



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Distribución de las asociaciones de
alteración en yacimientos epitermales del
proyecto Altagracia, Oaxaca.**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniera Geóloga

P R E S E N T A

Silja Aguilar Austria

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Antoni Camprubí Cano



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatoria

Toda mi gratitud a mi madre Ma. del Rosario Austria por el apoyo y cuidado incondicional durante todo este tiempo. Soporte de mis pequeños y grandes proyectos, brindándome su amor, tolerancia y comprensión.

A mi padre Rubén Aguilar por su apoyo, cuidado y gran ejemplo en el ámbito educativo.

A mis hermanos Edberg, Ibsen y Rubén, por su compañía y apoyo en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa Don David Gold México S.A. de C.V. por el apoyo y facilidades para realizar el trabajo de campo de la presente tesis. Así como el apoyo de los ingenieros: Julio Flores, Guillermo Hernández, Lorenzo Rivera y Cesar Campos.

A CONACYT al proyecto 155662 a cargo del Dr. Antoni Camprubí por financiar las láminas delgadas que se utilizaron en la presente tesis.

Al Instituto de Geología por todo apoyo brindado.

A mi tutor Antoni Camprubí Cano por el apoyo y guía en esta tesis.

Al Dr. Fernando Ortega Gutiérrez por su apoyo, consejos, compañía y facilidades con el microscopio petrográfico.

Al laboratorio de Petrografía y Microtermometría del departamento de Recursos Naturales en el instituto de Geofísica de la UNAM, por el apoyo con el la espectroscopia de infrarrojo de onda corta (SWIR) y el microscopio electrónico. Así como la asesoría del Dr. Augusto Rodríguez en el uso y procesamiento de datos de dichos equipos.

Al laboratorio de Análisis de Cuencas Sedimentarias (LACUS) a cargo del Dr. José Manuel Grajales, por permitirme tomar las microfotografías de las láminas delgadas.

A mis profesores de la facultad de ingeniería, por compartir su conocimiento y enseñarme los distintos enfoques y lo hermosa que es la geología.

A la M. en C. Edith Fuentes del Laboratorio de Catodoluminiscencia e Inclusiones Fluidas, LANGEM, por su apoyo en todo este proceso.

A las nuevas amistades que se forjaron en este camino, al Ingeniero geólogo Miguel Cabrera, Ingeniera geofísica Brenda de la Torre, a la Dra. Vanessa Colás e Issac Bautista.

A mis amigos de la facultad por hacer el camino más ameno, los aprecio mucho a todos ☺.

RESUMEN

El proyecto Altagracia pertenece a los depósitos epitermales de baja a intermedia sulfuración, localizado dentro de la Sierra Madre del Sur, dentro del vulcanismo miocénico del terreno Cuicateco. Alojados principalmente en rocas de composición ácido a intermedio rodeadas de rocas volcanosedimentarias y de cuerpos hipabisales de composición monzonítica-granodiorítica.

En el presente trabajo se actualizó la cartografía a detalle de Altagracia perteneciente al Servicio Geológico Mexicano y a la empresa Golden Trump Resources. Se identificaron y describieron rocas en muestras de mano, de composición ácida a intermedia como riolita, dacita y andesita, volcanosedimentarias como toba lítica de lapilli y toba lítica de ceniza y, por último, cuerpos hipabisales dioríticos y monzoníticos.

Así mismo, se realizó un mapeo de minerales de alteración hidrotermal de las muestras colectadas en la campaña de campo y con chips previamente colectados por los geólogos de la empresa Golden Trump Resources. Los principales minerales de alteración que se identificaron en la superficie y dentro de las obras mineras fueron kaolinita, halloysita, illita, esmectita, montmorillonita, clorita, epidota, calcita y cuarzo.

Con los datos de los minerales de alteración se obtuvieron asociaciones minerales, así como su distribución. Se identificaron tres asociaciones minerales y se clasificaron de acuerdo a su cercanía con la zona de vetas. De igual manera con los minerales de alteración y las asociaciones minerales se identificó el pH y la temperatura del fluido hidrotermal que dio lugar a la zona mineralizada.

Todas las características anteriores nos ayudan a caracterizar e identificar qué Altagracia pertenece a un yacimiento epitermal de baja sulfuración. De acuerdo con las características y el tipo de yacimiento epitermal se puede estimar el potencial económico.

Contenido

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Localización y acceso	4
CAPÍTULO 2. MARCO GEOLÓGICO.....	5
2.1 Geología Regional	5
2.2 Geología Local.....	7
2.3 Mapa geológico local.....	9
2.3.1 Estratigrafía local	11
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA	16
3.1 Cartografía	16
3.2 Trabajo de campo.....	16
3.3 Espectroscopia de infrarrojo de onda corta (SWIR- Short Wave Infra Red).....	17
3.4 Petrografía.....	17
3.5 Microscopio electrónico.....	17
CAPÍTULO 4. ALTERACIONES HIDROTERMALES	19
4.1 Distribución de minerales de alteración del depósito Altagracia.....	19
4.2 Minerales de Alteración.....	22
4.2.1 Grupo de la Kaolinita.....	22
4.2.2 Grupo de la Illita	26
4.2.3 Grupo de la Esmectita	28
4.2.4 Grupo de la Clorita.....	30
4.1.5 Grupo de la Epidota	32
4.1.6 Grupo de los Carbonatos.....	32
4.1.7 Cuarzo (SiO ₂).....	33
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN	34
5.1 Asociaciones minerales y alteraciones.....	34

5.1.1 Alteración argílica avanzada, asociación mineral 1: Kaolinita + montmorillonita ±esmectita ± sericita ± cuarzo ± illita.....	34
5.1.2 Alteración argílica, asociación mineral 2: Illita + Esmectita ± kaolinita ± montmorillonita ± cuarzo ± calcita ± epidota.	35
5.1.3 Alteración propilítica, asociación mineral 3: Clorita + Epidota + Calcita ± sericita.	35
5.2 Clasificación	37
Supergénico (alteración supergénica a partir de sulfuros preexistentes)	38
Hipogénico profundo (ambiente magmático-hidrotermal)	38
Hipogénico somero (ambiente de aguas calentadas por vapor)	38
Conclusiones.....	39
Recomendaciones	39
Bibliografía	40
ANEXO 1 Espectros SWIR	44
ANEXO 2 Descripción de muestras de mano.....	46
ANEXO 3 Petrografía.....	80
ANEXO 4 Microscopía Electrónica	126

Lista de figuras

FIGURA 1. MAPA DE MÉXICO, UBICANDO EL ESTADO DONDE SE REALIZÓ EL TRABAJO, ASÍ COMO LA UBICACIÓN DEL PROYECTO.....	4
FIGURA 2. MAPA REGIONAL DEL TERRENO CUICATECO, MODIFICADO DE SOLARI (2004) Y MORÁN ZENTENO (2000), MOSTRANDO LAS LOCALIZACIÓN DE LAS DIVERSAS ROCAS Y COMPLEJOS EN LE ESTADO DE OAXACA.	5
FIGURA 3. MAPA REGIONAL DE LA ZONA, MODIFICADO DEL MAPA DEL SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO, GEOLOGÍA LOCAL DE LA EMPRESA Y GEOLOGÍA LOCAL REALIZADA EN EL PRESENTE TRABAJO.	7
FIGURA 4. MAPA DE LA GEOLOGÍA LOCAL DEL PROYECTO ALTAGRACIA, ACTUALIZADO, REALIZADO EN EL PRESENTE TRABAJO.	10
FIGURA 5. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA LOCAL DEL DISTRITO MINERO ALTAGRACIA, OAXACA.	11
FIGURA 6. TOBA LÍTICA, A) MUESTRA DE MANO DE LA TOBA LÍTICA CON FRAGMENTOS BIEN SELECCIONADOS, SUBREDONDEADOS Y OXIDACIÓN EN LA PARTE INTEMPERIZADA. B) LÁMINA DELGADA DE LA TOBA, FRAGMENTOS DE ROCA SILICIFICADOS CON LA MATRIZ OXIDADA. ANDESITA, C) MUESTRA DE MANO DE ANDESITA CON FENOCRISTALES DE PLAGIOCLASA LEVEMENTE ALTERADOS, ÓXIDOS. D) PLAGIOCLASA EN LÁMINA DELGADA REEMPLAZADA POR CUARZO, SERICITA Y OPACOS, CON UN HALO DE ALTERACIÓN DE ARCILLAS.....	12
FIGURA 7. FOTOGRAFÍAS DE RIOLITAS: A) EN AFLORAMIENTO; B) EN MUESTRA DE MANO, SE OBSERVA LA TEXTURA BANDEADA, LA ALTERACIÓN SELECTIVA EN LOS FELDESPATOS PRINCIPALMENTE, VETILLAS Y FRACTURAS CON PRESENCIA DE MINERALES VERDES Y OXIDACIÓN; C) FOTOGRAFÍA DE LÁMINA DELGADA CON TEXTURA FLUIDAL, ALTERACIÓN Y OXIDACIÓN EN LA MATRIZ.....	13
FIGURA 8. A) DIQUE DIORÍTICO DENTRO DE UNA OBRA MINERA ANTIGUA, ALTERACIÓN SELECTIVA DE LOS FELDESPATOS Y SILICIFICACIÓN EN LA MATRIZ. B) LÁMINA DELGADA DEL DIQUE DIORÍTICO, CON TEXTURA PORFÍDICA, MOSTRANDO FENOCRISTALES HASTA DE 8MM DE LONGITUD SERICITIZADOS Y CON MOSAICOS DE CUARZO. C)MONZONITA EN MUESTRA DE MANO. D)LÁMINA DELGADA DE MONZONITA, CALCITA Y CLORITA REEMPLAZANDO MINERALES Y MATRIZ.	14
FIGURA 9. MICROSCOPIO ZEISS Y SOFTWARE ZEN QUE SE UTILIZÓ PARA LA TOMA DE FOTOGRAFÍAS DE LAS LÁMINAS DELGADAS.....	17
FIGURA 10. MICROSCOPIO ELECTRÓNICO HITACHI, MODELO TM-1000	18
FIGURA 11. MAPA DE ALTAGRACIA Y LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS MUESTRAS TOTALES, LAS MUESTRAS EN COLOR MORADO SON LAS MUESTRAS DE LA EMPRESA GOLDEN TRUMP RESOURCES Y LOS PUNTOS AZULES, SON LAS MUESTRAS COLECTADAS PARA ESTE TRABAJO.	20
FIGURA 12. MAPA DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS DIFERENTES MINERALES DE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL QUE SE RECOLECTARON EN EL PROYECTO ALTAGRACIA EN EL PRESENTE TRABAJO.....	21
FIGURA 13. PSEUDOMORFO DE PLAGIOCLASA REEMPLAZANDO POR KAOLINITA E ILLITA, MATRIZ SILICIFICADA MODERADAMENTE.	22
FIGURA 14. ESPECTRO DE LA KAOLINITA, MUESTRA AGS043.	22
FIGURA 15. KAOLINITA LAMINAR EN MICROSCOPIO ELECTRÓNICO (ME)	22
FIGURA 16. ESPECTRO DE HALLOYSITA, MUESTRA HS 04.	23

FIGURA 17. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS MINERALES DEL GRUPO DE LA KAOLINITA EN EL PROYECTO	
ALTAGRACIA.	24
FIGURA 18. OBRA MINERA ANTIGUA MOSTRANDO LA CERCANÍA DE LOS DOS MINERALES DEL MISMO GRUPO,	
KAOLINITA CON HALLOYSITA.	25
FIGURA 19. PSEUDOMORFO DE PLAGIOCLASA REEMPLAZADO POR ILLITA Y KAOLINITA.	26
FIGURA 20. ESPECTRO DE ILLITA, MUESTRA M18.	26
FIGURA 21. CRISTALES HEXAGONALES DE ILLITAS (I) Y KAOLINITA (KAO) EN MICROSCOPIO ELECTRONICO.	26
FIGURA 22. MAPA DEL PROYECTO ALTAGRACIA MOSTRANDO LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA ILLITA DE LAS	
MUESTRAS QUE SE RECOLECTARON EN LA PRESENTE TESIS Y EL MUESTREO DE LA EMPRESA GTR.	27
FIGURA 23. PSEUDOMORFO DE FELDESPATO, MATRIZ REEMPLAZADA PARCIALMENTE DE ESMECTITA.	28
FIGURA 24. ESPECTRO DE LA MONTMORILLONITA, MUESTRA AGS034	28
FIGURA 25. ESMECTITA LAMINAR EN MICROSCOPIO ELECTRÓNICO.	28
FIGURA 26. MAPA DEL PROYECTO ALTAGRACIA MOSTRANDO LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ESMECTITA Y	
MONTMORILLONITA, LOS SÍMBOLOS CON MAYOR VOLUMEN PERTENECEN A LA RECOLECCIÓN DEL PRESENTE	
TRABAJO Y LOS MÁS PEQUEÑOS, A LAS MUESTRAS RECOLECTADAS POR LA EMPRESA GTR.	29
FIGURA 27. CLORITA REEMPLAZANDO PARCIALMENTE JUNTO CON LA CALCITA A CRISTALES DE PLAGIOCLASA.	30
FIGURA 28. MAPA DEL PROYECTO ALTAGRACIA MOSTRANDO LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA CLORITA,	
RECOLECTADOS EN EL PRESENTE TRABAJO.	31
FIGURA 29. EPIDOTA RELLENANDO PLANOS DE CRUCERO Y FRACTURAS, INTERCRECIMIENTO DE	
FERROMAGNESIANOS EN EL INTERIOR.	32
FIGURA 30. CALCITA REEMPLAZANDO LOS MINERALES TOTALMENTE JUNTO CON LA CLORITA. EPIDOTA	
RELLENANDO FRACTURAS E INTERCRECIMIENTO DENTRO DEL MINERAL DE HÁBITO DENDRÍTICO.	32
FIGURA 31. ESPECTRO DEL CUARZO, MUESTRAS SJS 01	33
FIGURA 32. TEMPERATURA DE ESTABILIDAD DE LOS MINERALES DE ALTERACIÓN PRESENTES EN ESTE TRABAJO Y	
EN LA DE LA EMPRESA GTR, MODIFICADO DE HEDENQUIST ET AL., 1996.	34
FIGURA 33. MAPA DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS ASOCIACIONES MINERALES Y LOS MINERALES DE	
ALTERACIÓN.	36
FIGURA 34. ESPECTROS DE MUESTRAS RECOLECTADAS EN EL PRESENTE TRABAJO. A) ESPECTRO DE ILLITA, B)	
ESPECTRO DE MONTMORILLONITA, C) ESPECTRO DE ILLITA-ESMECTITA, D) ESPECTRO DE KAOLINITA.	44
FIGURA 35. CLASIFICACIÓN DE ACUERDO A STRECKEISEN PARA ROCAS ÍGNEAS VOLCÁNICAS, EL DIAGRAMA QAP.	
.....	81
FIGURA 36. PSEUDOMORFO DE PLAGIOCLASA ZONEADA, REEMPLAZADO POR CUARZO MICROCRISTALINO,	
SERICITA Y VIDRIO. LA MATRIZ PRESENTA ESFERULITAS. AUMENTO 5X, NICOL PARALELOS (LPNA) DEL	
LADO IZQUIERDO Y NICOL CRUZADOS (LPA) DEL LADO DERECHO.	81
FIGURA 37. MOSAICOS DE CUARZO SERICITIZADO EN LOS PLANOS DE CRECIMIENTO. AUMENTO 5X, LNPA DEL	
LADO IZQUIERDO Y LPA DEL LADO DERECHO.	81
FIGURA 38. MUSCOVITA LPA, PARCIALMENTE ALTERADA POR CLORITA Y REEMPLAZADA POR CUARZO.	
AUMENTO 5X.	82
FIGURA 39. PSEUDOMORFO DE HORNBLENDA REEMPLAZADO EN SU TOTALIDAD POR CUARZO MICROCRISTALINO,	
ÓXIDOS Y SERICITA, CON INCLUSIONES DE ZIRCONES. AUMENTO 20X	82

FIGURA 40. VETILLA DE CUARZO CORTANDO A LA VETILLA DE SERICITA. AUMENTO 10X, LPNA IMAGEN IZQUIERDA, LPA IMAGEN DERECHA.	82
FIGURA 41. CLASIFICACIÓN CON DIAGRAMA QAP DE ACUERDO CON STRECKEISEN PARA ROCAS ÍGNEAS VOLCÁNICAS.....	84
FIGURA 42. PSEUDOMORFO DE ANFIBOL REEMPLAZADO POR CUARZO MICROCRISTALINO Y SERICITA. AUMENTO 5X, LPNA Y LPA.	84
FIGURA 43. PSEUDOMORFO DE PLAGIOCLASA REEMPLAZADA POR SERICITA, CUARZO Y CUARZO MICROCRISTALINO. AUMENTO 10X, LPNA Y LPA.	85
FIGURA 44. MOSCOVITA EN LPA CON INCLUSIONES DE ILMENITA, PARCILMENTE REEMPLAZADO POR CUARZO EN EL INTERIOR DEL MINERAL. AUMENTO 10X.	85
FIGURA 45. CLASIFICACIÓN CON DIAGRAMA QAP DE ACUERDO CON STRECKEISEN PARA ROCAS ÍGNEAS VOLCÁNICAS.....	87
FIGURA 46. FELDESPATOS LEVEMENTE SERICITIZADOS. AUMENTO 10X LPNA Y LPA	87
FIGURA 47. MOSAICO DE CUARZO DENTRO DE UNA VETILLA, MATRIZ LIGERAMENTE SILICIFICADA. AUMENTO 10X, LPNA Y LPA.	87
FIGURA 48. PSEUDOMORFO DE PLAGIOCLASA REEMPLAZADO POR SERICIA Y CUARZO. AUMENTO 10X, LPNA Y LPA.....	88
FIGURA 49. MOSCOVITA EUEDRAL, TABULAR, REEMPLAZADA PARCIALMENTE POR CLORITA, MATRIZSERICITIZADA Y SILICIFICADA. AUMENTO20X, LPNA Y LPA.....	88
FIGURA 50. CRISTALES DE ANFIBOL EUEDRAL, LEVEMENTE REEMPLAZADA POR CUARZO. AUMENTO 20X LPNA Y LPA.....	88
FIGURA 51. TRIÁNGULO DE CLASIFICACIÓN PARA ROCAS PIROCLÁSTICAS.	90
FIGURA 52. FRAGMENTO DE ROCA MUY OXIDADO, CON RELICTOS DE OPACOS. AUMENTO 5X, LPNA Y LPA.	90
FIGURA 53. FRAGMENTOS DE ROCA, DIFERENTES ENTRE SI, OXIDADOS, SILICIFICADOS DENTRO DE UNA MATRIZ DE GRANO FINO SILICIFICADA. AUMENTO 5X, LPNA Y LPA.	90
FIGURA 54 FRAGMENTO DE ROCA MAFICA, PREVIAMENTE OXIDADO. AUMENTO10 X Y LPA.	91
FIGURA 55. VETILLA DE CUARZO CORTANDO UN PSEUDOMORFO DE PLAGIOCLASA REEMPLAZADO POR CUARZO. AUMENTO 5X, LPNA Y LPA.	91
FIGURA 56. CRISTALES DE CUARZOS Y SILICIFICACIÍN ALREDEDOR DE ELLOS. AUMENTO10X, LPNA.	91
FIGURA 57. CLASIFICACIÓN CON DIAGRAMA QAP DE ACUERDO CON STRECKEISEN PARA ROCAS ÍGNEAS VOLCÁNICAS.....	93
FIGURA 58. PLAGIOCLASA REEMPLAZADA PARCIALMENTE CON CALCITA Y FELDESPATO REEMPLAZADO POR SERICITA Y OXIDOS. AUMENTO 20 x, LPNA Y LPA.	93
FIGURA 59. CRISTALES DE FELDESPATO Y CUARZO CON BAHÍAS, CON UNA MATRIZ SILICIFICADA. AUMENTO 5X LPNA Y LPA.....	93
FIGURA 60. PSEUDOMORFOS DE MICAS REEMPLAZADAS POR SERICITA Y CUARZO CRIPTOCRISTALINO. AUMENTO 10X, LPNA Y LPA.	94
FIGURA 61. HORNBLENDA HIDROXIDADA, ATRAVESADA POR UNA VETILLA DE CUARZO. AUMENTO 20X, LPNA.94	
FIGURA 62. APATITO EN UN GLOMEROCRISTAL DE PSEUDOMORFOS DE FELDESPATO. AUMENTO 20X, LPNA.....	94
FIGURA 63. MOSAICO DE CALCITA Y CUARZO.....	94

FIGURA 64. CLASIFICACIÓN CON DIAGRAMA QAP DE ACUERDO CON STRECKEISEN PARA ROCAS ÍGNEAS PLUTÓNICAS. INTERSECCIÓN PERTENECIENTE A MONZONITA Y CUARZOMONZONITA.	96
FIGURA 65. PSEUDOMORFO DE ANFIBOL CON UN PATRÓN DE REMPLAZAMIENTO CRUZADO REGULAR, REEMPLAZADO POR EPIDOTA EN LA PARTE DEL CRUCERO Y CUARZO EN EL INTERIOR. AUMENTO 10X, LPNA Y LPA.	96
FIGURA 66. PLAGIOCLASA REEMPLAZADA PARCIALMENTE POR SERICITA Y CALCITA. AUMENTO 5X, LPNA Y LPA.	96
FIGURA 67. FELDESPATO EN LA PARTE SUPERIOR IZQUIERDA, MOSCOVITA A UN LADO, PLAGIOCLASA, ZIRCONES ENVUELTOS EN UNA MATRIZ DE GRANO MUY FINO. AUMENTO 5X, LPNA Y LPA.	97
FIGURA 68. ANFIBOL DE LA IMAGEN ANTERIOR CON UN AUMENTO 63X, LPNA Y LPA. EPIDOTA CON DENDRITICA DENTRO DEL CRISTAL.	97
FIGURA 69. CRISTAL DE HORNBLENDA CON LOS BORDES OXIDADOS. AUMENTO 20X LPNA Y LPA.	97
FIGURA 70. CLASIFICACIÓN DE ROCAS PIROCLÁSTICAS.	99
FIGURA 71. FRAGMENTOS DE ROCA DENTRO DE UNA MATRIZ DE GRANO FINO, CON CRISTALES DE CUARZO Y CRISTALES CLORITIZADOS. AUMENTO 5X, LPNA Y LPA.	99
FIGURA 72. FRAGMENTOS DE ROCA MÁFICA CON OPACOS Y ROCA TOTALMENTE SILICIFICADA, AUMENTO 5X, LPNA Y LPA.	100
FIGURA 73. FRAGMENTO DE ROCA MÁFICA CON PSEUDOMORFOS DE MICROFENOCRISTALES DE PLAGIOCLASA REEMPLAZADAS POR CALCITA. AUMENTO 5X, LPA.	100
FIGURA 74. FRAGMENTO DE ROCA CON MINERALES OPACOS LEVEMENTE OXIDADOS. AUMENTO 5X, LPNA.	100
FIGURA 75. MATRIZ CON FRAGMENTOS DE CUARZO, FELDESPATO, PLAGIOCLASA REEMPLAZADA EN SU TOTALIDAD POR CARBONATOS, MICAS REEMPLAZADAS EN SU TOTALIDAD POR CLORITA, OPACOS Y FRAGMENTOS DE ROCA. AUMENTO 5X, LPNA Y LPA.	100
FIGURA 76. CLASIFICACIÓN CON DIAGRAMA QAP DE ACUERDO CON STRECKEISEN PARA ROCAS ÍGNEAS VOLCÁNICAS.	102
FIGURA 77. PSEUDOMORFO DE ANFÍBOL REEMPLAZADA POR CLORITA Y CALCITA. AUMENTO 5X, LPNA Y LPA.	102
FIGURA 78. PLAGIOCLASA ZONEADA, SERICITIZADA EN EL CENTRO Y CON UN POCO DE OXIDACIÓN EN LAS FRACTURAS. AUMENTO 10X, LPNA Y LPA.	103
FIGURA 79. PSEUDOMORFO DE ANFÍBOL REEMPLAZADO POR CLORITA Y CARBONATOS, EN LA PARTE INFERIOR HAY PRESENTE UNA PLAGIOCLASA FRACTURADA Y ENTRE LAS FRACTURAS CLORITA. AUMENTO 10X, LPNA Y LPA.	103
FIGURA 80. CRISTAL DE APATITO CON PSEUDOMORFO DE PLAGIOCLASA O FELDESPATO REEMPLAZADO TOTALMENTE POR CLORITA, CON INTERCRECIMIENTO DE CRISTALES DE EPIDOTA EN LAS FRACTURAS. AUMENTO 20X, LPNA Y LPA.	103
FIGURA 81. PSEUDOMORFO DE ANFIBOL CON INTERCRECIMIENTO DE EPIDOTA EN LAS FRACTURAS Y CALCITA Y CLORITA REEMPLAZÁNDOLO. AUMENTO 40X LPNA Y LPA.	104
FIGURA 82. CLASIFICACIÓN CON DIAGRAMA QAP DE ACUERDO CON STRECKEISEN PARA ROCAS ÍGNEAS VOLCÁNICAS.	105
FIGURA 83. MATRIZ TOTALMENTE SILICIFICADA Y SERICITIZADA.	105

FIGURA 84. PSEUDOMORFO DE PLAGIOCLASA SERICITIZADO EN LOS BORDES Y SILICIFICADO. AUMENTO 10x, LPNA Y LPA.....	106
FIGURA 85. MOSCOVITAS CON UN PATRÓN DE ALTERACIÓN LINEAR REGULAR. AUMENTO 10x, LPNA Y LPA..	106
FIGURA 86. ANFÍBOL ALTERADO EN LOS BORDES Y EN EL CENTRO. AUMENTO 20x, LPNA Y LPA.	106
FIGURA 87. CLASIFICACIÓN CON DIAGRAMA QAP DE ACUERDO CON STRECKEISEN	108
FIGURA 88. CUARZO FRAGMENTADO Y PLAGIOCLASAS PARCIALMENTE REEMPLAZADAS POR SERICITA.	108
FIGURA 89. CUARZO EUDRAL, MODERADAMENTE FRACTURADO, PLAGIOCLASA REEMPLAZADA POR CUARZO Y SERICITA.	108
FIGURA 90. ANFÍBOL TOTALMENTE REEMPLAZADO POR CUARZO Y SERICITA EN LAS LÍNEAS DE CRUCERO. AUMENTO 20x, LPNA Y LPA.	109
FIGURA 91. ANFIBOL HIDROXIDADO. AUMENTO 20x, LPNA Y LPA.	109
FIGURA 92. CRISTAL DE ZIRCON EN MATRIZ CON SERICITA. AUMENTO 40x. LPNA Y LPA.	109
FIGURA 93. PSEUDOMORFO DE OPACO REEMPLAZADO POR EPIDOTA. AUMENTO 40x, LPNA.....	110
FIGURA 94. VETILLAS DE EPIDOTA, EN LA PARTE SUPERIOR APATITO CON LOS BORDES OXIDADOS. 10x, LPNA Y LPA.....	110
FIGURA 95. PSEUDOMORFO DE MICA REEMPLAZADO POR SERICITA Y CUARZO CON UN PATRÓN DE ALTERACION REGULAR PARALELA. AUMENTO 20x, LPNA Y LPA.	110
FIGURA 96. VETILLA DE EPIDOTA Y PSEUDOMORFO DE OPACO EPIDOTIZADO DENTRO DE UNA MICA. AUMENTO 20x, LPNA Y LPA.	110
FIGURA 97. CLASIFICACIÓN CON DIAGRAMA QAP DE ACUERDO CON STRECKEISEN PARA ROCAS ÍGNEAS VOLCÁNICAS.....	112
FIGURA 98. PSEUDONORFOS DE PLAGIOCLASA CON UNA PATRÓN DE ALTERACIÓN REGULAR CRUZADO, CON CUARZO EN EL INTERIOR Y SERICITA EN EL CRUCERO. AUMENTO 5x, LPNA Y LPA.	112
FIGURA 99. CRISTAL DE CUARZO ANEDRAL EN MATRIZ CON TEXTURA FLUUDAL.	112
FIGURA 100. MOSAICO DE FELDESPATO, AUMENTO 10x, LPNA Y LPA.	113
FIGURA 101. PSEUDOMORFO DE ANFÍBOL EPIDOTIZADO Y SILICIFICADO. AUMENTO 20x, LPNA Y LPA	113
FIGURA 102. PSEUDOMORFOS DE MICA REEMPLAZADA OR CUARZO YSERICITA. AUMENTO 10x, LPNA Y LPA.	113
FIGURA 103. PSEUDOMORFO DE FELDESPATO SERICITIZADO. AUMENTO 5x, LPA.	114
FIGURA 104. CLASIFICACIÓN CON DIAGRAMA QAP DE ACUERDO CON STRECKEISEN PARA ROCAS ÍGNEAS VOLCÁNICAS.....	115
FIGURA 105. HORNBLENDA HIDROXIDADA EUDRAL, LEVEMENTE FRACTURADA. AUMENTO 20x, LPNA Y LPA.	115
FIGURA 106. ANFIBOL HIDROXIDADO Y OPACO OXIDADO. AUMENTO 10x, LPNA Y LPA.....	115
FIGURA 107. PSEUDOMORFO DE MOSCOVITA, PLAGIOCLASA Y ANFÍBOL, REEMPLAZADO POR CUARZO Y SERICITA. AUMENTO 5x, LPNA Y LPA.	116
FIGURA 108. CAVIDAD RELLENA DE OPACOS Y CUARZO. AUENTO 20x, LPNA Y LPA.....	116
FIGURA 109. CLASIFICACIÓN CON DIAGRAMA QAP DE ACUERDO CON STRECKEISEN PARA ROCAS ÍGNEAS PLUTÓNICAS.	118
FIGURA 110. PSEUDOMORFO DE PLAGIOCLASA REEMPLAZADOS POR SERICITA Y CUARZO. AUMENTO 5x, LPNA Y LPA.....	118

FIGURA 111. PSEUDOMORFO DE ANFÍBOL REEMPLAZADO POR SERICITA Y EPIDOTA. AUMENTO 20X, LPNA Y LPA.	119
FIGURA 112. PSEUDOMORFOS DE PLAGIOCLASA, ANFÍBOLES Y OPACOS. AUMENTO 10X, LPNA Y LPA.	119
FIGURA 113. CRISTALES DE ZIRCÓN. AUMENTO 20X, PLNA Y PLA.	119
FIGURA 114. CLASIFICACIÓN CON DIAGRAMA QAP DE ACUERDO CON STRECKEISEN PARA ROCAS ÍGNEAS VOLCÁNICAS.....	121
FIGURA 115. HORNBLENDA HIDROXIDADA, TRASPASADO POR UNA VETILLA. AUMENTO 20X, LPNA Y LPA. ...	121
FIGURA 116. PSEUDOMORFO DE PLAGIOCLASA ZONEADA CONCÉNTRICAMENTE TOTALMENTE SERITIZADO Y SILICIFICADO, CON UNA VETILLA. AUMENTO 5X, LPNA Y LPA.	121
FIGURA 117. ANFÍBOL HIDROXIDADO Y OPACOS OXIDADOS ATRAVESADOS POR VETILLAS DE SERICITA. AUMENTO 10X, LPNA Y LPA.	122
FIGURA 118. CLASIFICACIÓN CON DIAGRAMA QAP DE ACUERDO CON STRECKEISEN PARA ROCAS ÍGNEAS PLUTÓNICAS.	123
FIGURA 119. FRAGMENTO DE ROCA, CLORITIZADA EN LA MATRIZ, LAS PLAGIOCLASAS ESTÁN SERICITIZADAS Y REEMPLAZADAS CON CARBONATOS. AUMENTO 5X, LPNA Y LPA.	123
FIGURA 120. VETILLA DE CLORITA, DENTRO SE ENCUENTRAN MOSCOVITA, Y PLAGIOCLASAS. AUMENTO 5X, LPNA Y LPA.....	124
FIGURA 121. ANFIBOL HIDROXIDADO Y CLORITIZADO EN EL CENTRO. AUMENTO 20X, LPNA Y LPA.	124
FIGURA 122. CUARZO FUERTEMENTE FRACTURADO CON BAHÍAS. AUMENTO 5X, LPNA Y LPA.	124
FIGURA 123. PSEUDOMORFO DE ANFÍBOL, REEMPLAZADO POR CALCITA EN LA PARTE INTERNA Y CLORITA EN EL CRUCERO. AUMENTO 5X, LPNA Y LPA.	125

Lista de Tablas

TABLA 1. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE CAMPO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE DEPÓSITOS EPITERMALES Y SUS SUBTIPOS. CAMPRUBÍ Y ALBINSON, 2006.....	2
TABLA 2. ASOCIACIONES MINERALES EN EL DISTRITO MINERO ALTAGRACIA.....	37
TABLA 3. RELACIÓN DE MUESTRAS DE AFLORAMIENTOS, OBRAS ANTIGUAS Y BARREOS, CON LOS MINERALES DE ALTERACIÓN.....	44

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

El distrito minero Altagracia se encuentra en la zona de yacimiento epitermales, pertenecientes a la Sierra Madre del Sur. Altagracia fue una de las principales zonas de extracción de plata de acuerdo con el libro “Las minas de México” escrito por J. R. Southworth en 1905. En Altagracia, encontramos obras mineras antiguas, incluyendo un área que fue destinada a la separación y extracción del metal precioso.

Los yacimientos minerales son de suma importancia en la actualidad, la explotación de estos se realiza para satisfacer la demanda de materiales en las distintas industrias. Ya que son los principales proveedores de metales preciosos como el oro y plata, y metales base como el zinc, plomo, cobre, etc (Camprubí y Albinson, 2006). La exploración geológica es esencial para encontrar, caracterizar e identificar el tipo de yacimiento para su óptimo aprovechamiento.

Los yacimientos minerales de tipo epitermal se asocian a ambientes volcánicos principalmente, encontrándose a profundidades someras en la corteza terrestre entre 50-1000 m y con un rango de temperatura de formación de 150-300 °C, alcanzando presiones superiores a 100 bar (Hedenquist *et. al* 2000). Los yacimientos epitermales están asociados a márgenes convergentes activos o ambientes de subducción y con los rifts de tras-arco (Silberman *et al.*, 1976; Sillitoe, 1977; Hedenquist *et. al* 2000). Cabe mencionar que los ambientes geotérmicos actuales son los análogos de los depósitos epitermales en el pasado.

Las rocas encajonantes en este tipo de yacimientos son generalmente de tipo volcánicas y de composición ácida a intermedia (Camprubí y Albinson, 2006). Los yacimientos están controlados estructuralmente por fallas regionales o zonas fuertemente falladas, brechas y litologías permeables. Asimismo, se determinan las zonas de mineralización, ya que los fluidos mineralizados se emplazan más fácilmente por medios con las características anteriores.

Se han clasificado tres tipos de depósitos epitermales: alta sulfuración, sulfuración intermedia y baja sulfuración (Camprubí y Albinson, 2006). A partir de las diferentes características de mineralización, minerales de alteración, los factores físicos y químicos de depósito se determina el tipo de yacimiento epitermal (Tabla 1). Por consiguiente, se identifica el contenido de metales preciosos y metales base, y finalmente el potencial económico.

Los factores físicos y químicos para la formación y emplazamiento de un depósito epitermal son los siguientes: hidrología, presión, temperatura, química del fluido, cambio de la topografía y la permeabilidad de las rocas (White y Hedenquist, 1990). El resultado de la interacción de los factores mencionados anteriormente con la geología, determina cómo y qué minerales se precipitan como mena y ganga.

Así mismo, la disolución, lixiviación y reemplazamiento de los minerales formadores de roca por los fluidos hidrotermales, a excepción del cuarzo, da lugar a las alteraciones hidrotermales compuestas por arcillas. La alteración hidrotermal es la reacción al cambio mineralógico, textural y químico de las rocas a un cambio ambiental por la presencia de fluidos termales (Henley y Ellis, 1983).

Las alteraciones hidrotermales son esenciales debido a las diferentes asociaciones minerales que presentan. No solo se pueden caracterizar e interpretar y así entender los procesos geológicos que dieron origen al yacimiento, sino también representan la herramienta más importante en la exploración. De acuerdo a las diferentes asociaciones minerales que presenta el área de estudio se puede diferenciar el tipo de yacimiento, condiciones de formación y potencial económico.

A partir de la información anterior se determina el tipo de proceso que se llevó a cabo en la zona, ya sea procesos supergénicos o hipogénicos. Los procesos supergénicos son aquellos que alteran a la roca física y químicamente por influencia de agentes meteóricos a poca profundidad en la superficie. Por otro lado, los procesos hipogénicos son los que alteran a la roca por fluidos hidrotermales ascendentes. Al diferenciar estos procesos se puede hacer una relación de los minerales y caracterizar el yacimiento.

Las alteraciones más comunes presentes en los yacimientos epitermales son: argílica, argílica intermedia, argílica avanzada, propilítica y sericitica (Simmons *et al.*, 2005; Grifkins, 2005). Cada una de ellas tiene minerales distintivos mostrándonos los diferentes procesos que se dieron a través del tiempo en respuesta al cambio químico (Einaudi *et al.*, 2003).

Tabla 1. Principales características de campo de los diferentes tipos de depósitos epitermales y sus subtipos. Camprubí y Albinson, 2006.

	<i>Baja sulfuración</i> (BS)		<i>Sulfuración intermedia</i> (SI)	<i>Alta sulfuración</i> (AS)	
	<i>Magma subcalalino</i>	<i>Magma alcalino</i>		<i>Magma oxidado</i>	<i>Magma reducido</i>
<i>Ejemplo tipo</i>	Midas (Nev., EUA)	Emperor (Fiji)	Rico en Au: Bagueo (Filipinas)	Diseminado: Yanacocha (Perú) Veta: El Indio (Chile)	Potosí (Bolivia)
<i>Rocas volcánicas relacionadas</i>	Basalto a riolita	Basalto alcalino a traquita	Andesita a riolacita, localmente riolita	Andesita a riolacita	Riolacita
<i>Minerales claves de alteración proximal</i>	Illita/smectita-adularia	Roscoelita-illita-adularia	Sericita, adularia poco común	Cuarzo-alunita/APS, cuarzo-pirofilita/dickita en profundidad	Cuarzo-alunita/APS, cuarzo-dickita en profundidad
<i>Ganga de sílice</i>	Cuarzo y calcedonia crustiforme y coloforme rellenando vetas; reemplazamiento de carbonatos	Cuarzo y calcedonia crustiforme y coloforme rellenando vetas; cuarzo escaso en fases iniciales	Cuarzo crustiforme rellenando vetas y en peine	Silicificación masiva de grano fino y cuarzo residual oqueroso (vuggy)	
<i>Ganga de carbonatos</i>	Presente, pero típicamente tardía y escasa	Abundante, pero no de Mn	Común, típicamente incluyendo variedades de Mn	Ausente	

<i>Otros minerales de ganga</i>	Barita poco común, fluorita localmente	Barita, celestina y/o fluorita común localmente	Barita y silicatos de Mn presentes localmente	Barita común, típicamente tardía	
<i>Abundancia de sulfuros</i>	Típicamente <1 a 2 % vol. (hasta 20% vol. Encajado en basaltos)	2 a 10% vol.	5 a >20% vol.	10 a 90% vol.	
<i>Especies de sulfuros clave</i>	Escasa a muy escasa arsenopirita ± pirrotita; escasa esfalerita, galena tetraedrita-tennantita, calcopirita		Esfalerita, galena, tetraedrita-tenantita, calcopirita	Enargita, luzonita, famatinita, covellita	Acantita, estibinita
<i>Metales principales</i>		Au ± Ag	Au-Ag, Zn, Pb, Cu	Au-Ag, Cu, As-Sb	Ag, Sb, Sn
<i>Metales menores</i>		Zn, Pb, Cu, Mo, As, Sb, Hg	Mo, As, Sb	Zn, Pb, Bi, W, Mo, Sn, Hg	Bi, W
<i>Especies de Se y Te</i>	Seleniuros comunes, localmente telurios	Teluros abundantes, seleniuros poco comunes	Teluros localmente comunes, seleniuros poco comunes	Teluros comunes, localmente seleniuros	Desconocido, pocos datos.

1.1 Planteamiento del problema

El proyecto Altagracia se encuentra dentro de una sucesión de rocas volcánicas alteradas por hidrotermalismo, en la que hubo actividad minera antigua. Debido a que es un proyecto en etapa de exploración, se requiere tener una mejor perspectiva de las áreas con mayor valor económico, y una de las formas para obtenerlas en este tipo de yacimientos es mediante la caracterización de alteraciones.

Así que, al realizar un mapeo geológico a detalle, identificar las alteraciones hidrotermales y las asociaciones minerales se podrá hacer una caracterización aproximada del yacimiento epitermal. De acuerdo a lo anterior se podrá identificar el tipo de yacimiento epitermal y algunas de las condiciones ambientales de la interacción agua/roca.

1.2 Objetivos

- ❖ Determinar de forma precisa la mineralogía de alteración y las asociaciones minerales que conforma.
- ❖ Determinar la distribución de las asociaciones minerales de alteración, particularmente las de origen hipogénico, de los yacimientos epitermales para asociarlas a la exploración minera.
- ❖ Discriminar la posible presencia de asociaciones de alteración supergénicas.
- ❖ Relacionar la distribución de las diversas asociaciones de alteración con características importantes del yacimiento tales como la presencia de ebullición u otros mecanismos de precipitación mineral, temperatura y salinidad de los fluidos mineralizantes y la distribución de mineralización económica.
- ❖ Establecer criterios de exploración mineral a nivel local.

1.3 Localización y acceso

El proyecto Altagracia es una de las concesiones mineras a cargo de la empresa Golden Trump Resources, se encuentra en el municipio San Pedro Totolapan, Oaxaca, en la parte central de un conjunto prominente de yacimientos epitermales, en la parte oeste del terreno Cuicateco.

La ruta a seguir se encuentra al sureste de la capital Oaxaqueña, en la carretera 190 Oaxaca-Tehuantepec (Figura 1). Pasando el poblado de San Juanico o bien San Juan Guegoyachi, en el kilómetro 94, en dicho kilómetro se encuentra una brecha que conduce al proyecto. Aproximadamente 6 km más adelante donde la brecha se divide se tiene un panorama del proyecto, las obras antiguas se encuentran metros más adelante.

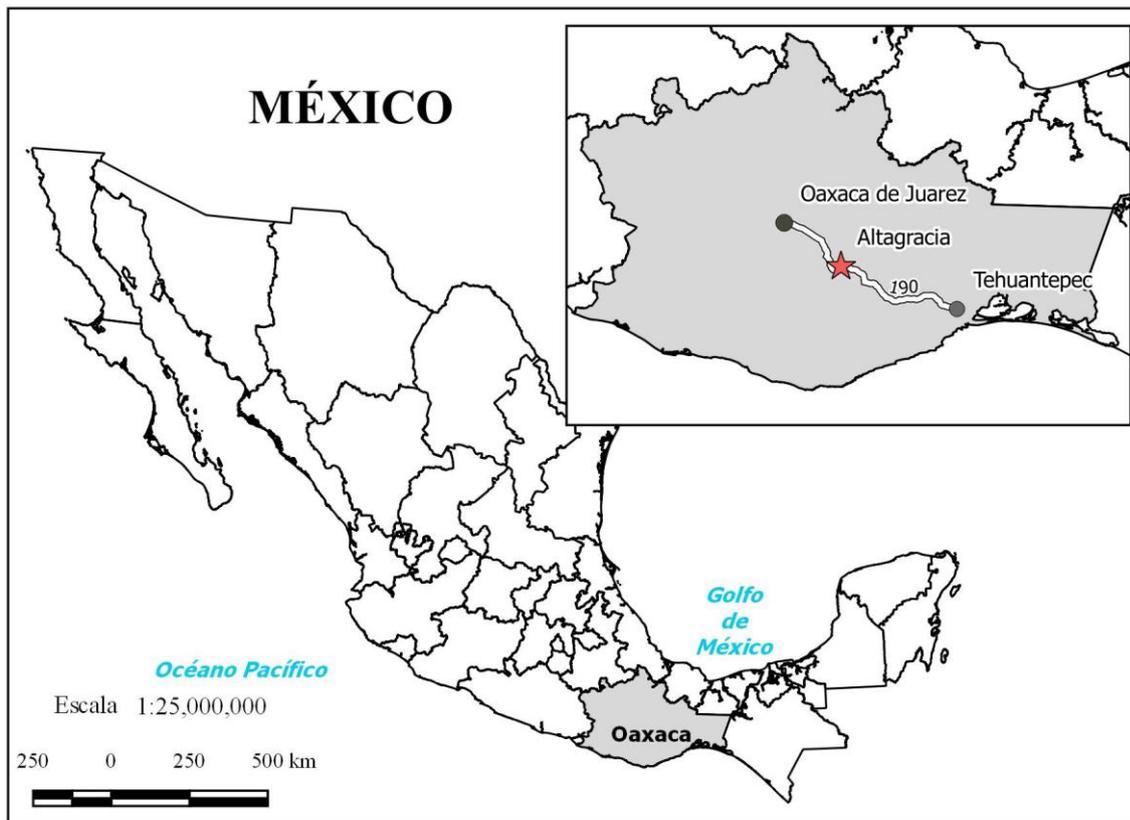


Figura 1. Mapa de México, ubicando el estado donde se realizó el trabajo, así como la ubicación del proyecto.

CAPÍTULO 2. MARCO GEOLÓGICO

2.1 Geología Regional

El proyecto minero Altagracia se encuentra en el estado de Oaxaca, al sureste de México, pertenece a la Sierra Madre del Sur (SMS), dentro del terreno Cuicateco (Sedlock *et al.*, 1993) o Juárez (Campa y Coney, 1983). El terreno Cuicateco se reconoce como una franja de pliegues y cabalgaduras de más de 230 km de longitud, orientada noreste-sureste con un grado de metamorfismo bajo, localizado entre los terrenos Zapoteca y Maya (Carfantan, 1985; Campa y Coney, 1983; Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1990; Ángeles, 2006). El terreno Cuicateco está delimitado por estructuras mayores, la falla Oaxaca al Occidente y la falla Vista Hermosa al Oriente (Ortega-Gutiérrez, 1990; Sedlock *et al.*, 1993) (Figura 2).

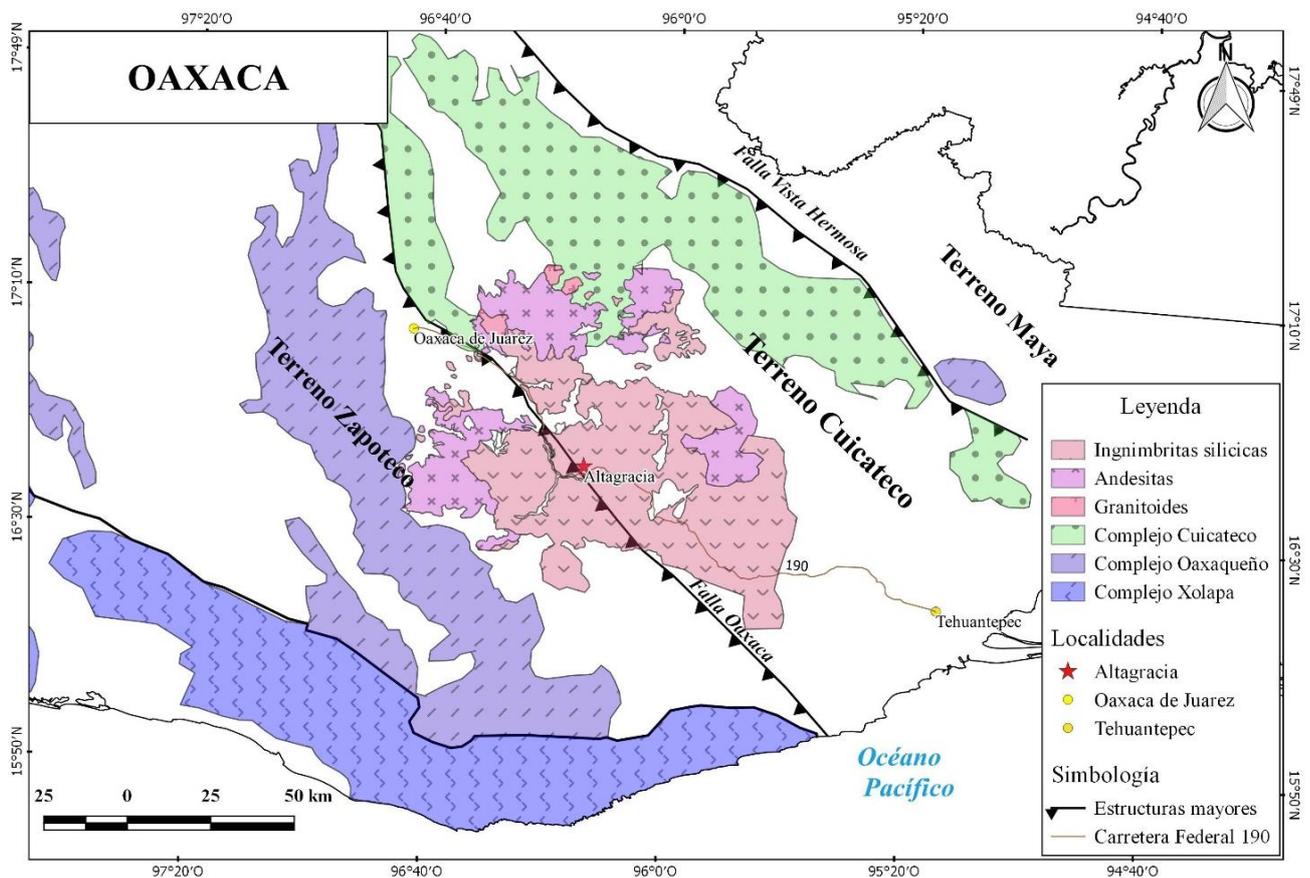


Figura 2. Mapa regional del terreno Cuicateco, modificado de Solari (2004) y Morán Zenteno (2000), mostrando las localización de las diversas rocas y complejos en el estado de Oaxaca.

El terreno Cuicateco tuvo diferentes etapas de evolución y no está relacionada directamente a la apertura del Golfo de México debido a la diferencia de edades (Ángeles, 2006), en el norte del terreno contiene rocas alcalinas, gabros y serpentinitas indicando un adelgazamiento cortical procedente de un régimen tectónico de extensión y en el sur se encuentran magmas toleíticos dados por un régimen tectónico de suprasubducción (Pérez-Gutiérrez *et al.*, 2008).

El basamento del terreno Cuicateco no se conoce, pero se han hecho diversas especulaciones al respecto. 1) Alaniz-Álvarez *et al.*, 1994, propone que el basamento podrían estar compuesto por rocas gabroicas y ultrabásicas debido a la petrología de las anfibolitas en el área de Oaxaca y por la presencia de lentes de serpentinita en las localidades de Concepción Pápalo y Niltepec (Carfantan, 1986; Delgado-Argote, 1988). 2) El basamento corresponde a los esquistos paleozoicos del área de San Juan Mazatlán, que están en contacto con los gneiss del complejo Guichicovi (Murillo-Muñeton y Navarrete-Rivera, 1992; Murillo-Muñeton, 1994). 3) Ángeles, 2006, propone que el basamento está compuesto por bloques paleozoicos cercanos al complejo Oaxaqueño.

En el Mesozoico se tiene la Formación Todos Santos (Sapper, 1899) que consta de una secuencia constituida por derrames andesíticos en la base (Blair, 1988; Michaud y Fourcade, 1989) y en la cima conglomerados, areniscas y rocas piroclásticas (Ángeles, 2006). Las diferentes facies sedimentarias que se encuentran en la zona de acuerdo a su descripción se asocian a un ambiente de *rift* (Blair, 1988).

En el Jurásico Superior- Cretácico Inferior se encuentran una secuencia volcanosedimentaria, que varía ligeramente de región en región. Cerca del Istmo de Tehuantepec se describe esquistos verdes y esquistos de sericita, mármoles con líticos silíceos con radiolarios, cuerpos de serpentina y dique-estratos de dolerita en esquistos de mica subyaciendo discordante mente a calizas Aptiano-Albianas (Carfantan, 1985; Ángeles, 2006). En la Sierra de Juárez se observa una secuencia de lutitas areniscas, correlacionables con la formación Chivillas (Ortega-Gutiérrez y González-Arreola, 1985).

