

**ESTUDIO PETROGRÁFICO, GEOQUÍMICO Y GEOCRONOLÓGICO DE LAS
ROCAS RIOLÍTICAS AFLORANTES EN INMEDIACIONES AL MUNICIPIO
ONZAGA (DPTO DE SANTANDER, CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA)**

**ANDREA NATHALIA GALVIS NIÑO
ALFREDO PINZON BRICEÑO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
BUCARAMANGA**

2016

**ESTUDIO PETROGRÁFICO, GEOQUÍMICO Y GEOCRONOLÓGICO DE LAS
ROCAS RIOLÍTICAS AFLORANTES EN INMEDIACIONES AL MUNICIPIO DE
ONZAGA (DPTO DE SANTANDER, CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA)**

**ANDREA NATHALIA GALVIS NIÑO
ALFREDO PINZON BRICEÑO**

Trabajo de grado para optar al título de GEÓLOGO

Director:

**Luis Carlos Mantilla Figueroa
Ph. D. E Geología**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

A diosito por guiarme por el buen camino.

A mis padres por su apoyo incondicional, por su amor y cariño quienes con su esfuerzo y dedicación hicieron de mi lo que soy hoy en día.

A mi abuela Amanda y mi tía Viviana por su paciencia y compañía, por brindarme toda su buena energía cuando más lo necesitaba.

A mi hermana Daniela que siempre estará conmigo en las buenas y en las malas, dándome buenos consejos y apoyándome en todo momento.

A Alfredo Pinzón Briceño por su comprensión, amor e incondicionalidad, por brindarme tantas alegrías y tantos momentos especiales.

Y a todos mis amigos en especial a Keidy y Juliana por apoyarme y brindarme su amistad.

ANDREA NATHALIA GALVIS NIÑO

DEDICATORIA

Este logro va dirigido a mis padres que con todo su esfuerzo han sacado a sus tres hijos adelante, siempre serán mi motor, mi inspiración y el motivo por el cual mejorar y superarme cada día.

Mi hermanito Angel al cual amo con todo mi ser, y siempre me esforzare por darle un buen ejemplo y apoyarlo.

Mi hermana mayor que yo sé que siempre estará ahí no importa las circunstancias.

A toda mi familia porque para mí son lo más importante en especial a los que de cierta manera me han apoyado en mi vida para poder ser lo que soy hoy en día.

A Andrea Nathalia Galvis Niño por ser mi compañera de vida, quien ha aportado incontables cosas positivas a ella... mi compañera de aventuras,, mi mejor compañera al momento de compartir lo que juntos construimos y amamos de la geología y de la vida.

Y todos mis amigos quienes me apoyaron y me brindaron su amistad y compartieron grandes momentos que creo nos marcaron y recordaremos siempre.

Alfredo Pinzón Briceño

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Luis Carlos Mantilla Figueroa por sus enseñanzas y asesoría para afianzar nuestro conocimiento y vocación a la investigación en la geología, al grupo de investigación GIGBA por su aporte y respaldo en este proyecto de investigación.

A la escuela de Geología y todo su plantel de docentes por todas las enseñanzas dadas a lo largo de este tiempo, las cuales son nuestras primeras bases para nuestra vida profesional.

A los estudiantes de campo II de la escuela de geología de la Universidad Industrial de Santander por todo su material geológico recopilado y facilitado para la elaboración de este proyecto.

Y a todas las personas que de una o otra manera aportaron para que este proyecto fuera posible.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	20
1. OBJETIVOS.....	21
1.1 OBJETIVO GENERAL	21
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	21
2. METODOLOGIA DE ESTUDIO	22
2.1. FASE DE CAMPO	22
2.2. FASE DE LABORATORIO.....	22
2.2.1. Análisis macroscópico y microscópico.....	22
2.2.3. Geoquímica de roca total.....	23
2.2.4. Geocronología U-Pb.	24
3. GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO	25
3.1 LOCALIZACION.....	25
3.2 VIAS DE ACCESO.....	26
3.3 FISIOGRAFIA Y CLIMA	27
4 ANTECEDENTES.....	29
4.1 MARCO GEOLOGICO REGIONAL Y LOCAL	29
4.2 ESTRATIGRAFIA	32
4.3 ESTRUCTURAL	34
5. RESULTADOS.....	41
5.1 RASGOS GEOLÓGICOS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO	41
5.2. MINERALOGIA Y PETROGRAFIA.....	43
5.2.1 Evento ígneo.....	45

5.2.2. Evento de alteración hidrotermal	51
5.2.3. Evento sericita-cuarzo (Ser+Qtz).....	53
5.2.4. Evento clorita- cuarzo (Chl+Qtz).....	55
5.4.5. Evento supérgeno.....	56
5.3. GEOQUIMICA DE ROCA TOTAL.....	62
5.4. GEOCRONOLOGIA.....	69
6. CONCLUSIONES	72
7. RECOMENDACIONES.....	74
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	75
BIBLIOGRAFICAS	80
ANEXOS.....	85

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema de localización del área de estudio.....	26
Figura 2. Vías de acceso al municipio de Onzaga.....	27
Figura 3. Marco tectónico del noroeste de sur américa. Nab: bloque norte andino; Ncz: placa nazca; Coc: placa cocuy; Nam: placa de norte américa; Afr: placa africana; GS: escudo Guayana; Ec, Col, Ve: límites geográficos de Ecuador, Colombia y Venezuela, respectivamente.....	30
Figura 4. Mapa de los terrenos colombianos de los andes.....	31
Figura 5. Esquema tectónico del Departamento de Santander en el cual se ha ubicado el área de estudio.....	35
Figura 6. Esquema estructural del Departamento de Santander en el cual se ha ubicado el área de estudio.....	36
Figura 7. Figura donde se muestra que el área de estudio está siendo afectada por las Fallas Boyacá y Falla de Chaguaca al sur de la Falla de Bucaramanga en una estructura dúplex. (Rojo: zona de interés; Or: Riolitas de Onzaga; Jpi: Rocas intermedias del Jurásico; Ofsp: Unidad Filitas de San Pedro).	40
Figura 8- Mapa (esquema) geológico en cercanías del Municipio de Onzaga en la zona de estudio. (Oro: riolitas de Onzaga; Dfm: formación floresta metamorfoseada; Krs: rocas sedimentarias del cretácico; OS1og: Ortoneis granodiorítico; Ofsp: unidad filitas de san pedro; Ess: esquistos del silgara s.s. Jcm: Cuarzomonzonita).	41
Figura 9. Esquema de las Fallas Boyacá donde se muestra su tipo de falla y movimiento en la zona de interés.	42
Figura 10. Aspecto mineralógico de las rocas riolitas aflorantes en inmediaciones al Municipio de Onzaga, el cual se observa minerales	43
Figura 11. Protomilonita con evidencia de orientación preferente de sus fases minerales (Cuarzo y Plagioclasa) producto de eventos dinamo-térmicos.....	44

Figura 12. Roca riolita con presencia de microfracturas rellenas de óxidos e hidróxidos de hierro (Hematita y Magnetita).	44
Figura 13. Textura porfirítica en matriz afanítica. Imagen tomada en nicoles cruzados y paralelos con objetivo de 5x.	46
Figura 14- Fenocristal de ortoclasa con textura peritítica y con inclusiones de biotita. Imagen tomada en nicoles cruzados y paralelos con objetivo de 5x.	48
Figura 15. Fenocristal de ortoclasa y microclina. Imagen tomada en nicoles cruzados y paralelos con objetivo 5x.	48
Figura 16. Fenocristal de sanidina alterado a sericita y fenocristal de cuarzo con extinción ondulante, también se observa biotita acompañado de minerales oxidantes como la hematita. Imagen tomada en nicoles cruzados y paralelos con objetivo 5x.	49
Figura 17. Fenocristal de albita con inclusiones de biotita alterado a sericita. Imagen tomada en nicoles cruzados y paralelos con objetivo 5x.	49
Figura 18. Cuarzo bipiramidal con textura de embahiamiento. Imágenes tomada en nicoles cruzados (a) y paralelos (b) con objetivo 5x.	50
Figura 19. Fenocristal de ortoclasa con textura peritítica. Imagen tomada en nicoles cruzados y paralelos con objetivo 5x.	51
Figura 20. Sobrecrecimiento de Qtz y Ort en cristales de Feldespatos K. Imagen tomada en nicoles cruzados y paralelos con objetivo 10x.	51
Figura 21. Biotita coorientada alterando a clorita presente en la matriz. Imagen tomada en nicoles cruzados y paralelos con objetivo 10x.	52
Figura 22. Textura de tipo silicificación. Imagen tomada en nicoles cruzados y paralelos con objetivo 10x.	53
Figura 23. Alteración fílica o sericitica con textura tipo tamiz. Imágenes tomadas en nicoles cruzados y paralelos con objetivo 5x.	54
Figura 24. Alteración sericitica asociada a una milonitización. Imágenes tomadas en nicles cruzados y paralelos con objetivo 10x.	54

Figura 25. Crecimiento sintaxial de cuarzo dentro de una fractura acompañada de biotitas alteradas a clorita (textura crustiforme). Imágenes tomadas en nicoles cruzados y paralelos con objetivo 5x.	55
Figura 26. Mineral hematita (a) y magnetita (b) el cual se encuentra principalmente rellanando microfracturas. Imagen en nicoles cruzados y paralelos con objetivo 5x.	56
Figura 27. Fenocristal de cuarzo con textura granofirica. Imagen tomada en nicoles cruzados (a) y paralelos (b) con objetivo de 5x.	57
Figura 28. Fenocristales de ortoclasa altamente fracturados. Las fracturas están rellenas por minerales de oxidación. Imagen tomada en nicoles cruzados (a) y paralelos (b) con objetivo de 5x.	59
Figura 29. Fenocristales de cuarzo con extinción ondulante y textura de embahiamiento. Imágenes tomadas en nicoles cruzados (a) y paralelos (b) con objetivo de 5x.	60
Figura 30. Fenocristales de albita con maclado mecánico. Imágenes tomadas en nicoles cruzados (a-c) y paralelos (b-d) con objetivo 5x.	60
Figura 31. Disolución por presión. Imágenes tomadas en nicoles cruzados y paralelos con objetivo 5x.	61
Figura 32. Fenocristal de cuarzo con evidencias de recuperación en donde se han formado subgranos.	62
Figura 33. Test de alteración propuesto según Davies & Whitehead (2006).	63
Figura 34. Diagrama Co vs Th, para hallar la serie magmática.	65
Figura 35. Diagrama de discriminación de contenido de aluminio en la roca propuesto por Shand (1927) en Rollinson (1996).	66
Figura 36. Diagrama multielemental de contenido de elementos traza normalizado a los valores de manto primitivo según Sun and McDonough (1989).	67
Figura 37. Diagrama de tierras raras normalizado a un condrito de referencia estándar propuesta por Nakamura (1974).	69

Figura 38. Edades U-Pb obtenidas a partir del análisis de circones de la muestra ONZ-4-39-1, mediante la técnica LA-ICP-MS (445.1 ± 5.3 Ma). A. Diagrama de distribución de las edades obtenidas (error 2σ); B. Distribución de los rangos de edades obtenidas a partir del análisis de las diferentes zonas al interior de los circones, en la cual se muestra la dominancia de las edades en torno a 445 Ma; C. Diagrama concordia U-Pb a partir de circones, donde se muestran las diferentes edades heredadas y la edad de cristalización de la Riolita.....71

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Tabla de composición mineral de las Riolitas de Onzaga.....	45
Tabla 2 Datos utilizados para realizar el test de alteración propuesto por Davies and Whitehead (2006).	63
Tabla 3 Tabla de geoquímica total.....	64

LISTA DE ANEXOS.

	Pág.
ANEXO A. Tabla de localización de las muestras de estudio y localización espacial de las muestras estudiadas. Cada muestra tiene su número asignado además del símbolo asignado por su Id.....	86
ANEXO B. Tabla de datos geocronológicos.	87

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO PETROGRÁFICO, GEOQUÍMICO Y GEOCRONOLÓGICO DE LAS ROCAS RIOLÍTICAS AFLORANTES EN INMEDIACIONES AL MUNICIPIO DE ONZAGA (DPTO DE SANTANDER, CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA)*

AUTORES: Andrea Nathalia Galvis Niño y Alfredo Pinzón Briceño.**

PALABRAS CLAVE: Riolita, alteraciones hidrotermales, geoquímica y dataciones.

En inmediaciones al municipio de Onzaga (Departamento de Santander), en donde convergen las fallas de Boyacá (de tipo cabalgamiento) y Chaguacá (falla de desgarre sinestral), afloran rocas ígneas, mayoritariamente de composición riolítica. El efecto de la fallas sobre la rocas riolíticas, generan planos de anisotropía muy penetrativos (planos de cizallamiento), los cuales le confieren a las rocas un aspecto propio de una foliación tectónica derivada de procesos dinamo-térmicos. Alteraciones hidrotermales de tipo potásica (representada principalmente en sobre-crecimientos de feldespatos potásico hidrotermal sobre feldespatos ígneos), sódica (desarrollo albita secundaria), clorítica y sericítica, se reconocen igualmente en éstas rocas. Las transformaciones físicas (desarrollo de planos tectónicos de anisotropía) y mineralógicas y químicas (acompañadas de neoformación mineral, debido a procesos de interacción fluido-roca), han obliterado en gran medida la mineralogía y la textura ígnea original de éstas rocas ígneas riolíticas.

Dataciones U-Pb en circones ígneos separados de las rocas riolíticas (datos suministrados por el grupo de investigación en Geología Básica y Aplicada de la UIS-GIGBA-), permiten determinar que éstas rocas se formaron a partir de magmas félsicos, hace $445,1 \pm 5,3$ Ma (Ordovícico Tardío). Los datos de geoquímica de roca total, permiten sugerir que estas litologías ígneas derivan de magmas formados en ambientes de subducción (magmas calco-alcalinios altos en potasio).

La relación entre los procesos tectónicos (asociados a las fallas Boyacá y Chaguacá) y las alteraciones hidrotermales que afectaron éstas rocas (principalmente aquellas de tipo sódica y fílica), apuntan a que éstas fallas han servido de canales para la circulación de soluciones hidrotermales (con una génesis aún desconocida).

* Trabajo de grado, modalidad investigación

** Facultad de ingenierías físico-química. Escuela de Geología. Director: Ph. D Luis C. Mantilla F.

ABSTRACT

TITLE: PETROGRAPHIC, GEOCHEMISTRY AND GEOCHRONOLOGICAL STUDY IN THE RHYOLITES ROCKS OUTCROPPING IN THE VICINITY OF THE ONZAGA TOWN, DEPARTMENT OF SANTANDER EASTERN CORDILLERA, COLOMBIA.

AUTHORS: Andrea Nathalia Galvis Niño and Alfredo Pinzón Briceño **

KEYWORDS: Rhyolite, hydrothermal alterations, geochemistry and datings.

In the vicinity of the Onzaga town (Santander Department), in where are converging the faults of Boyaca (thrust) and Chaguaca (sinistral tear), outcropping igneous rock, mainly of rhyolite composition. The impact of the faults over the rhyolites rocks, produce flats anisotropy very penetrating (shear planes), which confer upon the rocks an own aspect of a tectonic foliation derived by dynamothermic processes. Hydrothermal alterations of potassic kind (represented mainly in overgrowth of hydrothermal k-feldspar over igneous k-feldspar), sodic (development of secondary albite), chloritic and sericitic are also recognized in these rocks. The physic transformations (development of tectonic planes of anisotropy) and mineralogical and chemical (accompanied of neo-formation mineral owing to processes of fluid-rock interaction), have obliterated in high size the mineralogic and igneous texture of the host rock in these rhyolites rocks.

Datings U-Pb in igneous zircons separated of the rhyolites rocks (Data provide by the research group in Geología básica y aplicada de la UIS GIBGA) Allow establish that these rocks were forming since felsic magmas, $445,1 \pm 5,3$ Ma ago (Late Ordovician). The geochemistry data of whole rock, let suggest that theses igneous lithology were derived from magmas formed in subduction setting (Calc-alkaline magmas high in K).

The relationship between the tectonic processes (associated with the Boyacá and Chaguacá faults) and the hydrothermal alterations that affected these rocks (mainly those of the sodium and phyllic type), indicate that these faults have served as channels for the circulation of hydrothermal solutions (An unknown genesis).

* Graduation Project, Research Modality.

** Faculty of Physical-Chemical Engineering. School of Geology. Director: Ph. D Luis C. Mantilla F

INTRODUCCION

La historia magmática y metamórfica del Macizo de Santander, ha sido objeto de varios estudios, especialmente desde la década de los años 70s (Ward *et al.*, 1973; Calvijo *et al.*, 1994; Ríos *et al.*, 2000; Mantilla *et al.*, 2013; Cardona *et al.*, 2016). A pesar de estos esfuerzos, aún persisten algunas dudas sobre la edad a la cual culminaron los eventos de metamorfismo regional y el comienzo de los eventos magmáticos sin afectación por metamorfismo regional. Por un lado, Ward *et al.*, (1973); Mantilla *et al.*, (2012); Van der Lilej *et al.*, (2015), entre otros, apuntan a que los eventos de metamorfismo regional culminan durante el Ordovícico, mientras que Cardona *et al.*, (2016) sugieren la existencia, en el Macizo de Santander, de rocas de edad Pérmica, afectadas por metamorfismo Regional.

Con el propósito de contribuir al debate anteriormente referido, el presente estudio (trabajo de pregrado modalidad investigación) se desarrolló en inmediaciones al municipio de Onzaga (Figura 1), en donde previamente habían sido reconocidas (en el marco de los trabajos de campo realizados por la escuela de geología de la UIS con estudiantes de la asignatura Campo II) rocas de protolito ígneo (tipo riolita) y con apariencia (a escala de afloramiento y muestra de mano) de haber sido afectadas por metamorfismo. Finalmente, con el propósito de establecer de manera muy preliminar, las implicaciones metalogénicas de los eventos singenéticos (magmático) y epigenéticos (alteraciones hidrotermales tardías) que se registran en éstas litologías objeto de estudio, se documentaron las diferentes alteraciones hidrotermales presentes en éstas rocas.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Contribuir al conocimiento de las rocas ríoliticas aflorantes en inmediaciones al municipio de Onzaga (Dpto de Santander, Cordillera Oriental, Colombia) mediante análisis petrográfico, geoquímico y geocronológico.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar una compilación y análisis de la información geológica disponible sobre el área de estudio, para fines de contextualizar desde el punto de vista geológico el sector objeto del presente trabajo modalidad investigación.
- Elaborar un esquema geológico del área de estudio, apoyados en la información geológica existente, y establecer relaciones entre el cuerpo ríolitico con las litológicas adyacentes. Esto, para fines de establecer una temporalidad relativa entre las diferentes litologías aflorantes en el área.
- Estudiar las características mineralógico-petrográficas de las rocas objeto de estudio, mediante análisis de microscopía óptica, para fines de su clasificación modal e identificación de minerales neo-formados durante eventos epigenéticos (metamórficos/hidrotermales hipógenos/supérgenos, entre otros).
- Analizar la composición lito-geoquímica de las rocas objeto de estudio, para fines de su clasificación química, y para determinar el contexto tectónico del emplazamiento de los magmas silicatos relacionados con su formación.
- Realizar análisis U-Pb en circones, para fines de determinar la edad de cristalización de las litologías ígneas objeto de estudio.

2. METODOLOGIA DE ESTUDIO

Con el fin de cumplir con los objetivos propuestos anteriormente se estructuró una metodología de trabajo basada en cuatro fases, las cuales son: a) Recopilación de información en el área de estudio, a) Fase de Investigación; b) Fase de Campo; c) Fase de Laboratorio; d) Interpretación de resultados y elaboración del informe del informe final, Fase de Oficina.

Debido a la importancia de la obtención de nuevos datos a continuación se describe la fase de campo y laboratorio.

2.1. FASE DE CAMPO

En esta fase se tomó como referencia la toma de datos y muestreo de campo realizados por la escuela de geología de la UIS por estudiantes de la asignatura Campo II en la zona de Onzaga, en el cual hicieron un reconocimiento de campo de las rocas ígneas de interés para este estudio.

2.2. FASE DE LABORATORIO

En esta fase se desarrolla una de las partes más importantes de este estudio, ya que muestra los diferentes datos que apoyan la interpretación de los resultados de esta investigación. En esta fase se realizaron los siguientes análisis:

2.2.1. Análisis macroscópico y microscópico. Estos análisis se realizaron para identificar y caracterizar las diferentes fases minerales y los rasgos presentes en

muestras de mano y en secciones delgadas, el análisis macroscópico se realizó con la ayuda de la lupa binocular marca NIKON N1-150 modelo C-PS, disponible en el laboratorio de la Escuela de Geología de la UIS; y en el análisis microscópico de secciones delgadas se utilizó un microscopio marca Nikon eclipse E200 de luz transmitida, con una cámara marca Nikon, localizado en el laboratorio de microscopía de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander.

