

**ESTUDIO MINERALÓGICO, PETROGRÁFICO Y GEOQUÍMICO DE LAS
ROCAS RIOLÍTICAS AFLORANTES EN EL MUNICIPIO DE ONZAGA,
SANTANDER.**

DEWIN ALEXANDER AGUILERA LIZARAZO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2011

**ESTUDIO MINERALÓGICO, PETROGRÁFICO Y GEOQUÍMICO DE LAS
ROCAS RIOLÍTICAS AFLORANTES EN EL MUNICIPIO DE ONZAGA,
SANTANDER**

DEWIN ALEXANDER AGUILERA LIZARAZO

Trabajo de grado presentado para obtener el título de geólogo

Director

Sait Khurama

Geólogo MSc, docente escuela de geología

Codirector

PhD Luis Carlos Mantilla Figueroa

Geólogo, docente escuela de geología

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS

ESCUELA DE GEOLOGÍA

BUCARAMANGA

2011

DEDICATORIA

***A MI MADRE Y MI PADRE,
QUIENES CON SU ESFUERZO HICIERON LO QUE SOY AHORA.***

AGRADECIMIENTOS

En esta ocasión quiero agradecer al profesor Luis Carlos Mantilla Figueroa que gracias a su espíritu de investigación y enseñanza, hizo posible que se realizara este proyecto, además de su apoyo en todos los aspectos de la tesis.

Al profesor Sait Khurama quien quiso hacer parte de este proyecto, prestando parte de su tiempo y conocimiento para la realización del mismo.

A la escuela de Geología de la universidad industrial de Santander que me enseñó durante varios años a ser geólogo y a ser mejor persona.

A Lady quien estuvo conmigo en todo momento para acompañarme, colaborarme y enseñarme, lo cual hizo posible que este proyecto se realizara.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	22
1. OBJETIVOS.....	23
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	23
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	23
2. METODOLOGIA	24
2.1. FASE DE CAMPO	24
2.2. FASE DE LABORATORIO	24
2.2.1 Análisis de Microscopía Óptica y Electrónica:	26
2.2.2 Análisis de química mineral:.....	26
2.2.3 Análisis de Difracción de Rayos X:.....	29
2.2.4 Análisis Geoquímicos de Elementos MMT:	29
3. LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO	30
3.1 VIAS DE ACCESO	31
4. ANTECEDENTES.....	33
4.1. ESTRATIGRAFÍA	33
4.2 ESTRUCTURAL:	35
4.2.1 Falla de Bucaramanga:	35
4.2.2 Falla de Onzaga o Boyacá:	36
5. RESULTADOS.....	39

5.1 GEOMORFOLOGIA	39
5.2 LOCALIZACIÓN DE MUESTRAS ESTUDIADAS.....	41
5.3 RASGOS MACROSCÓPICOS GENERALES DE LAS ROCAS RIOLÍTICAS	42
5.4 RASGOS MACROSCÓPICOS GENERALES DE LOS XENOLITOS ANDESÍTICOS IDENTIFICADOS AL INTERIOR DE LAS RIOLITAS	45
5.5. RASGOS MICROSCÓPICOS DE LAS ROCAS RIOLÍTICAS	46
5.5.1 Composición mineralógica de las riolitas:	46
5.5.1.1 Minerales primarios:	48
5.5.1.2 Minerales secundarios	54
5.5.2 Texturas peritíticas y antiperitíticas:	58
5.5.3 Texturas de deformación en las rocas riolíticas:	63
5.5.3.1 Creep por dislocación	66
5.5.3.2 Cataclasis:.....	66
5.5.3.3 Maclado mecánico:	68
5.5.3.4 Creep de disolución:	69
5.5.3.5 Recuperación:	72
5.6 RASGOS MICROSCÓPICOS GENERALES DE LOS XENOLITOS ANDESÍTICOS IDENTIFICADOS AL INTERIOR DE LAS RIOLITAS	73
5.6.1 Composición mineralógica de las andesitas.....	73
5.6.1.1 Minerales primarios	74
5.6.1.2 Minerales secundarios	76
5.6.2 Texturas de las rocas andesíticas:	78
5.7 DIFRACCIÓN DE RAYOS X.	80
5.7.1 Fases minerales de la las riolitas:	81

5.7.2 Fases minerales de las andesitas:	83
5.8. QUÍMICA MINERAL	85
5.8.1 Muestra A1:	86
5.8.2 Muestra A20-1:	94
5.8.3 Geotermometría de cloritas:	104
5.9 GEOQUIMICA TOTAL	106
5.9.1 Clasificación de la roca:	106
5.9.2 Serie de la roca:	107
5.9.3 Norma CIPW	110
5.9.4 Diagramas de variación de Harker	112
5.9.5 Tierras raras	114
5.9.6 Contexto tectónico	116
6. CONCLUSIONES	118
7. RECOMENDACIONES	121
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	122

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. Estructura de la fase de laboratorio.....	25
FIGURA 2. Microscopio marca Nikon de luz transmitida.	26
FIGURA 3. Microsonda electrónica CAMECA SX-100.	27
FIGURA 4. Localización área de estudio, modificado de googleearth (www.gogleearth.com).	31
FIGURA 5. Mapa de vías de acceso a Onzaga, modificado de googleearth (www.gogleearth.com).	32
FIGURA 6. Perfil A-A´ de las riolitas de Onzaga. Elevación vertical 1:1.	37
FIGURA 7. Esquema geológico de la distribución espacial de las Riolitas de Onzaga. Modificado de mapa geológico de Santander, plancha 152 Charala, INGEOMINAS.	38
FIGURA 8. Geomorfología del área de estudio: falla de Onzaga, rio Onzaga, rio Susa, cerró el Mojón y cuchilla el Ramal.	39
FIGURA 9. Cuchilla el ramal con derrubios en los drenajes. Fotografía tomada desde el cerro el mojón.....	40
FIGURA 10. Aspecto de los flancos valle del rio Onzaga, con laderas de pendiente suave y escarpes de pendiente media con abundante vegetación. Fotografía tomada vía Onzaga-San Joaquín.	40
FIGURA 11. Localización de muestras estudiadas. Esquema Geológico de fondo, modificado Plancha 152, Vargas <i>et al</i> (1987).	41
FIGURA 12. Aspecto de las rocas Riolíticas con textura microporfirítica con tamaños de fenocristales menores a 3 mm y afectadas por microfracturamiento.	43

FIGURA 13. Aspecto de las rocas riolíticas con textura microporfirítica. Los fenocristales presentan alargamiento, debido a procesos de deformación dúctil (reorientación preferente).	44
FIGURA 14. . Aspecto de las rocas Riolitas con alteración hidrotermal sericítica (lo cual da aspecto verdoso a la roca). La roca presenta microfracturamiento debido a su proximidad con la falla de Onzaga.	44
FIGURA 15. Aspecto de las morfologías irregulares del material andesítico, presentes al interior de las riolitas.....	45
FIGURA 16. . Aspecto de los materiales andesíticos presentes al interior de las rocas riolíticas en el sector del Municipio de Onzaga.	46
FIGURA 17. Diagrama de clasificación de rocas volcánicas propuesto por Strekeissen (1976) en Mantilla (2003).	47
FIGURA 18. Fenocristal de cuarzo con estiramiento y con bordes corroídos. Además este fenocristal presenta disolución por presión. Imagen tomada en nicoles cruzados (objetivo x10).....	48
FIGURA 19. Fenocristal de cuarzo. Imagen tomada en nicoles paralelos con objetivo x10.....	49
FIGURA 20. Fenocristal de albita con disolución por presión. Además se observa pequeñas manchas oscuras lo que indica una textura antipertítica de feldespato potásico, incluido en albita. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10.	50
FIGURA 21. Fenocristal de albita con disolución por presión. Además se observa pequeñas manchas oscuras lo que indica una textura antipertítica de feldespato potásico, incluido en albita. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10.	50
FIGURA 22. . Fenocristal de ortoclasa con pequeñas manchas blancas indicando una textura pertítica. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10.	51
FIGURA 23. Aspecto de los Fenocristales de ortoclasa. Imagen tomada en nicoles paralelos con objetivo x10.	51

FIGURA 24. Fenocristal de microclina con manchas blancas indicando textura perfitica. Imagen tomada en Nicoles cruzados con objetivo de x10.	52
FIGURA 25. Fenocristal de microclina. Imagen tomada en nicoles paralelos con objetivo de x10. B. aspectos maclas en rejilla de la microclina. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x40.	53
FIGURA 26. A. Fenocristales de sanidina. Imagen tomada en nicoles cruzados con aumento x10. B. Fenocristales de sanidina. Imagen tomada en nicoles paralelos con objetivo de x10.	53
FIGURA 27. A. Aspecto de los Circones. Imagen tomada en nicoles cruzados. B. Circón. Imagen tomada en nicoles paralelos con objetivo de x40.	54
FIGURA 28. A. Biotita. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo de x40. Imagen tomada en nicoles paralelos con objetivo x40. B. Biotita. Imagen tomada en nicoles paralelos con objetivo de x40.	55
FIGURA 29. Biotita relleno de zonas de fractura en nicoles cruzados con objetivo x40. B. imagen tomada en nicoles paralelos con objetivo x40.	55
FIGURA 30. Sericita en fenocristal de plagioclasa. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10.	56
FIGURA 31. Sericita en matriz de minerales con reorientación preferente. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10.	56
FIGURA 32. Cristal de hematita xenomorfa. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo de x40. B. Cristal de hematita xenomorfa. Imagen tomada en nicoles paralelos con objetivo x40.	57
FIGURA 33. Cristal subidiomórfico de clorita. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10. B. Cristal de clorita subidiomórfico. Imagen tomada en nicoles paralelos. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10.	58
FIGURA 34. Textura perfitica de albita incluida en ortoclasa. La albita se presenta dentro de la ortoclasa en forma de flamas. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10.	59
FIGURA 35. En la parte inferior se observa fenocristal de albita con manchas oscuras antiperfiticas de feldespató potásico. En la parte superior izquierda se	

observa fenocristal de ortoclasa con inclusiones periticas de albita. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10.....	59
FIGURA 36. Fenocristal de ortoclasa con inclusiones periticas de albita en forma de manchas; nótese que las manchas de albita presenta macla polisintética. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10.....	60
FIGURA 37. Textura antiperitica de albita incluida por feldespató potásico en forma de manchas oscuras. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10.	60
FIGURA 38. Diagrama de fases para el sistema albita - ortosa. Modificada de Bowen y Tuttle (1950) en López y Bellos (2006).	61
FIGURA 39. Mapa de deformaciones. Tomado de http://gmg.unizar.es/gmgweb/Asignaturas/Petro3PlanViejo/-metamorfismo/apuntes/mecanismos%20de%20deformacion.pdf	64
FIGURA 40. Cuadro de microtexturas más comunes generadas a partir de procesos dinámico-térmicos. Tomado de (http://teachserv.earth.ox.ac.uk/courses/es2-metrock/1pr2a.html).....	65
FIGURA 41. Fenocristal de cuarzo con extinción ondulante generada por dislocación intracristalina. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10.	66
FIGURA 42. A. Al centro se observa fragmento de fenocristal de plagioclasa con forma angular. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10. B. En el centro de la fotografía se observa fenocristal de ortoclasa con bordes rectos y forma angular. C. En la imagen se observa fragmentos angulares de antiguos fenocristales de cuarzo. Además estos presentan extinción ondulante debido a dislocación intracristalina. D. Fenocristal atravesado por una microgrieta, la cual es evidencia de una deformación frágil. Imagen en nicoles cruzados con objetivo x10.	67
FIGURA 43. Textura de granulación en donde la roca ha sido triturada de forma intensa de manera que los fenocristales han sido fragmentados y hacen parte de la matriz. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10.	68

FIGURA 44. A. Antiguo fenocristal de cuarzo con maclado mecánico en donde las maclas se aprecian solo en la parte derecha del antiguo fenocristal y estas tienden a acuñarse. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo de x10. B. Antiguo fenocristal de plagioclasa con maclado mecánico en donde las maclas se concentran en la parte superior del fenocristal, además este fenocristal está siendo afectado por disolución por presión. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo de x10.....69

FIGURA 45. A. Fenocristal de plagioclasa afectado por disolución por presión; la cual produce interpenetración de granos de la matriz en el fenocristal. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10. B. Antiguo fenocristal de cuarzo afectado por disolución por presión. Además se observa extinción ondulante presente en el cuarzo. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10. C. Antiguo fenocristal de cuarzo fragmentado debido a disolución por presión. Además este presenta extinción ondulante. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10.....70

FIGURA 46. Aspecto matriz con orientación preferente. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x40.71

FIGURA 47. A. Fenocristal de cuarzo con microfalla de cizalla producido por deformación plástica. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo de x5. B. Fenocristal de ortoclasa con microfalla de cizalla. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo de x10.....72

FIGURA 48. A. Fenocristal de cuarzo elongado con desarrollo de subgranos debido a dislocación. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo de x5. B. Fenocristal de cuarzo con desarrollo de subgranos. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10.73

FIGURA 49. Diagrama de clasificación de rocas volcánicas modificado de Strekeissen (1976) en Mantilla (2003).74

FIGURA 50. A. Fenocristal de cuarzo con borde de reacción de carbonato. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x40. B. Venas de cuarzo

xenomorfo, acompañadas de calcita. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x40.....	75
FIGURA 51. Textura afieltrada: microlitos de plagioclasa dispuestos al azar. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x40.....	76
FIGURA 52. Clinocloro rodeando calcita. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo de x10.....	76
FIGURA 53. Fenocristales de calcita aglomerados. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10.	77
FIGURA 54. Microlitos de plagioclasa sericitizados. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo de x40.....	78
FIGURA 55. Textura porfirítica con matriz microlítica de plagioclasa dispuesta al azar. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo de x10.....	79
FIGURA 56. Aspecto de la relación entre los minerales de alteración hidrotermal: Calcita hacia el centro, rodeada de clinocloro. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10.	79
FIGURA 57. Fenocristal de cuarzo con bordes de reacción y desarrollo de subgranos. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10.	80
FIGURA 58. Difractograma muestra A16-1.....	82
FIGURA 59. Diagrama de clasificación de rocas volcánicas modificado de Strekeissen (1976) en Mantilla (2003).	82
FIGURA 60. Difractograma muestra A12-1	84
FIGURA 61. Diagrama de clasificación de rocas volcánicas modificado de Strekeissen (1976) en Mantilla (2003).	84
FIGURA 62. Puntos tomados en la microsonda electrónica y las diferentes líneas analizadas.....	86
FIGURA 63. Punto en nicoles cruzados x10.....	87
FIGURA 64. Imagen microsonda electrónica.....	87
FIGURA 65. Diagrama de clasificación de feldespatos propuesto por Troger (1955) en Kerr (1965).	88
FIGURA 66. Punto en nicoles cruzados x10.....	89

FIGURA 67. Imagen microsonda electrónica.....	89
FIGURA 68. Diagrama de clasificación de feldspatos propuesto por Troger (1955) en Kerr (1965).	90
FIGURA 69. Punto en nicoles paralelos x10.....	91
FIGURA 70. Imagen microsonda electrónica.....	91
FIGURA 71. Punto en nicoles cruzados x10.....	92
FIGURA 72. Imagen microsonda electrónica.....	92
FIGURA 73. Diagrama de clasificación de feldspatos propuesto por Troger (1955) en Kerr (1965).	93
FIGURA 74. Puntos tomados en la microsonda electrónica y las diferentes líneas analizadas.....	94
FIGURA 75. Punto en nicoles paralelos x10.....	95
FIGURA 76. Imagen microsonda electrónica.....	95
FIGURA 77. Diagrama de clasificación de cloritas Si vs Fe ₂ + Fe ₃ propuesto por Foster (1962).	96
FIGURA 78. Diagrama de clasificación de feldspatos propuesto por Troger (1955) en Kerr (1965).	97
FIGURA 79. Punto en nicoles cruzados x40.....	97
FIGURA 80. Imagen microsonda electrónica.....	98
FIGURA 81. Diagrama de clasificación de cloritas Si vs Fe ₂ + Fe ₃ propuesto por Foster (1962).	98
FIGURA 82. Diagrama de clasificación de feldspatos propuesto por Troger (1955) en Kerr (1965).	99
FIGURA 83. Punto en nicoles cruzados x10.....	100
FIGURA 84. Imagen microsonda electrónica.....	100
FIGURA 85. Diagrama de clasificación de feldspatos propuesto por Troger (1955) en Kerr (1965).	101
FIGURA 86. Punto en nicoles paralelos x10.....	102
FIGURA 87. Imagen microsonda electrónica.....	102

FIGURA 88. Diagrama de clasificación de cloritas Si vs Fe ₂ + Fe ₃ propuesto por Foster (1962).	103
FIGURA 89. Diagrama de clasificación de feldspatos propuesto por Troger (1955) en Kerr (1965).	103
FIGURA 90. Diagrama TAS de clasificación de rocas volcánicas. Modificado de Rollinson (1996).	107
FIGURA 91. A. diagrama de discriminación serie de la roca (Baragar, 1971) en Rollinson (1996). B. diagrama discriminación subserie de la roca (Peccerillo y Taylor, 1976) en Rollinson (1996).	108
FIGURA 92. Diagrama de discriminación de rocas volcánicas utilizando cationes propuesto por Rickwood (1989) en Mantilla (2003).	108
FIGURA 93. Diagrama de discriminación de contenido de aluminio en la roca propuesto por Shand (1927) en Rollinson (1996).	109
FIGURA 94. Diagrama de discriminación de rocas volcánicas propuesto por Winchester y Floyd (1977) en Rollinson (1996).	110
FIGURA 95. Diagrama para clasificación de rocas volcánicas propuesto por Strekeissen (1976) en Mantilla (2003).	111
FIGURA 100. A. SiO ₂ vs Al ₂ O ₃ . B. SiO ₂ vs MgO .C. SiO ₂ vs FeO. D. SiO ₂ vs CaO. E. SiO ₂ vs Na ₂ O. F. SiO ₂ vs TiO ₂ . G. SiO ₂ vs K ₂ O. H. SiO ₂ vs P ₂ O ₃	113
FIGURA 97. Grafica de composición vs abundancia de REE.	115
FIGURA 98. Diagrama de discriminación de contexto tectónico de granitos propuesta por Pearce (1984) en Rollinson (1996).	116
FIGURA 99. Contextos geodinámicos en los que se genera vulcanismo. Tomado de Melgarejo (2000).	117

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. Localización de muestras de rocas, analizadas en el marco del presente estudio.	25
TABLA 2. Estándares para análisis de silicatos, utilizados durante los análisis de QM.	28
TABLA 3. Condiciones a las que fue operado equipo de difracción de rayos x.	29
TABLA 4. Porcentajes de la composición mineral Riolitas.	47
TABLA 5. Porcentajes composición mineral de las andesitas.	73
TABLA 6. Fases minerales de la Riolita.	81
TABLA 7. Fases minerales de la andesita.	83
TABLA 8. Análisis de microsonda electrónica de cloritas y formulas estructurales de cloritas calculadas en base 14 oxígenos.	105
TABLA 9. Geoquímica total.	106
TABLA 10. Datos de óxidos mayores con norma CIPW.	111
TABLA 11. REE.	114
TABLA 12. REE normalizadas con el condrito C1.	114
TABLA 13. Fraccionamiento de tierras raras y anomalías muestras A1 y A3-1.	116

ANEXOS

ANEXO 1. DIFRACCION DE RAYOS X

ANEXO 2. QUIMICA MINERAL

ANEXO 3. LIBRETA DIGITAL

ANEXO 4. CATALOGO DE MUESTRAS

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO MINERALOGICO, PETROGRÁFICO Y GEOQUÍMICO DE LAS ROCAS RIOLITICAS AFLORANTES EN EL MUNICIPIO DE ONZAGA SANTANDER*

AUTORES: Dewin Alexander Aguilera Lizarazo**.

PALABRAS CLAVE: Subvolcánicas, deformación, pertíticas, antipertíticas, micropertíticas, fenocristales.

Las rocas objetivo de este estudio, son los cuerpos localizados en los alrededores del municipio de Onzaga, Santander. Pertenecen al grupo plutónico de Santander y, mediante este estudio, se ha corroborado que corresponde a rocas subvolcánicas riolitas. Se evidencia que han sido afectadas por diferentes tipos de deformación, lo que indica que han sido fuertemente influenciadas por la falla de Onzaga, ya que es posible observar diferentes texturas a medida que se acercan a la falla, desde poco deformadas, hasta altamente trituradas.

Estas riolitas presenta texturas pertíticas y antipertíticas generadas por procesos de desmezcla (reacciones subsolvus). Compuestas por fenocristales de cuarzo, albita, microclina y ortoclasa y ocasionalmente se presenta sanidina. La matriz está compuesta por cuarzo, ortoclasa, sericita, biotita, circón. En una ubicación específica del cuerpo se presenta alteración propilítica de feldespatos a clorita debido a fuerte alteración hidrotermal. Ésta se clasificó como thuringita, por su alto contenido de hierro.

También se observan bolsas con formas irregulares y de tamaños de 3 a 4 m, de composición andesítica, presentes al interior de las riolitas. Éstas presentan fuerte diaclasamiento debido a un evento de deformación frágil lo que indica que también han sido afectadas por la falla de Onzaga.

La geoquímica indica que las riolitas pertenecen a una serie sub-alcalina y más precisamente calco-alcalina rica en potasio. Se clasifica como peraluminica. Los diagramas de Harker muestran que los óxidos el Al_2O_3 , Na_2O , CaO , TiO_2 , K_2O son compatibles en la roca, mientras que el MgO es incompatible. Se encontró que los óxidos tuvieron una alta movilidad en la roca. Hay un importante enriquecimiento en las tierras raras livianas LREE y empobrecimiento en las tierras raras pesadas HREE. La serie de la roca indica que su ambiente tecto-genético es una zona de subducción de márgenes continentales activos.

*Trabajo de grado, modalidad investigación

**Facultad de ingenierías físico-química. Escuela de Geología. Director: MSc. Sait Khurama

Co-director: Ph. D Luis C. Mantilla F

ABSTRACT

TITLE: MINERALOGY, PETROGRAPHY AND GEOCHEMIST OF RHYOLITIC ROCKS EXPOSED IN THE ONZAGA TOWN, SANTANDER.

AUTHORS: AGUILERA LIZARAZO Dewin Alexander **

KEY WORDS: Subvolcanic, deformation, pertitic, antipertitic, micropertitic, phenocrysts.

The targets in this study are the rock bodies located around the town of Onzaga, Santander. Belong to the plutonic group of Santander, and through this study has been confirmed that corresponds to subvolcanic rhyolite rocks. There is evidence that have been affected by different types of deformation, which means they have been strongly influenced by the Onzaga fault as it is possible to see different textures as they approach to fault, since shortly deformed to highly crushed.

These rhyolite show pertitic and antipertitic textures which have been generated by unmixing processes (subsolvus). They are composed by phenocrysts of quartz, albite, microcline and orthoclase and sanidine occurs occasionally. The matrix is composed of quartz, orthoclase, sericite, biotite, and zircon. In a specific body location presents propylitic alteration of feldspar to chlorite due to strong hydrothermal alteration. This was classified as thuringita for its high iron content.

Irregular shape Bodies are also observed and sizes from 3 to 4 m of andesitic composition, present within the rhyolites. They have strong jointing due to an event indicating brittle deformation have also been affected by the Onzaga fault.

The geochemistry indicates that the rhyolites belong to sub-alkaline series and more precisely calc-alkaline rich in potassium. It is classified as peraluminous. Harker diagrams show that the oxides Al_2O_3 , Na_2O , CaO , TiO_2 , and K_2O are compatible in the rock, while MgO is incompatible. It was found that the oxides had a high mobility in the rock. There is a significant enrichment in LREE and depletion in HREE .The rock series indicates that the tecto-genetic environment is a subduction area of active continental margins.

* Graduation Project, Research Modality.

** Faculty of Physical-Chemical Engineering. School of Geology. Director: MSc. Sait Khurama

Co-director: Ph. D Luis C. Mantilla F

INTRODUCCION

Las rocas ígneas son el resultado de procesos de fusión parcial que afectan tanto a la corteza como el manto. Por esta razón, su estudio es de enorme importancia para fines petrogenéticos. Por otro lado, los magmas generados en estos contextos, pueden favorecer la formación de importantes acumulaciones de metales, gracias a los procesos que acompañan la evolución de éstos, sean procesos exclusivamente ígneos o magmático-hidrotermales. Por esta razón, para estudiar la petrogénesis de las rocas ígneas y valorar la importancia metalogénica de los magmas responsables de la formación de éstas, se hace indispensable su caracterización preliminar, desde el punto de vista mineralógico, petrográfico y geoquímico.,

En el marco del contexto anteriormente mencionado, se realizó el presente estudio en un sector localizado en el municipio de Onzaga, Cordillera Oriental de Colombia (ver FIGURA 1), en donde afloran rocas ígneas riolíticas, al parecer relacionadas con un evento magmático de edad Jurásica.

El estudio aquí presentado, se desarrolló bajo la modalidad de un proyecto de tesis de pregrado 'Modalidad Investigación', en el marco de las investigaciones geológicas que desarrolla el grupo de investigación en Mineralogía, Petrología y Geoquímica (MINPETGEO), adscrito a la Escuela de Geología de la UIS.

La investigación desarrollada en el presente trabajo, se centró principalmente en caracterizar la mineralogía, petrografía y geoquímica de éstas rocas ígneas (tal como se mencionó anteriormente), aflorantes en el sector objeto de estudio, en aras de aportar al conocimiento petrogenético de las mismas, y para fines de establecer si los magmas asociados a éstas, pudieron tener condiciones favorables para activar posibles procesos magmático-hidrotermales de interés metalogénico.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar la mineralogía, petrografía y geoquímica de las rocas riolíticas aflorantes en el sector de Onzaga (Santander, Colombia), para aportar al conocimiento de historia magmática del Macizo de Santander.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Elaborar un esquema geológico con base a la cartografía geológica existente (mapas de la cordillera oriental, informes del INGEOMINAS, trabajos de campo, etc.), en aras de visualizar la distribución espacial de estas litologías riolíticas.
- Realizar un estudio mineralógico-petrográfico de las rocas riolíticas, apoyados en análisis de microscopía de luz transmitida, difracción de rayos X y química mineral.
- Realizar análisis geoquímicos de elementos mayores y menores, para establecer la serie y el posible contexto tectónico de su emplazamiento, apoyados en diagramas geoquímicos propuestos para tal fin.
- Recopilar, contextualizar e interpretar información que exista sobre estas rocas riolíticas, en aras de establecer su posición estratigráfica y contextualizar estas litologías en el mar demás rasgos geológicos Con geología local y regional.

2. METODOLOGIA

Para poder alcanzar los objetivos anteriormente mencionados, se estructuró una metodología de trabajo, la cual consistió en cuatro fases: a) Una fase de campo, previa colección análisis de la información existente; b) Fase de Laboratorio; c) Fase de interpretación de resultados y elaboración del informe final.

Debido a la importancia en la obtención de nuevos datos, a continuación se describen la fase de campo y la fase de laboratorio.

2.1. FASE DE CAMPO

Esta fase fue bastante importante, ya que es la parte fundamental del proyecto en la que se hicieron 21 estaciones, las cuales se representan en el mapa de estaciones (ver FIGURA 11. mapa localización de puntos). En cada estación se siguió un protocolo en el cual se toma las coordenadas x, y, z, la localización geográfica del punto, dibujo o esquema del afloramiento, descripción del tipo de roca, descripción de estructuras presentes, toma de datos estructurales, toma de fotos y por último toma de muestra de roca del afloramiento. La nomenclatura utilizada para las estaciones fue A1, A2, A3...A_n, en la libreta de campo se escribió el número de la foto, y la muestras se etiquetaron con el número de estación y el número de muestra (Ej. A1-1).

2.2. FASE DE LABORATORIO

Durante la fase de laboratorio (Ver esquema de la FIGURA 1. estructura de la metodología), se realizaron una serie de diferentes análisis a 12 muestras de riolita y 3 muestras de andesita los cuales se especifican en la siguiente tabla.

TABLA 1. Localización de muestras de rocas, analizadas en el marco del presente estudio.

MUESTRA	X	Y	Z	AP	DRX	GR	QM
Riolitas							
A1	1193086	1138586	1980				
A2-1	1193323	1139413	1926				
A3-1	1193967	1139853	1928				
A8-1	1193245	1139164	2134				
A11-1	1193000	1138569	1876				
A13-1	1193300	1138500	1875				
A14-1	1194708	1139444	1874				
A15-2	1194708	1139444	1881				
A16-1	1194964	1139338	1910				
A17-1	1195055	1139331	1907				
A19-1	1195259	1139342	1905				
A20-1	1195456	1139291	1918				
Andesitas							
A5-1	1194300	1139832	1929				
A12-1	1193323	1139000	1870				
A15-1	1194708	1139444	1881				

AP: análisis petrográfico; DRX; Difracción de rayos x; GT: Geoquímica de elementos Mayores, Menores y Trazas en roca total; QM: Química mineral.

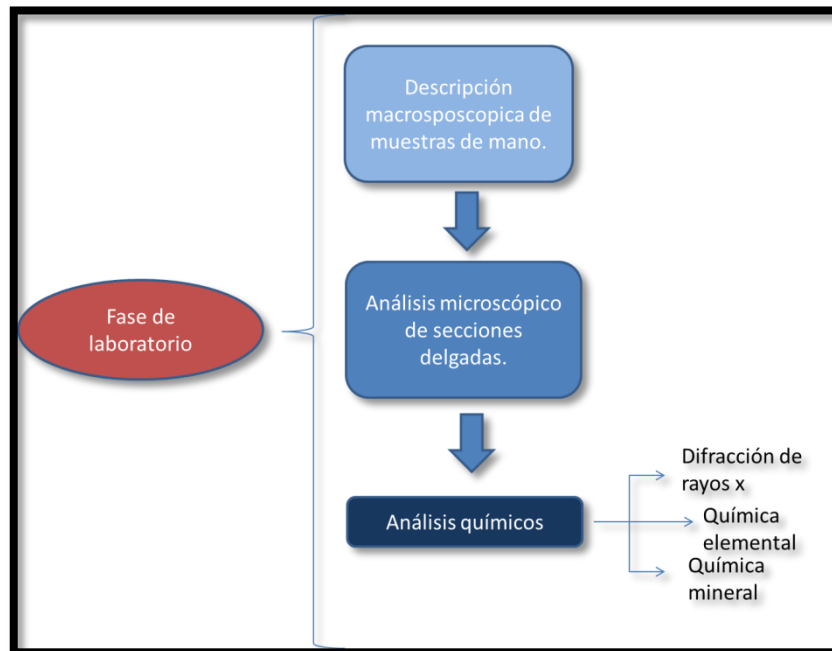


FIGURA 1. Estructura de la fase de laboratorio.

2.2.1 Análisis de Microscopía Óptica y Electrónica: Estos análisis fueron realizados para identificar y caracterizar las fases minerales y los rasgos petrográficos en general, presentes en las muestras de rocas estudiadas. La descripción macroscópica de las muestras se realizó utilizando una lupa binocular NIKON N1-150 modelo C-PS, disponible en el laboratorio de Arcillas de la Escuela de Geología de la UIS. Durante el estudio de las láminas delgadas, se utilizó un microscopio marca Nikon eclipse E200 de luz transmitida, con una cámara marca Nikon, disponible en el laboratorio de microscopía de la Escuela de Geología (ver aspecto del equipo utilizado FIGURA 2).



FIGURA 2. Microscopio marca Nikon de luz transmitida.

2.2.2 Análisis de química mineral: Para la análisis de química mineral, se utilizó una microsonda marca CAMECA SX-100 (ver FIGURA 3), de la Universidad de California (sede Santa Bárbara-USA). Las condiciones bajo las cuales se

realizaron los análisis de química mineral fueron las siguientes: dotada con cinco espectrómetros, un espectrómetro de energía dispersiva (EDS) y detectores SE, BSE, ABS y cátodo luminiscencia. El equipo esta automatizado basado en el software EPMA v.8.47 para la sonda. La resolución espacial para el análisis cuantitativo fue del orden de 1 a 3 micras y la resolución espacial para las imágenes de electrones secundarios y retrodispersados fue de aproximadamente 100 a 200 nm.