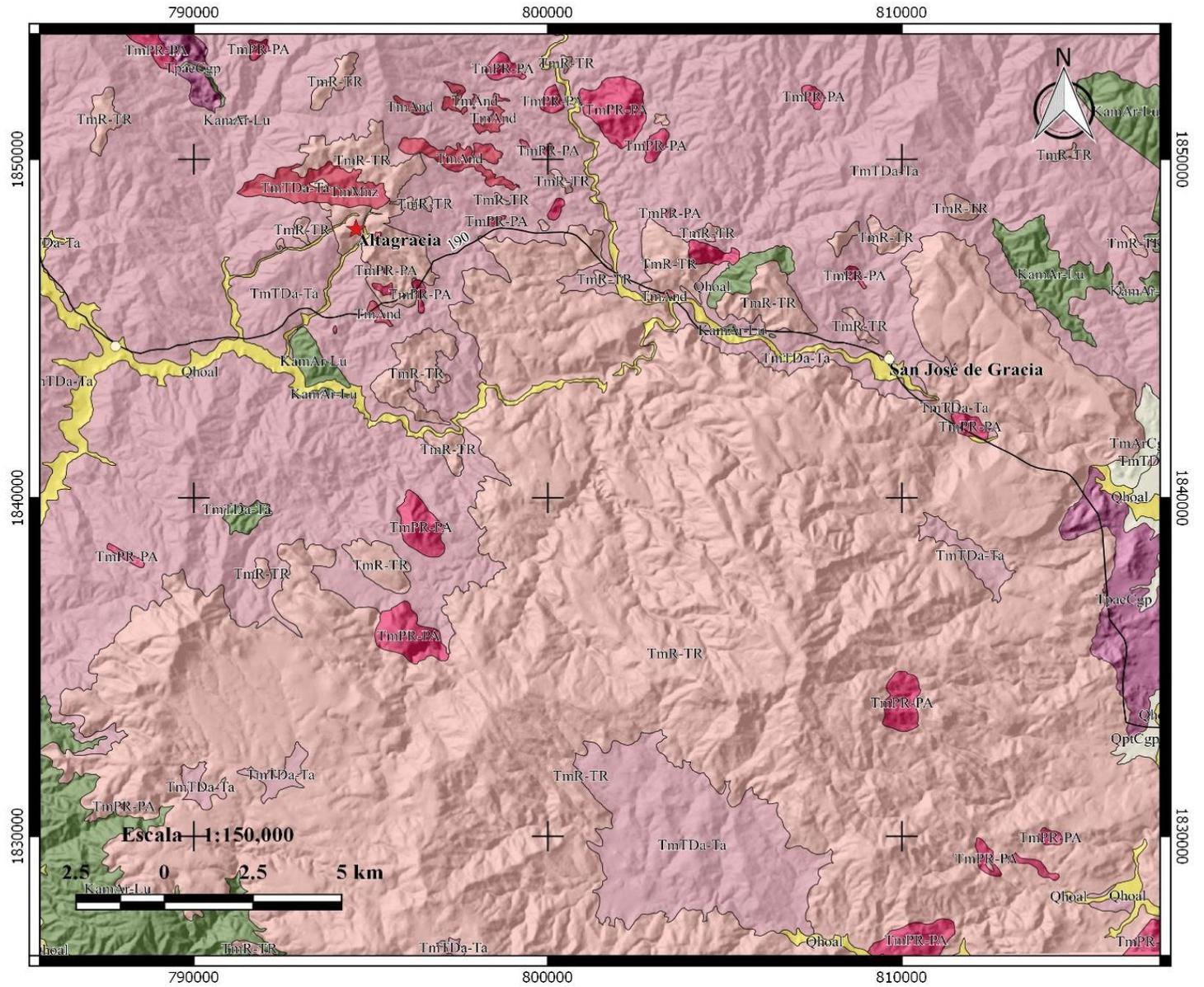
En el Aptiano-Maastrichtiano se encuentran secuencias carbonatadas de facies plataforma, hacia el área de Istmo se encuéntrala Formación Yucunama (Ferrusquía-Villafranca, 1876) que es una sucesión de areniscas, lutitas y en la cima calizas pertenecientes a la cuenca Tlaxiaco. Pertenecientes a un ambiente de plataforma semiprofunda (González –Alvarado, 1970; Ferrusquía-Villafranca, 1976). Las secuencias sedimentarias de Maastrichtiano-Paleoceno, tienen indicios de la primera actividad tectónica Laramídica (Ángeles, 2006).

Del Paleoceno al Mioceno en la SMS se tiene registro de rocas volcánicas debido a la subducción de la placa Farallón contra la placa Norteamericana y Caribe, Farallón se fragmentó y se dividió en las placas Guadalupe, Cocos y Rivera (Morán- Zenteno *et al.*, 2000). La subducción en esta área dio lugar a un magmatismo de carácter ácido a intermedio con una edad entre 22 y 14.9 Ma, generando volúmenes importantes de derrames riolíticos, dacíticos y emplazamiento de cuerpos plutónicos de composición granodiorítica, y monzonítica (Pérez-Gutiérrez, 2010). Conforme fue avanzando el límite de subducción, el magmatismo en la zona se fue extinguiendo, y migrando hacia el noreste.

2.2 Geología Local



Figura 3. Mapa regional de la zona, modificado del mapa del Servicio Geológico Mexicano, geología local de la empresa y geología local realizada en el presente trabajo.



2.2.1 Antecedentes

En el área de estudio se encuentran principalmente rocas volcánicas pertenecientes al volcanismo Micénico, de carácter ácido a intermedio, principalmente secuencias de andesitas, riolitas, ignimbritas y diques monzoníticos-dioríticos (Figura 3). Los siguientes trabajos describen un poco más las diversas litologías que se encuentran cerca del área de estudio.

Ferrusquía Villafranca (2001), presenta la cartografía y describe a detalle la litología del área de Nejapa de Madero, incluyendo en forma somera la zona de San José de Gracia, que se encuentra a 10 km de la entrada a Altagracia. En el mismo trabajo realiza una columna litoestratigráfica del área de Nejapa de Madero. Los cuerpos asociados descritos que podrían estar relacionados con los que se observaron en Altagracia son:

Unidad informal Conglomerado el Limón, capas fuertemente falladas, textura clasto soportado, pobremente clasificado, presenta clastos de rocas metamórficas y calizas. Los clastos de las rocas metamórficas tienden a ser elongados y varían de esfericidad de acuerdo a su tamaño. Los clastos de las calizas tienden a estar más intemperizados, son calizas micríticas, muy fracturadas y recristalizadas. Se sugiere que la edad de esta unidad comprende el Paleógeno, temprano.

Tmh- Riolita Huitihuini, sucesión de derrames lávicos de diversas texturas y colores claros, generalmente rosa. En el trabajo se describen siete variedades diferentes de riolitas, riolita fluidal bandeada, riolita fluidal microacicular, riolita hialorriolita porfídica, riolita porfídica bandeada, riolita esferulitoide bandeada, riolita brechoide, riolita riodacítica. No se tiene edad de esta sucesión.

Tmy- Toba Yautepec, Secuencia piroclástica de composición félsica con diversos atributos texturales, dispuesto en estratos delgados y gruesos. Con una edad aproximadamente de 14.96 ± 0.85 Ma. hasta 16.47 ± 0.71 Ma, determinada por fechamiento radioisotópico de K-Ar.

Unidad informal San José de Gracia, cuerpos intrusivos someros de composición ácida a intermedia, con diversas texturas, que intrusionan discordantemente a la toba Yautepec. Los intrusivos llegan a tener hasta 1 km de diámetro, muestran una alineación ya que se encuentran emplazados en fallas. Describe cinco intrusivos principalmente, latita, traquita, traquita latítica, latiandesita y Andesita de Clinopiroxena y Olivino.

Martínez-Serrano (2008) realiza una recopilación de los trabajos que se han realizado en la zona alrededor del proyecto Altagracia, a lo largo de la carretera federal 190. Modifica algunas litologías estableciendo tres columnas estratigráficas con diferentes fechamientos de la zona circundante. La primera de la zona de Etlá, Mitla-Tlacolula y Nejapa de Madero.

Mitla-Tlacolula

La parte más antigua de la columna estratigráfica se compone principalmente por rocas metamórficas posiblemente asociadas con el complejo Oaxaqueño. Seguido por secuencias sedimentarias de aproximadamente 400 m de limolitas intercaladas con lutitas con una disconformidad con límite entre las dos unidades.

La secuencia sedimentaria está cortada por diques hipabisales, seguido por una secuencia de andesitas alteradas fuertemente por hidrotermalismo y mineralización de Cobre, Plomo y Zinc. La parte superior de la secuencia volcánica está compuesta por ignimbritas, riolitas y riodacitas que Ferrusquía-Villafranca (1990) la designa como Toba Mitla. La Toba Mitla es fechada con el método K-Ar con un rango de edades de 14.4 ± 0.4 y 16 ± 0.4 Ma, sin especificar el mineral con el que se realizó dicho procedimiento.

Por último, los depósitos más recientes que son los conglomerados compuestos por las diferentes rocas ígneas de la región y en menor cantidad sedimentarias y depósitos aluviales.

Poliquin (2009), encontró intrusivos dioríticos a unos kilómetros de Altagracia en Cerro Colorado y Cobre Grande. En la mayoría de las rocas intrusivas descritas los feldespatos estaban reemplazados por sericita, por otro lado, el clinopiroxeno, hornblenda y biotita estaban reemplazados principalmente por clorita. Las edades de zircones que se obtuvieron por el método de U-Pb fueron 23.8 ± 0.4 Ma. Las características previamente descritas se observan en Altagracia, y se abordaran más a detalle a continuación.

2.3 Mapa geológico local

Se realizó un mapa geológico local (Figura 4), determinando litologías con la ayuda de fotografías aéreas proporcionadas por la empresa Golden Trump Resources, la salida de reconocimiento, el trabajo de campo e información de barrenos que la empresa proporcionó. Algunas de las litologías previamente descritas en los trabajos de Ferrusquía-Villafranca (2001), Martínez-Serrano (2008), y Poliquin (2009) se llegan a relacionar con las de la presente tesis.

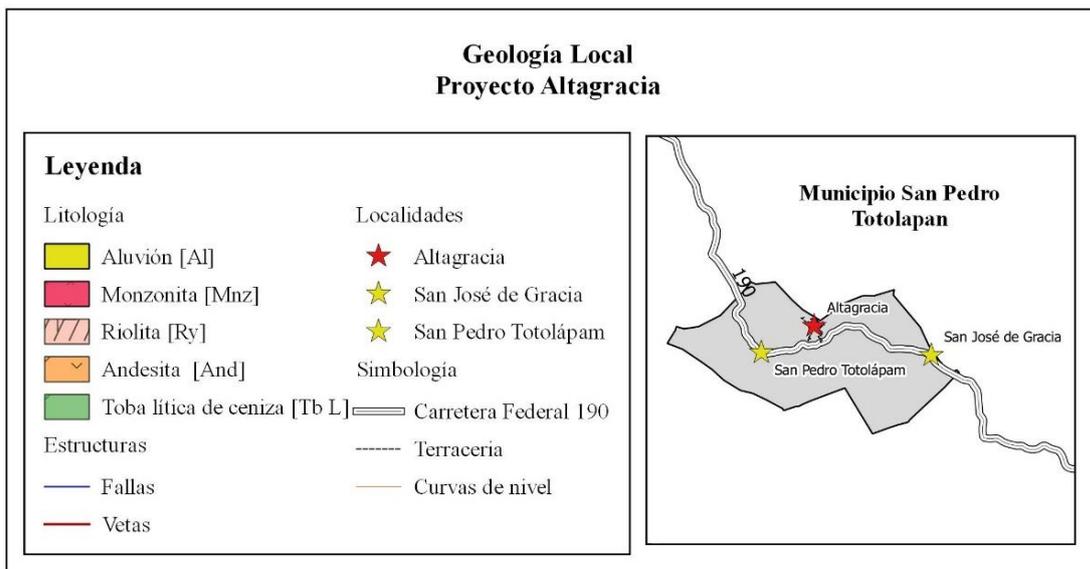
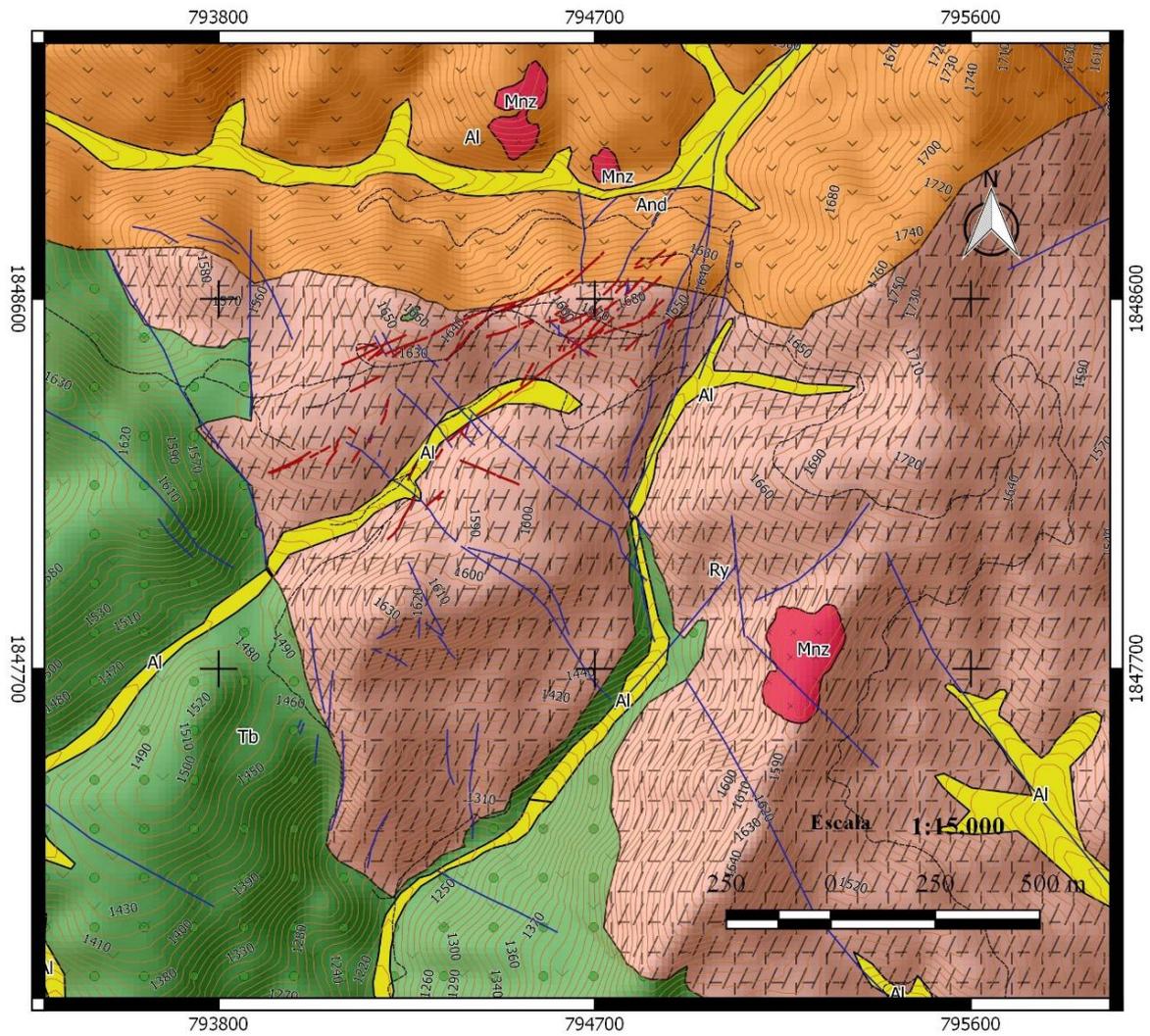


Figura 4. Mapa de la geología local del proyecto Altagracia, actualizado, realizado en el presente trabajo.

2.3.1 Estratigrafía local

La estratigrafía local (Figura 5) del proyecto Altagracia se determinó gracias a varios elementos: por barrenos que proporcionó la empresa, información de estudios previos de la zona, la campaña de campo que se llevó a cabo, descripción de las muestras de mano recolectadas en la campaña de campo y petrografía de 15 muestras seleccionadas (Anexo 2, Anexo 3).

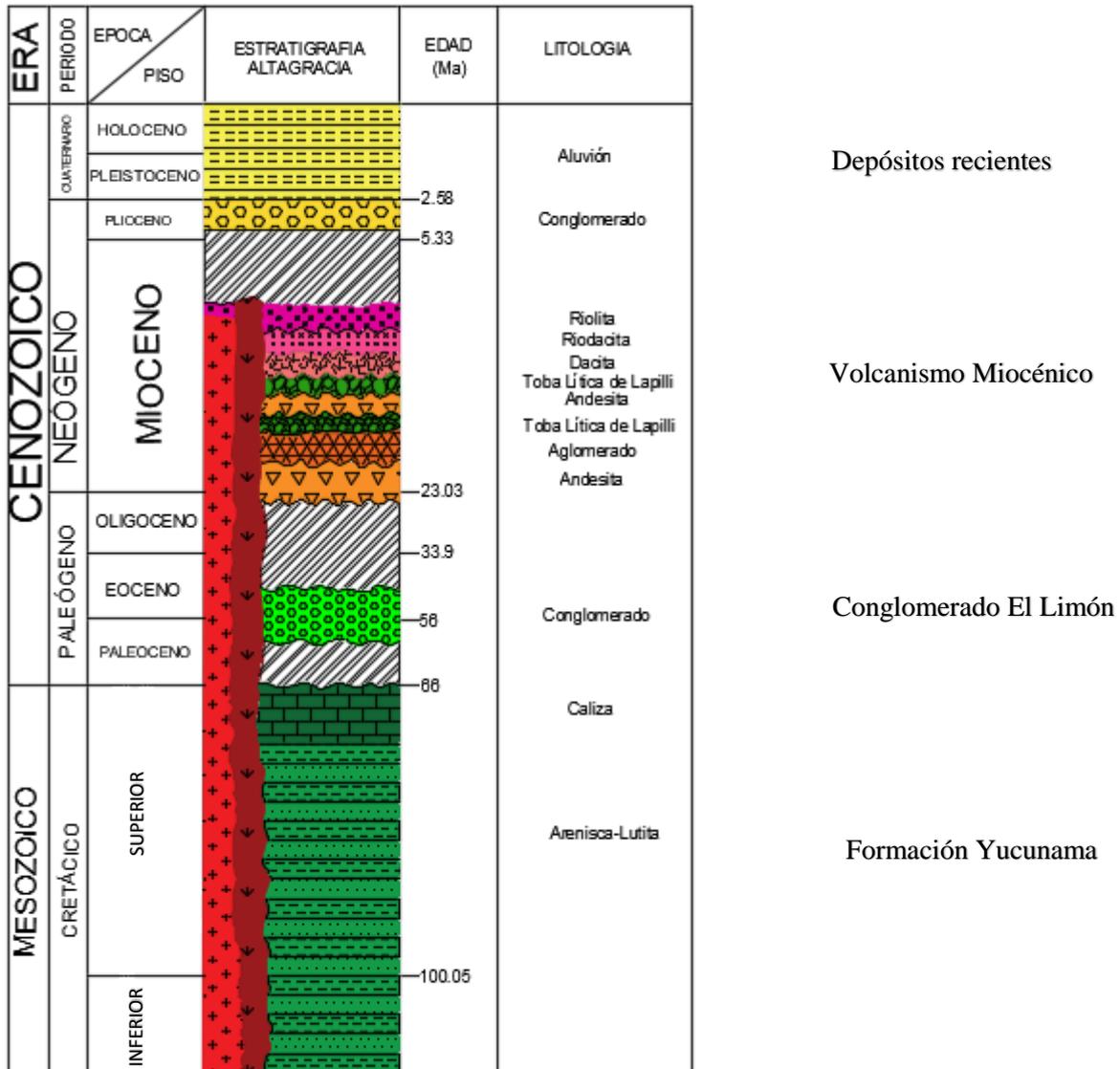


Figura 5. Columna estratigráfica local del distrito minero Altagracia, Oaxaca.

Basamento

De acuerdo a investigaciones más recientes el basamento del Terreno Cuicateco podría estar compuesto por bloques paleozoicos cercanos al complejo Oaxaqueño.

Formación Yucunama

Secuencia constituida principalmente por lutitas, areniscas y en la parte superior de la secuencia calizas. Perteneciente al Cenomaniano-Maestrichtiano de acuerdo con el registro fósil (Ortega-González et al., 1991)

Conglomerado Limón

Secuencia más antigua, conformada principalmente por unidades detríticas: a) conglomerado de color rojo, b) lutitas, c) areniscas y d) calizas en estratos de espesores variables. En el dique monzonítico se encontraron evidencias de xenolitos de calizas posiblemente pertenecientes a esta unidad. La roca está redondeada y recrystalizada, aproximadamente de 7 cm de diámetro.

Tobas líticas de lapilli o ceniza están intercaladas **con andesita** (Figura 6) en sucesiones poco uniformes y de espesores variables. Esta intercalación es evidente en los barrenos en la porción norte y noroeste del proyecto. Se tiene un fechamiento de 22.31 ± 0.03 Ma de andesita por Iriondo (2004).

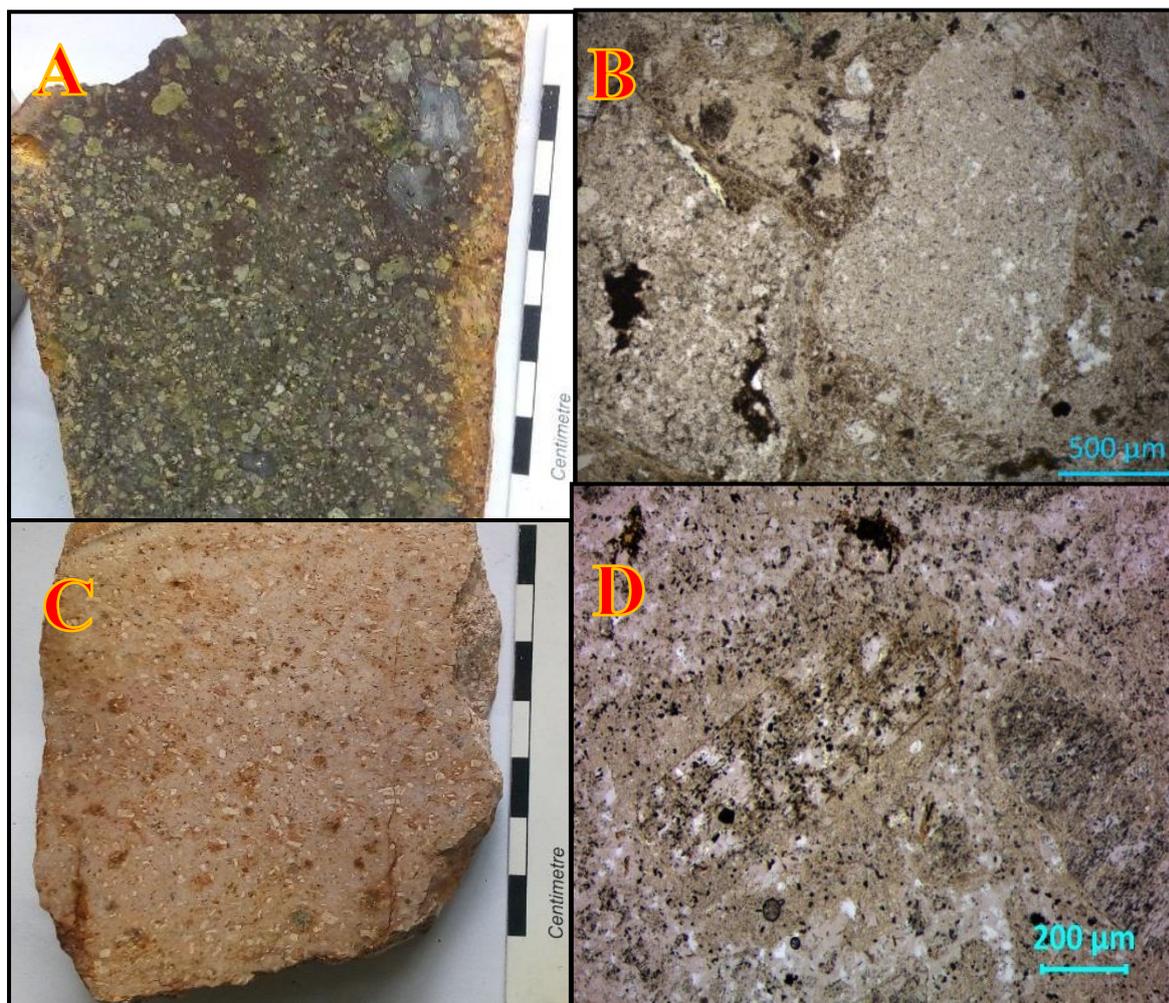


Figura 6. Toba lítica, A) Muestra de mano de la toba lítica con fragmentos bien seleccionados, subredondeados y oxidación en la parte intemperizada. B) Lámina delgada de la toba, fragmentos de roca silicificados con la matriz oxidada. Andesita, C) Muestra de mano de andesita con fenocristales de plagioclasa levemente alterados, óxidos. D) Plagioclasa en lámina delgada reemplazada por cuarzo, sericita y opacos, con un halo de alteración de arcillas.

Las tobas líticas de lapilli contienen fragmentos de roca de composición básica, poco redondeados y en la mayor parte bimodales. Los fragmentos de roca presentan mucha oxidación y algunos presentan alteración previa a su litificación. La matriz de la toba y algunos cristales están reemplazados por clorita y otras arcillas. Las tobas están ubicadas en la parte suroeste en el proyecto Altagracia, con un contacto discordante con riolitas y andesitas (Figura 4).

La andesita tiene una textura hipocristalina, de un color marrón oscuro a rosa en la intemperizada. Presenta algunos fenocristales y microfenocristales de plagioclasa dentro de la matriz. Los cristales de plagioclasa están reemplazados por sericita, clorita, calcita y en algunos casos intercrecimiento de epidota en las fracturas de los minerales. La andesita está ubicada en la parte norte del proyecto en contacto discordante con riolitas y tobas (Figura 6).

Secuencia volcánica de composición ácida posiblemente parte de **la Riolita Huitihuini** descrita en Ferrusquía-Villafranca (2001) y Martínez-Serrano *et al.*, (2008). Secuencia compuesta principalmente por riolitas, riolacitas y dacitas, con textura fluidal en la mayoría de ellas. Es la cima de la secuencia volcánica descrita en el presente trabajo (Figura 7).

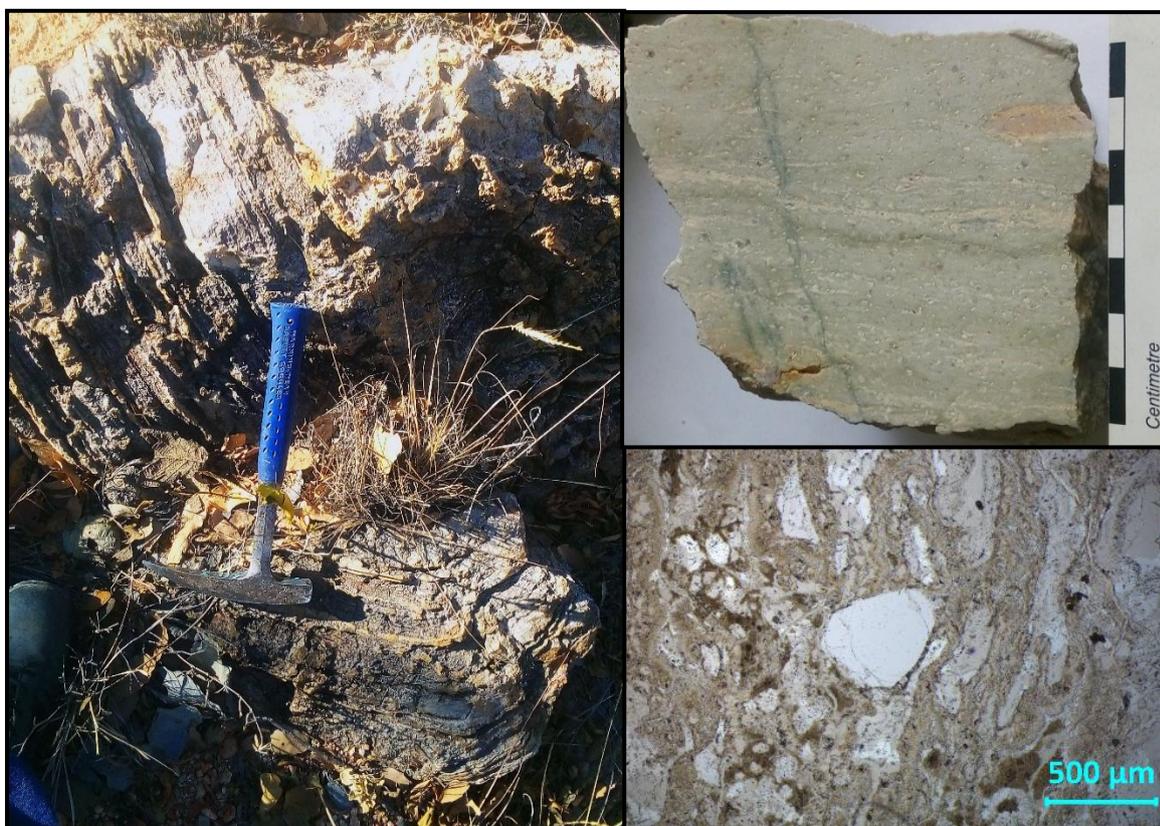


Figura 7. Fotografías de riolitas: A) En afloramiento; B) En muestra de mano, se observa la textura bandeada, la alteración selectiva en los feldspatos principalmente, vetillas y fracturas con presencia de minerales verdes y oxidación; C) Fotografía de lámina delgada con textura fluidal, alteración y oxidación en la matriz.

Riolita con textura fluidal, presentan un color rosa en la parte más fresca y de diversos colores claros a la intemperie. Contiene fenocristales de plagioclasa reemplazados parcialmente por arcillas, entre ellas, kaolinita, illita, esmectita y halloysita. Las fracturas de la roca están rellenas de arcillas (principalmente por illitas) y óxidos, presentan una alteración débil a moderada. Es la roca que más predomina en la superficie del proyecto Altagracia.

A **Diques, monzonítico y diorítico**, se encuentran emplazados en la secuencia volcánica, presentan textura idiomórfica y porfídica respectivamente. Los diques monzoníticos cortan toda la secuencia volcánica. Por otro lado, los diques dioríticos no se encontraron aflorando, solo dentro de las obras mineras antiguas. Estos diques posiblemente forman parte de la secuencia informal San José de Gracia Tmj, descritos en Ferrusquía-Villafranca (2001).

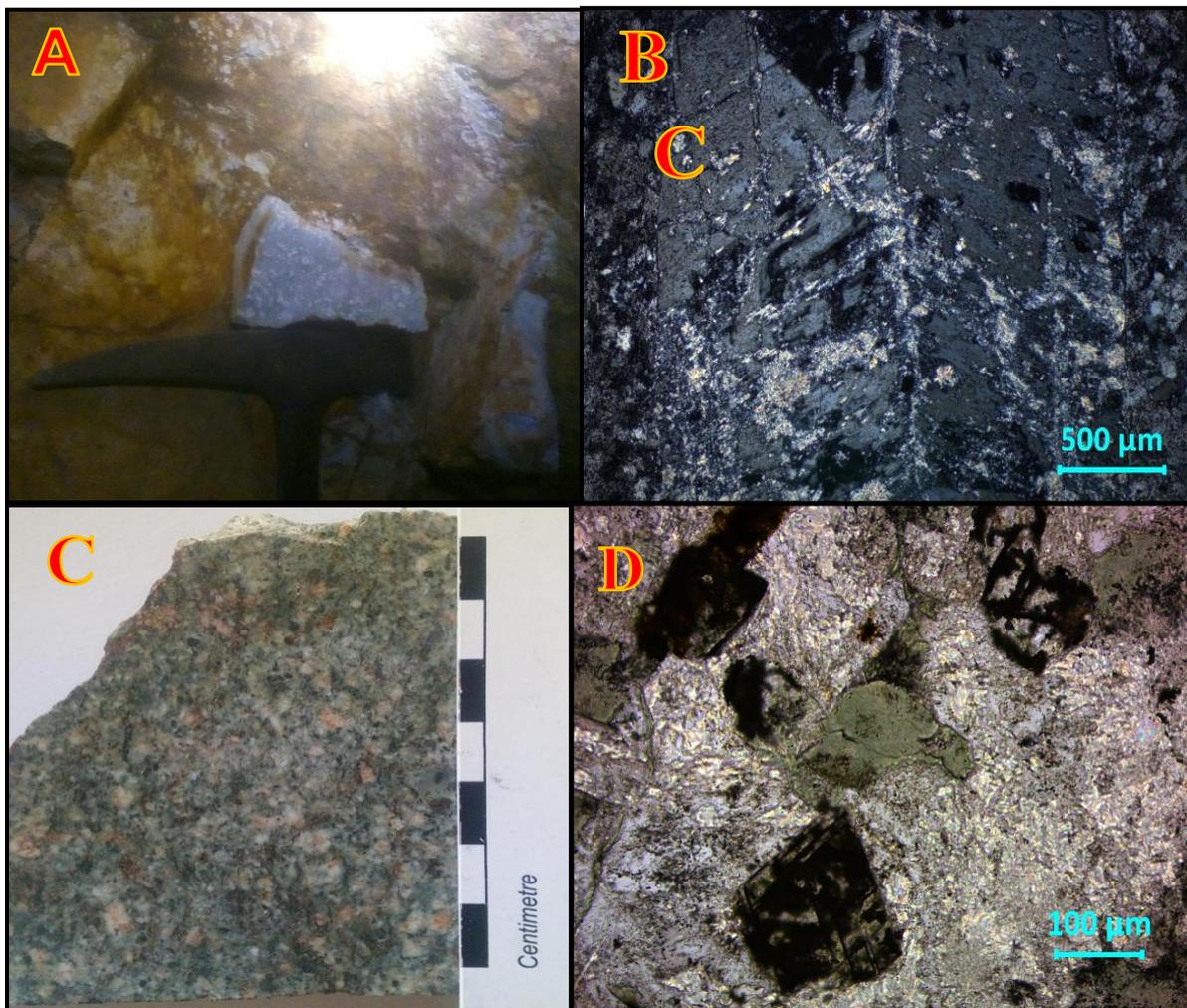


Figura 8. A) Dique Diorítico dentro de una obra minera antigua, alteración selectiva de los feldespatos y silificación en la matriz. B) Lámina delgada del dique diorítico, con textura porfídica, mostrando fenocristales hasta de 8mm de longitud sericitizados y con mosaicos de cuarzo. C) Monzonita en muestra de mano. D) Lámina delgada de monzonita, calcita y clorita reemplazando minerales y matriz.

El dique monzonítico presenta una textura idiomórfica, contiene fenocristales de plagioclasas zoneadas, tiene aproximadamente 1% de cuarzo, fragmentos de roca redondeados, algunas calizas recristalizadas. En la lámina delgada se encontró glomerocristales de micas, apatitos y plagioclasas y solo un par de cristales de cuarzo. La matriz y algunos cristales están alterados principalmente por cloritas, calcitas, epidotas y sericitas.

El dique diorítico está muy alterado por arcillas, principalmente por kaolinita y montmorillonita los fenocristales de plagioclasa de hasta 8 mm de longitud están reemplazados parcial o totalmente por kaolinita y halloysita (Figura 8). Las fracturas en la roca están rellenas de arcillas, de la misma forma la matriz presenta reemplazamiento parcial con arcillas. Esta roca solo se encontró en el interior de una obra antigua.

Las unidades recientes son el conglomerado y el aluvión, se encuentran en las principales depresiones erosionadas pluvialmente, o depresiones creadas por las fallas. Se puede observar conglomerados polimícticos, muy mal seleccionados, matriz soportada con un tamaño de arenas a limos.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

El uso de herramientas analíticas en la exploración minera ha crecido a pasos agigantados en las últimas décadas, particularmente en la identificación de alteraciones hidrotermales. Con ellas, se pueden identificar y caracterizar los yacimientos, así como las diferentes condiciones ambientales a las que estuvo sujeto.

Este trabajo incluye cartografía a detalle de la zona en cuestión, trabajo de campo, análisis de muestreo de alteración con información de barrenos, análisis de muestras recolectadas en la campaña de campo y chips que la empresa Golden Trump Resources proporcionó. También se realizó espectroscopia de infrarrojo de onda corta para las muestras que se recolectaron y muestras de barrenos, petrografía e identificación de minerales de alteración por medio del microscopio electrónico en las muestras que fueron seleccionadas.

3.1 Cartografía

Durante una estancia de trabajo de campo de aproximadamente 25 días, se tomaron en cuenta las principales estructuras, unificándola con la cartografía de la empresa a escala 1: 4,500. En ella se encuentran vetas, fallas y la distribución de las muestras que se recolectaron. Así como, los minerales de alteraciones que se encontraron en cada punto de muestreo (Figura 4).

Se identificaron las muestras de mano y junto con la información de los barrenos se definió de mejor forma la cartografía. El software que se utilizó fue QGis, que es un Sistema de Información Geográfica (SIG) libre y de código abierto. **Véase Anexo 1**

3.2 Trabajo de campo

En el proyecto Altagracia se muestrearon las zonas alteradas alrededor de las estructuras principales, con el objetivo de caracterizar las principales alteraciones hidrotermales del área. Así mismo, se muestreaban afloramientos que se encontraban en las rutas determinadas. En cuanto a las muestras de barrenos, estos fueron proporcionados por la empresa Golden Trump Resources.

En total se recolectaron 95 muestras, 41 de barrenos, 40 de superficie y 14 de interior mina de las obras antiguas San Juan, Espíritu Santo y Huajes. Las muestras de los núcleos fueron tomadas de los barrenos 4140007, 4150006 y 412004; con el número de muestras PAG099, PAG144 y PAG155; y con una profundidad de 51.38 m, 101.65 m y 64.2 m respectivamente.

3.3 Espectroscopia de infrarrojo de onda corta (SWIR- Short Wave Infra Red)

Las asociaciones minerales de alteración hidrotermal se estudiaron por medio de espectroscopia de onda corta de luz infrarroja (SWIR). Es un método rápido y no destructivo que se aplica para la identificación de arcillas en el rango de onda corta de infrarrojo (1.3-2.5 μm) del espectro electromagnético (De Senna *et al.*, 2008). Se utilizaron dos equipos SWIR ubicados en el Instituto de Geofísica de la UNAM, Ore Express Spectral Evolution SM-3500 y LabSpec Pro de Analytical Spectral Devices. INC.

Los softwares que se utilizaron para el procesamiento de los espectros fueron Darwin e Indico Pro respectivamente. El software Darwin da la gráfica del espectro y la compara con una base de datos precargada que nos da un porcentaje de coincidencia con el nuestro. En cuanto al software Indico Pro, las gráficas se obtienen a través de datos importados con longitudes de onda entre 1300 y 2500 nm que fueron procesados en Excel. **Véase Anexo 2**

3.4 Petrografía

Se realizaron 15 láminas delgadas para el estudio petrográfico. Se utilizó un microscopio petrográfico marca Leitz, modelo *Laborlux 12 Pol* para su descripción y clasificación, equipo a cargo del Dr. Fernando Ortega Gutiérrez. Las fotografías se tomaron con un microscopio Zeiss con cámara incluida y el software Zen by Zeiss para toma y edición de microfotografías (Figura 9). Ambos ubicados en el Instituto de Geología de la UNAM. **Véase Anexo 3**



Figura 9. Microscopio Zeiss y software Zen que se utilizó para la toma de fotografías de las láminas delgadas.

3.5 Microscopio electrónico

La petrografía se completó con datos que se obtuvieron en el microscopio electrónico, principalmente para detalles texturales y la identificación química mineral de arcillas. El equipo que se utilizó fue Hitachi, modelo Hitachi TM-1000 Tabletop Microscope (Figura 10) y el software para la interpretación,

procesamiento y toma de fotografías. El equipo se encuentra en el laboratorio de Petrografía y Microtermometría del departamento de Recursos Naturales, ubicado en el Instituto de Geofísica de la UNAM. Véase Anexo 4



Figura 10. Microscopio electrónico Hitachi, modelo TM-1000

CAPÍTULO 4. ALTERACIONES HIDROTERMALES

Las alteraciones hidrotermales son el resultado de la interacción de un fluido hidrotermal con la roca encajonante, generando un cambio químico, textural y mineralógico en la roca. La alteración es un reequilibrio a las nuevas condiciones del entorno, dando lugar a nuevas fases minerales principalmente arcillas, logrando una estabilidad (Pirajno, 2009).

Los principales factores que controlan la alteración son la permeabilidad de la roca, temperatura, composición de fluido, así como la concentración de elementos, actividad y el potencial químico del fluido (H^+ , CO_2 , O_2 , K^+ , H_2S y SO_2) y para algunos investigadores la composición de la roca (Pirajno, 2009).

La clasificación de una alteración hidrotermal está en función de la asociación mineral y a los cambios químicos que presenta la roca. Los cambios químicos indican el tipo de fluidos que estuvo presente en el proceso metasomático. Los minerales de alteración son aquellos que se forman por las nuevas condiciones ambientales. A partir de los minerales de alteración es posible saber las características que tenía el fluido que interactuó con la roca, ya que cada mineral presenta una firma de acuerdo al ambiente de formación (Pirajno, 2009).

Las asociaciones minerales son grupos de minerales que se formaron al mismo tiempo durante un proceso hidrotermal, dando lugar a texturas de reemplazamiento o vetas. El estilo de alteración toma en cuenta la intensidad, forma y carácter del proceso, y para describir la intensidad su clasificación es: débil, moderada, fuerte, pervasiva, masiva y selectiva. Describiendo a la roca y el grado de preservación de los minerales originales. Los fluidos hidrotermales derivados de los residuos de los cuerpos magmáticos tienen temperatura alrededor de 600° a $800^\circ C$ (Pirajno, 2009).

Las texturas de alteración son aquellas nuevas texturas que se forman debido a un proceso de alteración, estos son cambios en la forma, contorno, cristalización, tamaño de grano, etc. El cambio de los nuevos minerales da lugar a nuevos patrones de precipitación y reemplazamiento (Gifkins, 2005).

4.1 Distribución de minerales de alteración del depósito Altagracia

El muestreo que ha realizado la empresa Golden Trump Resources se muestra a continuación en contraste con el muestreo realizado en este trabajo (Figura 11). Así mismo, se puede observar la densidad del muestreo en la zona central, donde se encuentran las vetas y las obras principales. Los puntos morados son los muestreos que ha realizado la empresa y los puntos rojos son los que se realizaron en el presente trabajo, ampliando un poco más el área de estudio.

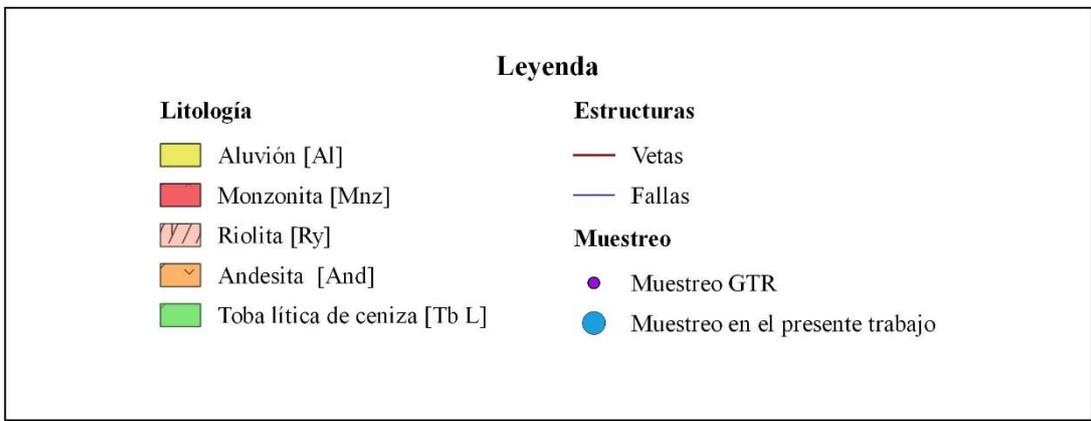
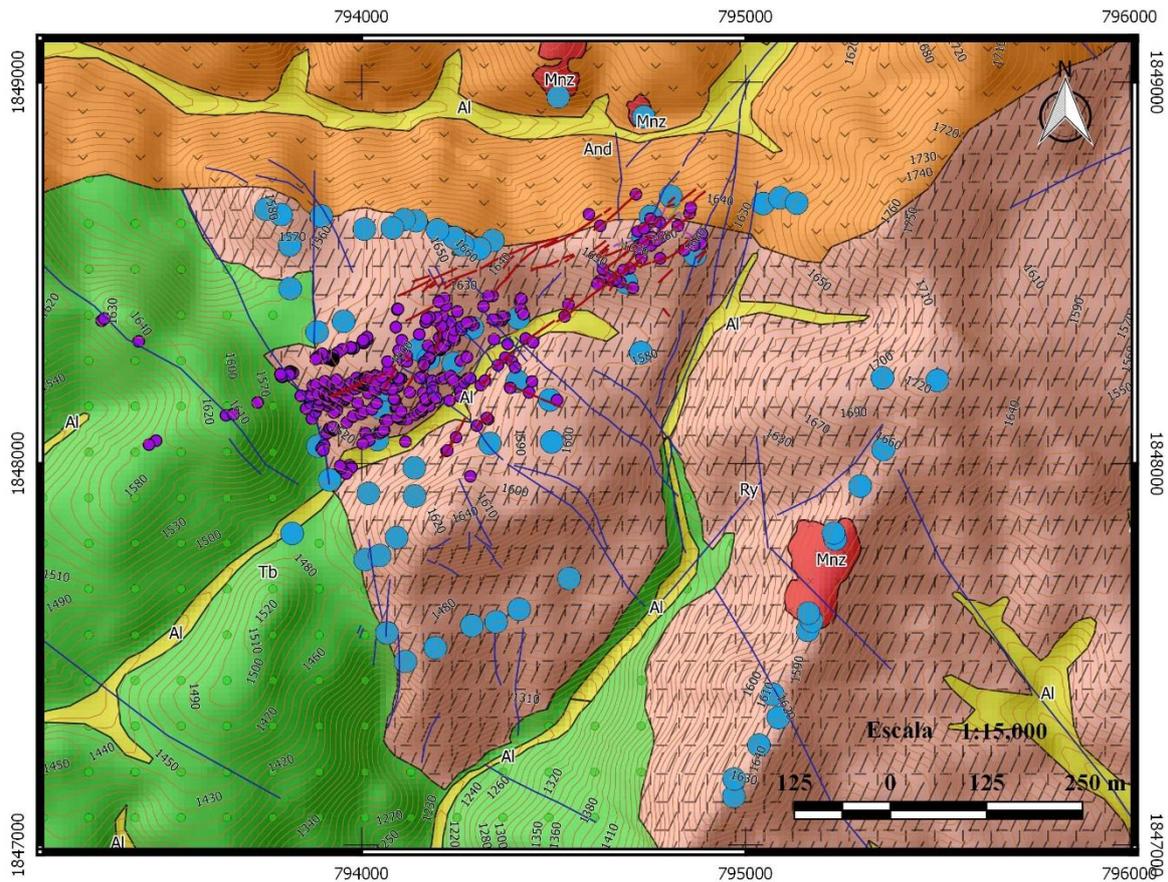


Figura 11. Mapa de Altigracia y la distribución espacial de las muestras totales, las muestras en color morado son las muestras de la empresa Golden Trump Resources y los puntos azules, son las muestras colectadas para este trabajo.

Los minerales de alteración que se encontraron en el área incluyendo su distribución espacial y características ambientales de formación fueron los siguientes: kaolinita, illita, esmectita, halloysita, clorita y montmorillonita (Figura 12).

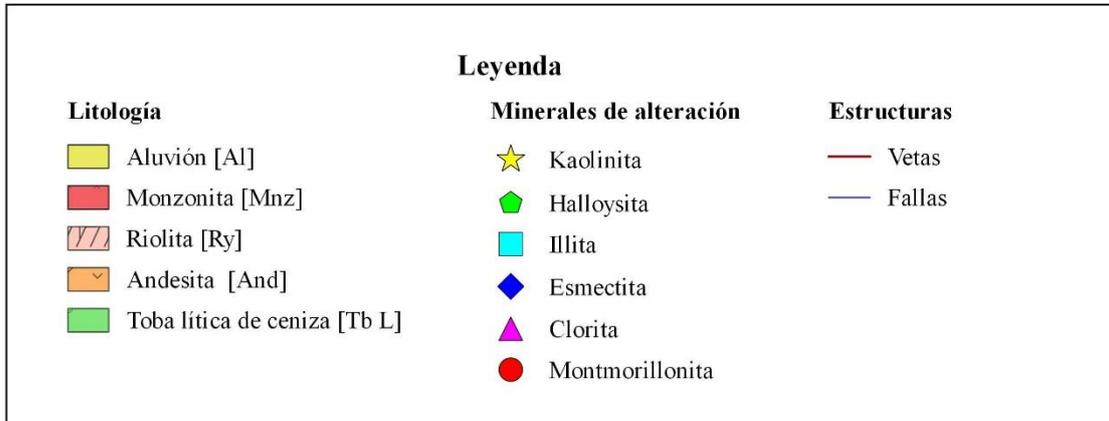
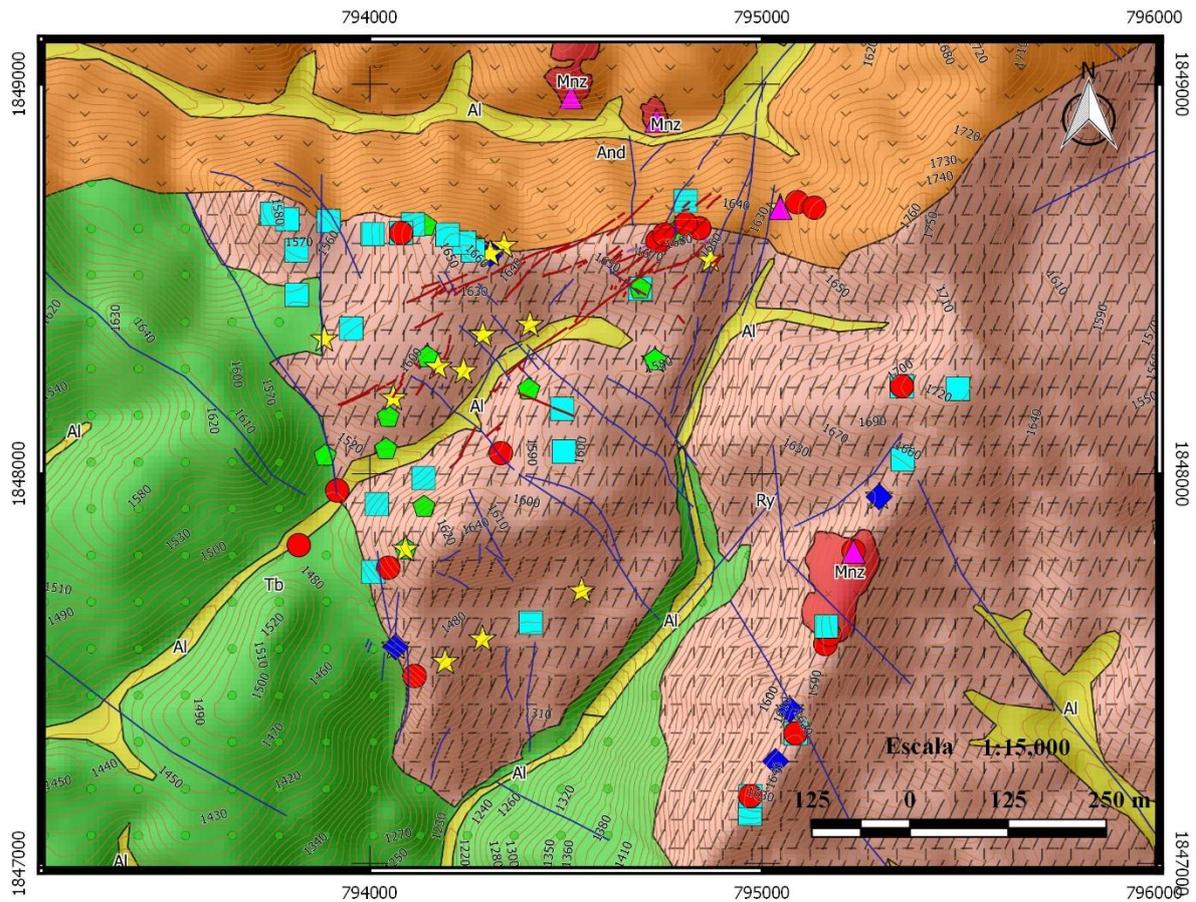


Figura 12. Mapa de la distribución espacial de los diferentes minerales de alteración hidrotermal que se recolectaron en el proyecto Altigracia en el presente trabajo.

4.2 Minerales de Alteración

4.2.1 Grupo de la Kaolinita

Kaolinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)

Asociación mineral con illita, esmectita, pirita y cuarzo.

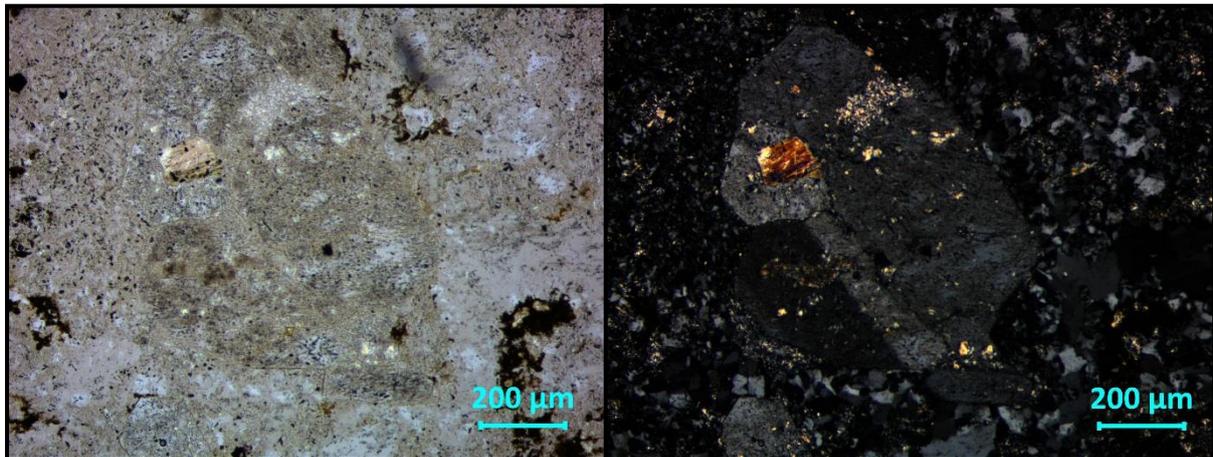


Figura 13. Pseudomorfo de plagioclasa reemplazando por kaolinita e illita, matriz silicificada moderadamente.