2.2.3. Geoquímica de roca total. Los análisis de lito geoquímica en roca total, se realizaron en los laboratorios ALS Colombia Ltda (ALS Geochemistry), el cual se utilizó el método PREP-31 para la preparación de muestras y el método CCP-PKG03 para el análisis de elementos mayores, menores y trazas con el objetivo de clasificar las rocas de acuerdo a parámetros ya establecidos. A continuación se describe la preparación para este análisis:

Una muestra de roca (0,100 g) previamente preparada y pulverizada es añadida a una solución de litio metaborato / tetraborato de litio (1,8 g) la cual, es mezclada y fundida en un horno a 1025 ° C. La masa fundida resultante se enfría y se disuelve en una mezcla de ácidos que contiene nítrico, clorhídrico y fluorhídrico. Esta solución es entonces analizada por ICP-MS (Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente)

Las especificaciones a más detalle de estos procedimientos analíticos empleados, se documentan en la página web del mencionado laboratorio; ALSGLOBAL. Especificaciones de equipo de análisis litogeoquímica [en línea] [fecha de consulta: 7 de Julio 2016]. Disponible en: <<http://www.alsglobal.com/>>.

Los datos geoquímicos fueron procesados utilizando el software IgPet 2007 (RockWare®).

2.2.4. Geocronología U-Pb. Las dataciones U-Pb en circones, utilizando la técnica LA-ICP-MS, se realizaron en el laboratorio ZirChron LLC de la Universidad Estatal de Washington (WS, USA). Los detalles de éste procedimiento analítico, pueden ser consultados en Mantilla *et al.* (2013).

3. GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1 LOCALIZACION

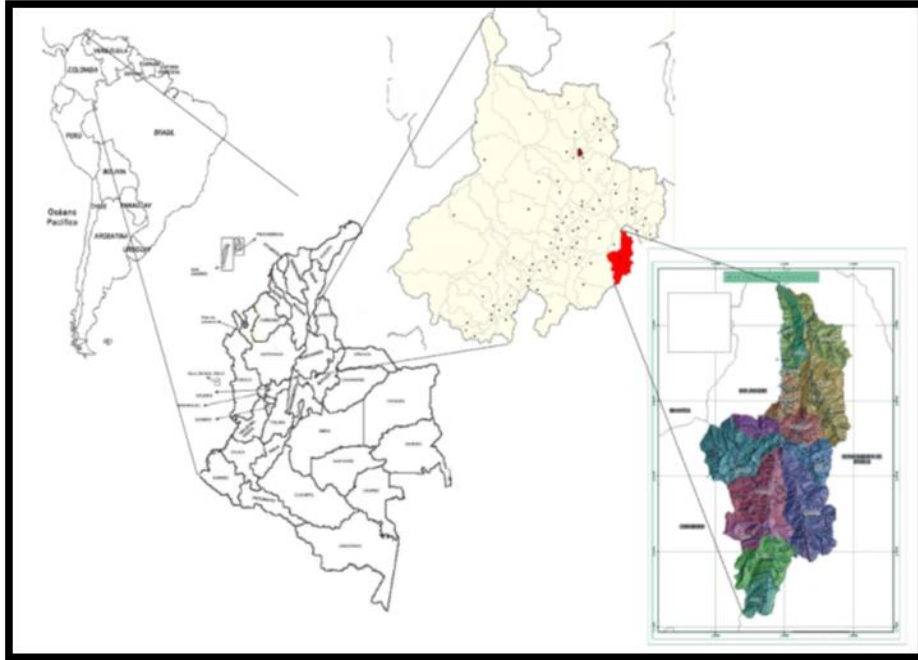
El área de estudio se encuentra localizada en el Departamento de Santander, Municipio de Onzaga e inmediaciones. El área de trabajo abarca aproximadamente unos 30 km² y se encuentra comprendido en la plancha 152-I-B a escala 1:25.000 del IGAC con las coordenadas geográficas, empezando de la parte superior izquierda en sentido de las manecillas del reloj:

(X1:1.135.000, Y1:1.196.000), (X2:1.140.000, Y2:1.196.000)

(X: 1.135.000, Y1:1.190.000), (X2:1.140.000, Y2:1.190.000)

La zona se encuentra localizado geográficamente a 06° 20' 50" de Latitud Norte y 72° 49' 14" de longitud Oeste del Meridiano de Greenwich; se localiza en la zona sur oriente del Departamento de Santander, sobre la Cordillera Oriental de los Andes y en la cuenca media del Río Chicamocha. Este Municipio cuenta con una superficie de 486.76 Km² limitada por el norte con el Municipio de San Joaquín, por el este y el sur con el departamento de Boyacá con los municipios de Soatá, Covarachía, Tipacoque, Soatá, y Tutasá y por el Oeste con Coromoro (Figura 1).

Figura 1. Esquema de localización del área de estudio.



Fuente: Tomado y modificado de google earth (www.googleearth.com).

3.2 VIAS DE ACCESO

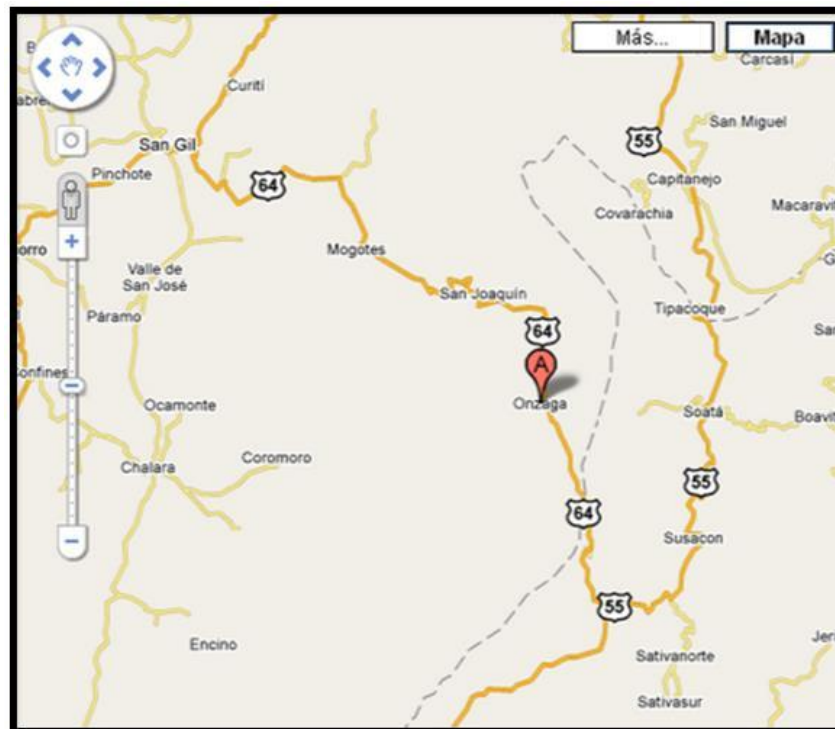
El Municipio de Onzaga está situado al sur-oriente del Departamento de Santander, dista de Bucaramanga, ciudad capital, aproximadamente a 170 Km, por carretera pavimentada hasta San Gil (97 Km) al sitio denominado Guasca. De San Gil a Onzaga (82 Km), pasando por Mogotes y San Joaquín, de este trayecto, actualmente están pavimentados 20 Km, quedando 62 Km de carretera destapada en un tiempo total de recorrido desde Bucaramanga, de 5 a 6 horas aproximadamente.

Otras vías alternas es por la carretera Troncal del Norte que viene de Bogotá pasando por – Duitama – Susacón – Málaga – Cúcuta (Figura 5). En la zona rural de Susacón existe un punto denominado escuela Santa Rosita, la cual pasa por

las veredas Ganivita y Chaguaca a una distancia de 32 Km del casco Urbano de Onzaga y 4 Km hasta Susacón.

Existe otra carretera alterna de carácter municipal que saliendo de Onzaga a Susa, recorre 36 Km en Santander y pasa a un sitio denominado la Capilla en Boyacá en la Misma troncal del Norte (Figura 2).

Figura 2. Vías de acceso al municipio de Onzaga.



Fuente: Tomado de Google Maps. <http://maps.google.es/>

3.3 FISIOGRAFIA Y CLIMA

El área de estudio se caracteriza por tener una topografía variable, con alturas que varían desde 900 hasta 3.600 msnm la cual presenta pendientes fuertes desde

inclinadas hasta escarpadas, esto es debido a la tectónica que provocaron fuertes plegamientos y fallas, que junto con la acción de la erosión y el socavamiento de los ríos y quebradas, han contribuido a las geo formas de este relieve.

El Municipio de Onzaga presenta diversos climas en las diferentes regiones de su territorio ya que se puede encontrar pisos térmicos que van desde cálido con alturas desde los 900 msnm y temperaturas promedio superiores a 24° C, hasta el páramo alto con alturas alrededor de los 3.600 msnm y temperaturas inferiores a 12°. Su pluviosidad varía desde 50 mm/año en el norte, a orillas del río Chicamocha y hasta 300 mm/año en la zona sur o páramo de Guantiva, para un promedio de precipitación multianual de 1.216 mm/año. (ALCANDIA DE ONZAGA. *Página web* oficial, [en línea], documento electrónico [Fecha de consulta: 23 de agosto de 2015], Disponible en: <http://www.onzaga-santander.gov.co/Nuestros_planes.shtml?apc=l-xx--1363929&x=1363749>.)

4 ANTECEDENTES

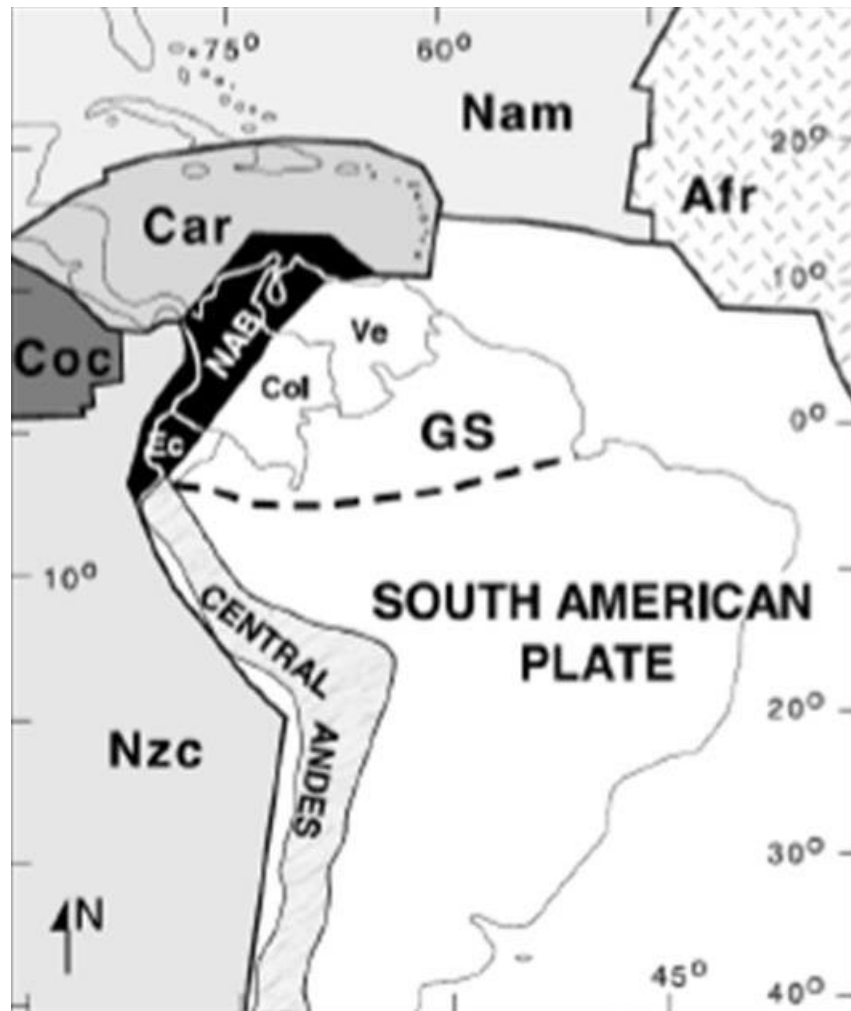
4.1 MARCO GEOLOGICO REGIONAL Y LOCAL

Con el propósito de contextualizar el área de estudio, a continuación se presentarán algunos rasgos de la geología del MS desde una escala más regional a una escala más local, algunos aspectos estratigráficos y estructurales de la zona apoyados en información geológica arrojada en estudios anteriores.

El sistema orogénico de los Andes del Norte se encuentra en las parte más septentrional de la Cordillera de los Andes y es conformado por los Andes Venezolanos (Andes de Mérida), los Andes Colombianos y Ecuatorianos, el cual se extiende por más de 900 km a lo largo del Oeste Suramericano (Gansser *et al.*, 1977; Alemán and Ramos, 2000 como se citó en Mantilla *et al.*, 2012).

Este sistema Nor-Andino está compuesto por distintas cadenas montañosas separadas por valles y depresiones intramontañosas (Mégard, 1987; Meijer and Wortel, 1992; Stefanick and Jurdy, 1992; Coblentz and Richardson, 1996 como se citó en Taboada *et al.*,1998) que difieren sustancialmente con los Andes Centrales y del Sur teniendo en cuenta la edad, el basamento, la evolución tectónica y el tipo de subducción pues para los AN es oblicua entre la placa Caribe (Corteza oceánica) y la placa Suramericana (Corteza Continental), Cediél *et al.* (2003). (Figura 3).

Figura 3. Marco tectónico del noroeste de sur américa. Nab: bloque norte andino; Ncz: placa nazca; Coc: placa cocuy; Nam: placa de norte américa; Afr: placa africana; GS: escudo Guayana; Ec, Col, Ve: límites geográficos de Ecuador, Colombia y Venezuela, respectivamente.

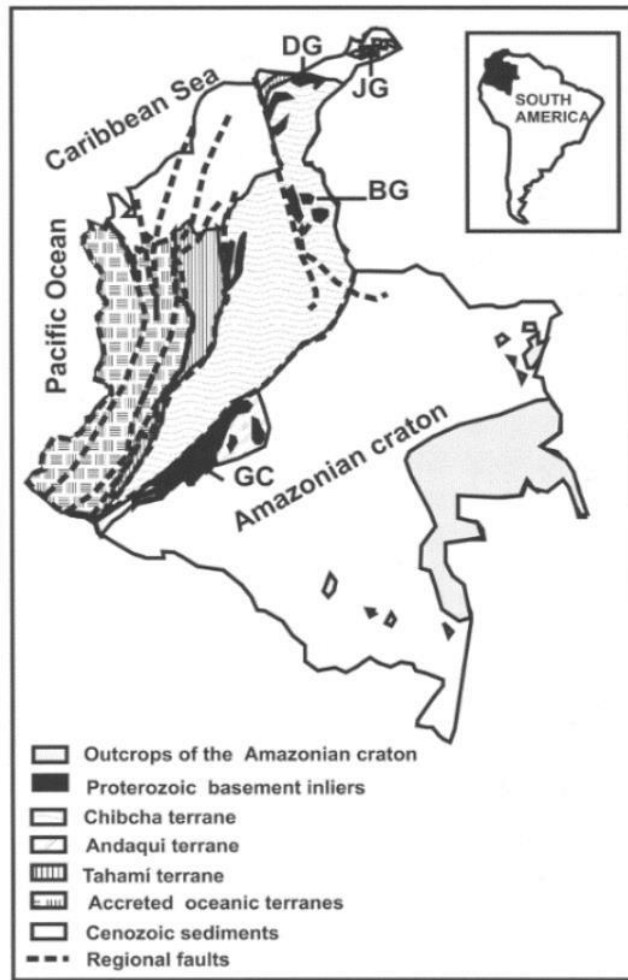


Fuente: Cediél *et al.* (2003).

La zona de estudio se encuentra localizada en el Macizo de Santander, y la cual forma el margen suro-este de la sub-placa Maracaibo según Cediél *et al.*, (2003), o terreno chibcha (Figura 4) en el sentido de Restrepo *et al.*, (2011), esta sub-placa corresponde al terreno triangulas comprendido por la Falla Bucaramanga-

Santa Marta al Oeste, Falla Boconó al Este y la Falla Oca al Norte, Cediél *et al.*, (2003).

Figura 4. Mapa de los terrenos colombianos de los andes.



Fuente: Tomado de Toussaint, (1993). Modificado por Cordani *et al.*, (2005).

Los eventos tectonomagmáticos más importantes para la formación del MS y relevantes para este estudio son: (1) la Orogenia Grenvilliana, alto grado de metamorfismo y migmatización entre ~1240 y 957 Ma; (2) magmatismo calcoalcalino en el Ordovícico temprano, que fue sincrónico con la Orogenia

Caparonensis-famatiniana (~ 477 Ma); (3) magmatismo calco-alkalino post-colisional de mediados a finales del Ordovícico (~466 -436 Ma).

4.2 ESTRATIGRAFIA

En el MS se reportan rocas metamórficas de origen sedimentario e ígneo con edades que varían entre el Proterozoico y Paleozoico que afloran al Oriente y Nororiente del territorio Santandereano, las cuales constituyen las rocas más antiguas y de más alto grado de metamorfismo. Estas rocas conforman el basamento cristalino del Macizo de Santander (Royero y Clavijo, 2001) y se han agrupado en tres unidades metamórficas: Gneis de Bucaramanga, de edad Precámbrico relacionada con la Orogenia Greenvilliana que alcanzó condiciones metamórficas de Facies Anfibolitas (Restrepo-Pace *et al.*, 1997; Cordani *et al.*, 2005). Esquistos del Silgará de edad Neo-Proterozoico (Toniano) en cuanto a la depositación del protolito pero de edad Ordovícico según su metamorfismo, esta unidad ha sido estudiada recientemente por Mantilla *et al.*, 2016 el cual propone una escisión de la Formación Silgara en tres unidades: Esquistos del Silgara (s.s), Esquistos del Chicamocha y Filitas de San Pedro debido, a diferencias litológicas, edades U-Pb en circones detríticos y edades de metamorfismo encontradas en las fajas Matanza-Cachiri y Piedecuesta-Aratoca, esta unidad alcanzo condiciones de metamorfismo de facies Esquistos verdes a facies anfibolita baja.

Por último, la unidad Ortogneis corta a los esquistos Silgara y tiene una composición granítica a tonalita y diorita que corresponde a rocas de medio y alto grado de metamorfismo de edad Devónico inferior a Ordovícico (Ward *et al.*, 1973; Restrepo-Pace, 1995; Royero y Clavijo, 2001). Estas dos últimas unidades se relacionan con la Orogenia Famatiniana localmente denominada Quetame-Caparonensis (Cordani *et al.*, 2005; Restrepo-Pace and Cediél, 2010; Mantilla *et al.*, 2013; Van Der Lilej, 2013). Con este último evento se relacionan igualmente

unas litologías de bajo a muy bajo grado de metamorfismo (Cuarcitas, metareniscas, metaconglomerados, metalimolitas calcáreas y filitas principalmente), agrupadas dentro de las denominadas Metasedimentitas de Guaca y La Virgen (Royero y Clavijo, 2001; Clavijo *et al.*, 2008).

Las rocas metamórficas antes mencionadas se encuentran intruidas por varios cuerpos de naturaleza ígnea de composición acida a intermedia (principalmente granitoides y gabros), que presentan edades que varían entre el Paleozoico temprano al Paleozoico tardío (Ulloa y Rodríguez, 1982; Boinet *et al.*, 1985; Ujueta, 1991; Royero y Vargas, 1999; Royero y Clavijo, 2001; Restrepo-Pace and Cediél, 2010 como se citó en Mantilla *et al.*, 2016).

El primer estudio que se realizó en las riolitas de Onzaga fue realizado por Ward *et al.*, (1973) quien menciona que este cuerpo ígneo atraviesa las rocas intrusivas del batolito de Mogotes. Cruz y Restrepo, 1973; Vargas *et al.* 1981, manifiestan que estas riolitas afloran en los alrededores de Onzaga y el páramo de Canutos. Su límite occidental lo constituyen el intrusivo granítico del stock de Canutos y los Metasedimentos de las Formación Silgara en la cual, se muestran como un contacto claramente intrusivo en forma de discos y silos. Al oriente se halla en contacto fallado con sedimentos del Cretácico y del Devónico, como lo son la Formación la Luna y la Formación Capacho. Al sur esta roca se extiende hacia el Páramo de Canutos y se presentan como silos dentro de sedimentos arcósicos del miembro Tíbet de edad devónica. Litológicamente, algunos autores como Pulido, 1985; Vargas, 1984; Royero y Clavijo, 2001 describen estas rocas volcánicas como rocas de color gris, gris claro, gris verdoso y rosado pálido de texturas afaníticas, porfiríticas y esporádicamente esferulíticas compuestas de plagioclasas, cuarzo, ortoclasa, máficos y escasos minerales accesorios, Los minerales de alteración más frecuentes son la clorita y calcita. Otras rocas muestran claramente una textura de flujo lo cual implica su origen extrusivo.

Petrográficamente las riolitas parecen ser los correspondientes efusivos de los cuerpos graníticos de Mogotes y Santa Rosita. Las mismas variaciones de composición de granito a cuarzomonzonita y granodiorita presentes en las rocas intrusivas parecen reflejarse en los extrusivos que muestran variaciones de riolita a delenita y dacita. Por tanto estos extrusivos podrían considerarse como facies magmático-tardías del principal evento plutónico de edad Jura- Triásica del Macizo de Santander (Vargas, 1981).

