL), derecha (XPL).



*Nota:* Apatito (Ap) dentro de un anfíbol (Amp), algunos de los anfíboles (Amp) se encuentran alterados a epidota (Ep), saussurita (Sau) siendo remplazada por titanita, sericita (ser) y carbonatos (Cb) formados por alteración, a partir de plagioclasas, se observa también cuarzo (Qz) relleno de espacios entre minerales y también junto con un mineral opaco (Opq).

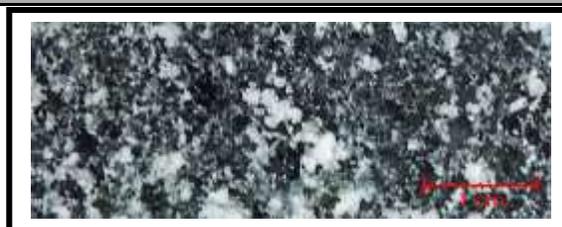
Fotos tomadas en objetivo de 4X, izquierda (XPL), derecha (PPL).

**PETROGRAFÍA: Muestra JRA\_06**

<b>Proyecto</b>	<b>Trabajo de grado</b>
<b>Unidad geológica</b>	<b>Plutón El Carmen</b>
<b>Localización</b>	<i>(Distrito minero del Bagre, El Bagre, Antioquia)</i>
<b>Coordenadas</b>	N = 1328780,791 <b>Profundidad= 18,5m</b> E = 919808,72 <b>Origen de coordenadas: Magna Colombia Bogotá</b>
<b>Analista</b>	<b>Jairo Rincón Alape</b>
<b>Número de puntos de conteo</b>	<b>600</b>
<b>Fecha del análisis</b>	<b>15-10-2021</b>

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

**Características de la roca en campo y/o en muestra de mano:** *Presenta textura holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano fino a medio, color moteado, índice de color mesocrático, compuesta principalmente por plagioclasa y anfíbol, con una baja proporción de cuarzo.*



*Presenta venillas de cuarzo y carbonato.*

**Clasificación de campo:** *Cuarzodiorita*

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

<b>Textura general/grado de cristalinidad</b>	<i>Holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano fino a medio, hipidiomórfica.</i>
<b>Otras texturas o texturas especiales</b>	<b>Poiquilitica de apatito en plagioclasa.</b> <b>Poiquilitica de plagioclasa en anfíbol.</b>
<b>Descripción de la matriz</b>	

**COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (%Vol.):**

<b>MINERALES PRIMARIOS</b>				<b>MINERALES SECUNDARIOS</b>	
<b>Minerales principales</b>	<b>%</b>	<b>Minerales accesorios</b>	<b>%</b>	<b>Minerales de alteración</b>	
Cuarzo	8,86	Apatito	0,32	Saussurita	18,84
Plagioclasa	14,01	Biotita	0,16	Sericita	9,50
Anfíbol	43,16			Clorita	1,61
				Epidota	0,81

				Clinozoisita /Zoisita	1,29
				<b>Minerales de introducción</b>	
				Opacos	0,64
				Carbonatos	0,80

**Clasificación de la roca:** *Cuarzodiorita anfibólica.*

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE MINERALES**

**Cuarzo:** *Se presenta en forma anhedral, relleno de espacios entre minerales, con tamaño de grano fino (0,1-1mm), incoloro limpio.*

**Plagioclasa:** *Se presenta en forma tabular subhedral, tamaño de grano fino a medio (0,4-3,5), incoloro con aspecto turbio, macla polisintética y simple, altamente alterado a saussurita, sericita, epidota y clinozoisita/zoisita.*

**Anfibol:** *Se presenta como cristales subhedral con hábito prismático y hexagonal subhedral, de grano fino a medio (0,3-4) (hasta 7mm ocasionalmente), pleocroísmo verde azulado-verde marrón a verde amarillento, macla simple, exfoliación en una dirección en cortes longitudinales y en dos direcciones en cortes basales, extinción inclinada (20°), alterado a clorita y epidota.*

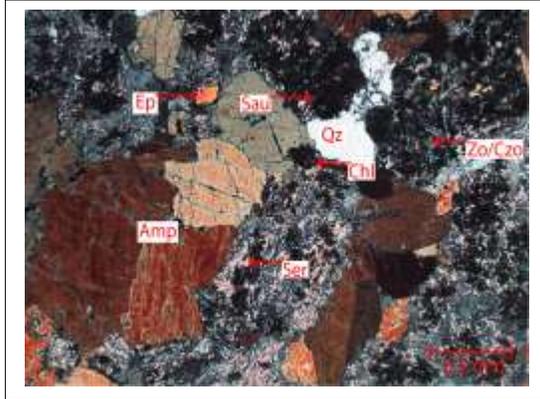
**Biotita:** *Se presenta en muy baja proporción, principalmente en los bordes de los anfíboles y crecimiento de epidota en los planos de exfoliación, forma laminar subhedral, tamaño de grano fino (<1mm), pleocroísmo marrón claro-oscuro, exfoliación en una dirección, altamente alterado a clorita.*

**Apatito:** *Se presenta en forma prismática euhedral dentro de la plagioclasa, tamaño de grano fino (0,1-0,2mm), extinción recta, elongación negativa.*

**Minerales opacos:** *Se presenta en formas anhedrales, reemplazando anfíboles, con tamaño de grano fino (<1mm).*

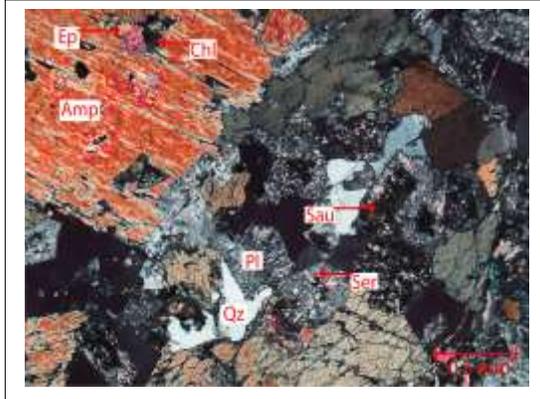
**OBSERVACIONES:** *La roca presenta alteración hidrotermal, marcada por la epidotización de los anfíboles y plagioclasa, además de la saussuritización de la plagioclasa.*

## REGISTRO FOTOGRÁFICO



**Nota:** Cuarzo (Qz) anedral rellenando espacios entre minerales, Saussurita (Sau), sericita (Ser) y Zoisita/Clinzoisita (Zo/Czo) formados a partir de la alteración de plagioclasas, los anfíboles (Amp) presentan leve alteración a clorita (Chl) y epidota (Ep), algunos presentan macla simple.

Fotos tomadas en objetivo de 10X, izquierda (XPL), derecha (PPL).



**Nota:** Cuarzo (Qz) rellenando espacios entre minerales, anfíbol (Amp) alterándose a clorita (Chl) y a epidota (Ep), plagioclasas (Pl) las cuales se encuentran alteradas a Saussurita (Sau) y sericita (Ser).

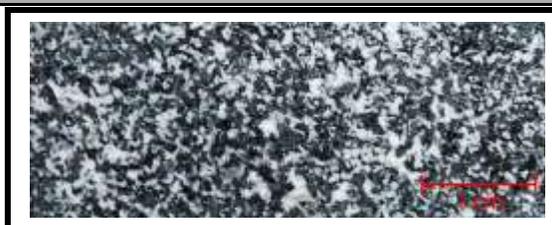
Fotos tomadas en objetivo de 4X, izquierda (XPL), derecha (PPL).

**PETROGRAFÍA: Muestra JRA\_09**

<b>Proyecto</b>	<b>Trabajo de grado</b>
<b>Unidad geológica</b>	<b>Plutón El Carmen</b>
<b>Localización</b>	<i>(Distrito minero del Bagre, El Bagre, Antioquia)</i>
<b>Coordenadas</b>	N = 1328780,791 <b>Profundidad= 103m</b> E = 919808,72 <b>Origen de coordenadas: Magna Colombia Bogotá</b>
<b>Analista</b>	<b>Jairo Rincón Alape</b>
<b>Número de puntos de conteo</b>	<b>600</b>
<b>Fecha del análisis</b>	<b>23-10-2021</b>

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

**Características de la roca en campo y/o en muestra de mano:** *Presenta textura holocristalina, fanerítica, equigranular a inequigranular, de grano fino a medio, color gris oscuro moteado, índice de color mesocrático, compuesta por plagioclasa y anfíbol, casi en iguales proporciones*



*La alteración es hidrotermal marcada por venillas de cuarzo, carbonatos, piritita y calcopiritita.*

**Clasificación de campo:** *Gabro*

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

<b>Textura general/grado de cristalinidad</b>	<i>Holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano fino a medio, hipidiomórfica.</i>
<b>Otras texturas o texturas especiales</b>	<b>Poiquilitica de plagioclasa en anfíbol.</b> <b>Poiquilitica de circón en plagioclasa.</b>
<b>Descripción de la matriz</b>	

**COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (%Vol.):**

<b>MINERALES PRIMARIOS</b>				<b>MINERALES SECUNDARIOS</b>	
<b>Minerales principales</b>	<b>%</b>	<b>Minerales accesorios</b>	<b>%</b>	<b>Minerales de alteración</b>	
Plagioclasa	6,96	Apatito	0,26	Saussurita	24,27
Anfíbol	55,84	Circón	0,06	Sericita	0,32
				Clorita	0,81
				Epidota	5,66
				Clinozoisita /Zoisita	4,85

				<b>Minerales de introducción</b>	
				Opacos	0,81
				Carbonatos	0,16

**Clasificación de la roca:** *Gabro anfibólico*

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE MINERALES**

**Plagioclasa:** *Se encuentra casi totalmente alterada, principalmente a saussurita y en menor proporción a clinozoisita/zoisita, sericita y epidota, rara vez se presenta menos alterada, incolora sucia, con hábito tabular subhedral, tamaño de grano fino (<1mm) y macla polisintética.*

**Anfíbol:** *Se presenta ocasionalmente como cúmulos en hábito prismático y hexagonal subhedral, de grano fino a medio (0,2-2,5mm), pleocroísmo verde azulado-verde marrón a verde amarillento, macla simple, exfoliación en una dirección en cortes longitudinales y en dos direcciones en cortes basales, alterado a clorita y epidota, extinción inclinada (20°), presenta zonación, mostrando cambio de color de interferencia en los bordes, adicionalmente rara vez se encuentra siendo remplazado por minerales opacos.*

**Apatito:** *Se presenta en forma prismática euhedral dentro de los anfíboles, tamaño de grano fino (0,2-0,4mm), extinción recta, elongación negativa.*

**Circón:** *Se presenta en hábito prismático subhedral, incoloro, tamaño de grano fino (0,2mm), con relieve muy alto, con colores de interferencia de alto orden, dentro de la plagioclasa y en contacto con un anfíbol.*

**Minerales opacos:** *se presenta remplazando el anfíbol, en tamaño de grano fino (<1mm)*

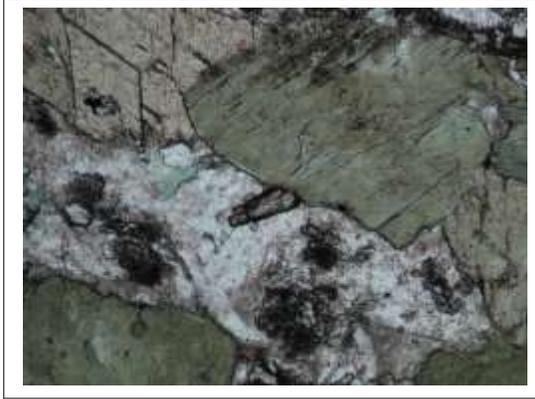
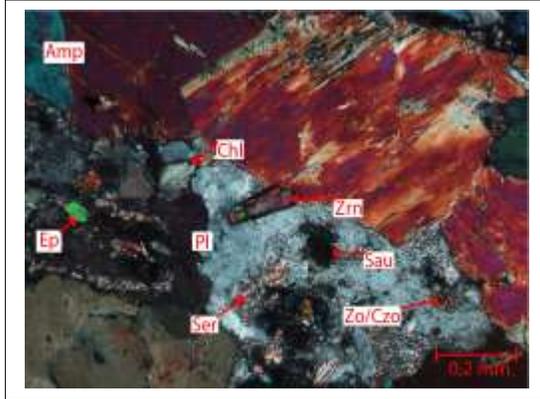
**Clinozoisita/Zoisita:** *Se presenta como mineral de alteración a partir de la plagioclasa, en agregados granulares junto con la epidota, de grano fino (0,1-1mm), incoloro, con colores de interferencia gris-amarillo de primer orden a azul anómalo.*