FIGURA 3. Microsonda electrónica CAMECA SX-100.

El equipo fue calibrado y puesto en operación para los análisis aquí presentados, bajo las siguientes condiciones: un voltaje de aceleración de 20 kV, un haz de luz de 300 nA con un diámetro de 5 μm . Los estándares usados y límites de detección fueron los siguientes:

TABLA 2. Estándares para análisis de silicatos, utilizados durante los análisis de QM.

Estándares para el analisis de silicatos	
Albita para Na K α	0,035278
Diopsido para Mg K α	0,02254
Ortoclasa para K	0,0224
Cromita para Cr K α	0,27565
MnO Sintetico para Mn K α	0,101869
Magnetita para Fe K α	0,150576
Anortita (Grass Valley) para Al K α	0,010199
Ortoclasa para Si K α	0,047875
Diopsido para Ca K α	0,020242
TiO ₂ sintetico para Ti K α	0,025333

La preparación de las muestras para análisis mediante microsonda electrónica se siguió bajo el siguiente procedimiento:

Las muestras de sección delgada deben estar muy bien pulidas y bastante limpias para evitar que la microsonda arroje datos erróneos. Estas son recubiertas con un material conductor como lo puede ser grafito, oro o aluminio. Finalmente se calibra el equipo con la corriente del haz y la aceleración del voltaje adecuada, así como disponer de la estandarización del equipo, dependiendo del análisis que se desea realizar. Posteriormente es introducida en la cámara la cual se acondiciona al vacío. Finalmente se calibra el equipo con la corriente del haz y la aceleración del voltaje adecuada, así como la estandarización del equipo, dependiendo del análisis que se desea realizar.

2.2.3 Análisis de Difracción de Rayos X: Estos análisis fueron realizados para identificar las fases minerales presentes en las muestras. El equipo utilizado para tal fin, fue un difractómetro de polvo marca PANalytical modelo X'PERT PRO MPD, el cual fue operado bajo las siguientes condiciones:

TABLA 3. Condiciones a las que fue operado equipo de difracción de rayos x.

Voltaje	45(kV)
Corriente	40(mA)
Rendijas Soller	0.04 rad (Incidencia y Difracción)
Rendijas Fijas	1/4 y 1/8 (Incidencia) y 1/4 (Difracción)
Muestreo	0.013° 2theta
Rango de Medición	4-70° 2theta
Radiación	CuKa1
Filtro	Ni
Detector	de estado sólido referencia PIXcel con 255 canales activos
Tipo de barrido	Continuo

Este equipo está disponible en la escuela de química de la Universidad Industrial de Santander. Las muestras analizadas mediante DRX, se prepararon de la siguiente manera: Se trituraron las muestras de mano en una trituradora mandíbula marca RETSCH tipo BB200, luego se introdujeron en un mortero de Agatha RM 100 RETSCH para lograr un tamaño mucho más fino; luego de esto se procedió a tomar 5 gramos de cada muestra pulverizada y se envió al laboratorio de difracción de rayos X de la escuela de química de la Universidad Industrial de Santander. El espécimen seleccionado de cada muestra fue montado en un portamuestra de aluminio mediante la técnica de llenado frontal.

2.2.4 Análisis Geoquímicos de Elementos MMT: En aras de analizar el contenido de elementos mayores, menores y trazas (MMT) en las rocas objeto de estudio, se enviaron muestras al *ALS LaboratoryGroup* en la ciudad de Bogotá. El proceso de preparación de la muestra es el siguiente: secado de la muestra, luego

una trituración y por ultimo una pulverización para llegar a obtener un tamaño de 75 μm .

Para la obtención de los multielementos se procede a diluir 1 g de muestra en agua regia (mezcla de ácido nítrico y clorhídrico). Por otro lado la obtención de óxidos mayores y REE se procede a la fusión de borato de litio con la muestra; por último el resultado de estas preparaciones se analiza mediante la técnica ICP-MS (espectrómetro de masa, acoplado a una de plasma inducido).

3. LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra en el departamento de Santander, municipio de Onzaga (ver FIGURA 4). El área abarca aproximadamente unos 12 Km^2 , localizados en inmediaciones al municipio de Onzaga, Santander. Las coordenadas del área de trabajo son las siguientes.



Onzaga está situado al sur-oriente del departamento, especial por su influencia muisca y guane, con más de 400 años de historia; El Municipio de Onzaga se encuentra localizado geográficamente $6^{\circ} 20' 50''$ latitud norte y $72^{\circ} 49' 14''$ longitud oeste. Territorialmente limita por el norte con Molagavita, por el este y el

sur con el departamento de Boyacá con los municipios de Soatá, Covarachía, Tipacoque, y Tutasá y por el Oeste con Coromoro y San Joaquín.

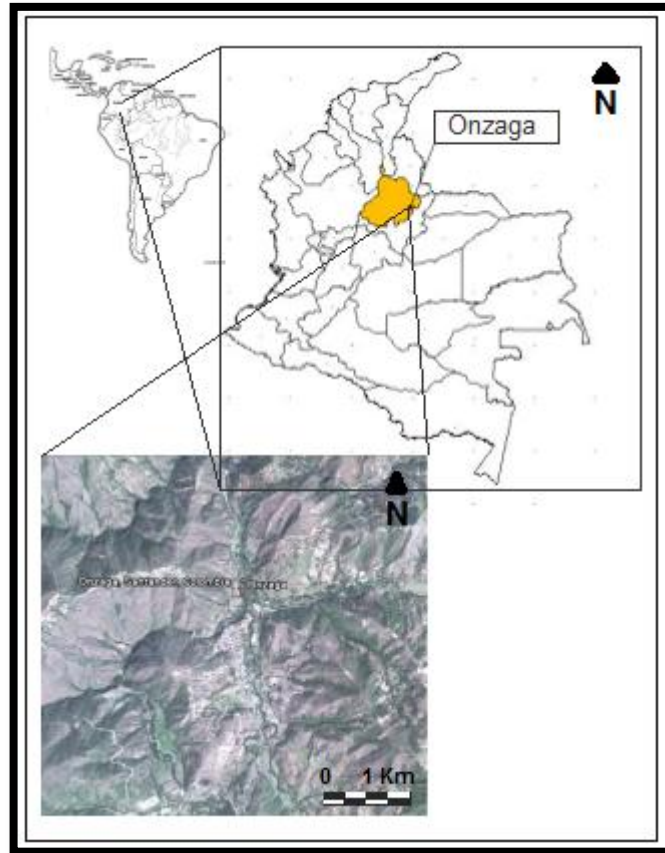


FIGURA 4. Localización área de estudio, modificado de googlearth (www.googleearth.com).

3.1 VIAS DE ACCESO

El Municipio de Onzaga está situado al sur-oriente del Departamento de Santander, en la provincia de Guanentá, cuya capital San Gil, dista de Bucaramanga aproximadamente 177 Km, por carretera Pavimentada hasta Mogotes y destapada de Mogotes a Onzaga, pasando por San Joaquín.

4. ANTECEDENTES

Con el propósito de contextualizar la geología del área de estudio, a continuación se resumen aquellos aspectos geológicos relacionados con la geología regional y local, tanto en sus aspectos estratigráficos, como de geología estructural, apoyados en la información geológica generada en el marco de estudios geológicos anteriores.

4.1. ESTRATIGRAFÍA

En el Macizo de Santander, en el cual se localiza el área de estudio, afloran rocas metamórficas del pre-devónico, agrupadas dentro de las formación Neis de Bucaramanga, Esquistos del Silgará según Ward *et al* (1983). Las rocas ígneas han sido agrupadas dentro de las siguientes unidades: Stock de Onzaga, Batolito de Mogotes (Vargas, 1984). Las rocas sedimentarias de edad cretácica han sido agrupadas dentro de las formaciones Formación la Luna y Formación Capacho (Vargas, 1984).

Por su importancia con el presente estudio, a continuación se relacionará la información disponible en la bibliografía, sobre las rocas riolíticas del área objeto de estudio.

Ward (1973), menciona cuerpos de riolita atravesando las rocas intrusivas del batolito de mogotes.

Cruz y Restrepo (1973), dicen que las rocas riolíticas. Afloran en los alrededores de Onzaga y se extienden al sur hacia el páramo de Canutos. Su límite occidental lo constituyen los metasedimentos de las Formación Silgara y el intrusivo granítico del Stock de Onzaga. Al oriente se halla en contacto fallado con sedimentos del Cretáceo y del Devónico, como lo son la Formación la Luna y la Formación Capacho.

Vargas (1981), habla sobre las riolitas de Onzaga describiéndolas como rocas que varían de color gris oscuro a gris claro, gris verdoso y rosado pálido y están compuestas de cuarzo, feldespato, máficos y accesorios muy escasos. Algunas son porfiríticas y aparentemente se trata de rocas intrusivas de carácter hipoabisal. Otras muestran claramente textura de flujo lo cual implica su origen extrusivo.

Vargas (1981), dice que las riolitas muestran un contacto claramente intrusivo con las rocas metamórficas de la Formación Silgara, dentro de las cuales aparecen como diques y silos. Asimismo, xenolitos de roca metamórfica aparecen dentro del cuerpo riolítico. Al sur del páramo de canutos las riolitas aparecen como silos dentro de sedimentos arcósicos del miembro Tíbet de edad devónica. En esta misma zona, los estratos inferiores de la Formación Montebel del jurásico inferior son aparentemente atravesados por riolitas. Sin embargo en otros sitios los sedimentos de Montebel parecen descansar inconformablemente sobre las riolitas. Al sur el contacto con el Stock de Onzaga parece ser transicional (ver FIGURA 6).

Pulido (1985), habla de las riolitas en una descripción microscópica donde muestran textura aplítica y los cristales de cuarzo, albita y en menor proporción ortoclasa, se encuentran en una matriz de cuarzo y feldespato. En las muestras de textura porfirítica, los fenocristales de cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa se presentan dentro de una matriz finogranular de feldespato, cuarzo y sericita. El óxido de hierro es el accesorio más común y en forma esporádica muscovita. Los minerales de alteración más frecuentes son la clorita y calcita.

Royero y Clavijo (2001), nombra cuerpos volcánicos principalmente riolitas que se encuentran al suroccidente del municipio de Onzaga, Las rocas volcánicas son de color gris, gris claro, gris verdoso y rosado pálido; presentan texturas afaníticas, porfiríticas y esporádicamente esferulíticas; están compuestas de plagioclasas, cuarzo, ortoclasa, máficos y escasos minerales accesorios.

La Universidad Industrial de Santander, por medio de la materia campo 2 en el segundo semestre del 2009 y primer semestre del 2010 realizo campañas de cartografía geológica a escala 1:25000, en donde describen los diferentes cuerpos aflorantes alrededor del municipio de Onzaga, Santander y en el que mencionan a las riolitas de Onzaga.

4.2 ESTRUCTURAL:

Las fallas más importantes, por su relación con el presente estudio, son la Falla de Bucaramanga y la falla de Onzaga.

4.2.1 Falla de Bucaramanga: Es el rasgo estructural más evidente y de gran extensión que cruza la región centro oriental del Departamento de Santander, en dirección aproximada N20°W y cuyo trazo rectilíneo se expresa claramente en imágenes de satélites y fotografías aéreas. Es considerada un sistema de fallas de rumbo (Campbell, 1965; León, 1991; Vargas y Niño 1992; Clavijo *et al.*, 1993; Clavijo, 1994), con movimiento sinistral, cuyo desplazamiento es calculado por Campbell (1965) y Tschanz *et al.* (1969, 1974) en unos 100 a 110 km; tiene una componente vertical importante, según (Julivert (1958, 1961); Ward, *et al.*, 1973; París y Sarria, 1988; Royero, 1994), que hace que esta falla se comporte en algunos sectores como inversa y en su extremo meridional aún de cabalgamiento (Boinet, 1985; Ulloa, 1990, Comunicación verbal). Boinet, *et al.* (1989) considera que durante el cretácico inferior hasta el paleoceno no hubo actividad tectónica de la falla; además los mismos autores, señalan que la importancia de la mayor actividad de esta falla es el desplazamiento de rumbo sinistral, el cual ocurrió a partir del Mioceno superior, simultáneamente con la Orogenia Andina (Royero y Clavijo, 2001).

4.2.2 Falla de Onzaga o Boyacá: La Falla de Onzaga es una falla satélite de la Falla de Bucaramanga, y arranca desde donde el Río Chicamocha describe un fuerte codo y se separa de la Falla de Bucaramanga. Esta falla afecta de norte a sur a él Batolito de Mogotes, el Stock de Onzaga y las riolitas de Onzaga, las cuales presentan una leve foliación en su textura y un fuerte diaclasamiento. Hacia el sur sirve de límite oeste a una franja cretácica de forma Sinclinal que se conserva como retazo interno dentro del Macizo. Esta Falla presenta una orientación Norte-Sur además es una Falla de Rumbo tipo dextral; Su movimiento parece ser muy vertical, pues su traza es muy rectilínea (Velandia, 2005); la Falla de Onzaga separa el Batolito de Mogotes de las cuarzomonzonitas de Santa Rosita (Velandia, 2005).

Este tipo de fallas afecta dinámicamente a rocas que se encuentran en la superficie y a grandes profundidades produciendo en ellas metamorfismo. El metamorfismo dinámico se puede desarrollar en cualquier tipo de roca y se da a lo largo de planos o zonas de falla, como resultado de deformación intensa en la zona inmediata del movimiento, generando áreas planas relativamente estrechas donde se da una fuerte trituración de la roca o deformación frágil hasta una deformación dúctil. La deformación o comportamiento frágil se asocia a la formación de discontinuidades (fracturas) y pérdida de cohesión interna de las rocas, en otras palabras la roca se fractura. Por otro lado, el comportamiento dúctil se refiere a la distribución "suave - uniforme" de la deformación a través de una masa rocosa sin la pérdida de cohesión, la roca se deforma "plásticamente", se recristaliza pero no se fractura (Ordoñez, 2000).

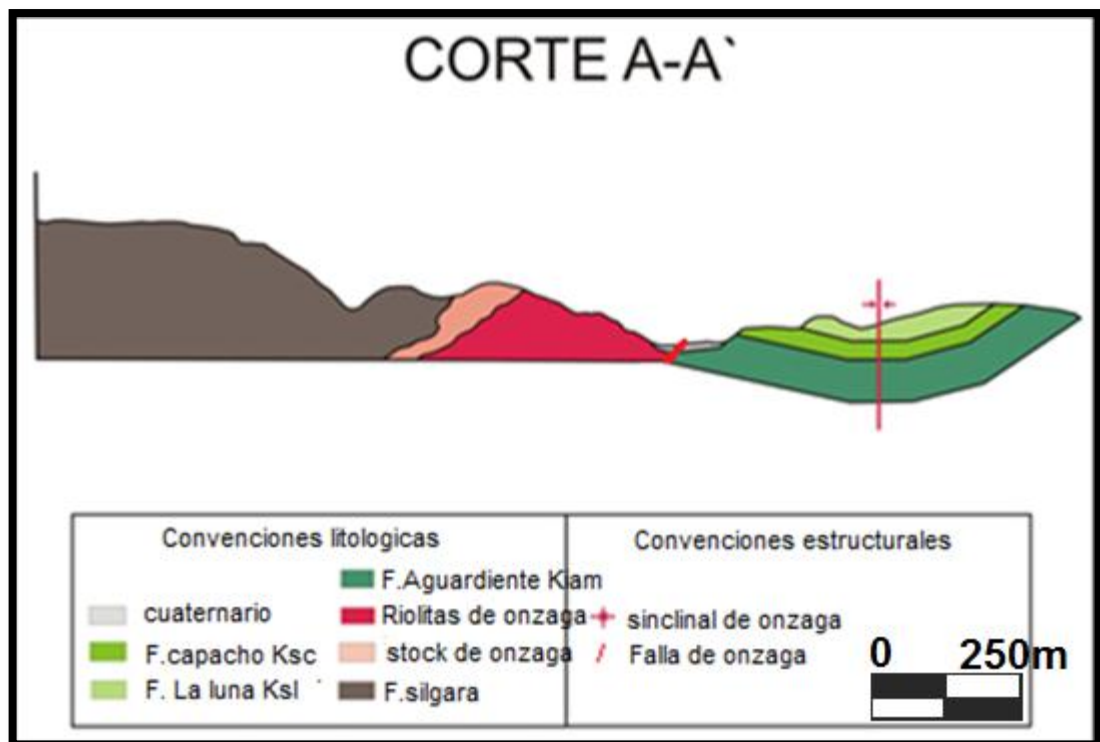
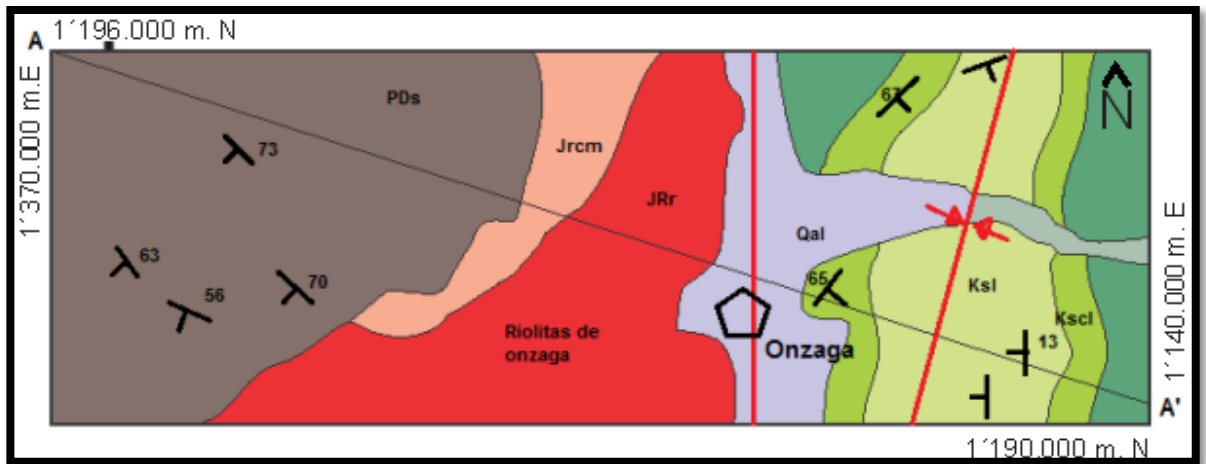


FIGURA 6. Perfil A-A' de las riolitas de Onzaga. Elevación vertical 1:1.

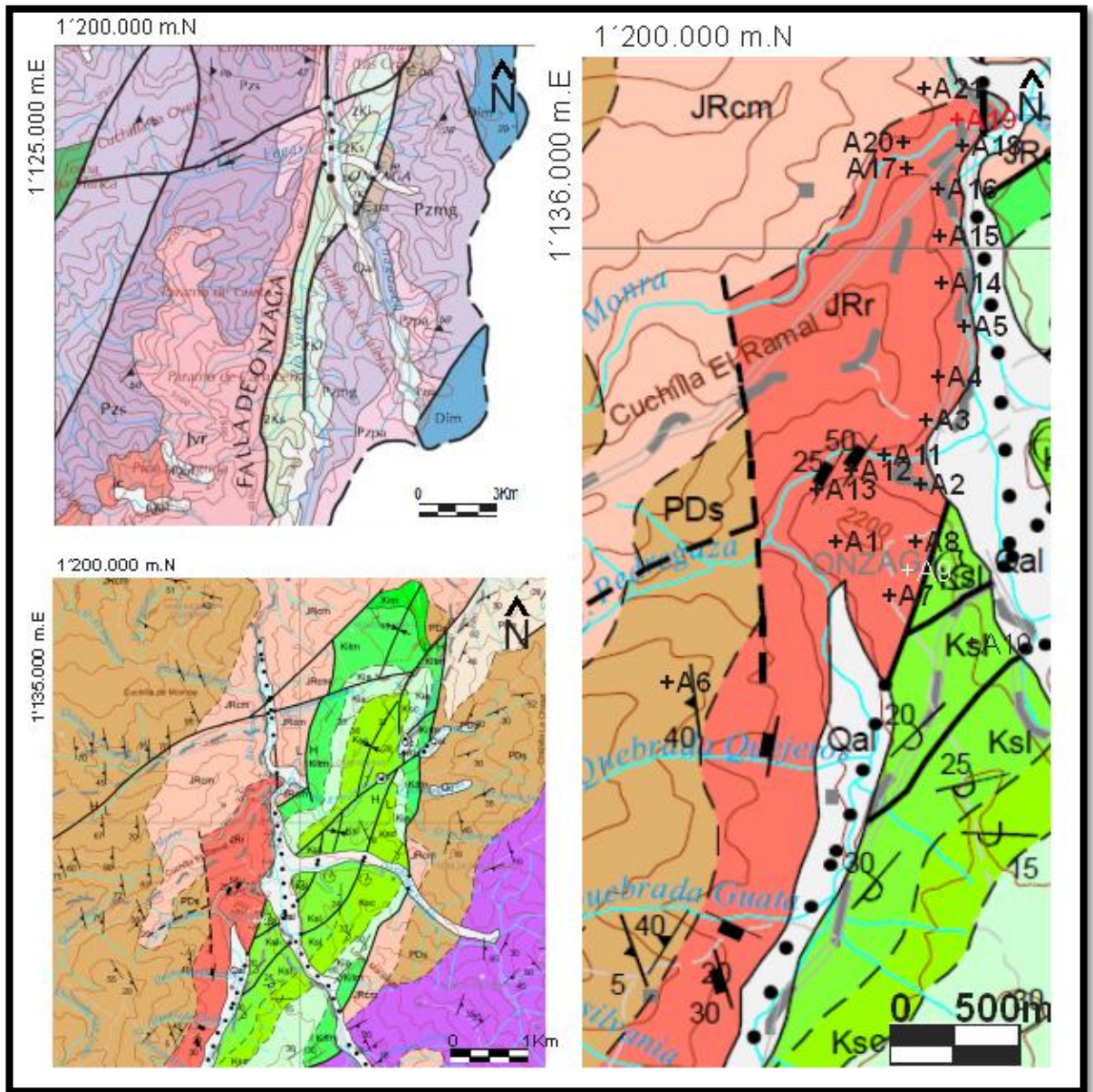


FIGURA 7. Esquema geológico de la distribución espacial de las riolitas de Onzaga. Modificado de mapa geológico de Santander, plancha 152 Charala, INGEOMINAS.

5. RESULTADOS

5.1 GEOMORFOLOGIA

El área de estudio está siendo controlada por laderas y escarpes de mediana a fuerte pendiente que se ven en los flancos del valle del río Onzaga, en los cuales se observa lineamiento debido a la falla de Onzaga. Los escarpes con pendientes fuertes, generan fenómenos remoción en masa de reptación, caídas de rocas, deslizamientos locales y torrencialidad de algunas quebradas. Por otro lado el cerro mojón constituido por riolitas presenta una forma de domo el cual está siendo rodeado por el río Susa. La cuchilla el ramal presenta escarpes de pendiente muy fuerte en los que se presenta derrubios en los drenajes y caída de rocas en el río Susa.

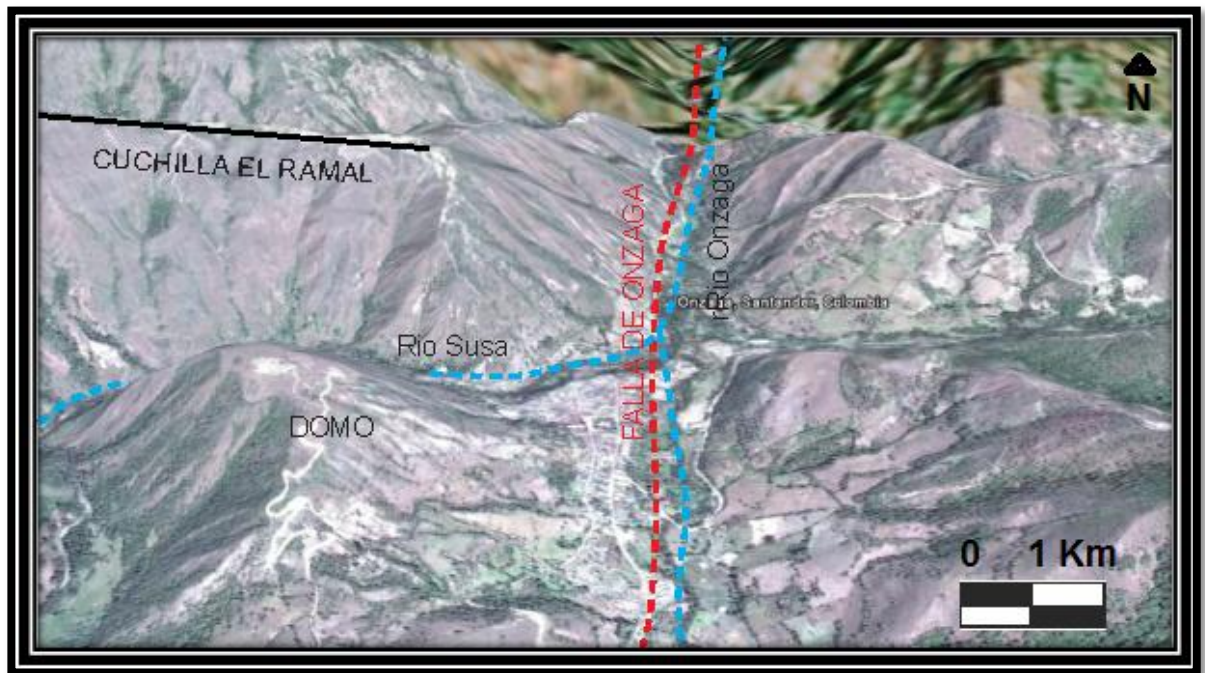


FIGURA 8. Geomorfología del área de estudio: falla de Onzaga, río Onzaga, río Susa, cerró el Mojón y cuchilla el Ramal.



FIGURA 9. Cuchilla el ramal con derrubios en los drenajes. Fotografía tomada desde el cerro el mojón.



FIGURA 10. Aspecto de los flancos valle del rio Onzaga, con laderas de pendiente suave y escarpes de pendiente media con abundante vegetación. Fotografía tomada vía Onzaga-San Joaquín.

5.2 LOCALIZACIÓN DE MUESTRAS ESTUDIADAS.

Se recolectaron 12 muestras de riolita y 3 muestras de andesita para su respectivo estudio petrográfico, mineralógico y geoquímico. A continuación se presenta una tabla en donde se especifican las coordenadas de donde fueron tomadas estas muestras.

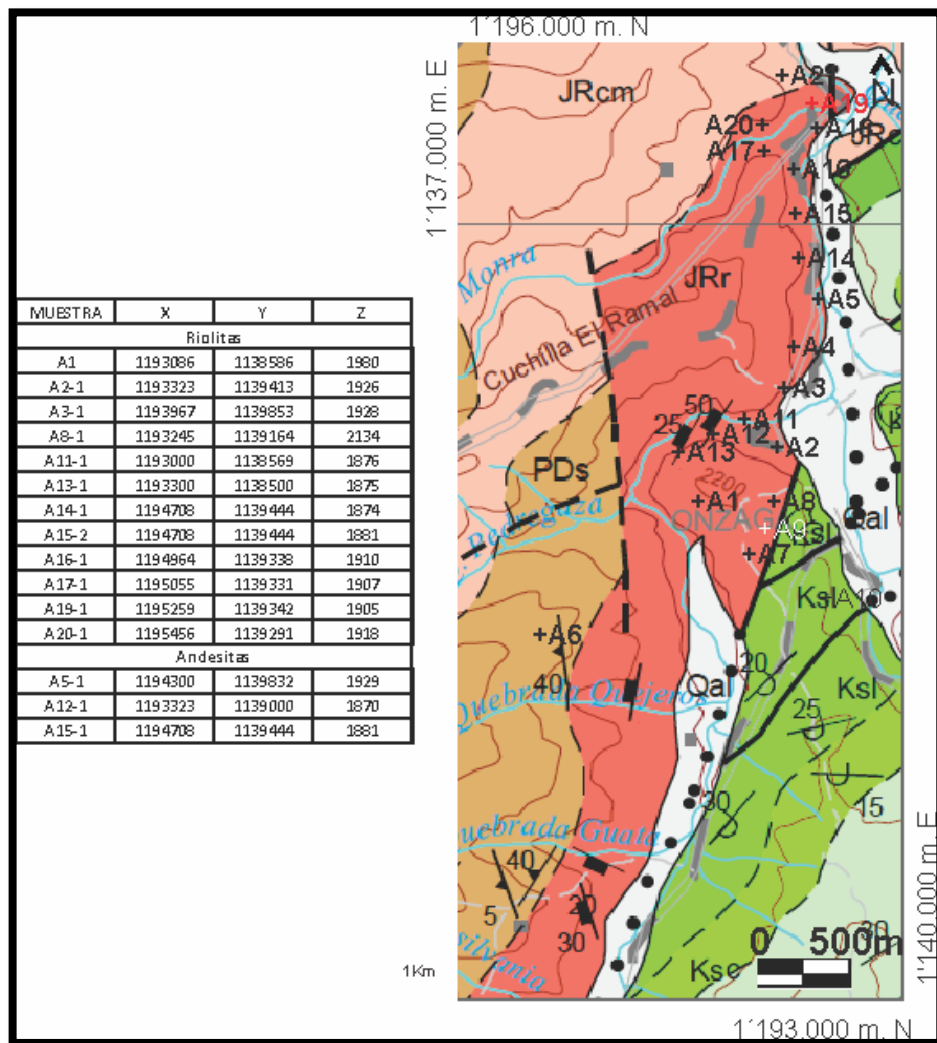


FIGURA 11. Localización de muestras estudiadas. Esquema Geológico de fondo, modificado Plancha 152, Vargas *et al* (1987).

5.3 RASGOS MACROSCÓPICOS GENERALES DE LAS ROCAS RIOLÍTICAS

A escala macroscópica, las rocas riolíticas aflorantes en inmediaciones del Municipio de Onzaga, se caracterizan por presentar tonalidades entre blanco y gris, aunque localmente se aprecia una tonalidad verde clara. La textura de la roca es porfirítica-afanítica (fenocristales en matriz afanítica). Sin embargo, debido al tamaño de sus fenocristales, en éste trabajo se han denominado como de textura microporfirítica, siguiendo la nomenclatura propuesta por Mackenzie *et al* (1997).

La matriz de estas litologías, se caracteriza por presentar una composición muy silíceas, de tamaño inferior a 30 micras. Por esta razón, la textura de la matriz es una textura afanítica. Entre la matriz afanítica, sobresalen los fenocristales de tamaño milimétrico, compuestos mayoritariamente de cuarzo, feldespato plagioclasa y potásico. Un aspecto llamativo de estas litologías, es la apariencia de ser una roca con reorientación preferente (desarrollo de planos de anisotropía-foliación-ver FIGURA 48). Tal como se describirá más adelante, éste aspecto de las rocas riolíticas, se debe a su proximidad a la falla de Onzaga y por ello, esto evidencia un fenómeno de deformación dúctil, el cual debió afectar a estas litologías con posterioridad a su formación. Por otro lado, éstas rocas presentan igualmente otra familia de planos de anisotropía, tipo diaclasas, las cuales presentan una dirección de azimut de rumbo 185/45, 40/25, 210/45, 20/45, 60/80, 155/60, 240/80, NS/60, 90/50, claramente generadas posiblemente durante diferentes eventos de deformación frágil, a diferencia de la historia dúctil antes mencionada (desarrollo de foliación tectónica).

Tomando como referencia la localización de las muestras respecto a la falla de Onzaga, se observa una mayor penetratividad de los planos de anisotropía (tipo foliaciones) en aquellas rocas más próximas a la falla, en comparación con aquellas que están ligeramente más distales.

Las rocas más próximas a la falla de Onzaga, son las que adquieren un aspecto más foliado. Considerando que esto es el producto de una deformación dúctil, podemos denominar estas rocas (las más próximas a la falla), como filonitas, por su aspecto parecido a las filitas, pero formadas por procesos dinamo-térmicos (a diferencia de un proceso metamórfico regional, que generalmente genera las filitas).