4.3 ESTRUCTURAL

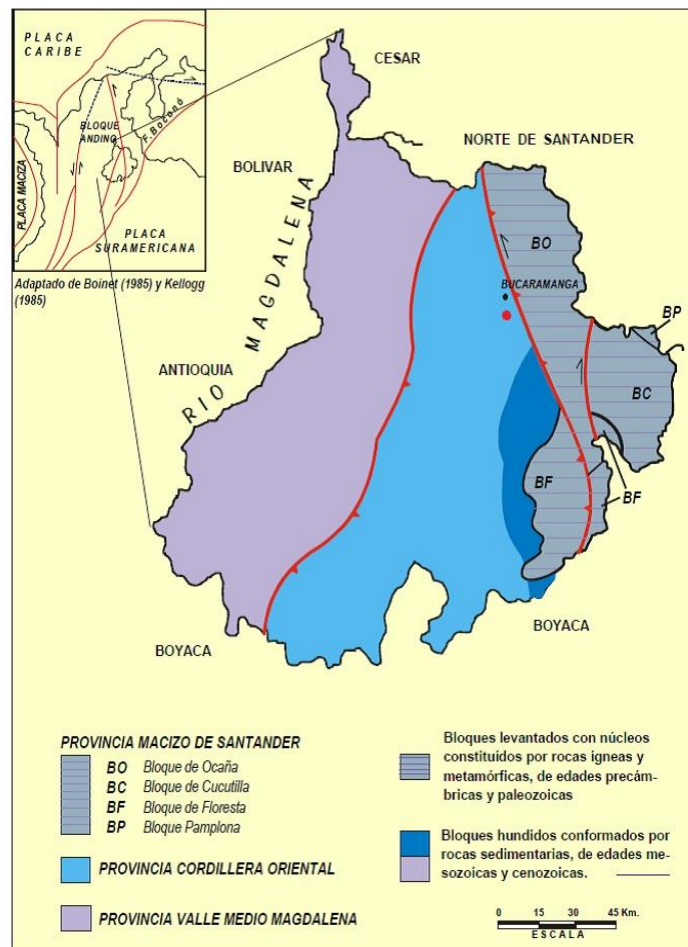
El territorio Santandereano es geológicamente complejo y tectónicamente dinámico, relacionado con las placas tectónicas de Nazca, Caribe y Suramericana. Para la caracterización tectónica del territorio de Santander se ha subdividido en tres provincias tectónicas como son la del Macizo de Santander, que está conformada por los bloques de Floresta, Cucutilla, Pamplona y de Ocaña; la del Valle Medio del Magdalena, y la de la Cordillera Oriental que en el departamento de Santander está restringida a dos bloques, el principal localizado en la región central estructural y el menor ubicado en la región oriental., de conformidad con el esquema tectónico, presentado por Clavijo, *et al.* (1993); Royero y Clavijo, 2001. En la Figura 6 se muestra el esquema tectónico que ha sido considerado para el departamento de Santander.

El área de estudio se encuentra en la provincia Macizo de Santander, en el bloque floresta (Figura 5), el cual se caracteriza tectónicamente por presentar fallas inversas y de cabalgamiento, y pequeños pliegues de dirección predominante hacia el SW-NE. Este bloque se presenta en la parte Suroriental del Departamento de Santander, constituido principalmente por rocas metamórficas precámbricas y paleozoicas, y rocas ígneas paleozoicas y mesozoicas. Este se limita al oriente

por las fallas de Soápaga y Bucaramanga-Santa Marta y al occidente por la Falla de Riachuelo.

El área de estudio está limitada estructuralmente al Norte por la falla de ruitoque, al oriente por la falla Bucaramanga, al occidente por la falla del Rio Suarez y más al sur por la Falla Los Santos. Está caracterizado por presentar una capa tectónica con fallamientos normales e inversos.

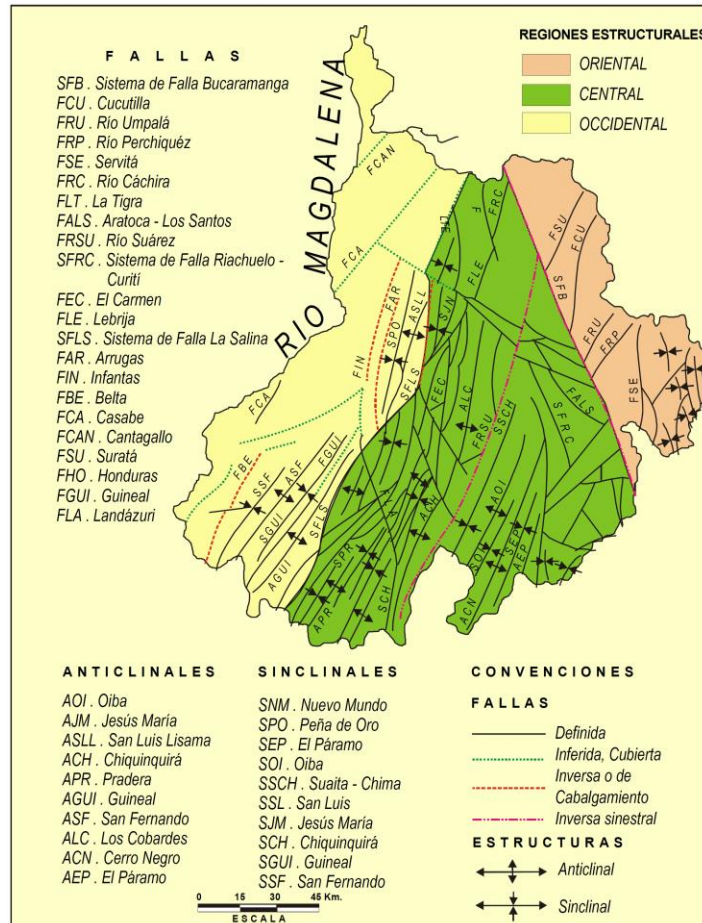
Figura 5. Esquema tectónico del Departamento de Santander en el cual se ha ubicado el área de estudio.



Fuente: Tomado de la memoria explicativa del mapa geológico generalizado del Departamento de Santander (INGEOMINAS, 2001).

El territorio santandereano se caracteriza por presentar tres estilos estructurales diferenciados, los cuales identifican tres regiones estructuralmente bien definidas del departamento; uno de fallamientos en bloques en la región oriental; otro de plegamientos en la región central, y el graben del Magdalena en la región occidental. En la Figura 6, se muestra el esquema estructural que se ha considerado apropiado para el Departamento de Santander.

Figura 6. Esquema estructural del Departamento de Santander en el cual se ha ubicado el área de estudio.



Fuente: Tomado de la memoria explicativa del mapa geológico generalizado del Departamento de Santander (INGEOMINAS, 2001).

El área de estudio se encuentra sobre la región estructural central (Figura 7). Geográficamente conforma la cadena montañosa de las estribaciones occidentales de la Cordillera Oriental, en donde se destacan estructuras anticlinales y sinclinales amplios, limitadas por fallas inversas y de cabalgamiento con inclinación hacia el oriente. El área de estudio se encuentra principalmente afectada por las fallas geológicas de Boyacá y Chaguaca (Figura 7). Y Teniendo en cuenta la importancia y influencia en el MS hacia el oriente pasa el sistema de Fallas Bucaramanga- Santa Marta.

Falla de Bucaramanga.

La Falla de Bucaramanga el cual constituye el borde Occidental del MS y es el rasgo estructural más evidente y de gran extensión que cruza la región centro-oriental del Departamento de Santander con una extensión de 550 y 600 km si se asume con un único trazo. Esta falla tiene una dirección aproximada N20°W y es considerada un sistema de fallas de rumbo con movimiento sinistral (Campbell, 1965; León, 1991; Vargas y Niño 1992; Clavijo *et al.*, 1993; Clavijo, 1994a) el cual se ha desplazado 100 a 110 Km (Campbell, 1965) y Tschanz, *et al.*, (1969, 1974) Esta falla presenta un componente vertical lo que hace que se comporte en unos sectores como inversa y en su extremo meridional aun de cabalgamiento por flexión de la falla. Julivert (1958, 1961), Ward, *et al.* (1973), París y Sarria (1988), Royero (1994) y (Bonet, 1989). En el departamento de Santander se han encontrado evidencias de actividad neo tectónica (lineamientos, facetas triangulares, lomos de ganchos, drenajes adaptados, laguna de falla, lomo de obturación) de la Falla Bucaramanga-Santa Marta, especialmente en la Meseta de Bucaramanga y en el cañón del Chicamocha (Carrillo y Bernal, 1992). La terminación de la Falla de Bucaramanga en el sur se ha relacionado con las Fallas de Soápage y Boyacá, las cuales han sido consideradas fallas de cabalgamiento que amortiguan su movimiento. Estas fallas tienen una dirección NW-SE similar a la Falla de Bucaramanga hasta la latitud de 6° 15', y son consideradas su prolongación al sur; a partir de dicha latitud cambian su orientación a NE-SW).

Esta interacción entre las Fallas de Bucaramanga, Boyacá y Soápage ha conformado una estructura dúplex por transpresión interpretada a partir de imágenes satelitales (Velandia, 2005).

Falla Boyacá:

La Falla de Boyacá también llamada falla de Onzaga es una falla fundamental de carácter regional, de tipo inverso, convergencia al NW y sobresale como un lineamiento de tendencia N45E. Esta falla afecta sedimentos antiguos Jura-triásicos y rocas Cretácicas, y constituye una barrera natural que delimitó la sedimentación del Terciario en la Depresión del Río Chicamocha. La Falla de Boyacá posee un trazo nítido en las fotografías aéreas, y presenta numerosas expresiones geomórficas y evidencias geológicas que confirman este accidente tectónico. Escarpes degradados de falla y un intenso brechamiento son comunes. Es una falla de cabalgamiento, con un plano de falla que presenta inclinación hacia el oriente y pone en contacto rocas del Pre-devónico (Paleozoico o Proterozoico?) con rocas del Jurásico y Cretácico.

Esta falla es satélite a la Falla de Bucaramanga. Atraviesa el Municipio de Sur a Norte, por el Sector occidental pasando su trazo por el casco urbano de Onzaga. Hacia la parte central encontramos otro patrón de ordenamiento esté con dirección N-S el cual pone en contacto la unidad ígnea extrusiva (Riolita) con la Fm sedimentaria cretácica con un comportamiento más vertical debido a su gran pronunciamiento rectilíneo, geográficamente la podemos ubicar con el río Onzaga y el pueblo ya que lo atraviesa totalmente, este fallamiento se podría describir como inverso debido a que el bloque que sube es la unidad y el que baja es la Fm cretácica.

Falla Chaguaca:

Según Vargas (1981); Tiene una dirección en su parte más septentrional NW-SE cambiando hacia el sur por una dirección NE-SW. Se dijo que puede ser la

expresión más meridional de la Falla de Bucaramanga. Hacia el norte se conjuga con la Falla Onzaga o Boyacá y hacia el sur su identificación dentro del macizo de floresta es difícil. Esta estructura va desde el municipio de Onzaga hacia el sur controlando el rumbo del río Chaguaca del cual llena el nombre. Y hacia el norte se conjuga con la falla de Onzaga y hacia el sur su identificación dentro del macizo de la floresta es difícil. Además se presenta Un Sinclinal en la región meridional del Municipio de Onzaga.

La Falla de Chaguacá es una estructura con un movimiento importante en rumbo sinestral, el cual va dejando evidencias geomorfológicas propias de este tipo de fallas como los ganchos de falla descritos en el capítulo anterior y, otras morfoestructuras como los lomos de presión, de obturación, en forma de ballena y trazos Riedel y AntiRiedel reportados por Del Real y Velandia (2013). Esta falla se encuentra cubierta por depósitos Cuaternarios, con espesores importantes que llegan a alcanzar los 20 metros.

Figura 7. Figura donde se muestra que el área de estudio está siendo afectada por las Fallas Boyacá y Falla de Chaguaca al sur de la Falla de Bucaramanga en una estructura dúplex. (Rojo: zona de interés; Or: Riolitas de Onzaga; Jpi: Rocas intermedias del Jurásico; Ofsp: Unidad Filitas de San Pedro).



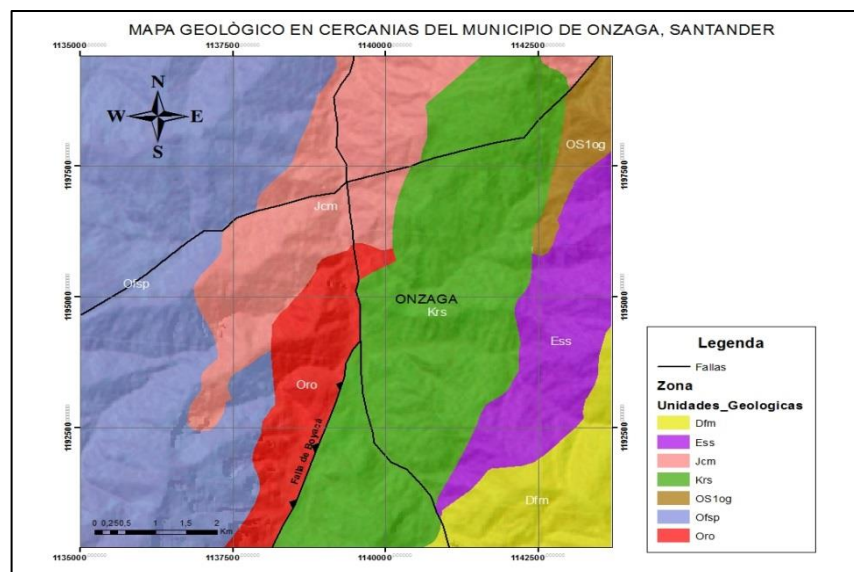
Fuente: Tomado y modificado de Velandia, (2005).

5. RESULTADOS

5.1 RASGOS GEOLÓGICOS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

A partir de la información recopilada por los estudiantes de Campo II en los alrededores del Municipio de Onzaga y la información disponible sobre la zona de estudio referida por Vargas, R., 1981; y Mantilla, *et al.*, 2016, se realizó un esquema geológico donde se muestra las riolitas de interés con sus litologías adyacentes (Figura 8), y la localización de 13 muestras que fueron objeto de estudio (Ver Anexo 1).

Figura 8- Mapa (esquema) geológico en cercanías del Municipio de Onzaga en la zona de estudio. (Oro: riolitas de Onzaga; Dfm: formación floresta metamorfoseada; Krs: rocas sedimentarias del cretácico; OS1og: Ortoneis granodiorítico; Ofsp: unidad filitas de san pedro; Ess: esquistos del silgara s.s. Jcm: Cuarzomonzonita).

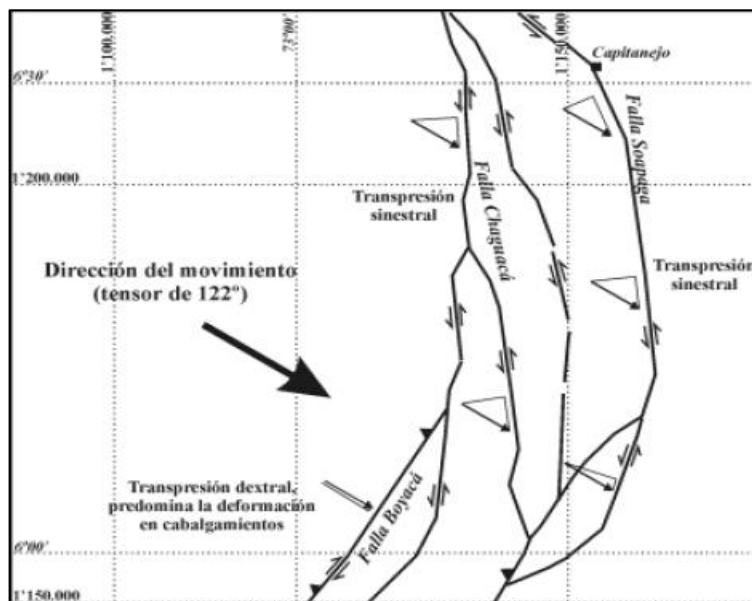


Fuente: Tomado y modificado del Mapa Crono estratigráfico del SGC (2015).

Las Riolitas se encuentra en un contacto fallado con rocas del cretácico (Fm la luna, Fm capacho) producto de la Falla de Boyacá (Figura 9), la cual hacia su parte más sur tiene una transpresión dextral con predominio de deformación en cabalgamiento y hacia la parte norte como una falla con transpresión sinistral haciendo parte de una estructura dúplex (Velandia 2005). Al sur-oeste se encuentra en un contacto inferido con una discordancia litología con la Unidad filitas de san pedro (Ofsp) la cual está compuesta fundamentalmente de metapsamitas, metapelitas; y localmente muy posiblemente litologías metavolcanoclásticas?) Propuesta por Mantilla *et al.*, 2016. Y en el norte está en contacto con una cuarzomonzonita de edad Jurásico.

Se utiliza la abreviatura de las unidades geológicas teniendo en cuenta su sistema/periodo seguido del nombre de la unidad, como por ejemplo OS1og; la cual tiene como sistema/periodo el Ordovícico tardío a inicio del Silúrico y el nombre de esta unidad es Ortoneis granodiorítico.

Figura 9. Esquema de las Fallas Boyacá donde se muestra su tipo de falla y movimiento en la zona de interés.



Fuente: tomado de Velandia, (2005).

5.2. MINERALOGIA Y PETROGRAFIA.

Las riolitas aflorantes en el Municipio de Onzaga se caracterizan por tener tonalidades que varían de cremas a grises, presentan texturas porfiríticas con cristales envueltos en una matriz afanítica (microporfirítica según Mackenzie *et al* (1997)), principalmente son de grano fino y equigranulares. En cuanto a la forma de los cristales están entre subhedrales a anhedrales y según su grado de cristalinidad es holocristalina.

Composicionalmente en muestra de mano (Figura 10) se observan fenocristales de cuarzo, plagioclasas y feldespato potásico, con un máximo de tamaño de grano aproximadamente de 3 a 4 mm, las cuales están embebidos en una matriz muy silíceea con algunos minerales secundarios como óxidos y clorita.

Figura 10. Aspecto mineralógico de las rocas riolitas aflorantes en inmediaciones al Municipio de Onzaga, el cual se observa minerales



Estas rocas presentan una foliación plano-lineal a ondulosa que se evidencia en los minerales de cuarzo y especialmente en las plagioclasas que se encuentra alterando a sericita esta orientación se debe a la acción de la Falla Boyacá que pasa por las riolitas con dirección N45°E a la cual llamaremos como una roca

protomilonita, la cual evidencia una deformación dúctil (textura de flujo) (Figura 11) producto de eventos dinamo-térmicos que afectaron a esta zona.

Figura 11. Protomilonita con evidencia de orientación preferente de sus fases minerales (Cuarzo y Plagioclasa) producto de eventos dinamo-térmicos.



Por otra parte algunas de estas riolitas hacia la zona Cuchilla El Ramal se encuentran altamente fracturadas y/o diaclasadas, rellenas por óxidos e hidróxidos de hierro como lo son la hematita y magnetita. (Figura 12).

Figura 12. Roca riolita con presencia de microfracturas rellenas de óxidos e hidróxidos de hierro (Hematita y Magnetita).



Para la realización del estudio petrográfico se procedieron a analizar 6 secciones delgadas de diferentes sectores del cuerpo ígneo. Estas rocas riolíticas se componen por minerales principales como cuarzo, ortoclasa y albita, minerales menores como microclina y biotita, minerales accesorios como sanidina y circón y minerales secundarios como la hematita, magnetita, clorita y sericita. A continuación se muestra una tabla con los porcentajes tanto de los fenocristales como de la matriz de cada uno de los minerales presentes en estas rocas (Tabla 1).

Tabla 1 Tabla de composición mineral de las Riolitas de Onzaga

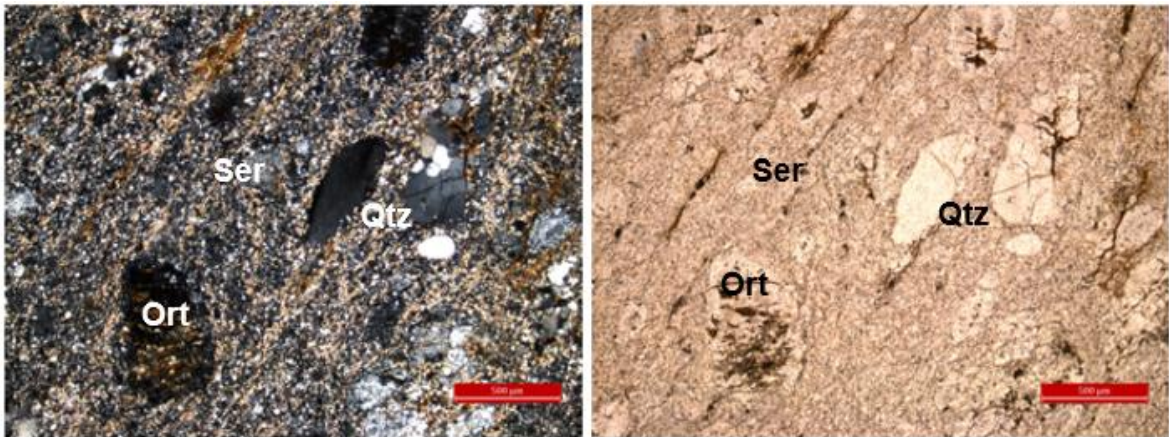
Composición mineral								
	Min principales	%	Min menores	%	Min accesorios	%	Min secundarios	%
Fenocristales	Cuarzo	10	Microclina	5	Sanidina	2		
	Ortoclasa	20						
	Albita	8						
Matriz	Cuarzo	15	Biotita	7	Circón	1	Sericita	10
	Ortoclasa	10					Hematita	3
	Albita	5					Magnetita	2
							Clorita	1

A partir del estudio mineralógico-petrográfico de las riolitas aflorantes en el área de Onzaga se reconocieron 5 eventos principales con el objetivo de llegar a hacer una interpretación de la génesis e historia de la roca. Estos eventos son: Evento ígneo 2) Evento de alteración hidrotermal 3) Evento sericita-cuarzo (Ser+Qtz) 4) Evento clorita-cuarzo (Chl+Qtz) y 5) Evento supérgeno. Las cuales se describirán a continuación con más detalle.