**Epidota:** *Se presenta como mineral de alteración a partir del anfíbol y la plagioclasa, en agregados junto con la clinozoisita/zoisita (en plagioclasa), de grano fino (<1mm), pleocroísmo muy leve verde muy claro-claro e incoloro, con colores de interferencia de altos ordenes (manto de arlequín).*

**Carbonatos:** *Se presentan como minerales de introducción en venillas.*

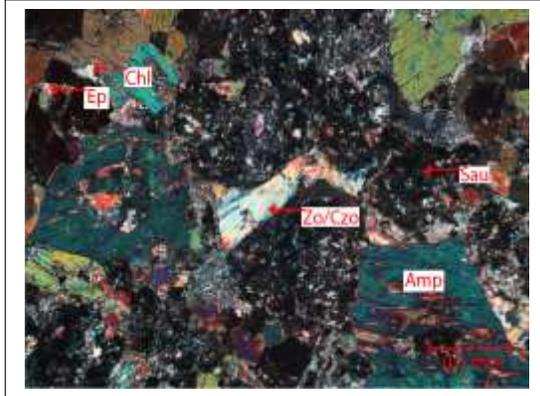
**OBSERVACIONES:** *La intensa saussuritización de la plagioclasa, además de la epidotización de los anfíboles y la plagioclasa sean posiblemente producto de alteración hidrotermal.*

## REGISTRO FOTOGRÁFICO



**Nota:** Circón (Zrn) dentro de una plagioclasa (Pl) y en contacto con un anfíbol (Amp), los anfíboles (Amp) se encuentran alterados a clorita (Chl), también se observa la alteración de la plagioclasa (Pl) a saussurita (Sau), Sericita (Ser), zoisita/Clinzoisita (Zo/Czo) y epidota (Ep).

Fotos tomadas en objetivo de 4X, izquierda (XPL), derecha (PPL).



**Nota:** Zoisita/Clinzoisita (Zo/Czo) creciendo junto con la epidota, producto de alteración de una plagioclasa, anfíboles (Amp) con zonación (Bordes de diferente color de interferencia), alterándose a clorita (Chl) y epidota (Ep), adicionalmente se observa mucha saussurita (Sau) producto de alteración de plagioclasas.

Fotos tomadas en objetivo de 4X, izquierda (XPL), derecha (PPL).

**PETROGRAFÍA: Muestra JRA\_13**

<b>Proyecto</b>	<b>Trabajo de grado</b>
<b>Unidad geológica</b>	<b>Plutón El Carmen</b>
<b>Localización</b>	<i>(Distrito minero del Bagre, El Bagre, Antioquia)</i>
<b>Coordenadas</b>	N = 1328780,791 <b>Profundidad= 190m</b> E = 919808,72 <b>Origen de coordenadas: Magna Colombia Bogotá</b>
<b>Analista</b>	<b>Jairo Rincón Alape</b>
<b>Número de puntos de conteo</b>	<b>600</b>
<b>Fecha del análisis</b>	<b>23-11-2021</b>

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

**Características de la roca en campo y/o en muestra de mano:** *Presenta textura holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano medio a grueso, color gris oscuro-moteado, índice de color mesocrático, compuesto principalmente por anfíboles en forma de cúmulos rodeados de plagioclasa y con presencia de cuarzo relleno entre anfíboles.*



*Hay presencia de venillas de epidota, cuarzo y carbonatos.*

**Clasificación de campo:** *Cuarzodiorita*

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

<b>Textura general/grado de cristalinidad</b>	<i>Holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano medio a grueso, hipidiomórfica.</i>
<b>Otras texturas o texturas especiales</b>	
<b>Descripción de la matriz</b>	

**COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (% Vol.):**

<b>MINERALES PRIMARIOS</b>				<b>MINERALES SECUNDARIOS</b>	
<b>Minerales principales</b>	<b>%</b>	<b>Minerales accesorios</b>	<b>%</b>	<b>Minerales de alteración</b>	
Plagioclasa	2,66			Saussurita	7,02
Anfibol	71,14			Sericita	3,32
Cuarzo	1,76			Clorita	13,22
				Carbonatos	0,44

					<b>Minerales de introducción</b>
				Opacos	0,44

**Clasificación de la roca:** *Cuarzodiorita anfibólica.*

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE MINERALES**

**Plagioclasa:** *Se presenta casi totalmente alterada a saussurita y sericita.*

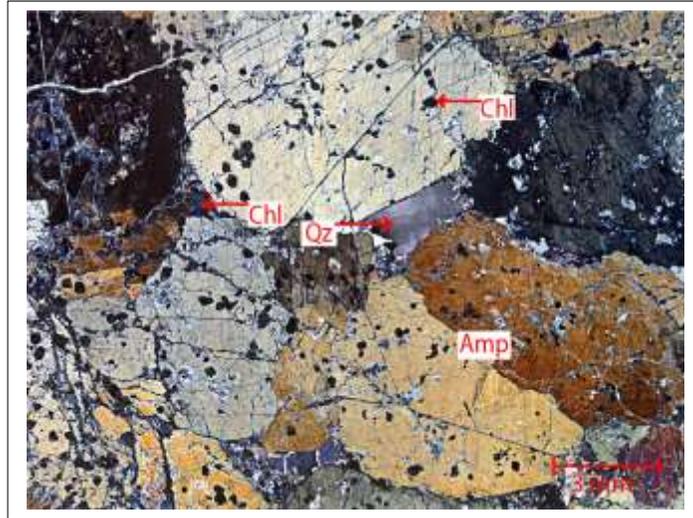
**Anfíbol:** *Se presenta como cúmulos en hábito hexagonal subhedral, de grano medio a grueso (2-10mm), pleocroísmo verde-verde marrón, exfoliación en dos direcciones en cortes basales, se encuentran altamente fracturados, alterado a clorita y siendo remplazado por minerales opacos.*

**Cuarzo:** *Se presenta rellenando espacios entre anfíboles, formas anhedrales, con tamaño de grano medio (2-3mm), extinción ondulante.*

**Minerales opacos:** *Se presenta diseminados en la roca remplazando anfíboles, de grano fino (<1mm) acompañado con clorita, con formas anhedrales.*

**OBSERVACIONES:** *Se observa la intrusión de venillas de carbonatos, cuarzo y epidota, una completa saussuritización de las plagioclasas y cloritización de los anfíboles posiblemente por alteración hidrotermal.*

## REGISTRO FOTOGRÁFICO



*Nota: Cuarzo (Qz) rellena los espacios entre anfíboles (Amp), los cuales se encuentran alterados a clorita (Chl), la clorita en forma redondeada dentro de los anfíboles ocasionalmente está acompañada de minerales opacos.*

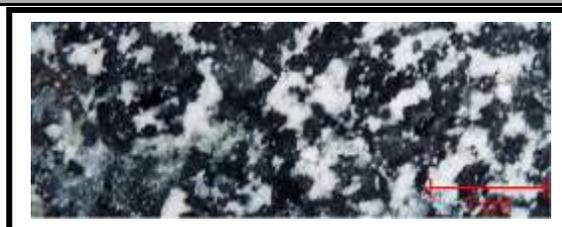
*Compilado de varias fotografías tomadas en objetivo de 4X (XPL).*

**PETROGRAFÍA: Muestra JRA-15**

<b>Proyecto</b>	<b>Trabajo de grado</b>
<b>Unidad geológica</b>	<b>Plutón El Carmen</b>
<b>Localización</b>	<i>(Distrito minero del Bagre, El Bagre, Antioquia)</i>
<b>Coordenadas</b>	N = 1328780,791 <b>Profundidad= 200m</b> E = 919808,72 <b>Origen de coordenadas: Magna Colombia Bogotá</b>
<b>Analista</b>	<b>Jairo Rincón Alape</b>
<b>Número de puntos de conteo</b>	<b>600</b>
<b>Fecha del análisis</b>	<b>17-09-2021</b>

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

**Características de la roca en campo y/o en muestra de mano:** *Presenta textura holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano fino a medio, color moteado, índice de color mesocrático, compuesta principalmente por plagioclasa y anfíbol en proporciones similares, con una baja proporción de cuarzo.*



*Presenta venillas de cuarzo y carbonato.*

**Clasificación de campo:** *Cuarzodiorita*

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

<b>Textura general/grado de cristalinidad</b>	<i>Holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano fino a medio, hipidiomórfica.</i>
<b>Otras texturas o texturas especiales</b>	<b>Poiquilitica de apatito en plagioclasa y anfíbol.</b> <b>Poiquilitica de plagioclasa en anfíbol.</b>
<b>Descripción de la matriz</b>	

**COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (% Vol.):**

<b>MINERALES PRIMARIOS</b>				<b>MINERALES SECUNDARIOS</b>	
<b>Minerales principales</b>	<b>%</b>	<b>Minerales accesorios</b>	<b>%</b>	<b>Minerales de alteración</b>	
Cuarzo	4,17	Apatito	0,15	Saussurita	31,64
Plagioclasa	4,63	Biotita	0,46	Sericita	6,17
Anfíbol	45,68			Clorita	1,70
				Epidota	2,00

				Clinozoisita /Zoisita	1,77
				<b>Minerales de introducción</b>	
				Opacos	0,77
				Carbonatos	0,16
				Epidota	0,50
				Clinozoisita /Zoisita	0,20

**Clasificación de la roca:** *Cuarzodiorita anfibólica.*

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE MINERALES**

**Cuarzo:** *Se presenta en forma anhedral, rellenando espacios entre minerales, con tamaño de grano fino (0,1-1mm), incoloro limpio.*

**Plagioclasa:** *se presenta casi totalmente alterada a saussurita y sericita principalmente, en menor medida a zoisita/clinozoisita y epidota, ocasionalmente en formas tabulares de tamaño de grano fino a medio (0,4-5mm), rara vez dentro de los anfíboles en textura Poiquilítica.*

**Anfíbol:** *Se presenta como cristales subhedral con hábito prismático y hexagonal subhedral, de grano fino a medio (0,3-5mm), ocasionalmente se presenta como cúmulos, pleocroísmo verde azulado-verde marrón, verde amarillento, macla simple, exfoliación en una dirección en cortes longitudinales y en dos direcciones en cortes basales, extinción inclinada (20°), algunos granos presentan zonación (bordes con diferencia de colores de interferencia) y se está alterando a clorita y epidota.*

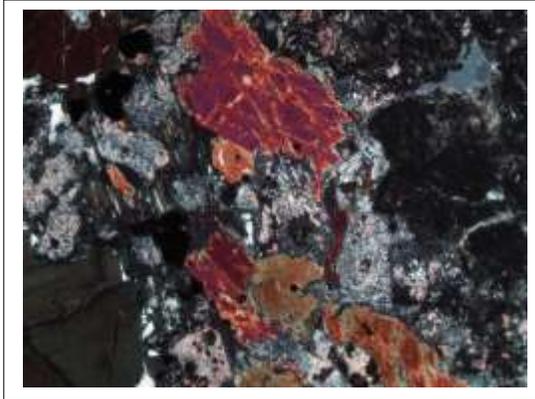
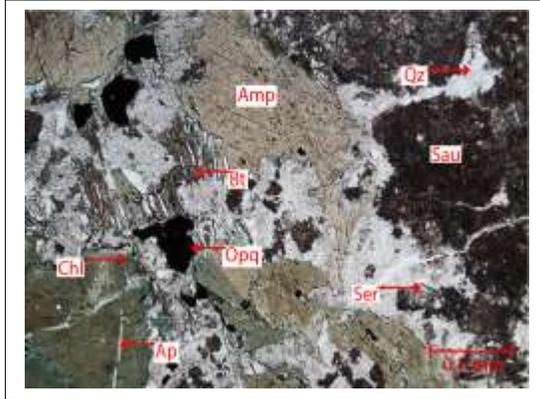
**Biotita:** *Se presenta en muy baja proporción, con crecimiento de epidota en planos de exfoliación, posiblemente remplazando anfíboles, forma laminar subhedral-anhedral, tamaño de grano fino (<1mm), pleocroísmo marrón claro-oscuro, exfoliación en una dirección paralelo a la elongación, extinción recta, altamente alterada a clorita y está siendo remplaza por minerales opacos.*

**Apatito:** *Se presenta en forma prismática alargada euhedral dentro de la plagioclasa y el anfíbol, tamaño de grano fino (0,1-0,4mm), extinción recta, elongación negativa.*

**Minerales opacos:** *Se presenta en formas anhedrales, remplazando anfíboles, con tamaño de grano fino (<1mm).*

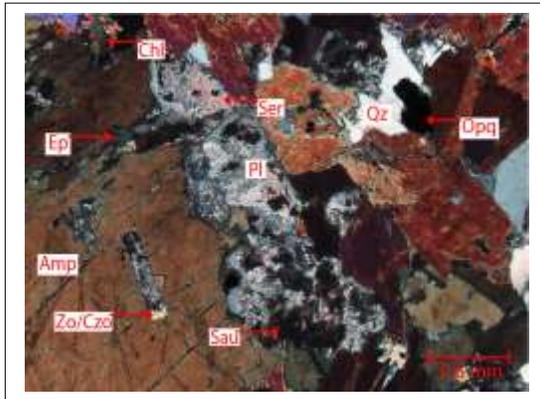
**OBSERVACIONES:** *La roca presenta alteración hidrotermal, marcada por la epidotización de los anfíboles y plagioclasa, además de la saussuritización de la plagioclasa, se observan venillas de cuarzo, carbonatos, epidota y zoisita/Clinozoisita.*

## REGISTRO FOTOGRÁFICO



**Nota:** Cuarzo (Qz) anhedral relleno de espacios entre plagioclasas, las cuales se encuentran totalmente alteradas a Saussurita (Sau) que a su vez es reemplazada por titanita, también se está alterando a sericita (Ser), se observan algunos apatitos (Ap) dentro de un anfíbol (Amp) levemente alterado a clorita (Chl), que están en contacto con biotita (Bt) alterada a clorita y siendo reemplazada por minerales opacos (Opq).