La alteración de la kaolinita en los cristales, principalmente de plagioclasa, y matriz es selectiva, total o parcial. Se presenta también rellenando oquedades y fracturas (Figura 13). En el caso de la toba lítica de lapilli hay algunos fragmentos de roca previamente alterados que muestran el mismo patrón de alteración descrito anteriormente.

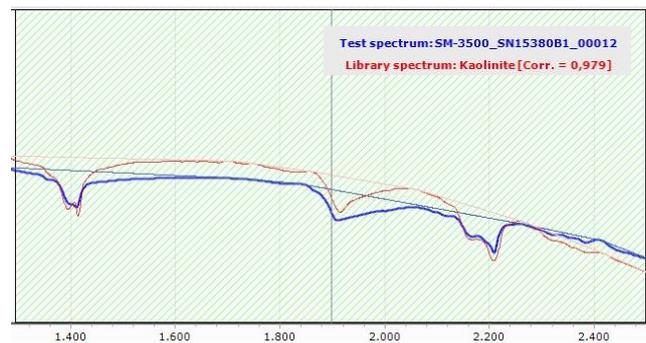


Figura 14. Espectro de la kaolinita, muestra AGS043.

La kaolinita se encontró cerca de las vetas tanto en el muestreo de la empresa como en el presente trabajo. Además, también se encontró dentro de las obras mineras antiguas.

El ambiente de formación de este grupo es en agua ácida de pH 3-4, a temperaturas bajas 150°C-200°C, Dickita 200°C- 250°C (Figura 14) (Figura 15) (SPECMIN, 1996; Thompson y Thompson, 1998).

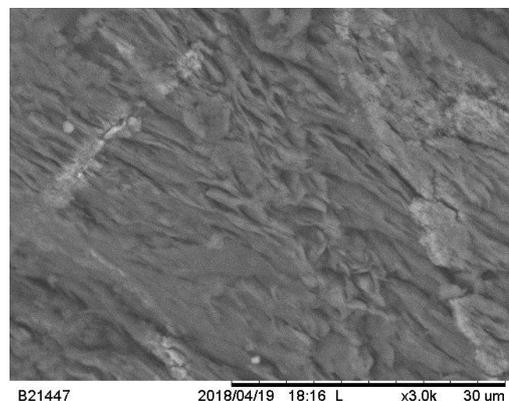


Figura 15. Kaolinita laminar en microscopio electrónico (ME)

Halloysita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

Se localiza en las zonas cercanas a la kaolinita, tanto en superficie como en obras antiguas, reemplazando selectivamente a plagioclasas y rellenando fracturas con intensidad débil a moderada. También, en zonas cercanas a vetas, vetillas y fallas, producto de alteración supergénica. El espectro de la halloysita es muy parecido al de la kaolinita (Figura 14) (Figura 16).

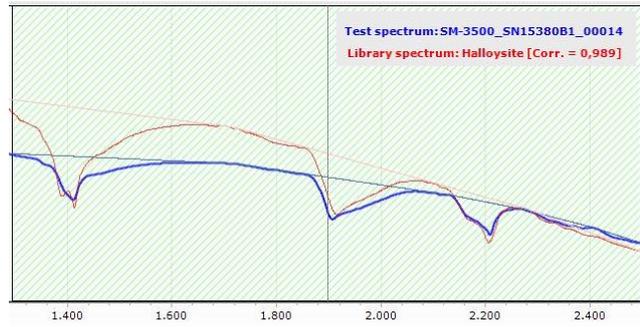
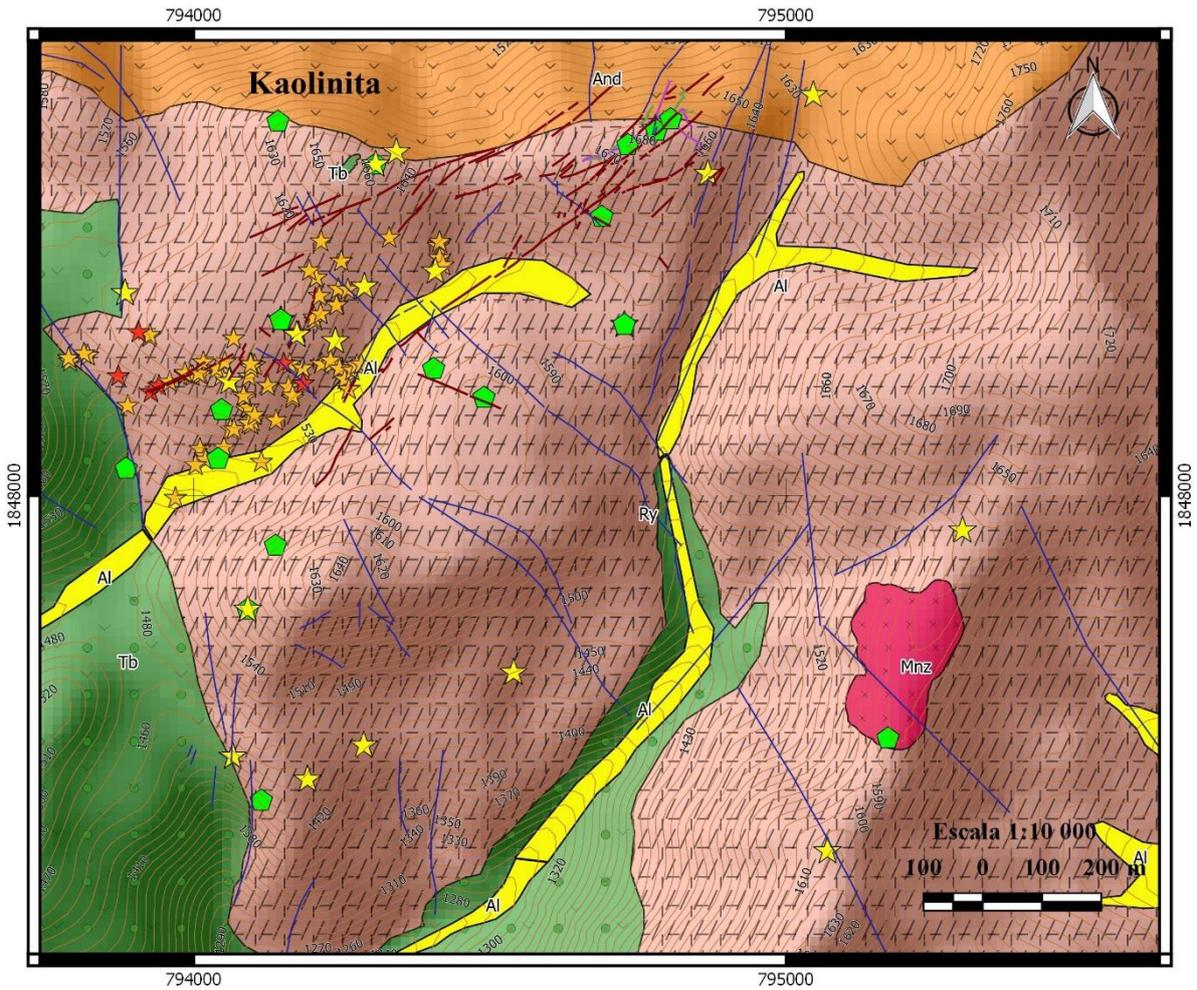


Figura 16. Espectro de Halloysita, muestra HS 04.

Ya que la halloysita es un mineral de alteración de origen supergénico, llega a tener una asociación mineral con la kaolinita, jarosita, alunita y óxidos de Fe. Esta asociación se desarrolla en ambientes de meteorización con temperaturas por debajo de los 40°C (Simmons *et al.*, 2005).

Tanto la kaolinita como halloysita se encuentran distribuidas en franjas con una dirección 35° - 45° SW-NE a lo largo de la zona de vetas (Figura 17). En las obras mineras antiguas también se encuentran cerca de las vetas y fallas (Figura 18).



Leyenda	
Muestras de Tesis	Litología
★ Kaolinita	Aluvi3n [Al]
⬡ Halloysita	Monzonita [Mnz]
Muestras GTR	Riolita [Ry]
★ Dickita	Andesita [And]
★ Kaolinita	Toba l3tica de ceniza [Tb L]
	Estructuras
	— Vetas
	— Fallas

Figura 17. Distribuci3n espacial de los minerales del grupo de la kaolinita en el proyecto Altagracia.

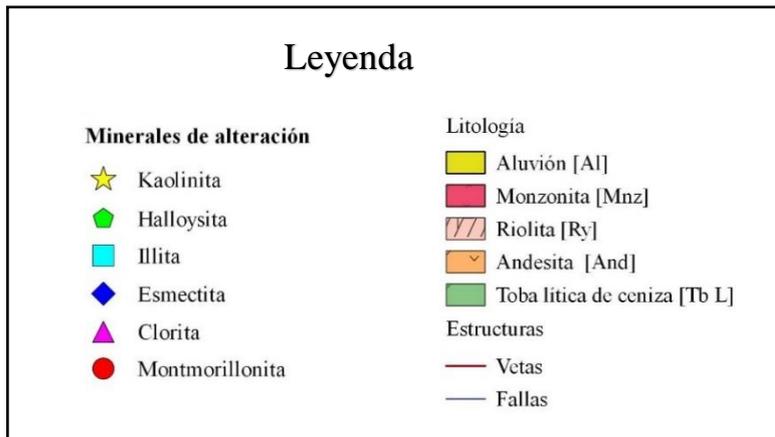
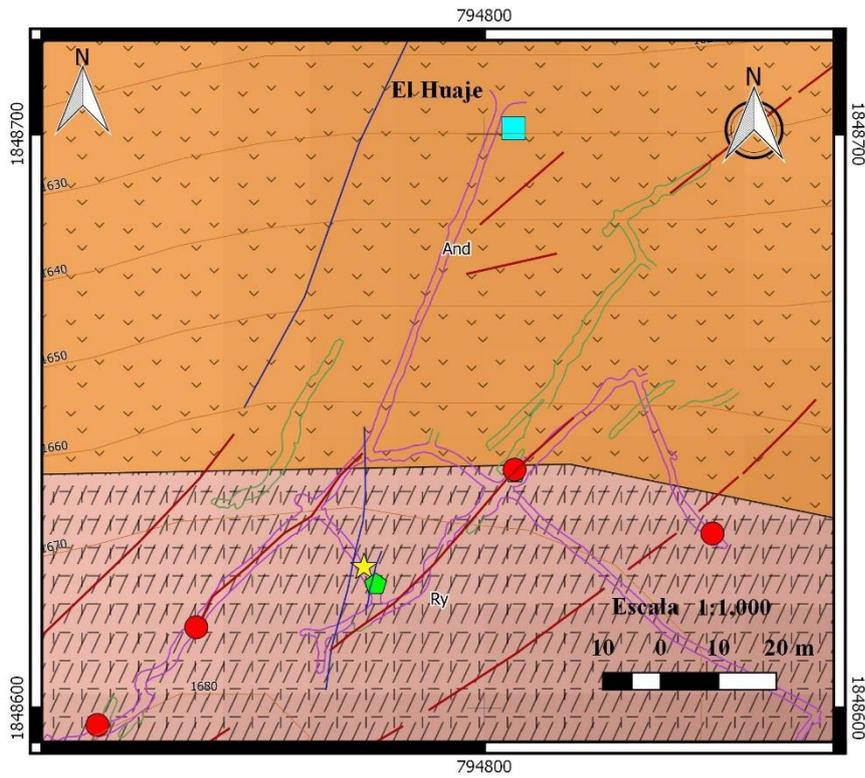


Figura 18. Obra minera antigua mostrando la cercanía de los dos minerales del mismo grupo, kaolinita con halloysita.

4.2.2 Grupo de la Illita

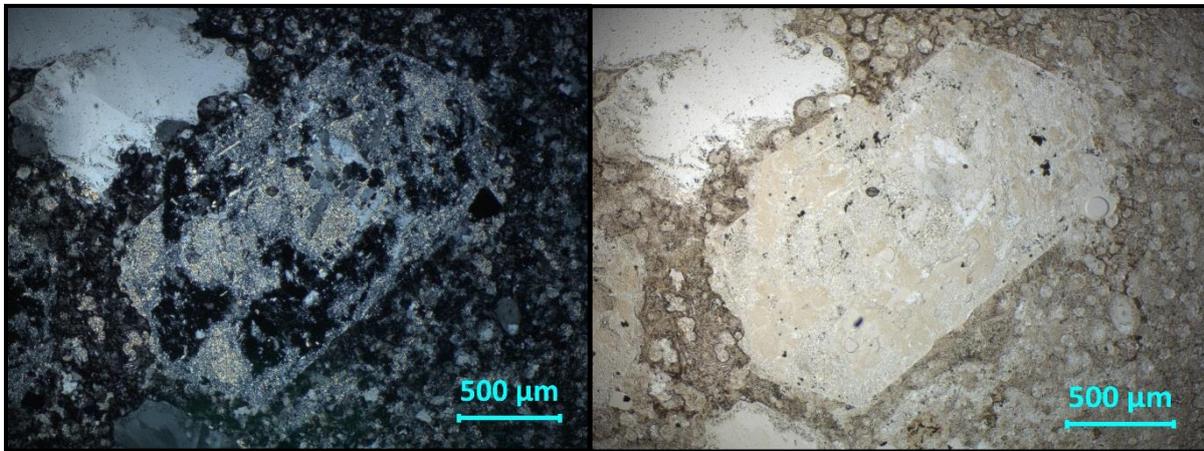
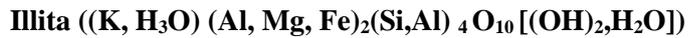


Figura 19. Pseudomorfo de plagioclasa reemplazado por illita y kaolinita.

Se localizó principalmente en las zonas de mayor relieve (Figura 22), rodeando a la kaolinita, se encuentra sola o en asociaciones minerales con la esmectita, halloysita, kaolinita, montmorillonita, cuarzo y calcita (Figura 19).

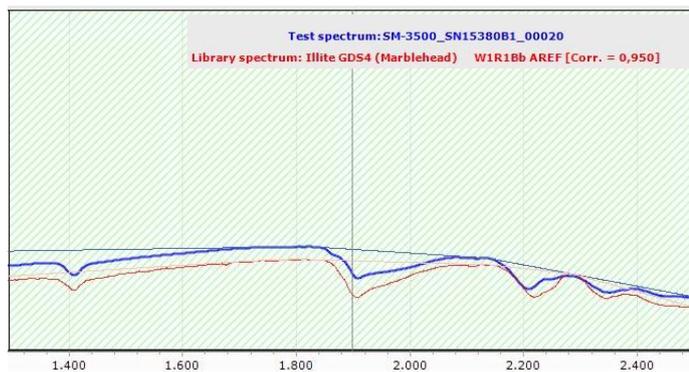


Figura 20. Espectro de Illita, muestra M18.

La illita no se encontró dentro de las obras antiguas usando el equipo SWIR (Figura 20), por lo que se supone que no tienen una

gran cercanía a vetas, pero si la hay en superficie asociándose con halloysita, montmorillonita y esmectita. Por otro lado, en el microscopio electrónico se encontró a la kaolinita e illita juntas (Figura 21).

La illita se forma en presencia de fluidos poco ácidos ricos en CO_2 con pH de 4-6 dependiendo la temperatura y salinidad, puede encontrarse cerca o lejos de la mineralización epidermal. Tiene temperaturas de estabilidad de 200 a 300°C. Superando los 300°C se produce moscovita, debajo de los 200°C se encuentran intercalaciones de illita/esmectita o solo la esmectita prevalece bajo estas condiciones (SPECMIN, 1996; Thompson y Thompson, 1998).

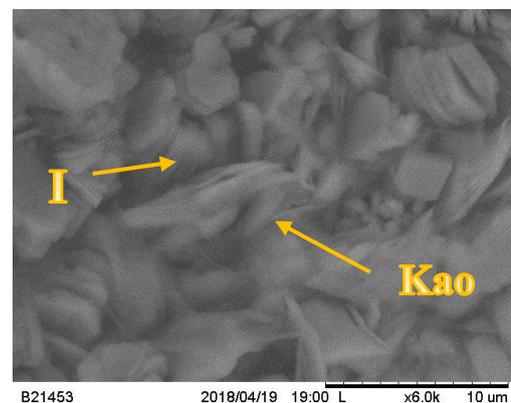
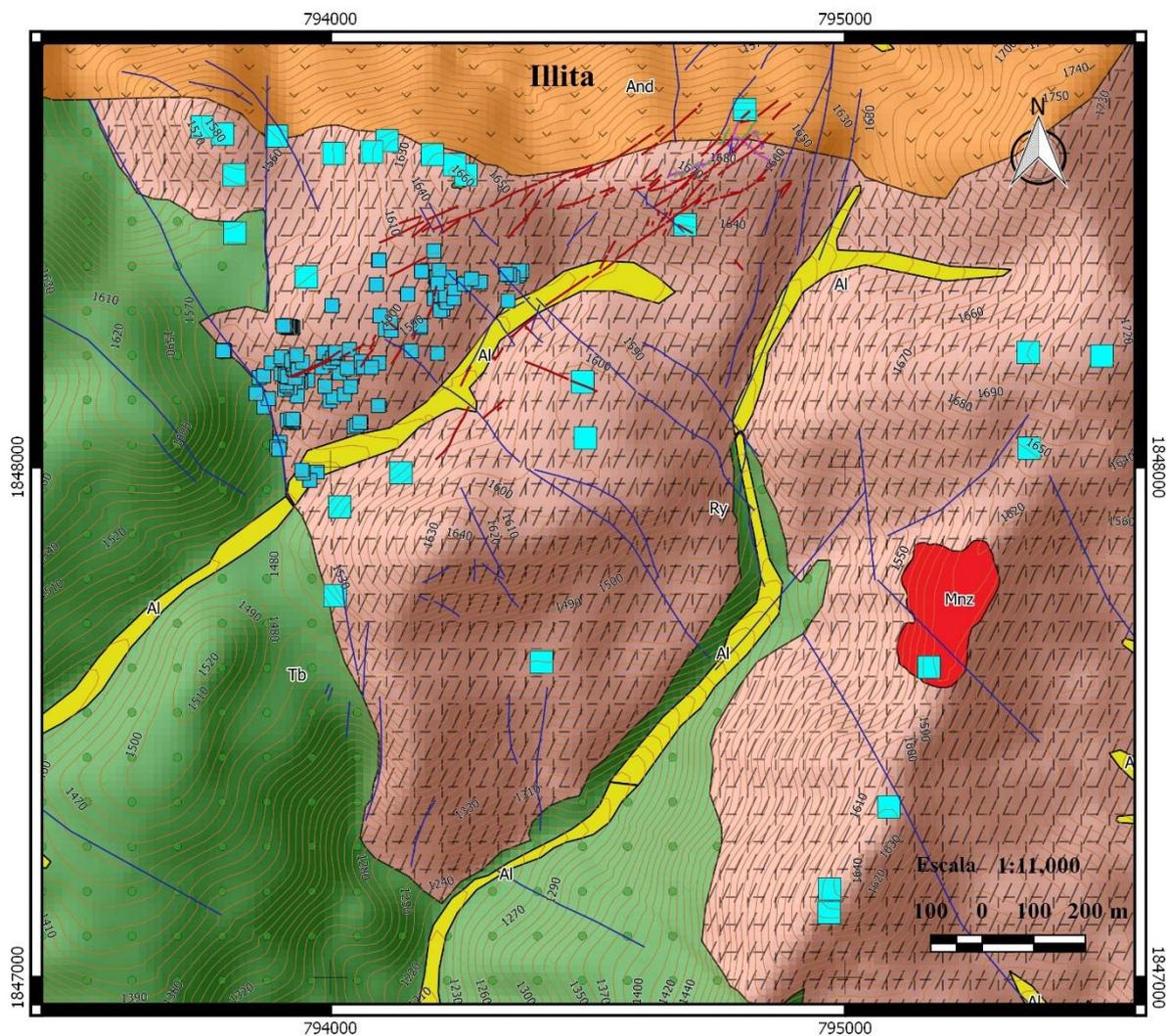


Figura 21. Cristales hexagonales de illitas (I) y kaolinita (Kao) en microscopio electrónico.



Leyenda	
Muestreo de Tesis	Litología
■ Illita	■ Aluvión [Al]
Muestreo GTR	■ Monzonita [Mnz]
■ Illita	■ Riolita [Ry]
Estructuras	■ Andesita [And]
— Vetas	■ Toba lítica de ceniza [Tb L]
— Fallas	

Figura 22. Mapa del proyecto Altavracia mostrando la distribución espacial de la illita de las muestras que se recolectaron en la presente tesis y el muestreo de la empresa GTR.

4.2.3 Grupo de la Esmectita

Esmectita $((0.5\text{Ca}, \text{Na})_{0.7} (\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_4 [(\text{Si}, \text{Al})_8 \text{O}_{20}] \text{OH}_4 n\text{H}_2\text{O})$

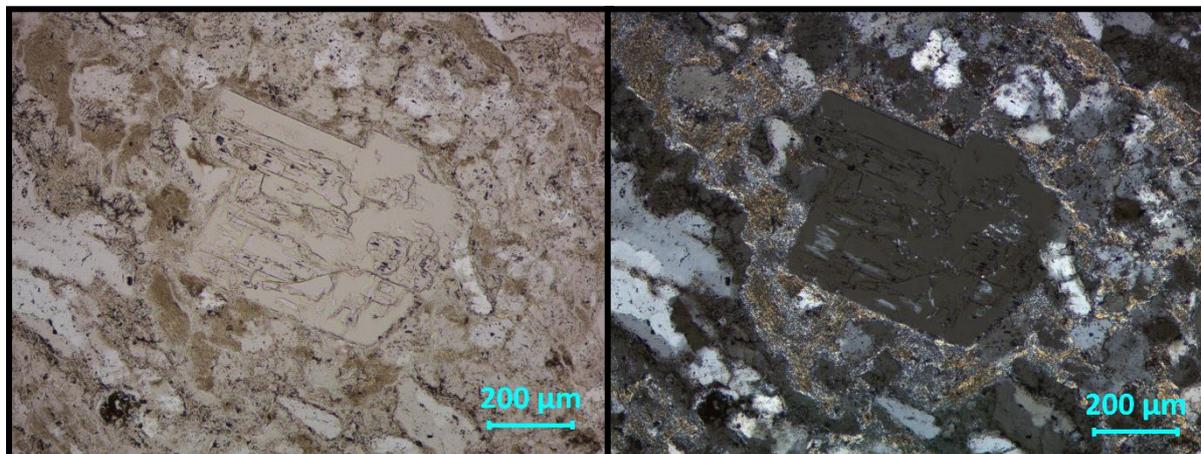


Figura 23. Pseudomorfo de feldespato, matriz reemplazada parcialmente de esmectita.

Asociación con calcedonia, clorita, cristobalita e illita/esmectita. La esmectita fue de los minerales poco abundantes, se asocian con la halloysita, kaolinita e illita, cuarzo y clorita. En esta área es común que la esmectita se encuentra con más frecuencia cerca de la kaolinita que de la illita, en cambio la montmorillonita es más dispersa, se llegó a encontrar cerca de fallas y límites litológicos (Figura 26).

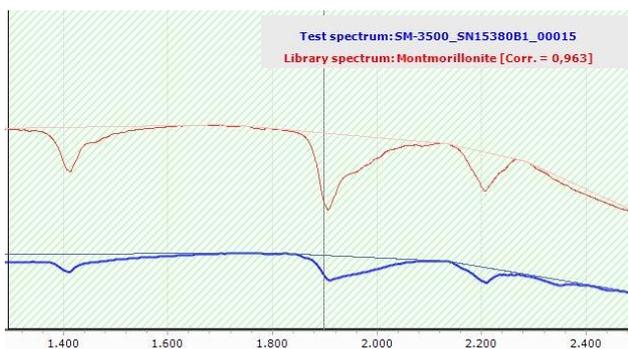


Figura 24. Espectro de la montmorillonita, muestra AGS034

El reemplazamiento de esmectita llega a ser de ámbito masivo, relleno de cavidades naturales de la roca junto con cuarzo (Figura 23). La esmectita no se encontró en ninguna obra antigua al identificarlo con el SWIR (Figura 24), en cambio con microscopio electrónico se encontró cerca de la kaolinita (Figura 25).

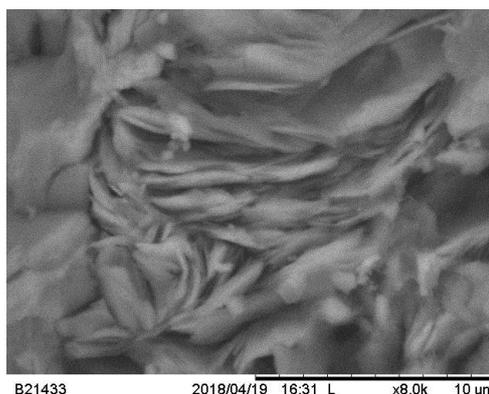
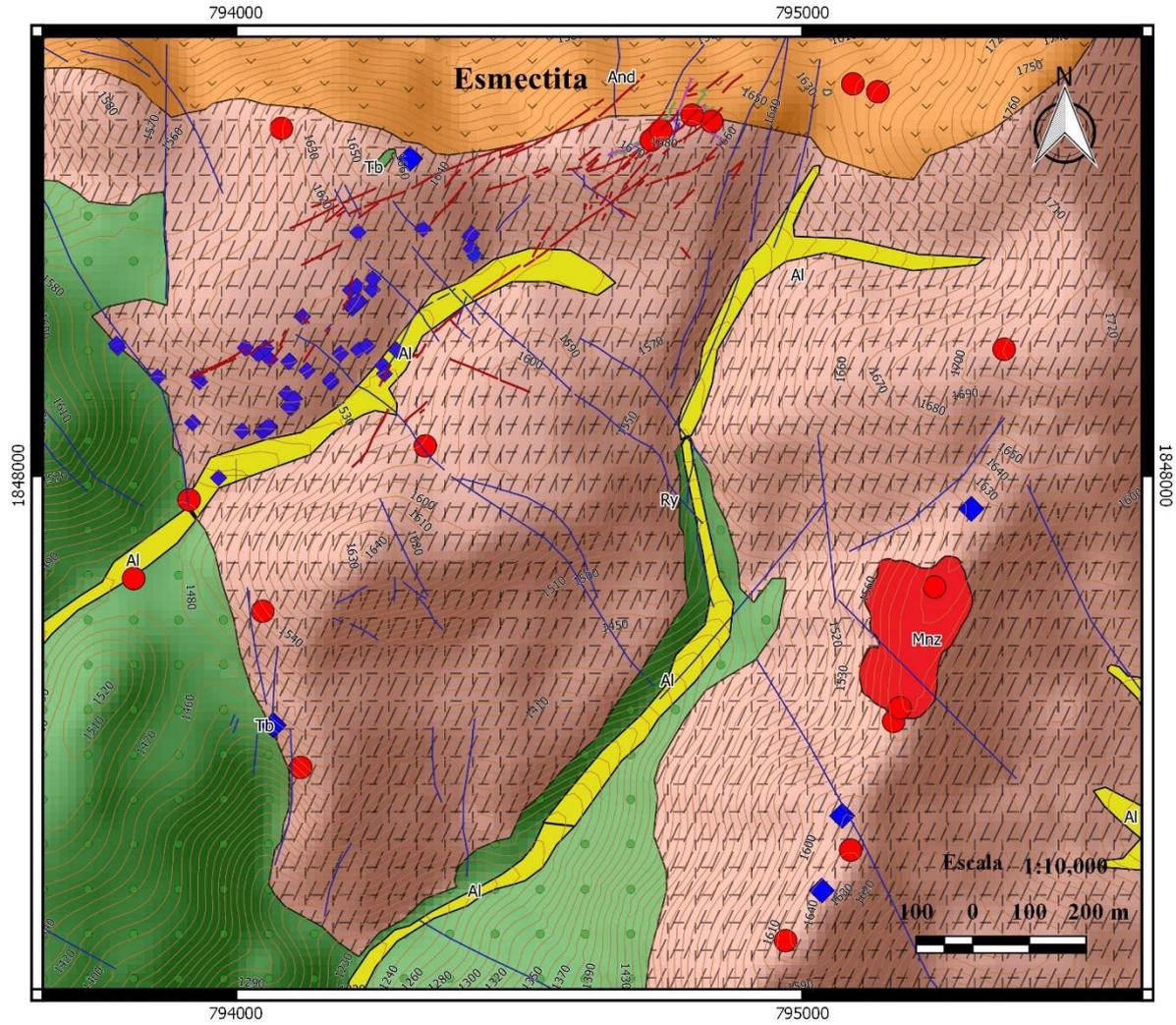


Figura 25. Esmectita laminar en microscopio electrónico.

El mineral más común en el grupo de la esmectita es la montmorillonita $((\text{Na}, \text{Ca})_{0.3} (\text{Al}, \text{Mg})_2 \text{Si}_4\text{O}_{10} (\text{OH})_2 n\text{H}_2\text{O})$ que al igual que la esmectita tiene los mismos minerales asociados.



Leyenda	
Muestreo de Tesis	— Vetas
◆ Esmectita	Litología
● Montmorillonita	■ Aluvión [Al]
Muestreo GTR	■ Monzonita [Mnz]
◆ Esmectita	▨ Riolita [Ry]
Estructuras	■ Andesita [And]
— Fallas	■ Toba litica de ceniza [Tb L]

Figura 26. Mapa del proyecto Altgracia mostrando la distribución espacial de esmectita y montmorillonita, los símbolos con mayor volumen pertenecen a la recolección del presente trabajo y los más pequeños, a las muestras recolectadas por la empresa GTR.

4.2.4 Grupo de la Clorita

Clorita $(\text{Mg, Fe})_3 (\text{Si, Al})_4 \text{O}_{10} (\text{Mg, Fe})_3 (\text{OH})_6$

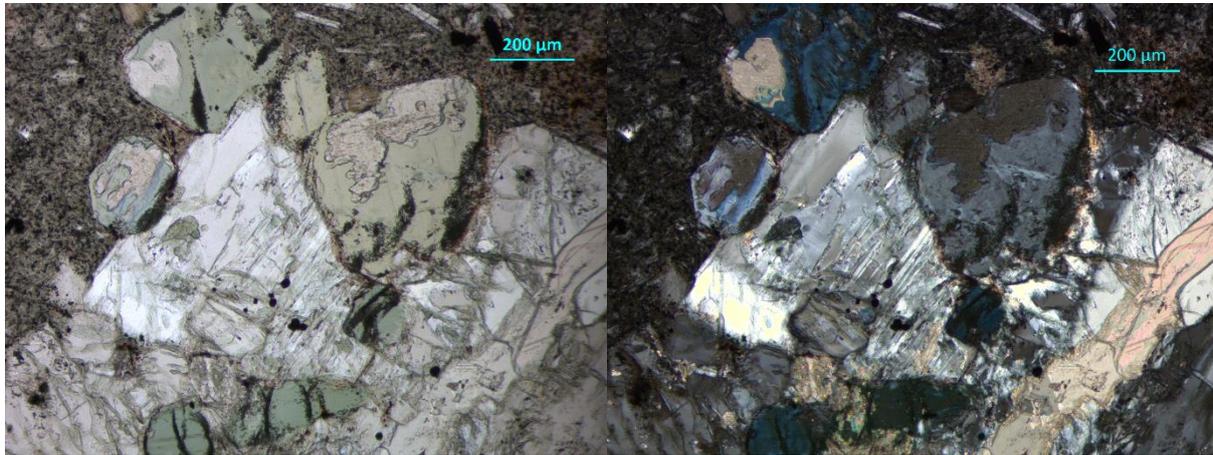
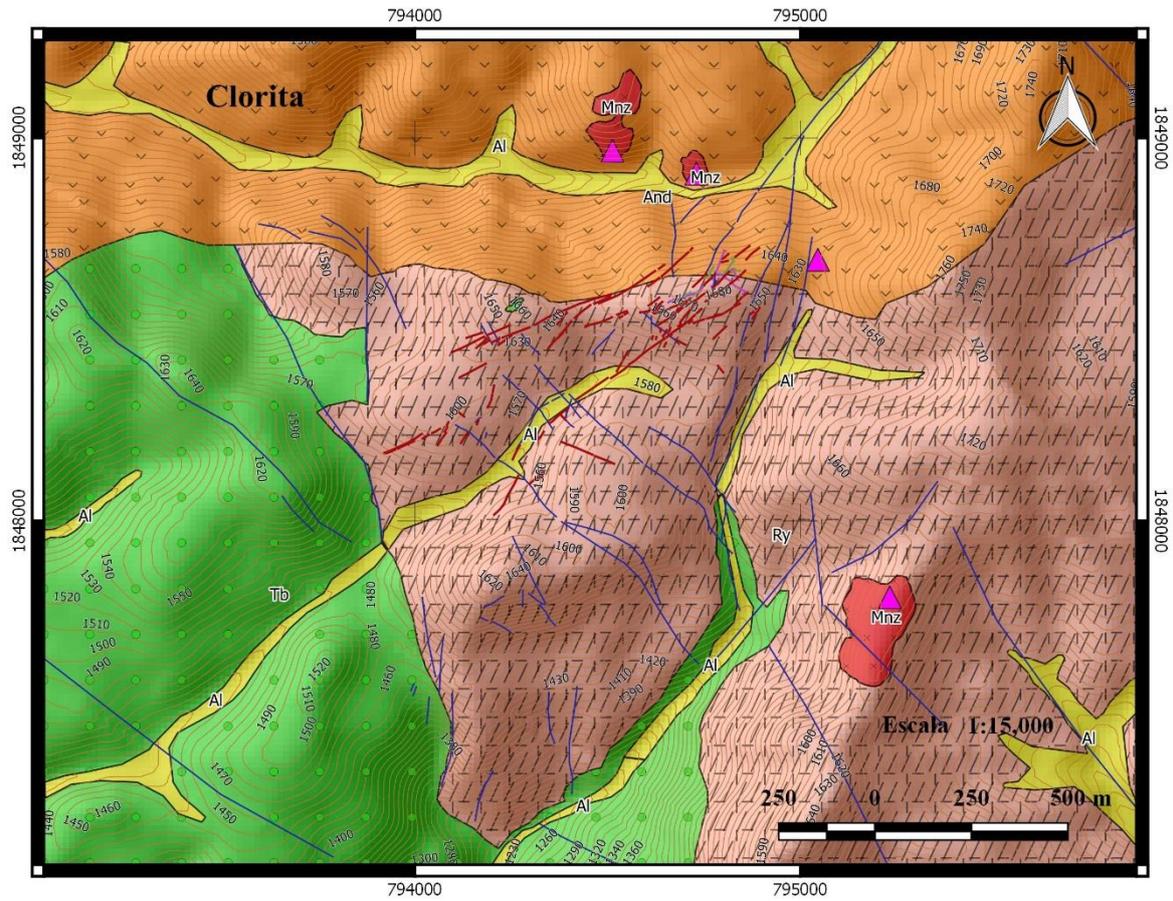


Figura 27. Clorita reemplazando parcialmente junto con la calcita a cristales de plagioclasa.

La clorita se encontró asociándose con epidota, cuarzo, kaolinita y calcita, alterando de forma selectiva las plagioclasas, algunos anfíboles y piroxenos parcialmente o en su totalidad (Figura 27). Las rocas que se alteraron con clorita fueron la andesita, monzonita y la toba lítica de lapilli. Solo en una zona con toba se identificó este tipo de minerales y alteración. Por otro lado, todos los diques monzoníticos tienen la misma alteración al igual que una andesita en barrenos.

Se observó que dicho mineral no se encuentra dentro de las obras mineras ni cerca de la zona central donde se encuentran las vetas principales. En la toba lítica en superficie que presenta ligera silicificación, ya que se encuentra cerca de la zona de vetas, en los diques no se observan dichas texturas ya que ni vetillas contiene, coexiste más con la sericita y calcita (Figura 28).



Leyenda	
Muestreo de Tesis	Litología
▲ Clorita	Aluvión [Al]
Estructuras	Monzonita [Mnz]
— Vetas	Riolita [Ry]
— Fallas	Andesita [And]
	Toba litica de ceniza [Tb L]

Figura 28. Mapa del proyecto Altagracia mostrando la distribución espacial de la clorita, recolectados en el presente trabajo.

4.1.5 Grupo de la Epidota

Epidota $\text{Ca}_2(\text{Al, Fe})\text{Al}_2\text{O}(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{OH})$

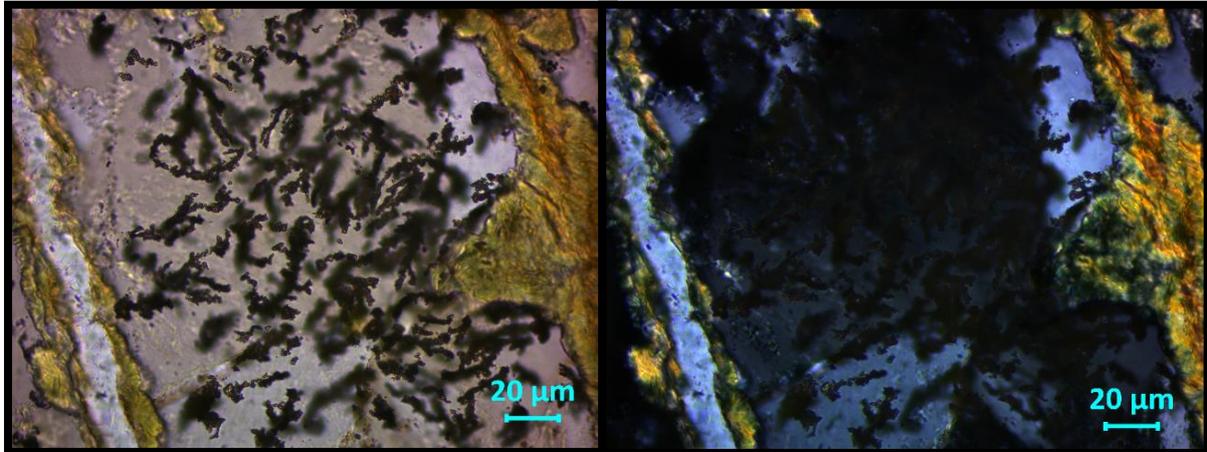


Figura 29. Epidota relleno de planos de cruceo y fracturas, intercrecimiento de ferromagnesianos en el interior.

Las principales asociaciones con minerales de alteración que se encontraron coexistiendo con la epidota fueron: clorita, cuarzo, calcita y ferromagnesianos. La epidota en la mayoría de los casos fue el evento final de la alteración. Se observaba reemplazando diversos anfíboles, en vetas e intercrecimientos dentro de las fracturas de los pseudomorfos previamente reemplazados por clorita y calcita (Figura 29).

La epidota se presenta a temperaturas por encima de los 230 °C, en la zona de alteración puede encontrarse proximal o distal a profundidad en depósitos epitermales.

4.1.6 Grupo de los Carbonatos

Calcita (CaCO_3)

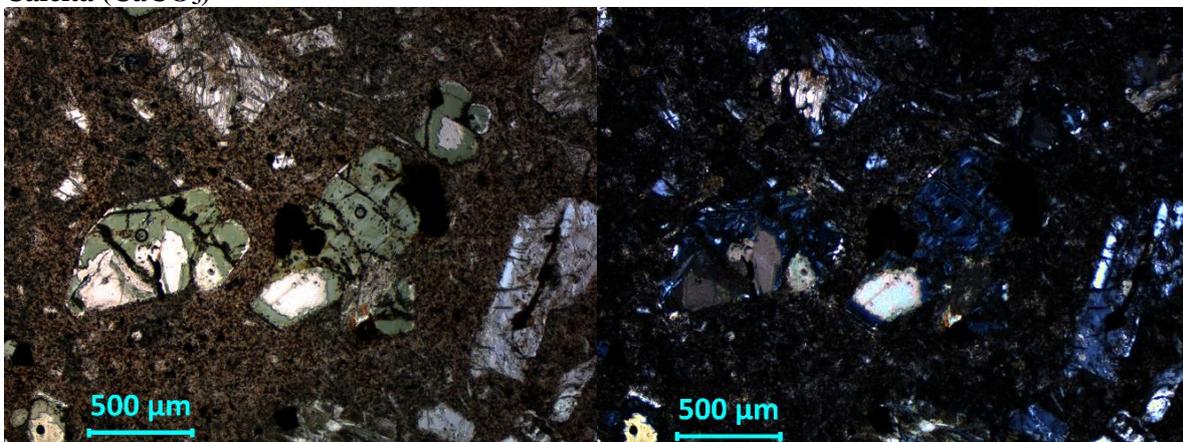


Figura 30. Calcita reemplazando los minerales totalmente junto con la clorita. Epidota relleno de fracturas e intercrecimiento dentro del mineral de hábito dendrítico.

Los principales minerales que se asocian con la calcita son; epidota, clorita, sericita y cuarzo. La calcita se encontró reemplazando minerales como feldespatos, anfíboles, piroxenos, vetillas y rellenando algunas cavidades. Se observó a la calcita reemplazando rocas de carácter intermedio a básicas, andesita, diorita, toba lítica de lapilli y los diques monzoníticos (Figura 30).

El factor ambiental para la formación de la calcita son las concentraciones acuosas de CO₂, ya que el rango de temperatura de la calcita es muy variable.

4.1.7 Cuarzo (SiO₂)

Cuarzo SiO₂

El cuarzo se asocia a la calcita, clorita, illita, pirita y sericita de acuerdo a los minerales presentes en las muestras analizadas por SWIR (Figura 31). Se encuentra en la mayoría de las rocas en forma de vetillas como cuarzo criptocristalino o cristalino, reemplazando la matriz de algunas rocas y cavidades con una textura de mosaicos.

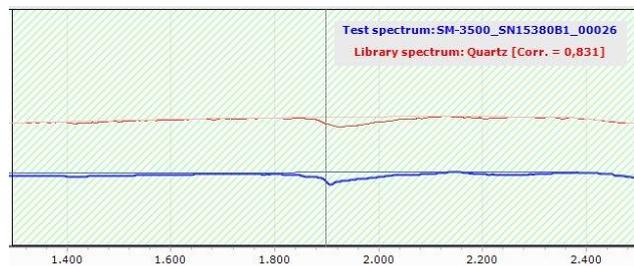


Figura 31. Espectro del cuarzo, muestras SJS 01

De acuerdo a la Figura 32, el ambiente de formación de dicha asociación mineral es con fluidos de carácter ácido, con temperaturas de 100° a 200°C.

5.1.2 Alteración argílica, asociación mineral 2: Illita + Esmectita ± kaolinita ± montmorillonita ± cuarzo ± calcita ± epidota.

Segunda asociación mineral que rodea la zona de vetas y a la asociación 1. En el área que abarca tiene una menor cantidad de vetas, las que tiene son vetas delgadas en superficie. En cuanto a la distribución de la segunda asociación mineral en obras mineras antiguas, se observa la ausencia dentro de ellas (Figura 18).

De acuerdo a la Figura 32, el ambiente de formación de esta asociación es de fluidos con un pH carácter ácido a neutro, y con un rango de temperatura de 100° a 300°C.

5.1.3 Alteración propilítica, asociación mineral 3: Clorita + Epidota + Calcita ± sericita.

Asociación más distal de la zona de vetas, la mayoría de las rocas que contienen este tipo de alteración son los diques monzoníticos y en menor cantidad las tobas y andesitas. Los diques monzoníticos son las principales rocas con este tipo de alteración y también las rocas más jóvenes de la sucesión volcánica. Los principales minerales que caracterizan a la asociación 3 son clorita, epidota y calcita. En obras antiguas no se encuentra esta asociación.

De acuerdo a la Figura 31, las condiciones ambientales de esta asociación están conformada por fluidos con pH neutro a alcalino y con un rango de temperatura mayor a 200°C.

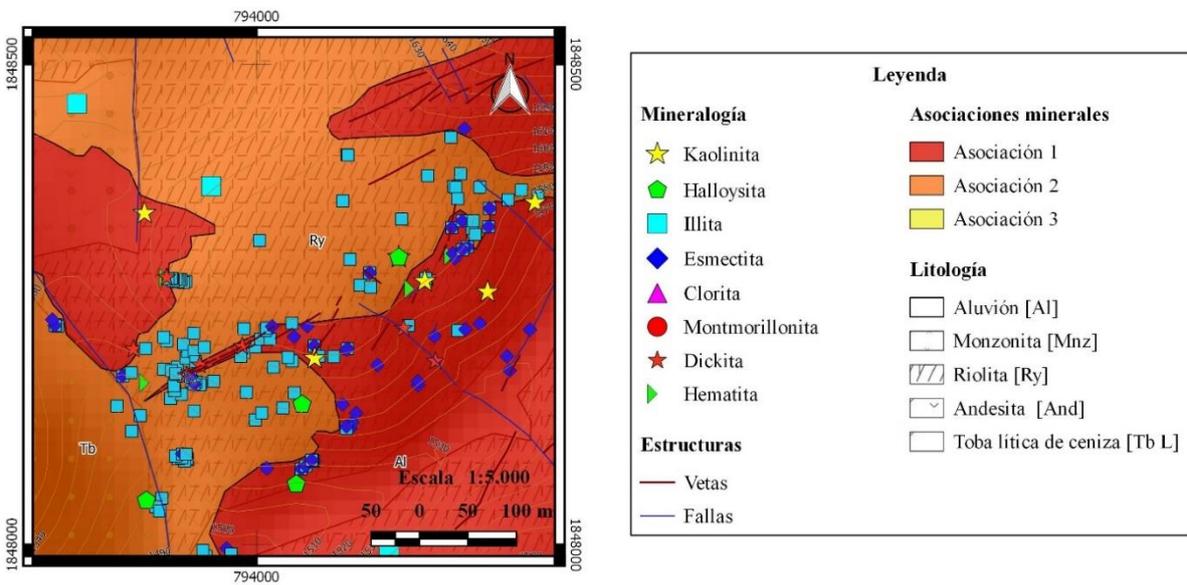
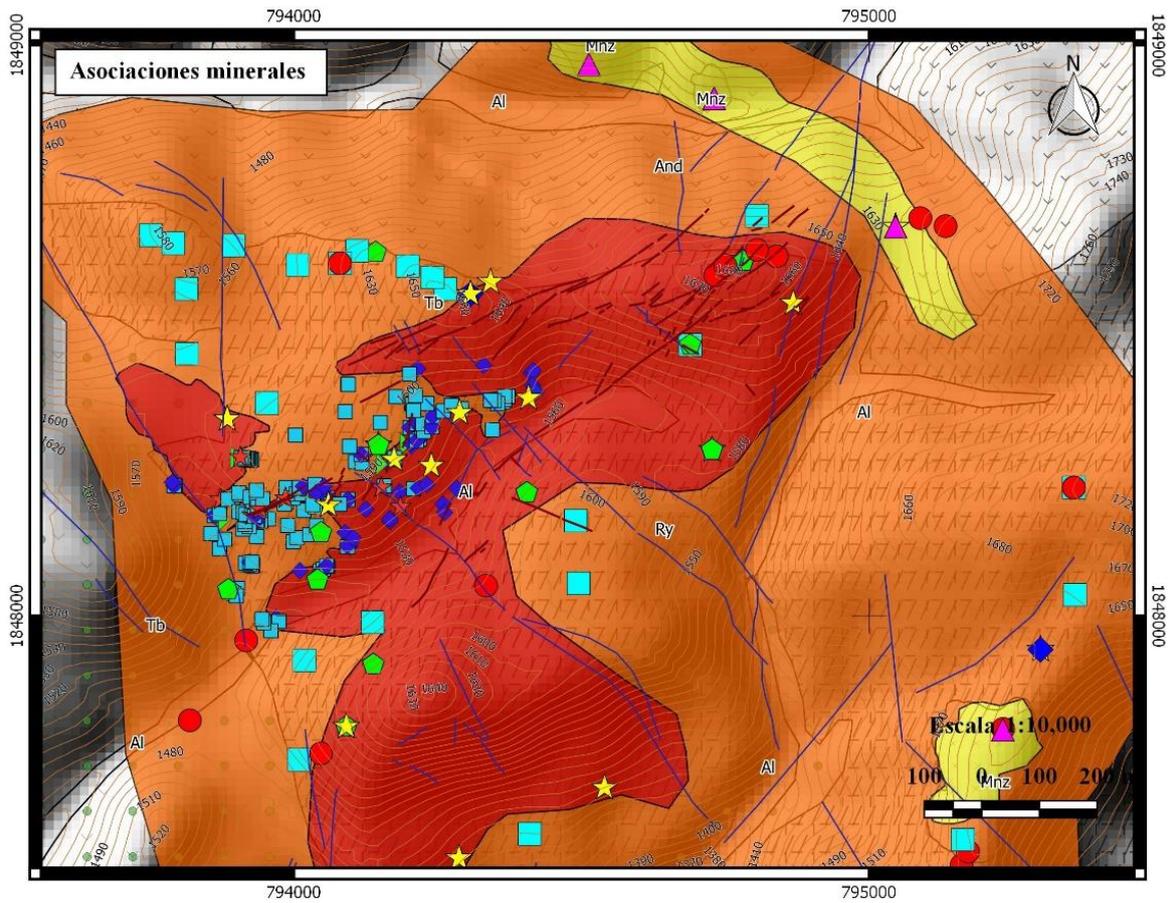


Figura 33. Mapa de la distribución espacial de las asociaciones minerales y los minerales de alteración.

La relación de la geología respecto a las 3 asociaciones minerales consta de lo siguiente:

-La asociación 1 se encuentra principalmente dentro de la litología riolítica, cerca de las fallas y en contacto discordante entre litologías como riolita-toba o riolita-andesita.

-La asociación 2 no la contiene alguna litología en específico, se observa en la Figura 32 la zona que altera y como su distribución se presenta alrededor de la asociación 1.

-La asociación 3, la zona más distal respecto a la zona con menor valor económico tiene relación con la litología más reciente de la sucesión que son los diques monzoníticos, en andesitas y ligeramente en toba y riolitas (Figura 28).

-Las vetas presentan una dirección preferencial de 20° a 35° NE-SW (Figura 4).

Al tener las diferentes asociaciones se obtuvieron algunas condiciones ambientales de las diferentes zonas. Se determinó el pH, la asociación kaolinita (A1) se caracteriza por tener el pH más ácido, un pH ácido-neutro en la asociación illita (A2) y pH básico la asociación más distal de la clorita (A3). Por otro lado, la temperatura disminuye en cuanto se aleja de la zona con vetas (Tabla 2).

Tabla 2. Asociaciones minerales en el distrito minero Altagracia

Asociación mineral	Minerales	Características	Temperatura °C	pH
A1	Kaolinita + montmorillonita ± esmectita ± sericita ± cuarzo ± illita.	Asociación más proximal con la zona mineralizada	100° a 250°	Ácido
A2	Illita + Esmectita ± kaolinita ± montmorillonita ± cuarzo ± calcita ± epidota.	Asociación que rodea la zona mineralizada y a A1	100° a 300°	Ácido a neutro
A3	Clorita + Epidota + Calcita ± sericita	Asociación más distal de la zona mineralizada.	>200°	Básicos

5.2 Clasificación

Tomando en cuenta la Tabla 1, se determina que los minerales clave de alteración proximal del proyecto Altagracia corresponden, en principio a un depósito epitermal de sulfuración baja. Sin embargo, la existencia de asociaciones de alteración de sulfuración alta sugiere un escenario más complejo.

Los tipos de alteración argílica avanzada en yacimientos epitermales son tres: hipogénico profundo, hipogénico somero y supergénico (Camprubí y Albinson, 2006). Cada uno de ellos tiene características específicas, de las cuales se mencionan las más destacables.

Supergénico (alteración supergénica a partir de sulfuros preexistentes)

- Formación por interacción con agua meteórica superficial.
- Minerales asociados: Kaolinita, alunita, halloysita y óxidos de Fe.

Hipogénico profundo (ambiente magmático-hidrotermal)

- Formación por reacción entre las rocas encajonantes y vapores o agua de origen magmático. ascendente, de alta temperatura, ácidos y oxidantes.
- Minerales de alteración asociados: Kaolinita, dickita, alunita, cristobalita, ópalo y pirofilita.

Hipogénico somero (ambiente de aguas calentadas por vapor)

- Formación por condensación de vapores ácidos (derivados de ebullición en profundidad) en mantos freáticos, y su reacción con las rocas encajonantes.
- Minerales de alteración asociados a la alteración argílica: Illita, esmectita, clorita, intercalación de arcillas, pirita, calcita, calcedonia.
- Minerales de alteración asociados a la alteración argílica avanzada: Ópalo, alunita, kaolinita, pirita y marcasita.

Por lo tanto, la mineralogía de las asociaciones de alteración argílica en Altagracia puede corresponder únicamente a orígenes hipogénicos. Ya que, la distribución espacial de las mineralizaciones y el carácter de baja sulfuración dominante en estas, sugieren que el origen de las alteraciones argílicas es hipogénico somero. De este modo, la presencia generalizada de alteraciones de este tipo a lo largo de las estructuras mineralizadas principales (Figura 33) presupone la existencia de ebullición de los fluidos hidrotermales durante la formación de los depósitos.