5.2.1 Evento ígneo. Este cuerpo ígneo, composicionalmente se caracteriza según el diagrama de Streckeisen como una Riolita, presenta una textura porfírica (Figura 13) debido a una contrastada diferencia en el tamaño de los cristales como lo son los fenocristales de cuarzo, albita y ortoclasa bordeados o cortados por minerales más finos de la misma composición presente en la matriz, lo cual es común especialmente en rocas volcánicas y en rocas ígneas que han cristalizado

muy cerca de la superficie. Sus cristales presentan texturas subhedrales a anhedrales ya que tienen algunas caras bien definidas y otros no.

Figura 13. Textura porfirítica en matriz afanítica. Imagen tomada en nicoles cruzados y paralelos con objetivo de 5x.



La composición mineralógica de la riolita se presenta a continuación:

Cuarzo: Este mineral se presenta en la roca tanto como fenocristal como en la matriz, sus tamaños varían de 10 a 2000 micras respectivamente. La forma de este mineral van de subhedrales a anhedrales, son incoloros, con colores de birrefringencia de primer orden y relieve bajo.

Los fenocristales se encuentran bastante fracturados, presentan extinción ondulante (Figura 16), y en algunos casos se observan cuarzos con textura de embahiamiento (Figura 18).

Ortoclasa: Este mineral se encuentra en la roca tanto fenocristal como en la matriz, sus tamaños varían entre 10 a 2000 micras. La forma de estas ortoclasas son subhedrales a anhedrales y se caracterizan por ser incoloros, con colores de

birrefringencia grises de primer orden aunque en ocasiones se presenta muy oscuro, su macla es irregular.

Algunos de estos fenocristales presentan inclusiones de biotita e inclusiones de albita en forma de manchas indicando una textura perfitica (Figura14). Este mineral se encuentra alterado a sericita y en algunos casos se presentan cristales de la matriz cortando a estos fenocristales de ortoclasa.

Albita: Este mineral se presenta en la roca como fenocristal y en la matriz. La forma de estas plagioclasas son subhedral, incoloros, con colores de interferencia de primer orden, en la mayoría de los fenocristales se observa su maclado polisintético con un ángulo de extinción de 5 grados (Figura 17). Este mineral se encuentran altamente fracturadas rellenas por hematita muy oxidada, también se observan algunos fenocristales muy alterados a sericita con inclusiones de biotita.

Microclina: Este mineral se presenta como fenocristal de tamaños de 500 a 1500 micras. La forma de este mineral es subhedral, incoloro, con colores de interferencia son grises de primer orden, su maclado es polisintético en forma de rejilla (Macla de tartán) y su relieve es bajo (Figura 15). Este mineral se encuentra alterado a sericita.

Sanidina: Este mineral se encuentra como fenocristales. Su tamaño aproximadamente es de 800 a 1500 micras, su forma es subhedral, incoloro, con colores de interferencia de primer orden y su macla es de tipo karsbald (Figura 16). Este mineral se encuentra alterado a sericita y su presencia es escasa en la roca.

Figura 14- Fenocristal de ortoclasa con textura perítica y con inclusiones de biotita. Imagen tomada en nicoles cruzados y paralelos con objetivo de 5x.

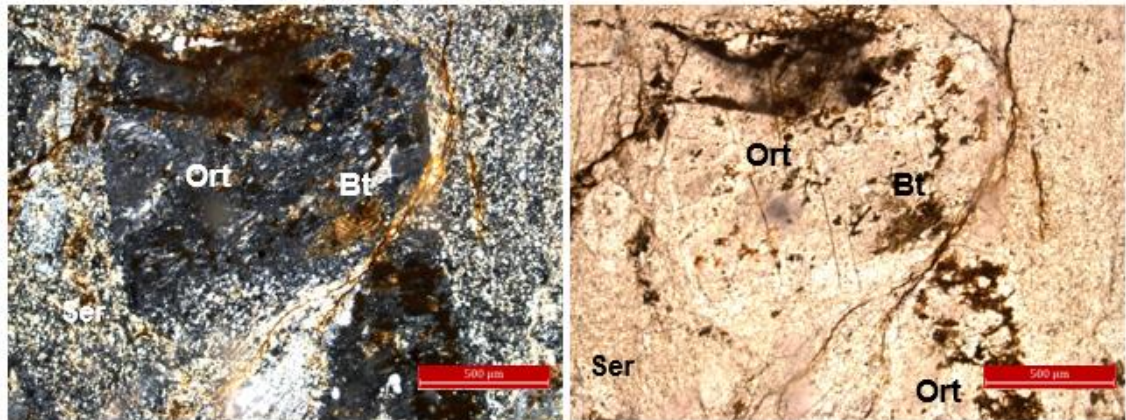


Figura 15. Fenocristal de ortoclasa y microclina. Imagen tomada en nicoles cruzados y paralelos con objetivo 5x.

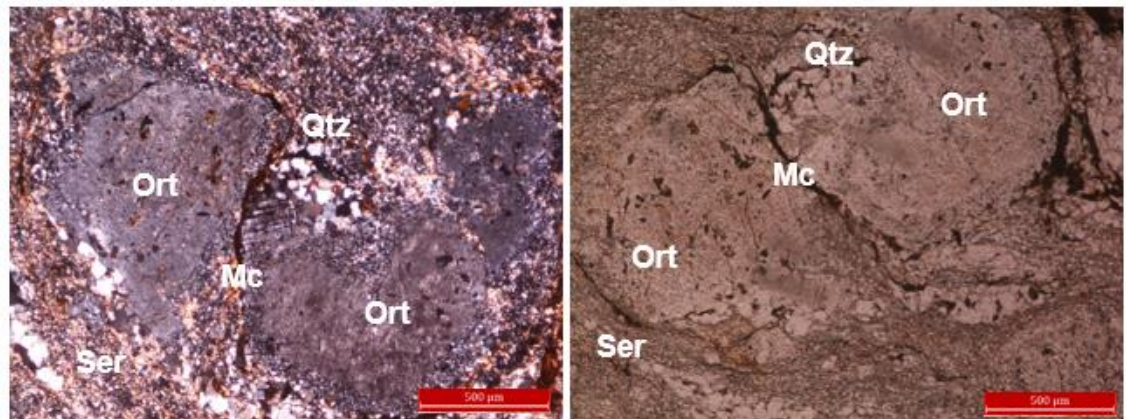


Figura 16. Fenocristal de sanidina alterado a sericita y fenocristal de cuarzo con extinción ondulante, también se observa biotita acompañado de minerales oxidantes como la hematita. Imagen tomada en nicoles cruzados y paralelos con objetivo 5x.

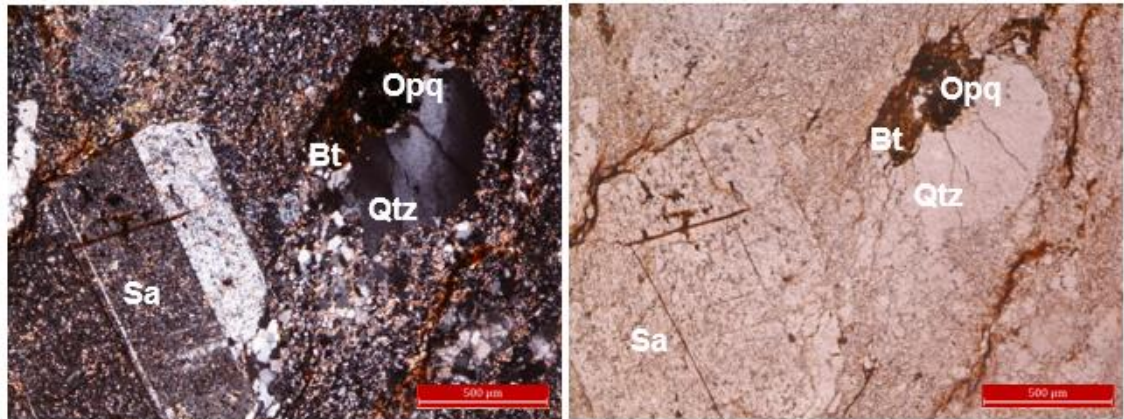
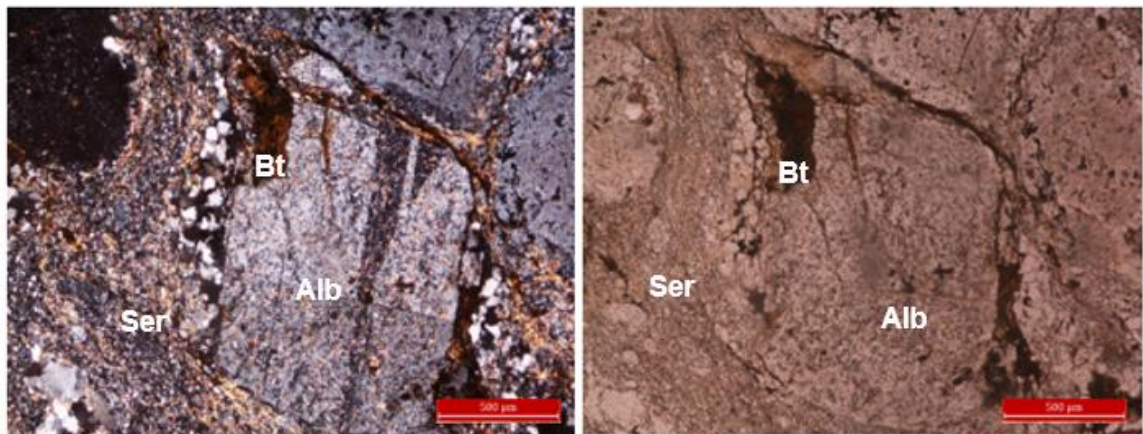


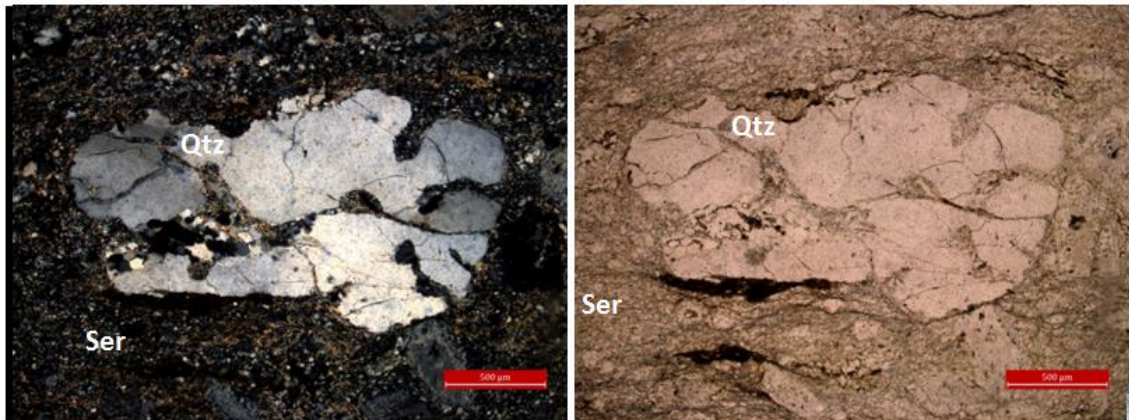
Figura 17. Fenocristal de albita con inclusiones de biotita alterado a sericita. Imagen tomada en nicoles cruzados y paralelos con objetivo 5x.



En su historia magmática se tiene como inicio un magma rico en cuarzo, feldespato potásico y plagioclasas que se encuentran fundidos en una cámara magmática que al ser más liviano que la roca que lo rodea se abre camino hacia arriba formando cuerpos posiblemente stocks, a medida que asciende el fundido la matriz cristaliza de forma rápida es decir presenta un enfriamiento adiabático, en

el cual se ve reflejado en estas rocas por cuarzos con texturas de embahiamiento (Figura 18).

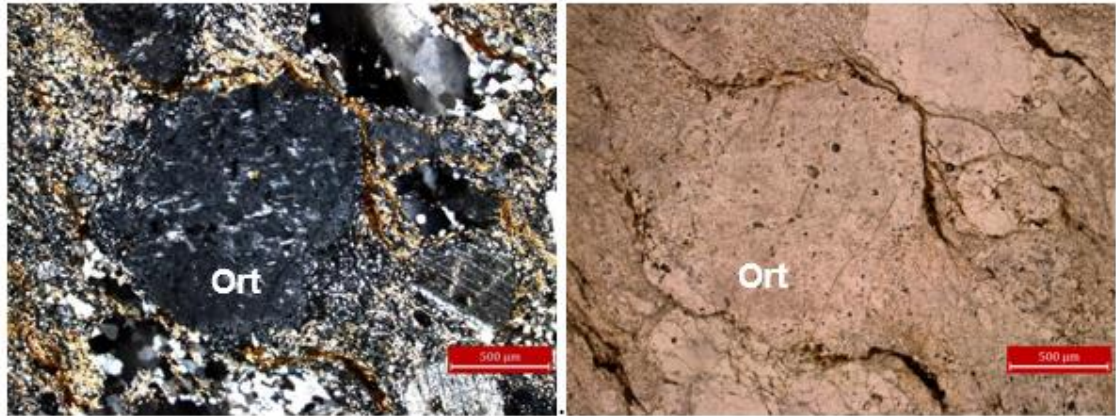
Figura 18. Cuarzo bipiramidal con textura de embahiamiento. Imágenes tomada en nicoles cruzados (a) y paralelos (b) con objetivo 5x.



A parte de estos fenómenos de embahiamiento también se presentan relictos de antiguos fenómenos de exsolución evidenciados en minerales de ortoclasa con inclusiones de albita en forma de parches o manchas indicando una textura pertítica (Figura 19), esta texturas según López y Bellos, 2006 se originan desmezcla en estado sólido del feldespatos potásico (ortoclasa) y la albita, al dejar de ser miscibles por el descenso de la temperatura.

La textura pertítica está definida por cristales de plagioclasa ácida dentro de un cristal de feldespatos potásico. Cuando la relación es inversa, se denomina textura antipertítica y cuando la proporción de ambos minerales es la misma, mesopertita. La disposición de los cristales de plagioclasa dentro del feldespatos potásico puede variar, siendo en forma de cordones, venas o como en este caso en parches o manchas López y Bellos, 2006.

Figura 19. Fenocristal de ortoclasa con textura perítica. Imagen tomada en nicols cruzados y paralelos con objetivo 5x.



5.2.2. Evento de alteración hidrotermal. Este evento está compuesto por dos episodios de nucleación, uno ligado a una alteración potásica el cual se presenta por sobrecrecimiento de cuarzo y posiblemente ortoclasa de gran fino alrededor de fenocristales principalmente de feldespatos (Figura 20) y la aparición de biotita coorientada en forma de inclusiones en minerales como albita y ortoclasa (Figura 21), aunque también se encuentra rellenando microfracturas acompañada de minerales como hematita y magnetita.

Figura 20. Sobrecrecimiento de Qtz y Ort en cristales de Feldespatos K. Imagen tomada en nicols cruzados y paralelos con objetivo 10x.

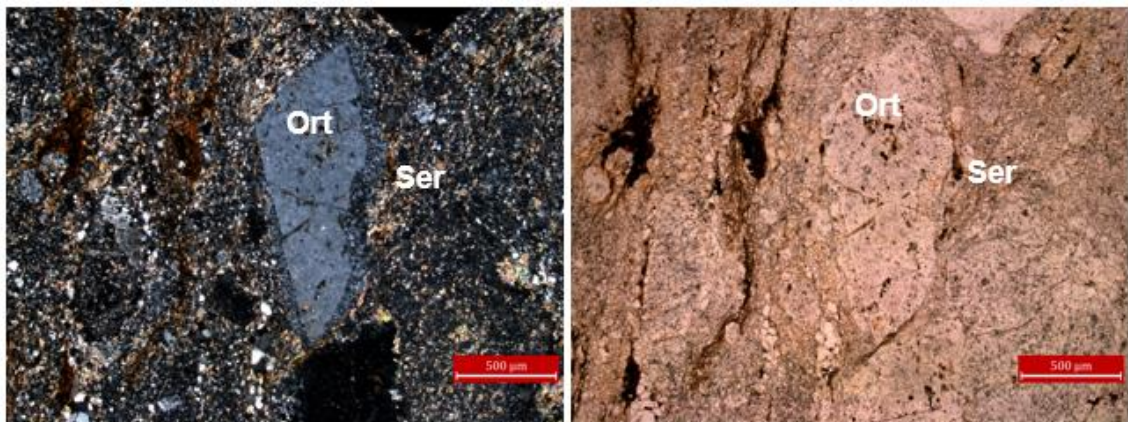
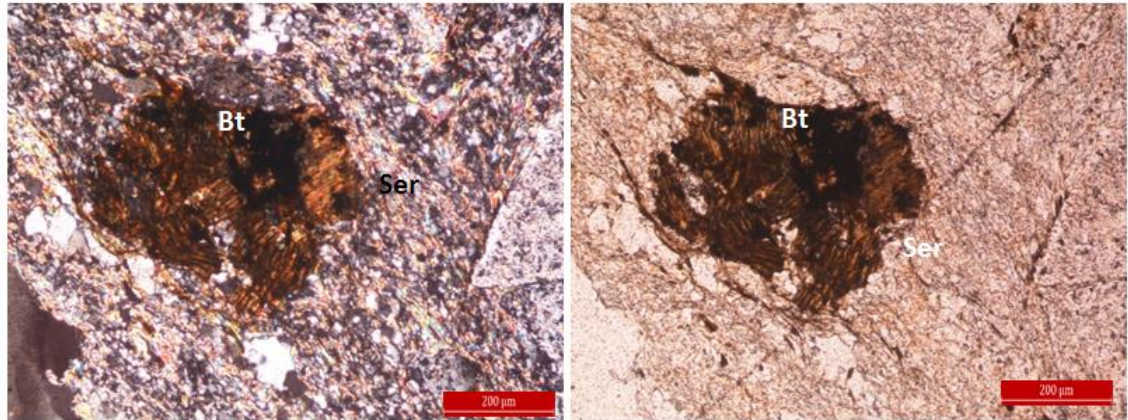
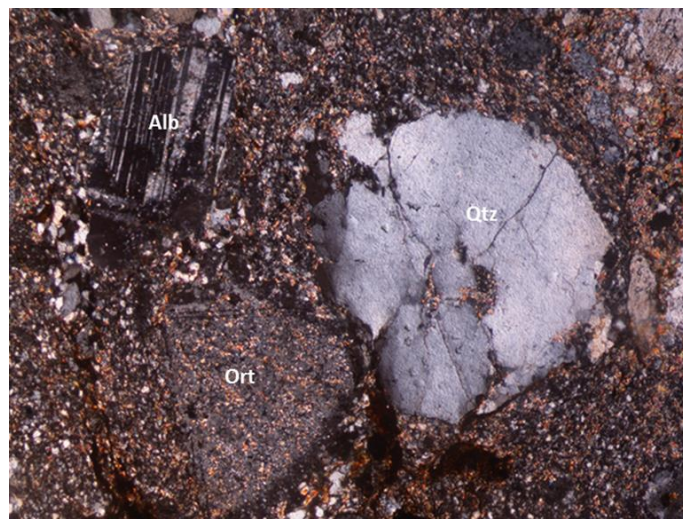


Figura 21. Biotita coorientada alterando a clorita presente en la matriz. Imagen tomada en nicoles cruzados y paralelos con objetivo 10x.



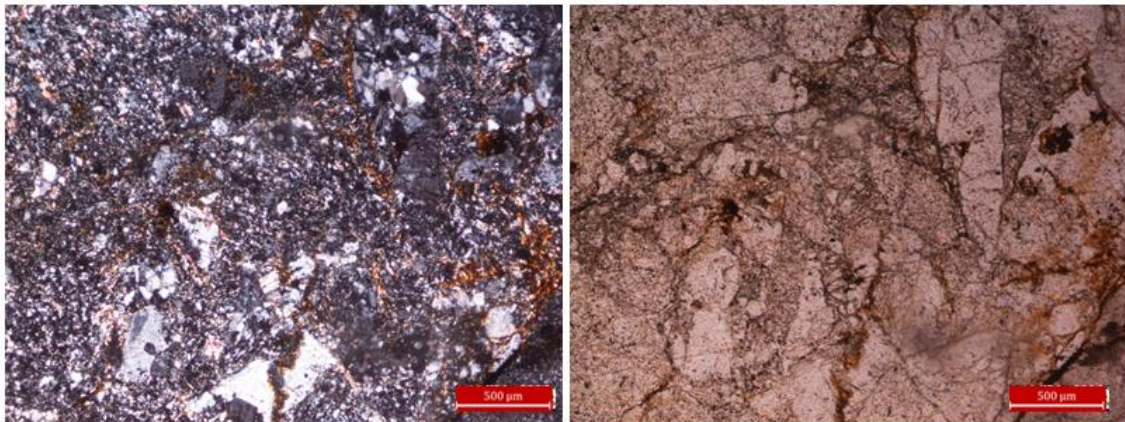
El segundo episodio dado por metasomatismo sódico-potásico reflejado por un sobrecrecimiento hetero-orientado dado que cuando el fundido entra el feldespato potásico crece cercano al alcalino y el alcalino al feldespato potásico dándose ahí un intercambio iónico K-Na.