Fotos tomadas en objetivo de 10X, izquierda (PPL), derecha (XPL).



**Nota:** Plagioclase (Pl) alterada a saussurita (sau), sericita (Ser) y zoisita/clinozoisita (Zo/Czo), se observa un grano de plagioclase con textura Poiquilitica en un anfíbol (Amp) el cual se está alterando a epidota (Ep) y clorita (Chl), también se observa cuarzo (Qz) relleno de espacios entre minerales junto con un mineral opaco (Opq).

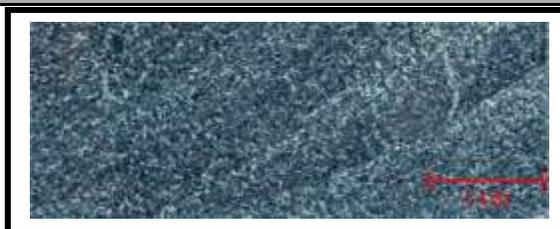
Fotos tomadas en objetivo de 4X, izquierda (XPL), derecha (PPL).

**PETROGRAFÍA: Muestra JRA\_18**

<b>Proyecto</b>	<b>Trabajo de grado</b>
<b>Unidad geológica</b>	<b>Plutón El Carmen</b>
<b>Localización</b>	<i>(distrito minero del Bagre, El Bagre, Antioquia)</i>
<b>Coordenadas</b>	N = 1328780,791 <b>Profundidad= 277m</b> E = 919808,72 <b>Origen de coordenadas: Magna Colombia Bogotá</b>
<b>Analista</b>	<b>Jairo Rincón Alape</b>
<b>Número de puntos de conteo</b>	<b>600</b>
<b>Fecha del análisis</b>	<b>11-11-2021</b>

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

**Características de la roca en campo y/o en muestra de mano:** *Presenta textura holocristalina, fanerítica, equigranular, de grano fino, color gris oscuro moteado, índice de color mesocrático, compuesta por plagioclasa y anfíbol casi en iguales proporciones.*



*La alteración es hidrotermal marcada por venillas de cuarzo, carbonatos, piritita y calcopiritita.*

**Clasificación de campo:** *Gabro*

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

<b>Textura general/grado de cristalinidad</b>	<i>Holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano fino, hipidiomórfica.</i>
<b>Otras texturas o texturas especiales</b>	<b>Concertal entre plagioclasa y anfíbol.</b>
<b>Descripción de la matriz</b>	

**COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (%Vol.):**

<b>MINERALES PRIMARIOS</b>				<b>MINERALES SECUNDARIOS</b>	
<b>Minerales principales</b>	<b>%</b>	<b>Minerales accesorios</b>	<b>%</b>	<b>Minerales de alteración</b>	
Plagioclasa	17,54	Cuarzo	0,66	Saussurita	6,58
Anfíbol	58,11			Sericita	2,19
				Clorita	2,19
				Epidota	8,11

				Clinozoisita /Zoisita	3,95
				<b>Minerales de introducción</b>	
				Opacos	0,67

**Clasificación de la roca:** *Gabro anfibólico*

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE MINERALES**

**Plagioclasa:** *Se presenta principalmente alterado a saussurita, sericita, carbonatos, epidota y clinozoisita/zoisita, también se presenta en forma tabular subhedral, tamaño de grano fino (<1mm), incoloro con aspecto turbio, macla simple, polisintética y compleja.*

**Anfibol:** *Se presenta principalmente como producto de uralitización, hábito prismático largo, anhedral de grano fino (<1mm), pleocroísmo verde a verde amarillento, exfoliación en una dirección en cortes longitudinales, extinción inclinada (10-20°), con zonación y esta alterado a clorita y epidota.*

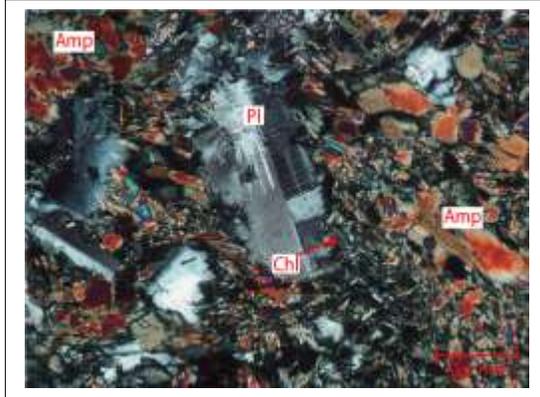
**Cuarzo:** *Se presenta rellenando espacios entre minerales, en forma anhedral, con tamaño de grano fino (<1mm).*

**Minerales opacos:** *Se presenta diseminados en la roca remplazando anfíboles, de grano fino (<1mm), con formas anhedrales.*

**Epidota:** *Se presenta como mineral de alteración a partir de la plagioclasa y el anfíbol, en agregados granulares junto con la clinozoisita/zoisita (en plagioclasa), de grano fino a medio (<1mm), pleocroísmo muy leve verde muy claro-claro e incoloro, con colores de interferencia de altos ordenes (manto de arlequín).*

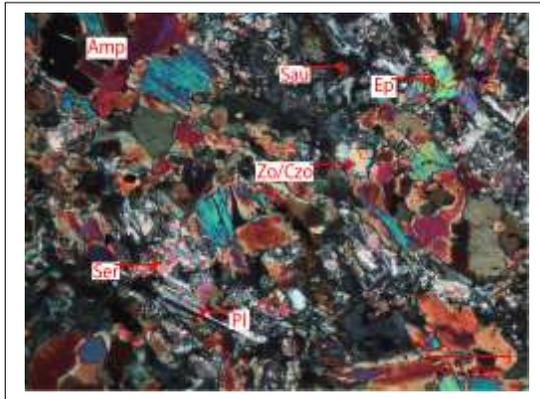
**OBSERVACIONES:** *Roca fuertemente alterada, con procesos de uralitización de anfíboles y saussuritización de las plagioclasas.*

## REGISTRO FOTOGRÁFICO



*Nota:* Plagioclasa (Pl) con macla compleja (simple + periclina + polisintética), se observa también anfíboles producto de uralitización.

*Fotos tomadas en objetivo de 10X, izquierda (XPL), derecha (PPL).*



*Nota:* Plagioclasa (Pl) alterada a sericita (Ser), epidota (Ep), zoisita/clinozoisita, saussurita (Sau), se observan también anfíboles (Amp) producto de uralitización.

*Fotos tomadas en objetivo de 10X, izquierda (XPL), derecha (PPL).*

**PETROGRAFÍA: Muestra JRA\_36**

<b>Proyecto</b>	<b>Trabajo de grado</b>
<b>Unidad geológica</b>	<b>Plutón El Carmen</b>
<b>Localización</b>	<i>(Distrito minero del Bagre, El Bagre, Antioquia)</i>
<b>Coordenadas</b>	N = 1328780,71 <b>Profundidad= 235m</b> E = 919808,983 <b>Origen de coordenadas: Magna Colombia Bogotá</b>
<b>Analista</b>	<b>Jairo Rincón Alape</b>
<b>Número de puntos de conteo</b>	<b>600</b>
<b>Fecha del análisis</b>	<b>23-10-2021</b>

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

**Características de la roca en campo y/o en muestra de mano:** *Presenta textura holocristalina, fanerítica, equigranular a inequigranular de grano fino a medio, color moteado, índice de color mesocrático, compuesta por plagioclasa y anfíbol casi en iguales proporciones.*



*Presenta venillas de cuarzo, carbonatos, pirita y calcopirita.*

**Clasificación de campo:** *Gabro*

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

<b>Textura general/grado de cristalinidad</b>	<i>Holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano fino a medio, hipidiomórfica.</i>
<b>Otras texturas o texturas especiales</b>	<b>Poiquilitica de plagioclasa en anfíbol.</b> <b>Poiquilitica de apatito en anfíbol.</b>
<b>Descripción de la matriz</b>	

**COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (%Vol.):**

<b>MINERALES PRIMARIOS</b>				<b>MINERALES SECUNDARIOS</b>	
<b>Minerales principales</b>	<b>%</b>	<b>Minerales accesorios</b>	<b>%</b>	<b>Minerales de alteración</b>	
Plagioclasa	8,60	Apatito	0,32	Saussurita	6,66
Anfíbol	53,25	Cuarzo	0,32	Sericita	26,46
				Clorita	0,49
				Epidota	0,81
				Clinozoisita /Zoisita	2,77

				<b>Minerales de introducción</b>	
				Clinozoisita /Zoisita	0,16
				Carbonatos	0,16

**Clasificación de la roca:** *Gabro anfibólico*

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE MINERALES**

**Plagioclasa:** *Se encuentra casi totalmente alterada, principalmente a sericita y en menor proporción a saussurita, clinozoisita/zoisita y epidota, rara vez se presenta menos alterada, incolora sucia, con hábito tabular subhedral, tamaño de grano fino a medio (0,5-4,5mm) y presenta macla polisintética.*

**Anfíbol:** *Se presenta ocasionalmente como cúmulos en hábito prismático y hexagonal subhedral-anhedral, de grano fino a medio (0,4-3,5mm), pleocroísmo verde azulado-verde marrón a verde amarillento, macla simple y polisintética, exfoliación en una dirección en cortes longitudinales y en dos direcciones en cortes basales, alterado a clorita y epidota, extinción inclinada (20°), presenta zonación, mostrando cambio de color de interferencia en los bordes, adicionalmente se encuentra siendo remplazado por minerales opacos.*

**Apatito:** *Se presenta en forma prismática euhedral dentro de los anfíboles, tamaño de grano fino (0,1-0,2mm), extinción recta, elongación negativa.*

**Minerales opacos:** *se presenta remplazando el anfíbol, en tamaño de grano fino (<1mm).*

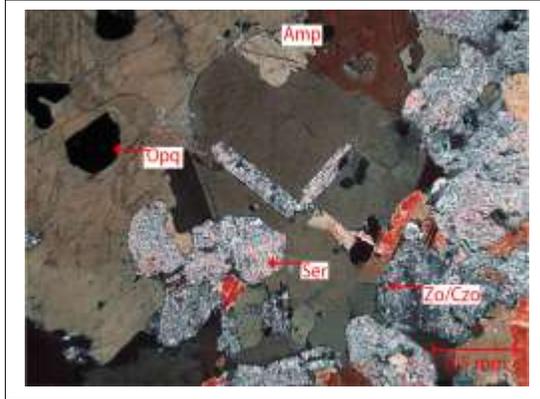
**Clinozoisita/Zoisita:** *Se presenta como mineral de alteración a partir de la plagioclasa, en agregados granulares, de grano fino (<1mm), incoloro, con colores de interferencia gris-amarillo de primer orden a azul anómalo.*

**Epidota:** *Se presenta como mineral de alteración a partir del anfíbol y la plagioclasa, en agregados junto con la clinozoisita/zoisita (en plagioclasa), de grano fino (<1mm), pleocroísmo muy leve verde muy claro-claro e incoloro, con colores de interferencia de altos ordenes (manto de arlequín).*

**Carbonatos:** *Se presentan como minerales de introducción en venillas junto con la zoisita/clinozoisita.*

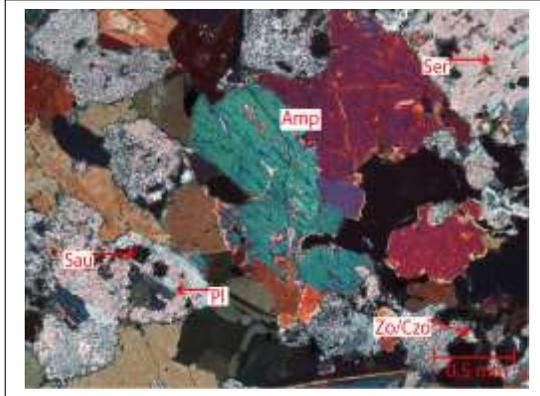
**OBSERVACIONES:** Es la única muestra de los gabros, donde la plagioclasa presenta una mayor alteración a sericita que a saussurita.