FIGURA 12. Aspecto de las rocas riolíticas con textura microporfirítica con tamaños de fenocristales menores a 3 mm y afectadas por microfracturamiento.



FIGURA 13. Aspecto de las rocas riolíticas con textura microporfírica. Los fenocristales presentan alargamiento, debido a procesos de deformación dúctil (reorientación preferente).



FIGURA 14. . Aspecto de las rocas riolitas con alteración hidrotermal sericítica (lo cual da aspecto verdoso a la roca). La roca presenta microfracturamiento debido a su proximidad con la falla de Onzaga.

5.4 RASGOS MACROSCÓPICOS GENERALES DE LOS XENOLITOS ANDESÍTICOS IDENTIFICADOS AL INTERIOR DE LAS RIOLITAS

Bolsas de tamaños de 3 a 4 m, de composición andesítica, se presentan al interior de las riolitas, con formas irregulares. Estas presentan fuerte diaclasamiento debido a un evento de deformación frágil lo que indica que estas rocas también han sido afectadas por la falla de Onzaga.

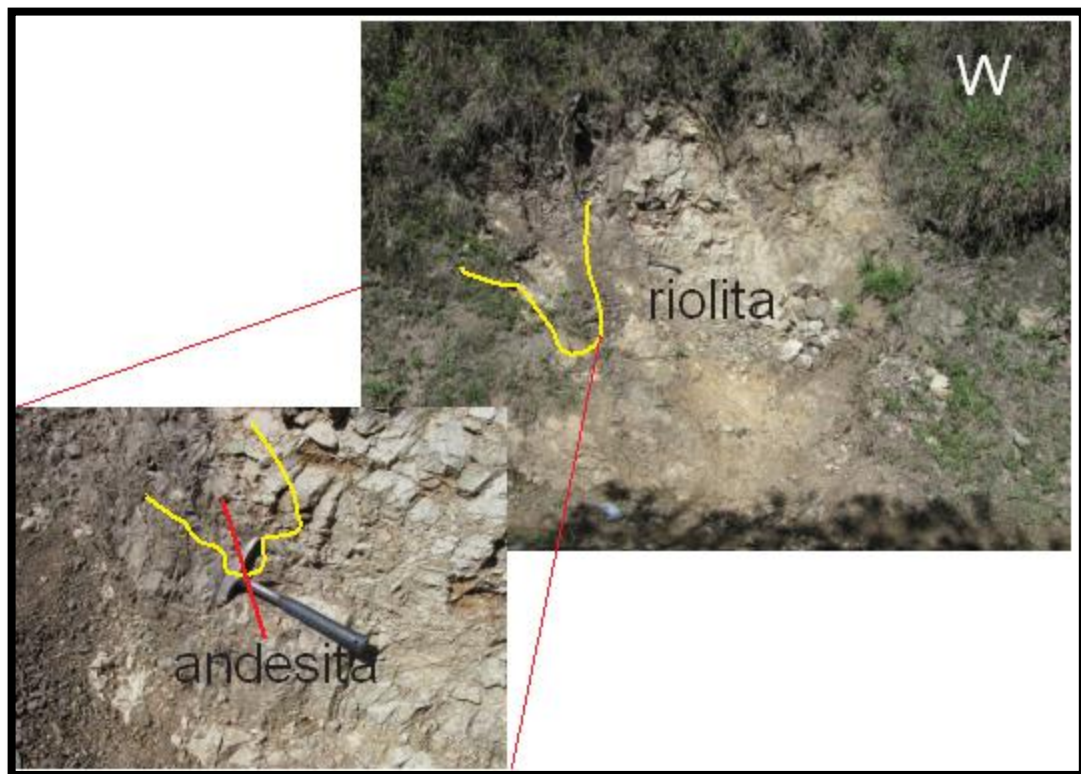


FIGURA 15. Aspecto de las morfologías irregulares del material andesítico, presentes al interior de las riolitas.

Las andesitas en muestra de mano presentan textura afanítica, colores melanocráticos (verdes oscuros), y suelen ser afectadas por los mismos procesos

de microfracturamiento que afectan las rocas riolíticas. La roca presenta una estructura masiva y presenta un diaclasamiento muy penetrativo, seguramente, debido a la influencia de la falla de Onzaga.



FIGURA 16. . Aspecto de los materiales andesíticos presentes al interior de las rocas riolíticas en el sector del Municipio de Onzaga.

5.5. RASGOS MICROSCÓPICOS DE LAS ROCAS RIOLÍTICAS

Para la realización de este estudio, se procedió a analizar 15 secciones delgadas de diferentes variedades de muestras pertenecientes al cuerpo riolítico; además dentro del cuerpo se encontraron pequeños lentes de una roca que ha sufrido bastante alteración y se diferencia tanto textural como composicionalmente de la roca caja. Estas rocas fueron caracterizadas dentro de otro grupo y se clasifican como andesitas.

5.5.1 Composición mineralógica de las riolitas: a continuación se describe cada uno de los minerales presentes en las Riolitas de Onzaga con su porcentaje correspondiente de los fenocristales y de la matriz.

TABLA 4. Porcentajes de la composición mineral riolitas.

Composicion mineral										
	principales	%	menores	%	accesorios	%	secundarios	%	traza	%
Fenocristales	Cuarzo	15	Microclina	10	Sanidina	1	~	~	~	~
	Albita	20								
	Ortoclasa	10								
Matriz	Cuarzo	20	~	~	~	~	Sericita	10	Circon	~
	Ortoclasa	10	~	~	Biotita	1	Hematita	1		
							clorita	2		
Strekeissen (1976)		Q	41,17	A	35,29	P	23,5	F		

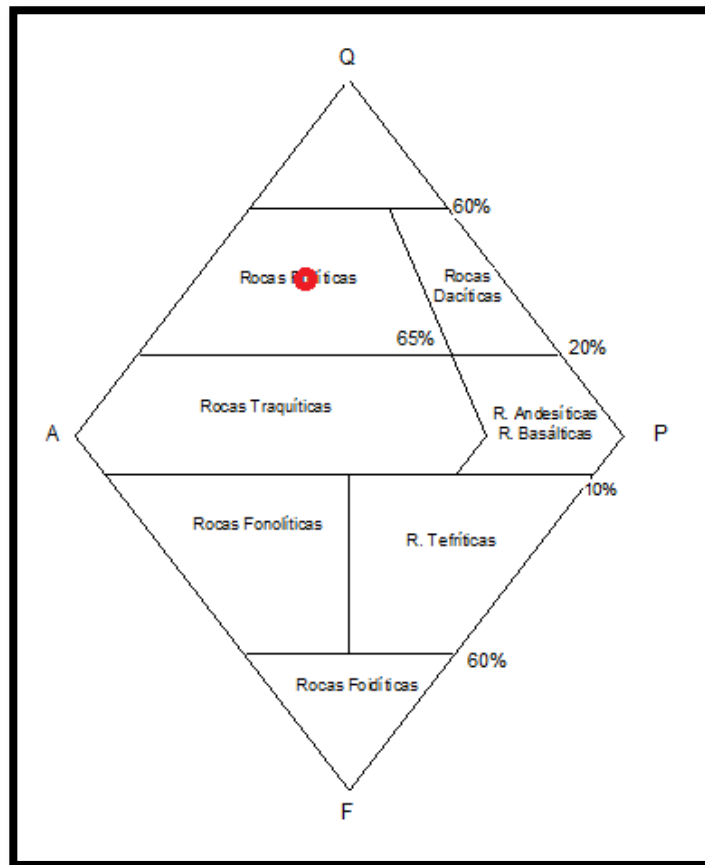


FIGURA 17. Diagrama de clasificación de rocas volcánicas propuesto por Strekeissen (1976) en Mantilla (2003).

5.5.1.1 Minerales primarios:

Cuarzo: La roca presenta fenocristales de cuarzo que oscilan entre las 400 micras y 1200 micras. Estos minerales son de aspecto xenomorfo y en ocasiones se encuentran bastante fragmentados, también se observan cuarzos en la matriz alargados por el cizallamiento de la falla. Los cuarzos de la matriz presentan tamaños que varían de 10 a 30 micras. En ocasiones se observan cuarzos bipiramidales y se observan oscuros debido al corte que tienen. Tanto los fenocristales (cuarzos) y los cuarzos de la matriz son incoloros, con colores de birrefringencia de primer orden y relieve bajo; además presenta extinción ondulante debido a la deformación de este. Además presentan bordes corroídos, estiramiento, desarrollo de subgranos, y disolución por presión (ver FIGURA 18).



FIGURA 18. Fenocristal de cuarzo con estiramiento y con bordes corroídos. Además este fenocristal presenta disolución por presión. Imagen tomada en nicoles cruzados (objetivo x10).

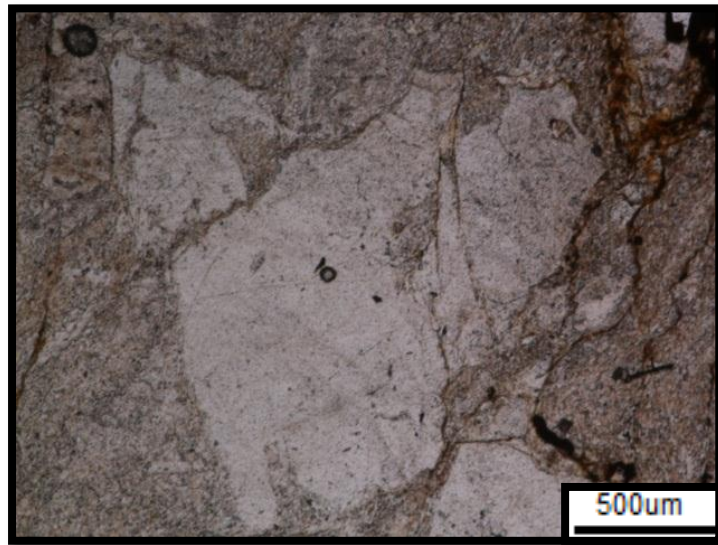


FIGURA 19. Fenocristal de cuarzo. Imagen tomada en nicoles paralelos con objetivo x10.

Albita: Este mineral se presenta en la roca como fenocristales de 800 a 2000 micras y sus tamaños varían en toda la roca. La forma de estas plagioclasas es subhedral y presenta un embahiamiento de cuarzo bastante notorio. Es incoloro, con colores de birrefringencia de primer orden, su maclado es polisintético y su ángulo de extinción no supera los 5 grados. En algunos fenocristales se observa claramente un combinación de maclas, las cuales cumplen con la ley de *karsbald* y macla polisintética posiblemente formadas por maclado mecánico; este mineral presenta inclusiones de feldespato potásico las cuales se denominan texturas de exsolución subsolvus (antipertitas) ver FIGURA 20.

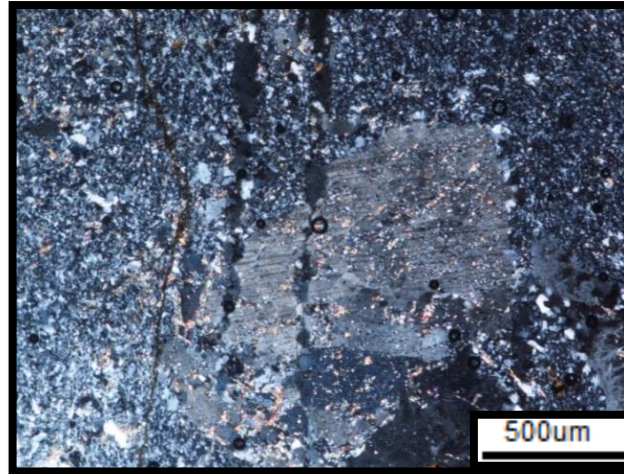


FIGURA 20. Fenocristal de albita con disolución por presión. Además se observa pequeñas manchas oscuras lo que indica una textura antipértica de feldespato potásico, incluido en albita. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10.

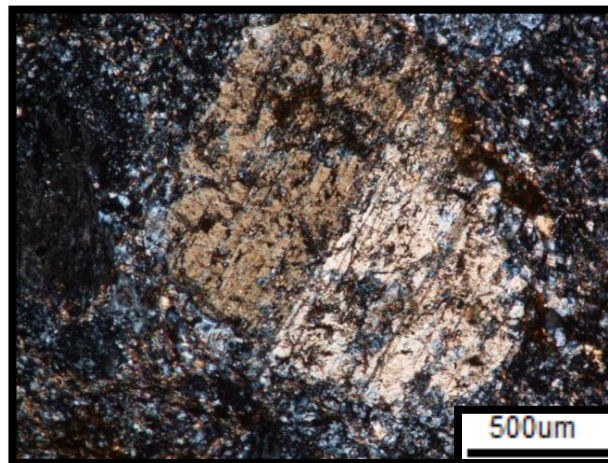


FIGURA 21. Fenocristal de albita con disolución por presión. Además se observa pequeñas manchas oscuras lo que indica una textura antipértica de feldespato potásico, incluido en albita. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10.

Ortoclasa: Este mineral se encuentra tanto en la matriz de cristal muy fino como fenocristales, sus tamaños varían de 800 micras a 2000 micras y en la matriz de 10 a 30 micras, su forma es xenomorfa. Este mineral se caracteriza por presentar una textura irregular que se asemeja a un cristal sucio o alterado. Este mineral es

incolore y sus colores de interferencia son grises bastante oscuros; a veces se presenta totalmente oscuro y su macla es irregular. Presenta venas de sericitación y está bastante alterado. Además se presenta inclusiones de albita en ortoclasa indicando una textura perítica (ver FIGURA 22).

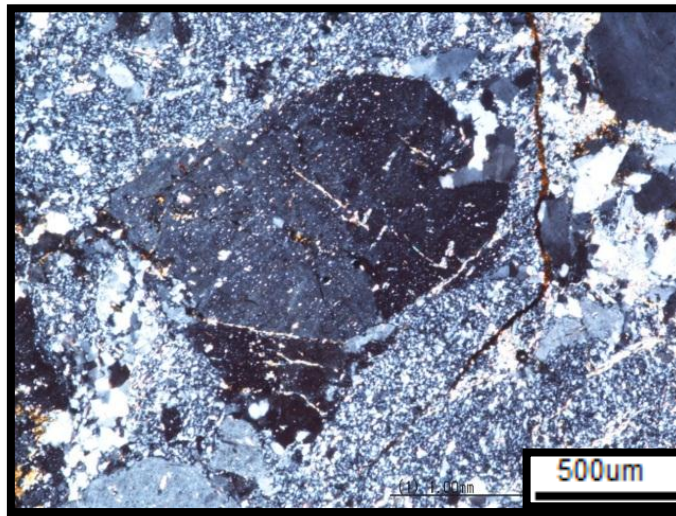


FIGURA 22. . Fenocristal de ortoclasa con pequeñas manchas blancas indicando una textura perítica. Imagen tomada en nicols cruzados con objetivo x10.

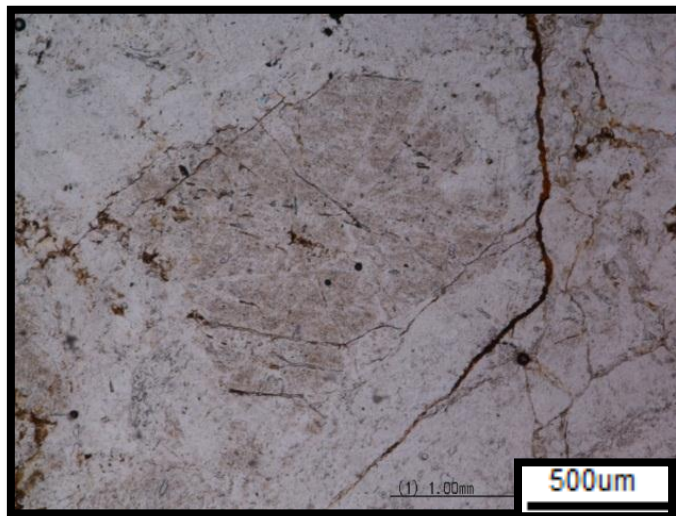


FIGURA 23. Aspecto de los Fenocristales de ortoclasa. Imagen tomada en nicols paralelos con objetivo x10.

Microclina: Este mineral se presenta de tamaños de 800 micras a 1600 micras. Su forma es xenomorfa; este mineral presenta embahiamiento de cuarzo, al igual de los cristales de albita previamente descritos. Este mineral es incoloro, sus colores de interferencia son grises de primer orden, su maclado es en forma de rejilla y su relieve es bajo. Este mineral presenta venas de sericitación. Además presenta inclusiones perfiticas de albita (ver FIGURA 24).

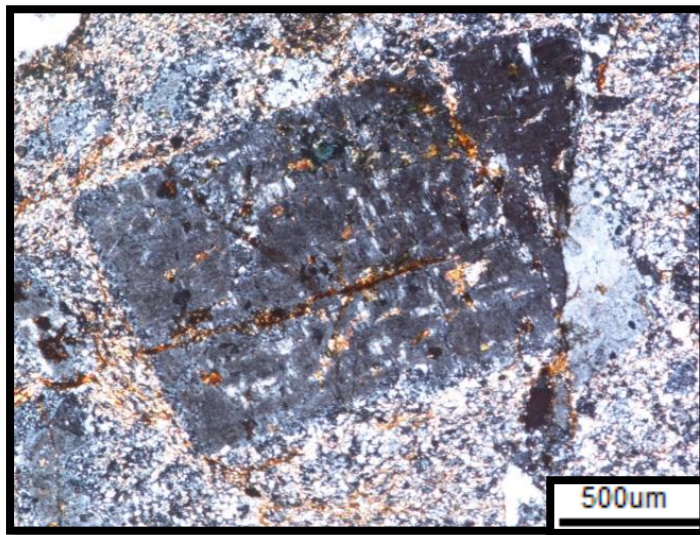


FIGURA 24. Fenocristal de microclina con manchas blancas indicando textura perfitica. Imagen tomada en Nicoles cruzados con objetivo de x10.

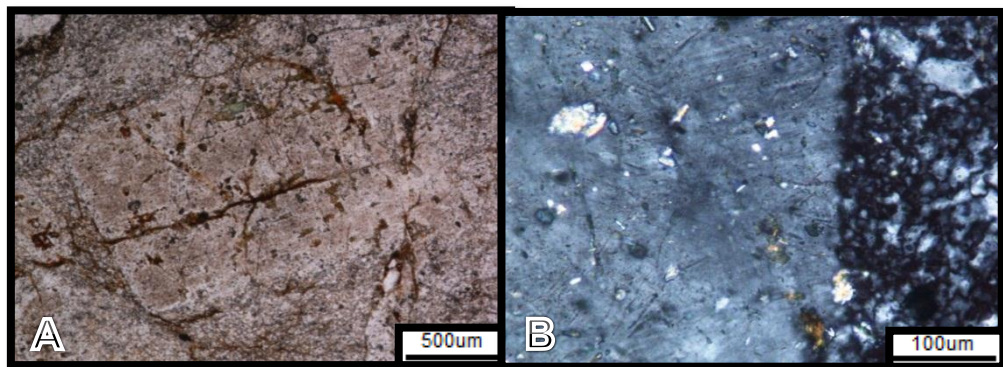


FIGURA 25. Fenocristal de microclina. Imagen tomada en nicols paralelos con objetivo de x10. B. aspectos maclas en rejilla de la microclina. Imagen tomada en nicols cruzados con objetivo x40.

Sanidina: Este mineral se encuentra como fenocristales. Su tamaño en el eje x es de 1600 micras y en el eje y es de 800 micras, su forma es subhedral y su macla es tipo *karsbald*. Este mineral es incoloro, con colores de birrefringencia de primer orden y se encuentra bastante alterado a sericita; además la presencia de este mineral en la roca es escaso.

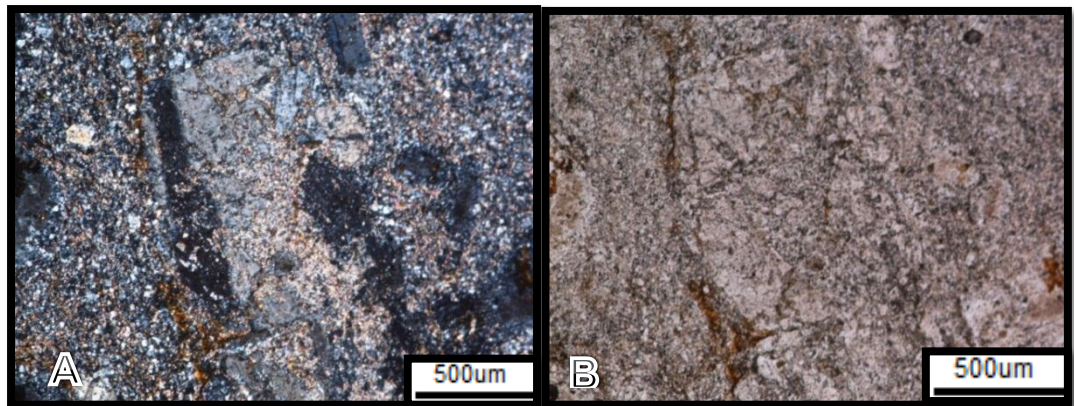


FIGURA 26. A. Fenocristales de sanidina. Imagen tomada en nicols cruzados con aumento x10. B. Fenocristales de sanidina. Imagen tomada en nicols paralelos con objetivo de x10.

Circón: Se presenta como mineral accesorio, de relieve bastante fuerte, su forma es euhedral, sus colores de birrefringencia son bastante fuertes. Este mineral se presenta a manera de inclusiones al interior de minerales de feldespato, al igual que dispersos en la matriz.

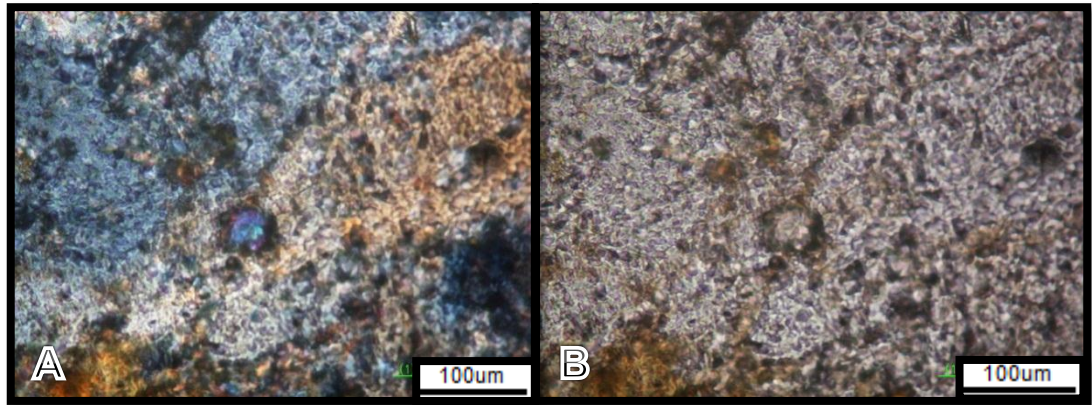


FIGURA 27. A. Aspecto de los Circones. Imagen tomada en nicols cruzados. B. Circón. Imagen tomada en nicols paralelos con objetivo de x40.

5.5.1.2 Minerales secundarios

Biotita: Este mineral se presenta como mineral accesorio, Su forma es subhedral, de relieve medio, con pleocroísmo de marrón a rojo, sus colores de birrefringencia llegan hasta verdes del tercer orden. Se presenta comúnmente en las fracturas y se encuentra bastante oxidado.

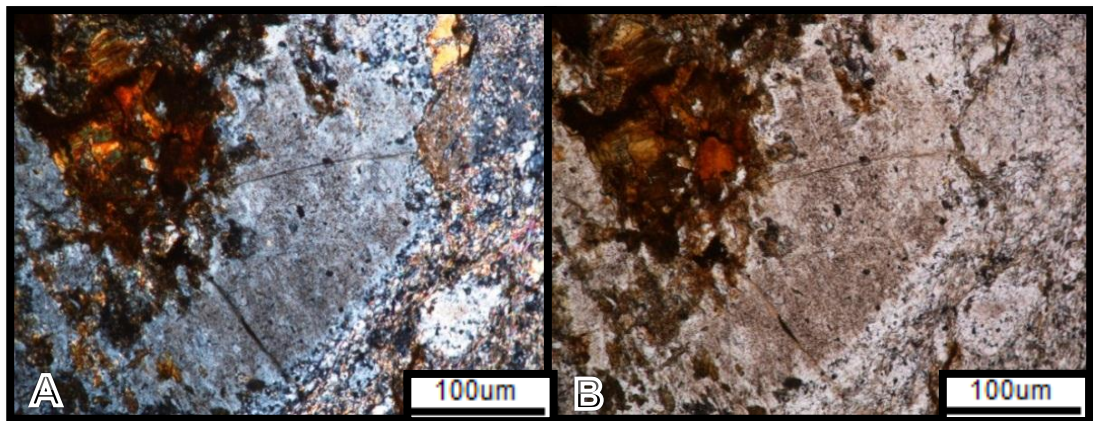


FIGURA 28. A. Biotita. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo de x40. Imagen tomada en nicoles paralelos con objetivo x40. B. Biotita. Imagen tomada en nicoles paralelos con objetivo de x40.

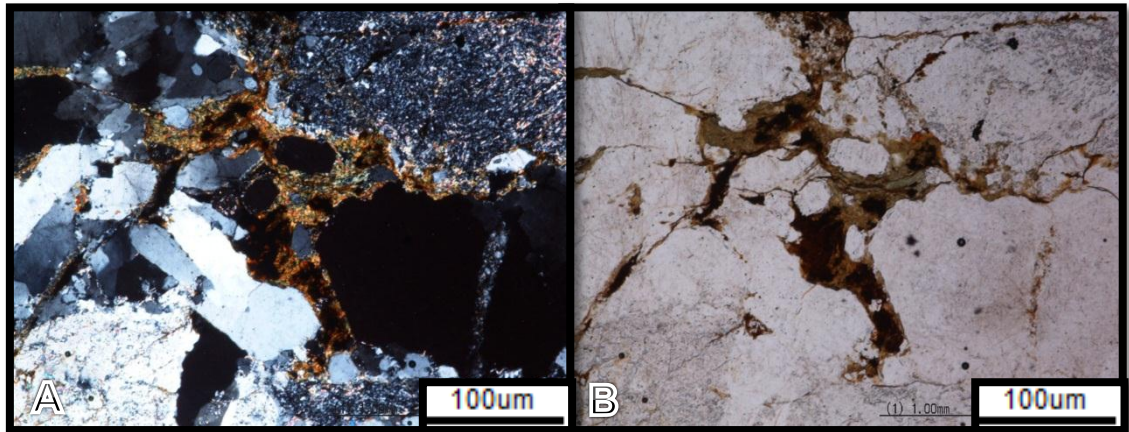


FIGURA 29. Biotita rellenando zonas de fractura en nicoles cruzados con objetivo x40. B. imagen tomada en nicoles paralelos con objetivo x40.

Sericita: Este tipo de muscovita es la alteración de los feldespatos, se encuentra en toda matriz, y tiene reorientación preferente (ver FIGURA 32); su forma es subhedral, incoloro, su relieve es bajo, presenta exfoliación perfecta en una solo dirección, su colores de birrefringencia son de finales de segundo orden hasta principios del tercer orden.

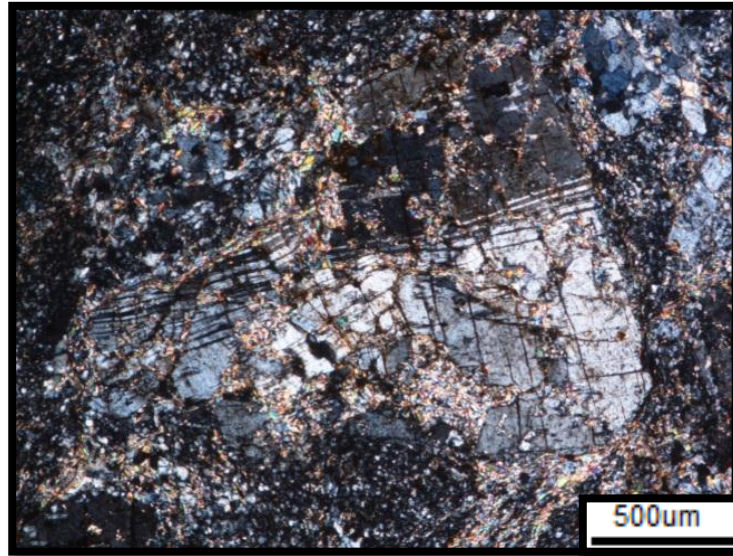


FIGURA 30. Sericita en fenocristal de plagioclasa. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10.

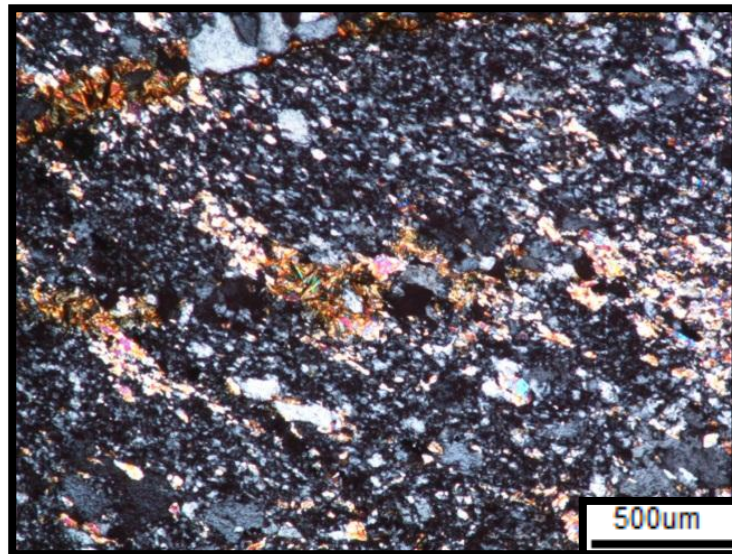


FIGURA 31. Sericita en matriz de minerales con reorientación preferente. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10.

Hematita: Su forma es xenomorfa, este mineral es un oxido de la biotita, su color es rojizo y su tamaño varia de 100 a 200 micras, se presenta como mineral accesorio en la roca. En luz polarizada la hematita presenta un color gris metálico y está rodeado por oxido de color rojizo, se presenta en las fracturas donde hay bastante oxidación.

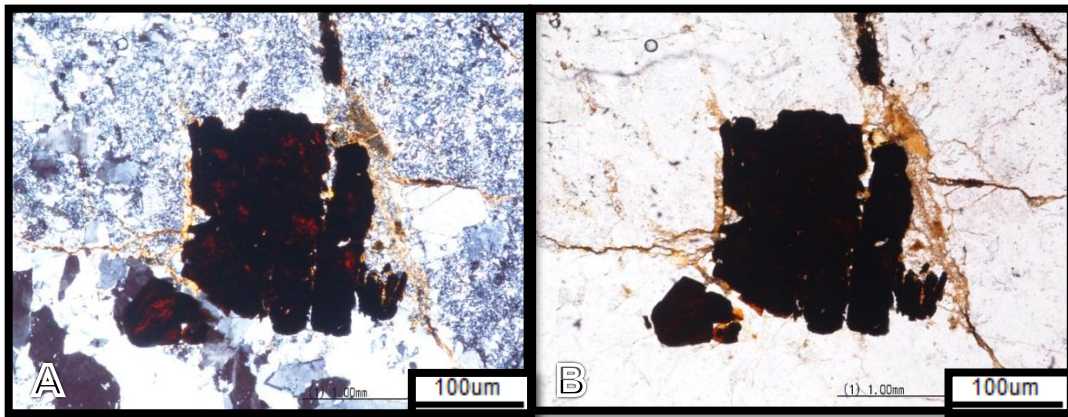


FIGURA 32. Cristal de hematita xenomorfa. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivó de x40. B. Cristal de hematita xenomorfa. Imagen tomada en nicoles paralelos con objetivo x40.