Además de la alteración potásica y sódica, también se presenta la alteración de tipo silicificación el cual está caracterizada por la destrucción total de la

mineralogía original, donde la roca queda convertida en una masa silíceo (Figura 22).

Figura 22. Textura de tipo silicificación. Imagen tomada en nicóles cruzados y paralelos con objetivo 10x.

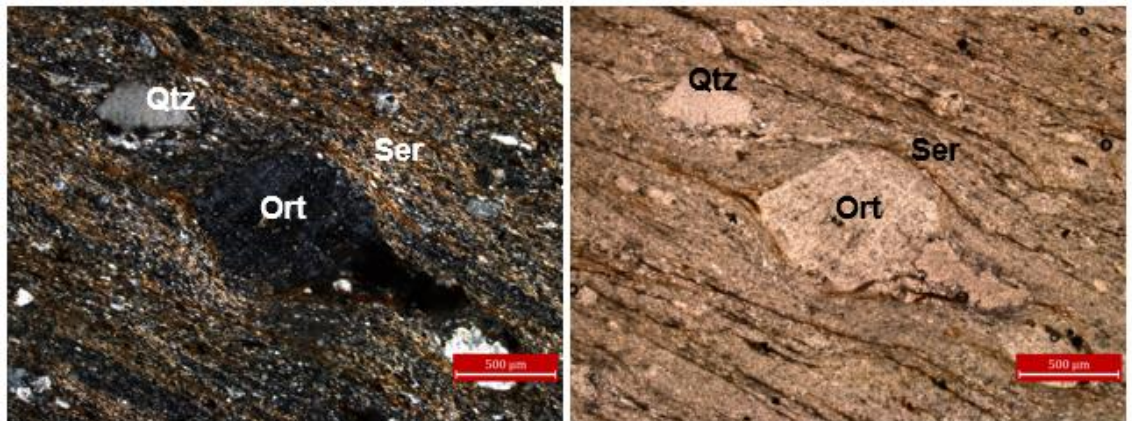


5.2.3. Evento sericita-cuarzo (Ser+Qtz). En este evento se observa la presencia de la alteración fílica o sericítica con una asociación mineral Ser+Qtz la cual, se presenta de dos maneras distintas en la roca. La primera como una sericita de grano fino por reemplazamiento parcial o total de los fenocristales de feldespatos potásicos y plagioclasa (Figura 23), que se encuentra principalmente de forma irregular (textura de tipo tamiz). La segunda se muestra como una orientación plano-lineal o arremolinada (Textura de flujo) en la matriz la cual coincide con los planos de cizallamiento, esta alteración sericítica está asociada posiblemente a una milonitización (Figura 24) debido a un evento dinamo-térmico relacionado posiblemente por la Falla Boyacá.

Figura 23. Alteración fílica o sericitica con textura tipo tamiz. Imágenes tomadas en niclos cruzados y paralelos con objetivo 5x.



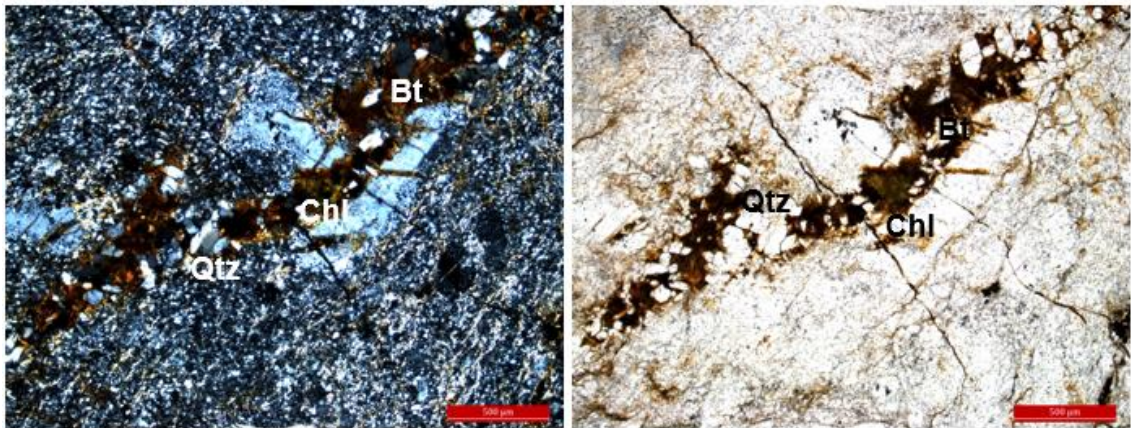
Figura 24. Alteración sericítica asociada a una milonitización. Imágenes tomadas en niclos cruzados y paralelos con objetivo 10x.



La alteración fílica o sericitica es el proceso por el cual los minerales félsicos como los feldespatos o feldespatoides en rocas ígneas son hidratados para producir la sericita, entonces esta alteración tendrá lugar si hay disponible fluidos ricos en agua la cual da lugar a un mosaico de cuarzo y sericita, que muchas veces destruye la textura original de la roca. Los minerales predominantes son sericita, cuarzo y pirita, esta alteración ha sido encontrada en depósitos de cobre diseminado, conformando una asociación mineral integrada por: sericita, cuarzo, pirita, hidrómica y a veces clorita y rutilo.

5.2.4. Evento clorita- cuarzo (Chl+Qtz). Este evento está representado por el crecimiento sintaxial de cuarzo acompañado de biotitas alteradas a clorita que se encuentran dentro de una fisura o una cavidad, en este caso el crecimiento se da en una microfractura el cual está cortando toda la roca, lo cual indica que es un evento posterior. Estas bandas crecen generalmente hacia dentro de la pared y se encuentran alineadas simétricamente al centro de la cavidad. Las distintas capas de distintos minerales representan pulsos de fluidos hidrotermales que han pasado por estas estructuras, aunque estas se pueden observar en una sola fisura. Este crecimiento de cuarzo recibe el nombre de bandeamiento crustiforme o crustificación (Figura 25).

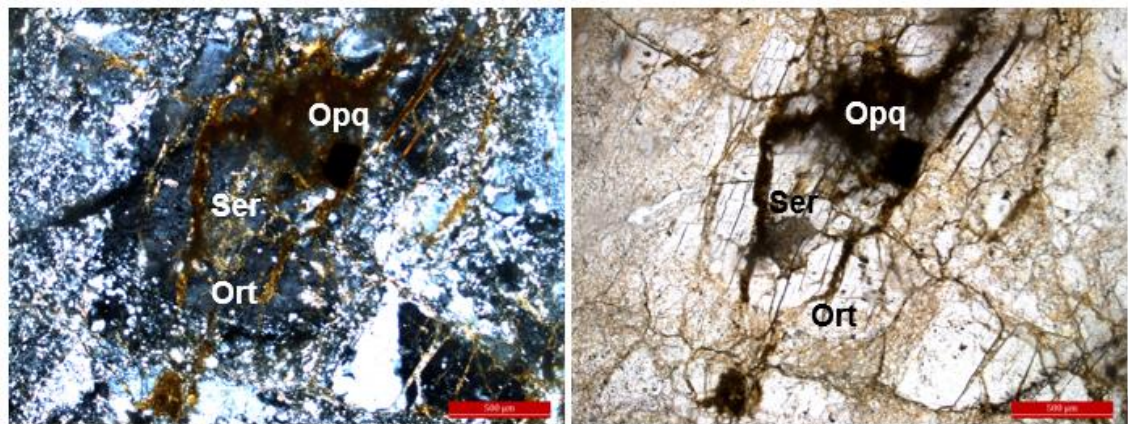
Figura 25. Crecimiento sintaxial de cuarzo dentro de una fractura acompañada de biotitas alteradas a clorita (textura crustiforme). Imágenes tomadas en nicols cruzados y paralelos con objetivo 5x.



En otras palabras, esta textura se caracteriza por el crecimiento y ordenamiento de los minerales dentro de bandas muy bien definidas, que en la mayoría de ocasiones ocurren de manera subparalela y se encuentran desarrolladas de manera simétrica o asimétrica, regularmente son compuestas de cuarzo hialino o lechoso, carbonatos como dolomita o calcita y calcedonia Leguizamón *et al.*, 2009

5.4.5. Evento supérgeno. La alteración supérgena es un proceso de reequilibrio de la mineralogía hipógena (hidrotermal) a las condiciones oxidantes cerca de la superficie terrestre, por esta razón este evento se caracteriza principalmente por la presencia de óxidos e hidróxidos de hierro como lo son la magnetita y la hematita (Figura 26). Estos minerales se encuentran tanto en la matriz como rellenando micro fracturas y presentan colores marrón rojizos, sus formas van de subhedrales a anhedrales.

Figura 26. Mineral hematita (a) y magnetita (b) el cual se encuentra principalmente rellenando microfracturas. Imagen en nicoles cruzados y paralelos con objetivo 5x.



Las riolitas que se encuentran en cercanías al Municipio Onzaga se estructuralmente afectadas por las Falla Boyacá y Chaguaca, a partir de esto estas rocas revelan una variedad de texturas de deformaciones tectónicas (frágiles y dúctiles) muy fuertes debido a eventos dinamo-térmicos.

Texturas de recristalización:

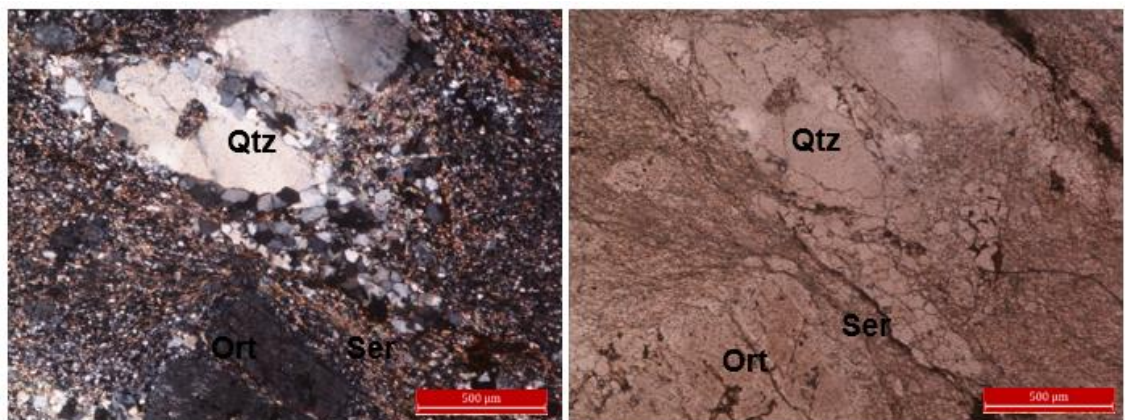
El mecanismo de recristalización es el responsable de importantes reajustes o transformaciones texturales de asociaciones minerales existentes. En este mecanismo se distinguen dos texturas la primera que está ligada a la liberación de tensiones intercristalinas y la segunda está ligada a la reducción de la energía de

la superficie y reforma de los cristales (annealing) (Passchier y Trouw, 1996). En las riolitas del sector de Onzaga se evidencia la textura granofírica la cual se describirá a continuación:

Textura granofírica: Esta textura corresponde al intercrecimiento de grano fino de cuarzo y algún feldespato potásico en forma radial, esqueletal o como en este caso irregular (Figura 27). Esta textura se da principalmente en rocas subvolcánicas silíceas, félsicas y se forma cuando recristalizan rápida y simultáneamente ambos minerales a partir de líquidos tardíos atrapados entre cristales que se formaron con anterioridad.

En sistemas graníticos someros ricos en agua, un único feldespato alcalino puede formarse, pero si el agua se pierde en forma súbita, el punto de fusión baja rápidamente resultando un sobreenfriamiento (aún a temperatura constante), lo que produce esta rápida cristalización de los minerales.

Figura 27. Fenocristal de cuarzo con textura granofírica. Imagen tomada en nicoles cruzados (a) y paralelos (b) con objetivo de 5x.



Texturas de deformación:

Cuando una roca se somete a un campo de esfuerzos como lo es la presencia cercana de algunas fallas como lo es la Falla de Onzaga o Boyacá, estas se

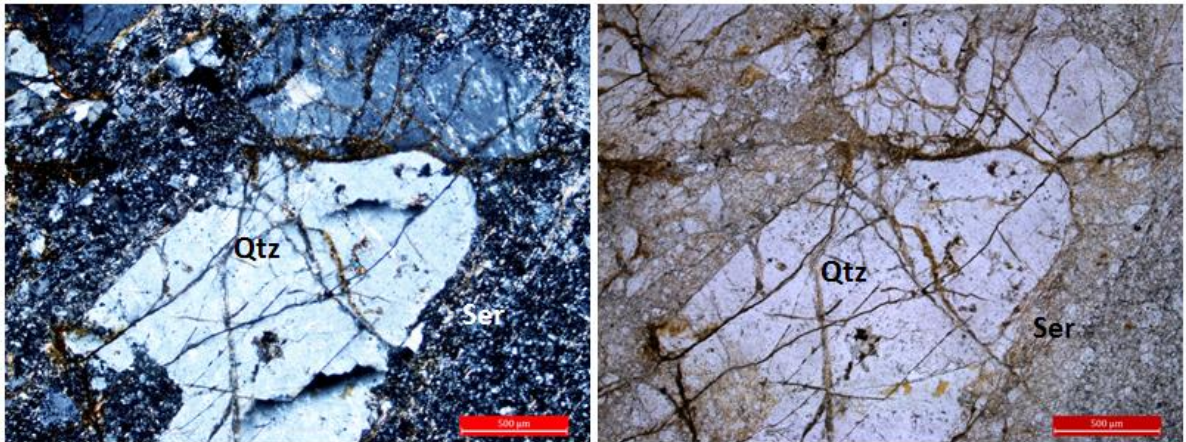
puede deformar por diversos mecanismos que dependen de las velocidades relativas de deformación y de recristalización, que a su vez dependen de la temperatura y de la presencia eventual de un fluido intergranular.

Los mecanismos de deformación más importantes son: Fracturación, deslizamiento y rotación pasiva de los granos minerales, disolución por presión y deformación de la red cristalina (deformación intercristalina o plástica). A continuación se describirán los mecanismos de deformación que actúan en las rocas de estudio.

Los **mecanismos de fracturación** o micro fracturación según Davis y Reynolds, (1996) están asociados a altas tasas relativas de deformación producidas principalmente por la cercanía de algunas fallas como lo es la Falla de Onzaga, este mecanismo da lugar a una reducción fuerte del tamaño de grano y a una cataclasis

Este último mecanismo se evidencia en las riolitas debido a una fracturación frágil y penetrativa de los fenocristales de cuarzos y feldespatos (Figura 28), este mecanismo puede producir un agregado de granos bastante fracturados y fragmentos de roca inmersos en una matriz de granos de dimensiones todavía menores (Passchier y Trouw, 1996).

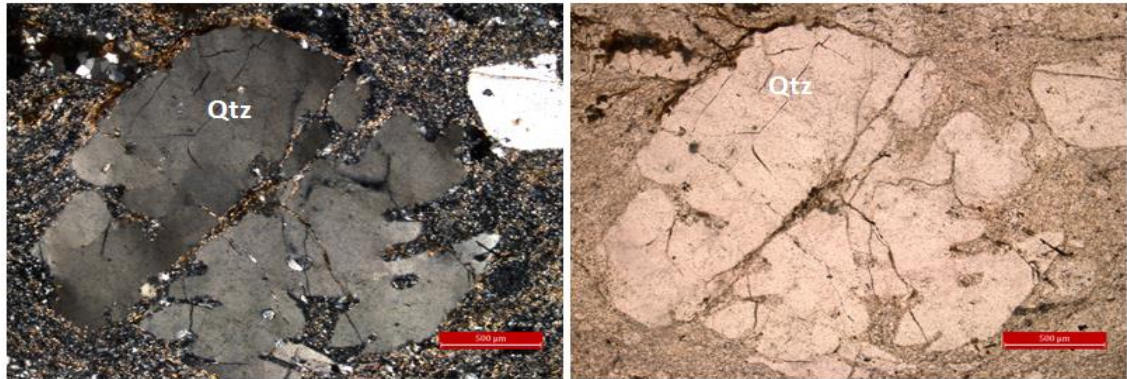
Figura 28. Fenocristales de ortoclasa altamente fracturados. Las fracturas están rellenas por minerales de oxidación. Imagen tomada en nicols cruzados (a) y paralelos (b) con objetivo de 5x.



Los mecanismos de deformación plástica dan lugar a dislocaciones cristalinas, desarrollo de maclas mecánicas (Maclado mecánico) y a la rotación de la red cristalina que se traduce en el desarrollo de cristales curvos y microkinks.

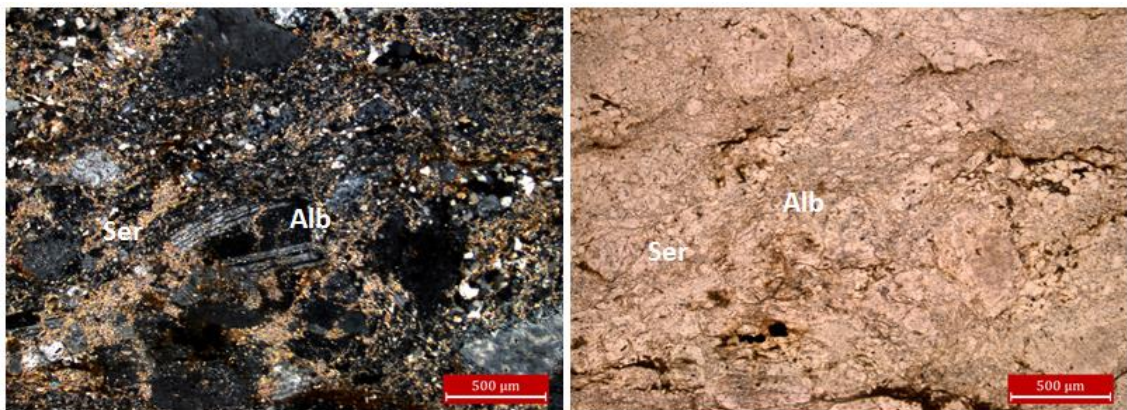
Las dislocaciones cristalinas o creep de dislocación según Davis y Reynolds (1996) se evidencian por la extinción ondulante o extinción no homogénea de los fenocristales de cuarzo y feldespato (Figura 29), estas dislocaciones se dan por el movimiento de los defectos cristalinos a través de la red cristalina, es decir cambios en la posición relativa de sus átomos y moléculas.

Figura 29. Fenocristales de cuarzo con extinción ondulante y textura de embahiamiento. Imágenes tomadas en nicols cruzados (a) y paralelos (b) con objetivo de 5x.



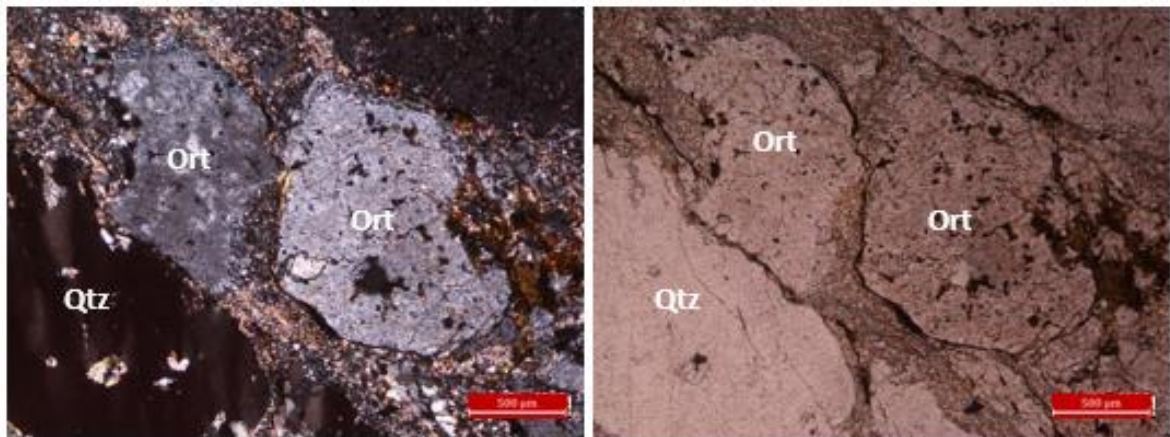
El maclado mecánico se genera por la rotación o flexión de una parte de la red cristalina hasta una orientación de la macla, esto es debido a un esfuerzo de cizalla simple paralelo al plano cristalográfico, estas maclas se pueden diferenciar de las de crecimiento por su forma y distribución. Las maclas mecánicas se distribuyen de forma heterogénea a lo largo del grano concentrándose en zonas donde el grado de deformación es más alto como en los contacto entre granos. Esta deformación se evidencia en algunos cristales de albita donde presentan un doblado en la macla (Figura 30).