Si bien, la caracterización mineralógica y de inclusiones fluidas en detalle de estas mineralizaciones no arrojó evidencias convincentes de la existencia de ebullición (Cabrera, 2019). En el presente estudio, mediante las asociaciones minerales, se establece un criterio indirecto para argumentar dicho proceso. Los criterios mineralógicos principales que evidencian la ebullición son: la presencia de calcita hojosa, presencia de adularia, presencia de truscottita y presencia de sílice amorfa o calcedonia (Camprubí y Albinson, 2006). De acuerdo con lo anterior, no hallándose evidencia de ebullición en la porción que se estudió de las estructuras mineralizadas, es posible que el nivel de ebullición se encuentre a mayor profundidad.

El proceso eficiente para la generación de mineralización metálica debe ser consistente en cuanto a un alto potencial de la ebullición. Las evidencias de dicho proceso, aun cuando sean indirectas, en este caso, asociaciones minerales, entrañan un alto interés de índole económica. Con la presencia de las asociaciones minerales descritas arriba, por tanto, aumenta el potencial para la exploración minera a nivel local.

Conclusiones

- La asociación más importante en cuanto a la proximidad con las vetas es la alteración **argílica avanzada**, conformada por, **Kaolinita + montmorillonita** ± esmectita ± sericita ± cuarzo ± illita. De acuerdo con la asociación, la temperatura es de 100°-250°C y con un pH ácido.
- La asociación que rodea la alteración anterior es la **alteración argílica**, conformada por, **Illita + esmectita** ± kaolinita ± montmorillonita ± cuarzo ± calcita ± epidota. De acuerdo con la asociación, la temperatura aproximada es de 100° a 300°C con un pH ácido a neutro.
- La asociación más distal de las vetas es la **alteración propilítica**, conformada por, **Clorita + Epidota + Calcita** ± sericita. De acuerdo con la asociación, la temperatura relativa es mayor a 200°C y con un pH básico.
- Las asociaciones de alteración y su distribución son características de yacimientos epitermales de sulfuración baja a intermedia, con la superposición de asociaciones de alteración argílica y argílica avanzada producidas en ambientes de aguas freáticas calentadas por vapor.
- Lo anterior sugiere existencia de ebullición en profundidad, que puede vincularse a la existencia de mineralización todavía fuera del alcance de la exploración minera.

Recomendaciones

- ❖ Realizar un programa de muestreo sistemático, haciendo una malla de la zona a gran escala, y de acuerdo a los resultados, realizar una malla más detallada de las zonas con mayor interés tomando en cuenta los minerales que se mencionan previamente en la guía.
- ❖ Caracterización rápida e identificación de arcillas en barrenos en especial los de alteración argílica de las dos asociaciones principales, kaolinita e illita.
- ❖ Tener cuidado con los diferentes espectros de los minerales en especial cuando son del mismo grupo mineral ya que las firmas son muy parecidas y se pueden llegar a confundir.
- ❖ Hacer una caracterización estructural y estratigráfica temporal del área en que se trabaje, para un mayor entendimiento y rápida localización de las estructuras con mayor valor económico.
- ❖ Realizar una exploración a profundidad para buscar indicios sobre una posible mineralización de tipo sulfuración intermedia.

Bibliografía

- Alaniz-Álvarez, S. A., Nieto-Samaniego, A. F., Ortega-Gutiérrez, F., (1994). Structural evolution of the Sierra de Juárez mylonitic complex, State of México; *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, Vol.11, No 2, p. 147-156.
- Ángeles-Moreno, E. (2006). Petrografía, geología estructural y geocronología del borde noroccidental del terreno Cuicateco, Sierra Mazateca, Estado de Oaxaca, México: México DF, Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado en Ciencias de la Tierra.
- Blair, T. C., (1988), Mixed Siliciclastic-Carbonate Marine and continental syn-rift sedimentation, upper Jurassic-Lowermost Cretaceous Todos Santos and San Ricardo Formations, Western Chiapas, Mexico. *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol.58, No. 4, p. 623-636.
- Cabrera R. M. A., (2019), *Caracterización mineralógica e Inclusiones Fluidas del Proyecto "El Águila", Distrito Tlacolula, Oaxaca*. Universidad Nacional Autónoma de México, tesis de maestría.
- Campa, M. F., Coney, P., (1983), Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico: *Canadian Journal of Earth Science*, 20, 1040-1051.
- Camprubí C. A. y Albinson D. T. (2006). Depósitos epitermales en México: actualización de su conocimiento y reclasificación empírica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo LVIII, (1)*, 27-81.
- Carfentan, J. Ch., (1984), Evolución estructural del sureste de México: Paleogeografía e historia tectónica de las zonas internas mesozoicas: *Revista del Instituto de Geología*, Universidad Nacional Autónoma de México, 5, 207-216.
- De Senna, J. A., de Souza Filho, C. R., y Angélica, R. S. (2008). Characterization of clays used in the ceramic manufacturing industry by reflectance spectroscopy: An experiment in the São Simão ball-clay deposit, Brazil. *Applied Clay Science*, 41(1), 85-98.
- Delgado-Argote, L. A., (1988), Geología preliminary de la secuencia volcanosedimentaria y serpentinitas asociadas del Jurásico (?) del área de Ciucatlán-Concepción Pápalo, Oaxaca: *Revista del Instituto de Geología*, 7 (22), 127-135.
- Delvigne J. E., (1998). *Atlas of Micromorphology of Mineral Alteration and Weathering*. Ottawa, Canada, Mineralogical Association of Canada and ORSTOM.
- Einaudi, M. T., Hedenquist, J. W., y Inan, E. E. (2003). Sulfidation state of fluids in active and extinct hydrothermal systems: Transitions from porphyry to epithermal environments. *Special Publication-Society of Economic Geologists*, 10, 285-314.

- Ferrusquía -Villafranca (2001). Contribución al conocimiento geológico del estado de Oaxaca, México-El área de Nejapa de Madero. *Instituto de Geología, UNAM, Boletín 111*.
- Ferrusquía-Villafranca, I. (1975). Mamíferos Micénicos de México: Contribución al conocimiento de la paleozoografía del continente. *Rev. Inst. Geol. UNAM, 1*, 12-18.
- Gifkins C., Herrmann W., Large R., 2005, *Altered Volcanic Rocks, A guide to description and interpretation*, Hobart, Tasmania, Australia, CODES.
- González-Alvarado, I. (1970). Estudio geológico del área Chilapa-Tlaxiaco. *PEMEX, unpublished report: PEMEX-IG-ZS-548*.
- Hedenquist J. W., Arribas A., Gonzalez-Urien E. (2000). *Exploration for Epithermal Gold Deposits*. Reviews in Economic Geology. 13. 245-277.
- Henley, R. W., y Ellis, A. J. (1983). Geothermal systems ancient and modern: a geochemical review. *Earth-science reviews, 19(1)*, 1-50.
- Iriondo, E., Kunk, M. J., Winick, J. A., & Minerales, C. D. R. (2004). $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating studies of minerals and rocks in various areas. In *in Mexico: USGS/CRM Scientific Collaboration (Part II): United States Geological Survey, Open-File Report 04-1444*.
- Martínez -Serrano R. G., Solís-Pichardo G., Flores-Márquez E. L., Macías-Romo C., Delgado-Durán J. (2008), Geochemical and Sr-Nd isotopic characterization of the Miocene volcanic and southeastern Oaxaca, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v.25 (1)*, 1-20.
- Michaud F., Fourcade E., (1989), Stratigraphie et paléogéographie du Jurassique et du Crétacé de Chiapas (Sud-Est du Mexique). *Bull. Soc. Géol. France No.3* p.639-650.
- Moran-Zenteno D. J. et. al, (2000), Geocronología y características geoquímicas de las rocas magmáticas terciarias de la Sierra Madre del Sur. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, v.LIII, 27-58*.
- Morán Zenteno D. J., Cerca M., y Duncan K. J. (2005). La evolución tectónica del suroeste de México: avances y problemas de interpretación. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Tomo LVII (3)*, 319-341.
- Murillo-Muñeton, G., Navarrete Rivera, O., (1992). Integración petrológica-geocronológica del basamento ígneo-metamórfico del Istmo de Tehuantepec. *Instituto Mexicano del Petróleo, proyecto CAO-2024 Tomo I*.
- Murillo-Muñeton, G., (1994), Petrologic and geochronologic study of Grenville-age granulites and post-granulite plutons from Mixtequita area, state of Oaxaca in Southern Mexico, and their tectonic significance. Los Angeles, CA. University of South of California, master sciences thesis, 163p.

- Ortega-González, J. V., & Lambarria-Silva, C. (1991). Informe geológico del prospecto Hoja Oaxaca, compilación geológica IGRS 1129: Petróleos Mexicanos (PEMEX). *Coordinación Divisional de Exploración, Gerencia de Exploración Región Sur, Subgerencia de Geología superficial y Geoquímica, Reporte inédito.*
- Ortega-Gutiérrez, F y González-Arreola C., (1985), Una edad cretácica de las rocas deformadas de la Sierra de Juárez, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 6 (37), 100-101.
- Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L., Roldán-Quintana J, Sánchez-Rubio, G., de la Fuente M., (1990), H-3: Middle America, Trench-Oaxaca-Gulf of México: *Geological Society of America*, Centennial Continent-Ocean Transect #14.
- Pérez-Gutiérrez, R., Solari L. A., Gómez T. A., y Valencia V. A. (2009). El terreno Cuicateco: ¿cuenca oceánica con influencia de subducción del Cretácico Superior en el sur de México? Nuevos datos estructurales, geoquímicos y geocronológicos. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 26(1), 222-242.
- Pérez-Gutiérrez, R. (2010), *Geología del terreno Cuicateco en el Istmo de Tehuantepec y sus implicaciones tectónicas en la evolución del sur de México*. México D.F., Posgrado de Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, tesis de doctorado, 106 p.
- Pirajno F., (2009), *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*. Perth, Australia, Springer.
- Poliquin M. J., (2009), *Geology, geochemistry and age of intrusion-related mineralization in Eastern Mexico*. University of Exeter, tesis de doctorado.
- Sapper, K., (1894). Informe sobre la geografía física y la geología de los Estados de Chiapas y Tabasco: México: *Agricultura, Minería e Industria*, Boletín 3 (9), 187-211.
- Sedlock, R. L., Ortega-Gutiérrez, F., y Speed, R. C., (1993), Tectonostratigraphic Terranes and Tectonic Evolution of Mexico, *Geological Society of America*, Special paper, 278.
- Silberman, M. L. (1985). Geochronology of hydrothermal alteration and mineralization: Tertiary epithermal precious-metal deposits in the Great Basin. *US Geological Survey Bulletin*, 1646, 55-70.
- Sillitoe, R. H. (1977). Metallic mineralization affiliated to subaerial volcanism: a review. *Geological Society, London, Special Publications*, 7(1), 99-116.
- Simmons, S. F., White, N. C., y John, D. A. (2005). Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits. *Economic Geology*, 100, 485-522.
- Solari, L. A., Keppie, J. D., Ortega-Gutierrez, F., Cameron, K. L. Lopez, R., (2004), ~990 Ma peak granulitic metamorphism and amalgamation of Oaxaquia, México: U-Pb zircon geochronological and common Pb isotopic data. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 21 (2), 212-215.

SPECMIN, 1996, Swir spectral mineral identification system and spectral library. Versión 2.1

Thompson, A. J. B., y Thompson, J. F. H. (1998). Atlas of alteration: A field guide to hydrothermal alteration minerals. *Alpine, Vancouver, 119*.

White, N.C., Hedenquist, J.W., (1990), Epithermal environments and styles of mineralization: variations and their causes, and guidelines for exploration, in Hedenquist, J.W., White, N.C., Siddeley, G. (eds.), Epithermal Gold Mineralization of the Circum-Pacific: Geology, Geochemistry, Origin and Exploration, II: *Journal of Geochemical Exploration, 36*, 445-474.

ANEXO 1 Espectros SWIR

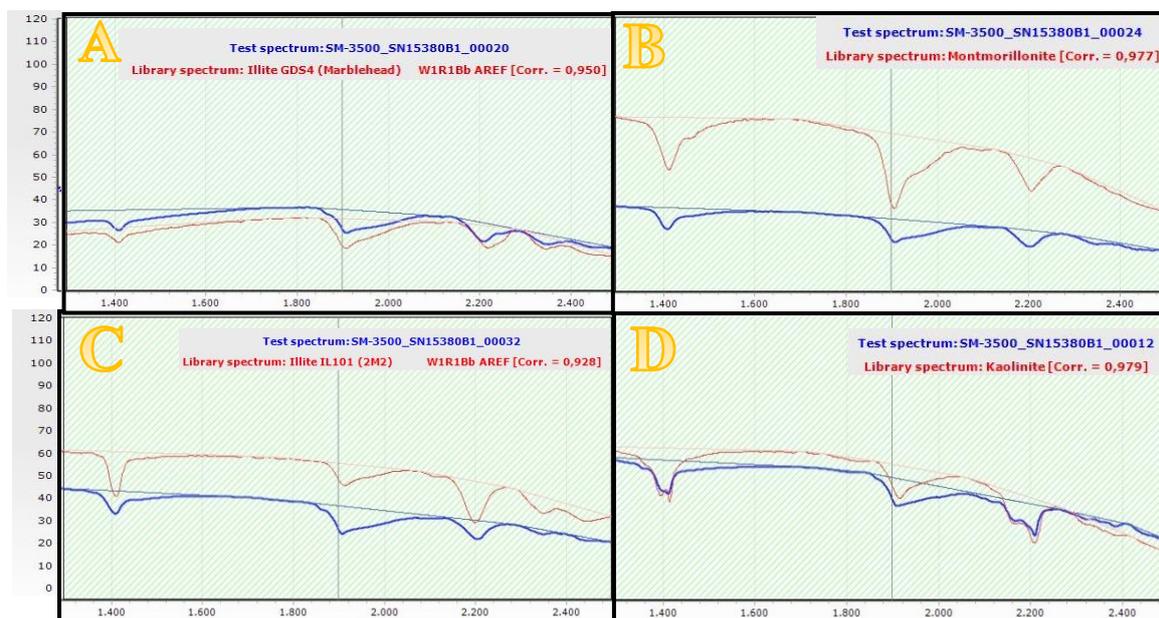


Figura 34. Espectros de muestras recolectadas en el presente trabajo. A) Espectro de Illita, B) Espectro de Montmorillonita, C) Espectro de Illita-Esmectita, D) Espectro de Kaolinita.

Tabla 3. Relación de muestras de afloramientos, obras antiguas y barreos, con los minerales de alteración.

Muestras de afloramientos					
Muestra	Alteración		Muestra	Alteración	
AGS001	Illita		AGS020-1	Kaolinita	
AGS002	Illita		AGS021	Kaolinita	Esmectita
AGS003	Illita		AGS022	Kaolinita	Esmectita
AGS004	Halloysita		AGS023	Illita	
AGS005	Montmorillonita		AGS024	Kaolinita	
AGS006	Halloysita		AGS025	Kaolinita	Clorita
AGS007	Illita		AGS026	Montmorillonita	
AGS008	Illita		AGS027	Illita	
AGS009	Montmorillonita		AGS028	Illita	Montmorillonita
AGS010	Illita		AGS029	Esmectita	
AGS011	Halloysita	Illita	AGS030	Illita	
AGS012	Kaolinita	Halloysita	AGS031	Illita	Montmorillonita
AGS013	Halloysita		AGS032	Illita	Montmorillonita
AGS014	Kaolinita	Halloysita	AGS033	Kaolinita/Esmectita	

AGS015	Kaolinita		AGS034	Montmorillonita	
AGS016	Illita	Halloysita	AGS035	Illita	
AGS017	Halloysita	Montmorillonita	AGS036	Kaolinita/Esmectita	
AGS018	Illita		AGS037	Kaolinita	
AGS019	Kaolinita		M18	Illita/Esmectita	
AGS020	Kaolinita		M17	Illita/Esmectita	

Muestras de Obras antiguas					
Muestra	Alteración		Muestra	Alteración	
SJS001	Illita	Qz (chert)	ESS003	Montmorillonita	
SJS002	Halloysita		ESS004	Montmorillonita	
SJS003	Montmorillonita	Kaolinita	HS001	Montmorillonita	
SJS004	Kaolinita		HS002	Oligoclasa	
SJS005	Halloysita		HS003	Halloysita	Montmorillonita
ESS001	Kaolinita		HS004	Halloysita	
ESS002	Halloysita		HS005	Kaolinita	

Muestras de Barrenos			
Muestra	Alteración	Muestra	Alteración
PAG099	Illita	PAG155	Kaolinita
PAG144	NO		

ANEXO 2 Descripción de muestras de mano

HS001 Diorita de plagioclasa



Roca ígnea, con textura porfídica, mesocrática, con matriz de grano fino color Rosa [5R 7/4], con fenocristales de grano medio, euedrales a subedrales, tabulares totalmente reemplazados por arcillas. Las fracturas presentan halos de oxidación probablemente óxidos de hierro y con presencia de arcillas. Algunos fenocristales reemplazados presentan un halo de alteración de arcillas.

Minerales:

Matriz 46% + Plagioclasa 35 % + Piroxenos y Anfíboles 15% + Cuarzo (Qz) 4%.

Fenocristales de plagioclasas euedrales de grano medio a fino, con halos de alteración de montmorillonita. De un color blanco a verde pastel.

Piroxenos y anfíboles euedrales, de grano fino a medio, tabulares y prismáticos, alterados por arcillas de un color blanco.

Cuarzo, euedrales de grano fino.

Alteraciones:

Argílica: Intensidad - fuerte, reemplazamiento selectivo de plagioclasa (plg) y piroxenos por montmorillonita creando un ligero halo de alteración alrededor de estos. Las fracturas también contienen pequeñas cantidades de arcilla.

Oxidación: Intensidad – muy débil, masiva creando un halo de alteración de las fracturas.

HS002 Diorita



Roca ígnea con textura porfídica, melanocrática, color marrón, matriz de grano fino, con fenocristales euedrales y subedrales en su mayoría, de grano medio, roca extremadamente oxidada. Levemente fracturada, fracturas con arcillas y óxidos.

Minerales:

Matriz 61% + Plg 30 % + Piroxeno y
Anfíboles 7% + Qz 2%

Plagioclasa euedral a subedral de color marrón, un poco más claro que la matriz, alterada por arcillas y óxidos

Piroxenos y anfíboles, fenocristales tabulares de grano medio color marrón.

Cuarzo, euedral de grano fino a medio.

Alteraciones:

Argilización: Intensidad- muy débil, arcilla montmorillonita, selectiva en cristales de plagioclasa y en el relleno de fracturas.

Silicificación: Intensidad-débil, pervasiva tanto en la matriz como en los cristales.

Oxidación: Intensidad-fuerte, óxidos de hierro alterando pervasiva, masiva la roca.

HS003 Diorita



Roca ígnea, textura porfídica con matriz de grano fino color rosa [5R 7/4], mesocrática, matriz moderadamente oxidada. Contenido de fenocristales y microfenocristales de plagioclasa y piroxenos reemplazados totalmente por arcillas. Los minerales reemplazados presentan halos.

Minerales:

Matriz 75% + Plagioclasa 20% + Piroxenos 3% + Cuarzo 2%

Plagioclasa, fenocristales euedrales a subedrales, alterados por arcillas de color blanco con ligeros

tintes verdes.

Piroxenos, fenocristales euedrales a subedrales reemplazados por arcillas.

Cuarzo, euedral, de grano fino.

Alteración:

Argilización: Intensidad- moderada, selectiva reemplazando parcial y totalmente a plagioclasas y piroxenos por minerales como halloysita y montmorillonita.

HS004 Diorita



Roca ígnea, con textura porfídica, leucocrática, matriz muy fina, color gris [5R 8/2], con fenocristales y fenocristales de pseudomorfos de plagioclasa reemplazados por arcillas, con microfenocristales de cuarzo, presenta vetillas muy delgadas de cuarzo con óxidos < 1mm.

Minerales:

Matriz 78% + Plagioclasa 20 % + Cuarzo 2%

Plagioclasa, fenocristales color blanco, hasta de 1 cm de longitud, pseudomorfos alterados por arcillas.

Cuarzo, eudral de grano fino.

Alteración:

Argilización: Intensidad- moderada, selectiva en los fenocristales de plagioclasa de color blanco alterados por halloysita.

Silicificación: Intensidad- fuerte, selectiva principalmente en la matriz y ligeramente en los fenocristales de plagioclasa.

Oxidación: Intensidad- débil, en la parte intemperizada de la roca.

HS005 Diorita



Roca ígnea, con textura porfídica, mesocrática, matriz de grano fino color vino [5R 2/6], con fenocristales de pseudomorfos blancos de plagioclasas reemplazadas por arcillas, no presenta vetillas. Extremadamente deleznable con agua, fracturas rellenas de arcillas, interconectada en los cristales.

Minerales:

Matriz 63% + Plagioclasa 35% + Cuarzo 2%

Plagioclasa, fenocristales de pseudomorfos de plagioclasa reemplazados totalmente por arcillas.

Cuarzo, eudral de grano fino.

Alteración:

Argilización: Intensidad – muy fuerte, pervasiva masiva, alterando toda la roca por kaolinita principalmente.

ESS001 Riolita



Roca ígnea, leucocrática, presenta textura fluidal, intercalación de franjas silicificadas y argilizadas. Matriz color beige de grano fino, con oxidación moderada, presenta fenocristales de cuarzo < 2mm. Contiene vetillas de cuarzo que cortan la textura casi perpendicularmente.

Minerales:

Matriz 60% + Cuarzo 30% + Plagioclasas 10%

Plagioclasa, fenocristales euedrales a subedrales, cavidades rellenas y reemplazadas por arcilla.

Cuarzos, fenocristales euedrales a subedrales de grano

fino.

Alteración:

Argilización: Intensidad – débil a moderada, selectiva con los cristales de plagioclasa y bandas en la matriz, reemplazando por kaolinita.

Silicificación: Intensidad-moderada, selectiva ya que presenta bandeamiento intercalado con la caolinita. Ligeras vetillas de cuarzo, evento posterior a la argilización, oxidación y silicificación de la roca.

Oxidación: Intensidad- débil a moderada, presente alrededor de los pseudomorfos de la plagioclasa.

ESS002 Diorita



Roca ígnea, textura afanítica, leucocrática con fenocristales de cuarzo y algunos pseudomorfos de plagioclasa rellenos de sílice y arcilla, matriz de grano medio color rosa pastel [5YR 5/2], débilmente oxidada, contiene cristales y parte de matriz color verde [10YR 8/6]. Presenta vetillas de cuarzo < 3mm.

Minerales:

Matriz 72%+ Plagioclasa 20% + Cuarzo 7% +
Minerales opacos <1%

Plagioclasa, grano fino, euedrales a subedrales, reemplazada parcialmente por arcillas color blanco y

verde pastel.

Cuarzo, euedral de grano fino.

Minerales opacos, pirita diseminada por toda la matriz.

Alteración:

Argílica: Intensidad – moderada, pervasiva alterando matriz y cristales a halloysita.

Silicificación: Intensidad - moderada, pervasiva, masiva en la roca en general, presenta vetillas.

Oxidación: Intensidad – débil, masiva, se presenta cerca de las fracturas.

ESS003 Riolita



Roca fuertemente silicificada, leucocrática y levemente oxidada entre las vetillas de cuarzo criptocristalino. Pseudomorfos de plagioclasa reemplazados totalmente por montmorillonita, de 1 mm de longitud, contiene ojos de cuarzo de hasta 2 mm de diámetro.

Minerales:

Matriz 85% + Cuarzo 10% +Plagioclasa 5%

Alteración:

Argílica: Intensidad-moderada, masiva, reemplazamiento por montmorillonita.

Silicificación: Intensidad- muy fuerte, presencia de vetilla en toda la roca.

Oxidación: Intensidad- moderada, presente en las fracturas y cerca de las vetillas.

ESS004 Riolita



Roca ígnea, leucocrática, textura fanerítica y fluidal, de grano fino, matriz color verde claro [5Y 7/2], en las fracturas se observa oxidación. El bandeamiento de textura fluidal se compone principalmente por cuarzo y feldespatos.

Minerales:

Matriz 65 % + Feldespatos 20% + Cuarzo 15%

Feldespatos, pseudomorfo de grano fino a medio, euedrales a subedrales en su mayoría, reemplazados parcial y totalmente por arcillas.

Cuarzo, subedral de grano fino.

Alteración:

Argílica: Intensidad - fuerte, pervasiva, masiva, reemplazando a la roca por montmorillonita.

Silicificación: Intensidad – débil, masiva en toda la roca.

SJS001 Riolita



Roca ígnea, textura fanerítica, leucocrática, con fenocristales muy alterados por arcillas, matriz blanca con pirita diseminada, con vetillas de cuarzo < 5mm. Extremadamente fracturada.

Minerales:

Matriz 77% + Feldespato 15% + Cuarzo 4% + Mineral verde 3% + Pirita 1%

Feldespato, eudral a subedral de grano fino a medio alterado por arcillas.

Cuarzo, eudral de grano fino.

Mineral verde, posiblemente reemplazando a algún mineral subedral de grano fino.

Pirita de grano fino eudral diseminada en toda la matriz.

Alteración:

Argilización: Intensidad – moderada, pervasiva, masiva alterando la roca en general a halloysita.

Silicificación: Intensidad - débil a moderada, pervasiva, masiva debido a las diferentes vetillas que tiene la roca.

Oxidación: Intensidad- débil, se encuentra en la zona intemperizada que fue una fractura.

SJS002 Riolita



Roca ígnea, textura afanítica, grano fino, leucocrática, presenta textura fluidal con cristales eudrales y subdrales muy alterados por arcillas, matriz color verde claro [5Y 7/2], levemente fracturada. Contiene vetillas de cuarzo criptocristalino y óxidos.

Minerales:

Matriz 71% + Feldespatos 15% + Cuarzo 10% + Óxidos 3% + Pirita <1%

Feldespatos, eudrales a subdrales de grano fino, parcialmente reemplazados por arcillas.

Cuarzo, eudral de grano fino.

Óxidos, en algunas cavidades posiblemente pertenecientes a algunos metales de la roca original.

Pirita, diseminada cerca de la franja blanca con rojo.

Alteración:

Argílica: Intensidad- leve, selectiva reemplazando a feldespatos por halloysita.

Propílica: Intensidad- moderada, masiva, se observa en toda la matriz.

Silicificación: Intensidad- moderada, masiva en toda la roca.

Oxidación: Intensidad- débil, selectiva en algunas cavidades creando un ligero halo de óxidos alrededor.

SJS003 Riolita



Roca ígnea, textura fluidal, leucocrática, de grano fino a medio, con gran cantidad de vetillas de cuarzo dispersas en toda la roca, matriz oxidada moderadamente, presenta fenocristales de cuarzo euedrales y algunos pseudomorfos de plagioclasas reemplazados por arcillas.

Minerales:

Matriz 70% + Feldespatos 20% + Cuarzo 10%

Feldespatos, reemplazados totalmente por arcillas, euedrales de grano fino.

Cuarzo, euedral de grano fino.

Alteración:

Argílica: Intensidad- fuerte, selectiva en los cristales de plagioclasa reemplazados por kaolinita y en el resto de la matriz reemplazado por montmorillonita.

Silicificación: Intensidad- fuerte, masiva, en toda la roca debido a las diversas vetillas de cuarzo criptocristalino.

Oxidación: Intensidad- moderada, presentando ligeros halos alrededor de las fracturas.

SJS004 Brecha



Roca leucocrática con fragmentos de roca angulares completamente alterados, silicificados y argilizados. Presenta esferulitas y oxidación entre las fracturas. Matriz completamente silicificada.

Alteración:

Argílica: Intensidad- moderada, selectiva en los fragmentos de roca, alteradas por kaolinita.

Silicificación: Intensidad- fuerte, masiva presente en toda la roca.

SJS005 Riolita



Roca ígnea, textura afanítica - fluidal, leucocrática, con matriz de grano fino, color rosa [10YR 8/2], se observa una ligera dirección de flujo de los cristales. Contiene fracturas oxidadas y vetillas de cuarzo.

Minerales:

Matriz 65% + Cuarzo 20 % + Feldespato 15%

Cuarzo, eudral de grano fino a medio.

Feldespato, eudrales de grano fino, reemplazados por arcillas.

Alteración:

Argílica: Intensidad - débil a moderada, selectiva en los fenocristales de plagioclasa reemplazados por halloysita.

Silicificación moderada, pervasiva.

Oxidación: Intensidad- fuerte, creando un halo alrededor de las fracturas y ligeramente en la periferia de la roca.

AGS001 Riolita



Roca ígnea, textura afanítica, leucocrática, matriz de grano fino color rosa [5R 7/4] con fenocristales y microfenocristales de cuarzo y cavidades pertenecientes a feldespatos y plagioclasas. Presenta halos de oxidación y fracturas rellenas de cuarzo y óxidos.

Minerales:

Matriz 73% + Cuarzo 20%+ Feldespato 7%

Cuarzo, eudral de grano fino.

Feldespato, eudral de grano fino, reemplazados parcialmente por arcillas.

Alteración:

Argilización: Intensidad–débil, masiva, se observa en la roca y en los fenocristales de feldespatos reemplazamiento parcial por illita.

Silicificación: Intensidad - débil a moderada, pervasiva, masiva en toda la roca.

Oxidación: Intensidad- débil, selectiva, presente en fracturas con ligeros halos alrededor de ella.

AGS002 Riolita



Roca ígnea, textura afanítica, leucocrática, con matriz de grano fino color beige y rosa [10YR 8/6], se puede observar textura fluidal. En el centro de la roca se observa un intercrecimiento de cristales de cuarzo. Presencia de vetilla de cuarzo con óxidos al igual que las fracturas rellenas de óxidos.

Minerales:

Matriz 64% + Cuarzo 20 % + Feldespatos 15% +
Minerales opacos <1%.

Cuarzo, eudral de grano fino.

Feldespato, fenocristales de grano fino,

reemplazados por arcillas.

Alteración:

Argilización: Intensidad- débil, masiva reemplazando la roca y los fenocristales de feldespatos por illita.

Silicificación: Intensidad- moderada, pervasiva, masiva, en el centro de la roca hay un mosaico de grano grueso de cuarzo y de ahí se expande hacia la periferia.

Oxidación: Intensidad – moderada, principalmente en las fracturas expandiéndose hacia la matriz.

AGS003 Riodacita



Roca ígnea, textura afanítica, leucocrática, con matriz de grano fino color rosa [5R 7/4], presencia de óxidos dentro de la matriz, fenocristales de cuarzo euedrales y plagioclasa subedrales parcialmente alteradas. Presencia de vetillas de cuarzo y algunas fracturas con cuarzo y óxidos.

Minerales:

Matriz 75% + Plagioclasa 15% + Cuarzo 10%

Plagioclasa, fenocristales euedrales a subedrales reemplazados parcialmente por arcillas.

Cuarzo, euedral de grano fino.

Alteración:

Argilización: Intensidad-débil, selectiva ligeramente en la matriz y en los fenocristales de plagioclasa reemplazados por illita.

Silicificación: Intensidad-moderada, selectiva alrededor de las vetillas que cortan la roca y rellenan algunas cavidades.

Oxidación: Intensidad-débil, se observa en la matriz.

AGS004 Riolita



Roca ígnea, textura afanítica y fluidal, leucocrática con matriz de grano fino color verde [10RY 8/2], con fenocristales de cuarzo euedral y algunos pseudomorfos blancos reemplazados por arcillas. Presenta fracturas rellenas de óxido y arcillas.

Minerales:

Matriz 75% + Feldespatos 15% + Cuarzo 10%

Feldespatos, subedrales de grano fino, reemplazados parcialmente por arcillas.

Cuarzo, euedral de grano fino.

Alteración:

Agilización: Intensidad-débil, masiva, presente en la matriz y en fenocristales de feldespato, reemplazados por halloysita.

Propilitización: Intensidad - moderada, pervasiva masiva en la matriz.

Oxidación: Intensidad -débil, presente en las fracturas, con ligeros halos alrededor de ellas.

AGS005 Riolita



Roca ígnea, textura afanítica, leucocrática, matriz muy fina, de color beige, con fenocristales de cuarzo euedrales, presenta halos de oxidación. Presencia de vetillas y fracturas rellenas de cuarzo y óxidos. Fenocristales de feldespatos son poco notorios.

Minerales:

Matriz 85% + Cuarzo 10% + Feldespato 5%

Cuarzo, euedral y subedral, de grano fino y medio.

Feldespato, euedral, de grano fino, reemplazamiento total de arcillas.

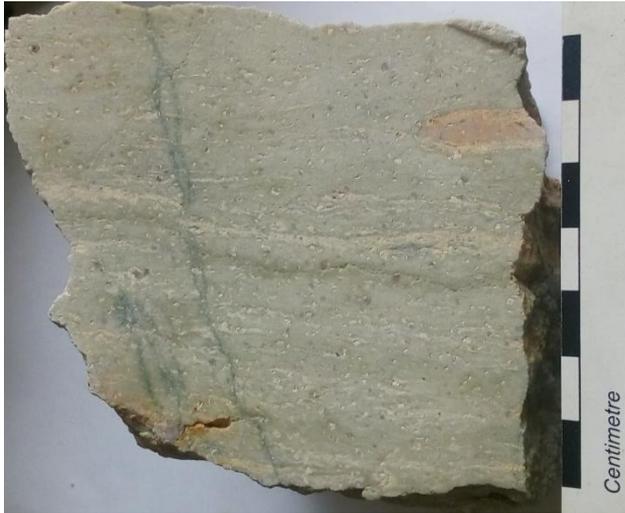
Alteración:

Silicificación: Intensidad- fuerte, pervasiva masiva, en toda la roca creando una textura cristalina.

Argilización: Intensidad-fuerte, masiva, reemplazando gran cantidad de la roca por montmorillonita y un evento después silicificada.

Oxidación: Intensidad- débil, relleno de fracturas principalmente y con pequeños halos alrededor de estas.

AGS006 Riolita



Roca ígnea, textura afanítica y fluidal, leucocrática, con matriz muy fina de color [10Y 8/2], contenido de fenocristales de cuarzo, y pseudomorfos de feldespato o plagioclasa reemplazados por arcillas, contiene un pequeño enclave. Presencia de vetas rellenas de cuarzo.

Minerales:

Matriz + Cuarzo + Feldespatos

Cuarzo, eudral de grano fino.

Feldespatos de grano fino subedrales a anedrales, reemplazados parcialmente por arcillas.

Alteración:

Silicificación: Intensidad- débil, pervasiva, masiva, en toda la roca.

Argilización: Intensidad- débil, moderada, selectiva en los fenocristales y en algunas partes de la matriz bandeando la roca, reemplazando por illita.

Oxidación: Intensidad- muy débil, presencia de óxidos en las fracturas.

AGS007 Ignimbrita



Roca con matriz de grano fino color rosa [5Y 8/4], presenta textura fluidal, pseudomorfos eudrales a subedrales reemplazados por cuarzo y arcillas. La oxidación se presenta a lo largo de la dirección en la que se dirigió el flujo.

Alteración:

Argílica: Intensidad-moderada, masiva, reemplazando a pseudomorfos y matriz por halloysita.

Silicificación: Intensidad-débil, masiva en toda la roca.

Oxidación: Intensidad- débil, dentro de la matriz por filtración en bandas.

AGS008 Dacita



Roca ígnea, muy intemperizada, con textura afanítica, leucocrática, con matriz de grano fino y fenocristales subedrales de hasta 2mm. Presenta dirección preferencial de los cristales.

Minerales:

Matriz 65% + Plagioclasa 15%+ Opacos 15%+ Cuarzo 5%

Plagioclasa, fenocristales de grano fino eudrales a subedrales mayormente,

Opacos, fenocristales de grano fino oxidados, tabulares, cúbicos, con ligeros halos, oxidando la matriz.

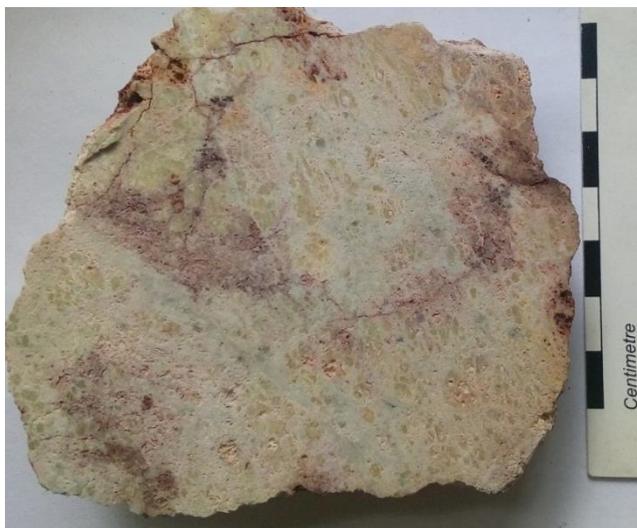
Cuarzo, eudral de grano fino.

Alteración:

Argilización: Intensidad- débil, pervasiva masiva, reemplazando ligeramente los fenocristales de plagioclasa y en la matriz por illita.

Oxidación: Intensidad-moderada, masiva, oxidación de metales dentro de la roca de forma tabular y cubica.

AGS009 Brecha



Brecha con fragmentos con textura afanítica muy alterada, leucocrática, con matriz de grano fino de color amarillo [10 YR 8/2].

Minerales:

Matriz 80% + Plagioclasa 10%+ Cuarzo 10%

Alteración:

Argilización: Intensidad-fuerte, pervasiva masiva, alterando toda la roca por montmorillonita.

AGS010 Diorita



Roca ígnea con textura porfídica, melanocrática, con matriz de grano fino color vino [5R 2/6], con fenocristales de plagioclasa. Presenta vetillas de cuarzo. Matriz con franjas naranjas de sílice

Minerales:

Matriz 76% + Plagioclasa 20% + Cuarzo 3% + Opacos 1%

Plagioclasa, fenocristales de grano fino a grande subedrales a anedrales, algunos glomerocristales

Cuarzo, eudral de grano fino.

Opacos, microfenocristales de grano fino

Alteración:

Silicificación: Intensidad-moderada, masiva, silicificando toda la roca, por vetillas de cuarzo.

Argilización: Intensidad- débil, selectiva alterando parcialmente por illita los fenocristales de plagioclasa.

Oxidación: Intensidad- fuerte, selectiva, principalmente en la matriz de la roca.

AGS011 Riolita



Roca ígnea con textura afanítica, leucocrática, matriz de grano muy fino color amarillo claro [5Y 6/4] con microfenocristales de cuarzo, plagioclasa y/o feldespatos con halos de alteración. Contenido de minerales opacos moderadamente oxidados, eudrales, cúbicos. Presencia de fracturas rellenas de cuarzo y óxidos.

Minerales:

Matriz 76%+ Cuarzo 15% + Feldespato 7% + Opacos 1%

Alteración:

Argilización: Intensidad- débil, selectiva solamente alteradas las plagioclasas por halloysita e illita.

Silicificación: Intensidad-moderada, masiva reemplazando toda la roca.

Oxidación: Intensidad- débil, selectiva, oxidación presente en las fracturas y creando pequeños halos de alteración.

AGS012 Toba Lítica



Roca ígnea, leucocrática, volcanoclástica, con fragmentos de roca redondeados, hasta 4 cm de longitud, reemplazados totalmente por arcillas, con matriz corroída y oxidada.

Alteración:

Silicificación: Intensidad- débil, masiva, reemplazado gran parte de la roca.

Argílica: Intensidad- fuerte, masiva, afectando a líticas y a la matriz reemplazado por kaolinita y halloysita.

Oxidación: Intensidad- moderada, afecta principalmente a los fragmentos de roca, por lo tanto, es un evento anterior a la formación de la toba.

AGS013 Riolita



Roca ígnea con textura afanítica fluidal, leucocrática, matriz de grano fino color verde grisáceo [10YR 8/2], presencia de fenocristales de cuarzo de hasta 3 mm, arcillas reemplazando a feldespatos y/o plagioclasas.

Minerales:

Matriz 72% + Feldespato 15% + Cuarzo 13%

Feldespatos, fenocristales de grano fino, euedrales, reemplazados parcialmente por arcillas.

Cuarzos, fenocristales de cuarzo de grano medio a fino, euedrales.

Alteración:

Argilización: Intensidad- débil, selectiva afecta principalmente a los fenocristales de feldespatos alterándolos a halloysita, en la matriz se aprecian unas bandas más claras producto de la misma.

Silicificación: Intensidad-moderada, pervasiva, masiva, afectando a toda la roca.

AGS014 Andesita



Roca ígnea, con textura porfídica, leucocrática, matriz de grano fino color rosa [5R 7/4], presencia de fenocristales de plagioclasas y cuarzo en menor cantidad, contenido de drusas de cuarzo. Fracturas rellenas de óxidos y cuarzo.

Minerales:

Matriz 69% + Plagioclasa 20%+ Cuarzo 7%+ Opacos 4%

Plagioclasa, fenocristales de grano fino a medio, euedrales, parcialmente reemplazados por arcillas.

Cuarzo, euedrales de grano fino.

Opacos, euedrales, tabulares, oxidados creando un ligero halo de óxido alrededor de ellos.

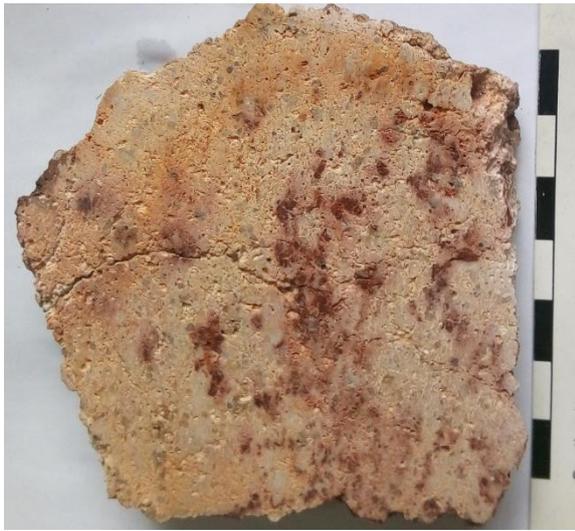
Alteración:

Argilización: Intensidad-muy débil, selectiva principalmente alterando levemente a los fenocristales de plagioclasa por kaolinita y halloysita.

Silicificación: Intensidad- moderada, pervasiva masiva, silicificando toda la roca, presencia de cuarzo cristalino en las fracturas.

Oxidación: Intensidad- moderada, oxidando los fenocristales y presencia en las grietas con cuarzo.

AGS015 Riolita



Roca ígnea, textura fluidal, leucocrática, matriz de grano muy fino color rosa-naranja [5Y 8/4], presencia de oxidación en los bordes, líticos muy variados de tamaño de lapilli a ceniza. Presenta oxidación en los bordes.

Minerales:

Matriz 74% + Plagioclasa 15%+ Piroxenos y Anfíboles 7% + Cuarzo 4%

Plagioclasa, fenocristales de grano medio a fino en su mayoría, ligeramente alterados por arcillas.

Piroxenos y anfíboles, euedrales de grano medio, fuertemente oxidados.

Cuarzo, fenocristales de grano fino.

Alteración:

Argílica: Intensidad- moderada, pervasiva masiva, alterando los fenocristales de plagioclasa y la matriz de la roca a kaolinita.

Silicificación: Intensidad- débil, ligeramente en la parte inferior de la roca.

Oxidación: Intensidad- fuerte a débil, reemplazando totalmente los piroxenos y anfíboles y creando un ligero halo oxidación a su alrededor, por otro lado, en la matriz es muy débil la oxidación.

AGS016 Riodacita



Roca ígnea con textura afanítica, leucocrática, matriz de grano fino color rosa [5Y 8/4] con fenocristales de cuarzo y posiblemente plagioclasa reemplazada por arcillas, diseminación de sulfuros en la matriz. Presencia de tres pulsos diferentes de vetillas de cuarzo.

Minerales:

Matriz + Plagioclasa + Cuarzo + Opacos

Plagioclasa, fenocristales subedrales a anedrales, reemplazados total o parcialmente por arcillas.

Cuarzo, fenocristales de grano fino euedrales a subedrales.

Opacos, de grano muy fino.

Alteración:

Argilización: Intensidad- moderada selectiva, reemplaza parcial o totalmente los fenocristales de plagioclasa a illita y halloysita.

Silicificación: Intensidad- fuerte, masiva, afectando principalmente a la matriz de la roca, por las diferentes vetillas de cuarzo criptocristalino alrededor de la roca.

Oxidación: Intensidad- moderada, presente solamente cerca de las fracturas o vetillas de cuarzo, no afecta a toda la roca.

AGS017 Andesita



Roca con textura afanítica, leucocrática, matriz de grano muy fino recrystalizada, presencia de fenocristales de cuarzo, plagioclasa, y diseminación de sulfuros en la matriz. Presencia de vetillas de cuarzo que atraviesan la roca.

Minerales:

Matriz 80% + Plagioclasa 15%+ Piroxenos y anfíboles 5% + Cuarzo 4%+ Opacos 1%

Plagioclasa, fenocristales de grano fino totalmente silicificados y previamente oxidados.

Cuarzo, fenocristales de grano fino.

Opacos, ligeramente oxidados.

Alteración:

Argilización: Intensidad moderada, masiva, afectando la roca en su totalidad remplazándola por halloysita y montmorillonita.

Silicificación: Intensidad- fuerte, pervasiva masiva, afectando a toda la roca cambiándola a una textura más cristalina.

Oxidación: Intensidad- débil, presente ligeramente a los opacos y en algunos fenocristales de plagioclasa.

AGS018 Riolita ultredevitrificada



Roca con textura afanítica, leucocrática, con matriz de grano fino color amarillo [10R 6/2]. Contiene cavidades rellenas de sílice, posiblemente debido a la devitrificación.

Alteración:

Argilización: Intensidad-fuerte, alterando a la roca en su totalidad por illita.

Silicificación: Intensidad-fuerte, pervasiva masiva, en toda la roca.

Oxidación: Intensidad-débil, presente cerca de las fracturas

y de algunas cavidades.

AGS019 Riolita



Roca ígnea, textura afanítica, mesocrática, con matriz de grano fino color verde grisáceo [10YR 8/2] con fenocristales de cuarzo y pseudomorfos de plagioclasa reemplazados por arcillas. Presencia de fracturas rellenas de óxidos y sílice.

Minerales:

Matriz 67%+ Plagioclasa 20% + Cuarzo 13%

Plagioclasa, fenocristales subedrales a anedrales de grano fina a medio, reemplazados parcialmente por arcillas.

Cuarzo, euedral de grano fino.

Alteración:

Argílica: Intensidad- moderada, selectiva, reemplazando parcialmente la plagioclasa por kaolinita

Silicificación: Intensidad-débil a moderada, alterando la matriz de la roca.

Oxidación: Intensidad- muy débil, presente cerca de las fracturas, levemente dentro de la matriz.

AGS020 Riolita



Roca con textura afanítica y fluidal, leucocrática, matriz de grano fino color amarillo grisáceo [5Y 5/2] con fenocristales y microfenocristales de cuarzo. Presencia de vetilla de cuarzo cizallado, dentro de algunas vetillas se encuentran óxidos.

Minerales:

Matriz 92% + Cuarzo 5% + Plagioclasa 3%

Cuarzo, fenocristales euedrales de grano fino.

Plagioclasa, eudral a subedral de grano fino.

Alteración:

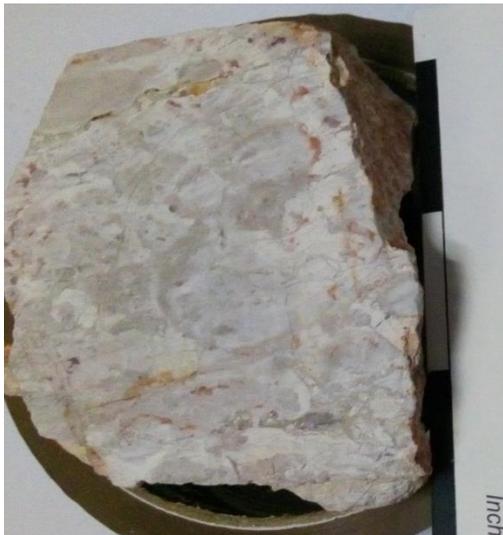
Argilización: Intensidad- fuerte, pervasiva, masiva, la roca está completamente alterada por kaolinita.

Oxidación: Intensidad- débil, selectiva, presente las fracturas con un ligero halo de oxidación dentro de la matriz.

Silicificación: Intensidad- fuerte, pervasiva, masiva, evento posterior a la argilización y oxidación.

Rellenando por cuarzo criptocristalino las fracturas.

AGS021 Brecha



Roca leucocrática con fragmentos de cuarzo lechoso, cuarzo bandeado, y fragmentos de roca silicificadas y argilizadas, en las fracturas hay presencia de oxidación. La matriz está totalmente silicificada.

Alteración:

Argilización: Intensidad- fuerte, en fragmentos de roca alteradas a kaolinita y esmectita.

Silicificación: Intensidad- fuerte, masiva, presente en toda la roca.

Oxidación: Intensidad- débil, alrededor de algunos fragmentos de roca.

AGS022 Veta



Roca leucocrática con pseudomorfos reemplazados totalmente por arcillas y sílice, las fracturas están rellenas de arcillas y óxidos. Presenta un ligero flujo y dirección.

Alteración:

Argílica: Intensidad- débil, selectiva en los fragmentos de roca reemplazando a kaolinita y esmectita.

Silicificación: Intensidad- fuerte, masiva, presente en toda la roca y cristalizando cuarzo en las cavidades.

AGS023 Riolita



Roca con textura fluidal, leucocrática, matriz devitrificada, con esferulitas, matriz de grano muy fino color blanco con verde [10YR 6/2]. Fenocristales de cuarzo y feldespatos reemplazados por Illita.

Minerales:

Matriz + Cuarzo + Feldespato

Alteración:

Argilización: Intensidad- moderada, selectiva, alterando a illita la parte devitrificada.

AGS024 Toba de Lapilli



Roca ígnea, volcanoclástica, leucocrática, con clastos muy mala seleccionados y subredondeados, fenocristales de cuarzo, 30% líticos oxidados, matriz de ceniza color gris. Presencia de vetillas de cuarzo con óxidos y arcillas.

Alteración:

Argílica: Intensidad-moderada, alterando principalmente algunos fragmentos de roca a kaolinita.

Silicificación: Intensidad- moderada, pervasiva masiva en toda la roca.

Oxidación: Intensidad-débil a fuerte, débil en la matriz y fuerte en algunos fragmentos de roca y fracturas, por otro lado, débil dentro de la matriz.

AGS025 Toba lítica de lapilli



Roca ígnea, volcanoclástica, mesocrática, matriz de grano fino color vino [5R 2/2], líticos bimodales color verde, blanco y gris, subredondeados, tiene un poco de gradación. La oxidación está presente alrededor de la roca y en las fracturas.

Alteración:

Argílica: Intensidad- débil, reemplazando ligeramente los fragmentos de roca a kaolinita.

Silicificación: Intensidad- débil, masiva, afectando a toda la roca.

Propilítica: Intensidad- moderada, selectiva, afectando principalmente a los fragmentos de roca alterando a clorita.

AGS026 Andesita



Roca ígnea, textura afanítica, leucocrática, matriz de grano muy fino color rosa y vino [5R 6/2], fenocristales de cuarzo y plagioclasa, Presencia de vetillas de cuarzo con óxidos.

Minerales:

Matriz 83% + Plagioclasa 10% + Cuarzo 7%

Plagioclasa, fenocristales euedrales de grano fino a medio.

Cuarzo, euedral, de grano fino.

Alteración:

Argilización: Intensidad- muy débil, masiva alterando a plagioclasas y matriz por montmorillonita.

Silicificación: Intensidad- fuerte, pervasiva masiva, en toda la roca.

Oxidación: Intensidad- débil, selectiva, dentro de las fracturas.

AGS027 Andesita



Roca ígnea, con textura afanítica, leucocrática, con matriz de grano muy fino color blanco, fenocristales de cuarzo y plagioclasas, presencia de vetillas de cuarzo, óxido en fracturas.

Minerales:

Matriz 80% + Plagioclasa 16% + Cuarzo 4%

Plagioclasa, euedral a subedral reemplazada parcial a totalmente por arcillas y sílice.

Cuarzo, euedral, grano fino.

Alteración:

Silicificación: Intensidad- fuerte, pervasiva masiva, debido a las diversas fracturas rellenas de cuarzo criptocristalino.

Argílica: Intensidad- moderada, reemplazando la roca por montmorillonita e illita.

Oxidación: Intensidad- débil, presente únicamente en las fracturas.

AGS028 Riodacita



Roca ígnea, textura afanítica, leucocrática, matriz de grano fino color naranja [10YR 6/2], con fenocristales y microfenocristales de plagioclasa. Roca muy intemperizada y oxidada.

Minerales:

Matriz 76% + Plagioclasa 15% + Piroxenos y anfíboles 4% + Cuarzo 4% + Opacos <1%

Plagioclasa, subedral a anedral de grano fino a medio.

Piroxenos y anfíboles, euedrales a anedrales, de grano fino.

Cuarzo, euedral de grano fino.

Alteración:

Silicificación: Intensidad- débil, masiva en toda la roca.

Argílica: Intensidad- débil, afectando a la matriz y ligeramente a los fenocristales de plagioclasa alterando a montmorillonita e illita.

Oxidación: Intensidad- fuerte, selectiva, en la matriz.

AGS029 Riodacita



Roca afanítica, mesocrática, con matriz de grano fino color verde [10YR 6/6], contenido de fenocristales de plagioclasa, cuarzo, piroxenos y opacos. Presenta fracturas rellenas de cuarzo y óxidos.