Clorita: Este mineral se presenta en las fracturas de la roca. Su forma es subidiomórfica, sus tamaños varían de 200 a 800 micras, la exfoliación de la clorita es perfecta. Este mineral es de color verde con un leve pleocroísmo, sus colores de interferencia son azules y en ocasiones enmascarados con el color del mineral.

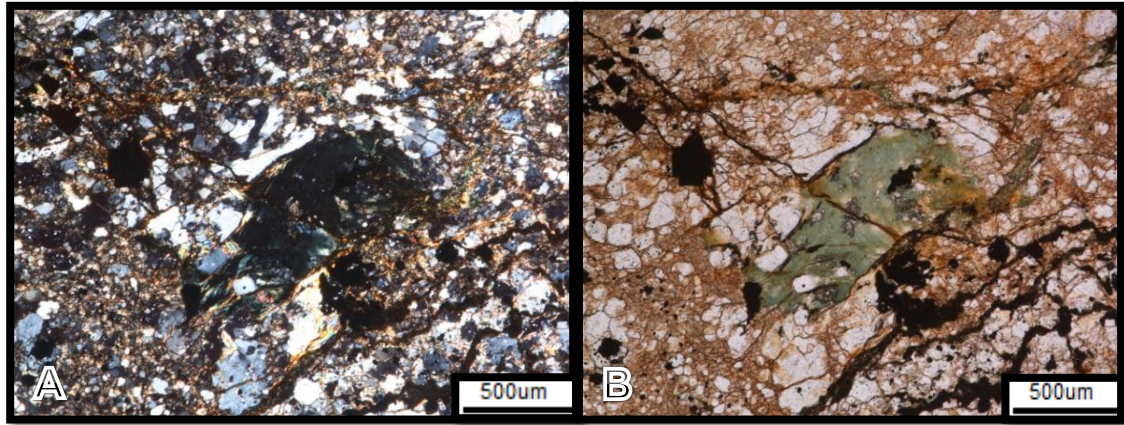


FIGURA 33. Cristal subidiomórfico de clorita. Imagen tomada en nicols cruzados con objetivo x10. B. Cristal de clorita subidiomórfico. Imagen tomada en nicols paralelos. Imagen tomada en nicols cruzados con objetivo x10.

5.5.2 Texturas pertíticas y antipertíticas: Este tipo de texturas se generan por desmezcla en estado sólido (reacciones *subsolvus*) de feldespato potásico y albita, al dejar de ser miscibles por descenso de temperatura. En las riolitas de Onzaga estas texturas son muy comunes observándose como manchas o cordones dentro del feldespato. A continuación se muestran algunas imágenes en donde se observan las diferentes texturas pertíticas y antipertíticas.

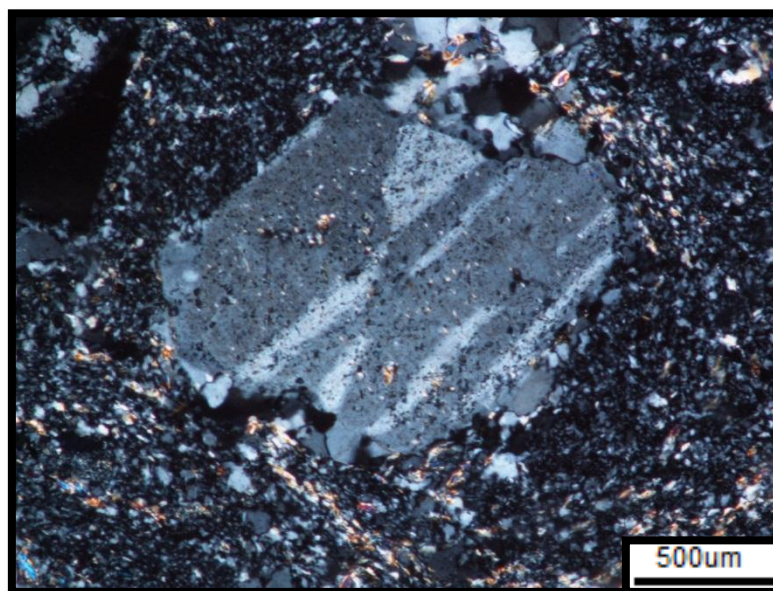


FIGURA 34. Textura perítica de albita incluida en ortoclasa. La albita se presenta dentro de la ortoclasa en forma de flamas. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10.



FIGURA 35. En la parte inferior se observa fenocristal de albita con manchas oscuras antiperíticas de feldespato potásico. En la parte superior izquierda se observa fenocristal de ortoclasa con inclusiones períticas de albita. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10.

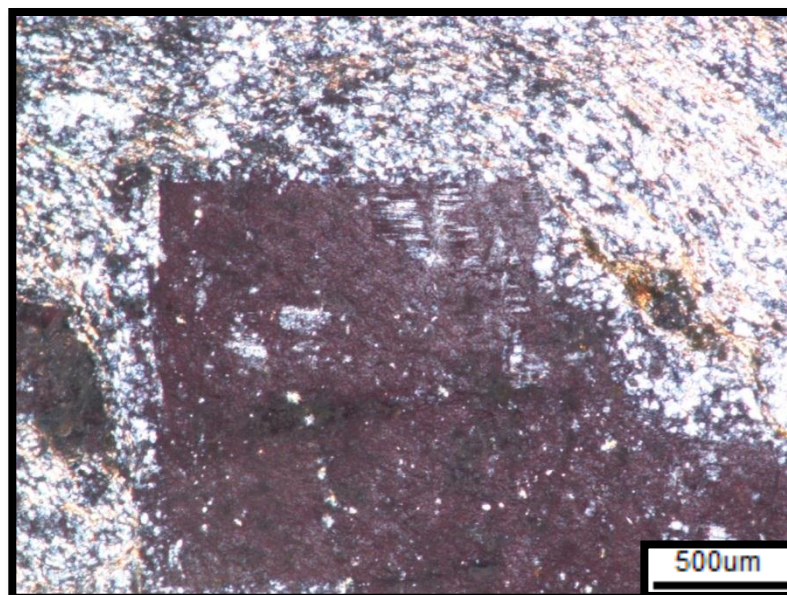


FIGURA 36. Fenocristal de ortoclasa con inclusiones perfiticas de albita en forma de manchas; nótese que las manchas de albita presenta macla polisintética. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10.

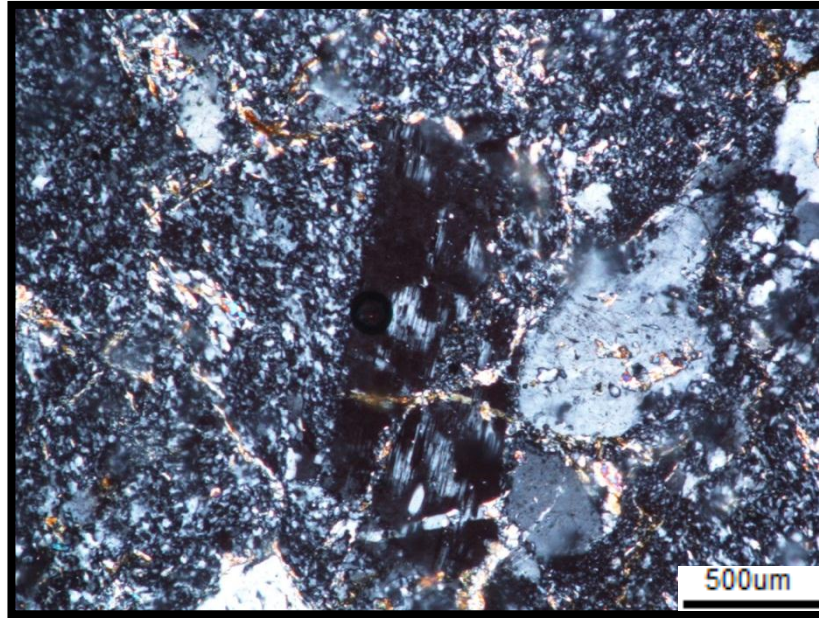


FIGURA 37. Textura antipertítica de albita incluida por feldespato potásico en forma de manchas oscuras. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10.

La génesis de la pertitas se explica con el sistema albita – ortosa (ver FIGURA 42): a las temperaturas de cristalización de las mezclas fundidas secas (1063 °C a 1150 °C) los feldespatos sódico y potásico forman una serie completa de solución sólida, con una temperatura mínima (1063 °C) para la composición aproximada $Ab_{65}Or_{35}$. Todos los líquidos, ya sean inicialmente sódicos o potásicos, tienden hacia este punto durante la cristalización (M). La leucita es la primera fase cristalina que se separa en todas las mezclas que tienen más del 49% de ortosa. Al descender la temperatura reacciona con la mezcla fundida para dar una sanidina que se aproxima $Or_{85}Ab_{15}$. Cuando se agota la leucita, la sanidina se

hace progresivamente más sódica a medida que la mezcla tiende a M. A temperaturas que no sobrepasen unos centenares de grados existe un intervalo de inmiscibilidad en la serie de los feldespatos alcalinos. Durante el enfriamiento, la inmiscibilidad empieza a 660 °C a la presión atmosférica y la desmezcla aumenta a medida que la temperatura sigue descendiendo. El solvus (curva hipotética de desmezcla) correspondiente, que está débilmente afectado por la presión, está representado por la curva inferior, que marca el límite superior del campo de los dos feldespatos en cada uno de los diagramas. Una línea horizontal trazada por cualquier temperatura inferior a 660 °C, corta al solvus en dos puntos que representan las composiciones respectivas de los dos feldespatos que pueden coexistir en equilibrio a esa temperatura.

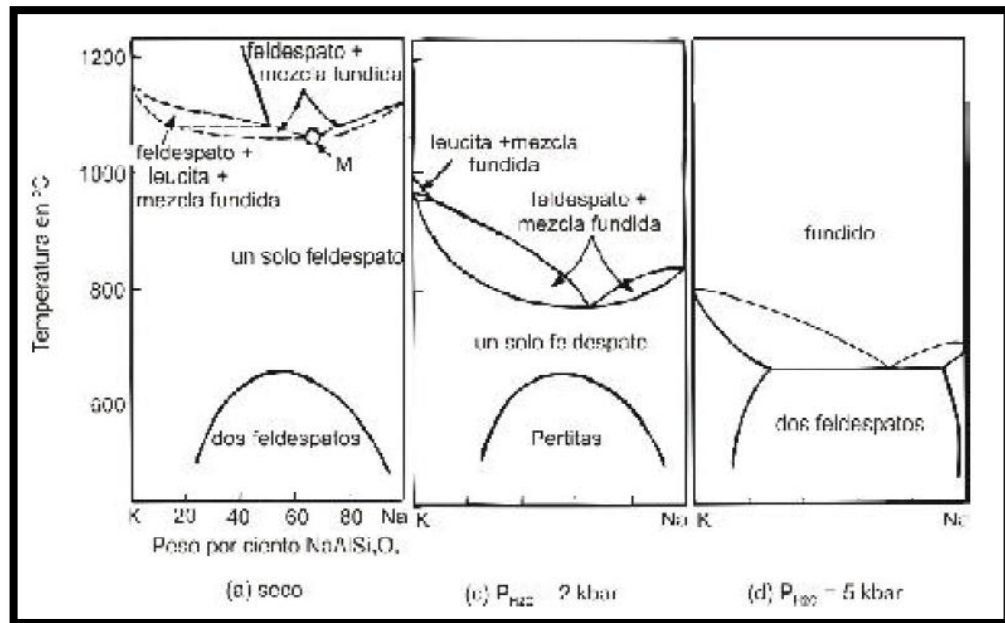


FIGURA 38. Diagrama de fases para el sistema albita - ortosa. Modificada de Bowen y Tuttle (1950) en López y Bellos (2006).

Los diagramas muestran la enorme influencia de la P_{H_2O} que reduce el campo de la leucita, reduce el campo del feldespato K-Na homogéneo, rebaja las temperaturas de cristalización y desplaza la composición del punto de baja temperatura del líquido hacia el extremo albitico de la serie. A una P_{H_2O} de 5 kbars la temperatura más baja del líquido es de 695 °C y la mezcla fundida correspondiente tiene la composición $Or_{29}Ab_{71}$ en contraste con 1063 °C y $Or_{35}Ab_{65}$ para las mezclas fundidas secas; el campo de la leucita, ya muy reducido a 2 kbars ha desaparecido ahora. El campo de un solo feldespato disminuye notablemente a medida que desciende el líquido al aumentar la P_{H_2O} ; a 5 kbars (la máxima P_{H_2O} que puede desarrollarse a profundidades de unos 20 km) al *solvus* corta al *sólidus* entre Or_{30} y Or_{60} . Esto significa que cristalizarán dos feldespatos a partir de cualquier mezcla fundida comprendida entre Or_{30} y Or_{60} con 5 kbars de P_{H_2O} . En otras mezclas fundidas y en las de cualquier composición con P_{H_2O} de 2-3 kbars, el feldespato cristaliza en una sola fase homogénea. Con el subsiguiente enfriamiento lento, hasta puntos situados en o por debajo del *solvus*, este feldespato homogéneo puede desmezclarse y dar un intercrecimiento peritico de dos fases, una más potásica y otra más sódica. Un feldespato alcalino homogéneo es inestable bajo el *solvus*, pero puede sobrevivir metaestablemente en un rápido enfriamiento en un ambiente volcánico. Las perititas son características en granitos feldespáticos alcalinos y sienitas, donde un lento enfriamiento en un ambiente plutónico permite que tenga lugar la exsolución. De esta forma, el feldespato originalmente homogéneo se convertirá en un intercrecimiento heterogéneo de delgadas láminas de albita en un cristal de feldespato potásico o viceversa. A estos intercrecimientos se les denominan perititas y antiperititas, respectivamente, y son el resultado de un proceso de desmezcla o exsolución. (López y Bello, 2006).

5.5.3 Texturas de deformación en las rocas riolíticas: Como se mencionó anteriormente estas rocas han sido fuertemente influenciadas por la falla de Onzaga; por lo que se observa en estas, diferentes texturas de deformación dúctil y frágil las cuales serán mencionadas a continuación. Estas riolitas se encuentran diferenciadas texturalmente a medida que se acercan a la falla de Onzaga, debido a que se presentan texturas las cuales no muestran deformación hasta texturas en la cual la roca ha sido triturada totalmente y no se observa la presencia de fenocristales.

Davis y Reynolds (1996) agrupan los mecanismos de deformación en cinco categorías generales: (1) microfracturación, cataclasis y deslizamiento friccional; (2) maclado mecánico y "*kinking*"; (3) creep por difusión; (4) creep por disolución; y (5) creep por dislocación. Estos mecanismos suelen actuar a la vez que otros procesos importantes, como la recuperación y la recristalización. Los procesos de deformación, cuando actúan solos, dan lugar a rocas más deformadas que las rocas de partida. Por el contrario, los procesos de recuperación y recristalización dan lugar a rocas menos deformadas, con minerales cuyas redes cristalinas contienen menos defectos, (Passchier y Trouw, 1996).

Una forma muy conveniente de ilustrar las condiciones físicas en las que un mecanismo de deformación particular es el dominante es por medio de los mapas de deformación, que normalmente representan en forma de diagrama x-y la temperatura frente al esfuerzo diferencial (o frente a otra variable). La FIGURA 39 es un ejemplo simplificado de mapa de deformación en el que están representadas las cinco categorías de mecanismos de deformación en diferentes regiones del espacio temperatura-esfuerzo diferencial.

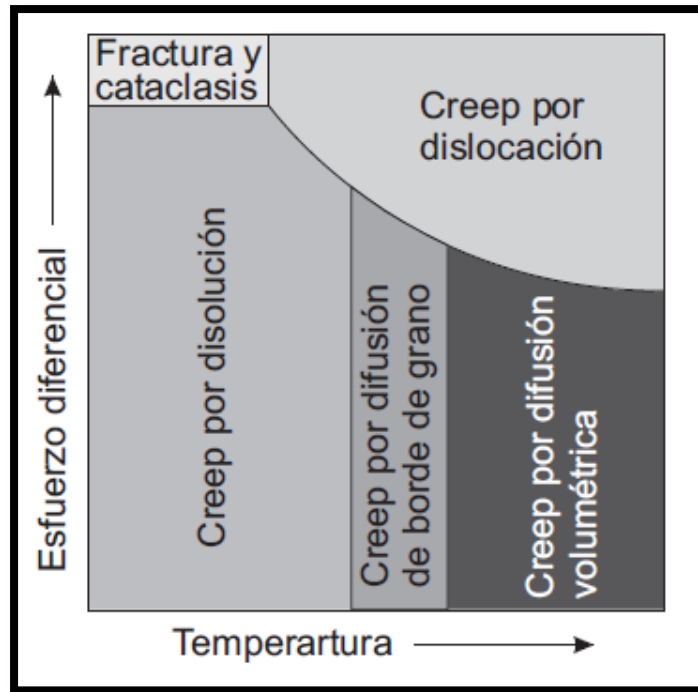


FIGURA 39. Mapa de deformaciones. Tomado de <http://gmg.unizar.es/gmgweb/Asignaturas/Petro3PlanViejo/-metamorfismo/apuntes/mecanismos%20de%20deformacion.pdf>.

Las riolitas de Onzaga han sido afectadas por varios de estos mecanismos de deformación (cataclasis, creep por disolución, creep por dislocación, recuperación); por lo que se observa en ellas algunas de las microestructuras que se mencionan en la FIGURA 40.

Microtextura		Mecanismo	
General	Específica	Específico	General
Microfracturas, desplazamiento y rotación de granos	Microgrietas	Microfracturación	Cataclasis
	Microfallas		
	Cataclasis distribuida	Flujo cataclástico	
	Orientación preferente cristalográfica (OPC)		
Eliminación de material, transporte y precipitación	Texturas de disolución superficial	Disolución	Creep por disolución
	Indentado, truncamiento e interpenetración de granos		
	Microestilolitos		
	Esquistosidad		
	Sombras de presión y zonas abrigadas	Precipitación	
	Orientación preferente mineral (OPM)		
	Planos de inclusiones fluidas		
	Microvenas		
Deformación permanente de la red cristalina	Maclas de deformación	Maclado mecánico	Plasticidad intracristalina
	Kink-bands		
	Extinción ondulante		
	Lamelas de deformación		
	Bandas de deformación	Recuperación	
	Subgranos y bordes de subgrano		
	Granos nuevos, textura de manto y núcleo	Recristalización dinámica	
	Bordes suturados		
OPC			
Eliminación de material, transporte y precipitación	OPM y cristales en cinta		Difusión en estado sólido (creep por difusión)
	Textura granoblástica poligonal	Recristalización estática	
	Textura granoblástica decusada		
	Bordes de reacción, coronas, simplectitas		

FIGURA 40. Cuadro de microtexturas más comunes generadas a partir de procesos dinámico-térmicos. Tomado de (<http://teachserv.earth.ox.ac.uk/courses/es2-metrock/1pr2a.html>).

5.5.3.1 Creep por dislocación: La forma de un cristal no puede cambiarse permanentemente sólo por compresión. Para producir un cambio permanente en la forma de un cristal hay que cambiar la posición relativa de sus átomos o moléculas. Esto se consigue mediante el movimiento de los defectos cristalinos a través de la red cristalina, proceso que se conoce con el nombre de creep por dislocación o deformación intracristalina, (Passchier y Trouw, 1996).

Una evidencia clara de dislocación en las riolitas de Onzaga se ve en la extinción ondulante que presentan los fenocristales de cuarzo y los fenocristales de feldespato, (ver FIGURA 41).



FIGURA 41. Fenocristal de cuarzo con extinción ondulante generada por dislocación intracristalina. Imagen tomada en nicols cruzados con objetivo x10.

5.5.3.2 Cataclasis: Es la fracturación frágil penetrativa y fragmentación de las rocas, normalmente en fallas y zonas de falla. Produce un agregado de granos altamente fracturados y fragmentos de roca inmersos en una matriz de granos de dimensiones todavía menores. (Passchier y Trouw, 1996).

La evidencia de que las riolitas de Onzaga han sido afectadas por cataclasis se observa en la FIGURA 42A, 42B, 42C y 42D en donde fragmentos de antiguos fenocristales presenta formas angulares.

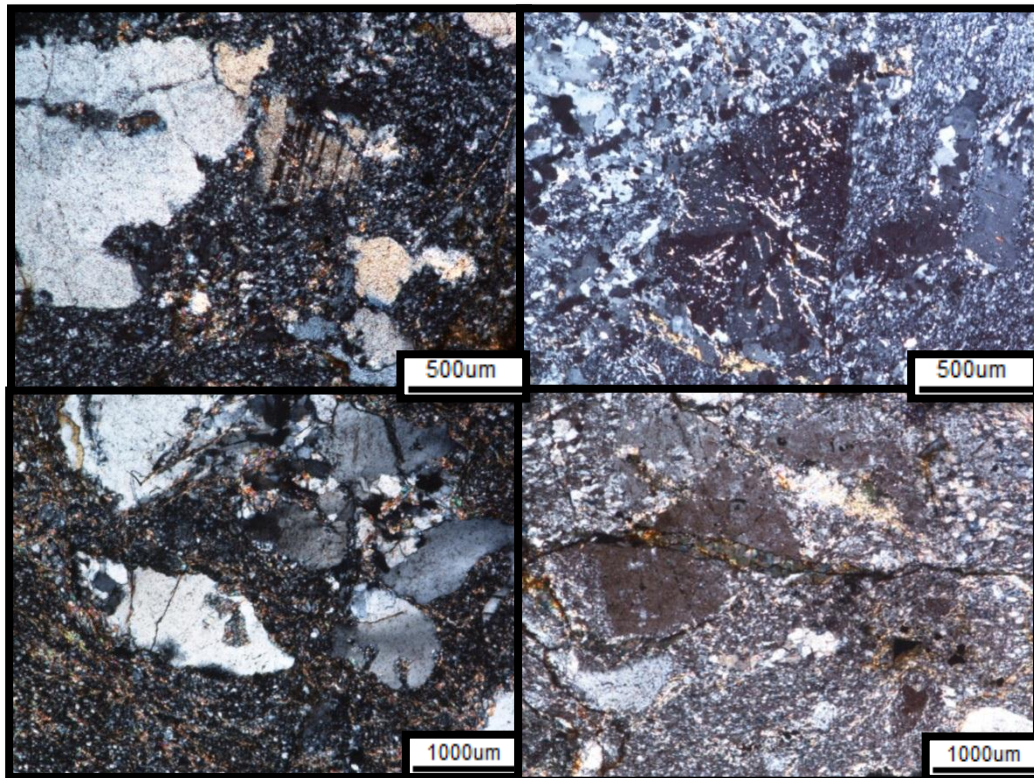


FIGURA 42. A. Al centro se observa fragmento de fenocristal de plagioclasa con forma angular. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10. B. En el centro de la fotografía se observa fenocristal de ortoclasa con bordes rectos y forma angular. C. En la imagen se observa fragmentos angulares de antiguos fenocristales de cuarzo. Además estos presentan extinción ondulante debido a dislocación intracristalina. D. Fenocristal atravesado por una microgrieta, la cual es evidencia de una deformación frágil. Imagen en nicoles cruzados con objetivo x10.

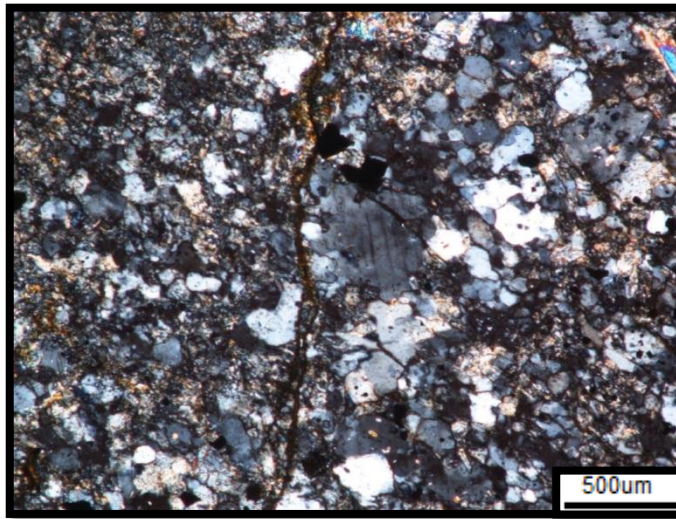


FIGURA 43. Textura de granulación en donde la roca ha sido triturada de forma intensa de manera que los fenocristales han sido fragmentados y hacen parte de la matriz. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10.

5.5.3.3 Maclado mecánico: El maclado mecánico es un mecanismo de deformación que provoca la flexión (doblado), más que la rotura, de la red cristalina de los minerales. En el caso más simple, una macla mecánica se forma cuando la red cristalina de un mineral se somete a un esfuerzo de cizalla simple paralelo a un plano cristalográfico favorable. La red cristalina a un lado del plano de macla sufre una deformación de cizalla de un determinado ángulo por rotación con respecto a la red cristalina del otro lado del plano. Después del maclado cada parte del cristal termina siendo una imagen especular de la otra, (Passchier y Trouw, 1996).

El maclado mecánico se reconoce en las riolitas de Onzaga al presentarse en fenocristales de plagioclasa; los cuales presentan maclas en forma de cuña o suelen restringirse a una parte del fenocristal en donde este ha sufrido una concentración de esfuerzos mayores.

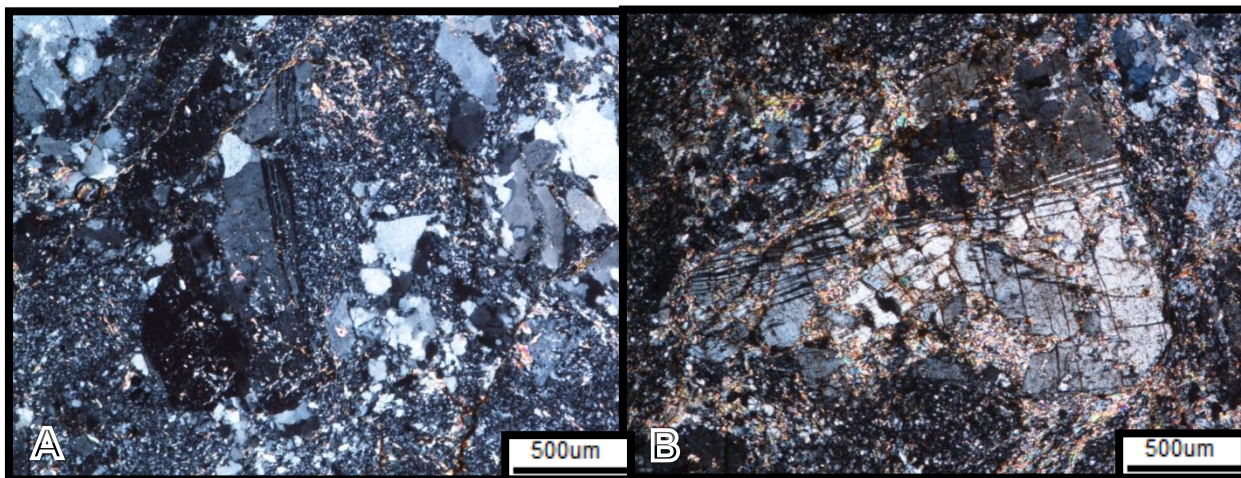


FIGURA 44. A. Antiguo fenocristal de cuarzo con maclado mecánico en donde las maclas se aprecian solo en la parte derecha del antiguo fenocristal y estas tienden a acuñarse. Imagen tomada en nicols cruzados con objetivo de x10. B. Antiguo fenocristal de plagioclasa con maclado mecánico en donde las maclas se concentran en la parte superior del fenocristal, además este fenocristal está siendo afectado por disolución por presión. Imagen tomada en nicols cruzados con objetivo de x10.

5.5.3.4 Creep de disolución: El creep por disolución o disolución por presión implica la disolución selectiva, el transporte y la reprecipitación de material por medio del fluido intersticial presente en los límites de grano o en los poros entre granos. La presencia de este fluido aumenta mucho la eficiencia con la que el material se puede transportar desde las zonas de esfuerzos elevados a las zonas de esfuerzos bajos. Cuando los granos de una roca están sometidos a un esfuerzo diferencial, pueden cambiar de forma por disolución, transporte y reprecipitación del material asistido por la fase fluida. Este fluido intergranular es fundamental para que el mecanismo de creep por disolución sea operativo, (Passchier y Trouw, 1996).

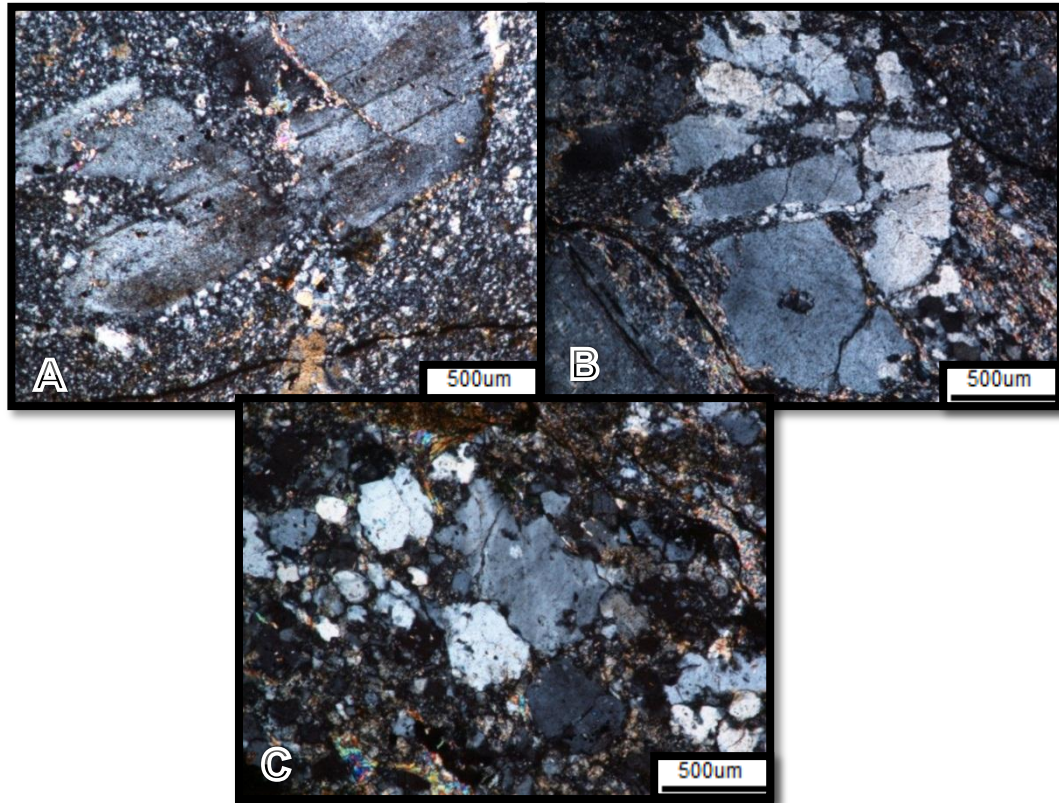


FIGURA 45. A. Fenocristal de plagioclasa afectado por disolución por presión; la cual produce interpenetración de granos de la matriz en el fenocristal. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10. B. Antiguo fenocristal de cuarzo afectado por disolución por presión. Además se observa extinción ondulante presente en el cuarzo. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10. C. Antiguo fenocristal de cuarzo fragmentado debido a disolución por presión. Además este presenta extinción ondulante. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10.

Por otro lado las riolitas de Onzaga debido a la deformación dúctil a la que fueron sometidas, presentan una reorientación preferente de los minerales (ver FIGURA 46). Esto es más prominente en las rocas que están más cerca a la falla de

Onzaga, tratándose así de una foliación oblicua la cual se genera en zonas de falla.