Figura 30. Fenocristales de albita con maclado mecánico. Imágenes tomadas en nicols cruzados (a-c) y paralelos (b-d) con objetivo 5x.



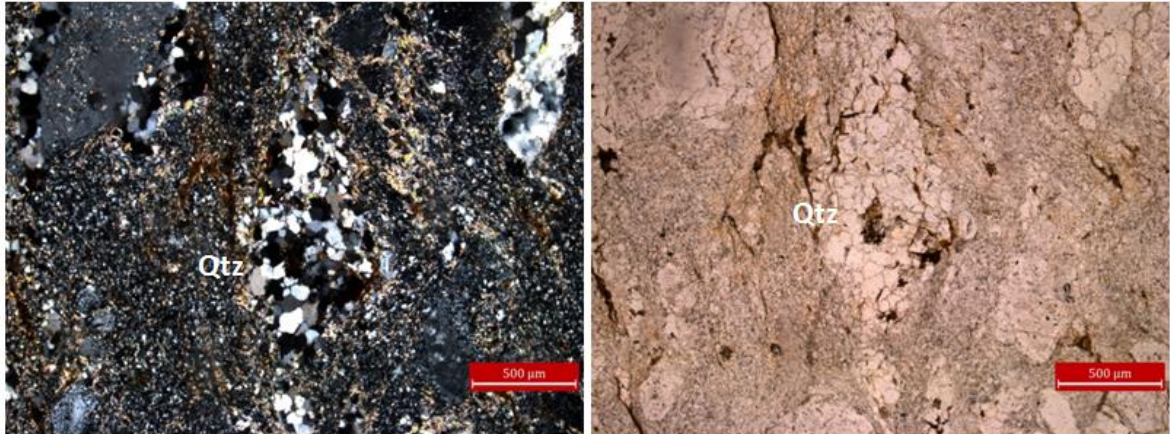
La **disolución por presión** o creep de disolución según Davis y Reynolds (1996) requiere de la existencia de un fluido intergranular presente en los límites de grano o en los poros entre granos, este mecanismo de deformación se debe a que los límites de grano perpendiculares a la dirección de aplastamiento se deforman con mayor intensidad, dando lugar a una mayor energía de deformación, debido a esto el mineral se disuelve con mayor facilidad a los largo de estas superficies causando un gradiente de concentración del materia disuelto que es trasportado a zonas de menor concentración-deformación (Figura 31) Winter, (2001).

Figura 31. Disolución por presión. Imágenes tomadas en nicoles cruzados y paralelos con objetivo 5x.



Cuando los mecanismos de deformación suele actuar se efectúan procesos de ordenamiento y desordenamiento de las redes cristalinas de los minerales cuando empieza el cese de la deformación estos procesos de ordenamiento tienden a llevar a red cristalina hacia el estado de energía mínima de reducción de la densidad de dislocaciones dando lugar a un agrupamiento de todos los procesos de ordenación, a esto se le llama recuperación (Figura 32) (Passchier y Trouw, 1996).

Figura 32. Fenocristal de cuarzo con evidencias de recuperación en donde se han formado subgranos.



5.3. GEOQUIMICA DE ROCA TOTAL

Para los análisis geoquímicos se utilizaron 3 muestras representativas del cuerpo riolítico (onz4-24-1, onz5-29-1 y onz5-27-1), las cuales fueron analizadas en el laboratorio ALS Colombia Ltda (ALS Geochemistry). A continuación se presenta los resultados de los elementos mayores, menores y traza (Tabla 3) utilizados para determinar la serie, tipo de roca, elementos menores y traza y tierras raras. Los datos presentados fueron procesados por medio del software Iqpet 2007 y GCDkit 4.1.

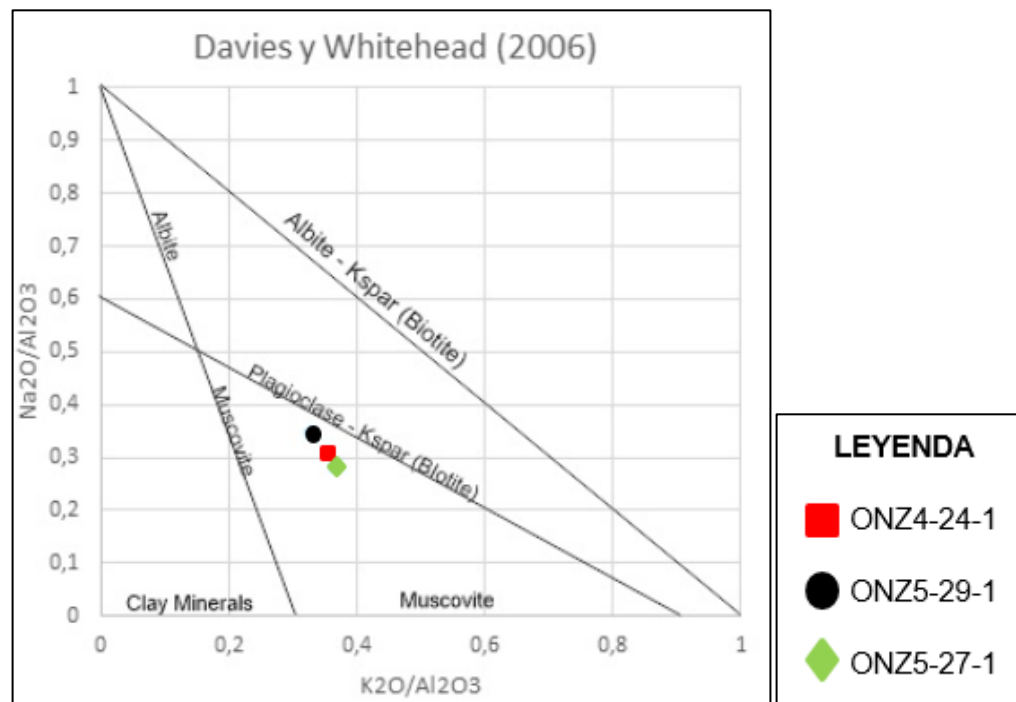
Inicialmente los datos geoquímicos fueron sometidos a un test de alteración siguiendo el método propuesto por Davies & Whitehead, (2006) el cual considera las relaciones de $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ vs K_2O y Al_2O_3 en valores molares (Tabla 2); Este test se realizó teniendo en cuenta que estas rocas han sufrido procesos de alteraciones hidrotermales (potásicas y sódicas) y fililita, reflejadas en la petrografía. Una vez realizado este procedimiento se comprueba que estas rocas no pasan el test de alteración ya que han presentado mayor grado de removilización de elementos y se proyectan en el campo de los feldespatos K, lo

cual indica un alteración y re-movilización de los elementos (Figura 33). A partir de esto los datos procesados a continuación solo se apoyan en elementos inmóviles HFSE Y REE. (Rollinson, 1993; Hollings y Wyman, 2005).

Tabla 2 Datos utilizados para realizar el test de alteración propuesto por Davies and Whitehead (2006).

Código de Muestra	Na2O	K2O	Al2O3	Cantidad Molal			Na2O/Al2O3	k2O/Al2O3
				Na2O	K2O	Al2O3		
ONZ 4-24-1	2,67	5,02	13,02	0,04306	0,04922	0,13851	0,3109	0,3553
ONZ-5-29-1	2,44	5,23	13,12	0,03935	0,05127	0,13957	0,282	0,3674
ONZ-5-27-1	2,91	4,52	12,68	0,04694	0,04431	0,13489	0,3479	0,3285

Figura 33. Test de alteración propuesto según Davies & Whitehead (2006).



Fuente: Davies & Whitehead (2006)

Tabla 3 Tabla de geoquímica total

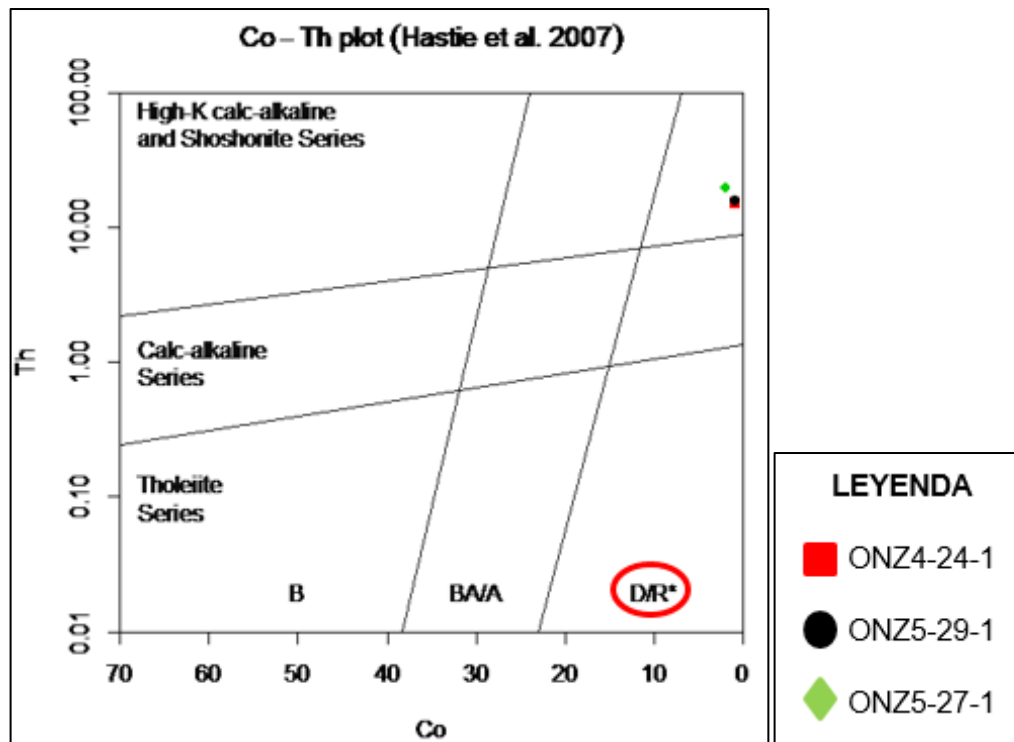
SAMPLE	Recvd Wt.	Al2O3	BaO	CaO	Cr2O3	Fe2O3	K2O	MgO
DESCRIPTION	kg	%	%	%	%	%	%	%
ONZ 4-24-1	0,55	13,02	0,09	0,09	0,01	1,79	5,02	0,17
ONZ-5-29-1	0,5	13,12	0,11	0,19	0,01	2,15	5,23	0,16
ONZ-5-27-1	0,51	12,68	0,12	0,07	0,01	2,69	4,52	0,22
SAMPLE	MnO	Na2O	P2O5	SiO2	SrO	TiO2	LOI 1000	Ba
DESCRIPTION	%	%	%	%	%	%	%	ppm
ONZ 4-24-1	0,03	2,67	0,04	76,8	0,01	0,12	0,93	711
ONZ-5-29-1	0,04	2,44	0,1	76,31	0,01	0,13	0,9	853
ONZ-5-27-1	0,07	2,91	0,02	75,86	0,01	0,19	0,89	931
SAMPLE	Ce	Cr	Cs	Dy	Er	Eu	Ga	Gd
DESCRIPTION	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
ONZ 4-24-1	68,8	<10	2,35	10,6	6,48	1,1	19,2	8,93
ONZ-5-29-1	71,4	<10	2,85	11	6,31	1,08	19,5	8,83
ONZ-5-27-1	137	<10	1,32	14,05	8,6	1,97	20,9	10,35
SAMPLE	Ge	Hf	Ho	La	Lu	Nb	Nd	Pr
DESCRIPTION	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
ONZ 4-24-1	<5	4,9	2,1	29,9	0,81	27,1	27,9	7,95
ONZ-5-29-1	<5	5,2	2,08	31,9	0,75	27,1	31,1	8,48
ONZ-5-27-1	<5	9,8	2,85	27,5	1,14	31,9	35,8	9,46
SAMPLE	Rb	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Th	Tm
DESCRIPTION	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
ONZ 4-24-1	174,5	7,38	6	41	1,9	1,69	15,25	0,89
ONZ-5-29-1	205	8,26	6	56,3	1,9	1,57	15,95	0,88
ONZ-5-27-1	144,5	9	5	79,3	2,2	2,03	20	1,34
SAMPLE	U	V	W	Y	Yb	Zr	Ag	Cd
DESCRIPTION	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
ONZ 4-24-1	5,08	5	3	62	5,83	116	<0.5	<0.5
ONZ-5-29-1	2,82	9	2	62,7	5,57	125	<0.5	<0.5
ONZ-5-27-1	4,36	17	2	73,7	7,62	274	<0.5	<0.5
SAMPLE	Co	Cu	Li	Mo	Ni	Pb	Sc	Zn
DESCRIPTION	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
ONZ 4-24-1	<1	8	<10	<1	<1	14	8	31
ONZ-5-29-1	1	7	10	<1	2	18	8	42
ONZ-5-27-1	2	5	10	<1	4	14	11	57
SAMPLE	As	Bi	Hg	In	Re	Sb	Sc	Se
DESCRIPTION	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
ONZ 4-24-1	1,6	0,21	<0.005	0,016	<0.001	<0.05	1,6	0,2
ONZ-5-29-1	0,8	0,21	0,009	0,012	<0.001	<0.05	1,5	0,2
ONZ-5-27-1	0,4	0,22	0,013	0,026	0,001	<0.05	2,2	0,7
SAMPLE	Te	Tl	S	C				
DESCRIPTION	ppm	ppm	%	%				
ONZ 4-24-1	0,01	0,1	0,01	0,02				
ONZ-5-29-1	0,01	0,12	0,01	0,02				
ONZ-5-27-1	0,02	0,11	<0.01	0,03				

Fuente: Laboratorio ALS Colombia Ltda (ALS Geochemistry).

Tipo de roca y serie magmática

Para la clasificación del tipo de roca y de la serie magmática se utilizó el diagrama de Hastie *et al.* (2007) de Th vs Co, para la clasificación de estas rocas volcánicas no se utilizó los diagramas que con SiO₂ debido a que estas rocas presentan enriquecimientos de sílice por procesos de silicificación. Las tres muestras analizadas se proyectan en el campo de composición riolítica-dacítica-Latita y traquita, que de acuerdo con los resultados obtenidos del análisis petrográfico estas rocas se clasifican como Riolitas con serie magmática calcoalcalina alta en potasio (Figura 34).

Figura 34. Diagrama Co vs Th, para hallar la serie magmática.

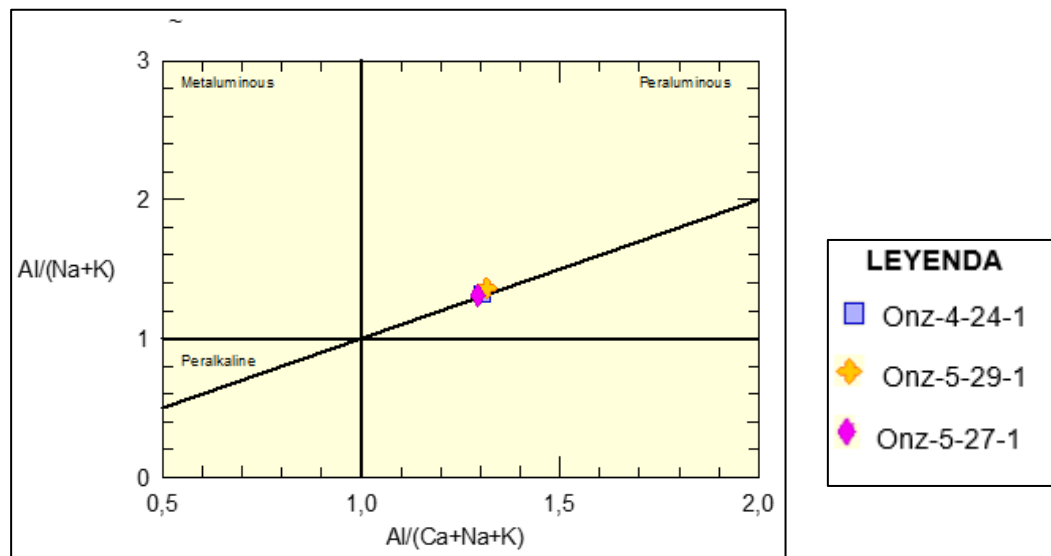


Fuente: Hastie *et al.* (2007)

Por otra parte, uno de los elementos para el análisis de las rocas volcánicas es el aluminio ya que es el segundo constituyente más abundante en estas rocas, por esta razón se utilizó el diagrama propuesto por Shand (1927) para la clasificación

del índice de saturación de alúmina, en donde las rocas Riolíticas mostraron un sobresaturamiento de aluminio, ya que la concentración molar de Al_2O_3 es mayor que la suma de la concentración molar de K_2O , Na_2O , CaO ; esto nos indica que la roca es peraluminica (Figura 35). Esto puede interpretarse como el resultado de una contaminación cortical o simplemente un enriquecimiento de alúmina en las fases más diferenciadas del magma debido a la cristalización fraccionada de los magmas más primitivos.

Figura 35. Diagrama de discriminación de contenido de aluminio en la roca propuesto por Shand (1927) en Rollinson (1996).



Fuente: Shand (1927)

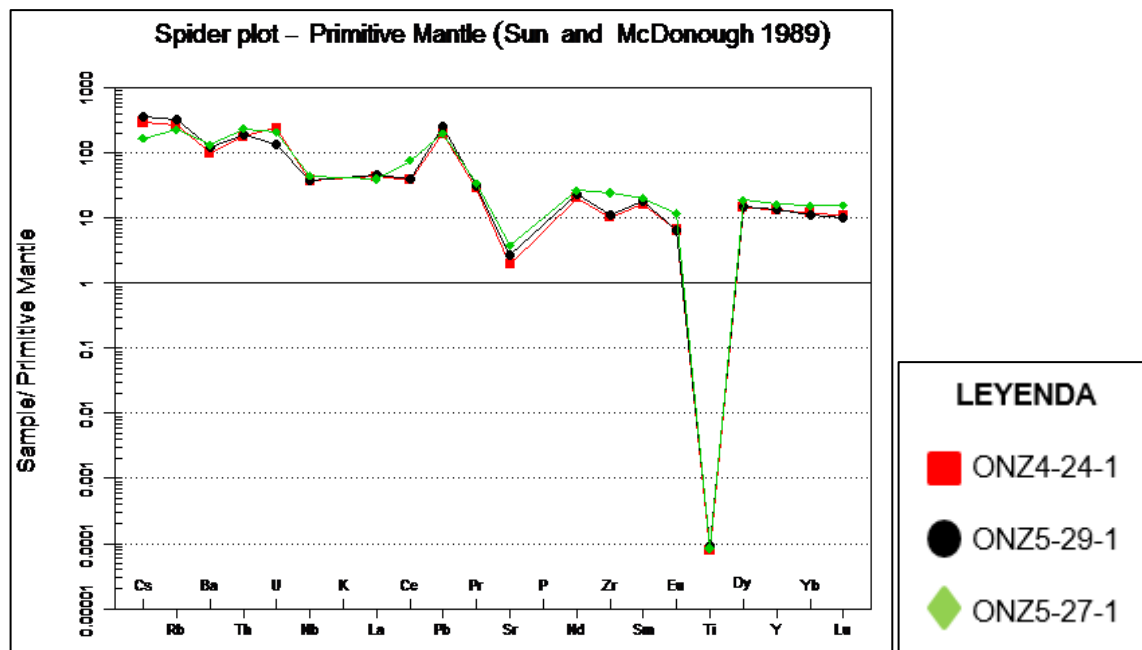
Elementos menores y traza

Los elementos menores y traza son definidos como los elementos presentes en una roca en concentraciones menores a 0.1Wt%, Los elementos LILE particularmente, son los más móviles, en las fases fluidas ricas en agua, mientras que el comportamiento de los elementos HFSE son menos móviles ya que están mucho más controlados por la composición de la región fuente y por los procesos de fraccionamiento mineral/fundido, durante la evolución magmática.

Para determinar los elementos menores y traza se realizó una normalización a los valores del manto primitivo con respecto al condrito según Sun and McDonough (1989), con los cuales se realizó el diagrama de REE (Figura 36). Este diagrama multielemental muestra enriquecimientos significativos de elementos LILE mayores a 100 como Cs, Rb, Ba, Th, U y un empobrecimiento con respecto a los elementos de radio iónico pequeño (HFSE) menores a 100. También se muestra una anomalía negativa de elementos como Sr y Ti y anomalía positiva en Pb que puede llegar a indicar que estas rocas están relacionadas a un marco tectónico de subducción

Los altos contenidos de Rb y Ba (elementos más móviles) pueden sugerir un metasomatismo lo cual reafirma lo visto en la petrografía defino por alteración hidrotermales de potasio y sodio.

Figura 36. Diagrama multielemental de contenido de elementos traza normalizado a los valores de manto primitivo según Sun and McDonough (1989).