Minerales:

Matriz + Plagioclasa + Cuarzo + Piroxenos + Opacos

Plagioclasa, fenocristales euedrales a subedrales e grano fino, reemplazados parcialmente por arcillas.

Cuarzo, euedral de grano fino

Piroxenos, euedrales, grano fino, ligeramente oxidados.

Opacos, grano fino oxidados.

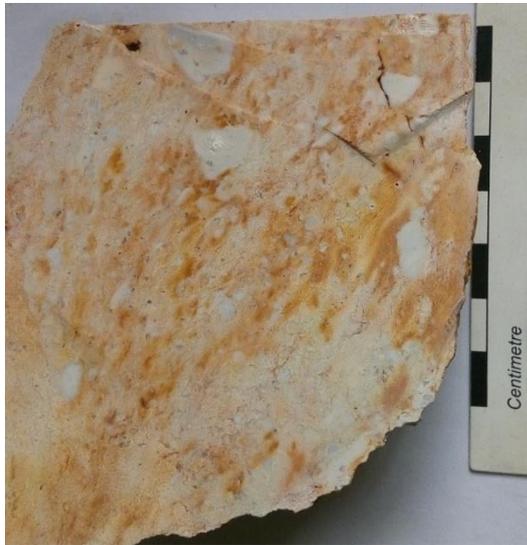
Alteración:

Silicificación: Intensidad- fuerte, pervasiva, masiva, en toda la roca.

Argílica: Intensidad- débil, masiva, en toda la roca alterando a esmectita.

Oxidación: Intensidad- débil, oxidando solo algunos minerales dentro de la matriz.

AGS030 Brecha



Roca ígnea, volcanoclástica, leucocrática, matriz de grano fino color amarillo [5Y 8/4] por la oxidación. Con fenocristales de cuarzo euedrales, con clastos de andesitas hasta 1.5 cm de largo

Alteración:

Argílica: Intensidad- moderada, alterando la matriz y los fragmentos de roca a illita.

Silicificación: Intensidad- fuerte pervasiva masiva en toda la roca.

Oxidación: Intensidad- moderada, únicamente en la matriz de la roca ya que en los fragmentos de roca no hay.

AGS031 Riolita



Roca ignea, afanítica, leucocrática, matriz de grano fino color blanco, fenocristales de cuarzo. Presencia de vetillas de cuarzo y fracturas rellenas de cuarzo y óxidos.

Minerales:

Matriz 75% + Plagioclasa 15% + Cuarzo 10%

Plagioclasa, fenocristales de grano fino, ligeramente alterados por arcillas.

Cuarzo, eudral de grano fino.

Alteración:

Silicificación: Intensidad- fuerte pervasiva masiva

Argílica: Intensidad, moderada, masiva, reemplazando matriz por illita y montmorillonita.

Oxidación: Intensidad- débil, selectiva, presente en fracturas.

AGS032 Ignimbrita



Roca volcanoclástica, textura fluidal, con bandas de cuarzo criptocristalino y arcillas. Fenocristales de ojos de cuarzo, pseudomorfos de plagioclasa reemplazados por arcillas y óxidos, líticos y minerales opacos ya oxidados.

Alteración:

Silicificación: Intensidad- fuerte, pervasiva, masivas franjas de ópalo en la matriz.

Argilización: Intensidad- débil, selectiva, reemplazando la roca por illita y montmorillonita.

Oxidación: Intensidad- moderada, ligeramente dentro del cuarzo criptocristalino, algunos fenocristales y dentro de las fracturas.

AGS033 Riodacita



Roca con textura afanítica, mesocrática, matriz de grano fino, contiene fenocristales de cuarzo y plagioclasa. Pirita diseminada en la matriz, contiene una banda de sílice amorfo combinado con arcillas y dentro de ella se encuentran clastos.

Minerales:

Matriz + Plagioclasa + Cuarzo + Opacos + clastos

Alteración:

Argílica: Intensidad- moderada, selectiva ligeramente en los fenocristales y matriz de la roca alterado por kaolinita y esmectita.

Silicificación: Intensidad-moderada pervasiva masiva principalmente en la franja blanca.

Oxidación: Intensidad- moderada, masiva en la matriz y en las fracturas.

AGS034 Monzonita



Roca ígnea, melanocrática con textura idiomórfica granular, color verde de grano medio a grueso, fenocristales de plagioclasa y feldespatos, no contiene cristales de cuarzo, contiene fragmentos de rocas redondeados, presenta un poco de oxidación entre los minerales.

Minerales:

Matriz 63% + Plagioclasa 25% + Fragmentos de roca 5% + Opacos 7%

Plagioclasa, eudral a subedral de grano medio.

Fragmentos de roca, ligeramente subredondeados, de diferentes colores.

Alteración:

Propilitización: Intensidad- débil, pervasiva, a piroxenos y anfíboles.

Argilización, Intensidad-débil, selectiva, reemplazando por illita los fenocristales de plagioclasa.

AGS035 Riolita



Roca ígnea, mesocrática, textura afanítica fluidal, color verde, con fenocristales de plagioclasa euedrales, vetillas de calcita, gran variedad de opacos en la matriz.

Minerales:

Matriz 76%+ Plagioclasa 10% + Piroxenos 5% + Anfíboles 5%+ Cuarzo 3% + Opacos 1%

Plagioclasa, subedrales a anedrales, de grano fino a medio, reemplazados parcialmente por arcillas.

Cuarzo, eudral de grano fino

Piroxenos, euedrales a subedrales reemplazados por clorita.

Alteración:

Propilítica: Intensidad- moderada, pervasiva alterando toda la roca a clorita y minerales asociados.

Argílica: Intensidad-débil, presente en los fenocristales de plagioclasa alterados a illita.

M17 Monzonita



Roca melanocrática con textura idiomórfica granular, color verde, con fenocristales de plagioclasa euedrales a subedrales, feldespato euedrales a subedrales de hasta 0.5 cm, cuarzo, opacos y fragmentos de roca redondeados

Minerales:

Matriz 54% + Plagioclasa 30% + Fragmentos de roca 7%+ Anfíboles 6%% + Opacos 2%+Cuarzo 1%

Plagioclasa, fenocristales euedrales de grao medio.

Fragmentos de roca de distintas composiciones.

Alteración:

Propilítica: Intensidad- moderada, masiva, principalmente en la matriz y en algunos fragmentos de roca.

Oxidación: Intensidad- muy débil, presente dentro de algunos fenocristales de plagioclasa.

M18 Monzonita



Roca melanocrática con textura idiomórfica granular, color verde en su gran mayoría, con fenocristales de plagioclasa euedrales a subedrales, feldespatos euedrales a subedrales, cuarzo, opacos y fragmentos de roca redondeados, con vetillas de cuarzo y óxidos.

Minerales:

Matriz 35% + Plagioclasa 40% + Fragmentos de Roca 10% + Anfíboles 10% + Opacos 2% + Cuarzo 2% + Pirita 1%

Plagioclasa, fenocristales de grano fino a medio, euedrales a subedrales, ligeramente oxidados.

Fragmentos de Roca, subredondeados y de diversos colores.

Anfíboles, fenocristales euedrales, ligeramente oxidados.

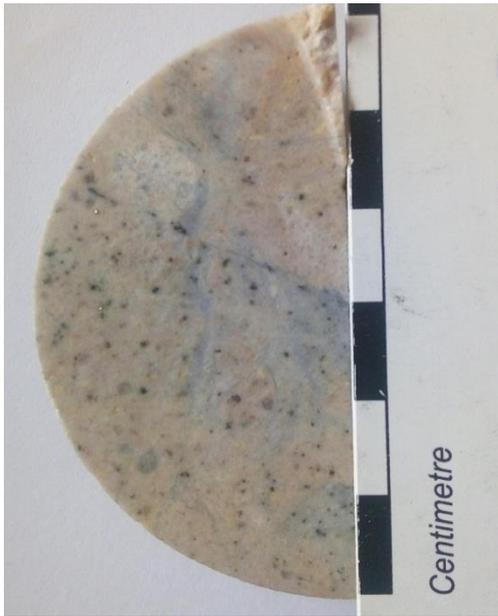
Pirita, disseminada en toda la matriz, cristales euedrales.

Alteración:

Propilítica: Intensidad- moderada, masiva, en la matriz en toda la roca.

Oxidación: Intensidad-muy débil, selectiva principalmente con anfíboles.

PAG155 Riolita



Roca leucocrática, textura afanítica fluidal, fenocristales reemplazados por arcillas, cuarzo eudral, con vetillas de cuarzo y pirita y opacos diseminados por toda la matriz.

Minerales:

Matriz 74%+ Plagioclasa 10%+ Cuarzo10% + Pirita 3%+ Opacos 3%

Plagioclasa, fenocristales subedrales de grano fino.

Cuarzo, eudral de grano fino.

Pirita de grano fino diseminada.

Opacos, diseminados.

Alteración:

Silicificación: Intensidad- moderada, masiva causada por las vetillas que rodean la roca.

PAG099 Toba lítica de Lapilli



Roca ignea, volcanosedimentaria con matriz de grano muy fino, fragmentos de roca de tamaño de lapilli, polimictica, mal seleccionada, subredondeados, levemente oxidados en algunas fracturas y muy oxidados en algunos fragmentos de roca.

Alteración:

Propilítica: Intensidad- debil, masiva, afectando a toda la roca.

PAG144 Andesita



Roca ígnea, melanocrática, textura afanítica, matriz grano muy fino color vino, cristales subedrales color negro a translucidos, presente un ligero lineamiento, con vetillas de cuarzo.

Minerales:

Matriz + Plagioclasa + Anfíboles + Opacos +Cuarzo

Plagioclasa, euedral grano fino.

Anfíboles, euedrales, grano fino

Opacos, grano fino

Cuarzo, euedral grano fino.

Alteración:

Silicificación: Intensidad- débil, masiva presente en toda la roca.

ANEXO 3 Petrografía

AGS003

Descripción:

Matriz hipocristalina, textura fanerítica de grano muy fino, presenta esferulitas de diversos tamaños hasta 0.11 mm. Abundancia 44%.

Pseudomorfos de **plagioclasa** euedrales, hasta 1.6 mm de longitud, reemplazados por arcillas y cuarzo microcristalino en su interior, con un patrón de alteración irregular, algunas plagioclasas presentan textura intersticial. Abundancia 15%.

Fenocristales de **cuarzo** con forma euedrales a subedrales, presenta bahías, disuelto en el borde y en el centro, con un tamaño de 0.44 mm hasta 2 mm, levemente fracturado. Por otro lado, el cuarzo que pertenece a la silicificación es de diversos tamaños, relleno de fracturas y cavidades, algunos presentan textura ondulante. Abundancia 10%

Feldespatos, euedrales a subedrales, ligeramente fracturado, ligeramente disuelto en el crucero, de 1.78 mm, inequigranulares. Abundancia 10%.

Moscovita euedral a subedral, forma tabular, con un tamaño hasta 0.90 mm. Patrón de alteración regular paralela, oxidada, sericitizada y cloritizada con inclusiones de zircones, hematita y rutilo. Abundancia 10%.

Pseudomorfos de **hornblenda** reemplazada totalmente por cuarzo, sericita y clorita, la sericita y clorita se encuentra principalmente en los planos de crucero, con un patrón de alteración lineal regular, y el cuarzo en el interior. Cristales euedrales a anedrales con un tamaño de 0.33 a 0.55 mm. Dentro del cristal tiene glomerocristales de zircón euedrales, subedrales y anedrales y hematita en la periferia del mineral. Abundancia 8%.

Opacos euedrales a subedrales, hasta 0.22 mm, completamente disueltos, fueron removidos y reemplazados por hematita y epidota. Abundancia 2%.

Zircones euedrales a subedrales dentro de la matriz y moscovita, con un tamaño de hasta 0.17 mm. Abundancia <1%.

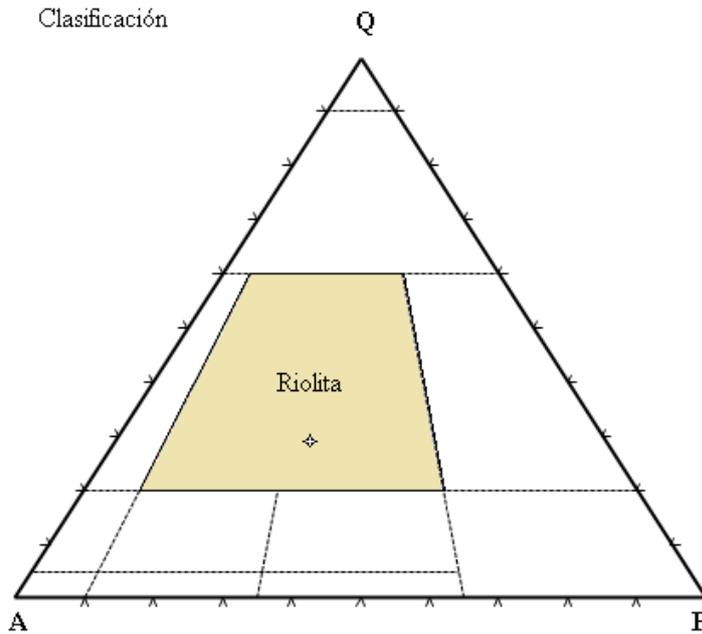
Alteración:

Calcita, reemplazando minerales preexistentes junto con otros minerales. Intensidad débil.

Sericita, grano muy fino, relleno de vetillas, dentro de la matriz y relleno de minerales, principalmente en el crucero. Intensidad moderada.

Cuarzo, Vetillas de cuarzo con textura de mosaicos, se observan dos eventos de vetillas, el primero se compone por vetillas de cuarzo con sericita en su periferia, el segundo evento son vetillas de cuarzo criptocristalino. Por otro lado, encontramos mosaicos de cuarzo en la matriz de la roca, y reemplazando de minerales. Intensidad moderada.

Clasificación:



Nombre de la roca:
Riolita de plagioclasa

Figura 35. Clasificación de acuerdo a Streckeisen para rocas ígneas volcánicas, el diagrama QAP.

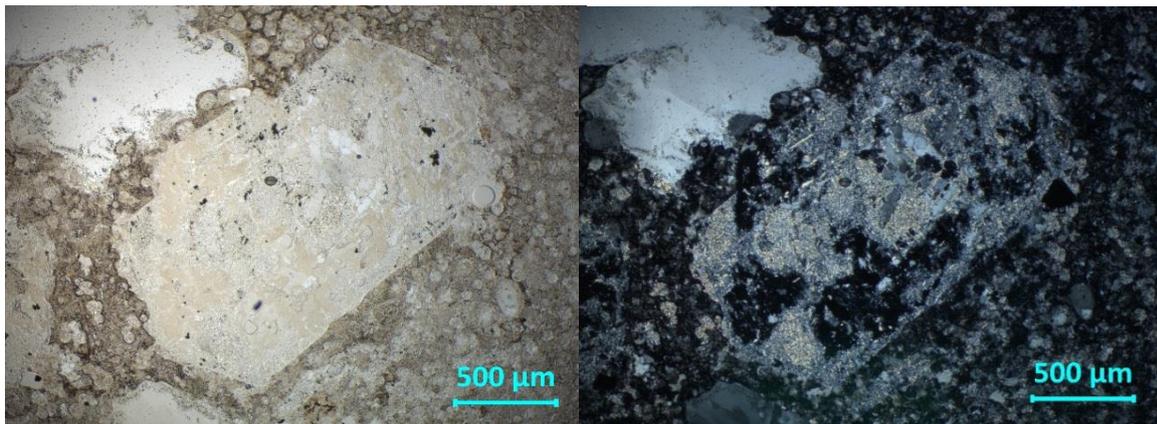


Figura 36. Pseudomorfo de plagioclasa zoneada, reemplazado por cuarzo microcristalino, sericita y vidrio. La matriz presenta esferulitas. Aumento 5x, nicols paralelos (LPNA) del lado izquierdo y nicols cruzados (LPA) del lado derecho.

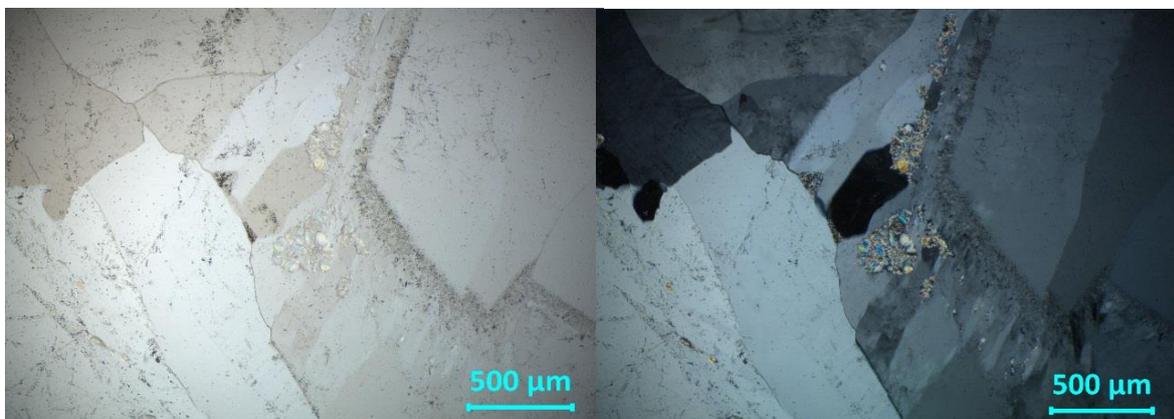


Figura 37. Mosaicos de cuarzo sericitizado en los planos de crecimiento. Aumento 5x, LNPA del lado izquierdo y LPA del lado derecho.

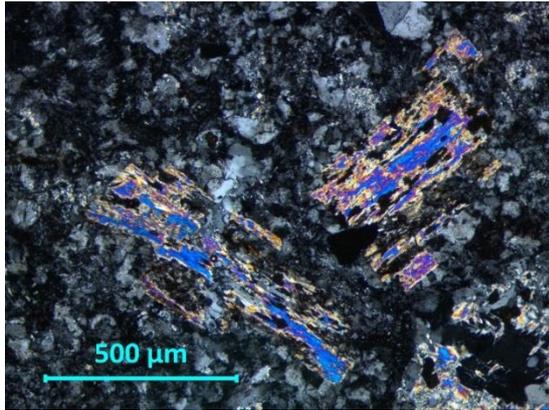


Figura 38. Muscovita LPA, parcialmente alterada por clorita y reemplazada por cuarzo. Aumento 5x.

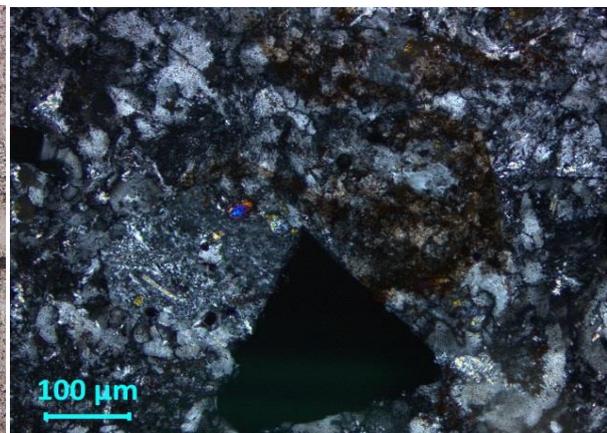
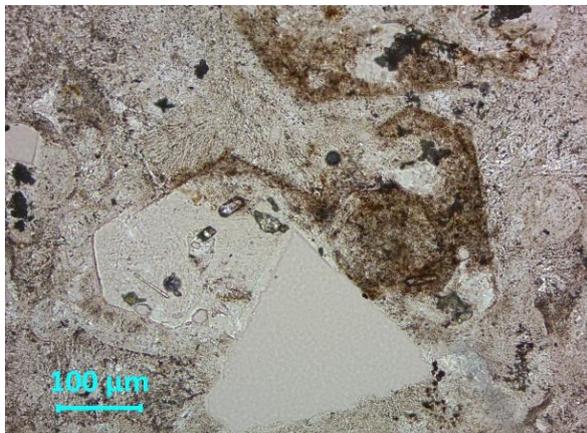


Figura 39. Pseudomorfo de hornblenda reemplazado en si totalidad por cuarzo microcristalino, óxidos y sericita, con inclusiones de zircones. Aumento 20x

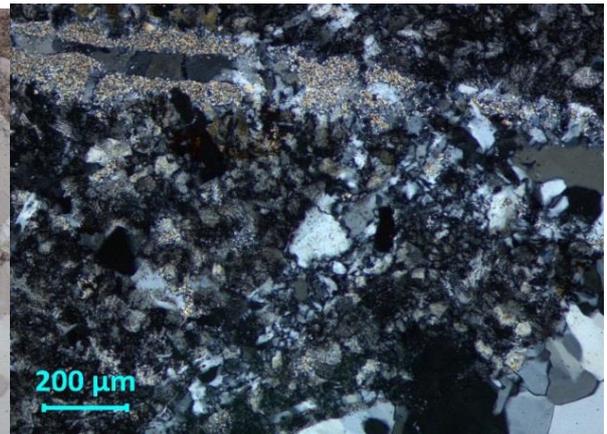
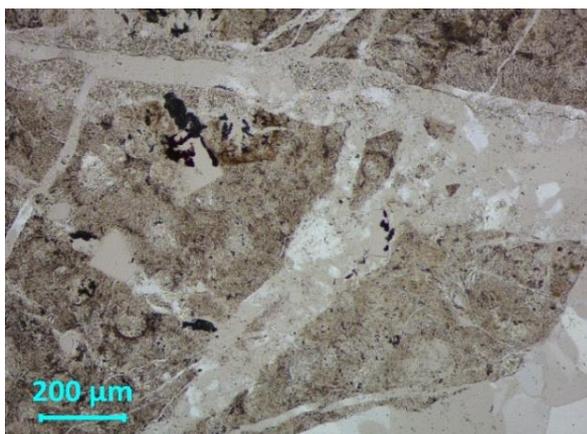


Figura 40. Vetilla de cuarzo cortando a la vetilla de sericita. Aumento 10x, LPNA imagen izquierda, LPA imagen derecha.

AGS013 Riolita

Descripción:

Matriz de grano muy fino, hipocristalina, textura fluidal, llena de sericita y cuarzo criptocristalino, presenta esferulitas de 0.11 mm. Abundancia 45%.

Feldespato anedral, con forma alargada en la dirección del flujo, hasta 0.8 mm de longitud. Abundancia 30%.

Cuarzo, subedral a anedral, hasta 0.33 mm de longitud, levemente fracturado, presenta una pequeña exsolución alrededor de los cristales. Abundancia 10%.

Plagioclasa euedral a subedral, hasta 1 mm de longitud, reemplazada por sericita en los bordes y en el centro por cuarzo, se observa crucero, levemente fracturado, pseudomorfos inequigranulares, patrón de reemplazamiento normal cruzado. Abundancia 7%.

Pseudomorfos de **moscovita**, euedrales, tabular, tamaño de hasta 0.80 mm, con inclusiones de ilmenita ya sea en glomerocristales o solos bien desarrollados, tiene una corona de alteración de sericita, patrón de alteración regular paralelo, en los bordes esta reemplazado por sericita y en el centro por mosaicos de cuarzo. Abundancia 3%.

Pseudomorfos de **anfíbol**, euedrales, hasta 400 μm , reemplazados totalmente por sericita y clorita en los bordes y parte del crucero, cuarzo en la parte interna de los cristales, con un patrón de alteración regular cruzado. Abundancia 3%.

Apatito, cristales euedrales de grano fino dentro de la matriz. Abundancia 1%.

Opacos de grano muy fino hasta 0.5mm, euedrales a anedrales, formas cubicas, totalmente disueltos. Abundancia <1%.

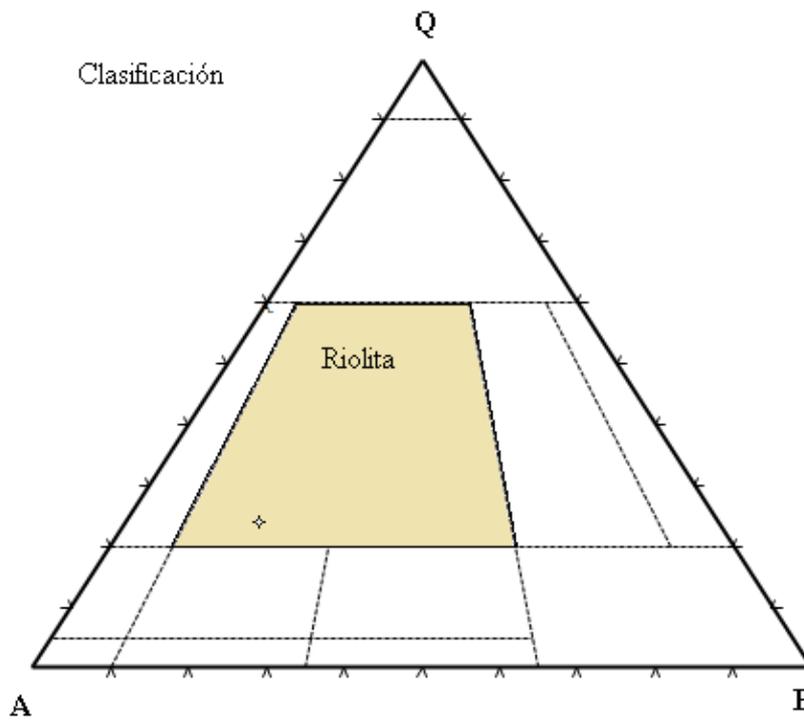
Zircones euedrales a anedrales de 60 micras a 0.1 mm. Abundancia <1%.

Alteración:

Sericita en matriz y en la periferia de algunos minerales. Intensidad moderada.

Cuarzo, vetillas muy diminutas dentro de la matriz. Intensidad débil.

Clasificación:



Nombre de la roca:

Riolita de feldespato

Figura 41. Clasificación con diagrama QAP de acuerdo con Streckeisen para rocas ígneas volcánicas.

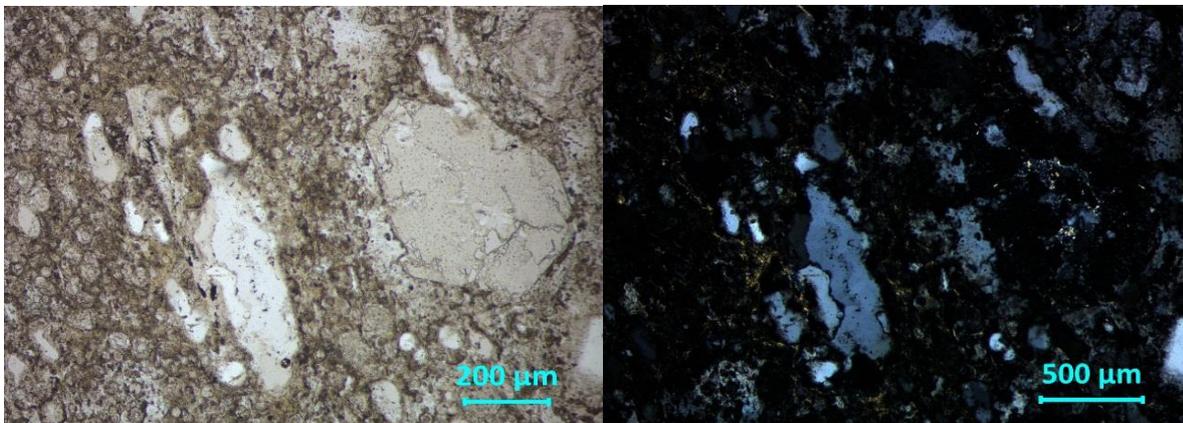


Figura 42. Pseudomorfo de anfíbol reemplazado por cuarzo microcristalino y sericita. Aumento 5x, LPNA y LPA.

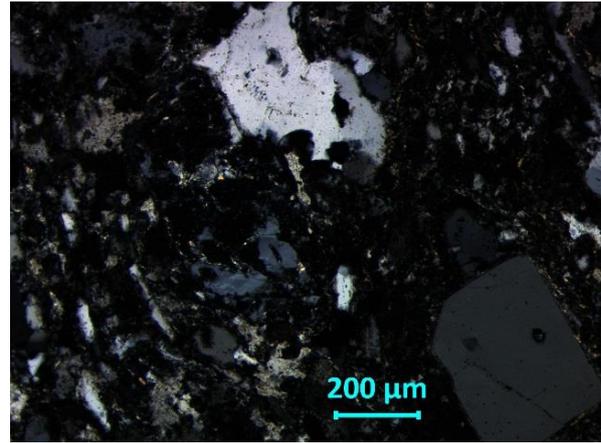
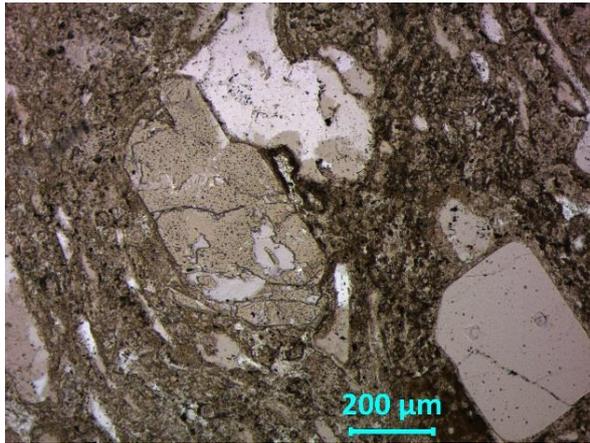


Figura 43. Pseudomorfo de plagioclasa reemplazada por sericita, cuarzo y cuarzo microcristalino. Aumento 10x, LPNA y LPA.

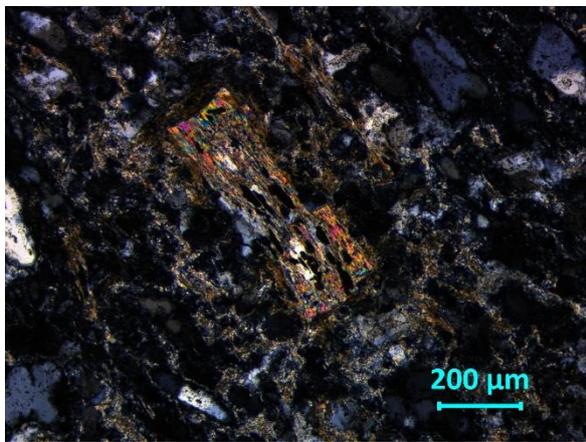


Figura 44. Moscovita en LPA con inclusiones de ilmenita, parcialmente reemplazado por cuarzo en el interior del mineral. Aumento 10x.

AGS014 Andesita

Descripción:

Matriz de grano muy fino, con mosaicos de cuarzo de diferentes tamaños, sericita y opacos. Abundancia 57%.

Plagioclasa euedral a anedral, inequigranular, 0.9 mm hasta 3.6 mm de longitud con maclas polisintéticas y de Carlsbad, levemente fracturado, alterada por sericita, con un patrón de alteración irregular, algunas presentan textura de tamiz, entre las fracturas encontramos hematita y cuarzo. Abundancia 15%.

Opacos, euedrales a subedrales, desde 0.05mm hasta 0.80 mm de longitud, inequigranulares, oxidados, presentan un halo de oxidación alrededor de algunos, posiblemente piritas y otros hexagonales. Reemplazados parcialmente por epidota y hematita. Abundancia 10%.

Feldespato parcialmente sericitizados, euedrales a subedrales, de hasta 0.8 mm de longitud, moderadamente fracturados, inequigranulares. Abundancia 5%.

Cristales de **cuarzo**, subedral a anedral, inequigranular, con tamaños de 0.11 mm hasta 1.50 mm, presentan bahías, fracturado levemente. El cuarzo en los mosaicos está en toda la matriz y rellenando algunas fracturas de minerales. Abundancia 3%.

Biotita, euedral, equigranulares, tabular, 0.45 hasta 0.30 mm de largo, alterado en la periferia por sericita, patrón de alteración paralelo regular por los bordes. Dentro del mineral, paralelas a las fibras encontramos ilmenita. Abundancia 3%.

Pseudomorfos de **hornblenda**, euedrales a subedrales, inequigranulares, hasta 1 mm de longitud, sin fracturas, patrón de alteración cruzado regular cruzado, los minerales que la están reemplazando son la sericita en los bordes y crucero y el cuarzo dentro del cristal. Abundancia 3%.

Cristales de **anfíbol** euedral a subedral, inequigranulares, con inclusiones solidas de epidota y otros minerales más pequeños, levemente fracturado, hasta 0.5 mm de longitud. Abundancia 2%.

Cristales de **apatito**, subedral, con pequeñas líneas de exsolución en el centro, de hasta 0.2 mm de largo. Abundancia 1%.

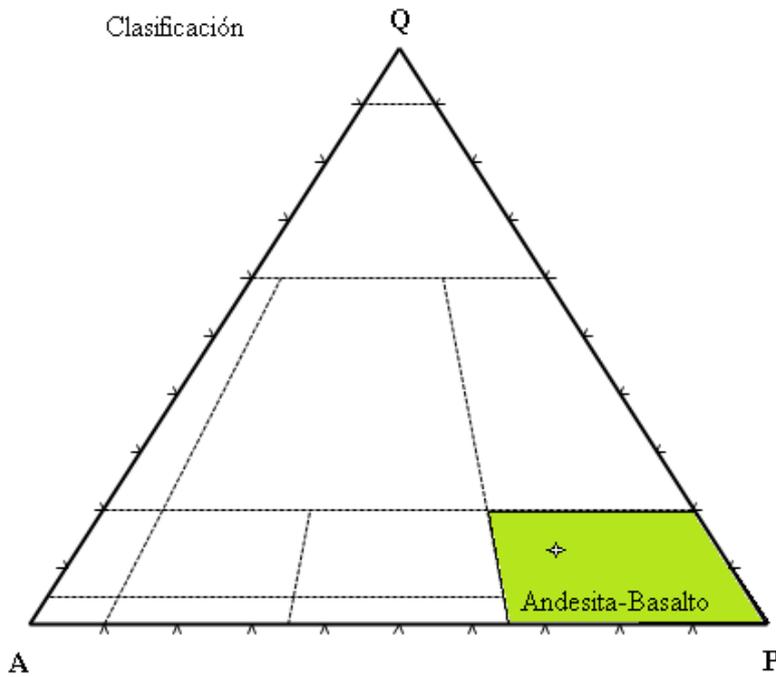
Cristales de **zircones** euedrales de 0.13mm de largo en la matriz. Abundancia <1%.

Alteración:

Sericita, alterando a los feldespatos, en la periferia y crucero de algunos minerales de moscovita, y hornblenda. Intensidad moderada a débil.

Cuarzo, silicificación intensidad fuerte dentro de la matriz y reemplazando algunos cristales en la parte interior.

Clasificación:



Nombre de la Roca:

Andesita de feldespato

Figura 45. Clasificación con diagrama QAP de acuerdo con Streckeisen para rocas ígneas volcánicas.

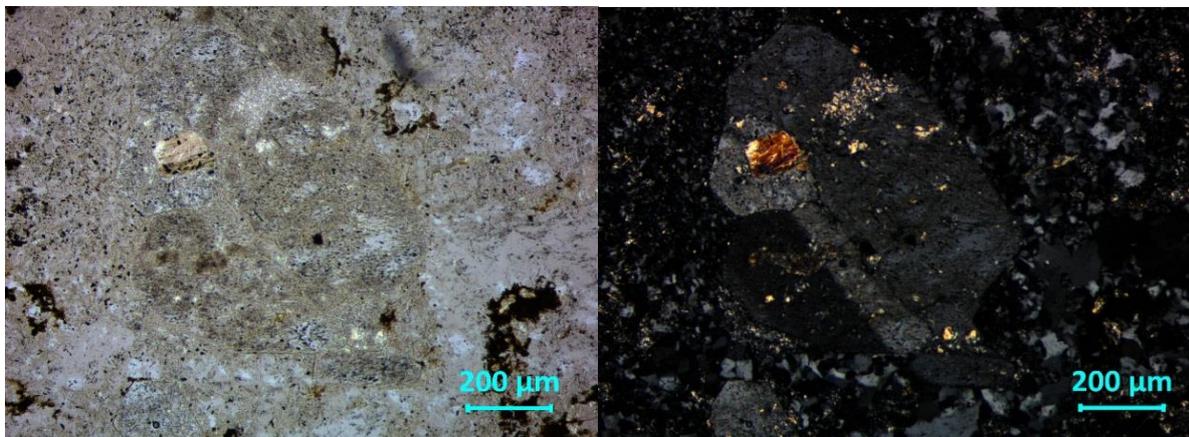


Figura 46. Feldespatos levemente sericitizados. Aumento 10x LPNA y LPA

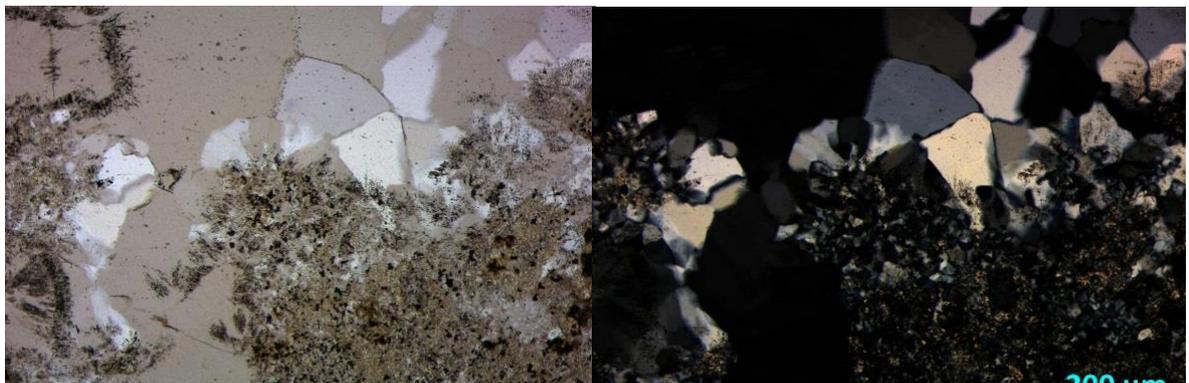


Figura 47. Mosaico de cuarzo dentro de una vetilla, matriz ligeramente silicificada. Aumento 10x, LPNA y LPA.

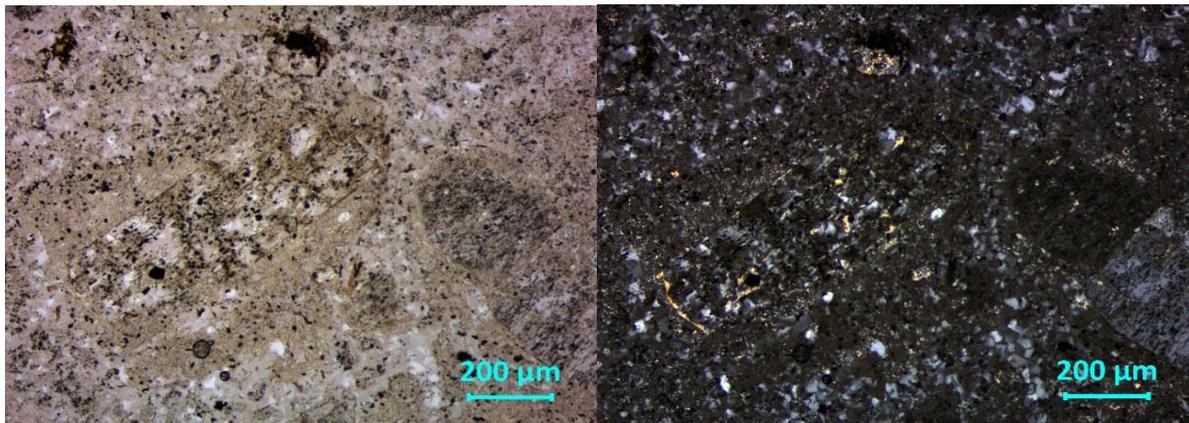


Figura 48. Pseudomorfo de plagioclasa reemplazado por sericita y cuarzo. Aumento 10x, LPNA y LPA.

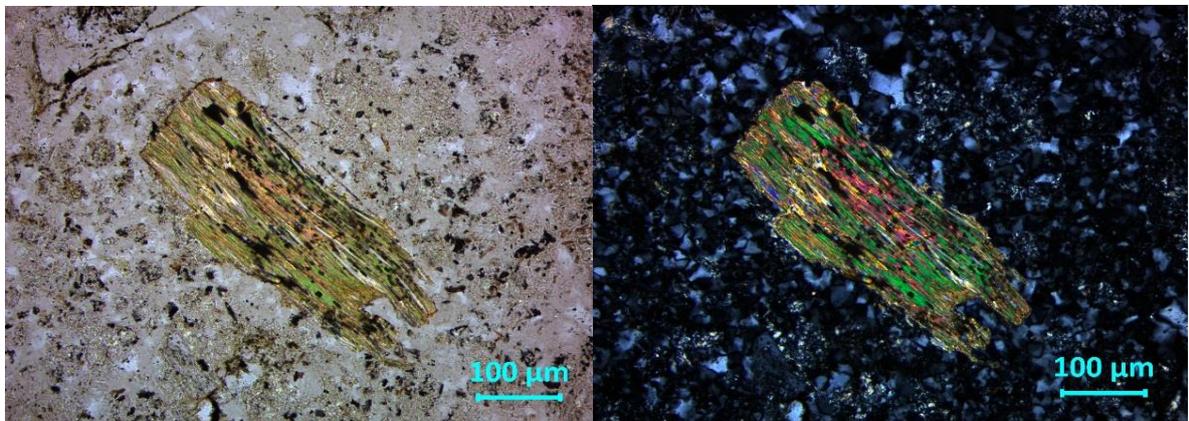


Figura 49. Moscovita euedral, tabular, reemplazada parcialmente por clorita, matrizsericitizada y silicificada. Aumento 20x, LPNA y LPA.

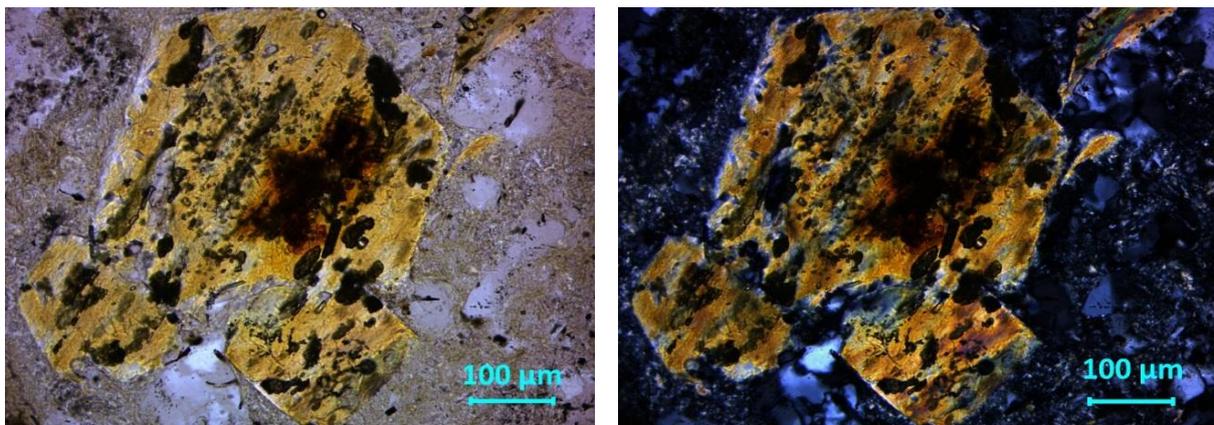


Figura 50. Cristales de anfíbol euedral, levemente reemplazada por cuarzo. Aumento 20x LPNA y LPA.

AGS024

Descripción:

Fragmentos de roca

- 1) Roca máfica de grano medio con textura perlítica, fracturas redondeadas y rellenas de sericita aproximadamente hasta 1.80 mm. 30%
- 2) Roca muy oxidada solo se ven los relictos de minerales opacos c, euedrales, cuadrados, tamaño de los opacos, matriz muy oxidada con cuarzo y sericita. 15%.
- 3) Rocas muy silicificadas de grano muy fino redondeado, 5%.
- 4) Roca máfica, totalmente silicificada, se ven los relictos de plagioclasa silicificada y oxidada. 5%.

Matriz de grano muy fino con diferentes fragmentos de roca, polimíctico, redondeados, mal seleccionados. Abundancia 25%.

Cuarzo, fragmentos subedrales a anedrales, inequigranulares, aproximadamente la mitad de los cristales de cuarzo presenta bahías, hasta 0.90 mm de longitud. Abundancia 5%.

Pseudomorfo de **anfíbol**, reemplazado por sericita con inclusiones solidas de minerales muy pequeños, hasta 0.3 mm de longitud. Abundancia 5%.

Moscovita, euedral, tabular inequigranulares, parcialmente reemplazada por sericita y clorita. Abundancia 3%.

Apatito, cristales de grano fino, subedrales, dentro de la matriz y dentro de algunos fragmentos de roca. Abundancia <1%

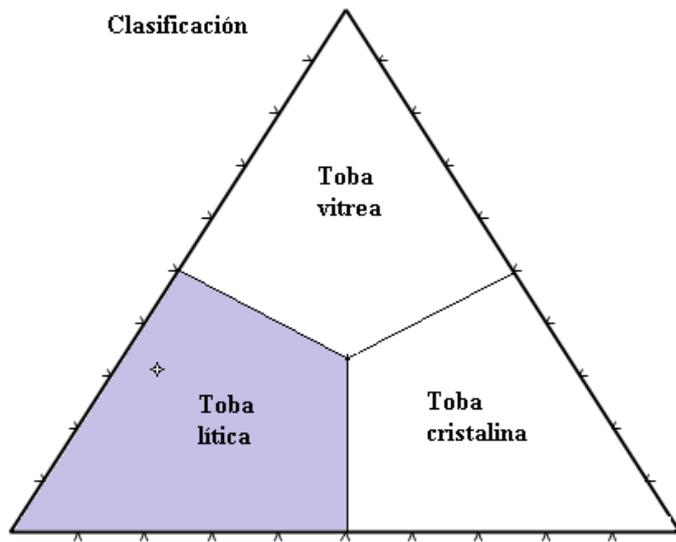
Zircones dentro de los fragmentos de roca, euedrales, inequigranulares hasta 0.8 mm. Abundancia <1%

Alteración:

Cuarzo, en forma de vetillas atravesando los fragmentos de roca, por lo tanto, un evento anterior a la formación de la toba. Hay un segundo evento de vetillas dentro de la toba compuesta por cuarzo y óxidos. Y el tercer evento cortando fragmentos de roca y el segundo evento son vetillas de cuarzo criptocristalino. Intensidad moderada.

Sericita, alterando a feldespatos en algunos fragmentos de roca dentro de la matriz. También se encuentra levemente dentro de la matriz de la toba.

Clasificación:



Nombre de la roca:

Toba lítica de ceniza

Figura 51. Triángulo de clasificación para rocas piroclásticas.

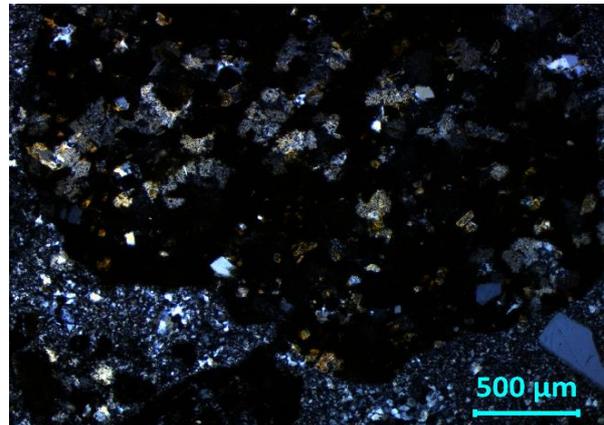
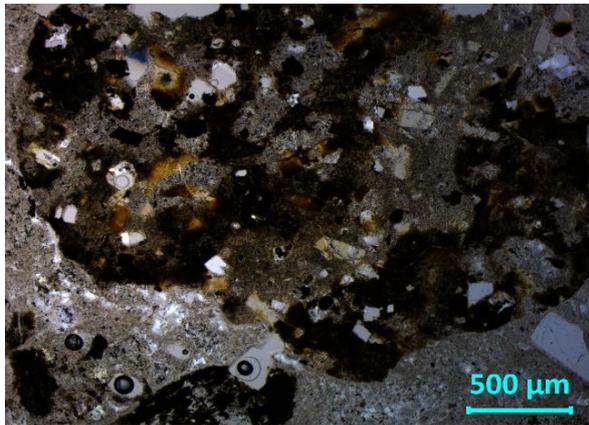


Figura 52. Fragmento de roca muy oxidado, con relíctos de opacos. Aumento 5x, LPNA y LPA.

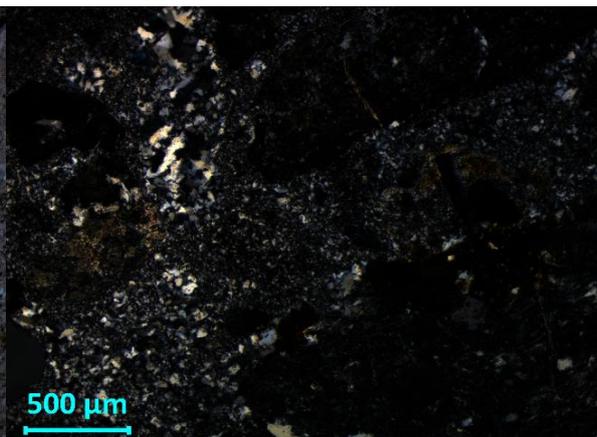
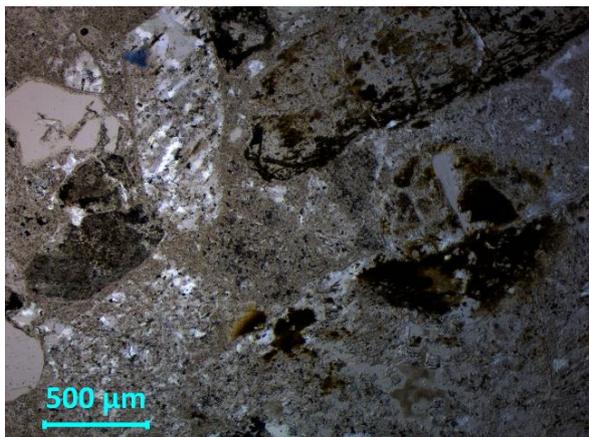


Figura 53. Fragmentos de roca, diferentes entre sí, oxidados, silicificados dentro de una matriz de grano fino silicificada. Aumento 5x, LPNA y LPA.

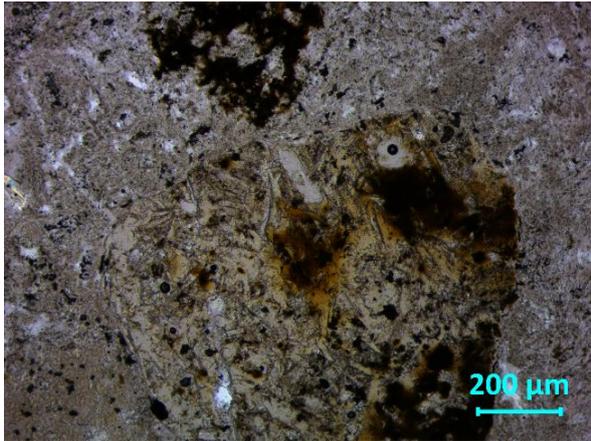


Figura 54 Fragmento de roca mafica, previamente oxidado. Aumento 10 x y LPA.

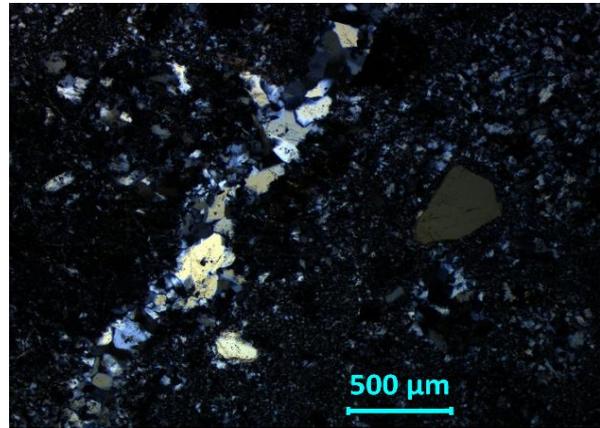
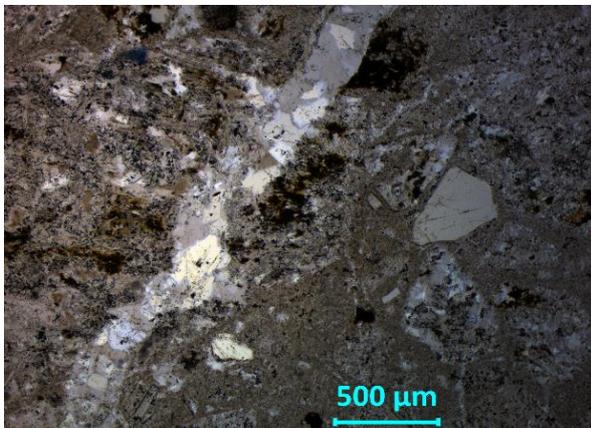


Figura 55. Vetilla de cuarzo cortando un pseudomorfo de plagioclasa reemplazado por cuarzo. Aumento 5x, LPNA y LPA.



Figura 56. Cristales de cuarzoes y silicificaci3n alrededor de ellos. Aumento 10x, LPNA.