## REGISTRO FOTOGRÁFICO



**Nota:** Se observa textura Poiquilitica de plagioclasa totalmente alterada a sericita (ser) y zoisita/clinozoisita (Zo/Czo) en anfíbol (Amp), el cual está siendo remplazado por minerales opacos (Opq).

Fotos tomadas en objetivo de 4X, izquierda (XPL), derecha (PPL).



**Nota:** Cumulo de anfíboles (Amp) los cuales presentan zonación en contacto con plagioclasas (Pl) altamente alteradas principalmente a sericita (Ser) saussurita (Sau) y en menor medida a zoisita/clinozoisita (Zo/Czo).

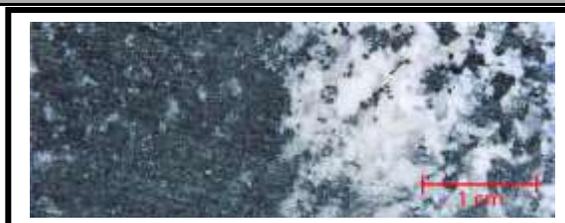
Fotos tomadas en objetivo de 4X, izquierda (XPL), derecha (PPL).

**PETROGRAFÍA: Muestra JRA\_40**

<b>Proyecto</b>	<b>Trabajo de grado</b>
<b>Unidad geológica</b>	<b>Plutón El Carmen</b>
<b>Localización</b>	<i>(Distrito minero del Bagre, El Bagre, Antioquia)</i>
<b>Coordenadas</b>	N = 1326861,43 <b>Profundidad= 45m</b> E = 918028,98 <b>Origen de coordenadas: Magna Colombia Bogotá</b>
<b>Analista</b>	<b>Jairo Rincón Alape</b>
<b>Número de puntos de conteo</b>	<b>600</b>
<b>Fecha del análisis</b>	<b>22-09-2021</b>

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

**Características de la roca en campo y/o en muestra de mano:** *Holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano fino a medio, color moteado con índice de color leucocrático, presenta alto contenido de cuarzo, plagioclasa y baja proporción de minerales máficos como anfíbol y biotita.*



*La zona donde se tomó la muestra está afectada por una falla y por una serie de vetas y venillas con cuarzo, carbonatos, pirita y epidota, adicionalmente la roca tiene tonalidades verdosas.*

**Clasificación de campo:** *Tonalita*

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

<b>Textura general/grado de cristalinidad</b>	<i>Holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano fino a medio, hipidiomórfica.</i>
<b>Otras texturas o texturas especiales</b>	<b>Poiquilítica de circón y apatito en cuarzo.</b> <b>Concertal entre anfíbol y biotita.</b> <b>Concertal entre cuarzo y plagioclasa.</b>
<b>Descripción de la matriz</b>	

**COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (%Vol.):**

<b>MINERALES PRIMARIOS</b>				<b>MINERALES SECUNDARIOS</b>	
<b>Minerales principales</b>	<b>%</b>	<b>Minerales accesorios</b>	<b>%</b>	<b>Minerales de alteración</b>	
Cuarzo	41,66	Anfíbol	3,39	Saussurita	21,91
Plagioclasa	17,59	Biotita	0,31	Sericita	6,17
		Apatito	0,15	Clorita	4,32
		Circón	0,15	Epidota	1,54

				Clinozoisita /Zoisita	0,93
				Titanita	0,31
				<b>Minerales de introducción</b>	
				Carbonatos	0,31
				Opacos	1,26

**Clasificación de la roca:** *Tonalita de anfíbol y biotita.*

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE MINERALES**

**Cuarzo:** *Se presenta principalmente relleno de espacios entre minerales, con formas anhedrales, con tamaño de grano fino a medio (0,3-4mm), rara vez hasta 6mm, incoloro, limpio, extinción recta y ondulante, ocasionalmente con interdigitación en los bordes con plagioclasa.*

**Plagioclasa:** *Se presenta en hábito tabular, subhedral, de grano fino a medio (0,5-4mm), aspecto muy turbio, presenta macla simple, polisintética y compleja, se encuentran alteradas a saussurita, sericita, epidota y clinozoisita/zoisita, ocasionalmente con interdigitaciones en los bordes con cuarzo.*

**Anfíbol:** *Se presenta en hábito prismático, subhedral-anhedral, de grano fino a medio (0,2-2mm), pleocroico verde-verde marrón amarillento, exfoliación en una dirección en cortes longitudinales y en dos direcciones en cortes basales, alterado a clorita, carbonatos y epidota, adicionalmente se encuentra siendo reemplazados por minerales opacos.*

**Biotita:** *Se presenta en hábito laminar, subhedral-anhedral, de grano fino a medio (1-2mm), pleocroico marrón-marrón oscuro, ocasionalmente verdoso por alteración, exfoliación en una dirección paralela a la elongación, alterado a clorita, titanita y epidotizada.*

**Apatito:** *Se presenta como mineral euhedral dentro del cuarzo, incoloro, de grano fino (0,3mm), extinción recta, elongación negativa.*

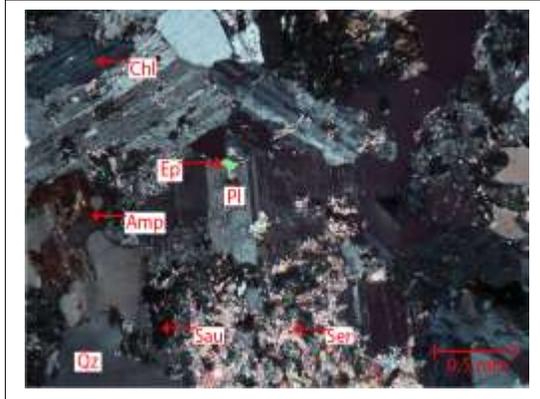
**Circón:** *Se presenta como mineral euhedral dentro del cuarzo, incoloro, de grano fino (0,1-0,2mm), con relieve muy alto y colores de interferencia de alto orden*

**Minerales opacos:** *Se presenta diseminados en la roca de grano fino (<1mm), con formas anhedrales, reemplazando principalmente anfíboles y relleno de los planos de exfoliación de los mismos.*

**Carbonatos:** *Se presentan como minerales de introducción en venilla, generando una fuerte alteración hidrotermal.*

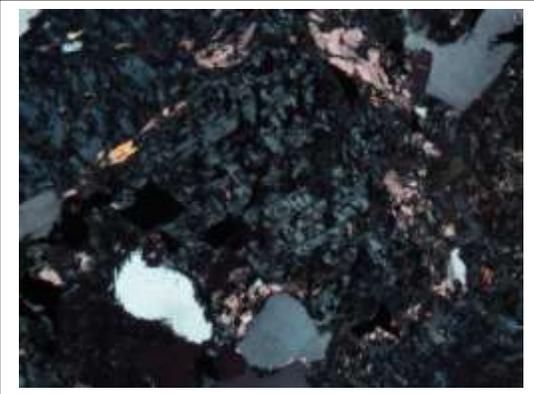
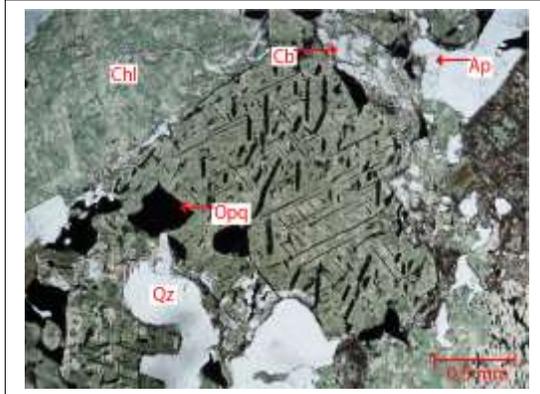
**OBSERVACIONES:** *Se observa la intrusión de venillas de carbonatos y cuarzo principalmente que generan alteración propilitica marcada por cambio de tonalidad en la roca, la cloritización y epidotización de los anfíboles y la biotita, además de una disminución drástica en la concentración de máficos*

## REGISTRO FOTOGRÁFICO



*Nota:* Plagioclasa (Pl) con alteración a saussurita (Sau), sericita (ser) y epidota (Ep), se observa anfíbol (Amp) alterándose a clorita (Chl), adicionalmente se observa cuarzo relleno espacios entre minerales.

*Fotos tomadas en objetivo de 4X, izquierda (XPL), derecha (PPL).*



*Nota:* Anfíbol totalmente alterado a clorita (Chl), se observa también minerales opacos (Opq) relleno espacios en los planos de exfoliación del anfíbol, adicionalmente un apatito (Ap) dentro de un cuarzo (Qz).

*Fotos tomadas en objetivo de 4X, izquierda (PPL), derecha (XPL).*

**PETROGRAFÍA: Muestra JRA\_41**

<b>Proyecto</b>	<b>Trabajo de grado</b>
<b>Unidad geológica</b>	<b>Plutón El Carmen</b>
<b>Localización</b>	<i>(Distrito minero del Bagre, El Bagre, Antioquia)</i>
<b>Coordenadas</b>	N = 1326861,43 <b>Profundidad= 118m</b> E = 918028,98 <b>Origen de coordenadas: Magna Colombia Bogotá</b>
<b>Analista</b>	<b>Jairo Rincón Alape</b>
<b>Número de puntos de conteo</b>	<b>600</b>
<b>Fecha del análisis</b>	<b>31-08-2021</b>

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

**Características de la roca en campo y/o en muestra de mano.** *Presenta textura holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano fino a medio, color moteado, índice de color leucocrático, compuesta por cuarzo anhedral, plagioclasa subhedral y como minerales máficos anfíbol y biotita.*



*En la zona donde se obtuvo la muestra hay presencia de enclaves máficos, venillas de cuarzo y carbonatos.*

**Clasificación de campo:** *Tonalita*

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

<b>Textura general/grado de cristalinidad</b>	<i>Holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano fino a medio (predominante), hipidiomórfica.</i>
<b>Otras texturas o texturas especiales</b>	<b>Poiquilítica de apatito en plagioclasa.</b> <b>Poiquilítica de circón en cuarzo.</b> <b>Concertal entre plagioclasa-anfíbol y anfíbol-cuarzo.</b>
<b>Descripción de la matriz</b>	

**COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (% Vol.):**

<b>MINERALES PRIMARIOS</b>				<b>MINERALES SECUNDARIOS</b>	
<b>Minerales principales</b>	<b>%</b>	<b>Minerales accesorios</b>	<b>%</b>	<b>Minerales de alteración</b>	
Cuarzo	26,39	Apatito	0,16	Saussurita	34,10
Plagioclasa	8,95	Circón	0,15	Sericita	6,48

Anfíbol	12,65			Clorita	4,01
Biotita	3,40			Epidota	0,93
				Clinozoisita /Zoisita	0,31
				Titanita	0,15
				<b>Minerales de introducción</b>	
				Carbonatos	0,31
				Opacos	2,01

**Clasificación de la roca:** *Tonalita de anfíbol y biotita.*

#### **DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE MINERALES**

**Cuarzo:** *Se presenta principalmente rellenando espacios entre minerales, con formas anhedrales, con tamaño de grano fino a medio (0,4-5mm), rara vez hasta 6mm, incoloro, limpio, extinción recta y ondulante.*