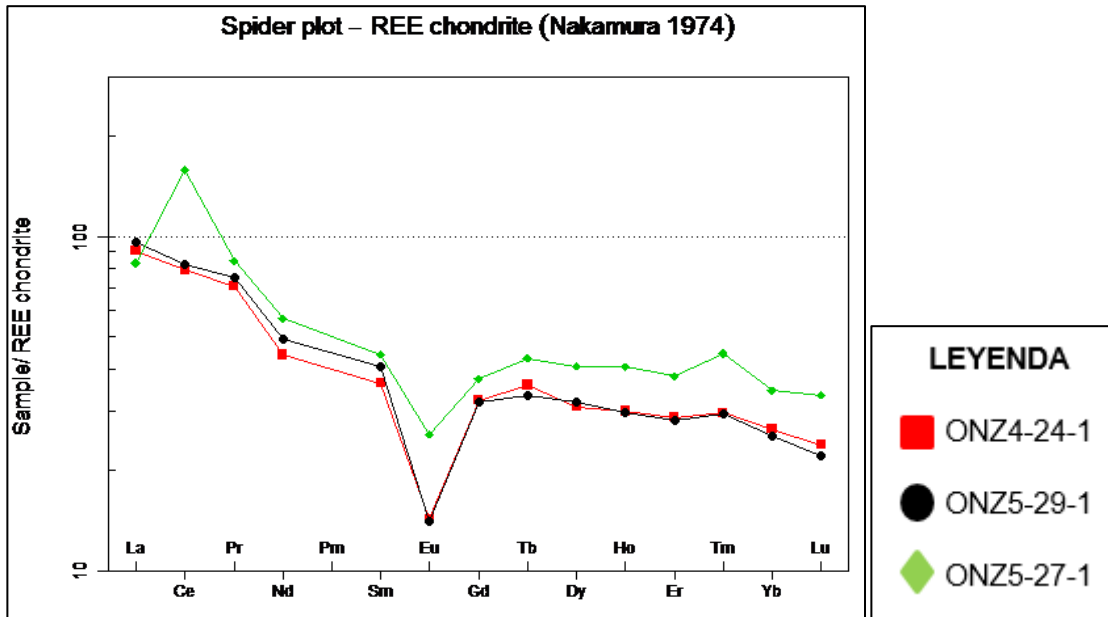
Fuente: Sun and McDonough (1989)

Elementos de Tierras Raras.

Las tierras raras (o REE, por Rare Earth Elements) comprenden un grupo de elementos químicos (Metálicos) de la serie de los lantánidos, integrado por las “tierras raras livianas o ligeras” (Light Rare Earth Oxides) como lo son el lantano, cerio, praseodimio, neodimio, promecio y samario. Y las “tierras raras pesadas” o “Heavy Rare Earth Oxides” (europio, gadolinio, terbio, disprosio, holmio, erbio, tulio, iterbio y lutecio). Por lo general también se incluyen entre las tierras raras al itrio y el escandio. Para determinar las tierras raras presentes en las riolitas de Onzaga se graficaron en un diagrama zigzag que debe ser normalizado a un condrito de referencia estándar propuesta por Nakamura (1974).

Este diagrama (Figura 37) indica un enriquecimiento de tierras raras livianas (LREE) como La, Ce Pr, Nd, Sm y un patrón casi plano para las tierras pesadas (HREE) como lo son Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb y Lu. En el diagrama se observa una anomalía negativa para el elemento Europio (Eu) que puede indicar separación de las plagioclasas por cristalización fraccionada de la roca fuente.

Figura 37. Diagrama de tierras raras normalizado a un condrito de referencia estándar propuesta por Nakamura (1974).



Fuente: Nakamura (1974).

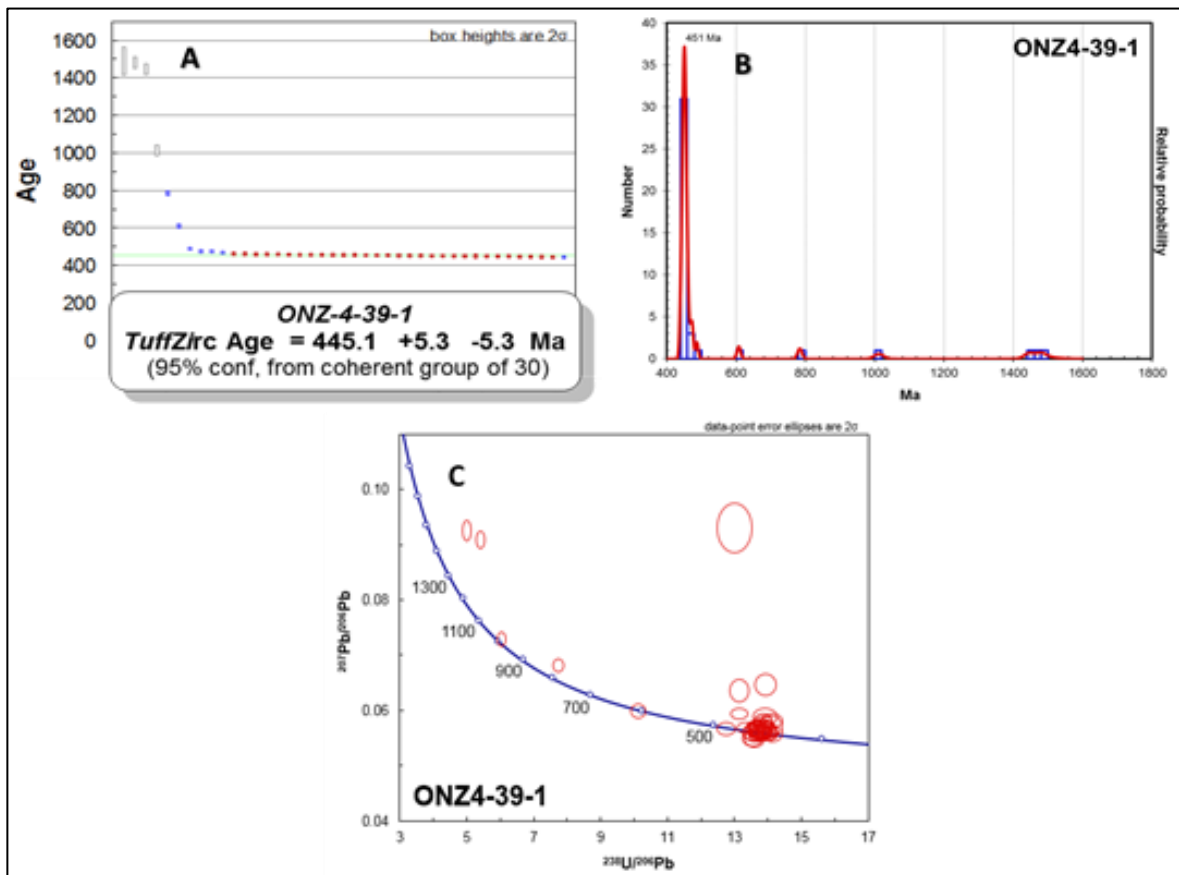
A partir del diagrama anterior se puede concluir que en el proceso de cristalización fraccionada y diferenciación magmática las REE pesadas se concentran en el manto mientras que las livianas lo hacen en la corteza.

5.4. GEOCROLOGIA

Con el propósito de establecer las edades de algunas litologías aflorantes en el sector de Onzaga más concretamente de la edad del cuerpo ígneo riolítico (ONZ-4-39-1), se realizó geocronología U/Pb en circones detríticos mediante el método LA-ICP-MS (Datos suministrados por el profesor Mantilla del grupo GIGBA) (Ver ANEXO 2). A continuación se describen los resultados obtenidos del estudio ya referido.

Para la Riolita de Onzaga recolectada en la vía que comunica al Municipio de Onzaga con El Ramal a 1km de la Escuela del Ramal se obtuvo un análisis de 41 dataciones en circones las cuales muestran cinco picos diferentes de poblaciones de datos: 1) Tres análisis de edades que van entre $1488,9 \pm 3,7$ Ma a $1444,7 \pm 13,7$ Ma el cual se interpreta como circones heredados de las rocas metamórficas del Proterozoico Neis de Bucaramanga y esquistos del silgara. 2) Uno con una edad de $1011,9 \pm 13,5$ Ma que puede estar asociado a circones heredados al evento orogénico greenviliano de alto grado de metamorfismo. 3) Dos análisis con edades de $783,8 \pm 6,4$ a $607,7 \pm 5,3$ Ma, evento Neoproterozoico. 4) 5 análisis con un rango de edad que varía entre $486,7 \pm 4,0$ Ma a $459,7 \pm 4,1$ Ma que se interpretan como circones heredados (477 Ma) Magmatismo calco alcalino el cual esta sincronizado con la Orogenia Caparonensis Famatiniano 5) Treinta análisis con una edad aproximada a $445,1 \pm 5,3$ Ma. Esta última; es la edad de cristalización de la riolita, el cual presenta un 95% de confiabilidad y la ubica en el Ordovícico tardío más exactamente en la Edad Hirnantiano, este periodo está asociado a un periodo magmático félsico del Ordovícico (Figura 38).

Figura 38. Edades U-Pb obtenidas a partir del análisis de circones de la muestra ONZ-4-39-1, mediante la técnica LA-ICP-MS (445.1 ± 5.3 Ma). A. Diagrama de distribución de las edades obtenidas (error 2σ); B. Distribución de los rangos de edades obtenidas a partir del análisis de las diferentes zonas al interior de los circones, en la cual se muestra la dominancia de las edades en torno a 445 Ma; C. Diagrama concordia U-Pb a partir de circones, donde se muestran las diferentes edades heredadas y la edad de cristalización de la Riolita.



6. CONCLUSIONES

- Teniendo en cuenta los resultados arrojados por la datación U-Pb en Circones detríticos se evidencia que estas rocas tienen una edad de $445,1 \pm 5,3$ Ma perteneciente al periodo Ordovícico tardío inicio del Silúrico entre las edades Hirmantiano-Rudaniano. Lo cual contradice lo dicho por Vargas, 1981. Quien creía que las riolitas de Onzaga hacían parte del componente extrusivo del stock de Mogotes y Santa Rosa, las cuales son de edad Jurásico.
- Los resultados obtenidos en el marco del presente estudio, apuntan a que las rocas ígneas de edad Ordovícico Tardío aflorantes en inmediaciones del Municipio de Onzaga, no presentan evidencias de metamorfismo regional, sino de metamorfismo dinamo-térmico, al parecer relacionado con la actividad de las fallas Boyacá y Chaguacá.
- El efecto posiblemente de la fallas Boyacá y Chaguacá sobre la rocas riolíticas, generan planos de cizallamiento, los cuales le confieren a las rocas un aspecto propio de una foliación tectónica derivada de procesos dinamo-térmicos.
- A partir de la petrografía se encontraron 5 eventos que hacen parte de la historia de roca las cuales son; 1) Evento ígneo 2) Eventos de alteración hidrotermal 3) Eventos de alteración fílica o sericítica 4) Evento Chl – Qtz 5) Evento supérgeno.
- Los datos de geoquímica de roca total, permiten sugerir que estas litologías ígneas se formaron a partir de magmas félsicos del Ordovícico Tardío originados en ambientes de subducción (magmas calco-alcalinos altos en potasio).

- La relación entre los procesos tectónicos y las alteraciones hidrotermales que afectaron éstas rocas, apuntan a que las fallas Boyacá y Chaguacá han servido de canales para la circulación de soluciones hidrotermales (con una génesis aún desconocida).

7. RECOMENDACIONES

- Estudiar con mayor detenimiento las fallas de Boyacá y Chaguacá las cuales se encuentra intersectadas en cercanías del Municipio de Onzaga ya que pueden tener un interés metalogénico debido a que son los posibles responsables de estas alteraciones potásicas, sódicas y fílica.
- Hacer una profundización sobre la génesis de las soluciones hidrotermales que afectaron estas rocas.
- Seguir realizando estudios sobre la edad donde culminaron los eventos de metamorfismo regional y el comienzo de los eventos magmáticos sin afectación por metamorfismo regional. Pues aún existe muchas dudas y diferentes hipótesis.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alemán, A., Ramos, V.A., 2000. The northern Andes. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A. (Eds.), Tectonic Evolution of South America. 31st International Geological Congress: Río de Janeiro, pp. 453e480.

Botello, F., Mantilla, F.L.C., y Colegial, J.D. 2014. Edad U-Pb en zircones y contexto tectónico de formación del Granito de Durania (Macizo de Santander, Colombia). Memorias XI Semana Técnica de Geología y IGeosciences anual meeting. UIS. Bucaramanga.

Cediel, F., Shaw, R.P., Caceres, C., 2003. Tectonic assembly of the northern Andean Block. In: Bartolini, C., Buffler, T., Blickwede, J. (Eds.), The Circum-Gulf of Mexico and Caribbean: Hydrocarbon Habitats, Basin Formation, and Plate Tectonics. AAPG Memoir, vol. 79, pp. 815e848.

Cordani, U., Cardona, A., Jimenez, D., Liu, D., Nutman, A., 2005. Geochronology of Proterozoic basement inliers in Colombian Andes: tectonic history of remnants of a fragmented Grenville belt. In: Vaughan, A., Leat, P., Pankhurst, R. (Eds.), Terrane Processes at Margins of Gondwana. Geological Society London, Special Publications, vol. 246, pp. 329e346.

Cruz, J y Restrepo A. (1973). Geología de los cuadrángulos h12 Bucaramanga y h13 Pamplona. Instituto Colombiano de geología y minería, INGEOMINAS. Bogotá, Colombia. 36p, párrafo 9.

Cruz, N., Carrillo, J.A. y Mantilla, L.C. 2014. Consideraciones petrogenéticas y geocronología de las rocas ígneas porfíricas aflorantes en la quebrada Ventanas

(municipio de Arboledas, Norte de Santander, Colombia): implicaciones metalogénicas. *Boletín de Geología*, 36(1): 103-118.

Davis, G. H. y Reynolds, S. J. (1996), *Structural geology of rocks and regions*, 2ª edición, John Wiley & Sons, Nueva York, USA,. Capítulo 4, Deformation Mechanisms and Microstructures, pp. 150-202.

Goldsmith, R., Marvin, R.F., Mehnert, H.H., 1971. Radiometric ages in the Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes. U.S. Geological Survey Professional Paper 750-D, pp. D44eD49.

Del Real, C. & Velandia, F. 2013. Cartografía geomorfológica y evidencias de actividad reciente de la Falla de Chaguacá, prolongación sur de la Falla de Bucaramanga en el Macizo de Floresta. XIV Congreso colombiano de geología, Bogotá. Memoria: 365-366.

Gregory-Wodzicki, K.M., 2000. Uplift history of the Central and Northern Andes: a review. *Geological Society of America Bulletin* 112 (7), 1091e1105.

LEGUIZAMÓN-BEJARANO, R., MOLANO-MENDOZA, J.C. & CARRASCO-RINCÓN, E. (2009): Rasgos epitermales encontrados en las rocas ubicadas al SW de la Vereda Santa Lucia, departamento del Cauca, Colombia.- *GEOLOGÍA COLOMBIANA*, 34, pp. 45-56, 5 Figs., Bogotá.

Lopez, Jose P., Bellos, Laura., (2006). Texturas y estructuras de las rocas ígneas: significado petrológico e implicancias en las condiciones de formación de las rocas. Instituto superior de correlación geológica

Mantilla, Luis C., Bissig, T., Valencia, V., Hart, C., (2013). The magmatic history of the Vetas-California mining district, Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*.

Mantilla-Figueroa, L.C., García-Ramírez, C.A., y Valencia, V.A. 2016. Propuesta de escisión de la denominada 'Formación Silgará' (Macizo de Santander, Colombia), a partir de edades U-Pb en circones detríticos. *Boletín de Geología*, 38 (1): 33-50.

Mantilla Figueroa, L. C. (2003). Guía de Laboratorios de petrología ígnea. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería Fisicoquímicas. Escuela de Geología, pp116-118.

Mantilla, F.L.C., Mendoza, F.H., Bissig, T., Craig, H., 2011. Nuevas evidencias sobre el magmatismo Miocénico en el distrito minero de Vetas-California (Macizo de Santander, Cordillera Oriental, Colombia). *Boletín de Geología UIS* 33 (1).

Mantilla, F.L.C., Bissig, T., Cottle, J., Hart, C., 2012. Remains of early Ordovician mantle-derived magmatism in the Santander Massif (Colombian Eastern cordillera). *Journal of South American Earth Sciences* 38, 1e12.

Ordóñez-Cardona, O., Restrepo-Alvarez, J.J., Pimentel, M.M., 2006. Geochronological and isotopic review of pre-Devonian crustal basement of the Colombian Andes. *Journal of South American Earth Sciences* 21, 372e382.

Passchier, C.W. y Trouw, R.A.J. (1996). *Microtectonics*. Berlin, Alemania. Capítulo 3, pp 26-56

Restrepo-Pace, P.A., 1995. Late Precambrian to early Mesozoic tectonic evolution of the Colombian Andes, Based on new geochronological, geochemical and isotopic data, Ph.D. thesis, Univ. of Ariz., Tucson. 194 pp.

Restrepo-Pace, P.A., Ruiz, J., Gehrels, G., Cosca, M., 1997. Geochronology and Nd isotopic data of Grenville-age rocks in Columbian Andes: new constraints for late Proterozoic-early Paleozoic paleocontinental reconstructions of Americas. *Earth and Planetary Sciences Letters* 154, 331e347.

Restrepo-Pace, P.A., Cediél, F., 2010. Northern South America basement tectonics and implications for paleocontinental reconstructions of the Americas. *Journal of South American Earth Sciences* 29, 764e771.

Restrepo, J.J., Ordóñez-Carmona, O., Armstrong, R., Pimentel, M., 2011. Triassic metamorphism in the northern part of the Tahamí Terrane of the central cordillera of Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, 1e11.

Royero, G.J.M., Clavijo, J., 2001. Mapa Geológico generalizado departamento de Santander. Escala 1: 400.000. Informe Ingeominas, 92 p.

Sarmiento-Rojas, L. F., Van Wess, J. D., and Cloetingh, S., (2006), Mesozoic transtensional basin history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes: Inferences from tectonic models: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 21, no. 4, p. 383-411.

Taboada, A., Rivera, Luis A., Fuenzalida, A., Cisternas, A., Philip, H., Bijwaard, H., Olaya, J., and Rivera, C.,(2000). Geodynamics of the northern Andes: Subductions and intracontinental deformation (Colombia). *Tectonics*, Vol.19, No. 5, Pages 787-813.

Velandia, F. 2025. Interpretación de transcurrencia de las fallas Soapaga y Boyacá a partir de imágenes Landsat TM. INGEOMINAS Boletín de Geología, Vol 27, No 44, Enero – Junio del 2005.

Van Der Lelij, R. 2013. Reconstructing north-western Gondwana with implications for the evolution of the Iapetus and Rheic Oceans: a geochronological, thermochronological and geochemical study. Thèse de doctorat, Univ. Genève, 4581: 248. <http://archiveouverte.unige.ch/unige:31653>.

Van Der Lelij, R., Spikings, R., Ulianov, A., Chiaradia, M., and Mora, A. 2015. Palaeozoic to Early Jurassic history of the northwestern corner of Gondwana, and implications for the evolution of the Iapetus, Rheic and Pacific Oceans. *Gondwana Research*. doi.org/10.1016/j.gr.2015.01.011.

Vargas, R., Jaramillo, C., Tellez, N., 1981. Geología del Cuadrángulo I-13, Málaga, Departamento de Santander. *Ingeominas Boletín Geológico* vol 24-No 3, pp.1-76.

Ward, D., Goldsmith, R., Cruz, B., Jaramillo, C., Restrepo, H., 1973. Geología de los Cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona, Departamento de Santander. U.S. Geological Survey e Ingeominas. *Boletín Geológico* vol. XXI (1e3), pp. 1e132.

BIBLIOGRAFICAS

ALEMÁN, A., RAMOS, V.A., The northern Andes. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A. (Eds.), Tectonic Evolution of South America. 31st International Geological Congress: Río de Janeiro, pp. 453e480.2000.

BOTELLO, F., MANTILLA, F.L.C., Y COLEGIAL, J.D. Edad U-Pb en zircones y contexto tectónico de formación del Granito de Durania (Macizo de Santander, Colombia). Memorias XI Semana Técnica de Geología y IGeosciences anual meeting. UIS. Bucaramanga. 2014.

CEDIEL, F., SHAW, R.P., CACERES, C., Tectonic assembly of the northern Andean Block. In: Bartolini, C., Buffler, T., Blickwede, J. (Eds.), The Circum-Gulf of Mexico and Caribbean: Hydrocarbon Habitats, Basin Formation, and Plate Tectonics. AAPG Memoir, vol. 79, pp. 815e848. 2003

CORDANI, U., CARDONA, A., JIMENEZ, D., LIU, D., NUTMAN, A., Geochronology of Proterozoic basement inliers in Colombian Andes: tectonic history of remnants of a fragmented Grenville belt. In: Vaughan, A., Leat, P., Pankhurst, R. (Eds.), Terrane Processes at Margins of Gondwana. Geological Society London, Special Publications, vol. 246, pp. 329e346. 2005

CRUZ, J Y RESTREPO A. Geología de los cuadrángulos h12 Bucaramanga y h13 Pamplona. Instituto Colombiano de geología y minería, INGEOMINAS. Bogotá, Colombia. 36p, párrafo 9. 1973.