AGS029

Descripción:

Roca ígnea con **matriz** criptocrystalina con textura porfídica con fenocristales de plagioclasa con un tamaño de 1.78 mm de largo sericitizados parcialmente y con carbonatos, con macla polisintética y con mosaicos de cuarzo. Abundancia 61%

Plagioclasa, eudral a subedral, con maclas polisintéticas y de Carlsbad, 1.5 mm hasta 3.6 mm de largo, inequigranulares, levemente fracturado. Levemente sericitizada, reemplazada parcialmente por carbonatos, patrón de alteración irregular, fracturas rellenas de clorita y sericita. Presenta algunos glomerocristales de 7.2 mm de largo, con las mismas características anteriormente mencionadas. Abundancia 15%

Pseudomorfos de **feldespatos** completamente sericitizados y oxidados, eudrales a subedrales, hasta 3.5 mm de longitud, inequigranulares, moderadamente fracturado. Abundancia 8%.

Cristales de **cuarzo**, subedral a anedral, levemente fracturado, fracturas rellenas por calcita o cuarzo en mosaicos, 0.45 mm hasta 1 mm de longitud. Abundancia 6%.

Hornblenda, eudral a subedral, inequigranulares, de 0.5mm hasta 1.78 mm de longitud, presenta oxidación en el centro del mineral, con inclusiones de ilmenita, reemplazada por clorita, sericita, óxidos y cuarzo. Abundancia 3%.

Pseudomorfo de **moscovita**, tabular, eudral a subedral, de 1.2 mm de largo, inequigranulares, un poco oxidada, con inclusiones de zircones e ilmenita paralelas a las fibras del mineral, reemplazada por sericita y cuarzo en su interior con un patrón de alteración lineal paralelo. Abundancia 3%.

Cristales de **opacos**, subedrales a anedrales, parcialmente oxidados, minerales que se encuentran dentro de las plagioclasas no están oxidados. Abundancia 2%.

Cristales de **apatito**, eudrales a subedrales de 0.11 mm de longitud, levemente fracturado. Abundancia 1%.

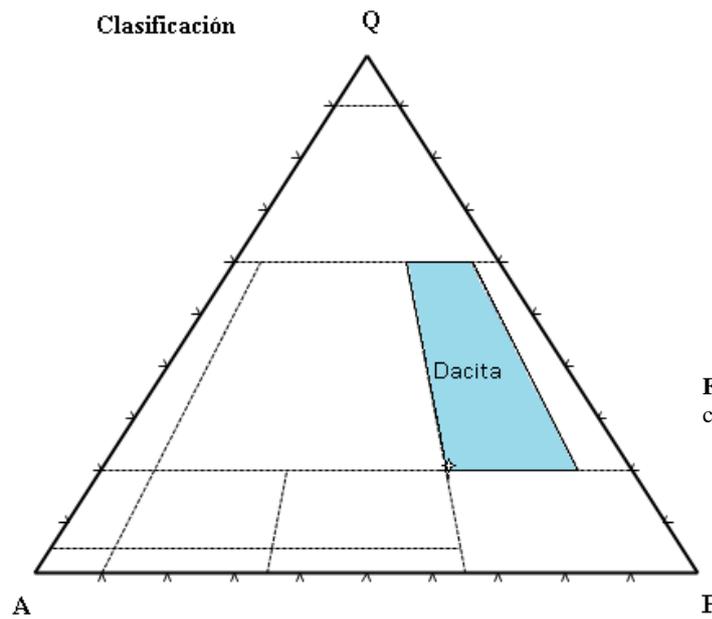
Alteración:

Calcita, mosaicos presentes en vetillas con opacos, cristales reemplazados parcialmente en la parte interna. Intensidad moderada.

Sericita, se encuentra reemplazando levemente en el crucero o en la periferia de los cristales. Intensidad débil

Cuarzo, mosaicos de cuarzo dentro de la matriz y dentro de algunos cristales en la parte interna.

Clasificación



Nombre de la roca:

Dacita de plagioclasa.

Figura 57. Clasificación con diagrama QAP de acuerdo con Streckeisen para rocas ígneas volcánicas.

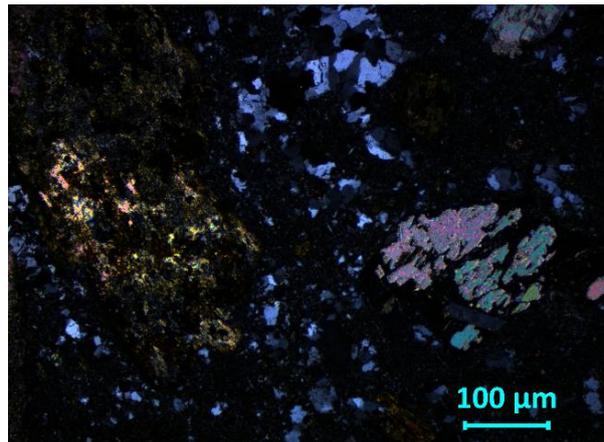
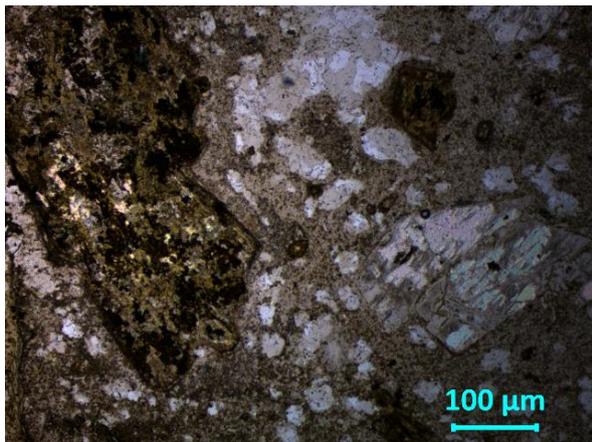


Figura 58. Plagioclasa reemplazada parcialmente con calcita y feldespato reemplazado por sericita y óxidos. Aumento 20 x, LPNA y LPA.

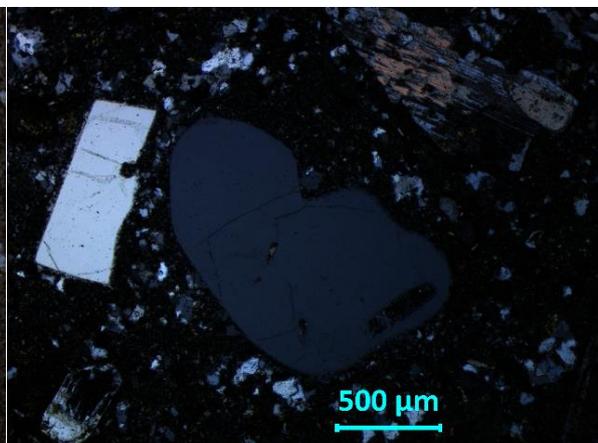


Figura 59. Cristales de feldespato y cuarzo con bahías, con una matriz silicificada. Aumento 5x LPNA y LPA.

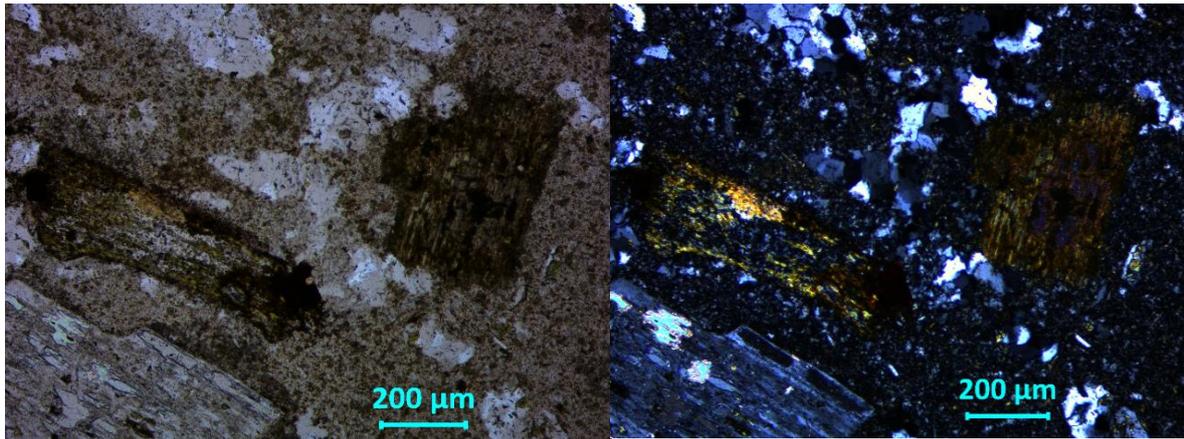


Figura 60. Pseudomorfos de micas reemplazadas por sericita y cuarzo criptocristalino. Aumento 10x, LPNA y LPA.

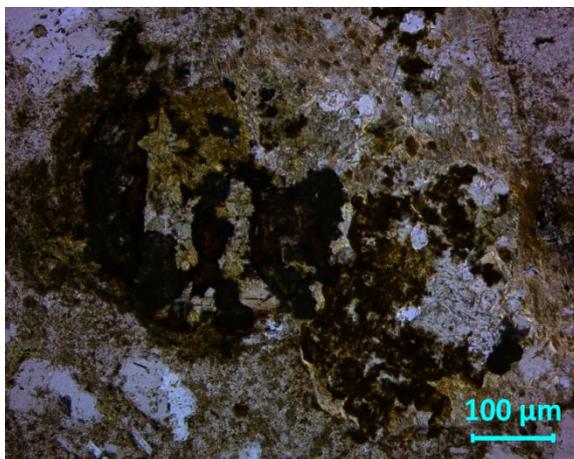


Figura 61. Hornblenda hidroxidada, atravesada por una vetilla de cuarzo. Aumento 20x, LPNA.

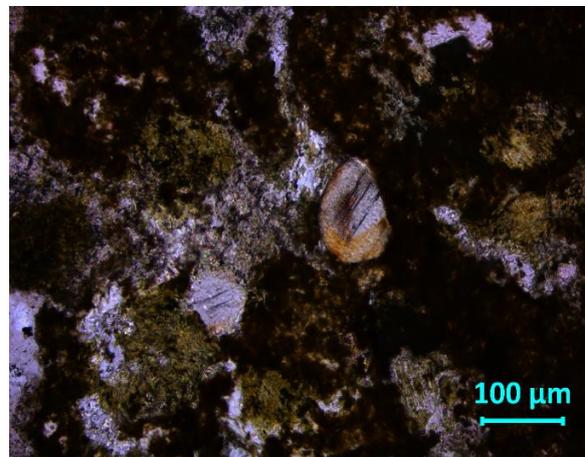


Figura 62. Apatito en un glomerocrystal de pseudomorfos de feldspato. Aumento 20x, LPNA..

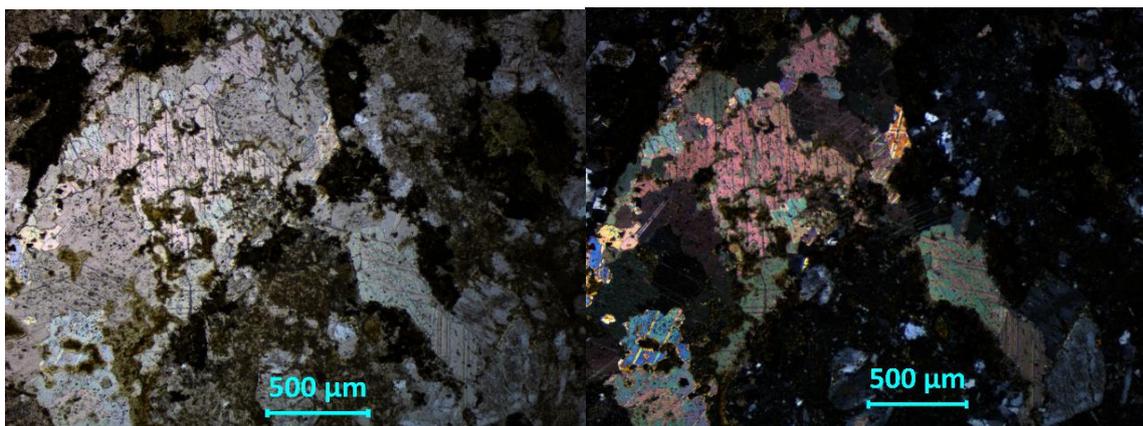


Figura 63. Mosaico de calcita y cuarzo.

AGS034

Descripción:

Feldespatos, eudral a subedral, hasta 2.7 mm de longitud, inequigranulares, levemente fracturados, presenta textura de tamiz por la sericita. Abundancia 35%

Plagioclasa, inequigranular, eudral a subedral, de 1.80 mm a 3 mm de longitud, levemente fracturado, inequigranular, con un patrón de alteración regular cruzado, lo están alterando clorita, sericita y calcita, poco perceptible macla polisintética. Abundancia 25%.

Matriz de grano muy fino de cuarzo, vidrio, sericita, presenta esferulitas, textura porfídica. Abundancia 16%.

Moscovita tabular, eudral, de 1 mm hasta 0.50 mm de longitud parcialmente alterado, inequigranulares, con un patrón de alteración regular paralelo, el mineral que lo está alterando es la clorita, inclusiones de rutilo o ilmenita de grano muy fino que se encuentran a lo largo del mineral, inclusiones de zircones y apatito. Abundancia 6%.

Pseudomorfo de **hornblenda**, eudral a subedral, hasta 1 mm de largo, fracturado moderadamente, silicificado, y en las fracturas y en el crucero este relleno de sericita, con un patrón de alteración regular. Abundancia 4%.

Cristales de **cuarzo**, fragmentos subedrales a anedrales, inequigranulares, contienen bahías, levemente fracturado y rellenas de sericita, de 0.50 mm a 2 mm de tamaño. Abundancia 3%.

Cristales de **piroxeno**, crucero muy marcado y oxidado, en el crucero reemplazado por sericita, de 0.22 mm de longitud. Abundancia 2%.

Cristales de **opacos**, eudrales a subedrales, principalmente hexagonales, 0.2 mm de longitud. Abundancia 2%.

Cristales de **zircones** eudrales dentro de la matriz hasta 0.5 mm de longitud, equigranulares. Vetillas de cuarzo y calcita. Abundancia <1%.

Fragmentos de roca, textura porfídica, con fenocristales de plagioclasa eudrales, equigranulares, hasta 8.3 mm de longitud, seritizada con textura de tamiz, y matriz de plagioclasa y óxidos fino, cristales de hornblenda eudrales, inequigranulares, 0.45 mm de longitud, cloritizados. Abundancia 5%.

Alteración:

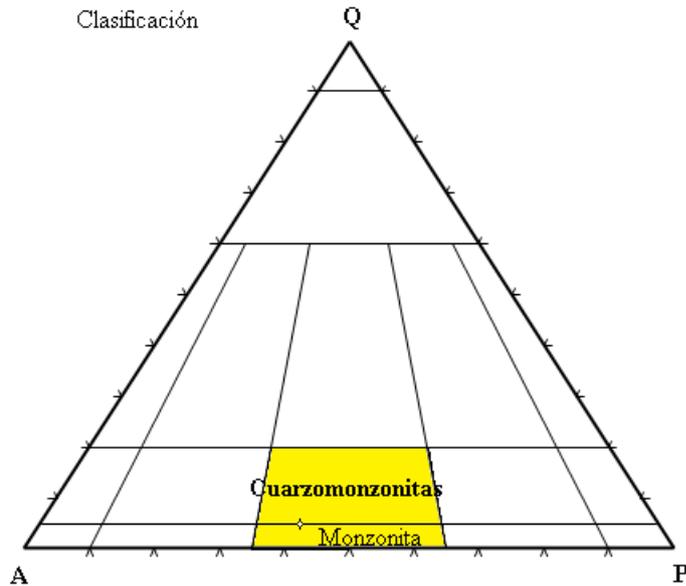
Calcita, presente en vetillas y reemplazando parcialmente dentro de algunos cristales de plagioclasa junto con la clorita. Intensidad débil.

Sericita, con textura de tamiz dentro de las plagioclasas, en el crucero y en las fracturas de estas.

Clorita, presente en la matriz, fracturas de minerales y reemplazamiento por la periferia y crucero de algunos cristales reemplazados por calcita.

Cuarzo, recrystalizado en matriz y vetillas junto con la sericita.

Clasificación:



Nombre de la roca:

Curazomonzonita – monzonita de plagioclasa.

Figura 64. Clasificación con diagrama QAP de acuerdo con Streckeisen para rocas ígneas plutónicas. Intersección perteneciente a Monzonita y Cuarzomonzonita.

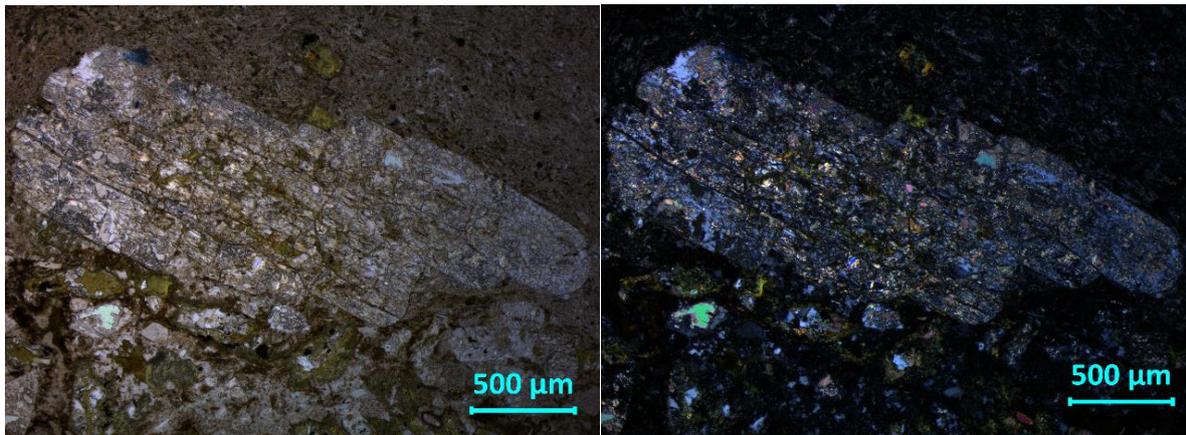


Figura 66. Plagioclasa reemplazada parcialmente por sericita y calcita. Aumento 5x, LPNA y LPA.

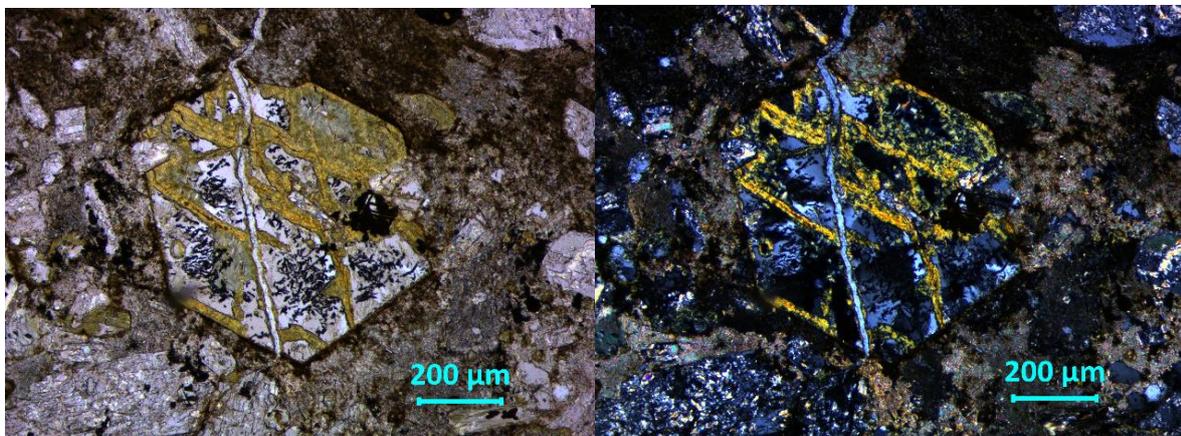


Figura 65. Pseudomorfo de anfíbol con un patrón de reemplazamiento cruzado regular, reemplazado por epidota en la parte del cruceo y cuarzo en el interior. Aumento 10x, LPNA y LPA.

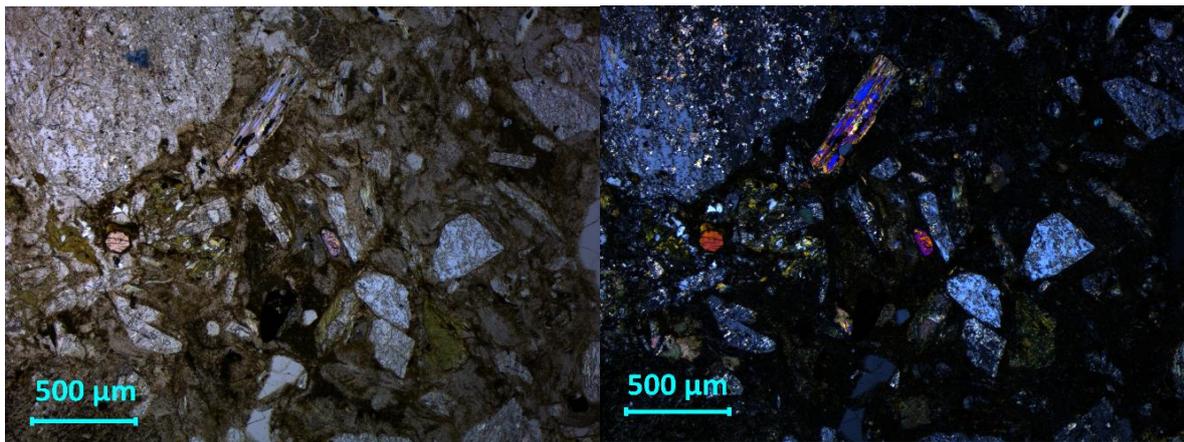


Figura 67. Feldespato en la parte superior izquierda, moscovita a un lado, plagioclasa, zirrones envueltos en una matriz de grano muy fino. Aumento 5x, LPNA y LPA.

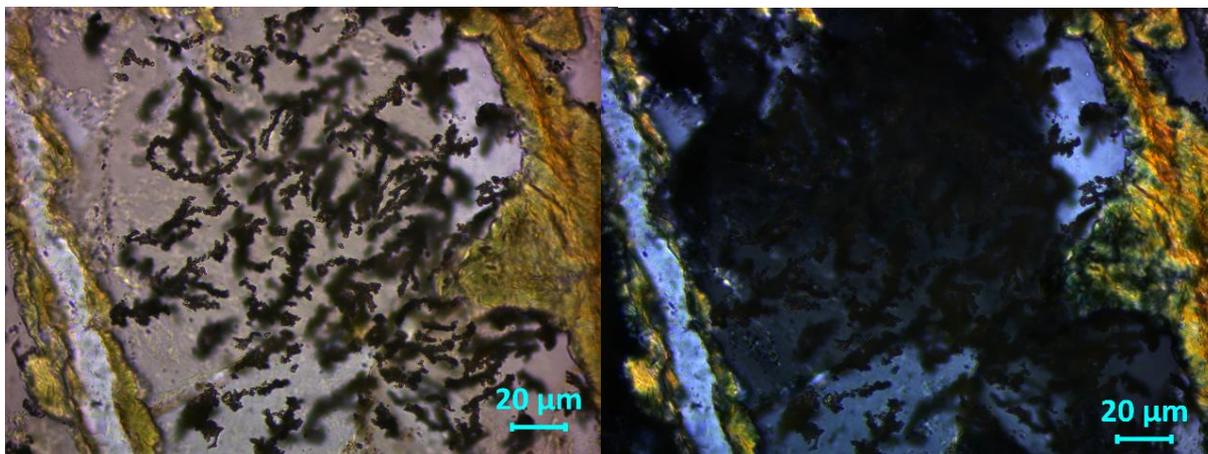


Figura 68. Anfíbol de la imagen anterior con un aumento 63x, LPNA y LPA. Epidota con dendrítica dentro del cristal.

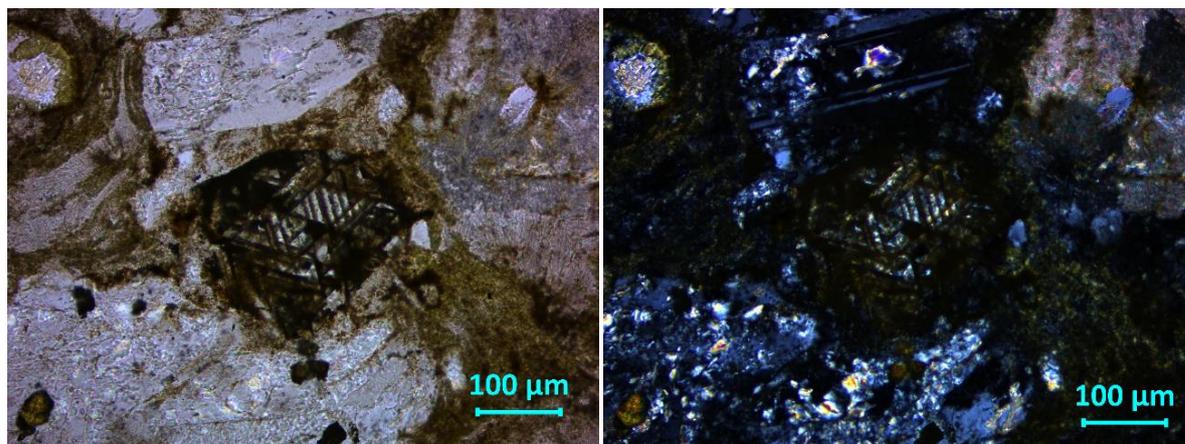


Figura 69. Cristal de hornblenda con los bordes oxidados. Aumento 20x LPNA y LPA.

PAG099

Descripción:

Fragmentos de roca

- 1) Fragmentos de andesita basáltica, textura afanítica, con un fenocristal de plagioclasa de 1 mm de tamaño, matriz de plagioclasa de grano fino, cavidades silicificadas con forma circular o elíptica, con textura por sectores, al contorno del fragmento tiene hematita y sericita. La matriz presenta un poco de hematita. 30%.
- 2) Fragmento de roca totalmente silicificada con un mosaico de cuarzo de grano fino. 15%.
- 3) Fragmentos de Andesita, con vetillas de cuarzo 10 %.

Cristales de **plagioclasa** subedrales a anedrales, de 0.28 hasta 0.66mm, muy sericitizados en el contorno, y reemplazado parcialmente por calcita. Patrón de alteración regular cruzado, inequigranular, levemente fracturado. Abundancia 10%.

Matriz de grano muy fino hipohialina de cuarzo vidrio y sericita, contiene fragmentos de diferentes minerales y fragmentos de roca. Abundancia 17%.

Cristales de **cuarzo**, euedral-anedral, tamaño de 0.45 hasta 1.2 mm, inequigranular, algunos presentan bahías, levemente fracturado. Abundancia 4%.

Cristales de **hornblenda**, pseudomorfos euedrales a subedrales reemplazados en su totalidad por clorita, de tamaño hasta 1 mm, levemente fracturado, entre fracturas encontramos sericita. Inequigranular, patrón de alteración regular cruzado. Abundancia 3%.

Moscovitas tabulares reemplazados un 90% por clorita, de 0.33mm a 0.40mm de longitud. Inequigranulares, con un patrón de alteración regular paralelo. Abundancia 3%.

Opacos, cristales euedrales a subedrales de grano fino dentro de la matriz. Abundancia 1%.

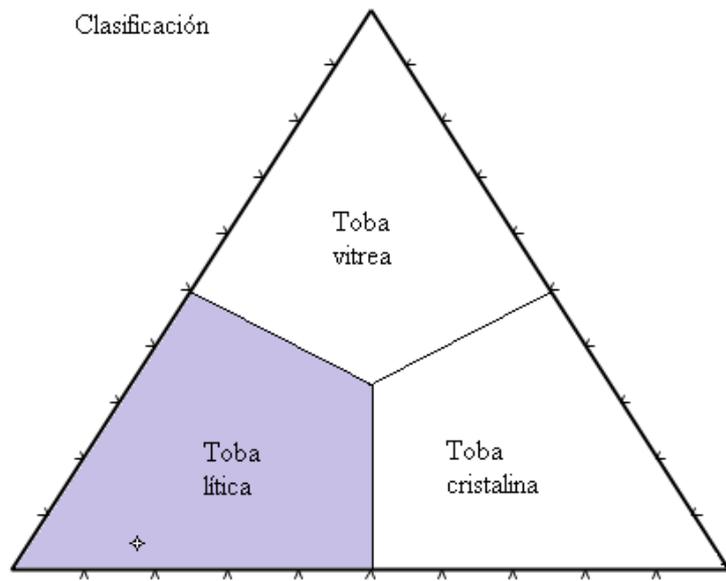
Alteración:

Clorita, reemplazando parcialmente algunos cristales de la matriz y de los fragmentos de roca.

Calcita, reemplazando parcialmente cristales de plagioclasa por el centro. Vetillas de calcita con sericita.

Sericita, en la matriz de la muestra y en la periferia de algunos cristales de plagioclasa al igual que los fragmentos de roca.

Clasificación:



Nombre de la roca:

Toba lítica de ceniza

Figura 70. Clasificación de rocas piroclásticas.

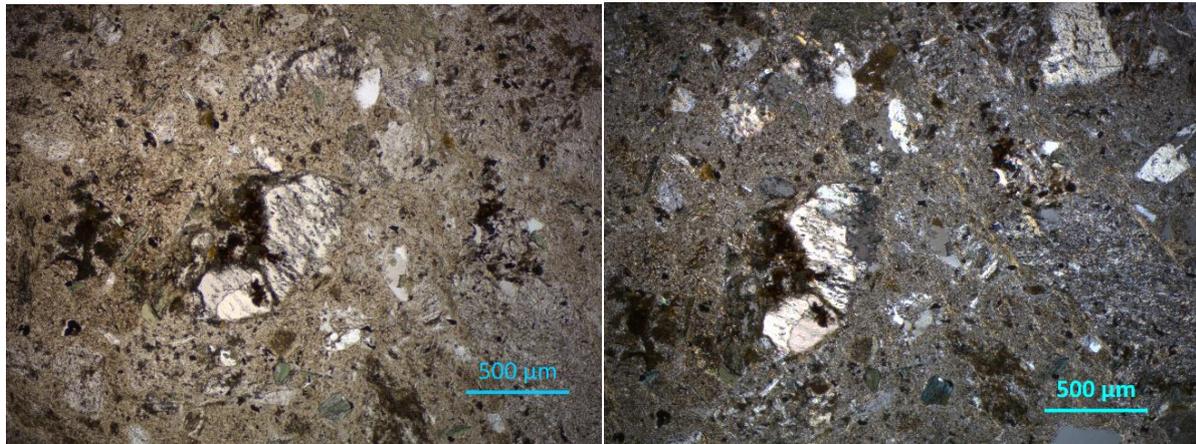


Figura 71. Fragmentos de roca dentro de una matriz de grano fino, con cristales de cuarzo y cristales cloritizados. Aumento 5x, LPNA y LPA.

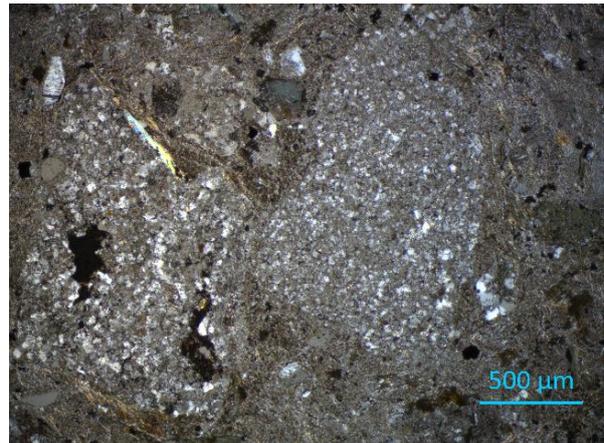
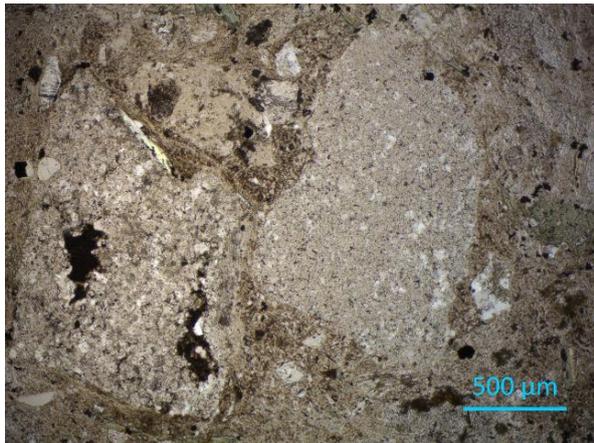


Figura 72. Fragmentos de roca máfica con opacos y roca totalmente silicificada, Aumento 5x, LPNA y LPA.



Figura 73. Fragmento de roca máfica con pseudomorfos de microfenocristales de plagioclasa reemplazadas por calcita. Aumento 5x, LPA.

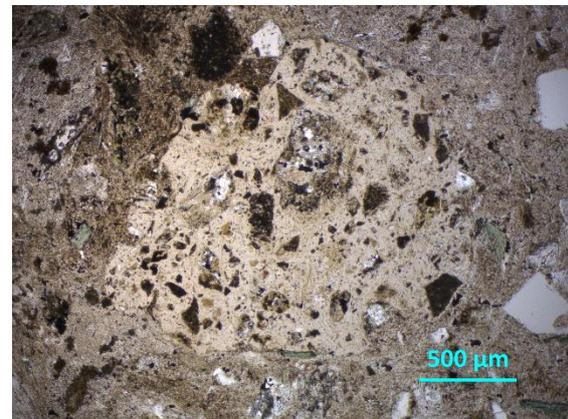


Figura 74. Fragmento de roca con minerales opacos levemente oxidados. Aumento 5x, LPNA.

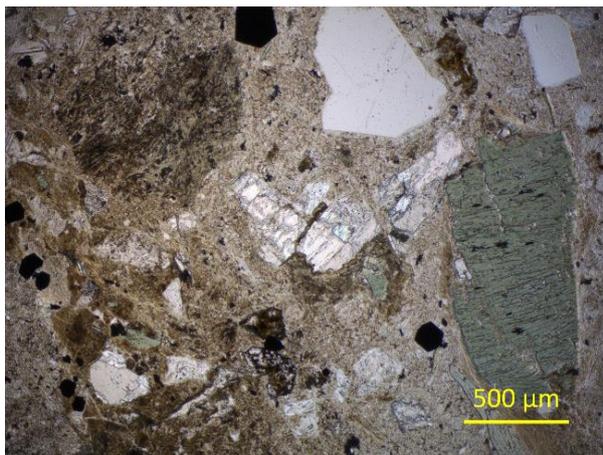


Figura 75. Matriz con fragmentos de cuarzo, feldespato, plagioclasa reemplazada en su totalidad por carbonatos, micas reemplazadas en su totalidad por clorita, opacos y fragmentos de roca. Aumento 5x, LPNA y LPA.

PAG144

Descripción:

Matriz de grano fino, criptocristalino, hipocristalina, con cuarzo, vidrio y plagioclasa eudral de grano fino, textura afanítica. Abundancia 41%.

Cristales de **plagioclasa**, fenocristales de 1.5 a 7.5 mm de tamaño, eudrales, con sericita aproximadamente un 10 %, algunas plagioclasas presentan zonación concéntrica, con un patrón de alteración regular e irregular. Cristales muy fracturados, fracturas rellenas con clorita, sericita y hematita, presentan exsolución en el centro del cristal, inequigranulares. Abundancia 25%.

Cristales de **hornblenda**, pseudomorfos reemplazados totalmente por clorita y calcita, con un patrón de alteración cruzado irregular, levemente fracturados, eudrales a subdrales, entre las fracturas hay crecimiento de epidota, cristales inequigranulares. Encontramos glomerocristales de hornblenda y plagioclasa. Abundancia 8%.

Cristales de **cuarzo**, eudral a subdral, levemente fracturado, inequigranulares, hasta 1 mm de longitud. Abundancia 6%.

Pseudomorfos de **moscovita** reemplazada por clorita, eudrales a subdrales, tabulares, con un patrón de alteración regular paralelo. Hasta 0.5 mm de longitud, con inclusiones solidas de ilmenita a lo largo dl crecimiento de las fibras. Abundancia 3%.

Pseudomorfos de **anfíbol** eudral a subdral, reemplazado por calcita y clorita, inequigranulares, hasta 1.3 mm de longitud, levemente fracturado, fracturas irregulares, entre las fracturas hay intercrecimientos de epidota. Abundancia 2%.

Cristales de **opacos**, eudrales a subdrales, hasta de 1.8 mm, oxidación en la periferia del mineral, con forma cuadrada. Abundancia 2%.

Cristales de **apatito** eudrales a subdrales, con un tamaño de 0.55 mm, equigranulares, presenta lamelas de exsolución que nos indican que se cristalizaron con una mayor temperatura en el centro. Abundancia 1%.

Cristales de **zircones** eudrales a subdrales, hasta 0.03 mm de longitud. Abundancia <1%.

Alteración:

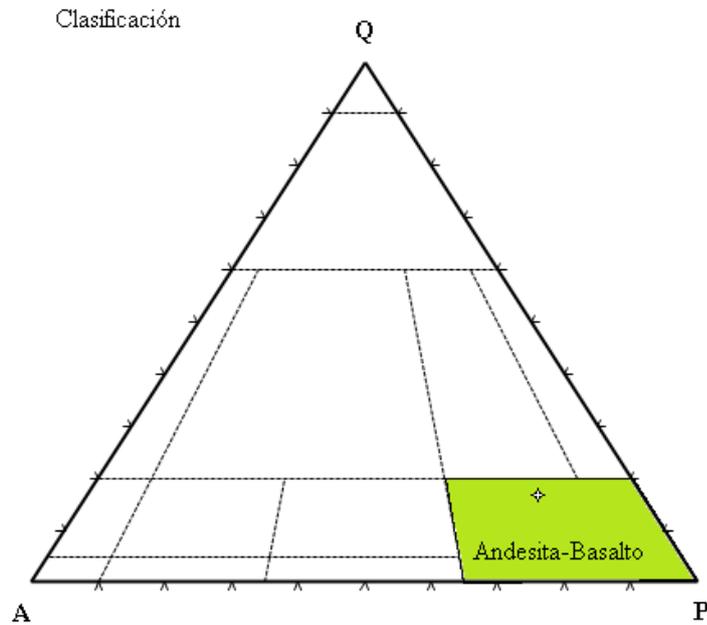
Clorita reemplazando un 80% de los fenocristales de hornblenda, subdrales y eudrales, dentro de los pseudomorfos de hornblenda se encuentran cristales de ilmenita. Intensidad moderada.

Vetillas de clorita y calcita, espesor de 0.33mm vetilla de clorita y 30 micras de calcita. Vetillas de cuarzo y carbonatos, estos últimos son eventos más jóvenes.

Calcita, reemplazamiento parcial de algunas plagioclasas en la parte interna, también se encuentra en algunas vetillas. Intensidad moderada.

Sericita, rellenando fracturas de las plagioclasas al igual que su crucero o los diferentes planos de crecimiento en las plagioclasas zoneadas. Intensidad moderada.

Clasificación:



Nombre de la roca:

Andesita de plagioclasa

Figura 76. Clasificación con diagrama QAP de acuerdo con Streckeisen para rocas ígneas volcánicas.

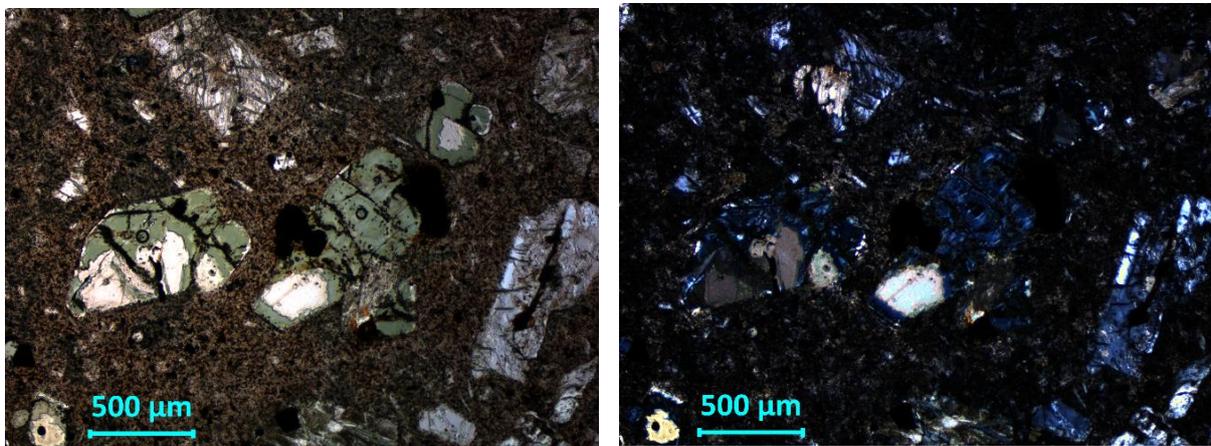


Figura 77. Pseudomorfo de anfíbol reemplazada por clorita y calcita. Aumento 5x, LPNA y LPA.

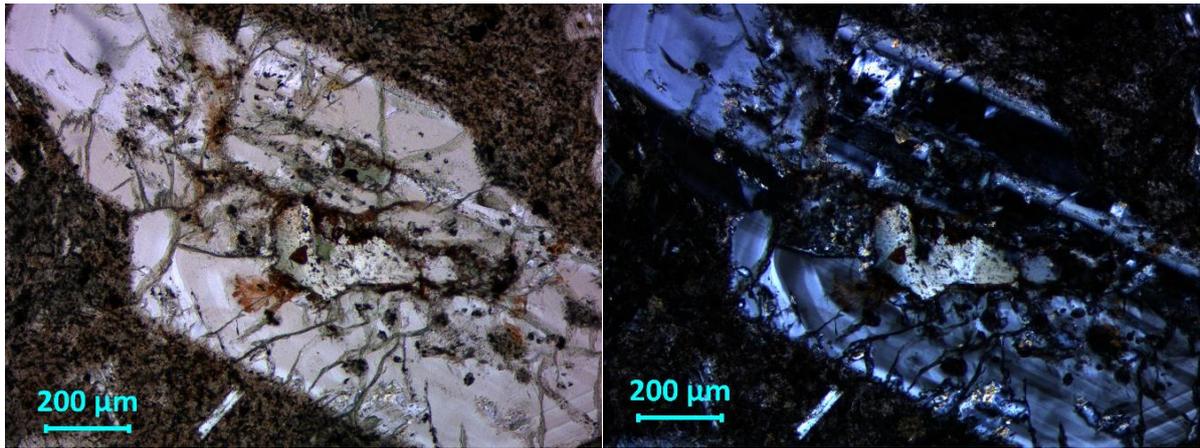


Figura 78. Plagioclasa zoneada, sericitizada en el centro y con un poco de oxidación en las fracturas. Aumento 10x, LPNA y LPA.

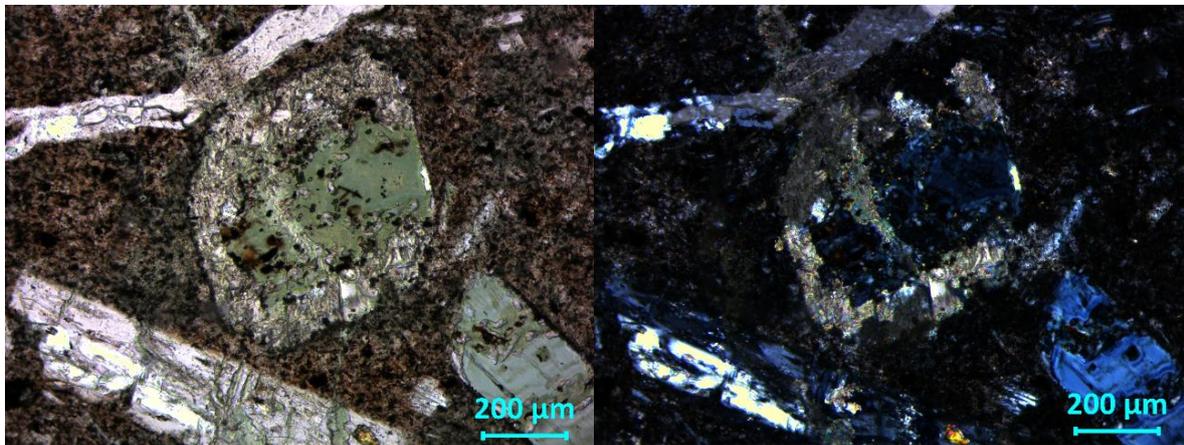


Figura 79. Pseudomorfo de anfíbol reemplazado por clorita y carbonatos, en la parte inferior hay presente una plagioclasa fracturada y entre las fracturas clorita. Aumento 10x, LPNA y LPA.

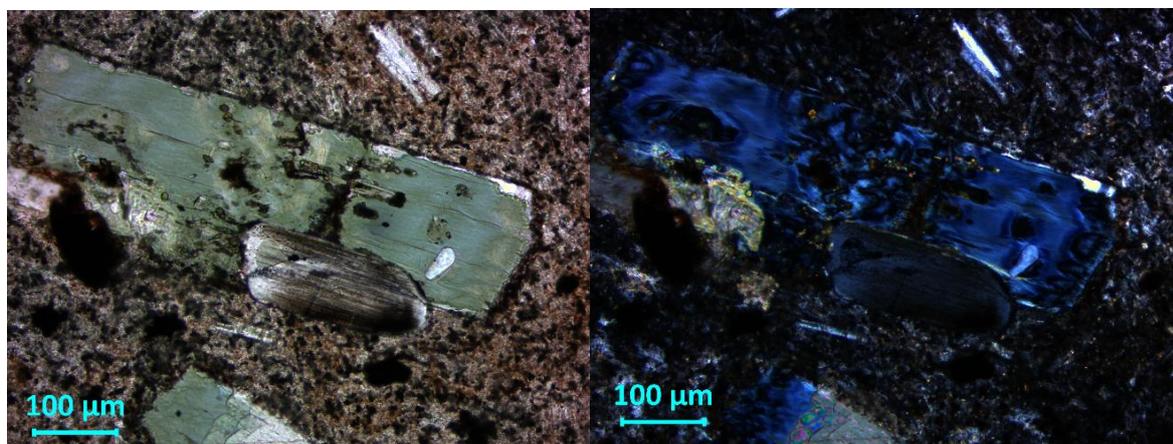


Figura 80. Cristal de apatito con pseudomorfo de plagioclasa o feldespato reemplazado totalmente por clorita, con intercrecimiento de cristales de epidota en las fracturas. Aumento 20x, LPNA y LPA.

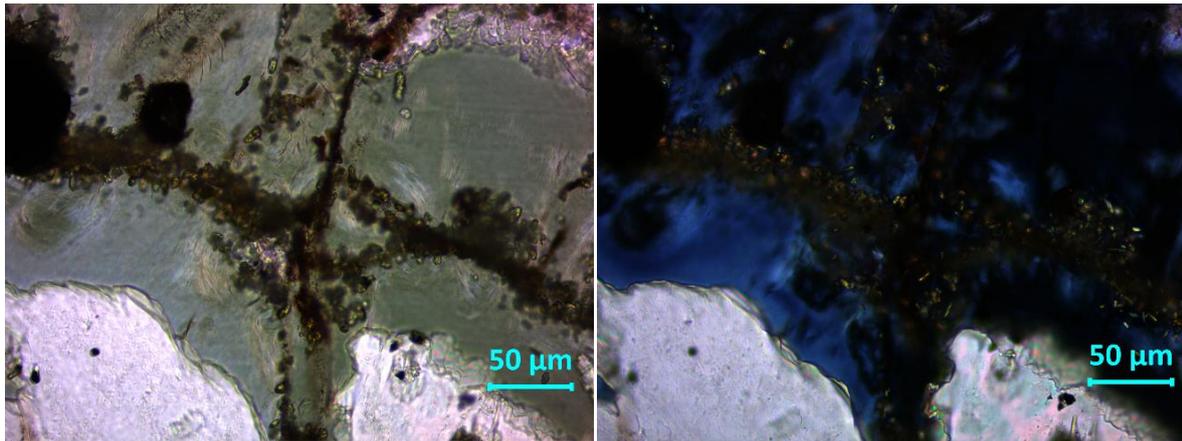


Figura 81. Pseudomorfo de anfíbol con intercrecimiento de epidota en las fracturas y calcita y clorita reemplazándolo. Aumento 40x LPNA y LPA.

PAG155

Descripción:

Matriz holocristalina, de grano fino, totalmente silicificada, con mosaicos de cuarzo de diversos tamaños y con sericita. Presenta esferulitas de 0.05 mm, textura afanítica. Abundancia 61%.

Cristales de **plagioclasa**, pseudomorfos reemplazados totalmente por sericita, euedrales a anedrales, inequigranulares, de 0.89 mm de tamaño. Abundancia 10%.

Cristales de **feldespatos** subedrales a anedrales, hasta 0.7 mm de longitud, elongados, siguiendo la dirección del flujo. Abundancia 10%.

Cristales de **cuarzo**, subedral a anedral, tamaño de 0.62 mm a 1.35 mm, inequigranulares, contienen bahías en la periferia y en el centro del mineral. Abundancia 6%.

Cristales de **hornblenda**, euedrales a subedrales, reemplazados totalmente por clorita y calcita hasta 0.55mm de tamaño, con un patrón de alteración cruzado regular. Presenta inclusiones sólidas pequeñas de cristales de ilmenita. Abundancia 5%.

Cristales de **moscovita** euedral a subedral, tabular, 0.92 mm a 0.22 mm de largo, con un patrón de alteración regular paralelo, reemplazado un 30% por sericita y clorita. Abundancia 4%.

Cristales **opacos**, subedrales y anedrales de 0.25mm a 0.33 mm de largo, con forma cuadrada y hexagonales, no presentan oxidación, parecen que tiene una dirección preferencial con flujo. Abundancia 2%.

Cristales de **zircones** en la matriz euedrales de 60 micras. Abundancia <1%.

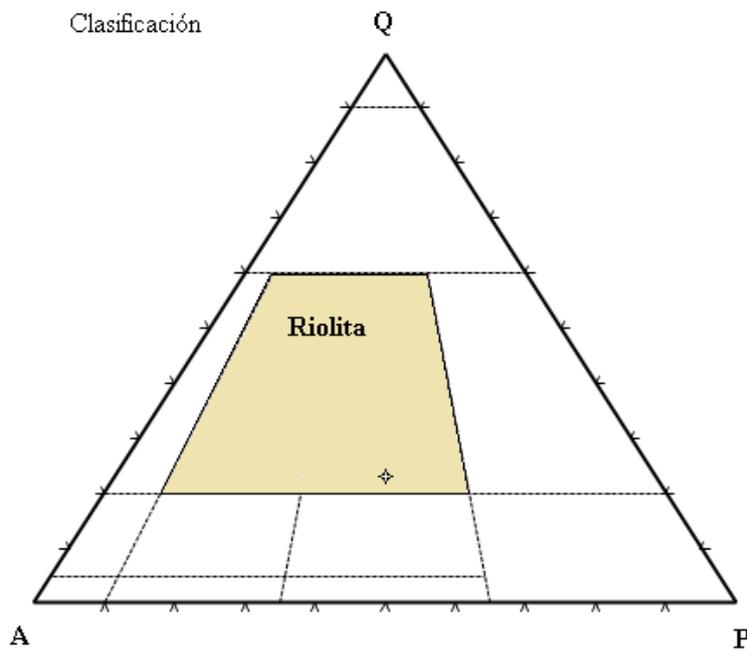
Apatito, cristales subedrales de grano fino. Abundancia <1%.

Minerales de alteración:

Sericita, reemplazando a los minerales en la periferia y el cruceo principalmente los feldespatos. Presente en la matriz.

Cuarzo, reemplazando algunos cristales en la parte interna. Vetillas de cuarzo criptocristalino, contiene opacos subedrales a anedrales.

Clasificación:



Nombre de la roca:

Riolita de feldespato y plagioclasa.

Figura 82. Clasificación con diagrama QAP de acuerdo con Streckeisen para rocas ígneas volcánicas.

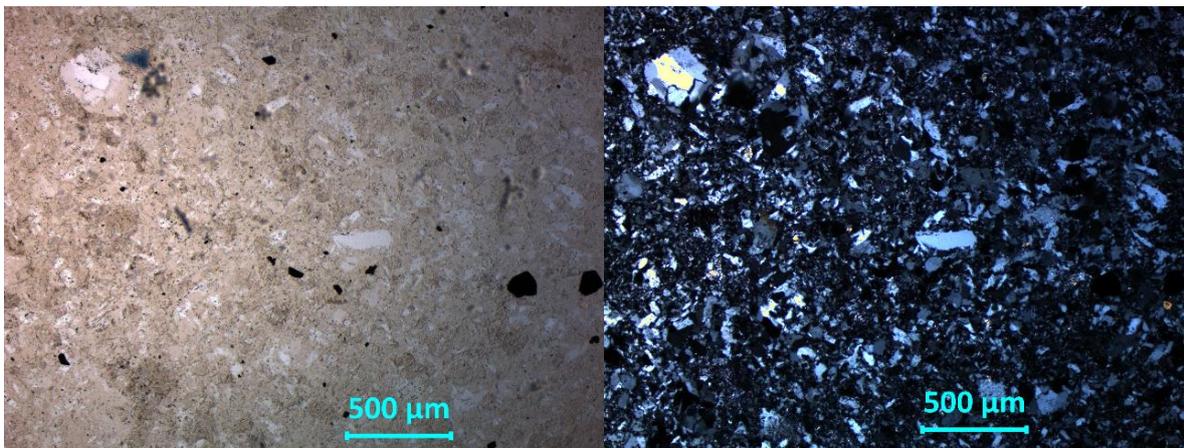


Figura 83. Matriz totalmente silicificada y sericitizada.