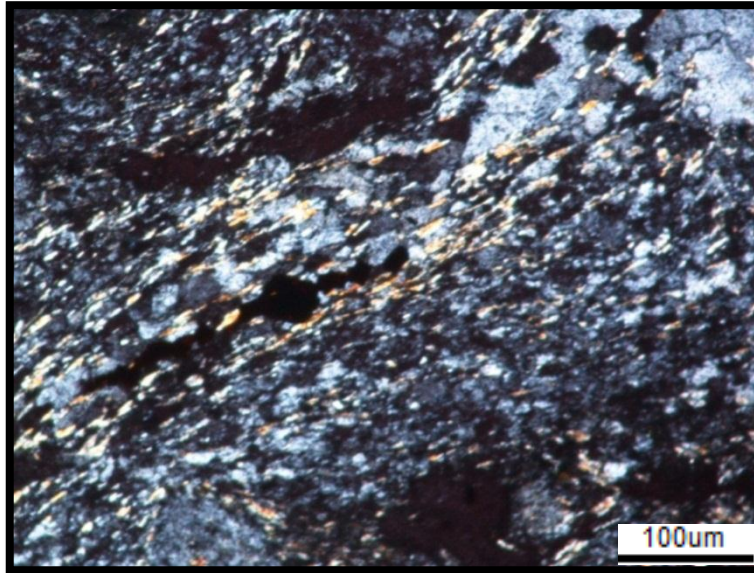


FIGURA 46. Aspecto matriz con reorientación preferente. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x40.

Otra característica de la deformación dúctil es aparición de microfallas en fenocristales sin que estos se fracturen de forma brusca o se fragmenten como se observa en la FIGURA 49A Y 49B.

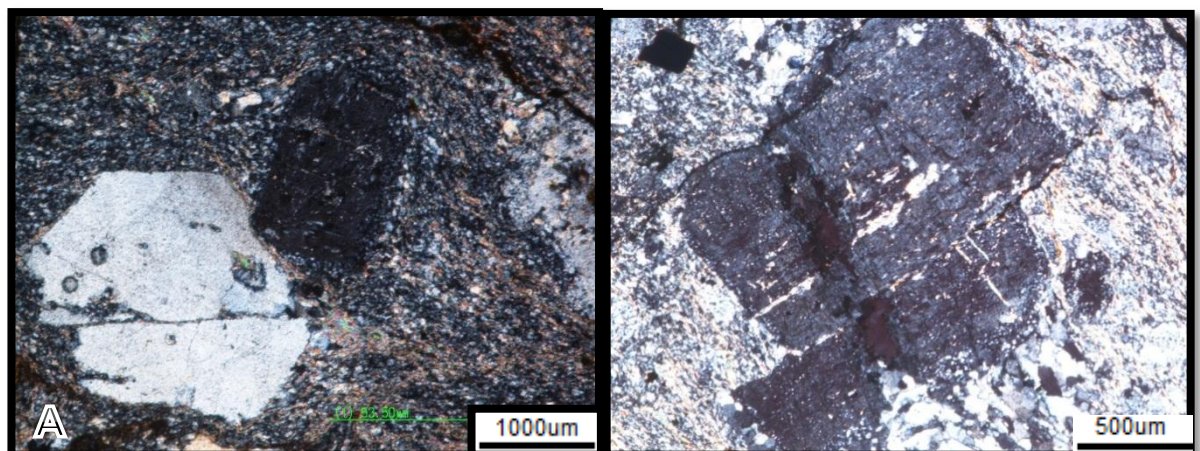


FIGURA 47. A. Fenocristal de cuarzo con microfalla de cizalla producido por deformación plástica. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo de x5. B. Fenocristal de ortoclasa con microfalla de cizalla. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo de x10.

5.5.3.5 Recuperación: Durante la deformación, los procesos de ordenamiento y desordenamiento compiten entre sí, pero cuando la deformación cesa los procesos de ordenamiento tienden a llevar la red cristalina hacia el estado de energía mínima por reducción de la densidad de dislocaciones. El término recuperación se utiliza para agrupar a todo este conjunto de procesos de ordenación. Las dislocaciones en un cristal pueden agruparse en redes planares regulares como resultado de la recuperación. Estas redes se conocen como paredes de subgrano o bordes de subgrano y separan fragmentos del cristal que reciben el nombre de subgranos (Passchier y Trouw, 1996).

A continuación se muestra imágenes de fenocristales de las riolitas de Onzaga con evidencias de recuperación en donde se han formado subgranos.

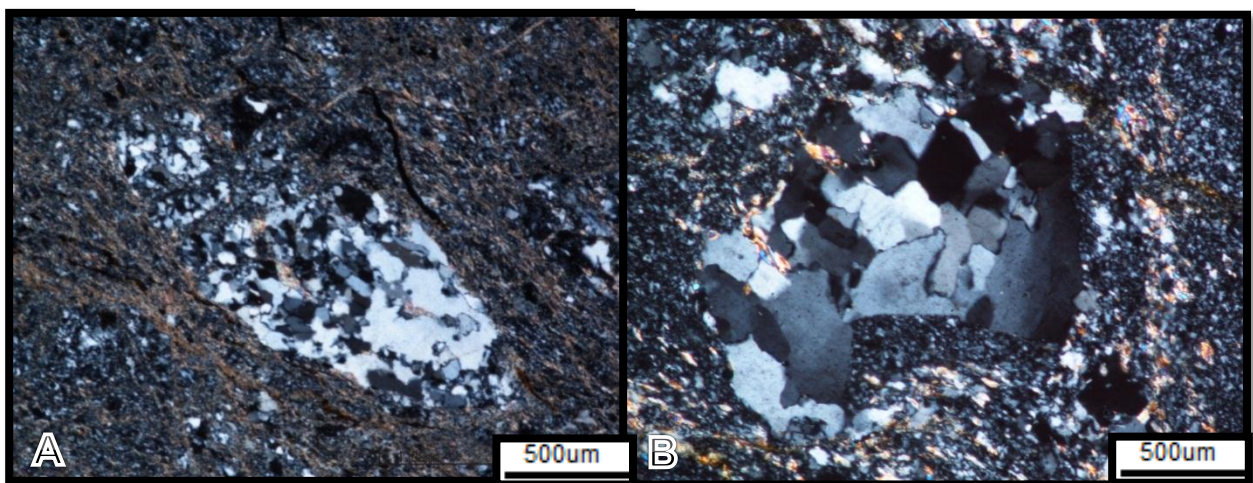


FIGURA 48. A. Fenocristal de cuarzo elongado con desarrollo de subgranos debido a dislocación. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo de x5. B. Fenocristal de cuarzo con desarrollo de subgranos. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10.

5.6 RASGOS MICROSCÓPICOS GENERALES DE LOS XENOLITOS ANDESÍTICOS IDENTIFICADOS AL INTERIOR DE LAS RIOLITAS

5.6.1 Composición mineralógica de las andesitas: a continuación se describe cada uno de los minerales presentes en las andesitas de Onzaga con su porcentaje correspondiente de los fenocristales y de la matriz. Esta roca se encuentra fuertemente alterada por lo que en ocasiones no es fácil el reconocimiento de algunos minerales en la roca; debido a esto se recurre a la difracción de rayos x para corroborar la presencia de estos minerales (ver TABLA 7).

TABLA 5. Porcentajes composición mineral de las andesitas.

Composicion mineral								
Fenocristales	principales	%	menores	%	accesorios	%	secundarios	%
		Cuarzo	10	~	~	~	~	calcita
Matriz	albita	40	~	~	opacos	3	clinocloro	30
							Sericita	5
							Hematita	2
Strekeissen (1976)		Q	20	A		P	80	F

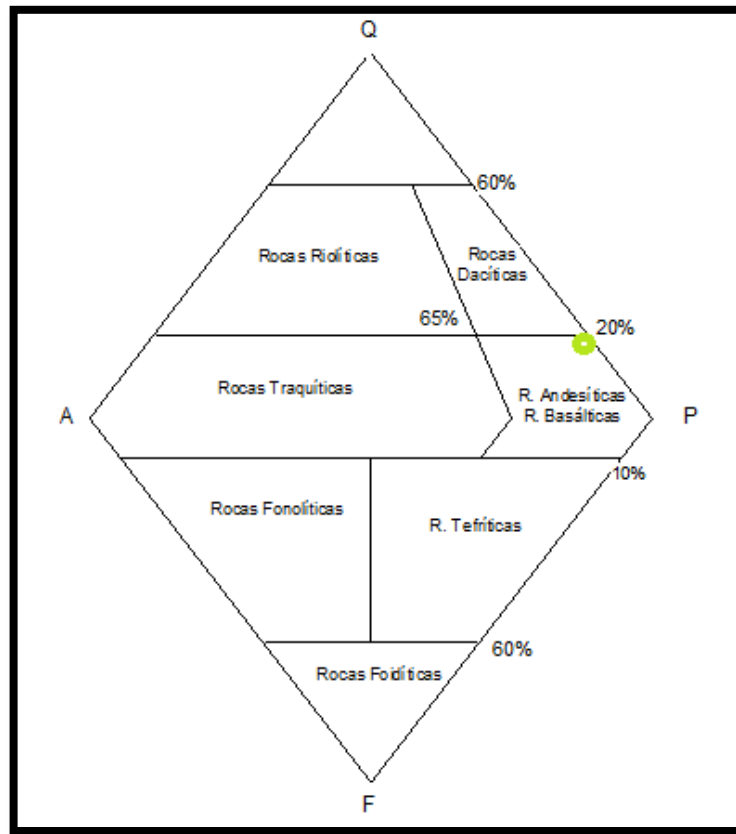


FIGURA 49. Diagrama de clasificación de rocas volcánicas modificado de Strekeissen (1976) en Mantilla (2003).

5.6.1.1 Minerales primarios

Cuarzo: Este mineral se presenta en la roca como fenocristal y como matriz; los fenocristales se encuentran bastante fracturados y su forma es xenomorfa. Los tamaños de los fenocristales varían de 100 a 200 micras y de la matriz varían de 10 a 20 micras. Tanto los fenocristales y los cuarzos de la matriz son incoloros, con colores de birrefringencia de primer orden y relieve bajo; suele presentar fractura concoidea y extinción ondulante.

Otro tipo de cuarzo se presenta en la roca como pequeñas venillas acompañado de carbonato, que atraviesan la roca. Este cuarzo es xenomorfo de tamaños que

varían de 20 a 100 micras, con relieve bajo, incoloro y de colores de birrefringencia de primer orden.

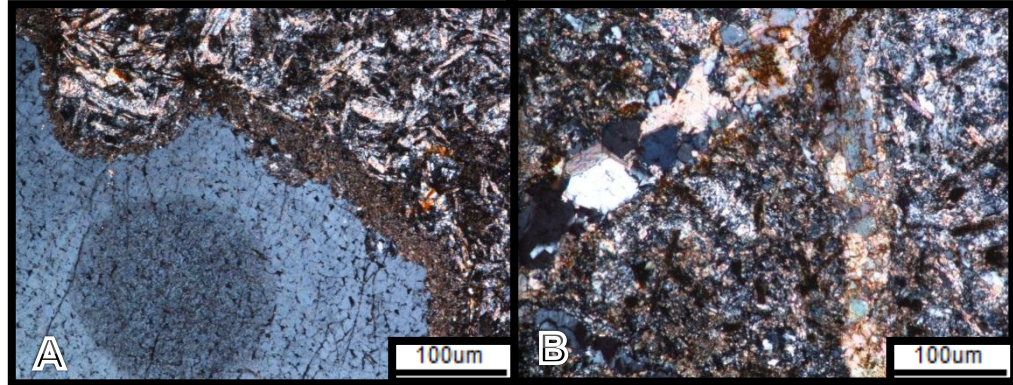


FIGURA 50. A. Fenocristal de cuarzo con borde de reacción de carbonato. Imagen tomada en nicols cruzados con objetivo x40. B. Venas de cuarzo xenomorfo, acompañadas de calcita. Imagen tomada en nicols cruzados con objetivo x40.

Albita: Debido a la alteración tan fuerte que presenta la roca, la albita se encuentra bastante alterada a sericita, por lo que a veces es difícil de distinguir. La albita se encuentra dentro de la matriz de minerales tabulares, su tamaño varía de 100 a 200 micras en su eje x y de 50 a 100 micras en su eje y. Su forma es subidiomórfica, incoloro de colores de birrefringencia de primer orden y su macla es polisintética.

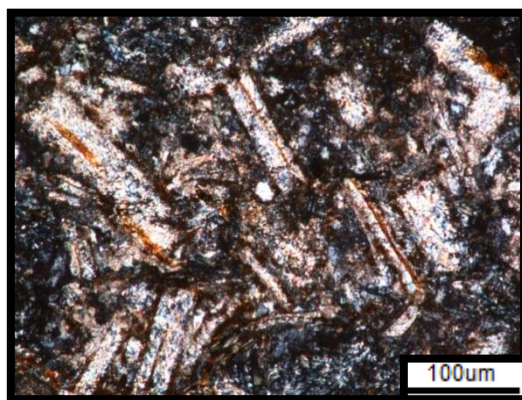


FIGURA 51. Textura afieltrada: microlitos de plagioclasa dispuestos al azar. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x40.

5.6.1.2 Minerales secundarios

Clinocloro: Este tipo de clorita se observa en toda la roca dentro de la matriz, su tamaño varia de 200 a 300 micras, su forma es subidiomórfica y presenta exfoliación perfecta. Este mineral es incoloro y a veces presenta un verde muy claro. Su pleocroísmo es débil, sus colores de birrefringencia son grises de primer orden, marrones y violetas. En ocasiones este mineral se encuentra rodeando fenocristales de calcita.

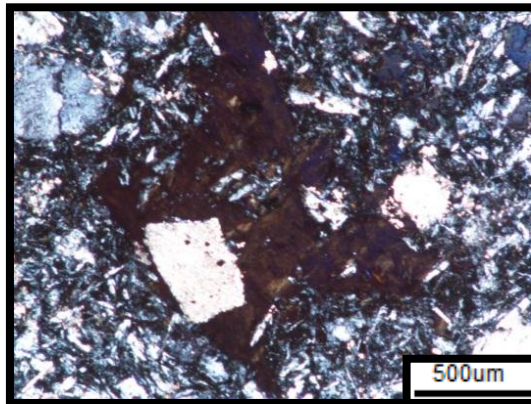


FIGURA 52. Clinocloro rodeando calcita. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo de x10.

Calcita: Este mineral se presenta en las venillas junto con el cuarzo, su tamaño varia de 100 a 200 micras, también se presenta como fenocristales de tamaños que varían de 200 a 800 micras. Su forma es xenomorfa, en ocasiones romboédrica y su exfoliación es perfecta de tipo romboédrica. Este mineral es

incoloro, no presenta pleocroísmo, sus colores interferencia son altos, las maclas van en la dirección de la exfoliación; son romboédricas y en algunos casos polisintéticas laminares. En varias ocasiones se observa que la calcita está rodeada por clinocloro.

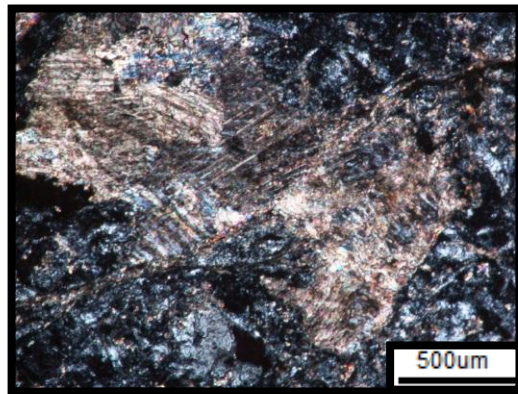


FIGURA 53. Fenocristales de calcita aglomerados. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10.

Sericita: Este tipo de muscovita es la alteración de los feldespatos, se encuentra en toda matriz, su forma es subhedral, es incoloro y marrón, su relieve es bajo, presenta exfoliación perfecta en una solo dirección, sus colores de birrefringencia son bastante extremos, pero no tan fuertes como los de la muscovita.

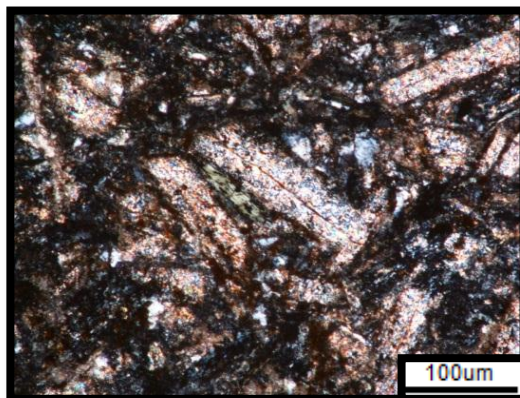


FIGURA 54. Microlitos de plagioclasa sericitizados. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo de x40.

Hematita: Su forma es xenomorfa, este mineral es un óxido, su color es rojizo y su tamaño varía de 100 a 200 micras, se presenta como mineral accesorio en la roca. En luz polarizada la hematita presenta un color gris metálico y está rodeado por óxido de color rojizo, se presenta en las fracturas donde hay bastante oxidación (ver anexos).

Opacos: Sus formas son xenomorfas de tamaños de 10 micras, se presentan en toda muestra dentro de la matriz y como inclusión en los fenocristales. Además se encuentran en las fracturas y se ven bastante alargados. Sus relieves son medios (ver ANEXO 4).

5.6.2 Texturas de las rocas andesíticas: Esta roca holocristalina presenta una textura porfirítica con una matriz microlítica de minerales que están dispuestos al azar (textura afieltrada); estos minerales de la matriz están bastante sericitizados. Los fenocristales presentan bordes de reacción compuestos de carbonatos. Esta roca está siendo afectada por venas hidrotermales de cuarzo y carbonatos. Además se presenta una relación entre los minerales de alteración hidrotermal: Calcita hacia el centro, rodeada de clinocloro.

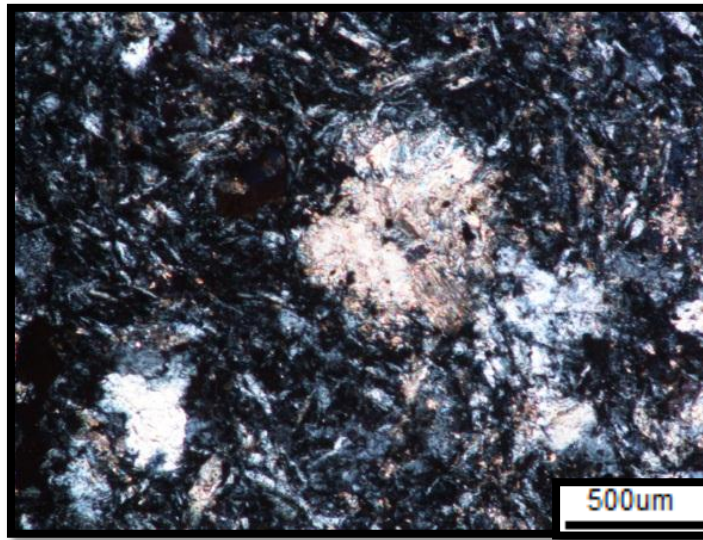


FIGURA 55. Textura porfirítica con matriz microlítica de plagioclasa dispuesta al azar. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo de x10.

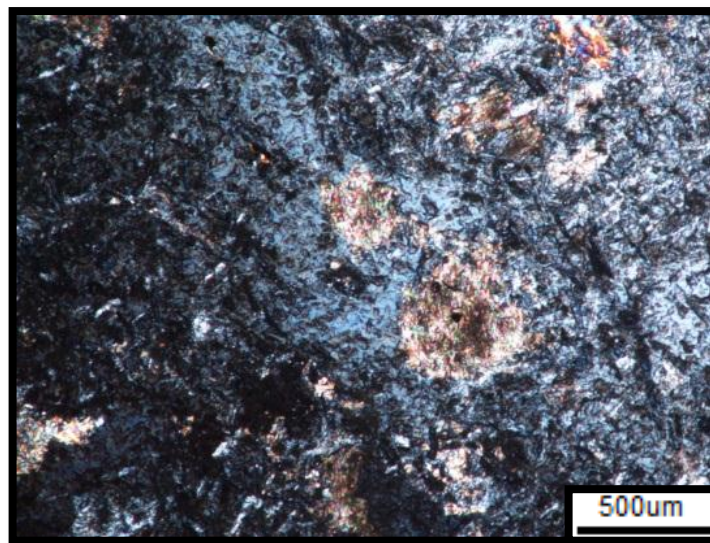


FIGURA 56. Aspecto de la relación entre los minerales de alteración hidrotermal: Calcita hacia el centro, rodeada de clinocloro. Imagen tomada en nicoles cruzados con objetivo x10.

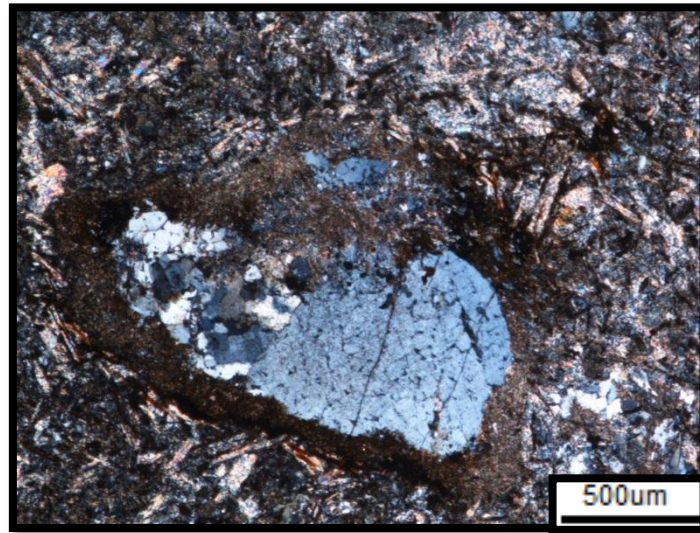


FIGURA 57. Fenocristal de cuarzo con bordes de reacción y desarrollo de subgranos. Imagen tomada en nicols cruzados con objetivo x10.

5.7 DIFRACCIÓN DE RAYOS X.

Esta técnica se realizó en el laboratorio de rayos x de la escuela de física de la Universidad Industrial de Santander, mediante el estudio cualitativo y cuantitativo de 7 muestras de riolita y 1 muestra de andesita en aras de establecer las diferentes fases minerales presentes en estas rocas, lo cual nos permite tener un estudio más complejo de la mineralogía de estas rocas.

A continuación se presenta dos difractogramas: el primero de la riolita y el segundo de la andesita los cuales muestran las principales fases minerales de estas rocas.

5.7.1 Fases minerales de la las riolitas:

TABLA 6. Fases minerales de la riolita.

Fase mineral	Formula	Porcentaje
Cuarzo	Si O_2	36.0 %
Calcita	Ca CO_3	N.C
Ortoclasa	$(\text{K}_{0.931} \text{Na}_{0.055}) \text{Al Si}_3 \text{O}_8$	11.2 %
Moscovita	$\text{K Al}_2 (\text{Al Si}_3 \text{O}_{10}) (\text{OH})_2$	12.8 %
Microclina	$\text{K Al Si}_3 \text{O}_8$	7.7 %
Albita	$(\text{Na}_{0.98} \text{Ca}_{0.02}) \text{Al Si}_3 \text{O}_8$	22.8 %
Clinocloro	$\text{Mg}_5 \text{Al} (\text{Si}_3 \text{Al}) \text{O}_{10} (\text{OH})_8$	4.3 %

El difractograma muestra cantidades similares de cuarzo y albita en la muestra, lo que hace a estos los principales complementos en la roca junto con los feldespatos potásicos lo que se corrobora con la petrografía. La fase mineral de la muscovita (sericita) concuerda con la petrografía al ser el principal mineral de alteración. La fase mineral de caolinita no fue observada en la roca. La fase mineral del clinocloro no fue observada en la muestra, pero si la fase de la clorita en un porcentaje similar al ser un mineral accesorio de alteración. La fase de la calcita no fue observada en la petrografía lo que indica que pudo haber sido contaminación en el momento que fue analizada la muestra.

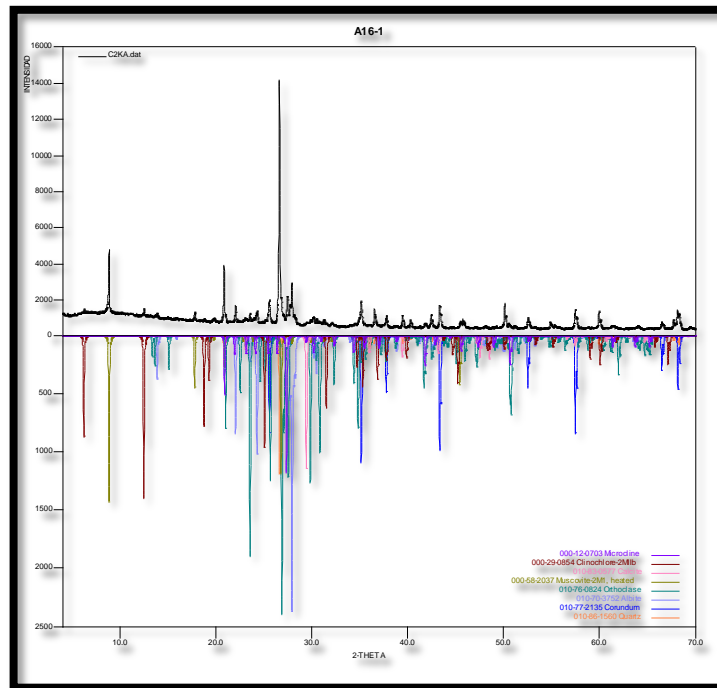


FIGURA 58. Difractograma muestra A16-1.

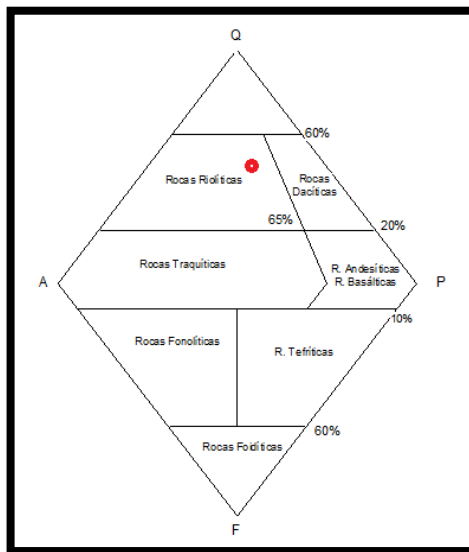


FIGURA 59. Diagrama de clasificación de rocas volcánicas modificado de Strekeissen (1976) en Mantilla (2003).

Utilizando el diagrama de Strekeissen (1976) para la clasificación de rocas volcánicas, las fases minerales presentes en el difractograma de cuarzo, albita, ortoclasa y microclina, clasifican a la roca como riolita.

5.7.2 Fases minerales de las andesitas:

TABLA 7. Fases minerales de la andesita.

Fase mineral	Formula	Porcentaje
Cuarzo	Si O_2	18.6 %
Calcita	Ca CO_3	4.6 %
Moscovita	$\text{K Al}_2 (\text{Al Si}_3 \text{O}_{10}) (\text{OH})_2$	7.3 %
Clinocloro	$(\text{Mg, Fe, Al})_6 (\text{Si, Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_8$	27.1 %
Albita	$\text{Na} (\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$	32.2 %
Montmorillonita	$(\text{Na, Ca})_{0.3} (\text{Al, Mg})_2 \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot x \text{H}_2\text{O}$	N.C

La principal fase identificada en esta muestra es la albita ya que presenta un porcentaje de 32.2% lo que es corroborado con la petrografía debido a que este mineral es uno de los principales componentes de la roca, la segunda fase identificada es el clinocloro mostrando un 27.1% lo que se corrobora con la petrografía. La fase de cuarzo presenta un porcentaje relativamente alto ya que la petrografía no muestra un porcentaje tan alto de cuarzo. Por último la fase de la calcita y de la sericita presenta cantidades más importantes en la roca y la fase de la montmorillonita no fue identificada en la petrografía.

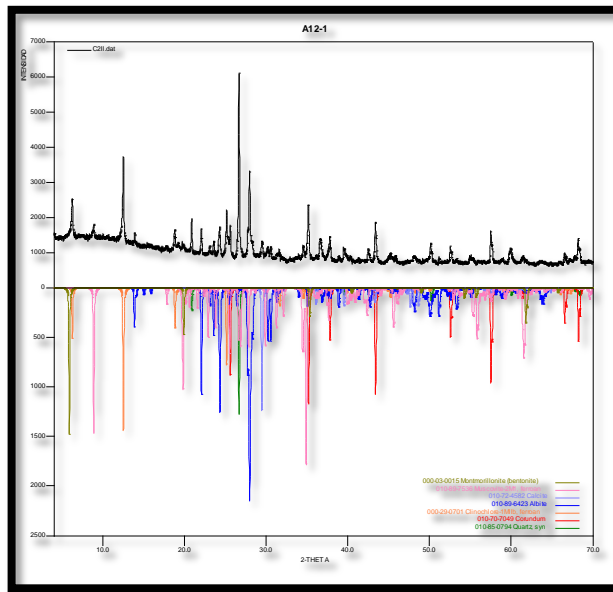


FIGURA 60. Difractograma muestra A12-1

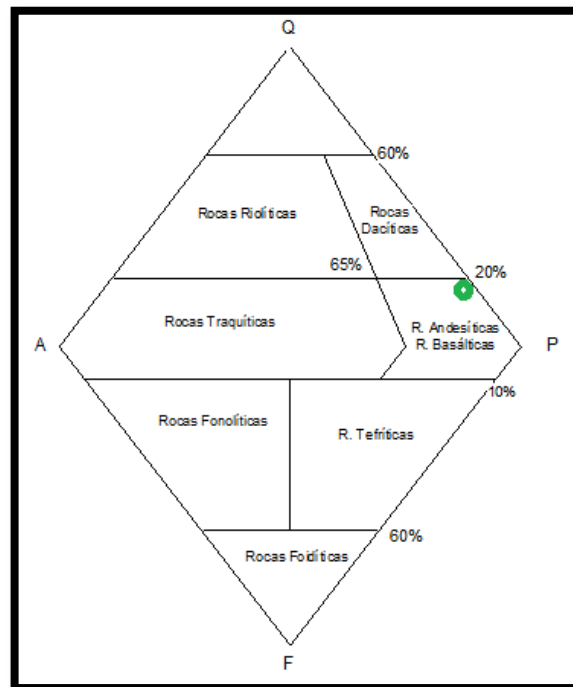


FIGURA 61. Diagrama de clasificación de rocas volcánicas modificado de Strekeissen (1976) en Mantilla (2003).

Utilizando el diagrama de Strekeissen (1976) para la clasificación de rocas volcánicas, las fases minerales presentes en el difractograma de cuarzo y albita, clasifican a la roca como andesita.

5.8. QUÍMICA MINERAL

El análisis de química mineral es una herramienta bastante útil para hallar la composición química de los minerales, con los que podemos saber con exactitud el tipo de minerales que están presentes en la roca. Mediante el análisis de dos secciones delgadas pulidas con microsonda electrónica se tomaron la cantidad de 8 puntos y 55 líneas las cuales sirvieron para reafirmar la presencia de minerales ya hallados mediante la petrografía y la difracción de rayos x. Además distinguir texturas periticas las cuales no son fáciles de identificar.

A continuación se presentan los diferentes puntos que se tomaron y las líneas obtenidas; además de fotografías de petrografía para así tener una imagen completa de los minerales que se estudiaron. Por otro lado los datos de química mineral fueron introducidos en el programa MINPET, el cual arroja una serie de diagramas que nos indica el mineral que se ha estudiado.