CRUZ, N., CARRILLO, J.A. Y MANTILLA, L.C. Consideraciones petrogenéticas y geocronología de las rocas ígneas porfiríticas aflorantes en la quebrada Ventanas

(municipio de Arboledas, Norte de Santander, Colombia): implicaciones metalogénicas. *Boletín de Geología*, 36(1): 103-118. 2014.

DAVIS, G. H. Y REYNOLDS, S. J. *Structural geology of rocks and regions*, 2ª edición, John Wiley & Sons, Nueva York, USA,. Capítulo 4, Deformation Mechanisms and Microstructures, pp. 150-202. 1996.

DEL REAL, C. & VELANDIA, F. Cartografía geomorfológica y evidencias de actividad reciente de la Falla de Chaguacá, prolongación sur de la Falla de Bucaramanga en el Macizo de Floresta. XIV Congreso colombiano de geología, Bogotá. Memoria: 365-366. 2013

GOLDSMITH, R., MARVIN, R.F., MEHNERT, H.H., Radiometric ages in the Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes. U.S. Geological Survey Professional Paper 750-D, pp. D44eD49.1971.

GREGORY-WODZICKI, K.M., Uplift history of the Central and Northern Andes: a review. *Geological Society of America Bulletin* 112 (7), 1091e1105.2000.

LEGUIZAMÓN-BEJARANO, R., MOLANO-MENDOZA, J.C. & CARRASCO-RINCÓN, E. Rasgos epitermales encontrados en las rocas ubicadas al SW de la Vereda Santa Lucia, departamento del Cauca, Colombia.- *GEOLOGÍA COLOMBIANA*, 34, pp. 45-56, 5 Figs., Bogotá. 2009.

LOPEZ, JOSE P., BELLOS, LAURA., Texturas y estructuras de las rocas ígneas: significado petrológico e implicancias en las condiciones de formación de las rocas. Instituto superior de correlación geológica. 2006.

MANTILLA FIGUEROA, L. C. Guía de Laboratorios de petrología ígnea. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería Físicoquímicas. Escuela de Geología, pp116-118. 2003.

MANTILLA, F.L.C., BISSIG, T., COTTLE, J., HART, C., Remains of early Ordovician mantle-derived magmatism in the Santander Massif (Colombian Eastern cordillera). *Journal of South American Earth Sciences* 38, 1e12. 2012.

MANTILLA, F.L.C., MENDOZA, F.H., BISSIG, T., CRAIG, H., Nuevas evidencias sobre el magmatismo Miocénico en el distrito minero de Vetas-California (Macizo de Santander, Cordillera Oriental, Colombia). *Boletín de Geología UIS* 33 (1). 2011.

MANTILLA, LUIS C., BISSIG, T., VALENCIA, V., HART, C., The magmatic history of the Vetas-California mining district, Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*. 2013.

MANTILLA-FIGUEROA, L.C., GARCÍA-RAMÍREZ, C.A., Y VALENCIA, V.A.. Propuesta de escisión de la denominada 'Formación Silgará' (Macizo de Santander, Colombia), a partir de edades U-Pb en circones detríticos. *Boletín de Geología*, 38 (1): 33-50. 2016.

ORDÓÑEZ-CARDONA, O., RESTREPO-ALVAREZ, J.J., PIMENTEL, M.M., Geochronological and isotopic review of pre-Devonian crustal basement of the Colombian Andes. *Journal of South American Earth Sciences* 21, 372e382. 2006.

PASSCHIER, C.W. Y TROUW, R.A.J. *Microtectonics*. Berlin, Alemania. Capítulo 3, pp 26-56. 1996.

RESTREPO, J.J., ORDÓÑEZ-CARMONA, O., ARMSTRONG, R., PIMENTEL, M., Triassic metamorphism in the northern part of the Tahamí Terrane of the central cordillera of Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, 1e11. 2011.

RESTREPO-PACE, P.A., Late Precambrian to early Mesozoic tectonic evolution of the Colombian Andes, Based on new geochronological, geochemical and isotopic data, Ph.D. thesis, Univ. of Ariz., Tucson. 194 pp. 1995.

RESTREPO-PACE, P.A., CEDIEL, F., Northern South America basement tectonics and implications for paleocontinental reconstructions of the Americas. *Journal of South American Earth Sciences* 29, 764e771. 2010.

RESTREPO-PACE, P.A., RUIZ, J., GEHRELS, G., COSCA, M., Geochronology and Nd isotopic data of Grenville-age rocks in Columbian Andes: new constraints for late Proterozoic-early Paleozoic paleocontinental reconstructions of Americans. *Earth and Planetary Sciences Letters* 154, 331e347. 1997.

ROYERO, G.J.M., CLAVIJO, J., Mapa Geológico generalizado departamento de Santander. Escala 1: 400.000. Informe Ingeominas, 92 p. 2001.

SARMIENTO-ROJAS, L. F., VAN WESS, J. D., AND CLOETINGH, S., Mesozoic transtensional basin history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes: Inferences from tectonic models: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 21, no. 4, p. 383-411. 2006

TABOADA, A., RIVERA, Luis A., et all. Geodynamics of the northern Andes: Subductions and intracontinental deformation (Colombia). *Tectonics*, Vol.19, No. 5, Pages 787-813. 2000

VAN DER LELIJ, R. Reconstructing north-western Gondwana with implications for the evolution of the Iapetus and Rheic Oceans: a geochronological, thermochronological and geochemical study. Thèse de doctorat, Univ. Genève, 4581: 248. <http://archiveouverte.unige.ch/unige:31653>. 2013.

VAN DER LELIJ, R., SPIKINGS, R., ULIANOV, A., CHIARADIA, M., AND MORA, A.. Palaeozoic to Early Jurassic history of the northwestern corner of Gondwana, and implications for the evolution of the Iapetus, Rheic and Pacific Oceans. Gondwana Research. doi.org/10.1016/j. gr.2015.01.011. 2015.

VARGAS, R., JARAMILLO, C., TELLEZ, N., Geología del Cuadrángulo I-13, Málaga, Departamento de Santander. Ingeominas Boletín Geológico vol 24-No 3, pp.1-76. 1981

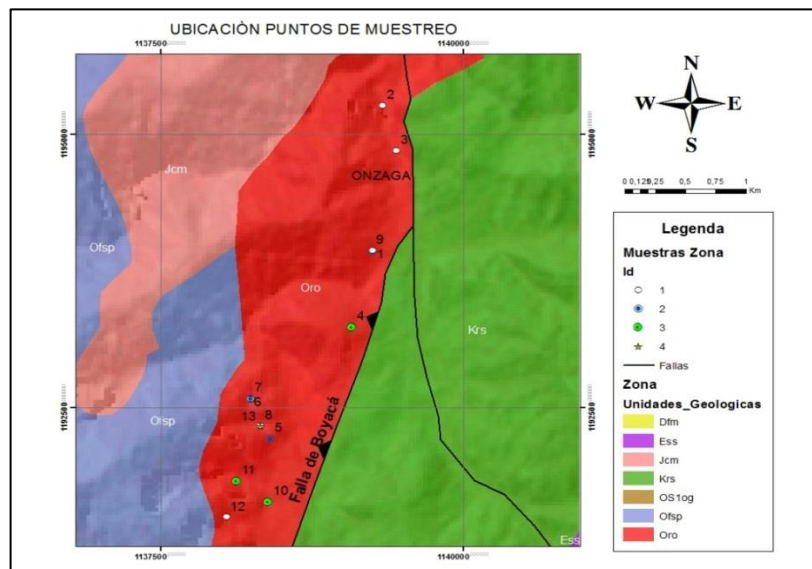
VELANDIA, F. Interpretación de transurrencia de las fallas Soapaga y Boyacá a partir de imágenes Landsat TM. INGEOMINAS Boletín de Geología, Vol 27, No 44, Enero – Junio del 2005.

WARD, D., GOLDSMITH, R., CRUZ, B., JARAMILLO, C., RESTREPO, H., Geología de los Cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona, Departamento de Santander. U.S. Geological Survey e Ingeominas. Boletín Geológico vol. XXI (1e3), pp. 1e132. 1973.

ANEXOS

ANEXO A. Tabla de localización de las muestras de estudio y localización espacial de las muestras estudiadas. Cada muestra tiene su número asignado además del símbolo asignado por su Id.

#	Código de Muestra	Coordenadas planas (m)			Análisis			
		X	Y	Z	Petrografía	Litogeoquímica	Datación	Id
1	onz3-41-1	1139246	1193927	2018	X			2
2	onz3-51-1	1139330	1195268	1901				1
13	onz3-53-1	1139446	1194855	1839				1
4	onz4-24-1	1139077	1193238	2179	X	X		3
5	onz4-30-1	1138398	1192215	2156	X			2
6	onz4-32-1	1138236	1192582	2228				1
7	onz4-32-2	1138236	1192582	2228	X			2
8	onz4-38-1	1138322	1192337	2147				1
9	onz4-73-1	1139246	1193942	2052				1
10	onz5-27-1	1138383	1191635	2091	X	X		3
11	onz5-29-1	1138126	1191827	2202	X	X		3
12	onz5-30-1	1138039	1191500	2250				1
13	onz4-39-1	1138322	1192337	2174			X	4



Fuente: Modificado del mapa de Unidades Cronoestratigrafía del Servicio geológico (2015)

ANEXO B. Tabla de datos geocronológicos.

sample name	U		Th		238U		1 sigma		207Pb		1 sigma		206/238		1 sigma		207/206		1 sigma		Best age		1 sigma		
	ppm	U	U	U	206Pb	% error	% error	206Pb	% error	age	abs err	age	abs err	age	abs err	age	abs err	age	abs err	age	abs err	age	abs err	age	abs err
ONZ4-39-1_1	814	0.35	0.35	0.35	10,1149	0.92%	0.92%	0.0599	0.83%	607.7	5.3	601.5	17.9	607.7	5.3	601.5	17.9	607.7	5.3	607.7	5.3	607.7	5.3	607.7	5.3
ONZ4-39-1_2	421	0.62	0.62	0.62	13,5494	0.98%	0.98%	0.0560	1.10%	459.0	4.3	453.6	24.2	459.0	4.3	453.6	24.2	459.0	4.3	459.0	4.3	459.0	4.3	459.0	4.3
ONZ4-39-1_4	5,594	0.52	0.52	0.52	13,7672	0.81%	0.81%	0.0556	0.61%	452.0	3.5	437.7	13.6	452.0	3.5	437.7	13.6	452.0	3.5	452.0	3.5	452.0	3.5	452.0	3.5
ONZ4-39-1_5	693	0.95	0.95	0.95	5,4111	1.00%	1.00%	0.0909	0.72%	1093.2	10.0	1444.7	13.7	1444.7	13.7	1444.7	13.7	1444.7	13.7	1444.7	13.7	1444.7	13.7	1444.7	13.7
ONZ4-39-1_6	658	3.83	3.83	3.83	13,1314	0.87%	0.87%	0.0636	1.34%	473.1	4.0	728.3	28.1	473.1	4.0	728.3	28.1	473.1	4.0	473.1	4.0	473.1	4.0	473.1	4.0
ONZ4-39-1_7	1,844	0.79	0.79	0.79	13,6998	0.78%	0.78%	0.0570	0.67%	454.2	3.4	493.4	14.7	454.2	3.4	493.4	14.7	454.2	3.4	454.2	3.4	454.2	3.4	454.2	3.4
ONZ4-39-1_8	376	1.04	1.04	1.04	13,5960	0.89%	0.89%	0.0549	1.11%	457.5	3.9	408.9	24.7	457.5	3.9	408.9	24.7	457.5	3.9	457.5	3.9	457.5	3.9	457.5	3.9
ONZ4-39-1_10	1,359	0.70	0.70	0.70	14,1183	0.93%	0.93%	0.0581	0.85%	441.2	4.0	534.5	18.6	441.2	4.0	534.5	18.6	441.2	4.0	441.2	4.0	441.2	4.0	441.2	4.0
ONZ4-39-1_11	1,652	2.32	2.32	2.32	13,1478	0.79%	0.79%	0.0594	0.69%	472.6	3.6	581.0	15.0	472.6	3.6	581.0	15.0	472.6	3.6	472.6	3.6	472.6	3.6	472.6	3.6
ONZ4-39-1_13	1,748	0.19	0.19	0.19	7,7352	0.87%	0.87%	0.0681	0.68%	783.8	6.4	871.9	13.8	783.8	6.4	871.9	13.8	783.8	6.4	783.8	6.4	783.8	6.4	783.8	6.4
ONZ4-39-1_14	369	0.61	0.61	0.61	5,0049	0.98%	0.98%	0.0926	0.79%	1174.3	10.5	1479.5	15.0	1174.3	10.5	1479.5	15.0	1174.3	10.5	1479.5	15.0	1479.5	15.0	1479.5	15.0
ONZ4-39-1_15	496	0.87	0.87	0.87	13,9350	0.92%	0.92%	0.0647	1.19%	446.8	4.0	763.9	24.9	446.8	4.0	763.9	24.9	446.8	4.0	446.8	4.0	446.8	4.0	446.8	4.0
ONZ4-39-1_16	897	1.01	1.01	1.01	13,7018	0.84%	0.84%	0.0561	0.73%	454.1	3.7	457.5	16.2	454.1	3.7	457.5	16.2	454.1	3.7	454.1	3.7	454.1	3.7	454.1	3.7
ONZ4-39-1_17	1,692	1.18	1.18	1.18	13,7961	0.92%	0.92%	0.0563	0.82%	451.1	4.0	463.0	18.1	451.1	4.0	463.0	18.1	451.1	4.0	451.1	4.0	451.1	4.0	451.1	4.0
ONZ4-39-1_18	1,041	1.17	1.17	1.17	6,0400	0.85%	0.85%	0.0729	0.67%	987.6	7.8	1011.9	13.5	987.6	7.8	1011.9	13.5	987.6	7.8	1011.9	13.5	1011.9	13.5	1011.9	13.5
ONZ4-39-1_19	1,881	0.99	0.99	0.99	13,8839	0.87%	0.87%	0.0561	0.74%	448.3	3.8	455.2	16.3	448.3	3.8	455.2	16.3	448.3	3.8	448.3	3.8	448.3	3.8	448.3	3.8
ONZ4-39-1_20	546	0.49	0.49	0.49	14,1337	0.88%	0.88%	0.0558	1.02%	440.7	3.7	445.4	22.5	440.7	3.7	445.4	22.5	440.7	3.7	440.7	3.7	440.7	3.7	440.7	3.7
ONZ4-39-1_21	641	0.90	0.90	0.90	13,9932	0.90%	0.90%	0.0560	0.99%	445.0	3.9	451.7	21.9	445.0	3.9	451.7	21.9	445.0	3.9	445.0	3.9	445.0	3.9	445.0	3.9
ONZ4-39-1_22	609	0.34	0.34	0.34	13,9870	0.88%	0.88%	0.0558	0.99%	445.2	3.8	446.4	21.8	445.2	3.8	446.4	21.8	445.2	3.8	445.2	3.8	445.2	3.8	445.2	3.8
ONZ4-39-1_23	679	3.75	3.75	3.75	13,6559	0.83%	0.83%	0.0569	0.88%	455.6	3.6	488.6	19.3	455.6	3.6	488.6	19.3	455.6	3.6	455.6	3.6	455.6	3.6	455.6	3.6
ONZ4-39-1_24	279	1.19	1.19	1.19	14,0633	1.04%	1.04%	0.0571	1.41%	442.8	4.4	495.4	30.9	442.8	4.4	495.4	30.9	442.8	4.4	442.8	4.4	442.8	4.4	442.8	4.4
ONZ4-39-1_25	424	0.54	0.54	0.54	13,7238	1.02%	1.02%	0.0562	0.99%	453.4	4.4	459.2	21.7	453.4	4.4	459.2	21.7	453.4	4.4	453.4	4.4	453.4	4.4	453.4	4.4
ONZ4-39-1_27	816	0.85	0.85	0.85	13,6047	0.80%	0.80%	0.0567	0.92%	457.2	3.5	478.4	20.3	457.2	3.5	478.4	20.3	457.2	3.5	457.2	3.5	457.2	3.5	457.2	3.5
ONZ4-39-1_28	238	0.62	0.62	0.62	12,9989	1.62%	1.62%	0.0930	1.98%	477.8	7.5	1488.9	37.0	477.8	7.5	1488.9	37.0	477.8	7.5	1488.9	37.0	1488.9	37.0	1488.9	37.0
ONZ4-39-1_29	652	1.17	1.17	1.17	13,8766	0.84%	0.84%	0.0576	0.95%	448.6	3.7	513.7	20.8	448.6	3.7	513.7	20.8	448.6	3.7	448.6	3.7	448.6	3.7	448.6	3.7
ONZ4-39-1_30	946	0.52	0.52	0.52	13,8200	0.84%	0.84%	0.0558	0.87%	450.4	3.7	443.5	19.1	450.4	3.7	443.5	19.1	450.4	3.7	450.4	3.7	450.4	3.7	450.4	3.7
ONZ4-39-1_31	955	0.35	0.35	0.35	12,7520	0.85%	0.85%	0.0567	0.85%	486.7	4.0	478.1	18.6	486.7	4.0	478.1	18.6	486.7	4.0	486.7	4.0	486.7	4.0	486.7	4.0
ONZ4-39-1_32	317	0.62	0.62	0.62	13,7851	0.94%	0.94%	0.0566	1.35%	451.5	4.1	476.3	29.5	451.5	4.1	476.3	29.5	451.5	4.1	451.5	4.1	451.5	4.1	451.5	4.1
ONZ4-39-1_33	454	0.83	0.83	0.83	13,9505	0.92%	0.92%	0.0564	1.12%	446.3	4.0	468.1	24.6	446.3	4.0	468.1	24.6	446.3	4.0	446.3	4.0	446.3	4.0	446.3	4.0
ONZ4-39-1_34	435	1.01	1.01	1.01	13,9344	0.86%	0.86%	0.0565	1.09%	446.8	3.7	472.4	23.9	446.8	3.7	472.4	23.9	446.8	3.7	446.8	3.7	446.8	3.7	446.8	3.7
ONZ4-39-1_35	397	0.71	0.71	0.71	13,9151	1.10%	1.10%	0.0589	1.08%	447.4	4.7	561.8	23.4	447.4	4.7	561.8	23.4	447.4	4.7	447.4	4.7	447.4	4.7	447.4	4.7
ONZ4-39-1_36	654	0.35	0.35	0.35	13,8616	0.85%	0.85%	0.0573	0.85%	449.0	3.7	501.9	18.7	449.0	3.7	501.9	18.7	449.0	3.7	449.0	3.7	449.0	3.7	449.0	3.7
ONZ4-39-1_37	1,747	5.48	5.48	5.48	13,3481	0.81%	0.81%	0.0569	0.73%	465.7	3.6	487.3	16.1	465.7	3.6	487.3	16.1	465.7	3.6	465.7	3.6	465.7	3.6	465.7	3.6
ONZ4-39-1_38	402	0.91	0.91	0.91	13,7381	0.88%	0.88%	0.0568	1.01%	452.9	3.8	483.5	22.1	452.9	3.8	483.5	22.1	452.9	3.8	452.9	3.8	452.9	3.8	452.9	3.8
ONZ4-39-1_39	524	0.86	0.86	0.86	13,6005	0.92%	0.92%	0.0560	1.18%	457.4	4.1	450.6	26.0	457.4	4.1	450.6	26.0	457.4	4.1	457.4	4.1	457.4	4.1	457.4	4.1
ONZ4-39-1_40	635	0.60	0.60	0.60	13,5294	0.92%	0.92%	0.0550	1.01%	459.7	4.1	410.8	22.4	459.7	4.1	410.8	22.4	459.7	4.1	459.7	4.1	459.7	4.1	459.7	4.1
ONZ4-39-1_41	911	0.81	0.81	0.81	13,6997	0.84%	0.84%	0.0556	0.87%	454.2	3.7	435.9	19.3	454.2	3.7	435.9	19.3	454.2	3.7	454.2	3.7	454.2	3.7	454.2	3.7
ONZ4-39-1_42	2,867	0.76	0.76	0.76	13,7950	0.84%	0.84%	0.0563	0.69%	451.2	3.7	463.1	15.2	451.2	3.7	463.1	15.2	451.2	3.7	451.2	3.7	451.2	3.7	451.2	3.7
ONZ4-39-1_43	698	0.58	0.58	0.58	13,8906	0.82%	0.82%	0.0568	0.96%	448.1	3.6	482.9	21.1	448.1	3.6	482.9	21.1	448.1	3.6	448.1	3.6	448.1	3.6	448.1	3.6
ONZ4-39-1_44	708	0.86	0.86	0.86	13,8484	0.83%	0.83%	0.0581	0.88%	449.5	3.6	535.2	19.1	449.5	3.6	535.2	19.1	449.5	3.6	449.5	3.6	449.5	3.6	449.5	3.6
ONZ4-39-1_46	541	1.05	1.05	1.05	13,7094	0.95%	0.95%	0.0565	1.18%	453.9	4.1	472.7	26.0	453.9	4.1	472.7	26.0	453.9	4.1	453.9	4.1	453.9	4.1	453.9	4.1