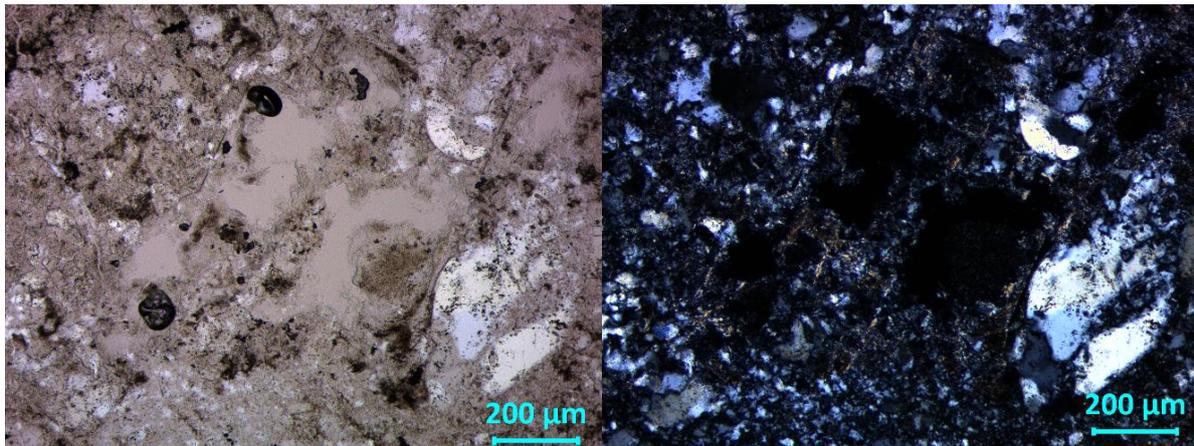


Figura 84. Pseudomorfo de plagioclasa sericitizado en los bordes y silicificado. Aumento 10x, LPNA y LPA.

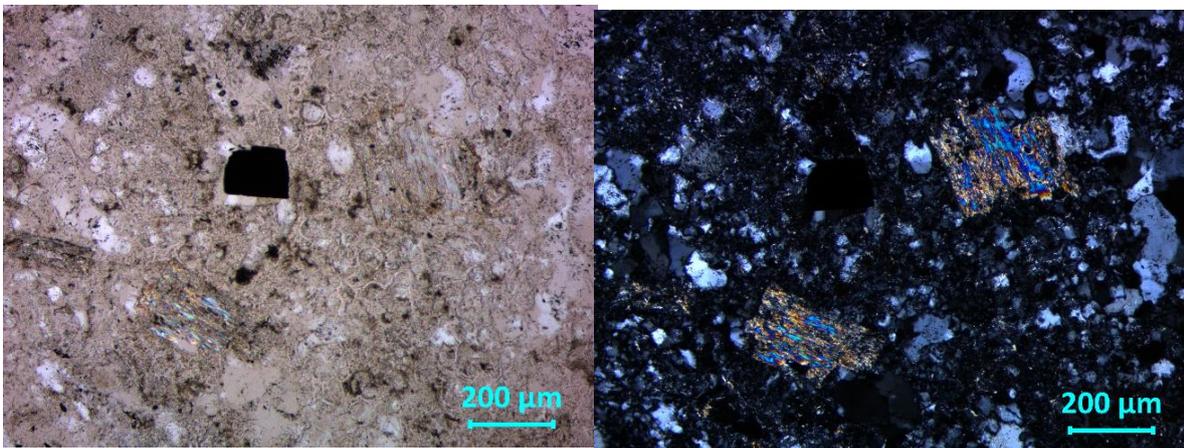


Figura 85. Moscovitas con un patrón de alteración lineal regular. Aumento 10x, LPNA y LPA.

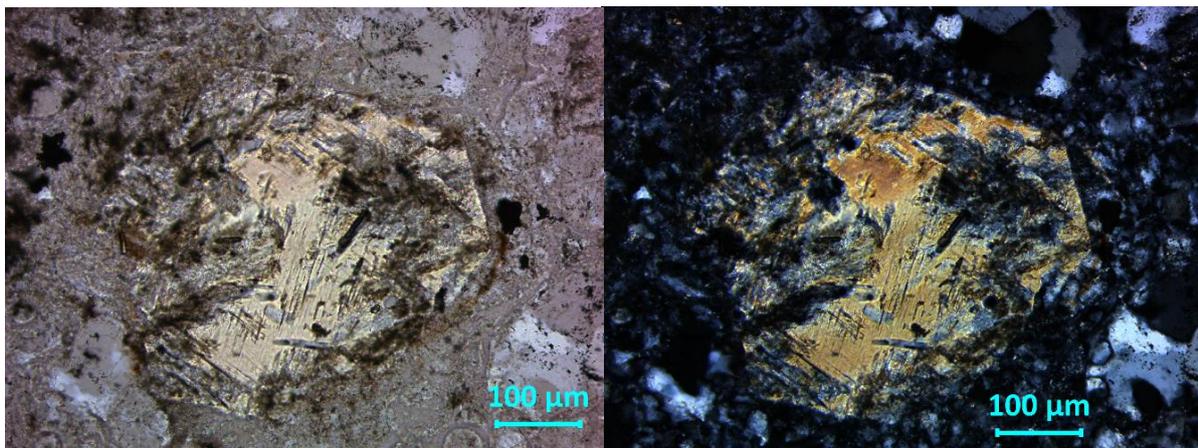


Figura 86. Anfíbol alterado en los bordes y en el centro. Aumento 20x, LPNA y LPA.

SJS004

Descripción:

Matriz criptocrystalina, hipohialina, compuesta de cuarzo, sericita y vidrio, con textura fluidal y con esferulitas. Abundancia 64 %.

Cristales de **plagioclasa**, eudral a subedral, de 0.89 mm hasta 1.78 mm de longitud, equigranulares, reemplazada totalmente por cuarzo, se puede observar algunas zonaciones gracias a la hematita que reemplazo algunas zonas, levemente fracturadas. Abundancia 10%.

Cristales de **feldespato**, subedrales a anedrales de 0.6 mm de longitud, inequigranulares, levemente fracturados. Abundancia 10%.

Cristales de **cuarzo**, en fragmentos, subedrales a anedrales, inequigranulares, algunos presentan bahías, 0.90 mm hasta 1.60 mm, levemente fracturados y rellenas de cuarzo criptocrystalino y hematita. Abundancia 6%.

Cristales de **hornblenda**, eudral a subedral, inequigranulares, moderadamente fracturada por el crucero, y crecimiento de minerales translucidos dentro de los cristales. Lustre opaco, hidroxidandose. Abundancia 3%.

Cristales de **moscovita**, eudral, tabular de 0.44 mm, eudral, patrón de reemplazamiento parcial paralelo de clorita, sericita y cuarzo. Abundancia 3%.

Pseudomorfos de **anfíboles** eudrales a subedrales, hasta 0.2 mm de longitud, reemplazados por cuarzo y sericita en el crucero y los bordes, con un patrón de alteración regular cruzado. Abundancia 2%.

Cristales de **apatito** dentro algunos fenocristales de plagioclasa y en la matriz con los bordes oxidados. Abundancia 1%.

Cristales de **zircones**, eudrales, de 0.11 mm. Abundancia <1%.

Pseudomorfos de minerales **opacos** reemplazados totalmente por epidota de grano muy fino, Abundancia 1%

Minerales de alteración:

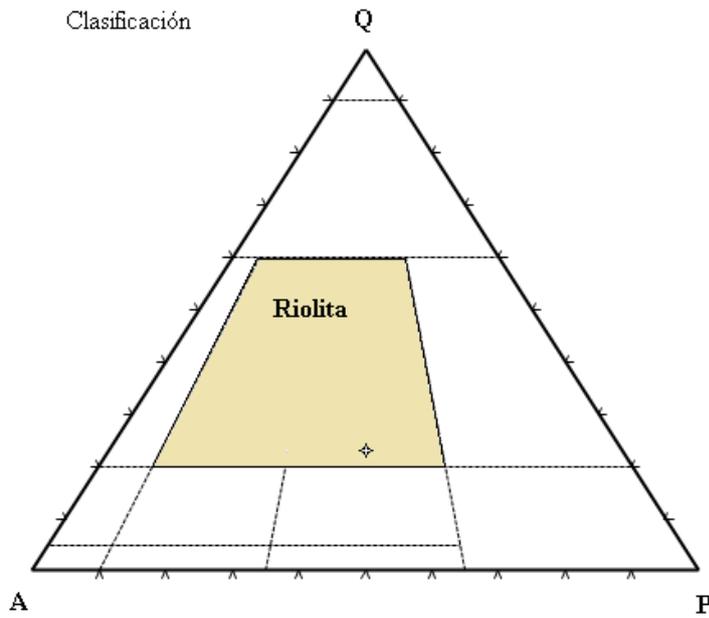
Sericita, reemplazando parcialmente a los feldespatos, se encuentra a lo largo de las vetillas a un lado del cuarzo, y en el crucero de minerales recristalizados.

Epidota, presente en vetillas, y reemplazando totalmente a los minerales opacos.

Calcita, presente en vetillas que atraviesan a la roca.

Cuarzo, presente en vetillas muy delgadas que cortan las vetillas anteriores, ultimo evento.

Clasificación:



Nombre de la roca:

Riolita de plagioclasa

Figura 87. Clasificación con diagrama QAP de acuerdo con Streckeisen



Figura 88. Cuarzo fragmentado y plagioclasas parcialmente reemplazadas por sericita.

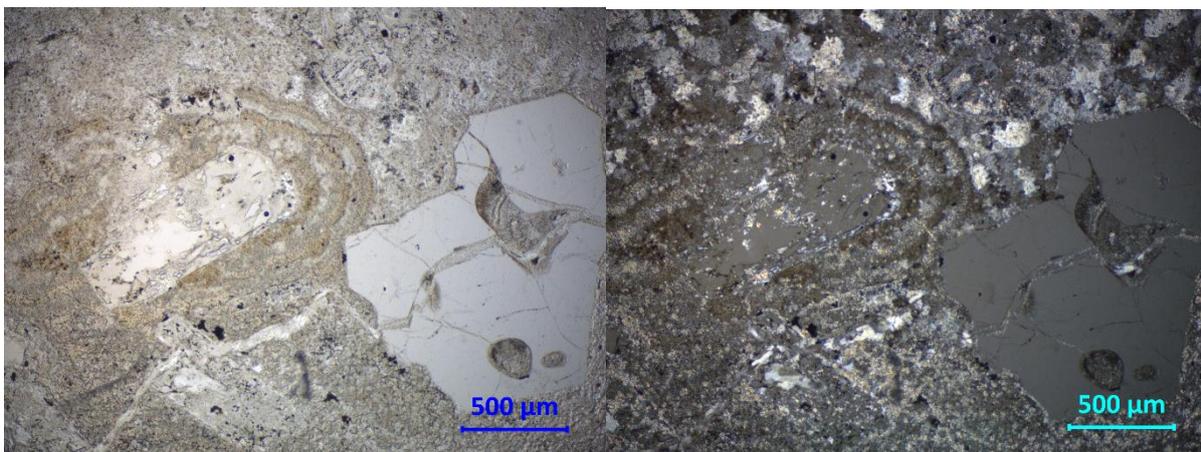


Figura 89. Cuarzo eudral, moderadamente fracturado, plagioclasa reemplazada por cuarzo y sericita.

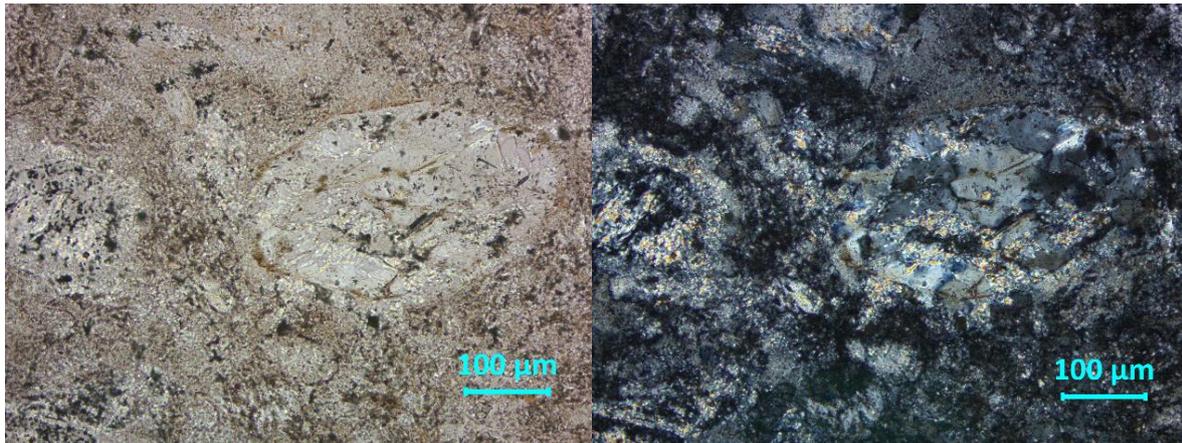


Figura 90. Anfíbol totalmente reemplazado por cuarzo y sericita en las líneas de crucero. Aumento 20x, LPNA y LPA.

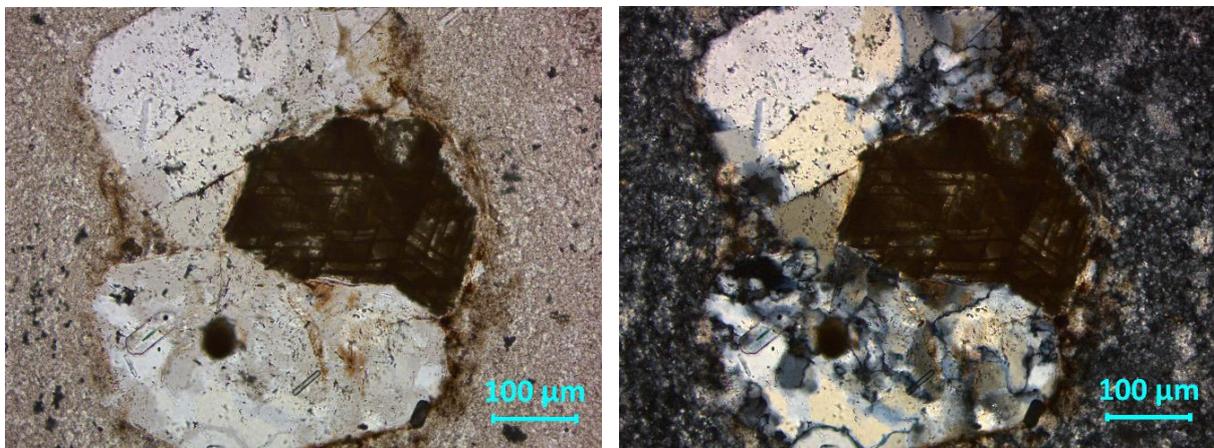


Figura 91. Anfíbol hidroxidado. Aumento 20x, LPNA y LPA.

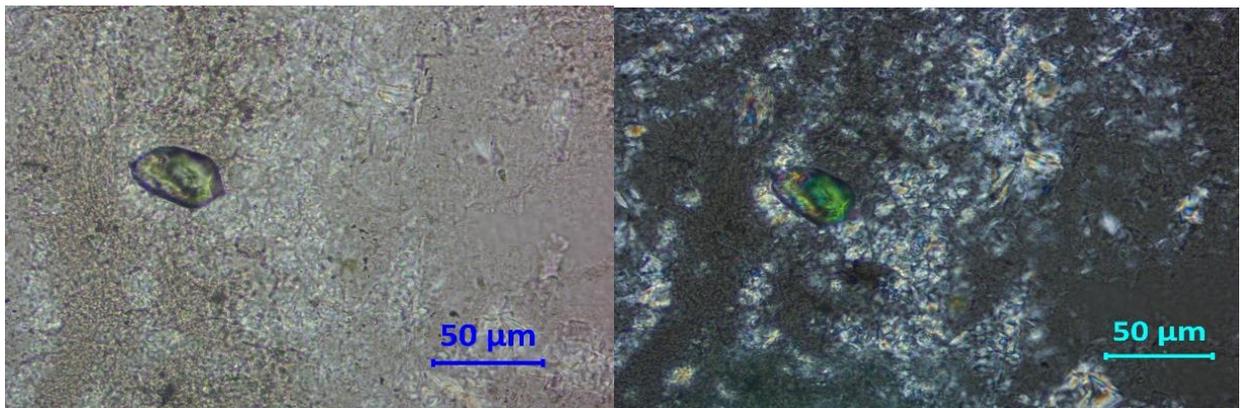


Figura 92. Cristal de zircon en matriz con sericita. Aumento 40x. LPNA y LPA.



Figura 94. Vetillas de epidota, en la parte superior apatito con los bordes oxidados. 10x, LPNA y LPA.

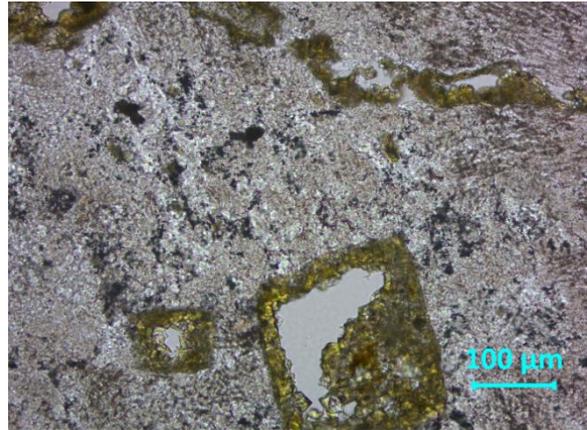


Figura 93. Pseudomorfo de opaco reemplazado por epidota. Aumento 40x, LPNA.

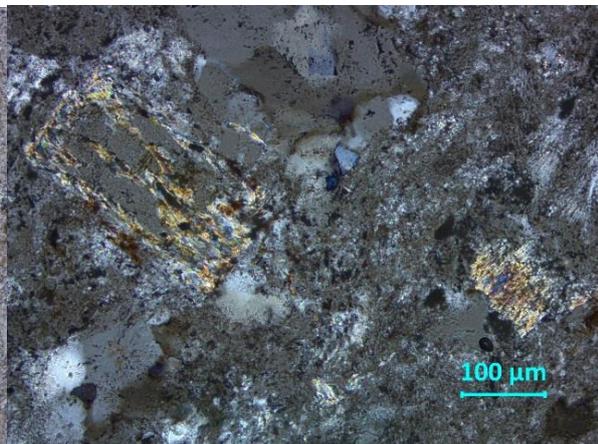
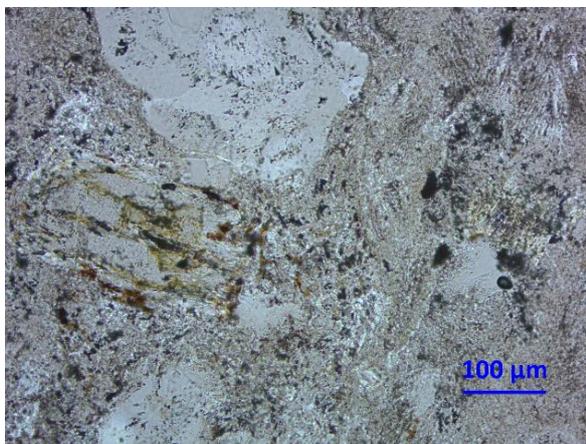


Figura 95. Pseudomorfo de mica reemplazado por sericita y cuarzo con un patrón de alteracion regular paralela. Aumento 20x, LPNA y LPA.

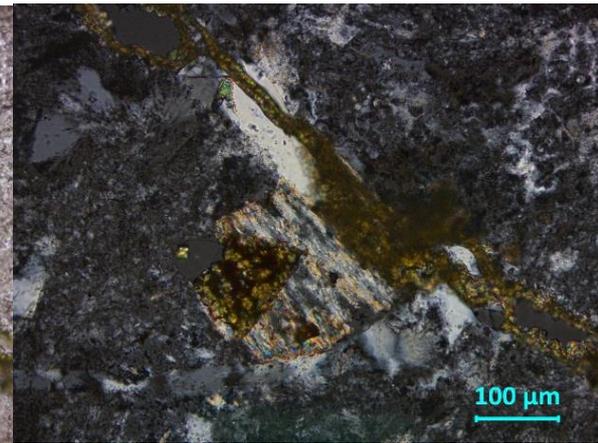
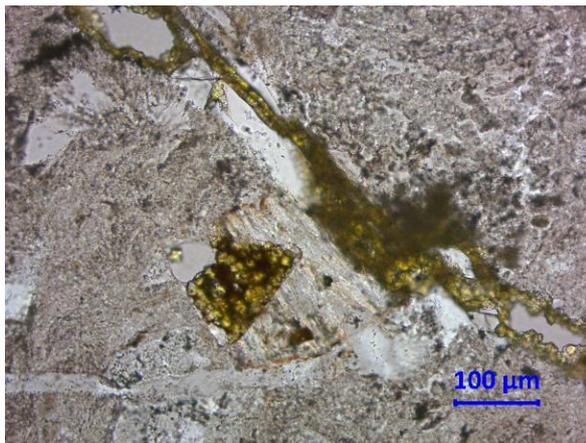


Figura 96. Vetilla de epidota y pseudomorfo de opaco epidotizado dentro de una mica. Aumento 20x, LPNA y LPA.

ESS004

Descripción:

Matriz de grano fino con textura fluidal de cuarzo, vidrio, sericita y hematita. Presenta devitrificación por esferulitas. Abundancia 40%.

Cristales de **feldespato**, subedral a anedral, levemente alterado en la periferia del cristal, hasta 1 mm de longitud, se encuentra también en mosaicos. Abundancia 30%.

Cristales de **cuarzo**, subedral a anedral, de 1.5 mm a 0.45 mm de tamaño, principalmente pedacera, inequigranular, presenta bahías, moderadamente fracturado. Mosaicos de cuarzo en la matriz y rellenando algunas cavidades de los minerales. Abundancia 10%

Cristales de **plagioclasa**, euedral a subedral, inequigranular, reemplazada por cuarzo sericita y clorita, patrón de alteración cruzado linear. Levemente fracturada. Abundancia 10%.

Pseudomorfos de **moscovita**, totalmente reemplazada por sericita, clorita, y cuarzo, patrón de reemplazamiento regular paralelo, euedral a subedral, tabular, de forma paralela a las fibras se encuentran ilmenitas. Abundancia 3%.

Cristales de **hornblenda**, totalmente silicificada y reemplazada en los bordes y cavidades por epidota con intrusiones de zircones e ilmenita, anedrales, inequigranulares, de 0.45 mm de largo. Abundancia 3%.

Opacos, de 0.30 mm, oxidados totalmente, euedrales a subedrales de forma cuadrada. Abundancia 1%.

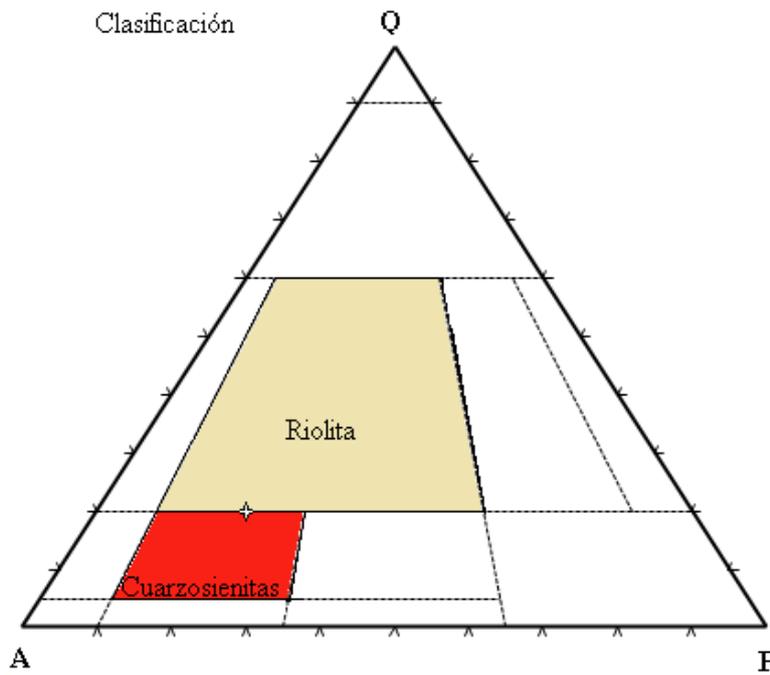
Cristales de **zircones**, dentro de la matriz de 0.11 mm, euedrales a subedrales. Abundancia <1%.

Alteración:

Sericita, reemplazamiento parcial dentro de los cristales de feldespato rodeando al cuarzo y en los cruceros, presente de manera más masiva en la matriz. Intensidad fuerte.

Cuarzo criptocristalino rellenando cavidades, evento posterior a la sericita. Vetillas perpendiculares a la dirección del fluido.

Clasificación:



Nombre de la roca:

Riolita feldespática

Figura 97. Clasificación con diagrama QAP de acuerdo con Streckeisen para rocas ígneas volcánicas.

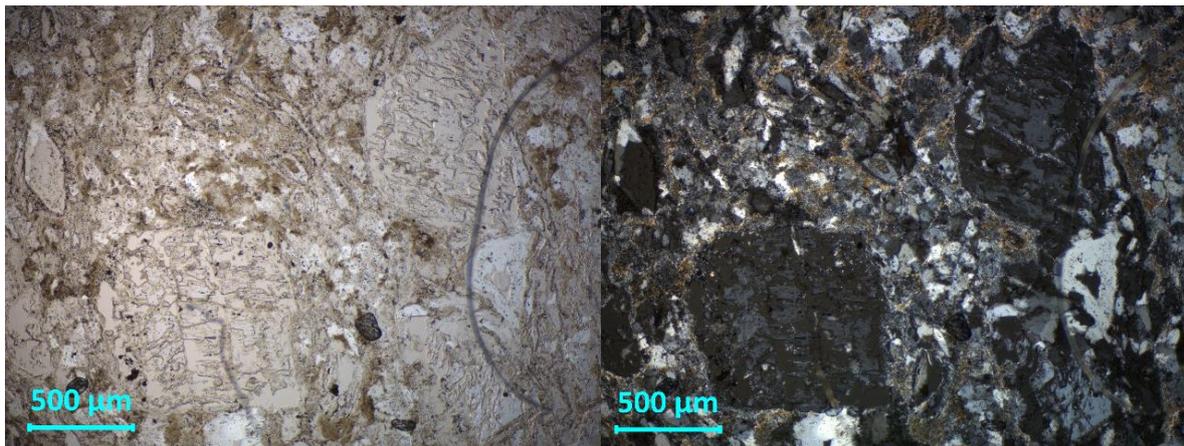


Figura 98. Pseudomorfo de plagioclasa con un patrón de alteración regular cruzado, con cuarzo en el interior y sericita en el crucero. Aumento 5x, LPNA y LPA.

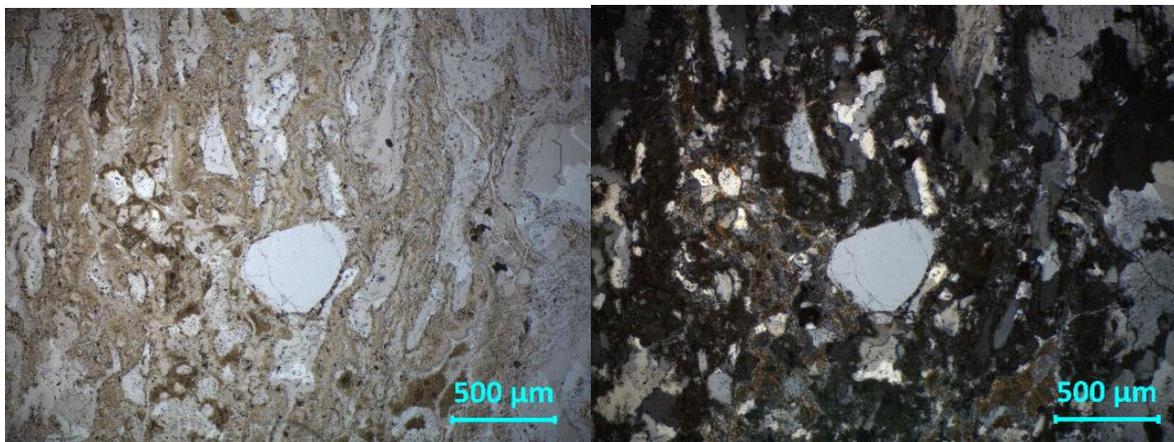


Figura 99. Cristal de cuarzo anedral en matriz con textura fluída.

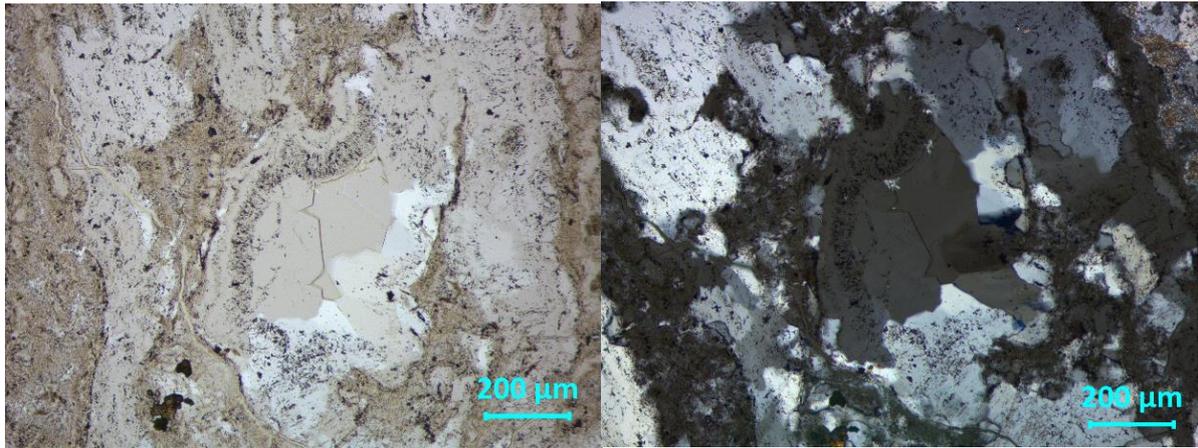


Figura 100. Mosaico de feldespato, Aumento 10x, LPNA Y LPA.

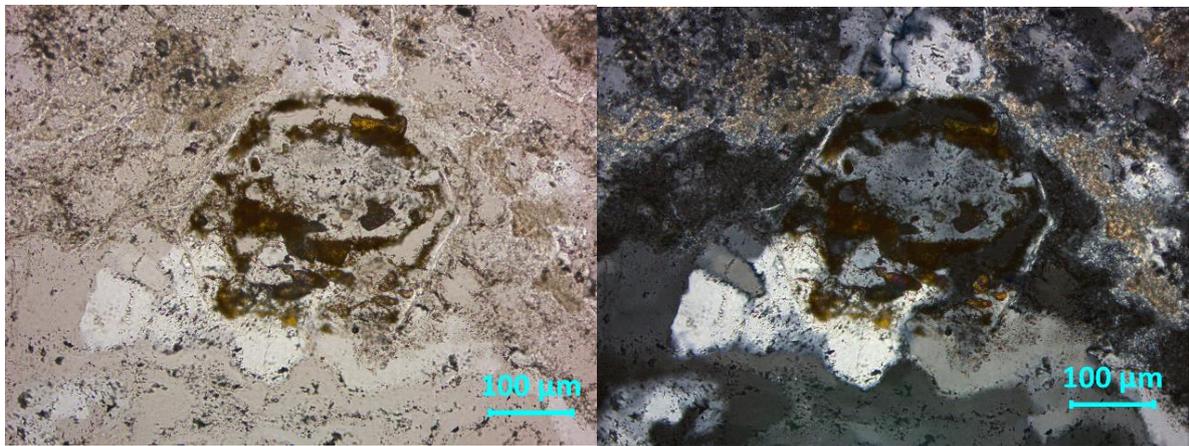


Figura 101. Pseudomorfo de anfíbol epidotizado y silicificado. Aumento 20x, LPNA y LPA

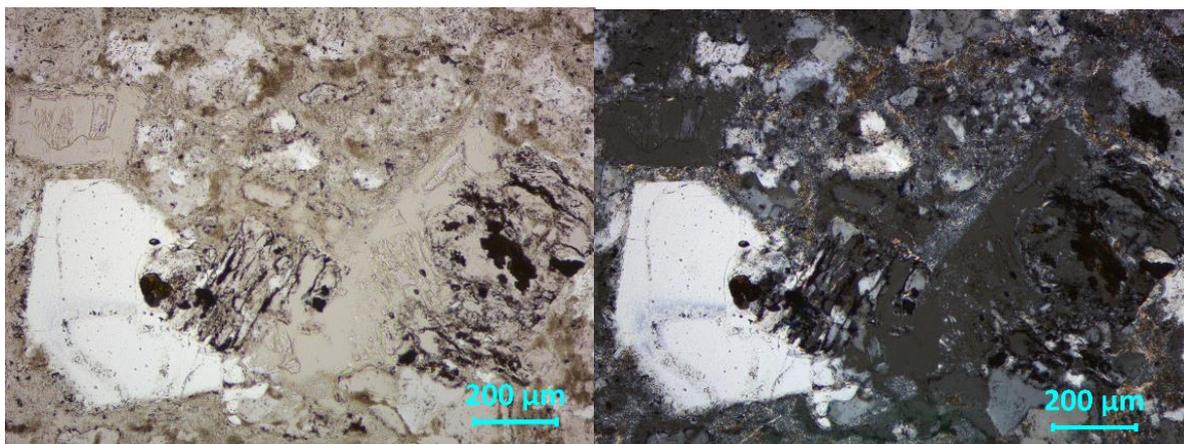


Figura 102. Pseudomorfos de mica reemplazada or cuarzo ysericita. Aumento 10x, LPNA y LPA.

HS003

Descripción:

Matriz de grano fino, textura porfídica, plagioclasa con 45 micras de matriz con opacos, holohialina. Abundancia 43%.

Cristales de **plagioclasa**, fenocristales, levemente fracturado, sericitizado, 4mm de longitud, eudrales a subdrales, inequigranulares, en la parte central del pseudomorfo se encuentran vidrio y cuarzo. Abundancia 30%.

Pseudomorfo de **feldespato**, eudral a subdral, reemplazado por sericita en su totalidad, levemente fracturado, hasta 3 mm de longitud. Abundancia 15%.

Cristales de **moscovita**, eudral a subdral, tabulares, con un remplazamiento del 90%, remplazamiento con un patrón paralelo lineal, con ilmenita paralelas longitudinales a las fibras de 1,80 mm a 1 mm. Abundancia 4%.

Hornblenda hidroxidada y silicificada, eudral a subdral de 0.30 mm lo longitud, moderadamente fracturado, inequigranular. Algunos cristales están completamente silicificados, pero aún se observa el crucero. Abundancia 3%.

Cristales de **cuarzo** como mineral secundario relleno de espacios e intersticios entre minerales y matriz. Abundancia 3%.

Cristales de **opacos**, eudrales presentan halos de oxidación, equigranulares de 0.20mm. Abundancia 1%.

Cristales de **zircones**, dentro de la matriz de 0.11 mm, eudrales a subdrales. Abundancia <1%.

Minerales de alteración:

Sericita, reemplazando casi en su totalidad a plagioclasas y feldespatos, reemplazando los microfenocristales en la matriz. Intensidad fuerte.

Cuarzo, reemplazando parcial de la parte interna de diversos cristales. Vetillas de cuarzo criptocristalino. Intensidad débil.

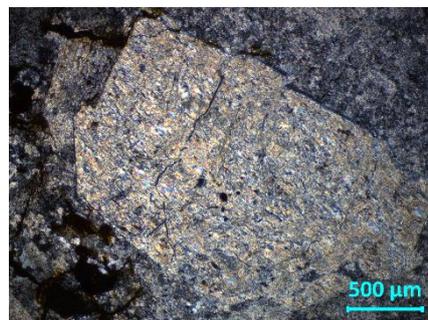
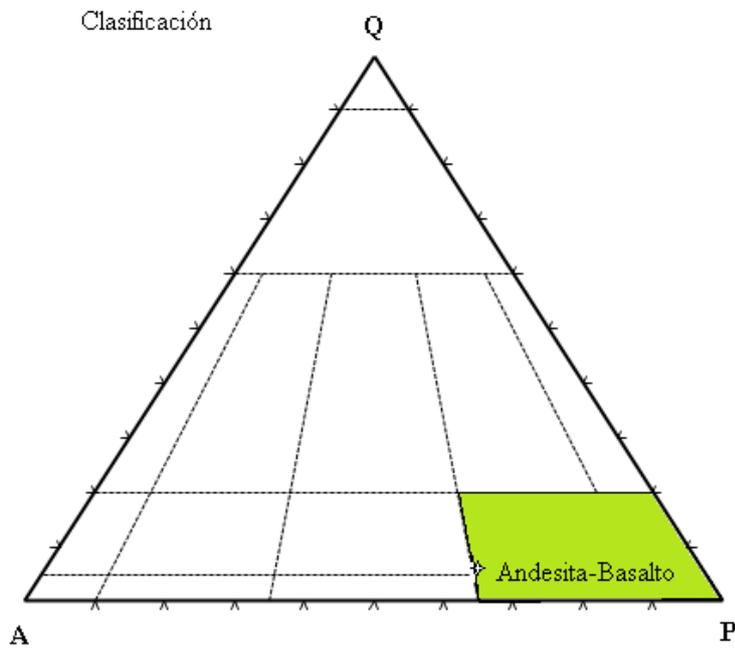


Figura 103. Pseudomorfo de feldespato sericitizado. Aumento 5x, LPA.

Clasificación:



Nombre de la roca: *Andesita de plagioclasa*

Figura 104. Clasificación con diagrama QAP de acuerdo con Streckeisen para rocas ígneas volcánicas.

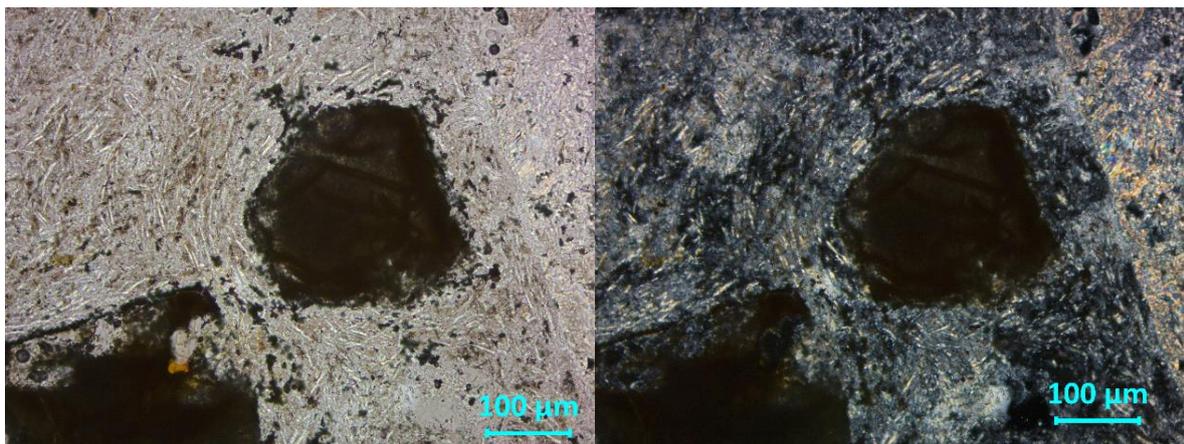


Figura 105. Hornblenda hidroxidada euedral, levemente fracturada. Aumento 20x, LPNA y LPA.

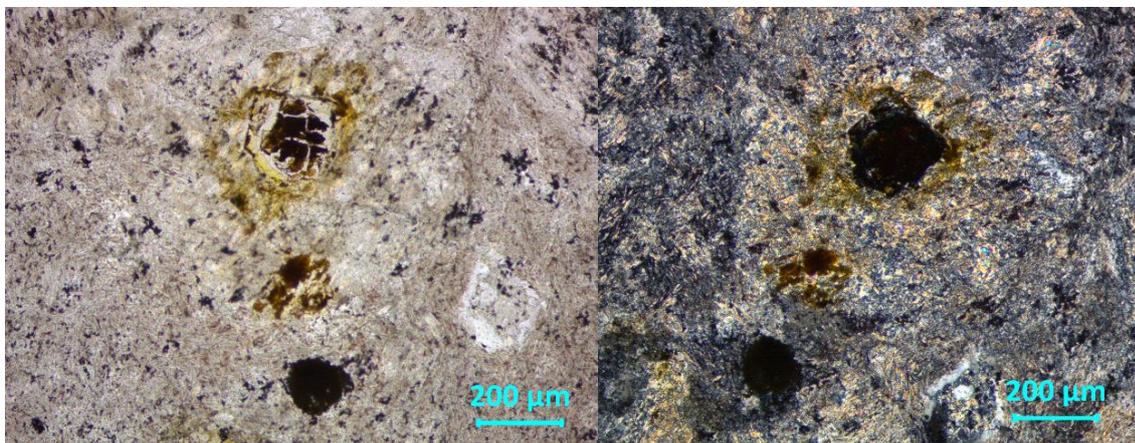


Figura 106. Anfíbol hidroxidado y opaco oxidado. Aumento 10x, LPNA y LPA.

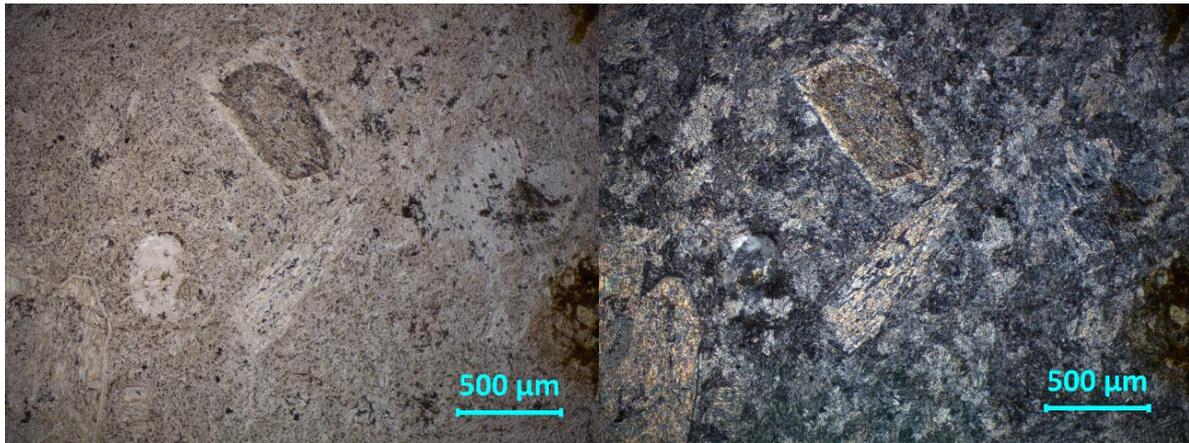


Figura 107. Pseudomorfo de moscovita, plagioclasa y anfíbol, reemplazado por cuarzo y sericita. Aumento 5x, LPNA y LPA.

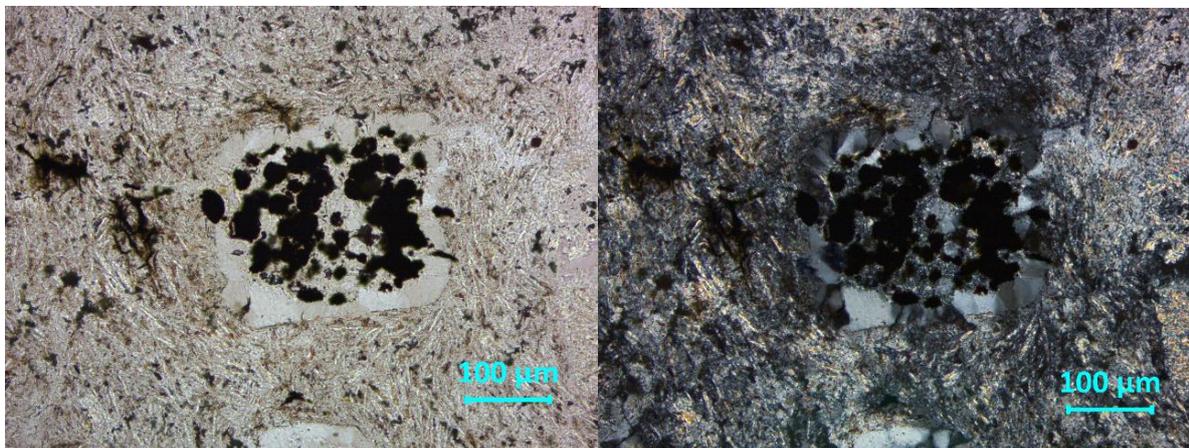


Figura 108. Cavity rellena de opacos y cuarzo. Auento 20x, LPNA y LPA.

HS004

Descripción:

Matriz de sericita y mosaicos de cuarzo textura porfídica, presenta flujo. Abundancia 57%.

Cristales de **plagioclasa**, fenocristales, euedrales a subedrales, de 7.2 mm de longitud, con un patrón de alteración regular simétrico. Glomero-cristales aproximadamente de 1 cm de longitud, algunas plagioclasas están sericitizadas por el centro, mayormente presentan maclas polisintéticas y en minoría de Carlsbad. Abundancia 20%.

Cristales de **feldespato**, euedrales, levemente sericitizados principalmente por los bordes y las fracturas en el crucero, hasta 6 mm de longitud. Abundancia 10%.

Pseudomorfos de **hornblenda**, euedrales, reemplazados por epidota y cuarzo, equigranulares, patrón de reemplazamiento irregular cruzado. Abundancia 3%.

Pseudomorfos de **moscovita** totalmente reemplazada por cuarzo y sericita, equigranular, con un patrón de reemplazamiento regular paralelo, hasta 3.4 mm de longitud. Abundancia 4%.

Cristales de **cuarzo**, subedral inequigranular, de hasta 1 mm de longitud, sin fracturas. Abundancia 1%.

Cristales de **zircón**, dentro de mineral silicificado, hasta de 0.40 mm de longitud, euedrales, algunos glomero-cristales de zircón. Abundancia 1%.

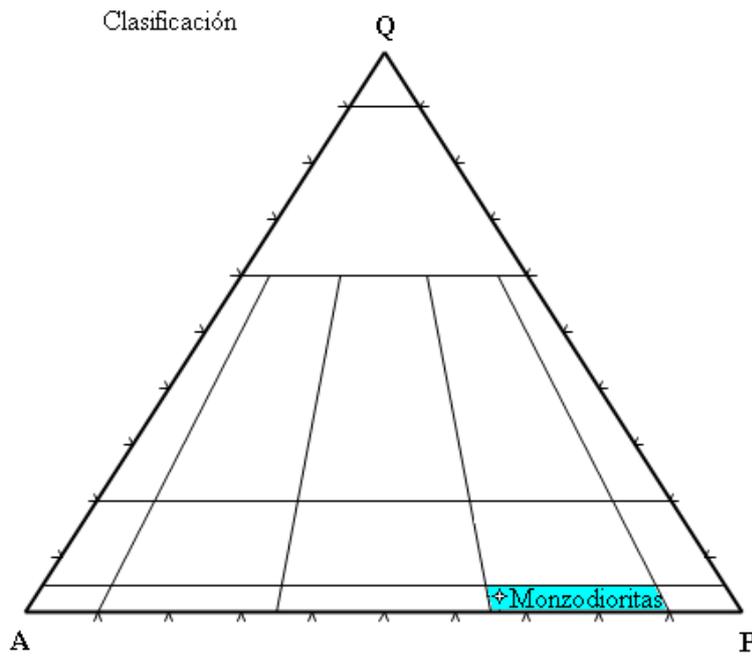
Opacos dentro de la matriz de grano muy fino. Abundancia <1%.

Minerales de alteración:

Sericita, reemplazando casi en su totalidad los megafenocristales de plagioclasa y feldespatos. Reemplazamiento parcial de la matriz. Intensidad fuerte.

Epidota, reemplazando parcialmente la parte interna de los anfíboles. Intensidad débil.

Clasificación:



Nombre de la roca:

Monzodiorita

Figura 109. Clasificación con diagrama QAP de acuerdo con Streckeisen para rocas ígneas plutónicas.

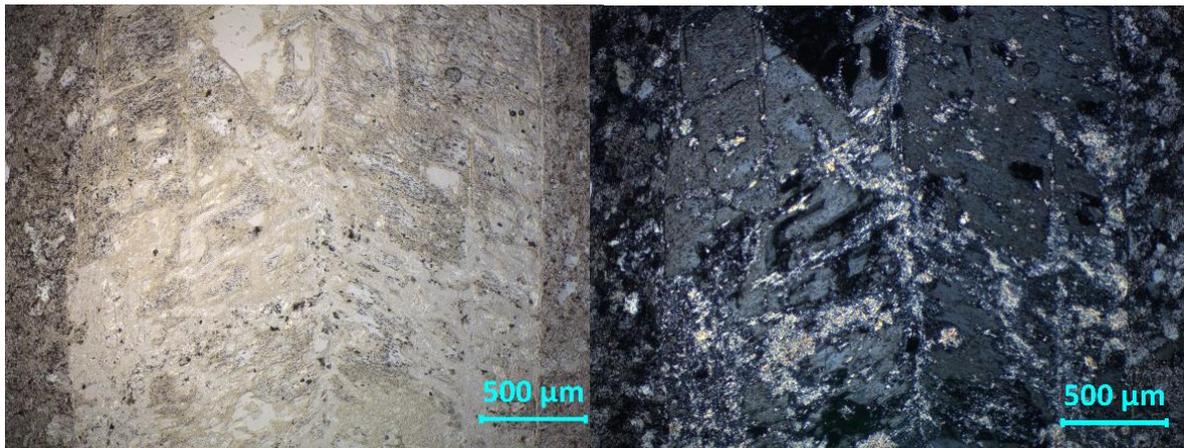


Figura 110. Pseudomorfo de plagioclase reemplazados por sericita y cuarzo. Aumento 5x, LPNA y LPA.

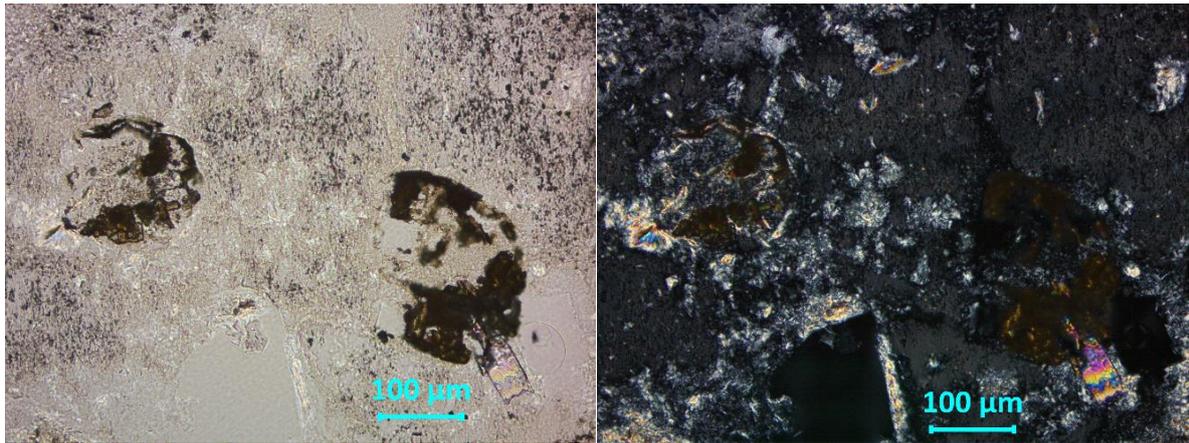


Figura 111. Pseudomorfo de anfíbol reemplazado por sericita y epidota. Aumento 20x, LPNA y LPA.

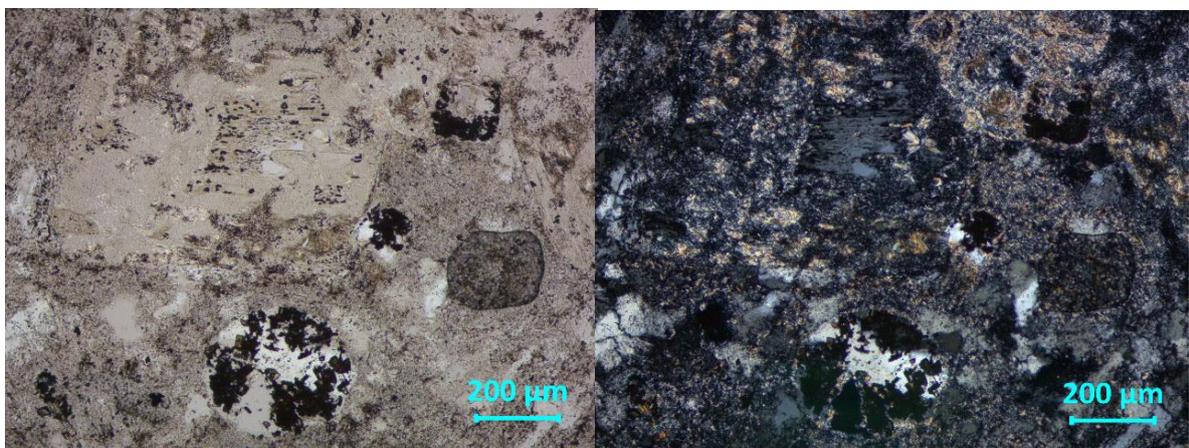


Figura 112. Pseudomorfos de plagioclasa, anfíboles y opacos. Aumento 10x, LPNA y LPA.