**Plagioclasa:** *Se presenta en hábito tabular, subhedral, de grano medio (1-4,5mm), aspecto muy turbio, presenta macla simple y polisintética, la mayoría de los granos se encuentran altamente alterados a saussurita, sericita, epidota y clinozoisita/zoisita.*

**Anfíbol:** *Se presenta en hábito prismático, subhedral, de grano fino a medio (0,4-4mm), pleocroico verde oliva a verde amarillento-café amarillento, macla simple, exfoliación en una dirección en cortes longitudinales y en dos direcciones en cortes basales, alterado a clorita y epidota.*

**Biotita:** *Se presenta en hábito laminar, subhedral, de grano medio (1,5-2,5mm), pleocroísmo marrón claro-marrón oscuro, exfoliación en una dirección en cortes longitudinales, alterada a clorita y titanita, ocasionalmente epidotizada.*

**Apatito:** *Se presenta como mineral euhedral dentro de la plagioclasa, de grano fino (<1mm), incoloro, extinción recta, elongación negativa.*

**Circón:** *Se presenta como mineral euhedral dentro del cuarzo, de grano fino (<1mm), incoloro, con relieve muy alto, con colores de interferencia de alto orden.*

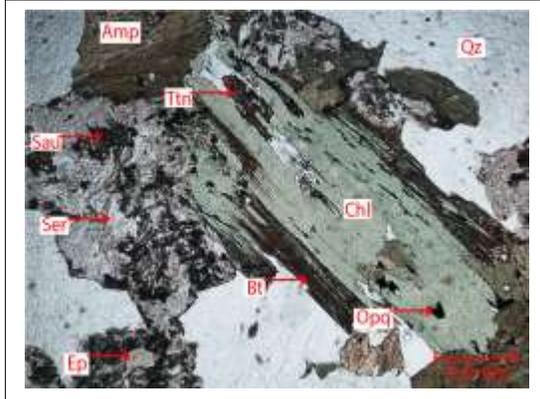
**Minerales opacos:** *Se presenta diseminados en la roca de grano fino (<1mm), con formas anhedrales, remplazando minerales máficos.*

**Clorita:** *Se presenta como mineral de alteración a partir de la biotita y los anfíboles, hábito laminar, pleocroísmo verde claro, verde muy claro, exfoliación en una dirección, con colores de interferencia azul-violeta anómalo.*

**Carbonatos:** *Se presentan como minerales de introducción en venillas.*

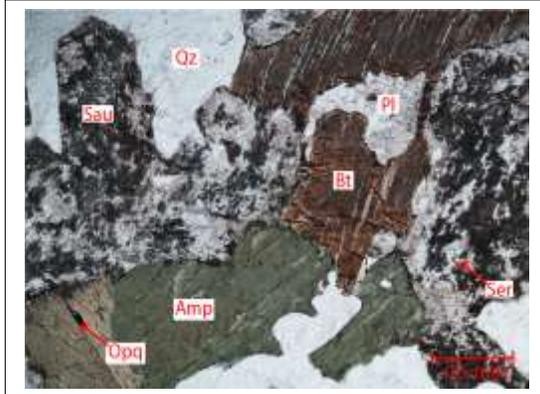
**OBSERVACIONES:** *Se observa la intrusión de venillas de carbonatos y cuarzo, lo cual genera una alteración hidrotermal de tipo propilitica, marcada por la cloritización y epidotización de los minerales máficos y la saussuritización de la plagioclasa.*

## REGISTRO FOTOGRÁFICO



**Nota:** Biotita (Bt) altamente alterada a clorita (Chl) y titanita (Ttn), adicionalmente está siendo remplazado por minerales opacos (Opq), se observa saussurita (Sau) y sericita (Ser) producto de alteración de una plagioclasa, también se observa cuarzo (Qz) y anfíbol (Amp) con macla simple.

Fotos tomadas en objetivo de 4X, izquierda (PPL), derecha (XPL).



**Nota:** Biotita (Bt) con interdigitaciones en los bordes con una plagioclasa (Pl) las cuales están altamente alteras a saussurita (Sau) y Sericita (Ser), se observa anfíbol (Amp) con macla simple, siendo remplazado por minerales opacos (Opq) y cuarzo (Qz) relleno de espacios entre minerales.

Fotos tomadas en objetivo de 4X, izquierda (PPL), derecha (XPL).

**PETROGRAFÍA: Muestra JRA\_43**

<b>Proyecto</b>	<b>Trabajo de grado</b>
<b>Unidad geológica</b>	<b>Plutón El Carmen</b>
<b>Localización</b>	<i>(Distrito minero del Bagre, El Bagre, Antioquia)</i>
<b>Coordenadas</b>	N = 1326861,43 <b>Profundidad= 147m</b> E = 918028,98 <b>Origen de coordenadas: Magna Colombia Bogotá</b>
<b>Analista</b>	<b>Jairo Rincón Alape</b>
<b>Número de puntos de conteo</b>	<b>600</b>
<b>Fecha del análisis</b>	<b>16-10-2021</b>

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

**Características de la roca en campo y/o en muestra de mano.** *Presenta textura holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano fino a medio, color moteado, índice de color leucocrático, compuesta por cuarzo anhedral, plagioclasa subhedral y como minerales máficos anfíbol y biotita.*



*En la zona donde se obtuvo la muestra hay presencia de venillas de cuarzo y carbonatos.*

**Clasificación de campo:** *Tonalita*

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

<b>Textura general/grado de cristalinidad</b>	<i>Holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano fino a medio (predominante), hipidiomórfica.</i>
<b>Otras texturas o texturas especiales</b>	<b>Poiquilitica de apatito en plagioclasa.</b> <b>Poiquilitica de plagioclasa en anfíbol.</b>
<b>Descripción de la matriz</b>	

**COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (% Vol.):**

<b>MINERALES PRIMARIOS</b>				<b>MINERALES SECUNDARIOS</b>	
<b>Minerales principales</b>	<b>%</b>	<b>Minerales accesorios</b>	<b>%</b>	<b>Minerales de alteración</b>	
Cuarzo	25,6	Apatito	0,16	Saussurita	43,64
Plagioclasa	3,54			Sericita	4,19
Anfíbol	11,76			Clorita	4,35
Biotita	2,58			Epidota	1,13

				Clinozoisita /Zoisita	1,28
				Carbonatos	0,16
				<b>Minerales de introducción</b>	
				Opacos	1,61

**Clasificación de la roca:** *Tonalita de anfíbol y biotita.*

### **DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE MINERALES**

**Cuarzo:** *Se presenta principalmente rellenando espacios entre minerales, con formas anhedrales, con tamaño de grano fino a medio (0,4-4,5mm), incoloro, limpio, extinción recta y ondulante.*

**Plagioclasa:** *Se presenta casi totalmente alterada a saussurita, sericita, epidota, carbonatos y clinozoisita/zoisita, ocasionalmente en hábito tabular, subhedral, de grano fino a medio (0,6-5mm), aspecto muy turbio, presenta macla simple y polisintética.*

**Anfíbol:** *Se presenta en hábito prismático, subhedral, de grano fino a medio (0,5-4mm), pleocroico verde oliva a verde amarillento-café amarillento, macla simple, exfoliación en una dirección en cortes longitudinales y en dos direcciones en cortes basales, alterado a clorita y epidota, adicionalmente está siendo remplazado por minerales opacos.*

**Biotita:** *Se presenta en hábito laminar, subhedral, de grano medio (1-3mm), pleocroísmo marrón claro-marrón oscuro, exfoliación en una dirección en cortes longitudinales, alterada a clorita y epidotizada.*

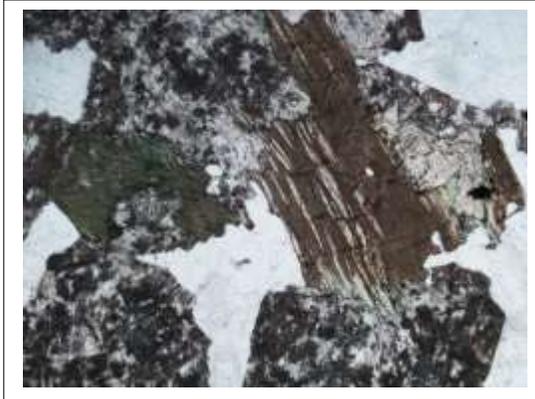
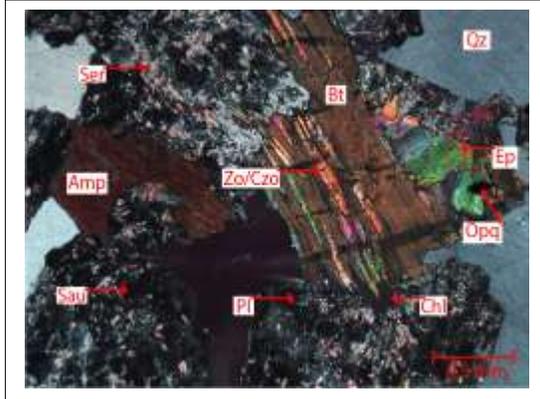
**Apatito:** *Se presenta como mineral euhedral dentro de la plagioclasa, de grano fino (<1mm), incoloro, extinción recta, elongación negativa.*

**Minerales opacos:** *Se presenta diseminados en la roca de grano fino (<1mm), con formas anhedrales, remplazando minerales máficos.*

**Clorita:** *Se presenta como mineral de alteración a partir de la biotita y los anfíboles, hábito laminar, pleocroísmo verde claro, verde muy claro, exfoliación en una dirección, con colores de interferencia azul-violeta anómalo.*

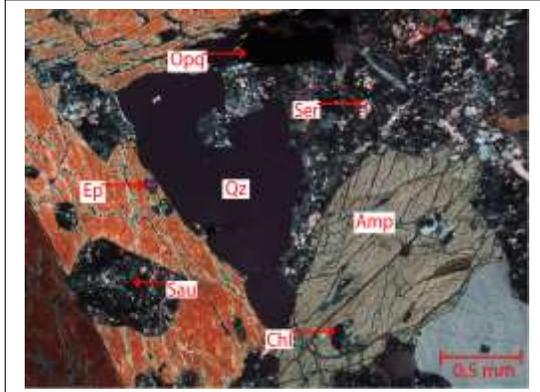
**OBSERVACIONES:** *Se observa la intrusión de venillas de carbonatos y cuarzo, lo cual genera una alteración hidrotermal de tipo propilitica, marcada por la cloritización y epidotización de los minerales máficos y la saussuritización de la plagioclasa.*

## REGISTRO FOTOGRÁFICO



**Nota:** Biotita (Bt) epidotizada y alterada a clorita (Chl) y con planos de exfoliación rellenos de zoisita/clinozoisita (Zo/Czo), adicionalmente está siendo remplazado por minerales opacos (Opq), se observa saussurita (Sau) y sericita (Ser) producto de alteración de una plagioclasa, también se observa cuarzo (Qz) y anfíbol (Amp).

Fotos tomadas en objetivo de 4X, izquierda (XPL), derecha (PPL).



**Nota:** Saussurita (Sau) a partir de una plagioclasa Poiquilítica en anfíbol (Amp), el cual esta alterado a clorita (Chl), epidota (Ep) y es remplazado por minerales opacos (Opq), se observa sericita (Ser) a partir de la alteración de plagioclasa, adicionalmente cuarzo (Qz) relleno de espacios entre minerales.

Fotos tomadas en objetivo de 4X, izquierda (XPL), derecha (PPL).