5.8.1 Muestra A1:

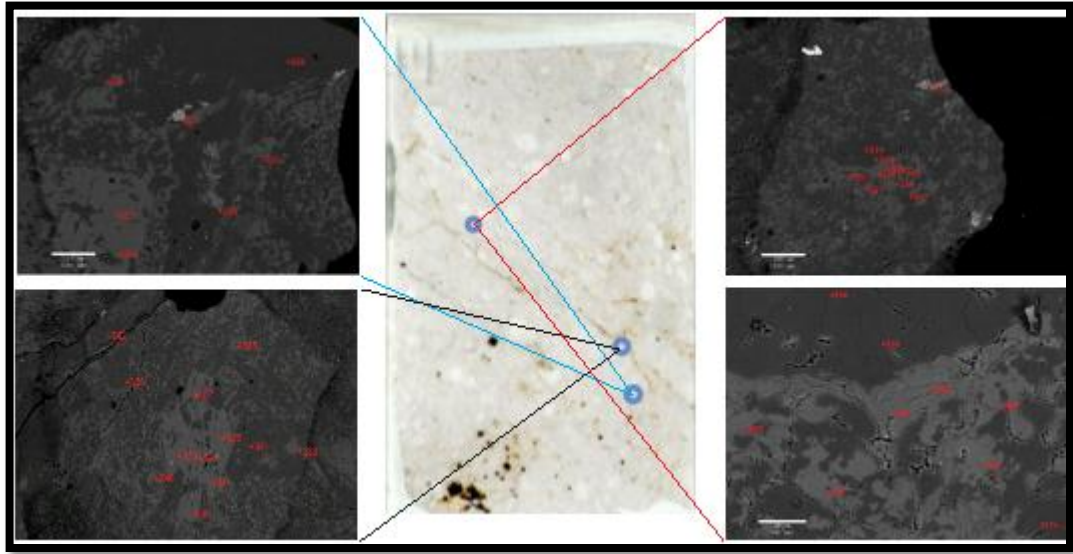


FIGURA 62. Puntos tomados en la microsonda electrónica y las diferentes líneas analizadas.

La química mineral de la muestra A1-1 muestra minerales que ya habían sido identificados anteriormente mediante petrografía y difracción de rayos x, como lo son el cuarzo, ortoclasa, albita, sericita. Además muestra las texturas peritéticas y antiperitéticas que se mencionaron anteriormente. A continuación se presenta las diferentes imágenes tomadas en la química mineral y la clasificación de las diferentes líneas según los diagramas propuestos.

Imagen A1_G1(S):

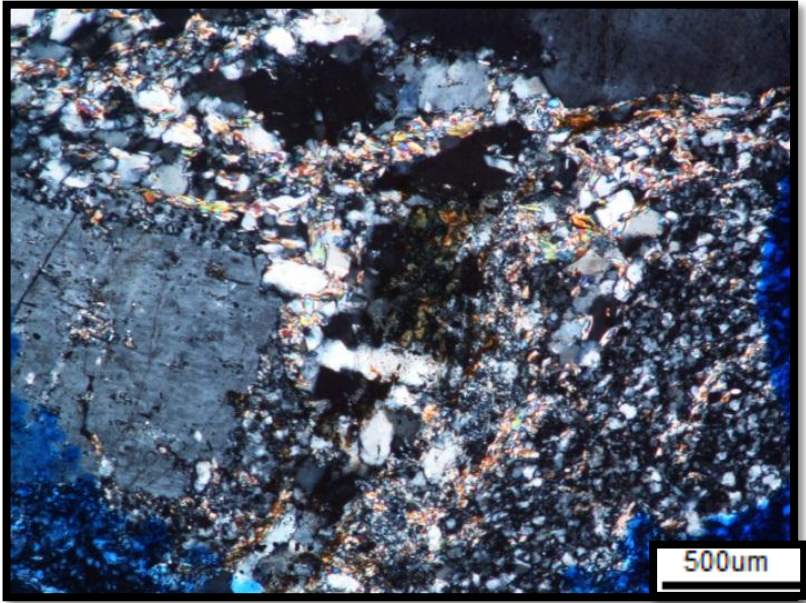


FIGURA 63. Punto en nicoles cruzados x10.

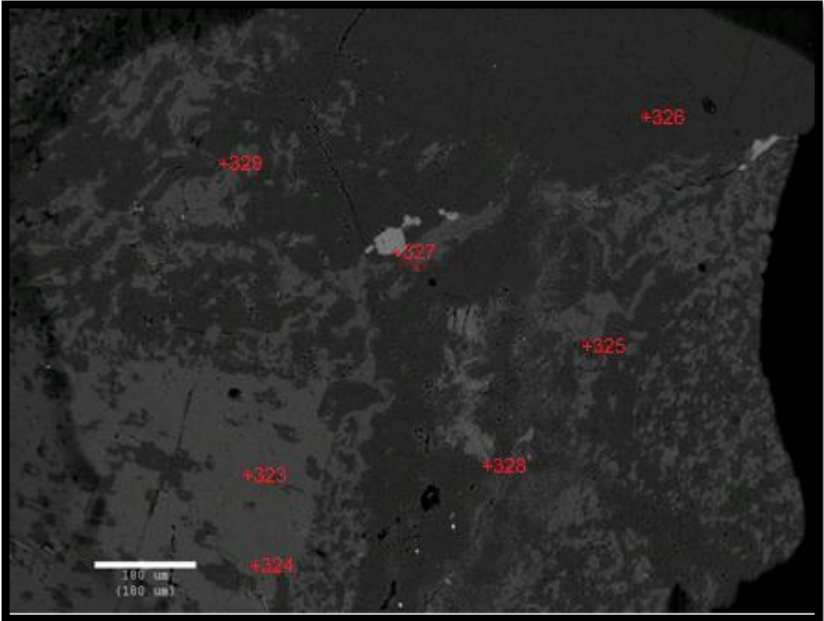


FIGURA 64. Imagen microsonda electrónica.

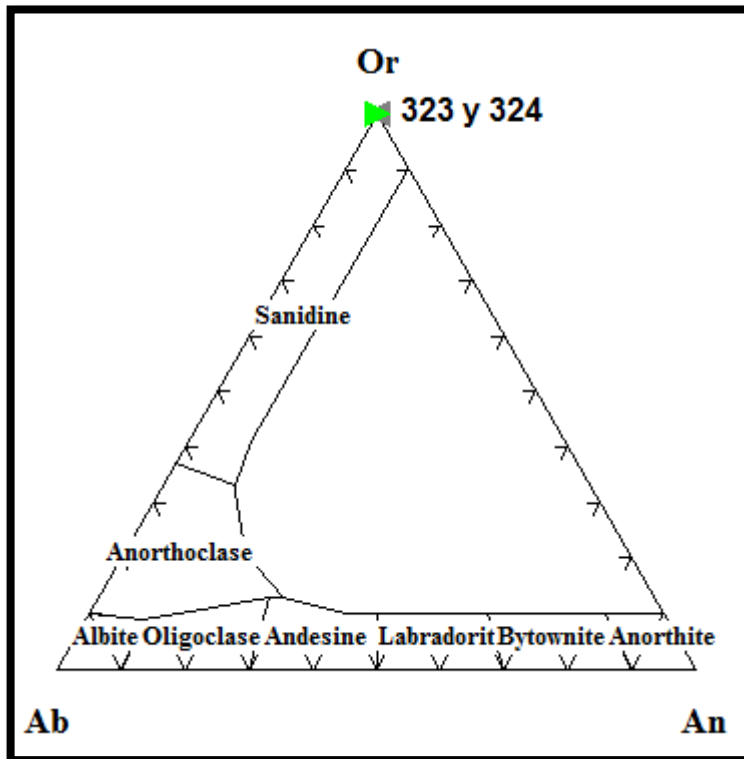


FIGURA 65. Diagrama de clasificación de feldespatos propuesto por Troger (1955) en Kerr (1965).

En la imagen se puede observar que los puntos 323 y 324 corresponden a un fenocristal de feldespato potásico el cual se puede observar también en la fotografía en nicols cruzados; nótese que este presenta una serie de manchas las cuales son de composición sódica y son albita lo que nos indica una textura perítica. El diagrama de clasificación de feldespatos nos muestra que las líneas 323 y 324 son clasificadas como ortoclasa. El punto 326 presenta una composición de 90% SiO₂ indicando un fenocristal de cuarzo. El componente

principal de la matriz es cuarzo y feldespato potásico como se puede observar en la imagen de la microsonda (FIGURA 67). Las líneas 325, 326, 328 y 329 muestran gran contenido de SiO₂ lo que indica que estas líneas pertenecen al cuarzo. La línea 327 presenta un valor de 54.1 de CaO por lo que esta línea pertenece a una calcita, que pudo llegar por algún que fluido que afecto la roca.

Imagen A1_G2(S):

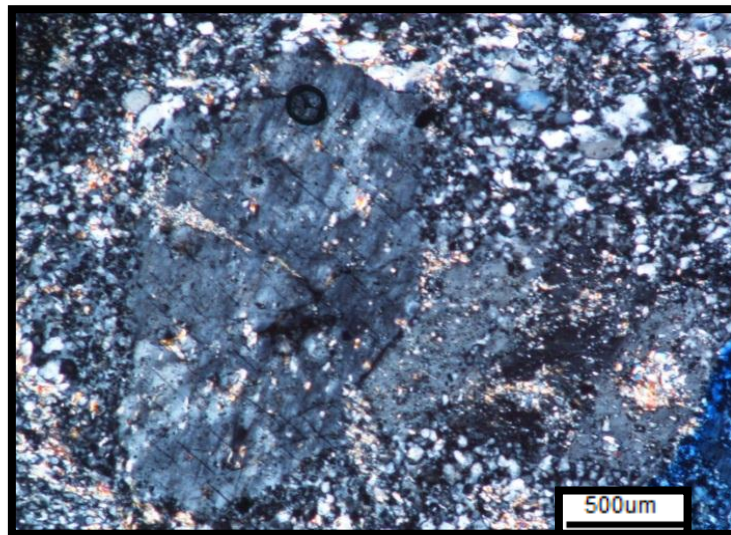


FIGURA 66. Punto en nicoles cruzados x10.

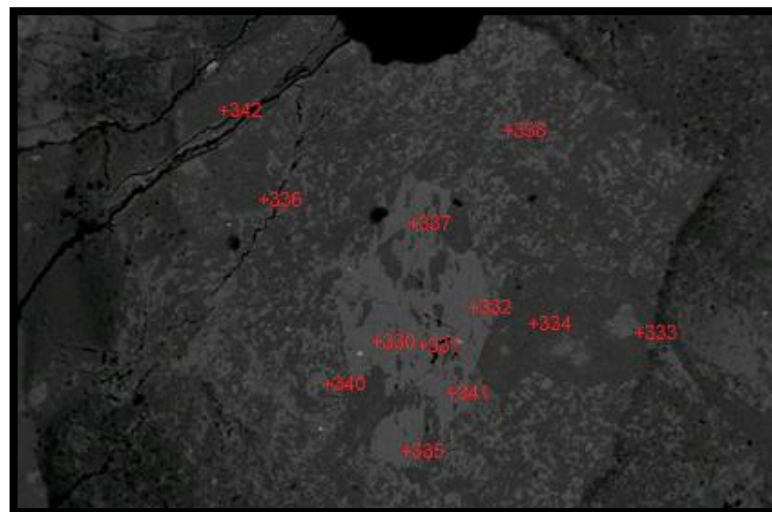


FIGURA 67. Imagen microsonda electrónica.

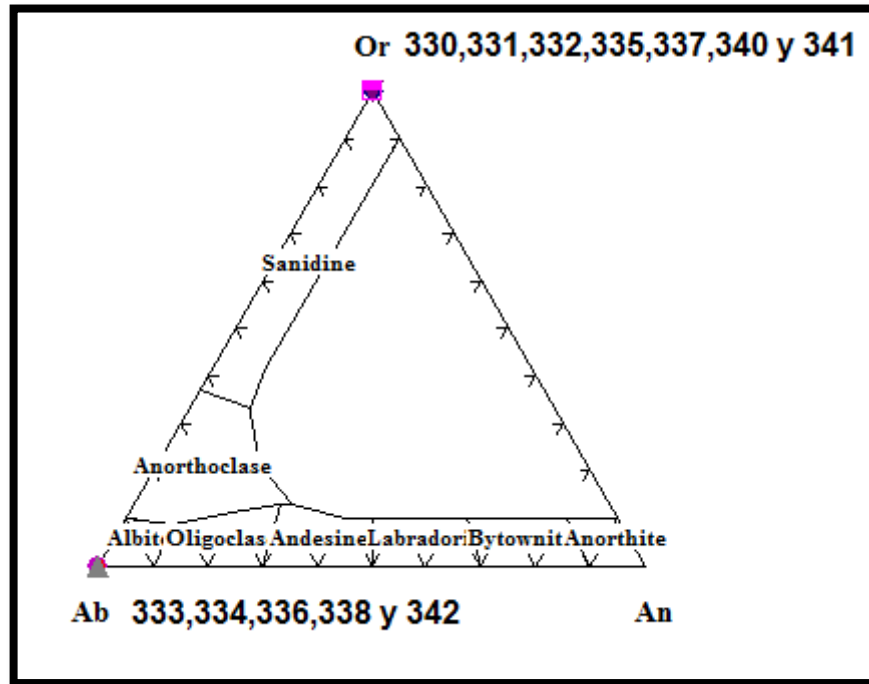


FIGURA 68. Diagrama de clasificación de feldespatos propuesto por Troger (1955) en Kerr (1965).

El diagrama de clasificación de los feldespatos muestra que las líneas 330, 331, 332, 335, 337, 340 y 341 son clasificadas como ortoclasa según el diagrama de discriminación de feldespatos potásicos propuesto por Troger (1955) en Kerr (1965). Las líneas 333, 334, 336, 338 y 342 son clasificadas como albita según el diagrama de discriminación de feldespatos propuesto por Troger (1955) en Kerr (1965). Las líneas 330 y 331 presentan alto contenido de K_2O ; estas líneas pertenecen a un fenocristal de ortoclasa. Nótese que este fenocristal presenta una serie de manchas de composición sódica como lo son la 333 y 334 estas líneas pertenecen a la albita, lo cual indica una textura perítica (FIGURA 84).

Imagen A1_G5(S):



FIGURA 69. Punto en nicoles paralelos x10.

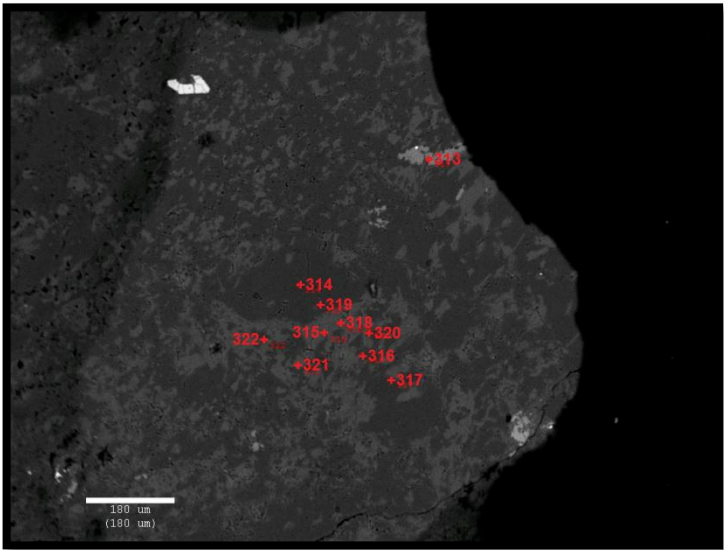


FIGURA 70. Imagen microsonda electrónica.

La imagen muestra una matriz compuesta principalmente por cuarzo, feldespato potásico y sericita. Esto se corrobora con las líneas 313 y 314 ricas en SiO₂ pertenecientes al cuarzo y la línea 315 rica en K₂O, Al₂O₃, MgO, FeO perteneciente a sericita que es la alteración del feldespato potásico.

Imagen A1_G5A(S):

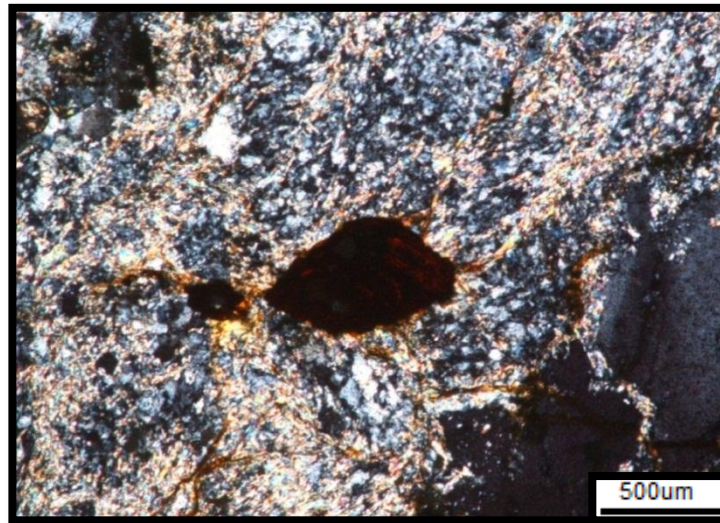


FIGURA 71. Punto en nicoles cruzados x10.

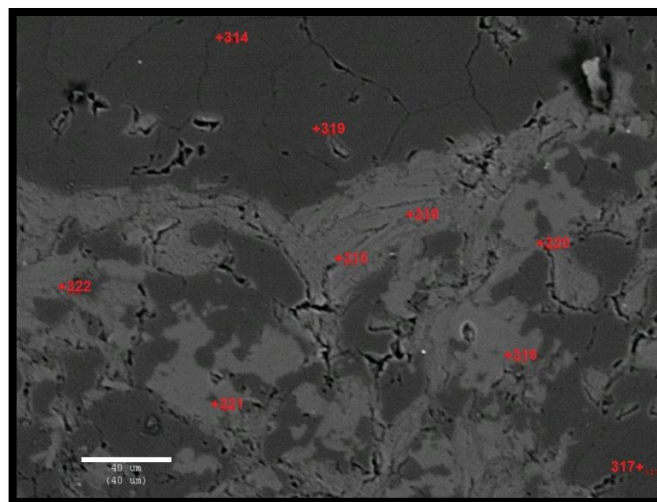


FIGURA 72. Imagen microsonda electrónica.

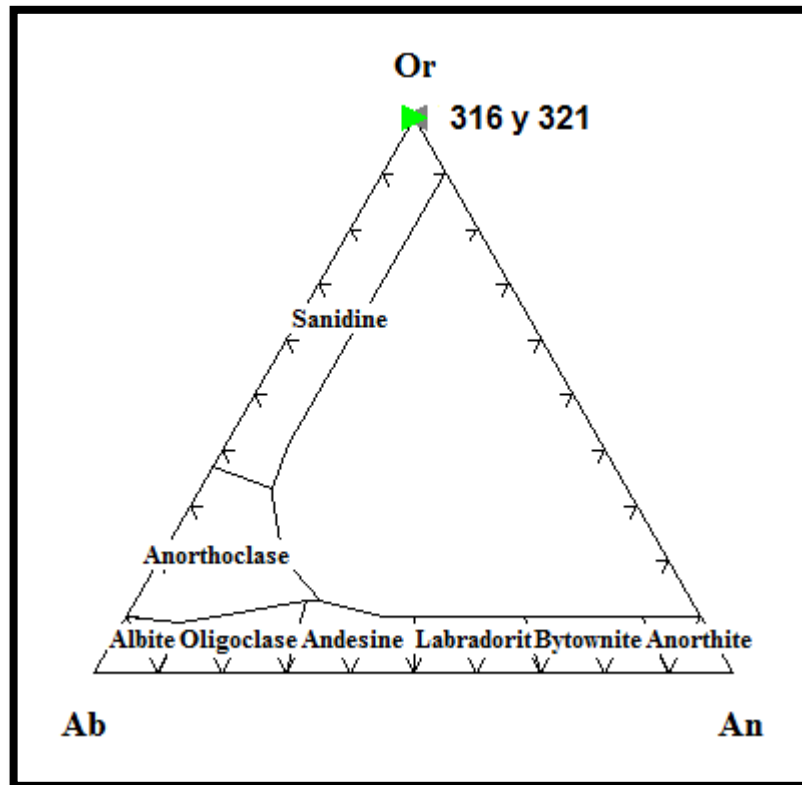


FIGURA 73. Diagrama de clasificación de feldespatos propuesto por Troger (1955) en Kerr (1965).

De manera más detallada se muestra la composición de la matriz principalmente feldespato potásico como lo muestra las líneas 316 y 321, cuarzo como lo muestra líneas 317 y 319, y sericita como lo muestra las líneas 315, 318, 320 y 322. El diagrama de clasificación de los feldespatos propuesto por Troger (1955) en Kerr (1965), muestra que las líneas 316 y 321 se clasifican como ortoclase. Las líneas 317 y 319 compuestas principalmente por SiO₂ corresponden a cuarzo. Las líneas 315, 318, 320 y 322 son ricas en K₂O, Al₂O₃, y FeO lo que nos indica que esta línea pertenece a sericita.

5.8.2 Muestra A20-1:

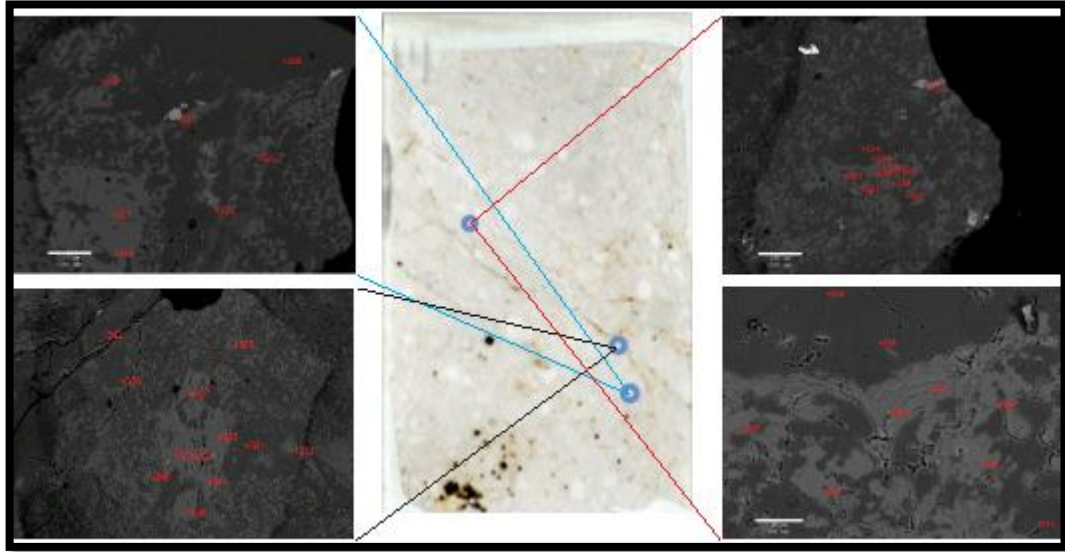


FIGURA 74. Puntos tomados en la microsonda electrónica y las diferentes líneas analizadas.

La muestra A20-1 corresponde a una riolita, que ha sido afectada con más intensidad por alteración hidrotermal; por lo que en el estudio de química mineral se encontró minerales de alteración como la clorita, la illita. Además se encontró una gran cantidad de pirita. Por otro lado se encontraron los otros minerales comunes en estas riolitas tales como ortoclasa, microclina, albita, y el cuarzo. A continuación se muestra con más detalle las diferentes imágenes tomadas en la química mineral y la clasificación de las líneas analizadas según los diagramas propuestos.

Imagen A20-1_G2(S)

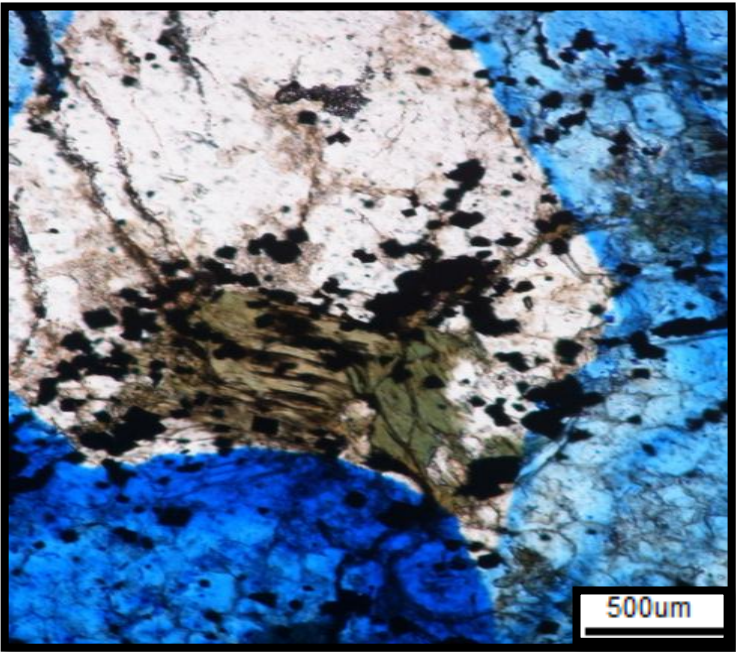


FIGURA 75. Punto en nicoles paralelos x10.

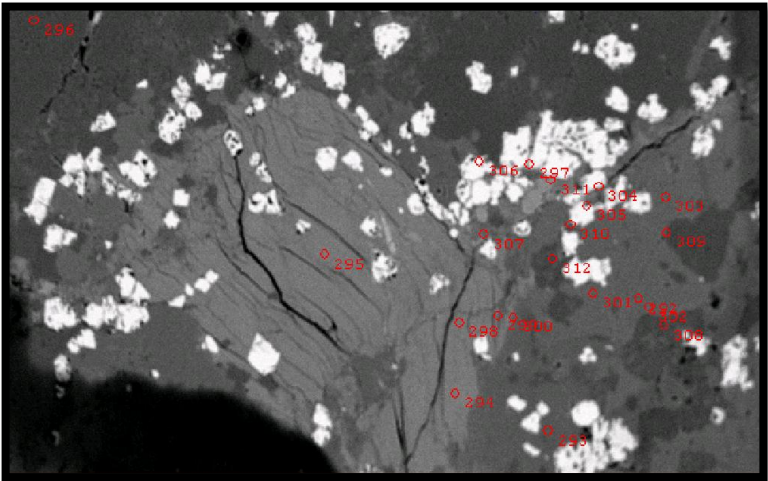


FIGURA 76. Imagen microsonda electrónica.

La línea 292 fue clasificada con el diagrama de clasificación de los feldespatos en donde fue denominada sanidina. La imagen muestra una gran cantidad de pirita los cuales presentan un alto contenido de FeO, las líneas 294, 295 muestra altos contenidos de SiO₂, Al₂O₃, FeO y MgO lo que indica que estas líneas son pertenecientes a clorita. Las cloritas fueron clasificadas en el programa MINPET utilizando el diagrama de discriminación de cloritas oxidadas propuesto por Foster (1962), en donde las cloritas se denominaron thuringita. Las línea 296 presenta un alto contenido de SiO₂ por lo tanto es cuarzo. La línea 293 presenta altos contenidos de K₂O, Al₂O₃, MgO, FeO por lo que se considera que esta línea pertenece a la illita.

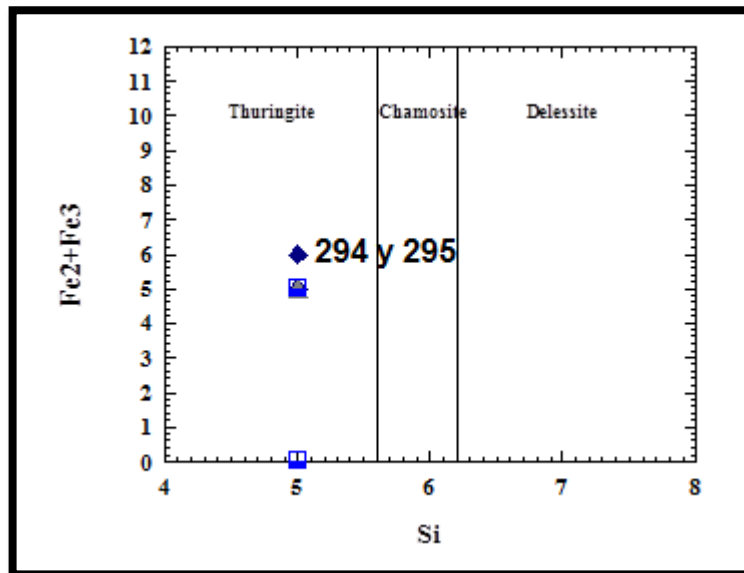


FIGURA 77. Diagrama de clasificación de cloritas Si vs Fe₂ + Fe₃ propuesto por Foster (1962).

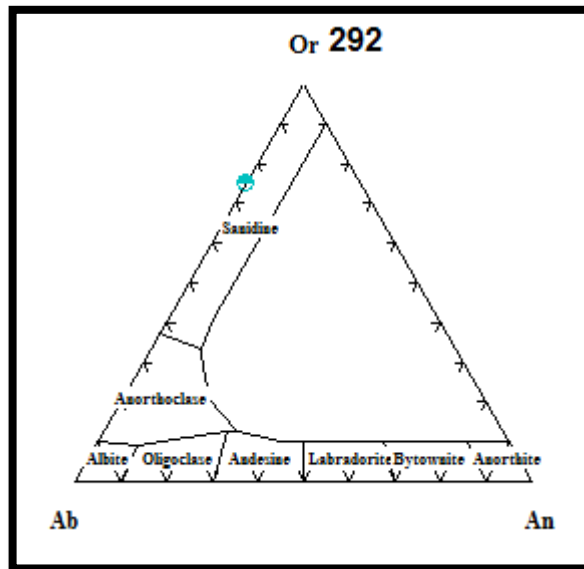


FIGURA 78. Diagrama de clasificación de feldspatos propuesto por Troger (1955) en Kerr (1965).

Imagen A20-1_G2A(S)

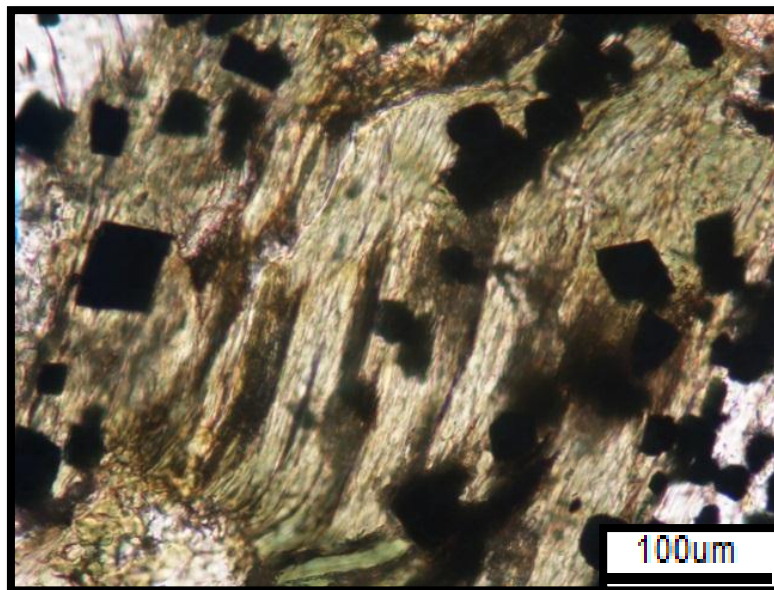


FIGURA 79. Punto en nicoles cruzados x40.

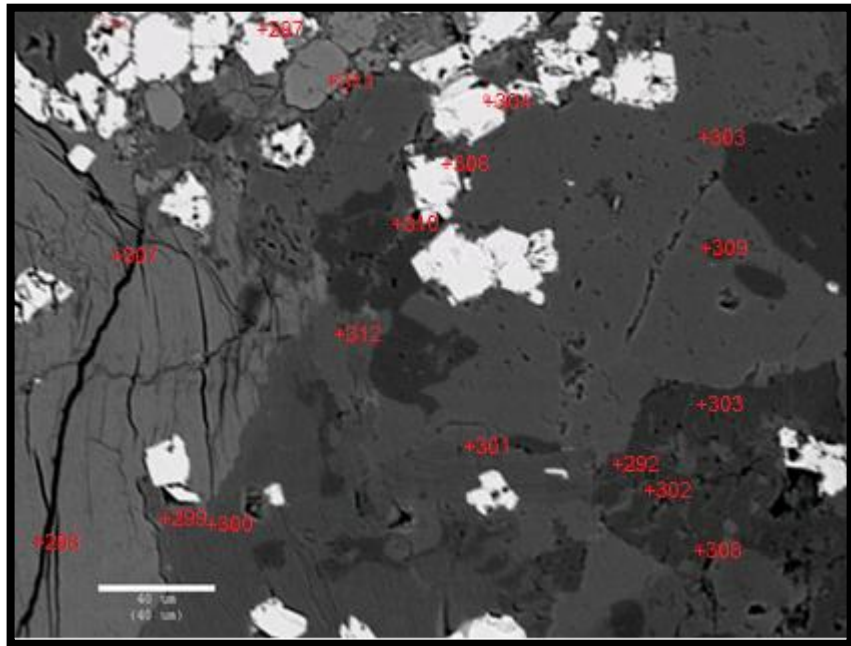


FIGURA 80. Imagen microsonda electrónica.