**PETROGRAFÍA: Muestra JRA\_45**

<b>Proyecto</b>	<b>Trabajo de grado</b>
<b>Unidad geológica</b>	<b>Plutón El Carmen</b>
<b>Localización</b>	<i>(Distrito minero del Bagre, El Bagre, Antioquia)</i>
<b>Coordenadas</b>	N = 1327964,19 <b>Profundidad= 175m</b> E = 919806,24 <b>Origen de coordenadas: Magna Colombia Bogotá</b>
<b>Analista</b>	<b>Jairo Rincón Alape</b>
<b>Número de puntos de conteo</b>	<b>600</b>
<b>Fecha del análisis</b>	<b>11-09-2021</b>

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

**Características de la roca en campo y/o en muestra de mano:** *Presenta textura holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano fino a medio con variaciones drásticas en el tamaño de grano, color moteado a gris verdoso oscuro moteado, índice de color mesocrático, compuesta por plagioclasa con variaciones de tamaño muy drástica y anfíbol.*



*La tonalidad verdosa se puede asociar a la presencia de vetas y venillas de cuarzo y carbonatos, la cual genera alteración hidrotermal que enmascara la textura y el color original de la roca.*

**Clasificación de campo:** *Gabro*

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

**Textura general/grado de cristalinidad** *Holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano fino a medio, hipidiomórfica.*

**Otras texturas o texturas especiales** **Poiquilitica de plagioclasa en anfíbol.**  
**Concertal entre plagioclasa y anfíbol.**

**Descripción de la matriz**

**COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (% Vol.):**

<b>MINERALES PRIMARIOS</b>				<b>MINERALES SECUNDARIOS</b>	
<b>Minerales principales</b>	<b>%</b>	<b>Minerales accesorios</b>	<b>%</b>	<b>Minerales de alteración</b>	
Plagioclasa	3,70			Saussurita	31,99
Anfíbol	40,40			Sericita	15,82
				Clorita	0,34
				Carbonatos	1,35
				Epidota	5,39

				Clinzoisita /Zoisita	0,67
				<b>Minerales de introducción</b>	
				Opacos	0,34

**Clasificación de la roca:** *Gabro anfibólico*

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE MINERALES**

**Plagioclasa:** *Se presenta totalmente alterada a saussurita, sericita, carbonatos, epidota y clinzoisita/zoisita, ya no se reconoce muy bien sus propiedades.*

**Anfíbol:** *Se presenta ocasionalmente como cúmulos en hábito prismático y hexagonal, subhedral, de grano fino a medio (0,4-4mm), pleocroísmo verde azulado-verde marrón y verde amarillento, macla simple, exfoliación en una dirección en cortes longitudinales y en dos direcciones en cortes basales, extinción inclinada (20°) alterado a clorita, carbonatos y epidota, presenta formación de zoisita/clinozoisita en los planos de exfoliación, adicionalmente está siendo remplazado por minerales opacos.*

**Minerales opacos:** *Se presenta diseminados en la roca remplazando anfíboles, de grano fino (<1mm), con formas anhedrales.*

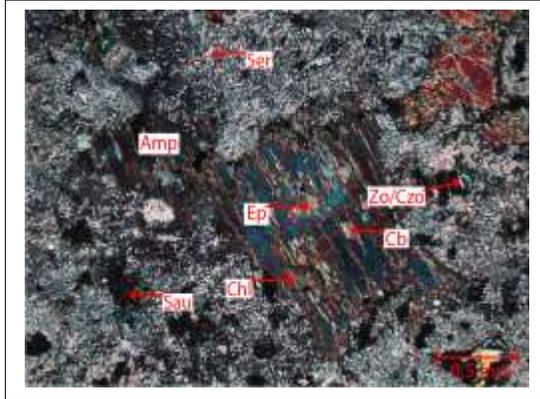
**Clinzoisita/Zoisita:** *Se presenta como mineral de alteración a partir de la plagioclasa (aumenta su proporción cerca de las venillas), en agregados granulares junto con la epidota, de grano fino (<1mm), incoloro, con colores de interferencia gris-amarillo de primer orden a azul anómalo, además se presenta como mineral de introducción, en las venillas junto con el cuarzo, los carbonatos y la epidota, formándose también en los planos de exfoliación de los anfíboles.*

**Epidota:** *Se presenta como mineral de alteración a partir de la plagioclasa y el anfíbol, en agregados granulares junto con la clinzoisita/zoisita (en plagioclasa), de grano fino a medio (<1mm), pleocroísmo muy leve verde muy claro-claro e incoloro, con colores de interferencia de altos ordenes (manto de arlequín).*

**Carbonatos:** *Se presentan como mineral de alteración de los anfíboles y la plagioclasa, incoloro sucio, con colores de interferencia de muy alto orden, adicionalmente se observa como mineral de introducción en venillas.*

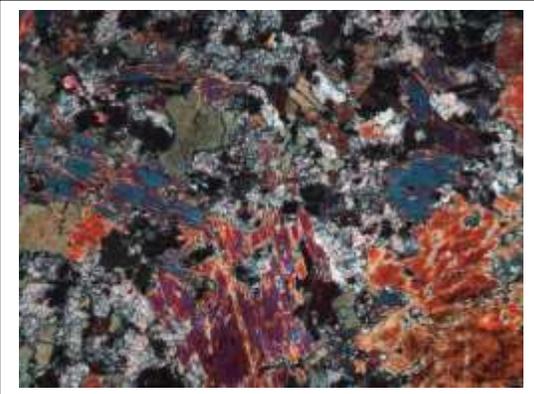
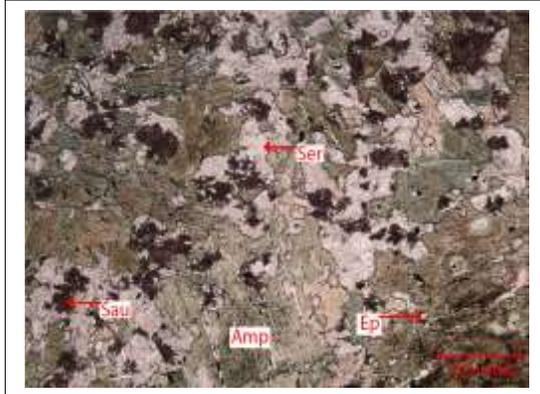
**OBSERVACIONES:** *Se observa la intrusión de vetas y venillas con cuarzo y carbonatos principalmente que generan fuerte alteración hidrotermal, evidenciado en el alto grado de alteración de los minerales en la roca, cambios texturales y de coloración de la misma.*

## REGISTRO FOTOGRÁFICO



**Nota:** Anfibol (Amp) alterado a clorita (Chl), carbonatos (Cb) y epidota (Ep), rodeado de sericita (Ser) y saussurita (Sau) producto de alteración de plagioclasa, adicionalmente pequeños granos de zoisita/clinozoisita (Zo/Czo) formándose en la saussurita.

Fotos tomadas en objetivo de 4X, izquierda (XPL), derecha (PPL).



**Nota:** Anfibol (Amp) alterado a epidota en textura concertal con plagioclasa, la cual se encuentra totalmente alterada a saussurita (Sau) y sericita (Ser)

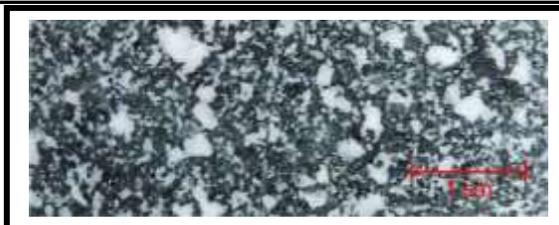
Fotos tomadas en objetivo de 4X, izquierda (PPL), derecha (XPL).

**PETROGRAFÍA: Muestra JRA\_46**

<b>Proyecto</b>	<b>Trabajo de grado</b>
<b>Unidad geológica</b>	<b>Plutón El Carmen</b>
<b>Localización</b>	<i>(Distrito minero del Bagre, El Bagre, Antioquia)</i>
<b>Coordenadas</b>	N = 1327964,19 <b>Profundidad= 220m</b> E = 919806,24 <b>Origen de coordenadas: Magna Colombia Bogotá</b>
<b>Analista</b>	<b>Jairo Rincón Alape</b>
<b>Número de puntos de conteo</b>	<b>600</b>
<b>Fecha del análisis</b>	<b>16-09-2021</b>

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

**Características de la roca en campo y/o en muestra de mano:** *Presenta textura holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano fino a medio, color moteado a gris moteado, índice de color mesocrático, compuesta por plagioclasa y anfíbol cloritizado.*



*La zona presenta variaciones de tamaño drástica tanto de los anfíboles como de la plagioclasa alcanzando tamaños gruesos (>5mm).*

**Clasificación de campo:** *Gabro*

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

<b>Textura general/grado de cristalinidad</b>	<i>Holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano fino a medio, hipidiomórfica.</i>
<b>Otras texturas o texturas especiales</b>	<b>Poiquilítica de plagioclasa en anfíbol. Concertal entre plagioclasa y anfíbol.</b>
<b>Descripción de la matriz</b>	

**COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (% Vol.):**

<b>MINERALES PRIMARIOS</b>				<b>MINERALES SECUNDARIOS</b>	
<b>Minerales principales</b>	<b>%</b>	<b>Minerales accesorios</b>	<b>%</b>	<b>Minerales de alteración</b>	
Plagioclasa	1,70	Cuarzo	1,23	Saussurita	22,61
Anfíbol	53,55	Apatito	0,15	Sericita	3,24
				Clorita	4,32
				Epidota	4,78
				Clinozoisita /Zoisita	7,41
				<b>Minerales de introducción</b>	

				Opacos	0,34
				Cuarzo	0,10
				Carbonatos	0,60

**Clasificación de la roca:** *Gabro anfibólico*

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE MINERALES**

**Cuarzo:** *Se presenta en muy baja cantidad relleno de espacios entre minerales, incoloro limpio, con tamaño de grano fino (<1mm).*

**Plagioclasa:** *Se presenta totalmente alterada a saussurita, sericita, epidota y clinzoisita/zoisita, ya no se reconoce muy bien sus propiedades.*

**Anfibol:** *Se presenta ocasionalmente como cúmulos en hábito prismático y hexagonal, subhedral, de grano fino a medio (0,4-3mm), pleocroísmo verde azulado-verde marrón y verde amarillento, macla simple, ocasionalmente polisintética y zonación, exfoliación en una dirección en cortes longitudinales y en dos direcciones en cortes basales, extinción inclinada (20°) alterado a clorita, carbonatos y epidota, presenta formación de zoisita/clinozoisita en los planos de exfoliación, adicionalmente está siendo remplazado por minerales opacos.*

**Minerales opacos:** *Se presenta diseminados en la roca remplazando anfíboles, de grano fino (<1mm), con formas anhedrales.*

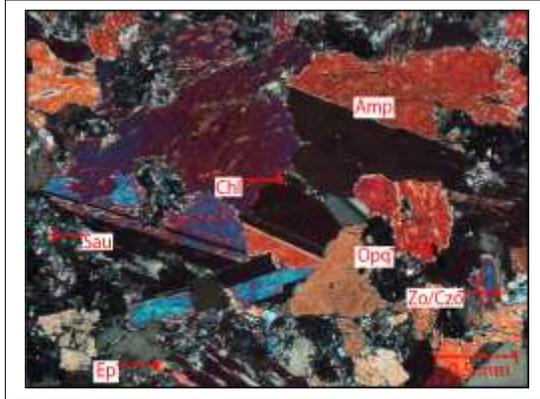
**Clinozoisita/Zoisita:** *Se presenta como mineral de alteración a partir de la plagioclasa (aumenta su proporción cerca de las venillas), en agregados granulares junto con la epidota, de grano fino (<1mm), incoloro, con colores de interferencia gris-amarillo de primer orden a azul anómalo, además se presenta como mineral de introducción, en las venillas junto con el cuarzo, los carbonatos y la epidota, formándose también en los planos de exfoliación de los anfíboles.*

**Epidota:** *Se presenta como mineral de alteración a partir de la plagioclasa y el anfíbol, en agregados granulares junto con la clinzoisita/zoisita (en plagioclasa), de grano fino a medio (<1mm), pleocroísmo muy leve verde muy claro-claro e incoloro, con colores de interferencia de altos ordenes (manto de arlequín).*

**Carbonatos:** *Se presentan como mineral de introducción junto con el cuarzo en venillas.*

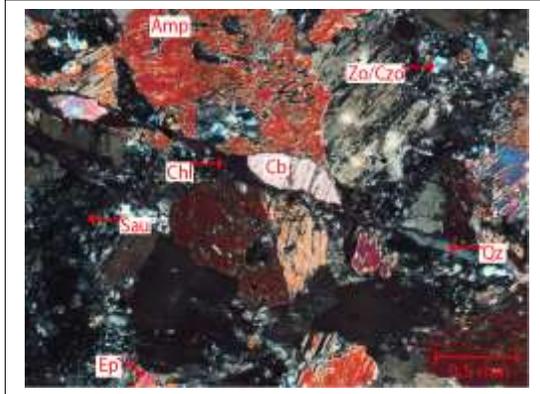
**OBSERVACIONES:** *Se observa la intrusión de vetas y venillas con cuarzo y carbonatos principalmente.*

## REGISTRO FOTOGRÁFICO



*Nota:* Anfíbol (Amp) en cúmulos alterado a clorita (Chl) y epidota (Ep) en contacto con sericita (Ser), zoisita/clinozoisita (Zo/Czo) y saussurita (Sau) producto de alteración de plagioclasa.