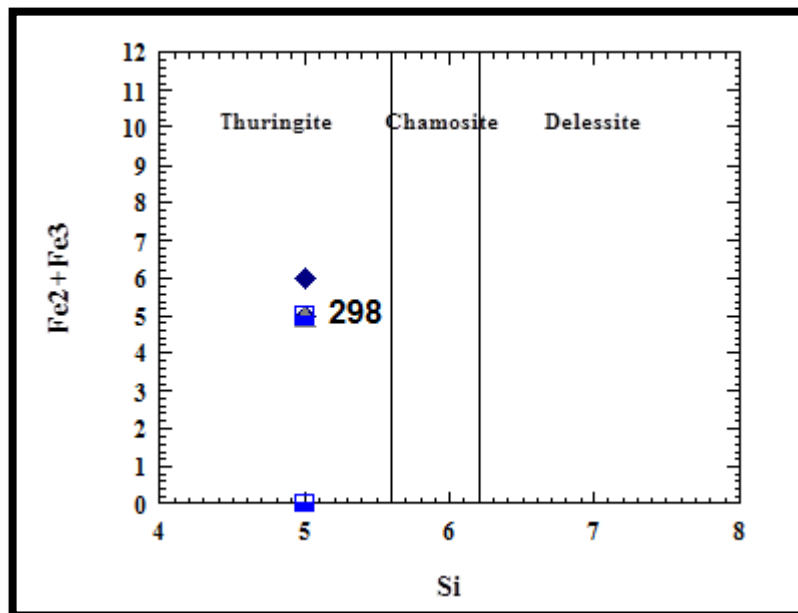


FIGURA 81. Diagrama de clasificación de cloritas Si vs Fe₂ + Fe₃ propuesto por Foster (1962).

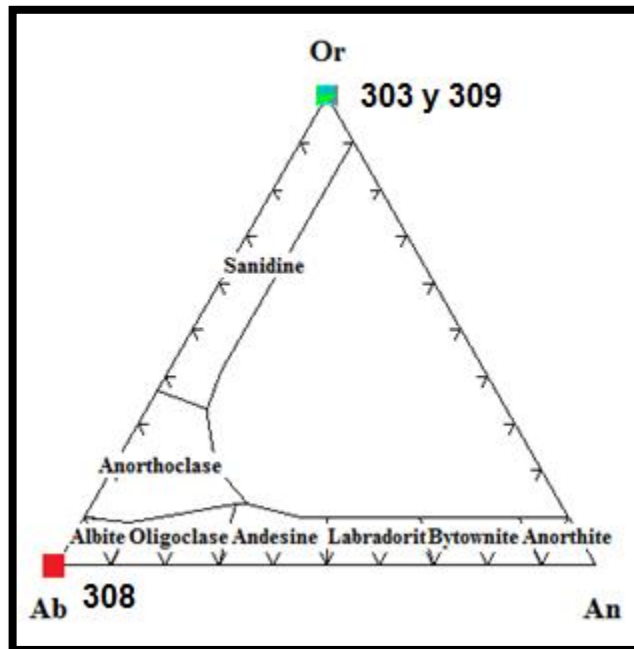


FIGURA 82. Diagrama de clasificación de feldespatos propuesto por Troger (1955) en Kerr (1965).

Con más detalle línea 304 muestra un alto contenido de FeO (91%) lo que indica que esta línea pertenece a pirita. Las líneas 299, 300, 301, 302, 307, 310 y 312 tienen altos contenidos de Al₂O₃, K₂O, FeO, MgO por lo tanto estas líneas pertenecen a la illita que pertenece al grupo de las micas y que es producto de alteración hidrotermal de minerales ricos en aluminio. El diagrama de clasificación de cloritas propuesto por Foster (1962), muestra que la línea 298 es clasificada como thuringita. Las líneas 297, 304, 305 y 306 presentan altos contenidos de FeO las cuales pertenecen a pirita. El diagrama de clasificación de feldespatos muestra que las líneas 303 y 309 son clasificadas como ortoplasa. La línea 308 presenta contenidos altos en Na₂O y fue clasificada como albita en el diagrama de clasificación de feldespatos propuesto por Troger (1955) en Kerr (1965). La línea 311 muestra contenidos muy altos de TiO₂, CaO, MgO, SiO y Al₂O₃ por lo que

esta línea corresponde a un granate producido por alteración calco-silíceica de la roca.

Imagen A20-1_G3(S)

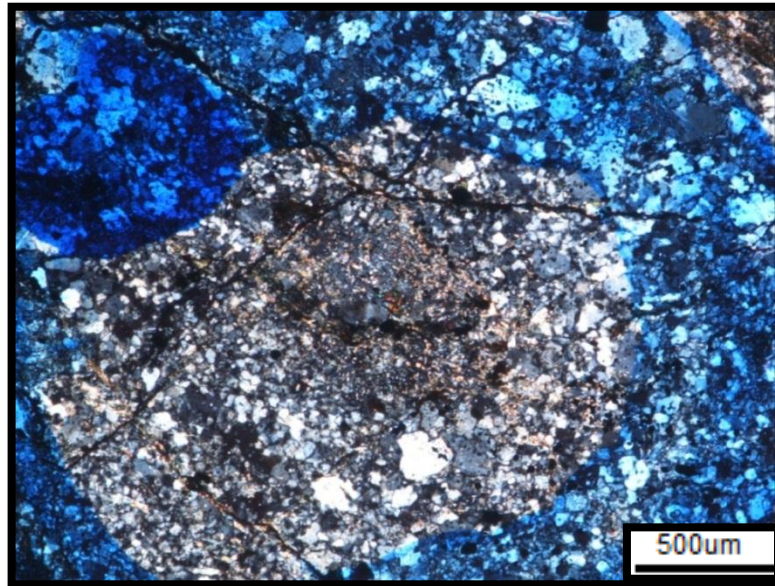


FIGURA 83. Punto en nicoles cruzados x10.

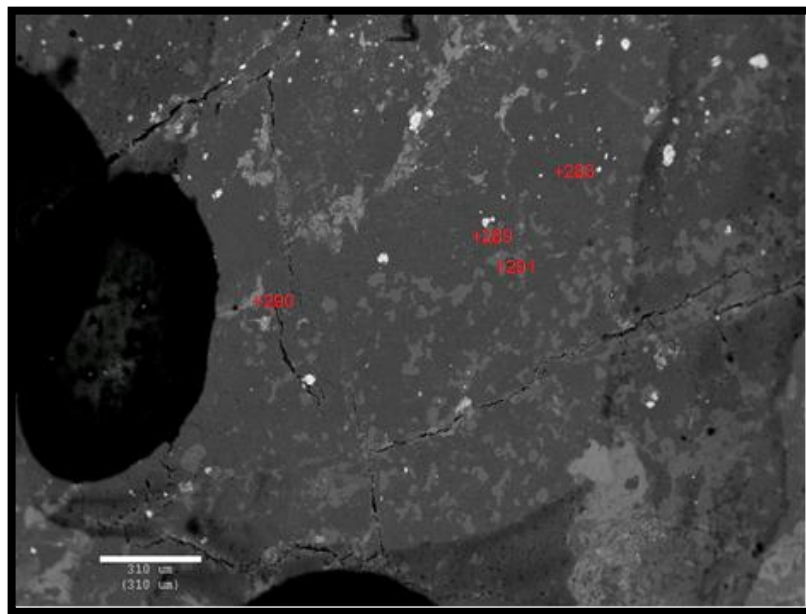


FIGURA 84. Imagen microsonda electrónica.

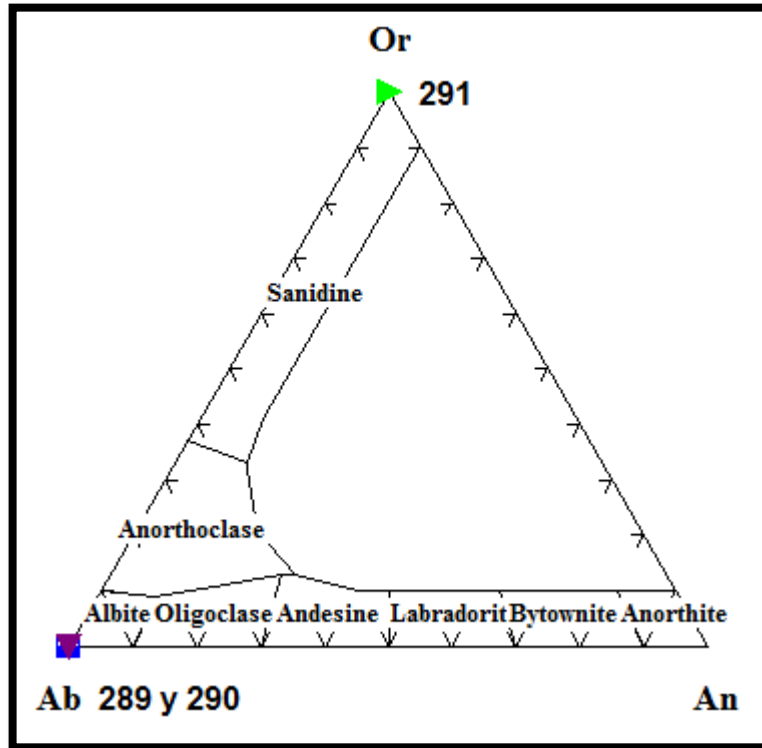


FIGURA 85. Diagrama de clasificación de feldespatos propuesto por Troger (1955) en Kerr (1965).

La línea 288 presenta un contenido de 90% de SiO_2 por lo que esta línea pertenece al cuarzo, las líneas 289 y 290 según el diagrama de discriminación de feldespatos propuesto por Troger (1955) en Kerr (1965), son denominadas como albita debido a su alto contenido de Na_2O . La línea 291 fue clasificada como ortoclasea debido a su alto contenido de K_2O .

Imagen A20-1_G5(S)

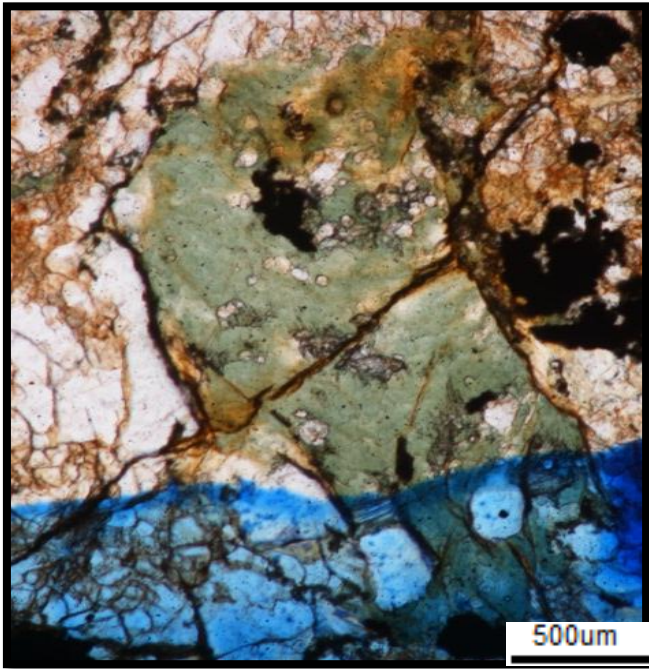


FIGURA 86. Punto en nicoles paralelos x10.

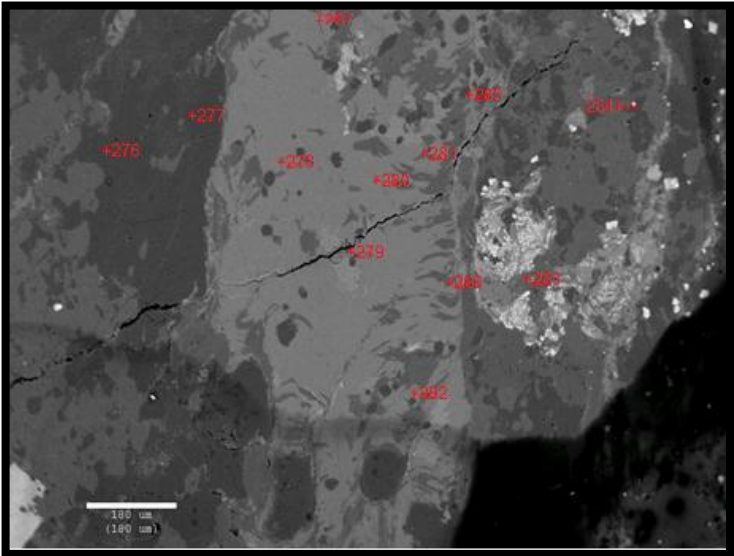


FIGURA 87. Imagen microsonda electrónica.

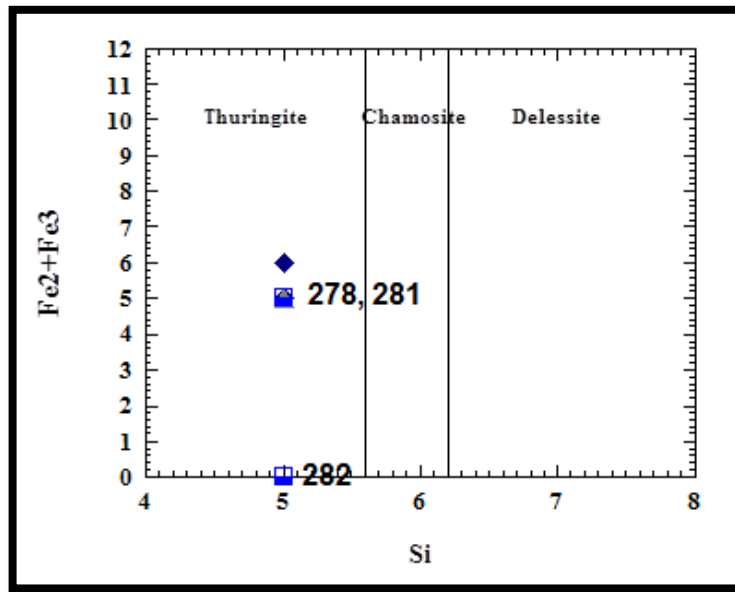


FIGURA 88. Diagrama de clasificación de cloritas Si vs Fe²⁺ + Fe³⁺ propuesto por Foster (1962).

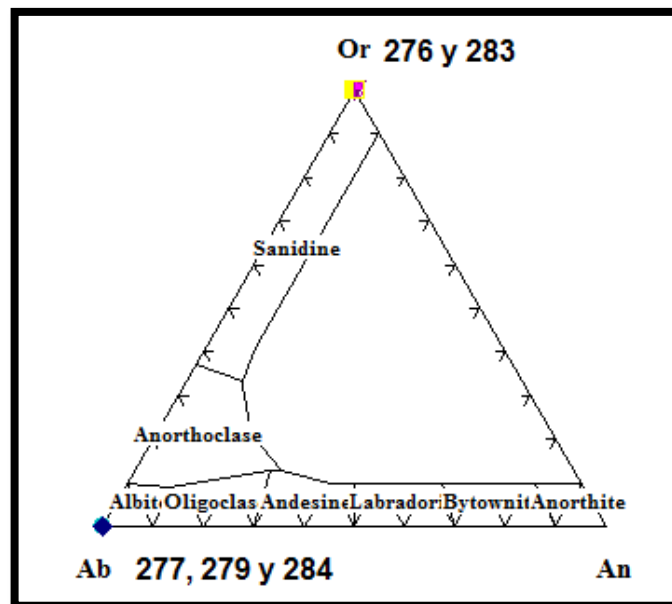


FIGURA 89. Diagrama de clasificación de feldespatos propuesto por Troger (1955) en Kerr (1965).

Las líneas 276 y 283 tienen contenidos altos en K₂O por lo que fueron clasificadas en el diagrama de discriminación de feldespatos propuesto por Troger (1955) en Kerr (1965), y se denominaron ortoclasas. Las líneas 277, 279 y 284 tienen altos contenidos en Na₂O por lo que han sido clasificadas como albita. Utilizando el diagrama de discriminación de cloritas propuesto por Foster (1962), se clasificaron las líneas 278, 281 y 282, las cuales se denominaron thuringita. Las líneas 280, 285, 286 y 287 presentan altos contenidos en Al₂O₃, K₂O, MgO y FeO por lo que estas líneas pertenecen a illita.

5.8.3 Geotermometría de cloritas: La clorita es una de las principales fases minerales de baja temperatura producto del metamorfismo de grado medio bajo, alteraciones hidrotermales o procesos diagenéticos, que puede ser encontrada en una amplia variedad de rocas, desde rocas ultrabásicas a ácidas. Su estructura, caracterizada por una alternancia regular de capas tetraédricas y octaédricas, le confiere una gran variabilidad química debido a las sustituciones catiónicas. La amplia variedad química observada en la clorita ha sido clave durante los últimos años en la determinación de las condiciones físico-químicas en las que este mineral se forma. Los cambios químicos más significativos asociados con el ascenso de la temperatura, han sido el aumento generalizado en el contenido en Al^{IV} y el descenso en los contenidos en Si^{IV} y XFe (McDowell y Elders, 1980)*. Estos cambios, detectados mediante microsonda electrónica, han impulsado el desarrollo de un gran número de geotermómetros. Sin embargo, la composición química de las cloritas no sólo depende de la temperatura a la cual se forman, sino de otros factores como la composición química de la roca original, la paragénesis mineral e incluso la existencia de interestratificados. Estos últimos son de vital importancia en el cálculo de las temperaturas de formación, ya que la presencia de los mismos, puesta de manifiesto por cationes con un radio iónico elevado (Ca, Na o K), modifican los valores obtenidos (Esteban *et al* 2007).

TABLA 8. Análisis de microsonda electrónica de cloritas y formulas estructurales de cloritas calculadas en base 14 oxígenos.

Punto	Un 22 A20-1_G5(S)		Un 24 A20-1_G2(S)		Un 25 A20-1_G2A(S)
Línea	278	281	294	295	298
%WT					
SiO ₂	23,7001	24,8662	24,7237	25,2624	25,2458
TiO ₂	0,032666	1,60257	0,239706	0,171183	0,397069
Al ₂ O ₃	19,7196	18,8521	19,2201	19,5652	17,899
Cr ₂ O ₃	0,032965	-0,03811	0,044912	-0,01305	0,003286
FeO	27,075135	25,06293	26,15042	26,18102	24,153855
MnO	0,991913	0,930127	1,06716	0,927629	0,956383
MgO	8,92175	8,53428	9,14665	9,35653	8,97002
CaO	0,033345	1,71179	0,103629	0,194858	0,241971
Na ₂ O	0,019124	0,022392	0,01266	0,011227	0,004419
K ₂ O	0,024429	0,057854	0,054927	0,041444	0,108099
O	0	0	0,000004	0	0
TOTAL	85,3291	86,0249	85,3786	86,3186	82,2424
Proporciones cationicas					
Si	2,666	2,707	2,759	2,802	2,897
Al ^{IV}	1	1	1	1	1
Al ^{VI}	2	2	2	2	2
Ti	0,003	0,131	0,019	0,014	0,034
Fe ²	2,546	2,471	2,441	2,389	2,321
Mn	0,094	0,086	0,1	0,085	0,092
Mg	1,492	1,39	1,514	1,526	1,525
Ca	0,004	0,199	0,012	0,022	0,03
Na	0,004	0,005	0,002	0,002	0,000
K	0,003	0,008	0,006	0,001	0,016
Geotermómetros					
Fe/(Fe+Mg)	0,631	0,640	0,617	0,610	0,603
Chateline y Nieva (1985)*	230,8	230,8	230,8	230,8	230,8
Tranidiotis y Maclen (1987)	276,783853	277,511842	275,795752	275,27811	274,7785231
Chateline (1988)*	260,06	260,06	260,06	260,06	260,06
Xie (1997)*	122,806847	118,605375	128,509515	131,497005	134,3802892

*

* En Esteban *et al* (2007).

5.9 GEOQUIMICA TOTAL

Para la geoquímica del cuerpo riolítico, se utilizaron 5 muestras de roca y los análisis fueron realizados por ALS MINERALS Bogotá; utilizando un espectroscopio de frecuencia EDRXF. A continuación se presenta los elementos mayores, menores y traza utilizados para determinar la serie, tipo de roca, norma CIPW, contenido de aluminio, enriquecimiento de elementos y contexto tectónico.

TABLA 9. Geoquímica total.

Muestra	Recvd Wt.	Ag	Al	As	Au	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	Ge	Hf	Hg	In	K	
Descripción	kg	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	
A1	0,16	0,02	0,37	15,3	<0,2	<10	30	0,4	0,18	0,09	0,03	59,9	0,8	2	0,58	5,2	0,59	1,57	0,06	0,02	0,01	0,01	0,01	0,29
A3-1	0,18	0,07	0,37	0,7	<0,2	<10	50	0,77	0,18	0,08	0,01	58	0,5	5	0,45	8,1	0,38	1,54	0,06	<0,02	0,01	0,01	0,29	
A13-1	0,16	0,05	0,43	1,9	<0,2	<10	50	0,6	0,67	0,09	0,01	61,4	0,6	3	0,49	13,3	0,66	2,27	0,06	0,02	<0,01	0,02	0,3	
A16-1	0,2	0,06	0,37	1,2	<0,2	<10	30	0,39	0,32	0,09	0,01	62,2	1,9	3	0,21	21,8	0,68	1,74	0,06	0,02	<0,01	0,02	0,19	
A19-1	0,33	<0,01	0,3	0,4	<0,2	<10	20	0,3	0,04	0,08	0,01	28,7	0,3	5	0,12	5,3	1,16	2,04	0,06	0,03	<0,01	0,03	0,08	
Muestra	Recvd Wt.	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Nb	Ni	P	Pb	Rb	Re	S	Sb	Sc	Se	Sn	Sr	Ta	Te	Th	Ti	
Descripción	kg	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	
A1	0,16	26,8	1,1	0,03	47	0,52	0,02	0,3	2,2	450	3,3	20,8	<0,001	0,01	<0,05	1,1	<0,2	0,4	4,6	<0,01	0,01	13,9	<0,005	
A3-1	0,18	26,2	0,8	0,02	89	0,61	0,01	0,46	1,5	350	4,4	22,7	<0,001	0,01	<0,05	1	<0,2	0,4	6,3	<0,01	0,01	13,2	<0,005	
A13-1	0,16	27,4	2	0,07	137	1,68	0,02	0,48	2,3	430	4,1	22,6	<0,001	0,01	<0,05	1,1	<0,2	0,4	3,6	<0,01	0,01	13,3	<0,005	
A16-1	0,2	28,1	2,7	0,12	258	0,6	0,03	0,29	2,3	410	4,2	13,1	<0,001	0,01	<0,05	1,4	<0,2	0,3	4,8	<0,01	0,02	12,5	<0,005	
A19-1	0,33	12,4	2,1	0,07	66	0,9	0,03	4,41	2,1	360	2,8	6,4	<0,001	0,01	<0,05	3	0,3	2,1	7	<0,01	<0,01	12,6	0,04	
Muestra	Recvd Wt.	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr	Al2O3	BaO	CaO	Cr2O3	Fe2O3	K2O	MgO	MnO	Na2O	P2O5	SiO2	SrO	TiO2	LOI	FeO	
Descripción	kg	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
A1	0,16	0,14	2,29	1	0,1	6,67	7	<0,5	13	0,07	0,18	0	1,65	4,8	0,29	0,02	2,24	0,12	76,7	<0,001	0,16	1	0,69	
A3-1	0,18	0,17	1,26	1	0,06	5,61	8	<0,5	12	0,06	0,15	0,01	1,62	4,3	0,31	0,02	1,34	0,09	78,2	<0,001	0,14	1,18	0,77	
A13-1	0,16	0,12	3,56	1	0,11	7,6	9	<0,5	12,9	0,09	0,19	0,01	1,66	4,88	0,31	0,03	2,27	0,11	76,3	<0,001	0,17	0,89	0,93	
A16-1	0,2	0,07	1,92	1	0,09	10,7	8	<0,5	12,7	0,08	0,21	0,01	1,49	4,62	0,39	0,04	2,79	0,11	77,6	0	0,15	0,73	0,65	
A19-1	0,33	0,03	3,48	5	0,31	23,1	8	<0,5	13,3	0,08	0,43	0	1,78	4,12	0,19	0,01	4,29	0,1	73,8	0,01	0,16	0,41	0,62	

5.9.1 Clasificación de la roca: Utilizando el diagrama de TAS (total alkali v/s silica) para la clasificación de rocas volcánicas el cual utiliza la suma de Na_2O+K_2O Vs SiO_2 , las cinco muestras analizadas se ubican dentro del rango de la riolita.

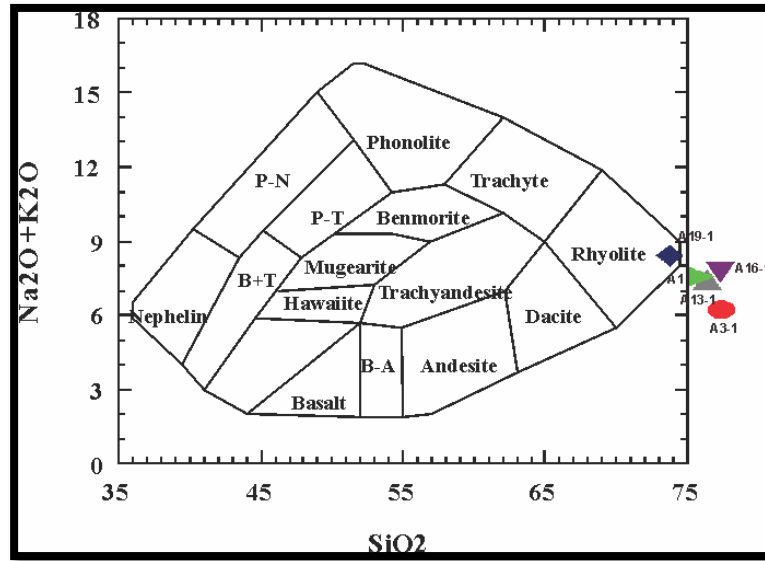
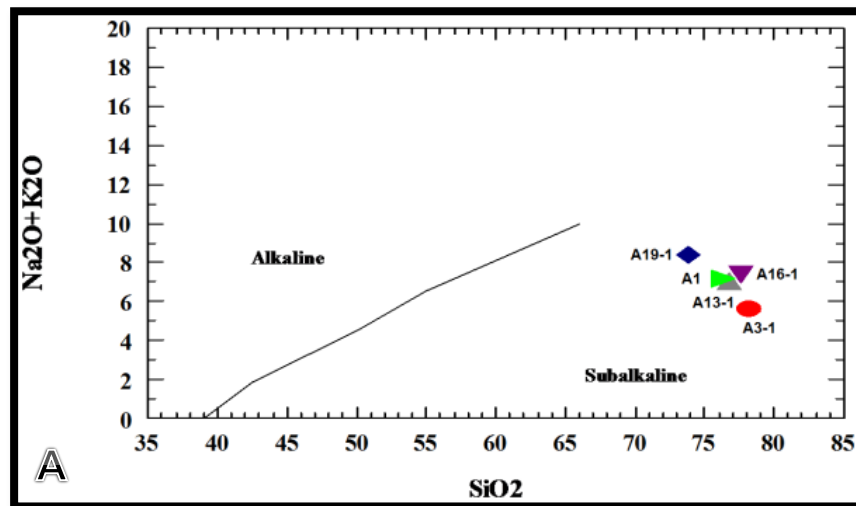


FIGURA 90. Diagrama TAS de clasificación de rocas volcánicas. Modificado de Rollinson (1996).

5.9.2 Serie de la roca: En el diagrama de discriminación de $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ Vs K_2O propuesto por Baragar (1971), las rocas riolíticas muestran una serie sub-alkalina y dentro de la subdivisión de la serie calco-alkalina K_2O Vs SiO_2 propuesta por Peccerillo y Taylor, (1976) la roca muestra un serie calco-alkalina rica en potasio.



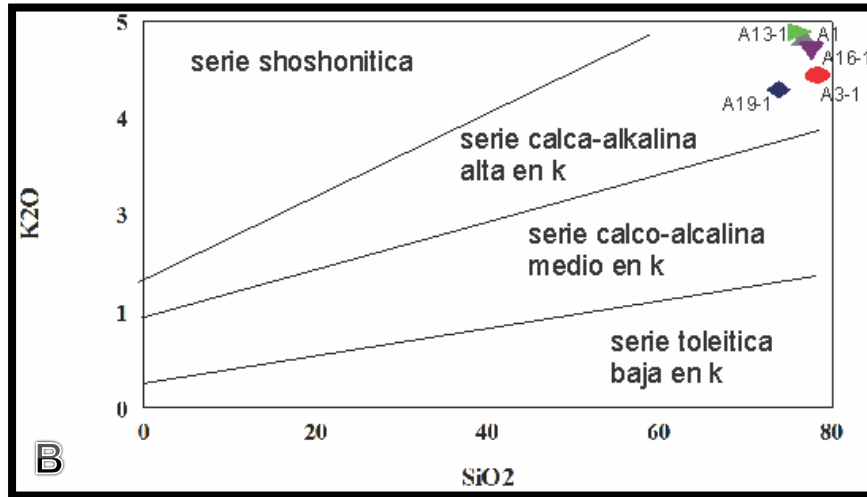


FIGURA 91. A. diagrama de discriminación serie de la roca (Baragar, 1971) en Rollinson (1996). B. diagrama discriminación subserie de la roca (Peccerillo y Taylor, 1976) en Rollinson (1996).

Por otro lado utilizando el diagrama de discriminación de rocas volcánicas utilizando los porcentajes catiónicos de Al, (Fet + Ti) y Mg propuesto por Rickwood (1989), la rocas analizadas se ubican dentro de la serie calco-alkalina y dentro del rango de las riolitas.

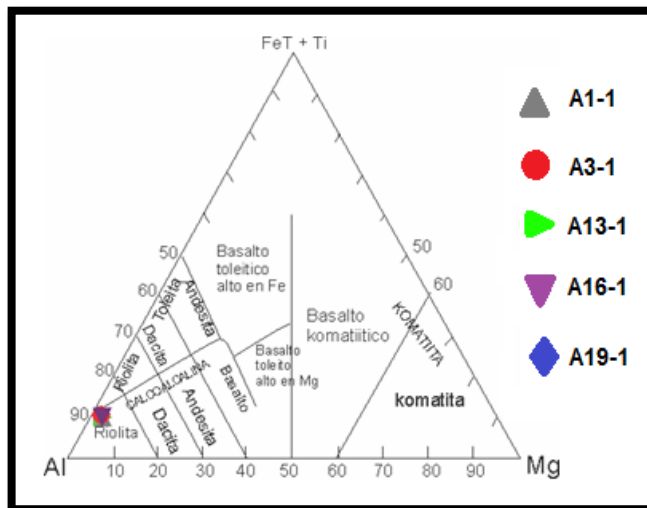


FIGURA 92. Diagrama de discriminación de rocas volcánicas utilizando cationes propuesto por Rickwood (1989) en Mantilla (2003).

Otro de los elementos importantes para el análisis de las rocas volcánicas es el aluminio, por lo que es el segundo constituyente más abundante en las rocas ígneas, por tal 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 supera en gran cantidad a la suma de la concentración molar de K_2O , Na_2O , CaO ; esto nos indica que la roca es peraluminica.

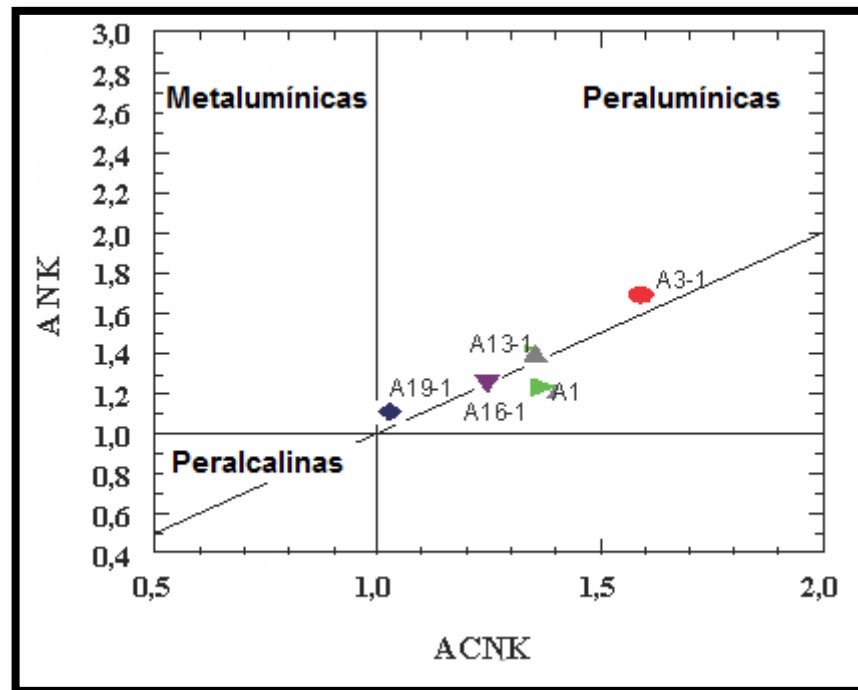


FIGURA 93. Diagrama de discriminación de contenido de aluminio en la roca propuesto por Shand (1927) en Rollinson (1996).

Por otro lado utilizando el diagrama de discriminación para las rocas volcánicas de SiO_2 vs $\text{Zr/TiO}_2 \cdot 0.001$ propuesto por Winchester y Floyd (1977), la roca es clasificada como riolita.

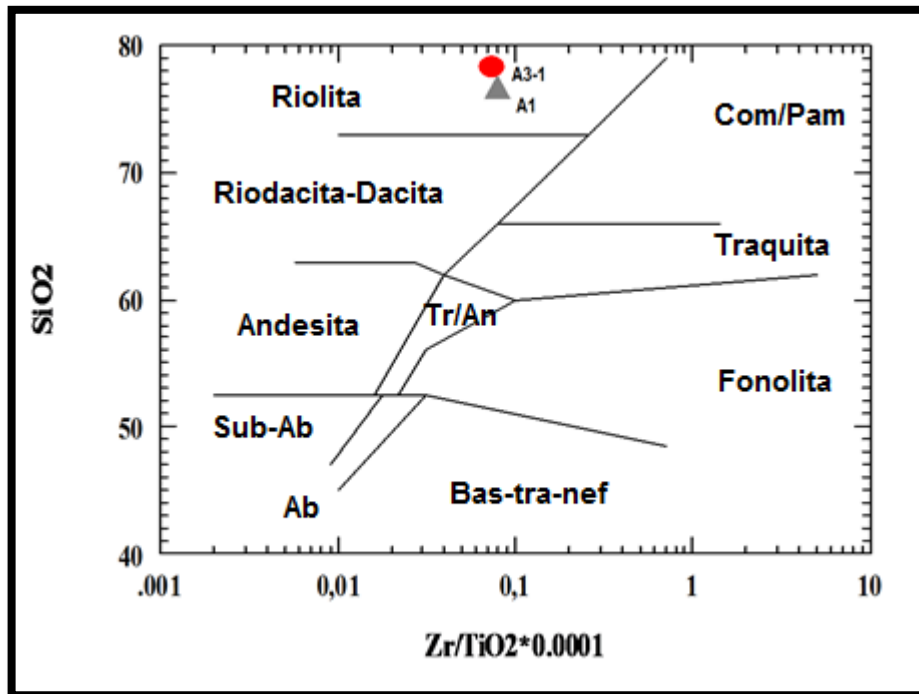


FIGURA 94. Diagrama de discriminación de rocas volcánicas propuesto por Winchester y Floyd (1977) en Rollinson (1996).

5.9.3 Norma CIPW: Una de las formas de clasificación de las rocas ígneas es la norma CIPW que nos permite llevar los datos de los óxidos mayores a los contenidos minerales equivalentes de estos en las rocas ígneas. Para hallar esta norma se utilizó el programa IGPET para rocas ígneas volcánicas. A continuación se presenta la tabla de los datos normalizados de las 5 muestras utilizadas.

TABLA 10. Datos de óxidos mayores con norma CIPW.

	A1	A3-1	A13-1	A16-1	A19-1	CIPW norm	A1	A3-1	A13-1	A16-1	A19-1
SiO ₂	76,7	78,2	76,3	77,6	73,8	Quartz	44,90081	54,05011	43,93572	42,63989	32,55588
TiO ₂	0,16	0,14	0,17	0,15	0,16	Orthoclas	28,4259	25,69896	28,92691	27,10057	24,65685
Al ₂ O ₃	12,95	11,95	12,85	12,7	13,25	Plagioclas	19,13675	11,5893	19,51156	23,78089	38,28078
Fe ₂ O ₃	1,65	1,62	1,66	1,49	1,78	Diopside*	0	0	0	0	0
FeO	0,69	0,77	0,93	0,65	0,62	Hypersthe	0,723841	0,780874	0,884381	0,964214	0,479255
MnO	0,015	0,017	0,029	0,039	0,009	Olivine*	0	0	0	0	0
MgO	0,29	0,31	0,31	0,39	0,19	Nepheline	0	0	0	0	0
CaO	0,18	0,15	0,19	0,21	0,43	Leucite	0	0	0	0	0
Na ₂ O	2,24	1,335	2,27	2,79	4,29	Magnetite	1,812758	2,155371	2,414182	1,774141	1,583638
K ₂ O	4,8	4,3	4,88	4,62	4,12	Ilmenite	0,304514	0,268899	0,323851	0,282776	0,307734
P ₂ O ₅	0,115	0,089	0,107	0,106	0,097	Apatite	0,266856	0,208422	0,248526	0,24364	0,227467
						Others	4,428764	5,248283	3,755248	3,214372	1,908507
						TOTAL	100,0002	100,0002	100,0004	100,0005	100,0001

Una vez obtenidos los datos de la norma CIPW se pueden introducir estos valores en el programa QAPF que utiliza el diagrama de Streckeisen para la discriminación de rocas volcánicas.

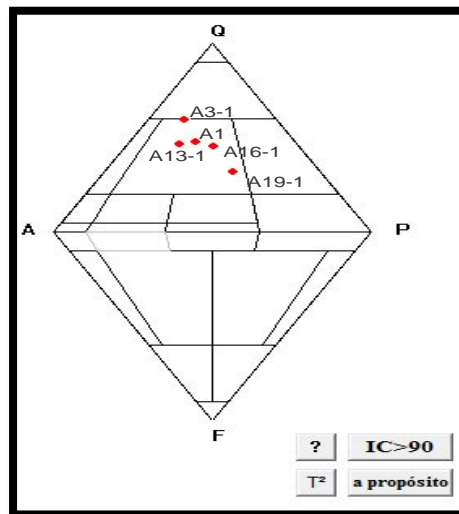
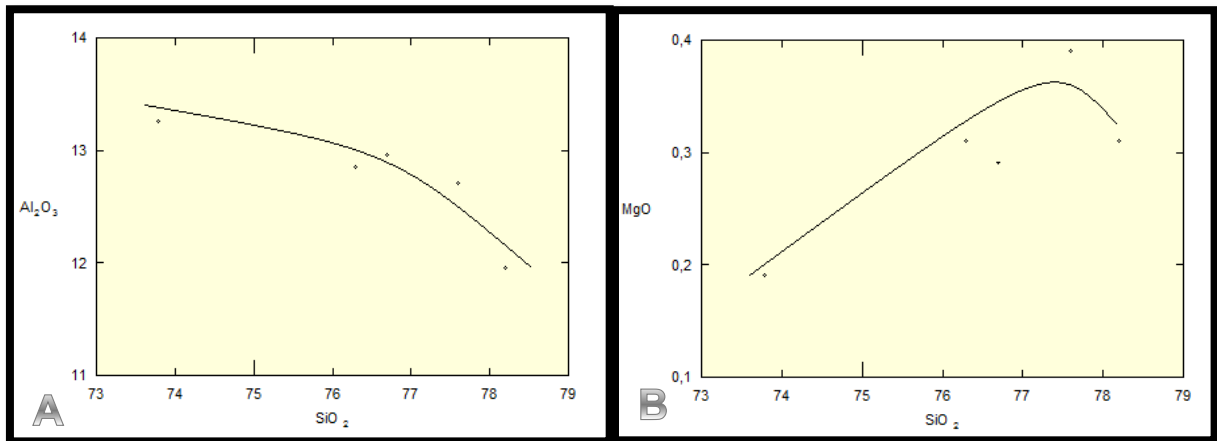


FIGURA 95. Diagrama para clasificación de rocas volcánicas propuesto por Streckeisen (1976) en Mantilla (2003).

Como se puede observar en el diagrama de Strekeissen las 5 muestras se ubican dentro del rango de la riolita.

5.9.4 Diagramas de variación de Harker: Con el objetivo de determinar variaciones químicas dentro de un grupo muestras químicas asociadas se utilizan los diagramas de variación de Harker. Para este caso se utilizó los diagramas con el fin de determinar la compatibilidad de los óxidos mayores en el magma, identificando las pendientes negativas y positivas que nos muestren las gráficas; estos se logra graficando en el eje x el SiO_2 y en el eje y los diferentes óxidos de los elementos mayores.

A continuación se muestran los diagramas de variación de Harker de las 5 muestras a las que se le realizaron análisis químicos.



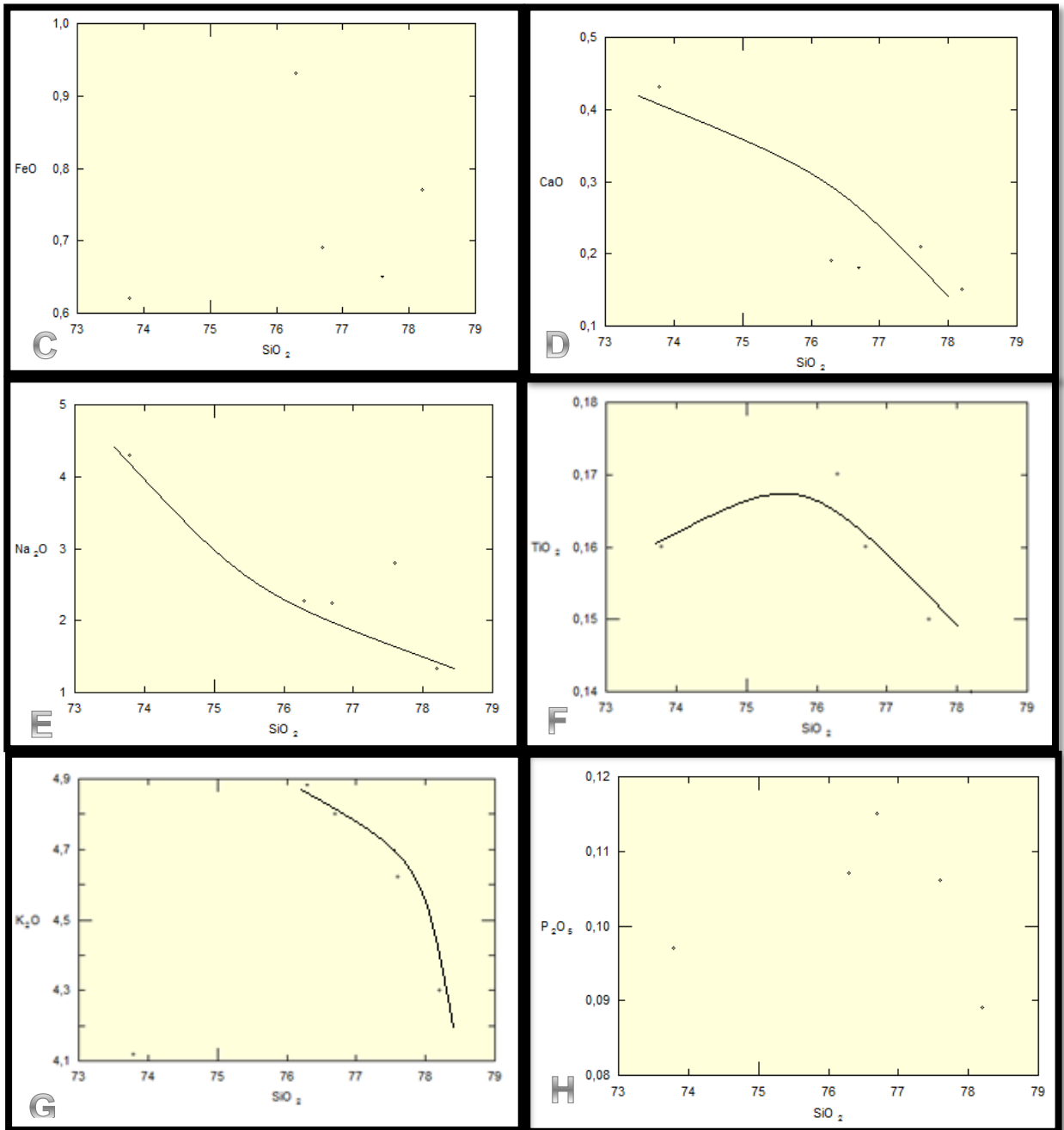


FIGURA 96. A. SiO_2 vs Al_2O . B. SiO_2 vs MgO .C. SiO_2 vs FeO . D. SiO_2 vs CaO . E. SiO_2 vs Na_2O . F. SiO_2 vs TiO_2 . G. SiO_2 vs K_2O . H. SiO_2 vs P_2O_3 .

Correlacionando el SiO₂ con los diferentes óxidos mayores, se determinó que para el Al₂O₃, Na₂O, CaO, TiO₂, K₂O las pendientes son negativas lo cual quiere decir que estos elementos son compatibles. En la correlación de SiO₂ vs FeO, y SiO₂ vs P₂O₅ los valores se encuentran muy dispersos lo cual indica que estos óxidos tuvieron una alta movilidad en la roca. El MgO muestra una pendiente positiva lo cual indica que este óxido es incompatible en la roca.

5.9.5 Tierras raras: Las tierras raras (REE) son los elementos traza más utilizados y tienen importantes implicancias en petrología ígnea. Las REE comprenden la serie de elementos metálicos con número atómico entre 57 y 71 (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu). Por lo general, se incluye también el elemento Y que posee un radio iónico similar al del Ho.

Estas tierras raras suelen graficarse en un diagrama zigzag que debe ser normalizado a un condrito de referencia estándar. A continuación se muestran los valores de tierras raras de las muestras A1 y A3-1 las cuales indican valores altos de tierras raras livianas (LREE) y valores bajos de tierras pesadas (HREE). Además en la tabla se muestran en amarillo los valores más altos de tierras raras LREE y HREE en la muestra A1.

TABLA 11. REE.

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
A1	31,5	69,9	8,57	32	8,75	1,3	8,65	1,8	10,9	2,4	6,64	0,99	6,23	0,89	61,9
A3-1	27,7	60,6	7,58	28,3	7,7	1,17	7,2	1,47	8,81	1,93	5,43	0,81	4,97	0,43	50,9

Al normalizar los datos de tierras raras con el condrito C1 propuesto por Evensen en el año 1978 se obtiene la gráfica de composición vs abundancia de REE.

TABLA 12. REE normalizadas con el condrito C1.

	La N	Ce N	Pr N	Nd N	Sm N	Eu N	Gd N	Tb N	Dy N	Ho N	Er N	Tm N	Yb N	Lu N
A1	132,911	114,216	90,211	68,522	57,190	22,414	42,092	48,128	42,913	42,403	40,121	38,824	36,647	35,039
A3-1	116,878	99,020	79,789	60,600	50,327	20,172	35,036	39,305	34,685	34,099	32,810	31,765	29,235	16,929
											LREE		HREE	

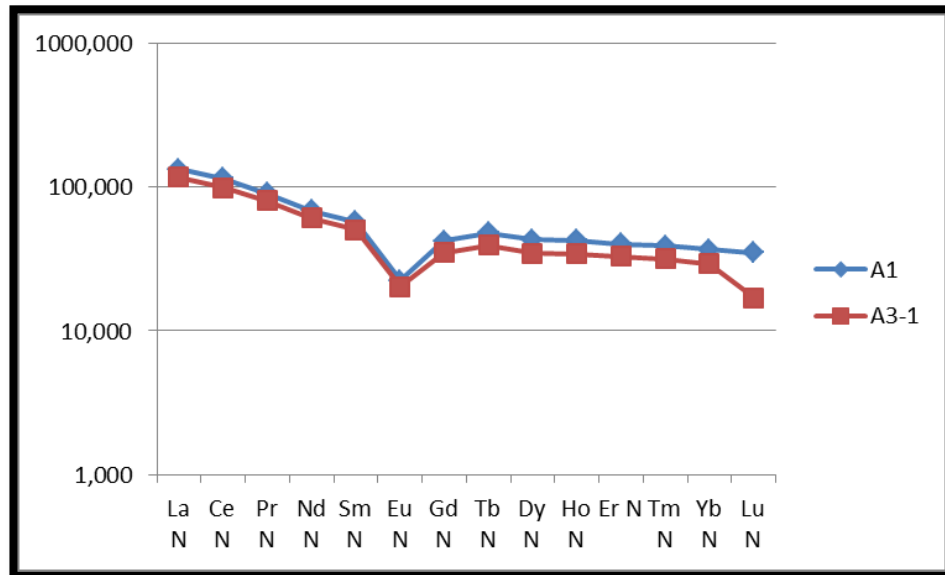


FIGURA 97. Grafica de composición vs abundancia de REE.

La gráfica nos indica que las muestras A1 y A3-1 presentan valores normalizados al condrito similares, mostrando enriquecimiento en las tierras raras livianas LREE y empobrecimiento en las tierras raras pesadas HREE. Una excepción a esto lo constituye una anomalía negativa en Eu muy pronunciada en estas muestras. Estas anomalías negativas son controladas principalmente por plagioclasas en rocas félsicas, indicando que son un fenocristal fraccionado.

Estos valores podemos cuantificarlos mediante la fórmula $EuN/\sqrt{[(SmN)*(GdN)]}$ donde los valores de Eu son menores a 1, lo que nos indica en segunda instancia la anomalía en Eu.

TABLA 13. Fraccionamiento de tierras raras y anomalías muestras A1 y A3-1.

	(La/Yb) _N	(La/Sm) _N	Gd/Yb) _N	Eu _N /√[(Sm _N)*(Gd _N)]	Ce _N /√[(La _N)*(Pr _N)]
A1	3,627	2,324	1,149	0,457	1,043
A3-1	3,998	2,322	1,198	0,480	1,025
	Anomalia negativa				

5.9.6 Contexto tectónico: Según Vargas *et al* (1981), las Riolitas de Onzaga parecen ser los correspondientes efusivos del granito y cuarzo monzonita del batolito de mogotes y de santa rosa, los cuales pertenecen al grupo plutónico de Santander. Dado que las riolitas composicionalmente son similares a los granitos, se procedió a utilizar los diagramas de discriminación de rocas graníticas para determinar su contexto tectónico. Para esto se utilizó los datos de tierras raras de las muestras A1 y A3-1, y se ploteo en las gráfica de discriminación de Y+Nb vs Rb propuesta por Pearce (1984).

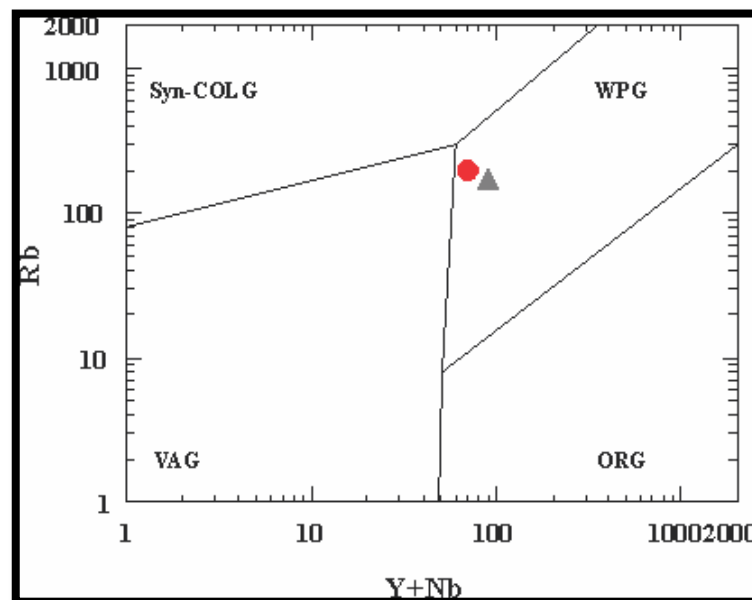


FIGURA 98. Diagrama de discriminación de contexto tectónico de granitos propuesta por Pearce (1984) en Rollinson (1996).

Como se puede observar en la FIGURA 98, las muestras caen dentro del rango de granitos de intraplaca WPG. Dado que las riolitas de Onzaga pertenecen a una serie calcoalcalina rica en potasio; se considera que este tipo de rocas se restringen a un ambiente geodinámico relacionado con la subducción, lo que significa que son rocas típicas de márgenes continentales activos.

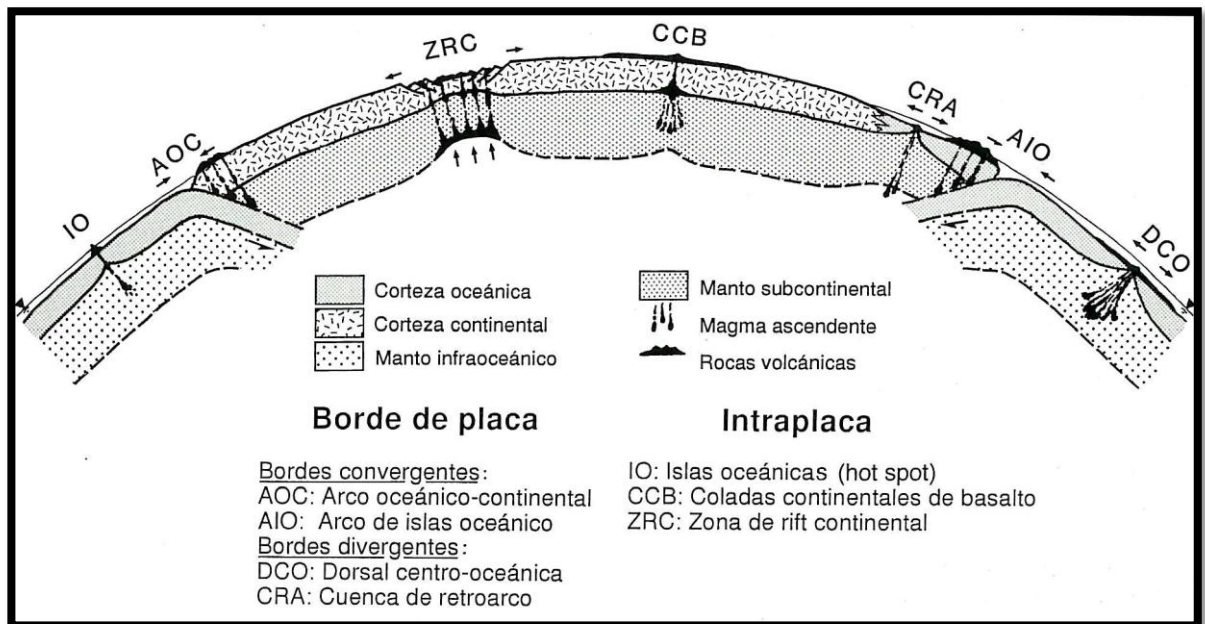


FIGURA 99. Contextos geodinámicos en los que se genera vulcanismo. Tomado de Melgarejo (2000).

La FIGURA 99, nos muestra los diferentes contextos geodinámicos de las rocas volcánicas, en donde las Riolitas se ubican en el ambiente geodinámico de AOC arco oceánico continental.

6. CONCLUSIONES

- Las rocas objeto de estudio se encuentran localizadas en inmediaciones del municipio de Onzaga, Santander. Están en contacto con rocas metamórficas (Formación Silgara), rocas ígneas (Stock de Onzaga) y rocas sedimentarias (Formación la Luna y Capacho). Se concluye que corresponden a rocas ígneas subvolcánicas de tipo riolítico.
- Se clasifican como riolitas, según la geoquímica de roca total y norma CIPW, con base en su ubicación composicional en diagramas de discriminación de rocas volcánicas. La geoquímica total muestra que pertenecen a una serie sub-alcalina, y específicamente calco-alcalina rica en potasio. Esto permite determinar que el ambiente de formación de estas rocas subvolcánicas ha sido un margen continental activo.
- Un propósito de la investigación fue dilucidar la composición y clasificación específica de estas rocas, ya que la hipótesis inicial era que estas se trataban de dacitas. Con la aplicación de las diferentes técnicas analíticas, petrográficas macro y microscópicas se puede afirmar la composición riolítica de la roca. Hecho que permitirá, en estudios posteriores, basarse en esta clasificación para correlacionar con otras rocas ígneas similares y establecer relaciones genéticas y composicionales.
- Bolsas de un antiguo cuerpo se encontraron en partes específicas de la riolitas de Onzaga. Estas se tratan de una andesita porfirítica con un matriz

afieltrada de minerales microlíticos dispuestos al azar. La composición principal de esta roca es albita, cuarzo, encontrados como fenocristales y matriz. La muestra presenta clinocloro, sericita, calcita, siderita, hematita y goethita. Distinguir estos cuerpos es importante pues permite clarificar la anisotropía composicional causada por estas inclusiones y que podrían generar confusiones en la clasificación de la roca caja.

- Se encontraron fases minerales no identificables mediante la microscopia óptica, gracias a la utilización de la difracción de rayos x. Fases como illita, caolinita, calcita y que son relevantes pues su contenido en las muestras es mínimo; por lo tanto estas fases no son tomadas en cuenta para la clasificación de la roca.
- La química mineral mostró que los principales minerales constituyentes de la roca son cuarzo, albita y ortoclasa; lo que corrobora lo encontrado mediante los análisis petrográficos. Por otro lado la química mineral reafirma la presencia de texturas peritéticas y antiperitéticas. Esto permite establecer que las riolitas de Onzaga se formaron en un ambiente subvolcánico de lento enfriamiento. Es posible concluir esto, pues es en un contexto de estas características, en las que se generan estas texturas de exsolución: *subsolvus*.
- Es importante señalar lo observado en la muestra A20-1. Se trata de una riolita afectada por alteración hidrotermal, lo que se evidencia en la alteración propilítica de feldespatos a clorita e illita. Esto se produce por fluidos neutros o poco alcalinos que afecten a la roca caja. Las cloritas fueron analizadas mediante química mineral y se encontró que son

thuringitas debido a su alto contenido de hierro. Adicionalmente se utilizaron geotermómetros, basados en la fórmula estructural de la clorita basada en 14 oxígenos, para establecer la temperatura de las cloritas. Se determinaron temperaturas entre 230° y 260° C. Esta información es muy importante pues señalaría que las riolitas de Onzaga, podrían tener un interés económico debido al enriquecimiento de sulfuros indicado por la alteración hidrotermal observada en esta muestra.

- Las riolitas de Onzaga presentan texturas típicas de deformación frágil y dúctil lo que podría ser una evidencia de que han sido afectadas por un metamorfismo dínamo-térmico. Esto indicaría que la falla de Bucaramanga ha tenido actividad posterior a la formación de estas rocas, generando desplazamiento en la corteza y permitiendo, de esta manera, el ascenso de fluidos mineralizantes muy importantes para la búsqueda de recursos minerales.
- Estas rocas aparentemente son etapas magmático tardías del evento plutónico de edad jurásica-triásica del macizo de Santander, ya que según Vargas *et al* (1981), las riolitas de Onzaga parecen ser los correspondientes efusivos del granito y cuarzo monzonita del batolito de mogotes y de santa rosa. Pero la falta de un soporte analítico de datación, hace que esta hipótesis no sea resuelta y por lo tanto no se clarifique la relación espacial de las riolitas en relación a los cuerpos con los que se encuentra en contacto.

7. RECOMENDACIONES

Realizar estudios de datación en aras de establecer con exactitud la edad del cuerpo riolítico y así saber exactamente su posición estratigráfica con respecto a los otros cuerpos geológicos de la zona; ya que estos estudios no se pudieron realizar debido a que superaba el presupuesto planteado.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

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.

Castro B de Machuca D, Meiss E, Pontoriero S, Sumay C y Morata D. (2007). El magmatismo neopaleozoico en la sierra de la huerta, sierras pampeanas occidentales, provincia de san juan: los pórfidos marayes viejo y el arriero. Santiago, Chile. 456p.

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.

Dong G, Morrison G, Jaireth S. (1992). *Quartz textures in epithermal veins, queensland-classification, origin, and implication. University North Quesland, Australian. 1984p.*

Eyquem M, (2009). Volcanismo cuaternario de sierras de bellavista: comparación geoquímica con el magmatismo contemporáneo del arco comprendido entre los 34°30' y los 35°30's. Santiago, Chile. Capítulo 4.

Esteban J, Cuevas J y Tubia J.M, (2007). Validez e interpretación de los datos geotermométricos de los esquistos cloríticos con circón en las peridotitas de ronda (cordilleras béticas). Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco, apartado 644, Bilbao 48080. 80p.

Foster, M. D. (1962). *Interpretation of the composition and classification of the chlorites. US Geological Survey Professional Paper 414-A, 1-33.*

González O. (1985). Reseña explicativa del mapa geológico preliminar plancha 151 charalá. INGEOMINAS, Bogotá Colombia, pp 8- 9.

García Ramírez C. A. (2007). Manual de Prácticas de Petrología Metamórfica. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. 23p.

INGEOMINAS. Boletín, Volumen 24 No 3pp 1-76-1981. GEOLOGIA DE CUADRANGULO I-13 MALAGA. Instituto colombiano del petróleo, Bogotá Colombia. Capítulo 3, 3.7, 21p.

Kerr, P. (1965). Mineralogía Óptica. Universidad de Columbia, New york.

Mackenzie W. S, Donaldson C. H, Guilford C. (1997). *Atlas of igneous rocks and y their textures. Manchester, England.*

Melgarejo J. (2000). Atlas de asociaciones minerales en lámina delgada. Barcelona, España. Capítulo 3, pp 60, pp 660-1066.

Mier, R. (1990). Manual de laboratorio de mineralogía óptica. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería Físicoquímicas. Escuela de Geología.

López J y Bellos L. (2006). Texturas y Estructuras de las rocas ígneas: Significado Petrológico e Implicancias en las Condiciones de Formación de las Rocas. Universidad Nacional de Tucumán, San Miguel de Tucumán.

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

MgPhie J, Doyle M, Allen R. (1993). *Volcanic textures. University of Tasmanian, Australian.*

Ordoñez O. (2000). Rocas en zonas de falla. Departamento de recursos minerales, facultad de minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 71p.

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

Ron H. Vernon. (2004). *A practical guide to rocks microstructure.* Department of earth and planetary sciences, Macquaire University, Sidney.

Ríos C, Castellanos, O. (2005). *Atlas de minerales vistos bajo el microscopio de luz transmitida.* Bucaramanga, Colombia.

Rollinson, F. (1996). *Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation,* Longman. Longman group UK limited.

Royero G y Clavijo. (2001). *Memoria explicativa mapa geológico generalizado departamento de Santander.* Bucaramanga, Colombia. 25p, párrafo 8 y 9.

Programas utilizados

R. Richard L., Minpet (Mineralogical and petrological data processing system), Versión 2.02 (1988-1995).