*Fotos tomadas en objetivo de 4X, izquierda (XPL), derecha (PPL).*



*Nota:* Venilla de cuarzo (Qz) y carbonatos (Cb) generando alteración en los anfíboles (Amp) a epidota (Ep) y clorita (Chl), adicionalmente se observa saussurita (Sau) y zoisita/clinozoisita (Zo/Czo), producto de alteración de la plagioclasa.

*Fotos tomadas en objetivo de 4X, izquierda (XPL), derecha (PPL).*

**PETROGRAFÍA: Muestra JRA\_47**

<b>Proyecto</b>	<b>Trabajo de grado</b>
<b>Unidad geológica</b>	<b>Plutón El Carmen</b>
<b>Localización</b>	<i>(Distrito minero del Bagre, El Bagre, Antioquia)</i>
<b>Coordenadas</b>	N = 1328455,42 <b>Profundidad= 15m</b> E = 921105,59 <b>Origen de coordenadas: Magna Colombia Bogotá</b>
<b>Analista</b>	<b>Jairo Rincón Alape</b>
<b>Número de puntos de conteo</b>	<b>600</b>
<b>Fecha del análisis</b>	<b>11-10-2021</b>

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

**Características de la roca en campo y/o en muestra de mano.** *Presenta textura holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano fino a medio, color moteado, índice de color leucocrático, compuesta por cuarzo anhedral, plagioclasa subhedral y como mineral máfico anfíbol cloritizado.*



*En la zona donde se obtuvo la muestra hay presencia de muchos xenolitos pertenecientes al cuerpo gabroico, lo cual podría ser una zona de intrusión de la tonalita.*

**Clasificación de campo:** *Tonalita*

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

<b>Textura general/grado de cristalinidad</b>	<i>Holocristalina, fanerítica, equigranular a inequigranular, de grano fino a medio, hipidiomórfica.</i>
<b>Otras texturas o texturas especiales</b>	<b>Poiquilitica de apatito en anfíbol.</b>
<b>Descripción de la matriz</b>	

**COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (% Vol.):**

<b>MINERALES PRIMARIOS</b>				<b>MINERALES SECUNDARIOS</b>	
<b>Minerales principales</b>	<b>%</b>	<b>Minerales accesorios</b>	<b>%</b>	<b>Minerales de alteración</b>	
Cuarzo	23,20	Apatito	0,16	Saussurita	4,09
Plagioclasa	30,39	Biotita	0,33	Sericita	1,64
Anfíbol	32,84			Clorita	2,45
				Epidota	2,61
				Clinozoisita /Zoisita	1,96
				<b>Minerales de introducción</b>	

				Opacos	0,33

**Clasificación de la roca:** *Tonalita de anfíbol.*

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE MINERALES**

**Cuarzo:** *Se presenta principalmente de manera intersticial relleno de espacios entre minerales, con formas anhedrales, con tamaño de grano fino a medio (0,4-1,5mm), incoloro, limpio, extinción recta y ondulante.*

**Plagioclasa:** *Se presenta en hábito tabular, subhedral a euhedral, de grano fino a medio (0,5-4mm), aspecto turbio, presenta macla simple, polisintética y compleja, presentan leve alteración a saussurita, sericita, epidota y clinozoisita/zoisita.*

**Anfíbol:** *Se presenta en hábito prismático, subhedral a euhedral, de grano fino a medio (0,3-1,5mm), pleocroico verde oliva a verde amarillento-café amarillento, macla simple, exfoliación en una dirección en cortes longitudinales y en dos direcciones en cortes basales, alterado a clorita y epidota.*

**Biotita:** *Se presenta en muy baja cantidad en hábito laminar, subhedral, de grano fino (<1mm), pleocroísmo marrón verdoso claro-marrón verdoso oscuro, exfoliación en una dirección en cortes longitudinales, fuertemente alterada a clorita por ello su tonalidad verdosa, ocasionalmente epidotizada.*

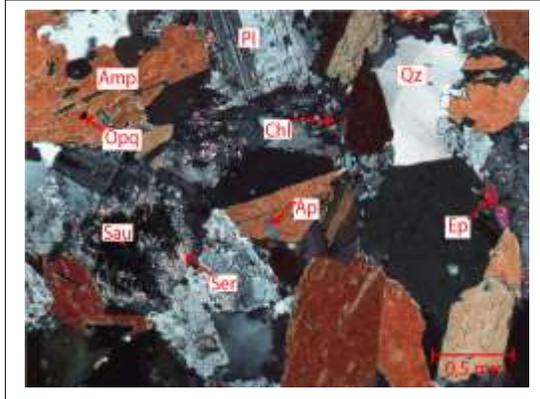
**Apatito:** *Se presenta como mineral euhedral dentro del anfíbol, de grano fino (0,1-0,2mm), incoloro, extinción recta, elongación negativa.*

**Minerales opacos:** *Se presenta diseminados en la roca de grano fino (<1mm), con formas anhedrales, remplazando minerales máficos.*

**Clorita:** *Se presenta como mineral de alteración a partir de la biotita y los anfíboles, hábito laminar, pleocroísmo verde claro, verde muy claro, exfoliación en una dirección, con colores de interferencia azul-violeta y marrón anómalo.*

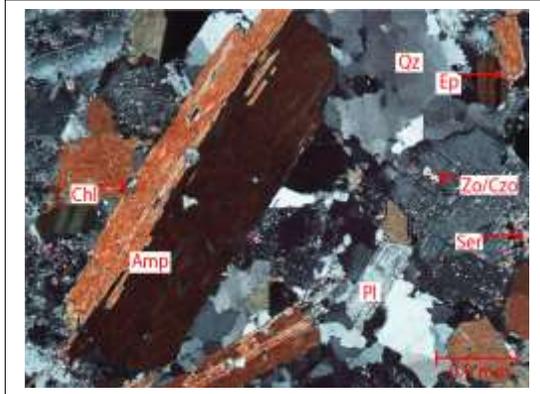
**OBSERVACIONES:** *la zona donde se tomó la muestra corresponde a una zona de intrusión de la tonalita en el gabro.*

## REGISTRO FOTOGRÁFICO



**Nota:** Apatito (Ap) incluido en anfíbol (Amp) con macla simple, adicionalmente se están alterando a clorita (Chl) y siendo remplazados por minerales opacos (Opq), se observa plagioclasa (Pl) alterándose a saussurita (Sau), sericita (Ser) y epidota (Ep), también hay cuarzo (Qz) relleno espacios entre minerales.

Fotos tomadas en objetivo de 4X, izquierda (XPL), derecha (PPL).



**Nota:** Anfíboles (Amp) con macla simple y polisintética alterándose a clorita (Chl) y epidota (Ep) en contacto con cuarzo (Qz) el cual se presenta relleno espacios entre minerales, también se observa plagioclasa (Pl) alterándose a sericita (Ser), epidota (Ep) y zoisita/clinozoisita (Zo/Czo).

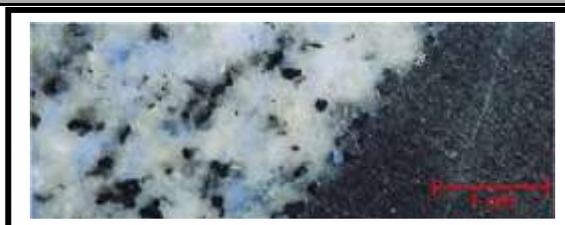
Fotos tomadas en objetivo de 4X, izquierda (XPL), derecha (PPL).

**PETROGRAFÍA: Muestra JRA\_49**

<b>Proyecto</b>	<b>Trabajo de grado</b>
<b>Unidad geológica</b>	<b>Plutón El Carmen</b>
<b>Localización</b>	<i>(distrito minero del Bagre, El Bagre, Antioquia)</i>
<b>Coordenadas</b>	N = 1328455,42 <b>Profundidad= 60m</b> E = 921105,59 <b>Origen de coordenadas: Magna Colombia Bogotá</b>
<b>Analista</b>	<b>Jairo Rincón Alape</b>
<b>Número de puntos de conteo</b>	<b>600</b>
<b>Fecha del análisis</b>	<b>08-10-2021</b>

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

**Características de la roca en campo y/o en muestra de mano.** *Presenta textura holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano medio, color moteado, índice de color leucocrático, compuesta por cuarzo anhedral, plagioclasa subhedral y como mineral máfico anfíbol.*



*En la zona donde se obtuvo la muestra hay presencia de muchos enclaves máficos.*

**Clasificación de campo:** *Tonalita*

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

<b>Textura general/grado de cristalinidad</b>	<i>Holocristalina, fanerítica, equigranular a inequigranular, de grano fino a medio (predominante), hipidiomórfica.</i>
<b>Otras texturas o texturas especiales</b>	<b>Poiquilitica de circón en anfíbol y cuarzo.</b> <b>Poiquilitica de apatito en anfíbol.</b>
<b>Descripción de la matriz</b>	

**COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (% Vol.):**

<b>MINERALES PRIMARIOS</b>				<b>MINERALES SECUNDARIOS</b>	
<b>Minerales principales</b>	<b>%</b>	<b>Minerales accesorios</b>	<b>%</b>	<b>Minerales de alteración</b>	
Cuarzo	36,96	Circón	0,22	Saussurita	2,17
Plagioclasa	40,87	Biotita	0,22	Sericita	2,61
Anfíbol	8,04	Apatito	0,22	Clorita	3,48
				Epidota	0,43

				Clinozoisita /Zoisita	1,95
				<b>Minerales de introducción</b>	
				Opacos	2,61
				Carbonatos	0,22

**Clasificación de la roca:** *Tonalita de anfíbol.*

### **DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE MINERALES**

**Cuarzo:** *Se presenta principalmente de manera intersticial rellenando espacios entre minerales y en mosaico, con formas anhedrales, con tamaño de grano fino a medio (0,4-5mm), incoloro, limpio, extinción recta y ondulante.*

**Plagioclasa:** *Se presenta en hábito tabular, subhedral a euhedral, de grano fino a medio (0,8-3,5mm), aspecto turbio, presenta macla simple, polisintética y compleja, presentan leve alteración a saussurita, sericita, epidota y clinozoisita/zoisita.*

**Anfíbol:** *Se presenta en hábito prismático, subhedral a euhedral, de grano fino a medio (0,5-2mm), pleocroico verde oliva a verde amarillento-café amarillento, macla simple, exfoliación en una dirección en cortes longitudinales y en dos direcciones en cortes basales, alterado a clorita y epidota.*

**Biotita:** *Se presenta en muy baja cantidad en hábito laminar, subhedral, de grano fino (<1mm), pleocroísmo marrón verdoso claro-marrón verdoso oscuro, exfoliación en una dirección en cortes longitudinales, fuertemente alterada a clorita por ello su tonalidad verdosa y con zoisita/clinozoisita en planos de exfoliación.*

**Apatito:** *Se presenta como mineral euhedral dentro del anfíbol, de grano fino (<1mm), incoloro, extinción recta, elongación negativa.}*

**Circón:** *Se presenta como mineral euhedral dentro del anfíbol y el cuarzo, de grano fino (<1mm), incoloro, prismático con relieve alto, presenta zonación y colores de interferencia de alto orden.*

**Minerales opacos:** *Se presenta diseminados en la roca de grano fino (<1mm), con formas anhedrales, remplazando minerales máficos.*

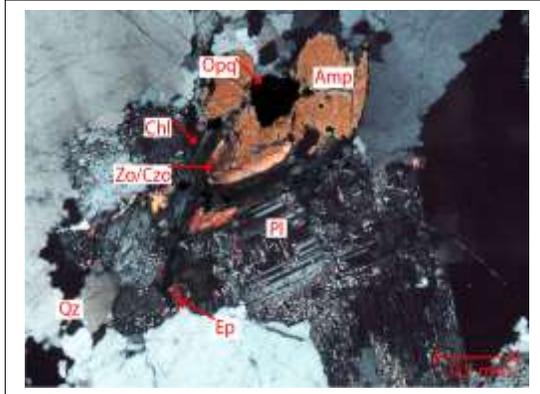
**OBSERVACIONES:** *la zona donde se tomó la muestra corresponde a una zona de intrusión de la tonalita en el gabro.*

## REGISTRO FOTOGRÁFICO



**Nota:** Circón (Zrn) con zonación Incluido dentro de un anfíbol (Amp), el cual se encuentra fuertemente alterado a clorita (Chl), adicionalmente se observa cuarzo (Qz) y plagioclasa (Pl).

Fotos tomadas en objetivo de 10X, izquierda (XPL), derecha (PPL).



**Nota:** Anfíbol (Amp) siendo remplazado por minerales opacos (Opq), alterándose a clorita y con formación de zoisita clinozoisita en los planos de exfoliación, se observa plagioclasa (Pl) alterándose a epidota (Ep), adicionalmente se observa cuarzo (Qz)

Fotos tomadas en objetivo de 4X, izquierda (XPL), derecha (PPL).

**PETROGRAFÍA: Muestra JRA\_49\_E-MD**

<b>Proyecto</b>	<b>Trabajo de grado</b>
<b>Unidad geológica</b>	<b>Plutón El Carmen</b>
<b>Localización</b>	<i>(Distrito minero del Bagre, El Bagre, Antioquia)</i>
<b>Coordenadas</b>	N = 1328455,42 <b>Profundidad= 60m</b> E = 921105,59 <b>Origen de coordenadas: Magna Colombia Bogotá</b>
<b>Analista</b>	<b>Jairo Rincón Alape</b>
<b>Número de puntos de conteo</b>	<b>600</b>
<b>Fecha del análisis</b>	<b>06-10-2021</b>

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

**Características de la roca en campo y/o en muestra de mano:** *Presenta textura holocristalina, fanerítica, equigranular de grano fino, color gris oscuro moteado, índice de color mesocrático, compuesta por plagioclasa y anfíbol casi en iguales proporciones.*



*Se presenta en forma de enclave micro granular, dentro de la tonalita de anfíbol.*

**Clasificación de campo:** *Enclave máfico.*

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

<b>Textura general/grado de cristalinidad</b>	<i>Holocristalina, fanerítica, equigranular, de grano fino, hipidiomórfica.</i>
<b>Otras texturas o texturas especiales</b>	<b>Concertal entre anfíbol y biotita.</b> <b>Concertal entre plagioclasa y anfíbol.</b>
<b>Descripción de la matriz</b>	

**COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (%Vol.):**

<b>MINERALES PRIMARIOS</b>				<b>MINERALES SECUNDARIOS</b>	
<b>Minerales principales</b>	<b>%</b>	<b>Minerales accesorios</b>	<b>%</b>	<b>Minerales de alteración</b>	
Plagioclasa	34,29			Saussurita	2,86
Anfíbol	48,51			Sericita	4,00
Biotita	4,63			Clorita	0,57
				Epidota	1,14

				Clinozoisita /Zoisita	0,57
				<b>Minerales de introducción</b>	
				Opacos	2,86
				Carbonatos	0,57

**Clasificación de la roca:** *Micro diorita de anfíbol y biotita.*

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE MINERALES**

**Plagioclasa:** *Se presenta en forma tabular subhedral con tamaño de grano fino (0,1-0,4mm), incoloro con aspecto turbio, macla simple, polisintética y compleja, ocasionalmente sin macla, levemente alterada a sericita, saussurita, epidota y zoisita/clinozoisita.*

**Anfíbol:** *Se presenta en hábito prismático hexagonal, subhedral a anhedral de grano fino (0,1-0,5mm), pleocroísmo verde a verde amarillento-marrón amarillento, exfoliación en una dirección en cortes longitudinales y en dos direcciones en cortes basales, extinción inclinada (20°), esta alterado a clorita y epidota y adicionalmente se encuentra siendo remplazado por minerales opacos.*

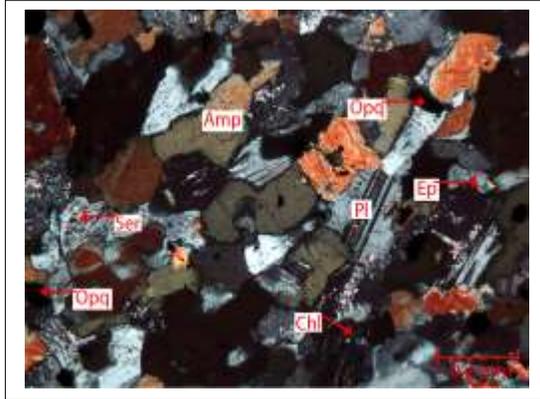
**Biotita:** *Se presenta en hábito laminar, subhedral de tamaño de grano fino (0,1-0,2 mm), pleocroísmo, marrón rojizo-marrón oscuro, exfoliación en una dirección paralelo a la elongación, extinción recta y esta alterado a clorita.*

**Minerales opacos:** *Se presenta diseminados en la roca remplazando anfíboles, de grano fino (<1mm), con formas anhedrales.*

**Epidota:** *Se presenta como mineral de alteración a partir de la plagioclasa y el anfíbol, en agregados granulares junto con la clinozoisita/zoisita (en plagioclasa), de grano fino (<1mm), pleocroísmo muy leve verde muy claro-claro e incoloro, con colores de interferencia de altos ordenes (manto de arlequín).*

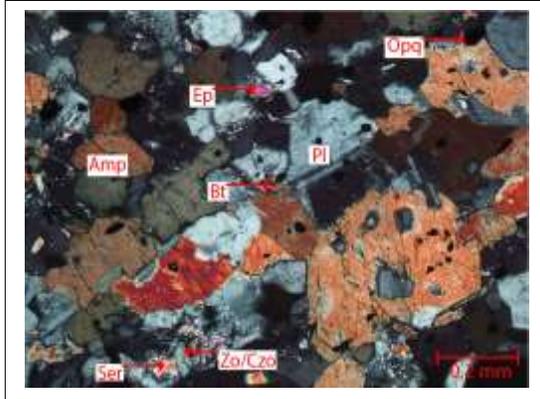
**OBSERVACIONES:** *Se presenta en forma de enclaves dentro de la tonalita.*

## REGISTRO FOTOGRÁFICO



*Nota:* Plagioclasa (Pl) con macla compleja polisintética alterándose a sericita (Ser) y epidota (Ep), se observa también anfíboles (Amp) alterándose a clorita (Chl) y siendo remplazado por minerales opacos (Opq).

Fotos tomadas en objetivo de 10X, izquierda (XPL), derecha (PPL).



*Nota:* Plagioclasa (Pl) alterada a sericita (Ser), epidota (Ep) y zoisita/clinozoisita, se observan también anfíboles (Amp) con crecimiento de biotita (Bt) en los bordes, adicionalmente minerales opacos (Opq) diseminados remplazando principalmente minerales máficos.

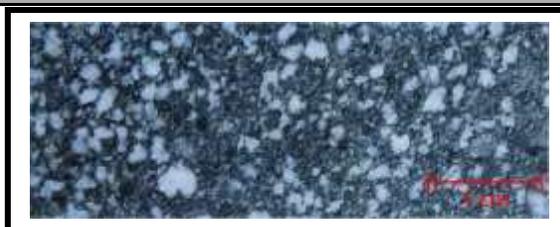
Fotos tomadas en objetivo de 10X, izquierda (XPL), derecha (PPL).

**PETROGRAFÍA: Muestra JRA\_51**

<b>Proyecto</b>	<b>Trabajo de grado</b>
<b>Unidad geológica</b>	<b>Plutón El Carmen</b>
<b>Localización</b>	<i>(Distrito minero del Bagre, El Bagre, Antioquia)</i>
<b>Coordenadas</b>	N = 1327933 <b>Profundidad= 115m</b> E = 919161,92 <b>Origen de coordenadas: Magna Colombia Bogotá</b>
<b>Analista</b>	<b>Jairo Rincón Alape</b>
<b>Número de puntos de conteo</b>	<b>600</b>
<b>Fecha del análisis</b>	<b>19-11-2021</b>

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

**Características de la roca en campo y/o en muestra de mano:** *Presenta textura holocristalina, porfirítica, color gris oscuro moteado, índice de color mesocrático, compuesta por fenocristales de plagioclasa de tamaño medio en una matriz holocristalina, fanerítica de grano fino a medio de anfíbol y plagioclasa casi en iguales proporciones.*



*La alteración es hidrotermal marcada por venillas de cuarzo, carbonatos, piritita y calcopiritita.*

**Clasificación de campo:** *Gabro*

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

<b>Textura general/grado de cristalinidad</b>	<i>Holocristalina, fanerítica, inequigranular, de grano fino a medio, hipidiomórfica.</i>
<b>Otras texturas o texturas especiales</b>	
<b>Descripción de la matriz</b>	

**COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (% Vol.):**

<b>MINERALES PRIMARIOS</b>				<b>MINERALES SECUNDARIOS</b>	
<b>Minerales principales</b>	<b>%</b>	<b>Minerales accesorios</b>	<b>%</b>	<b>Minerales de alteración</b>	
Plagioclasa	13,17	Cuarzo	1,17	Saussurita	22,50
Anfíbol	36,33			Sericita	1,33
				Clorita	14,17
				Epidota	0,67

				Clinozoisita /Zoisita	10,02
				<b>Minerales de introducción</b>	
				Opacos	0,33
				Clinozoisita /Zoisita	0,31

**Clasificación de la roca:** *Gabro anfibólico*

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE MINERALES**

**Plagioclasa:** *Se presenta principalmente alterado a saussurita y clinozoisita/zoisita, en menor medida a sericita y epidota, tamaño de grano fino a medio (0,2-4mm), incoloro con aspecto turbio.*

**Anfíbol:** *Se presenta principalmente en hábito prismático, subhedral de grano fino a medio (0,3-1,5mm), pleocroísmo verde a verde amarillento, exfoliación en una dirección en cortes longitudinales, extinción inclinada (10-20°), los núcleos de los minerales presentan formación de anfíboles secundarios (uralitización) y alterados a clorita.*

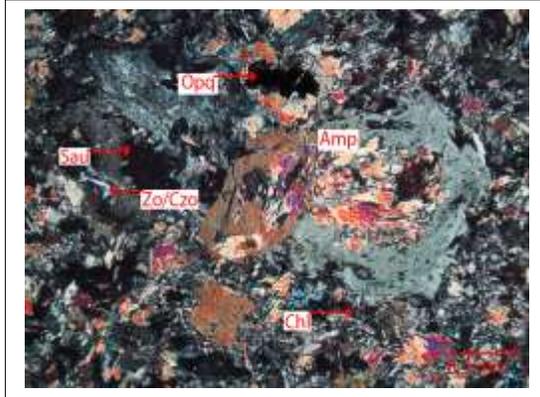
**Clinozoisita/Zoisita:** *Se presenta como mineral de alteración a partir de la plagioclasa (aumenta su proporción cerca de las venillas), en agregados granulares junto con la epidota, de grano muy fino (<1mm), incoloro, con colores de interferencia gris-amarillo de primer orden a azul anómalo, además se presenta como mineral de introducción, en las venillas junto con el cuarzo.*

**Cuarzo:** *Se presenta rellenando espacios entre minerales, en forma anhedral, con tamaño de grano fino (<1mm).*

**Minerales opacos:** *Se presenta diseminados en la roca remplazando anfíboles, de grano fino (<1mm).*

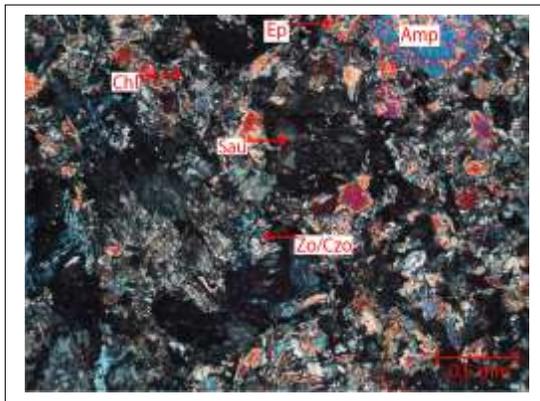
**OBSERVACIONES:** *Roca fuertemente alterada, con procesos de uralitización de anfíboles y saussuritización de las plagioclasas.*

## REGISTRO FOTOGRÁFICO



*Nota:* Anfibol (Amp) uralitizado en los núcleos y con fuerte alteración a clorita (Chl) en los bordes, adicionalmente está siendo remplazado por minerales opacos (Opq), también se observa saussurita (Sau) y zoisita/clinozoisita (Zo/Czo) como producto de alteración de la plagioclasa.

Fotos tomadas en objetivo de 4X, izquierda (XPL), derecha (PPL).



*Nota:* Plagioclasa fuertemente alterada a saussurita (Sau) y zoisita/clinozoisita (Zo/Czo), también se observa anfíboles (Amp) uralitizados y alterados a clorita (Chl).

Fotos tomadas en objetivo de 4X, izquierda (XPL), derecha (PPL).