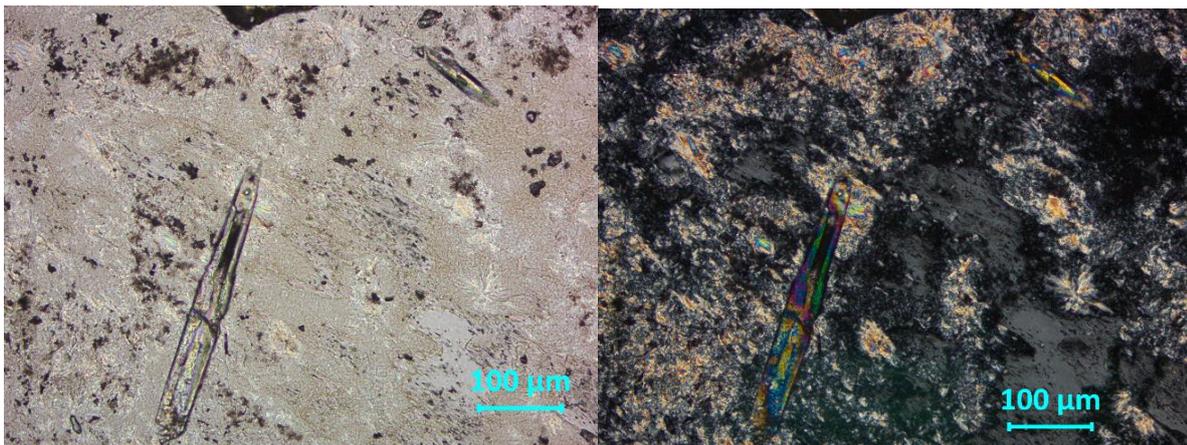


Figura 113. Cristales de zircón. Aumento 20X, PLNA y PLA.

HS005

Descripción:

Matriz microcristalina, porfídica, holocristalina, presenta relictos de plagioclasa totalmente sericitizados y silicificados. Abundancia 56%.

Cristales de **plagioclasa** totalmente sericitizada y silicificada, euedrales a subedrales, inequigranulares, de 3.6 mm de tamaño, no se observan fracturas. Algunas plagioclasas se encuentran zoneadas concéntricamente. Abundancia 18%.

Cristales de **cuarzo**, euedral a subedral, levemente fracturado, hasta 0.9 mm de longitud, inequigranulares. Abundancia 6%.

Cristales de **feldespato**, euedral, reemplazado por sericita y cuarzo, hasta 3.8 mm de longitud, levemente fracturado, inequigranulares. Abundancia 5%.

Cristales de **opacos**, euedrales, de 0.22 mm de forma cuadrada, inequigranulares. Abundancia 5%.

Cristales de **hornblenda** hidroxidada, ya que se hidrato y se oxido, se puede identificar por su crucero y su forma. Euedral a subedral de 0.33 mm inequigranulares, algunos cristales parcialmente cloritizados. Moderadamente fracturados, entre las fracturas encontramos hematita. Abundancia 3%.

Cristales de **moscovita** tabular euedral a subedral, cloritizada levemente 30% aproximadamente, con 0.44mm de longitud, patrón de alteración regular paralelo. Abundancia 3%

Cristales de **apatito**, euedral, levemente oxidado, fracturado moderadamente hasta 0.4 mm de longitud. Abundancia 1%

Minerales de alteración:

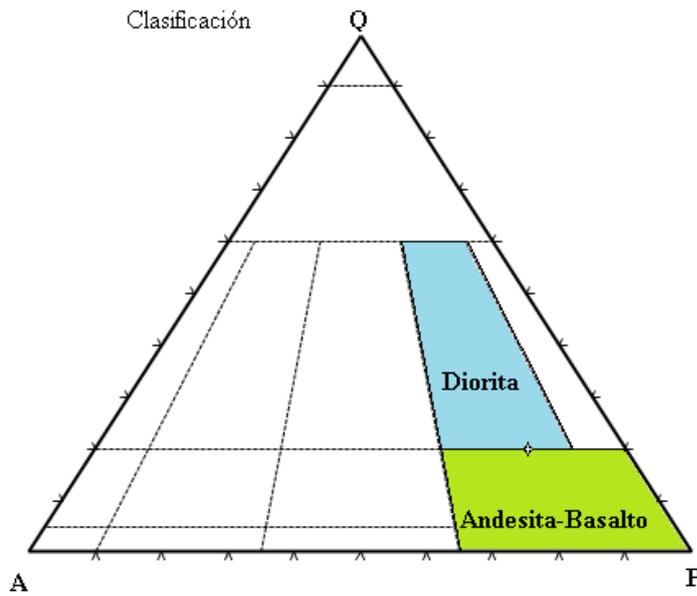
Sericita, reemplazamiento parcial dentro de los minerales, en el contorno y en el crucero.

Vetillas de cuarzo y sericita en toda la lámina.

Óxidos, posteriores a la formación de la roca, se encuentran en las fracturas de las plagioclasas y en las vetillas.

Cuarzo, en vetillas

Clasificación:



Nombre de la roca:

Diorita de plagioclasa

Figura 114. Clasificación con diagrama QAP de acuerdo con Streckeisen para rocas ígneas volcánicas.

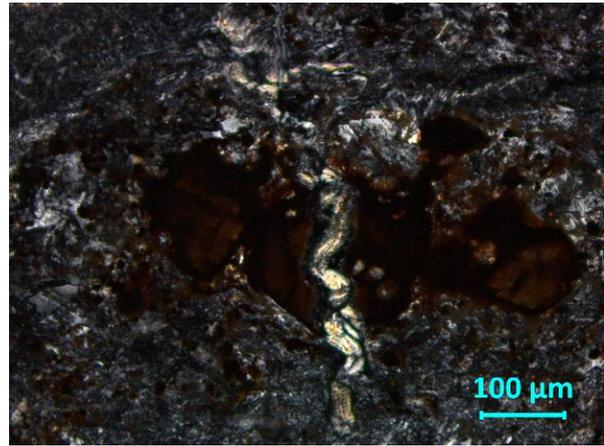
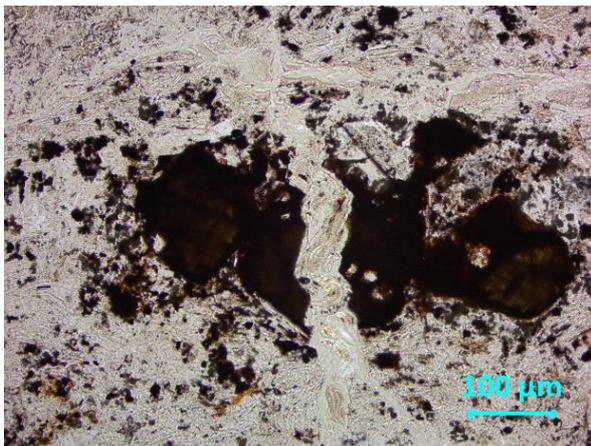


Figura 115. Hornblenda hidroxidada, traspasado por una vetilla. Aumento 20x, LPNA y LPA.

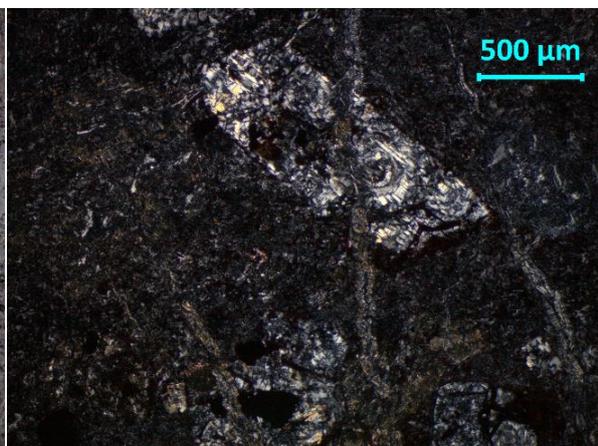
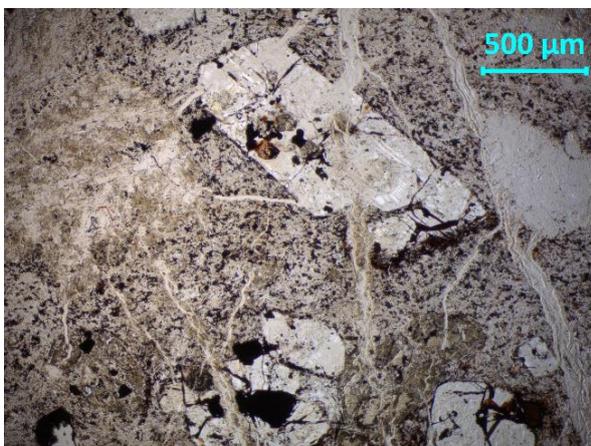


Figura 116. Pseudomorfo de plagioclasa zoneada concéntrica totalmente seritizado y silicificado, con una vetilla. Aumento 5x, LPNA y LPA.

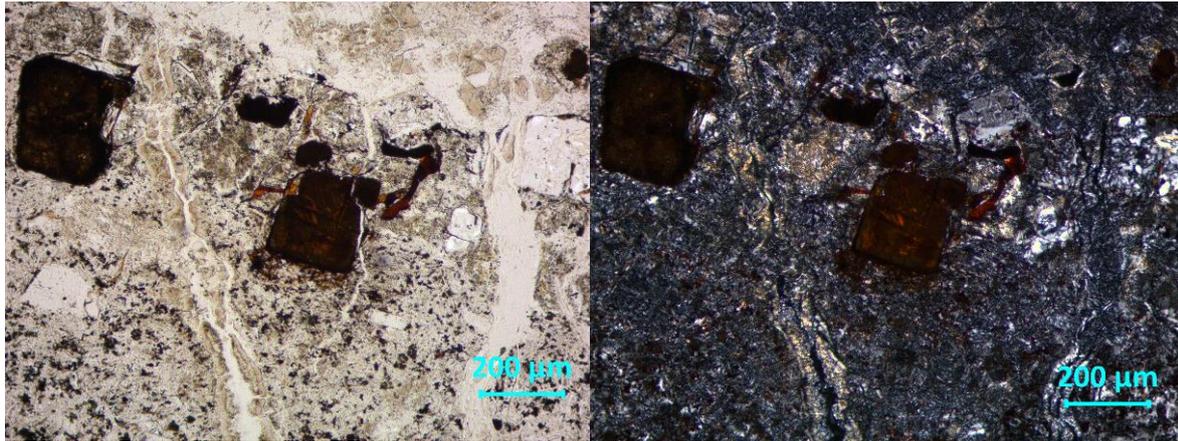


Figura 117. Anfíbol hidroxidado y opacos oxidados atravesados por vetillas de sericita. Aumento 10x, LPNA y LPA.

M18

Descripción:

Roca ígnea con textura porfídica, **matriz** criptocristalina, hipohialina, presenta esferulitas. Abundancia 39%.

Cristales de **cuarzo**, cristales euedrales a anedrales con bahías, levemente fracturado, con un tamaño de 3.6 hasta 11 mm. Abundancia 4%.

Cristales de **plagioclasa y feldespatos**, euedral a subedral, alterada parcialmente por sericita y calcita con un patrón regular de alteración de diversos tamaños 1 mm hasta 7.2 mm, levemente fracturado, macla polisintética, en los planos de exfoliación se encuentra más concentrada la sericita. Abundancia 45%.

Cristales de **hornblenda**, euedral a subedral, inequidimensionales, cloritizada, reconocida por su crucero y forma, con un patrón de alteración cruzado regular. Contiene coronas de alteración, presenta inclusiones de rutilo de grano fino. Abundancia 3%.

Cristales de **moscovita**, cristales tabulares, euedrales a subedrales, con alteración de clorita parcial con patrón de alteración regular a irregular, pequeños glomerocristales de rutilo paralelas a su exfoliación. Abundancia 3%.

Fragmentos de roca muy pequeños redondeados de 4.2mm de tamaño, levemente oxidados. 3%.

Cristales de **opacos** euedrales y subedrales, hasta 0.7 mm de longitud. Abundancia 2%.

Cristales de **zircón**, euedrales a subedrales que se encuentran en la matriz. Abundancia <1%.

Minerales de alteración:

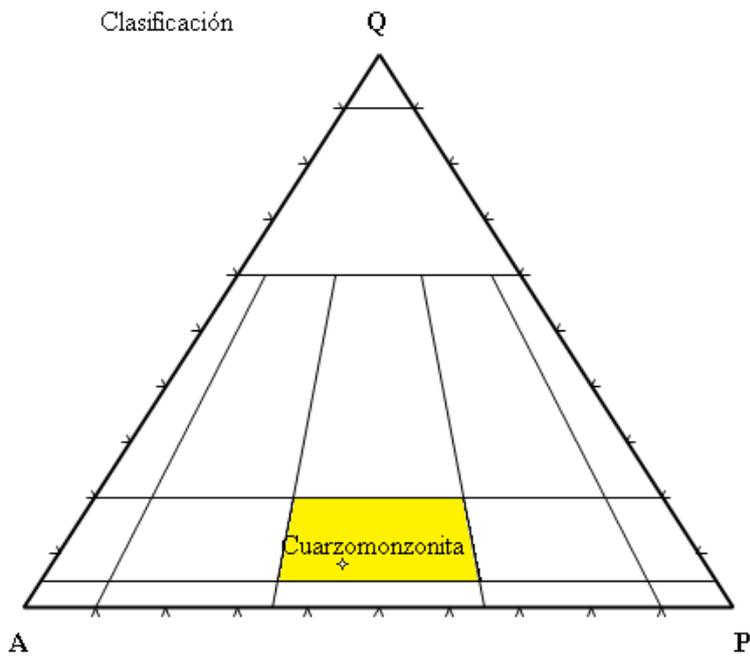
Sericita, reemplazando parcialmente interior y crucero de los feldespatos. Se presenta en vetillas junto con la clorita que envuelven a algunos fenocristales de micas, anfíboles y plagioclasas. Intensidad moderada

Clorita, reemplazamiento de total y parcial de algunas plagioclasas y anfíboles. Intensidad moderada

Epidota, reemplazamiento en los cruceros de los anfíboles. Intensidad débil

Calcita, reemplazamiento parcial en la parte interna de lagunas plagioclasas. Intensidad débil.

Clasificación:



Nombre de la roca:
Cuarzomonzonita

Figura 118. Clasificación con diagrama QAP de acuerdo con Streckeisen para rocas ígneas plutónicas.

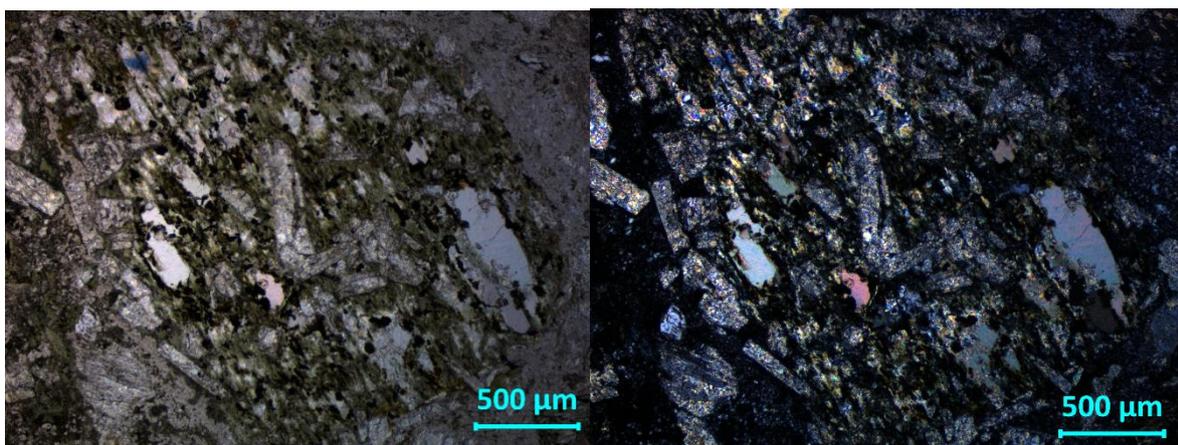


Figura 119. Fragmento de roca, cloritizada en la matriz, las plagioclasas están sericitizadas y reemplazadas con carbonatos. Aumento 5x, LPNA y LPA.

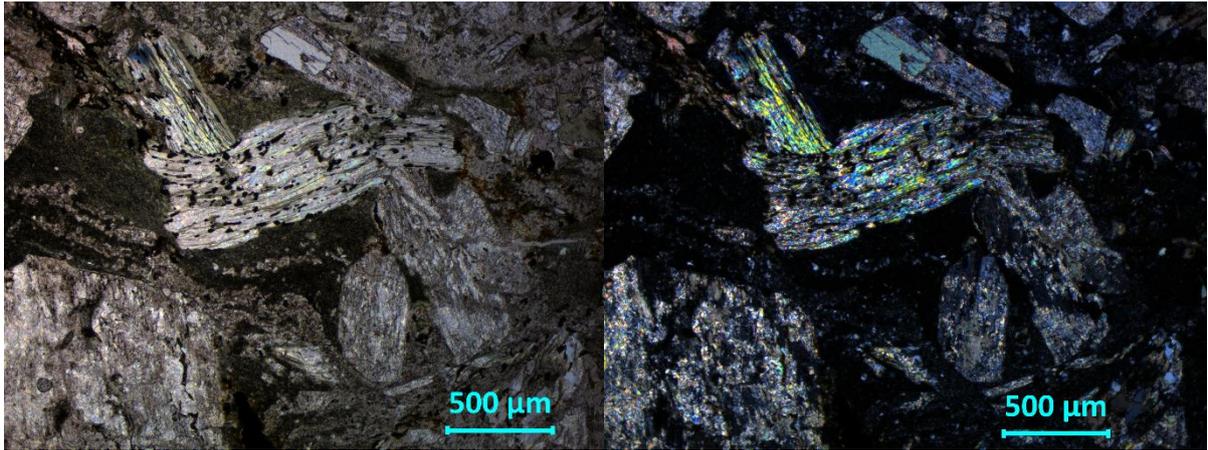


Figura 120. Vetilla de clorita, dentro se encuentran moscovita, y plagioclasas. Aumento 5x, LPNA y LPA.

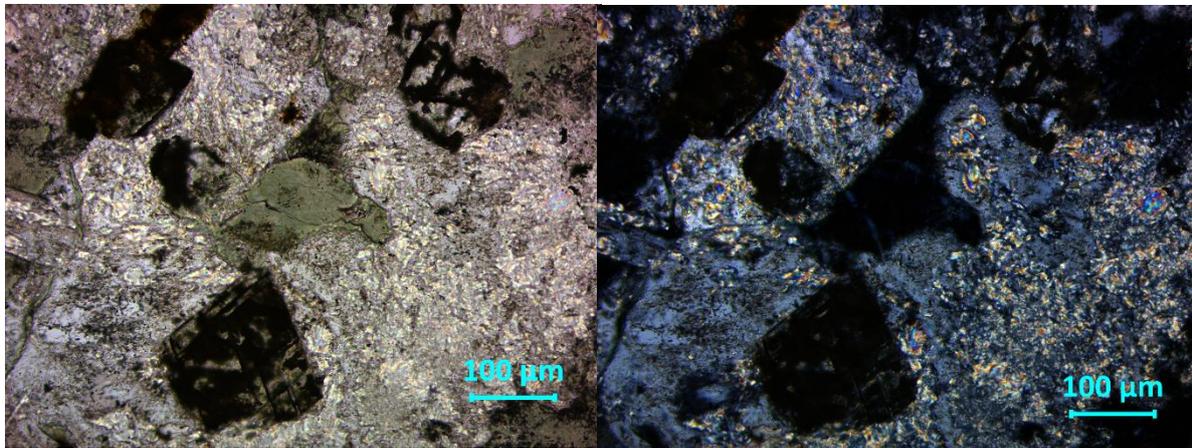


Figura 121. Anfíbol hidroxidado y cloritizado en el centro. Aumento 20x, LPNA y LPA.

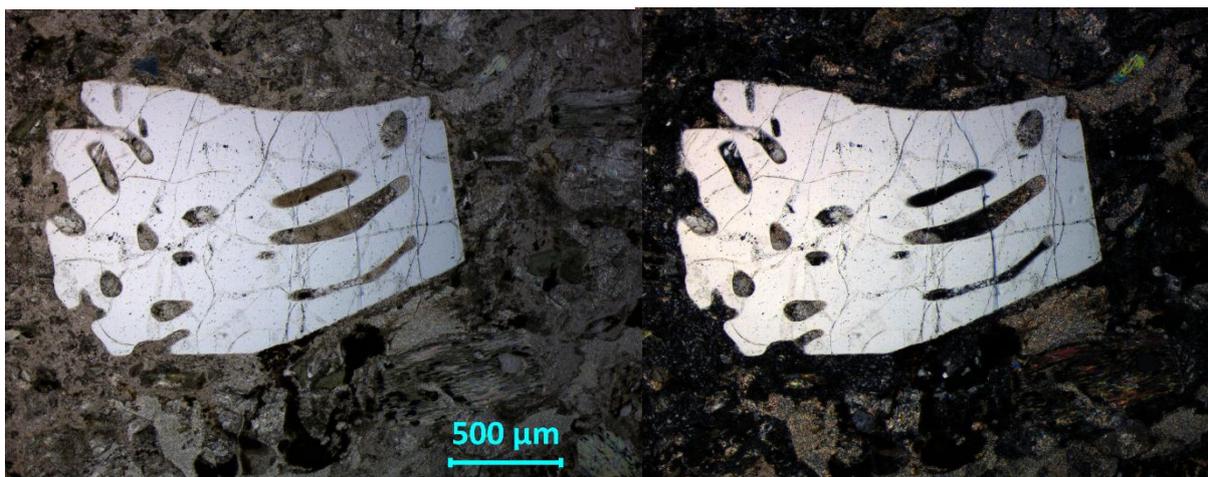


Figura 122. Cuarzo fuertemente fracturado con bahías. Aumento 5x, LPNA y LPA.

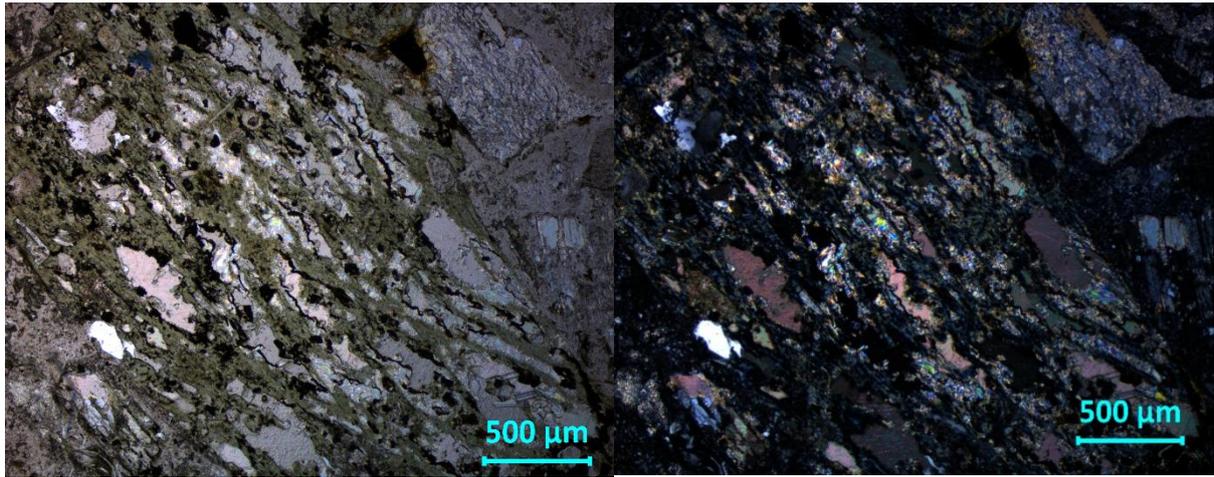


Figura 123. Pseudomorfo de anfíbol, reemplazado por calcita en la parte interna y clorita en el crucero. Aumento 5x, LPNA y LPA.

ANEXO 4 Microscopía Electrónica

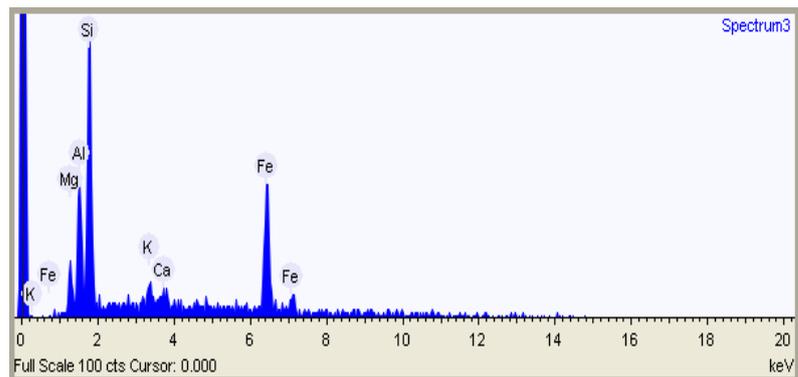
M18 Epidota

Acquisition conditions

Acquisition time (s) 30.0

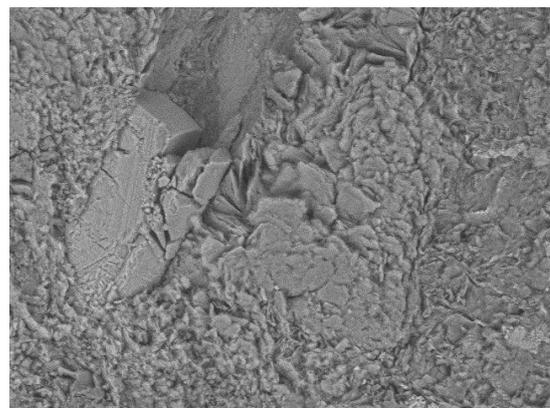
Process time 4

Accelerating voltage (kV) 15.0



Summary results

Element	Weight %
Magnesium	5.8
Aluminum	12.1
Silicon	25.9
Potassium	2.3
Calcium	1.7
Iron	52.3



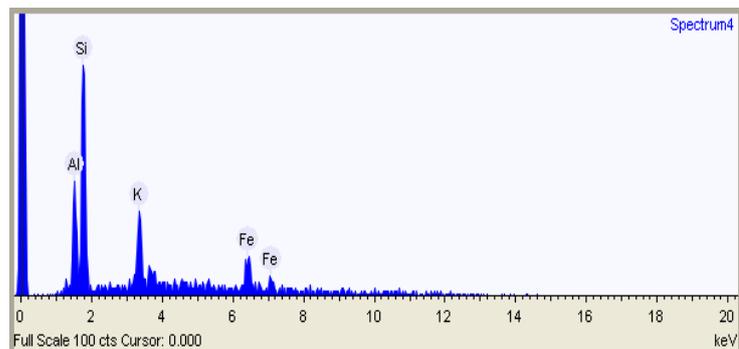
M18 Esmectita

Acquisition conditions

Acquisition time (s) 30.0

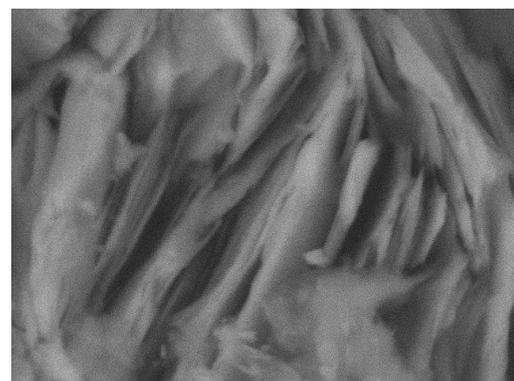
Process time 4

Accelerating voltage (kV) 15.0



Summary results

Element	Weight %
Aluminum	15.5
Silicon	38.2
Potassium	16.6
Iron	29.7



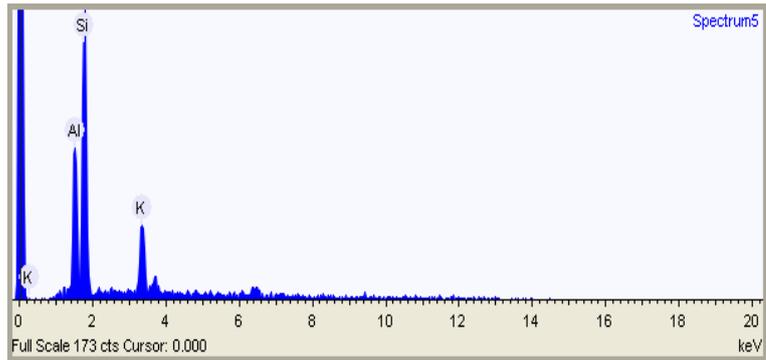
M18 Esmectita 2

Acquisition conditions

Acquisition time (s) 30.0

Process time 4

Accelerating voltage (kV) 15.0



Summary results

Element	Weight %
Aluminum	23.0
Silicon	53.6
Potassium	23.4



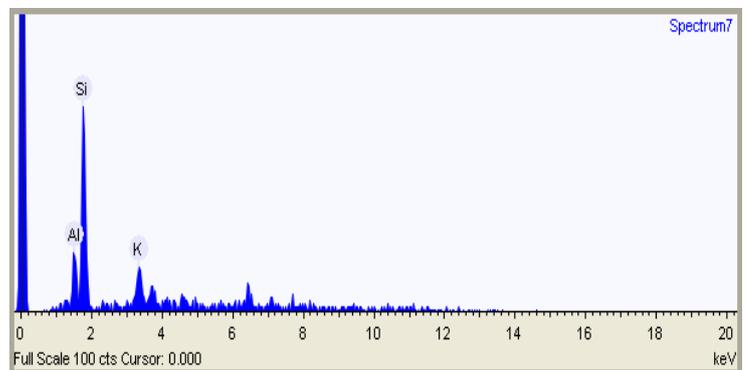
M18 esmectita3

Acquisition conditions

Acquisition time (s) 30.0

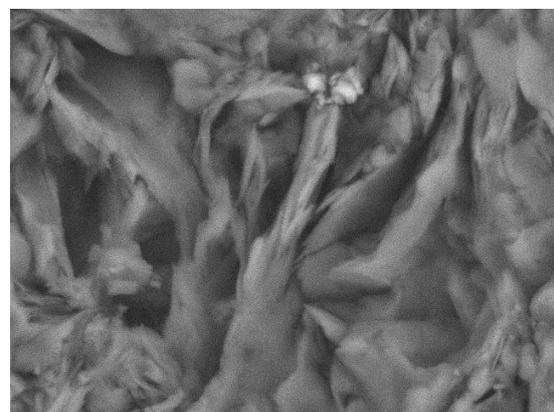
Process time 4

Accelerating voltage (kV) 15.0



Summary results

Element	Weight %
Aluminum	14.9
Silicon	63.1
Potassium	21.9



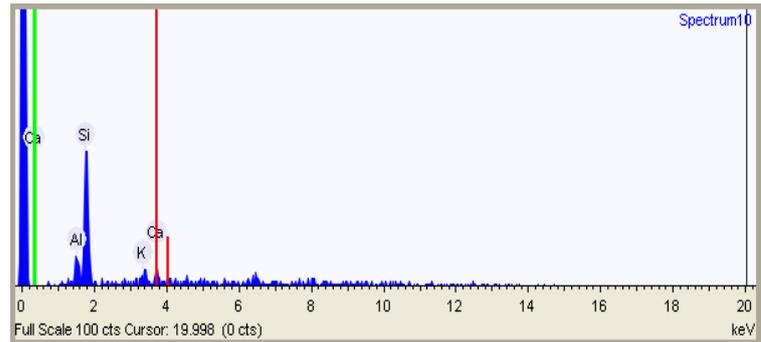
M18 Esmectita3

Acquisition conditions

Acquisition time (s) 30.0

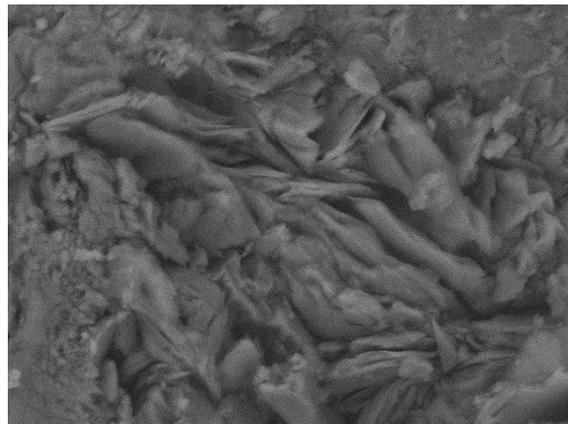
Process time 4

Accelerating voltage (kV) 15.0



Summary results

Element	Weight %
Aluminum	11.1
Silicon	66.1
Potassium	7.6



B21435 2018/04/19 16:49 L x3.0k 30 um

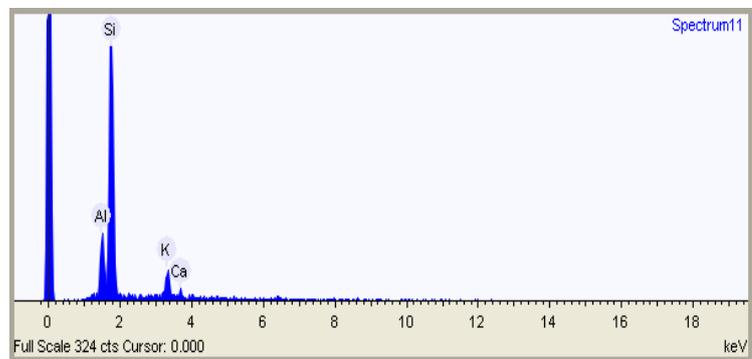
M18 Esmectita5

Acquisition conditions

Acquisition time (s) 30.0

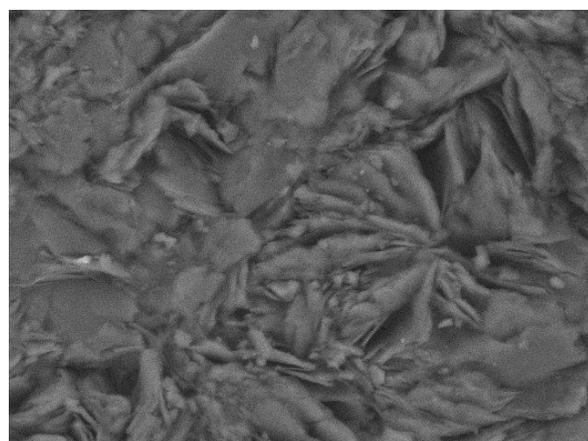
Process time 4

Accelerating voltage (kV) 15.0



Summary results

Element	Weight %
Aluminum	14.4
Silicon	70.6
Potassium	12.0
Calcium	3.0



B21436 2018/04/19 16:54 L x3.0k 30 um

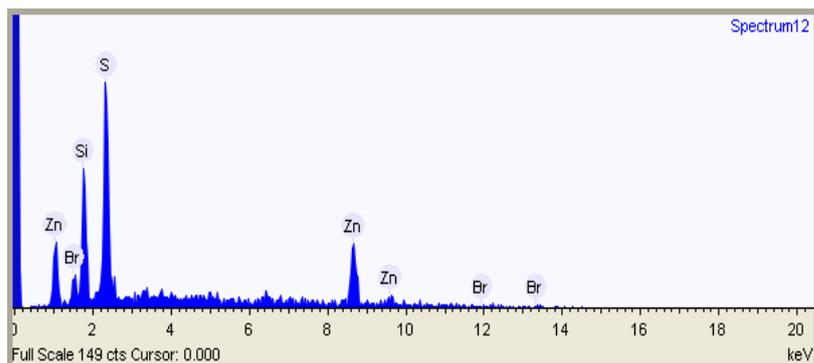
M18 Esfalerita 1

Acquisition conditions

Acquisition time (s) 30.0

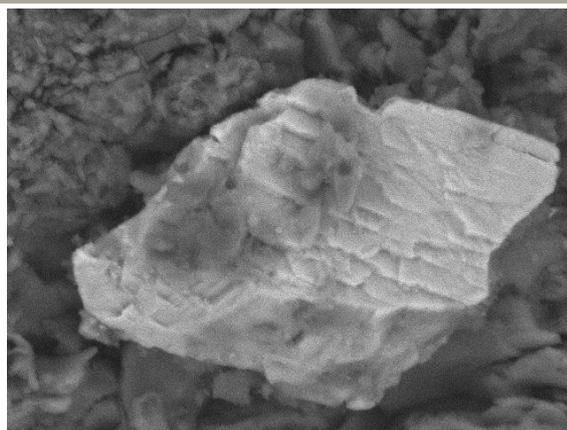
Process time 4

Accelerating voltage (kV) 15.0



Summary results

Element	Weight %
Silicon	20.3
Sulfur	40.4
Zinc	30.7
Bromine	8.6



B21437 2018/04/19 16:58 L x4.0k 20 um

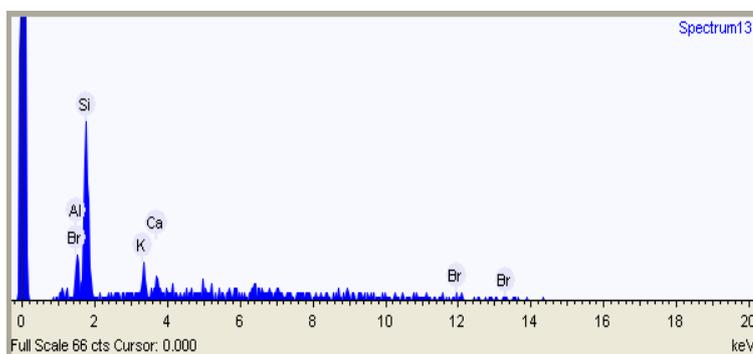
M18 Esmectita 6

Acquisition conditions

Acquisition time (s) 30.0

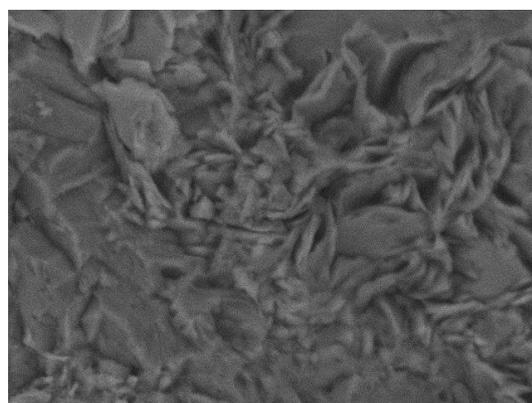
Process time 4

Accelerating voltage (kV) 15.0



Summary results

Element	Weight %
Aluminum	22.9
Silicon	54.7
Potassium	14.1
Calcium	8.3



B21438 2018/04/19 17:03 L x3.0k 30 um

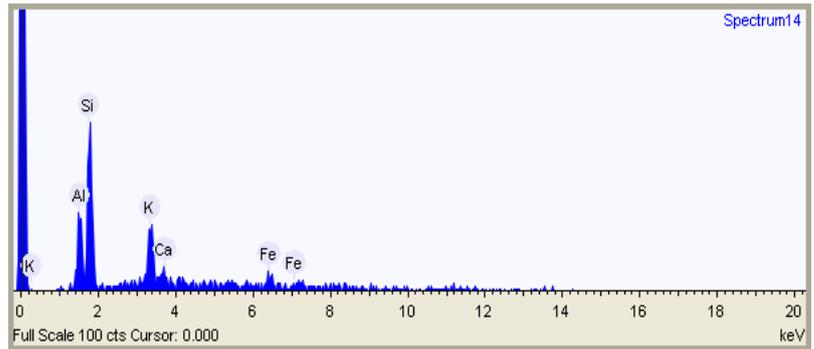
M18 Esmectita 7

Acquisition conditions

Acquisition time (s) 30.0

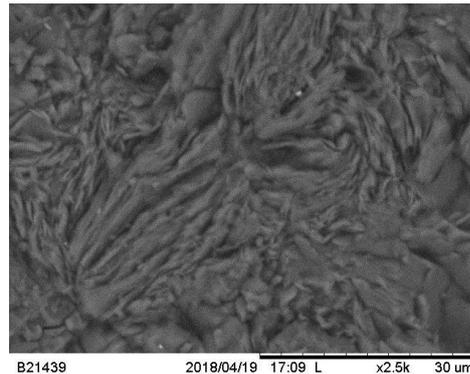
Process time 4

Accelerating voltage (kV) 15.0



Summary results

Element	Weight %
Aluminum	17.7
Silicon	40.5
Potassium	25.7
Calcium	4.5
Iron	11.6



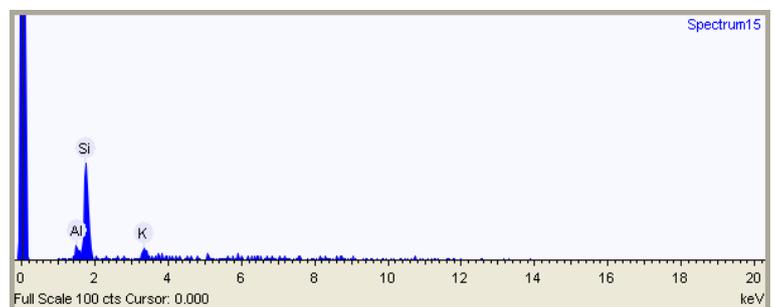
HS4 Feld K Kaolinita

Acquisition conditions

Acquisition time (s) 30.0

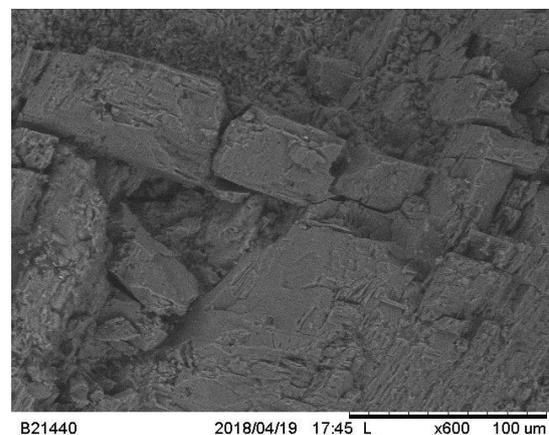
Process time 4

Accelerating voltage (kV) 15.0



Summary results

Element	Weight %
Aluminum	8.1
Silicon	75.4
Potassium	16.5



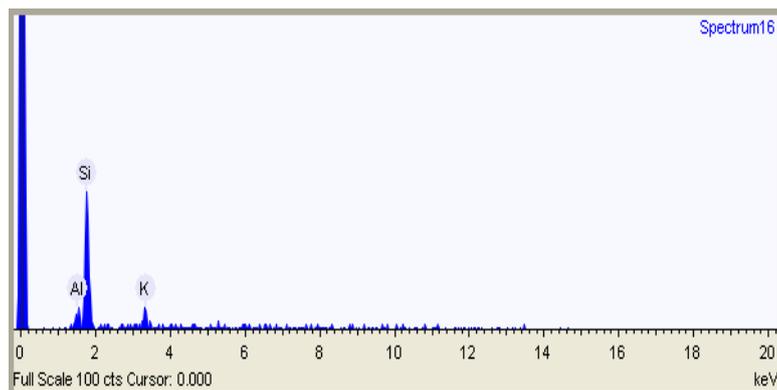
HS4 3 borde de cristal Esmectita

Acquisition conditions

Acquisition time (s) 30.0

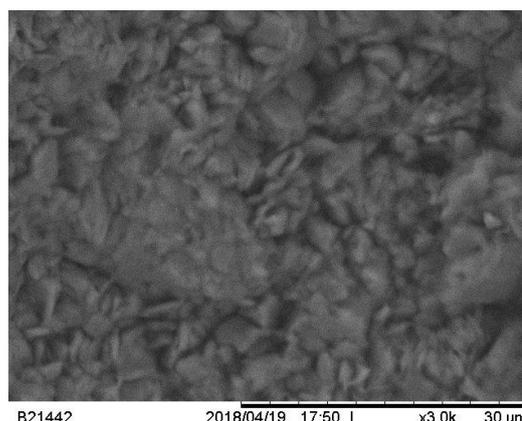
Process time 4

Accelerating voltage (kV) 15.0



Summary results

Element	Weight %
Aluminum	7.4
Silicon	76.3
Potassium	16.3



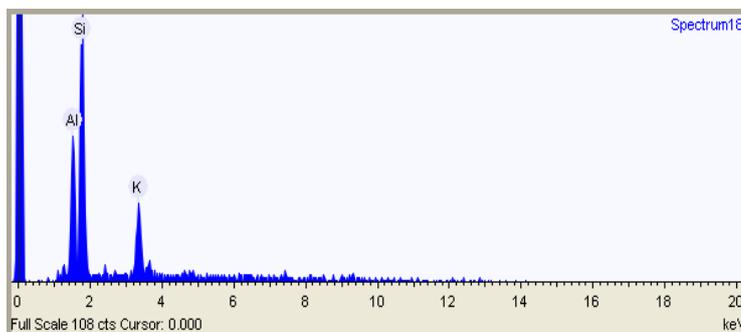
HS4 Esmectita

Acquisition conditions

Acquisition time (s) 30.0

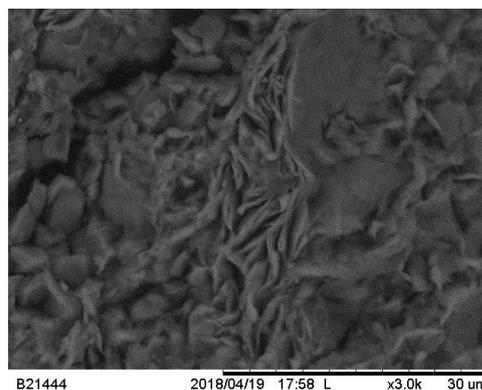
Process time 4

Accelerating voltage (kV) 15.0



Summary results

Element	Weight %
Aluminum	22.1
Silicon	55.0
Potassium	22.9



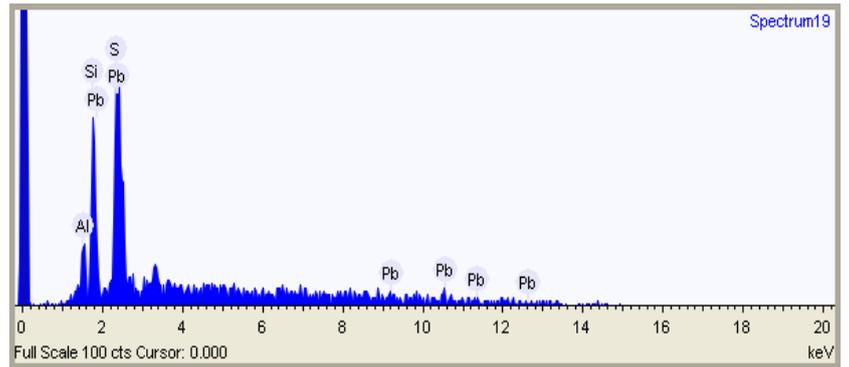
HS4 Galena

Acquisition conditions

Acquisition time (s) 30.0

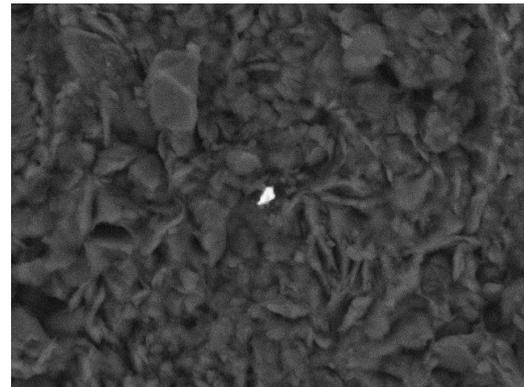
Process time 4

Accelerating voltage (kV) 15.0



Summary results

Element	Weight %
Aluminum	5.2
Silicon	17.5
Sulfur	11.3
Lead	66.0



B21445 2018/04/19 18:01 L x3.0k 30 um

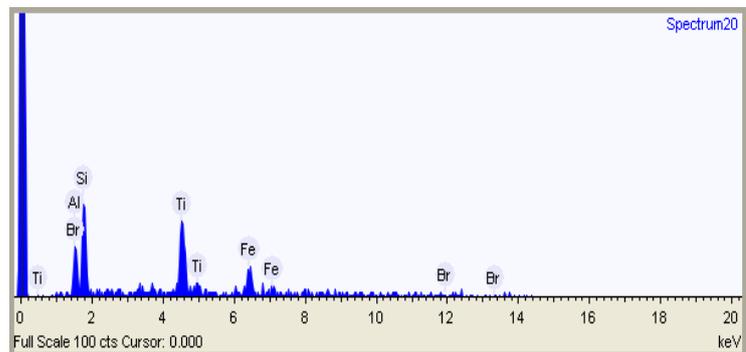
HS5 1

Acquisition conditions

Acquisition time (s) 30.0

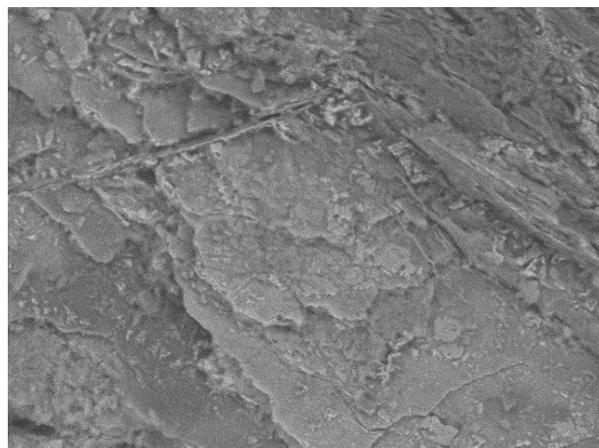
Process time 4

Accelerating voltage (kV) 15.0



Summary results

Element	Weight %
Aluminum	18.4
Silicon	21.4
Titanium	32.7
Iron	27.4



B21446 2018/04/19 18:11 L x1.2k 50 um

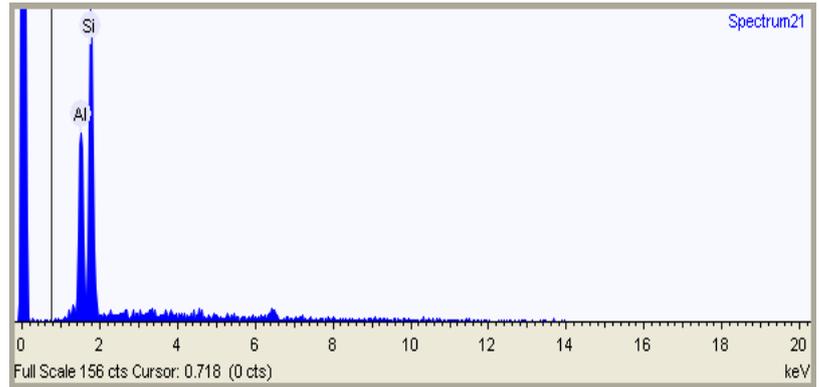
HS5 2 Caolín

Acquisition conditions

Acquisition time (s) 30.0

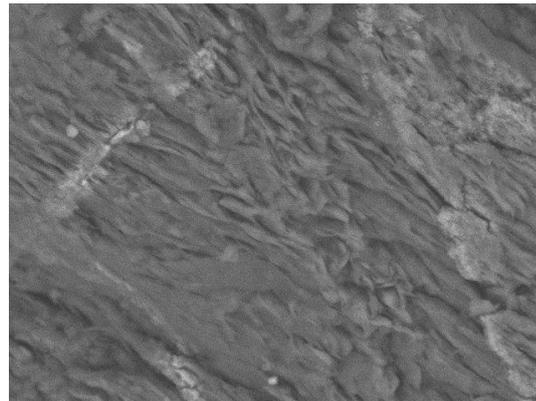
Process time 4

Accelerating voltage (kV) 15.0



Summary results

Element	Weight %
Aluminum	30.8
Silicon	69.2



B21447 2018/04/19 18:16 L x3.0k 30 um

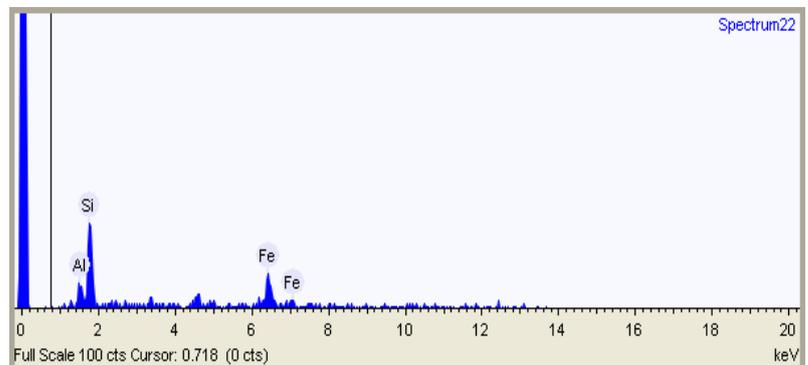
HS5 3

Acquisition conditions

Acquisition time (s) 30.0

Process time 4

Accelerating voltage (kV) 15.0



Summary results

Element	Weight %
Aluminum	9.6
Silicon	34.1
Iron	56.3



B21448 2018/04/19 18:20 L x2.5k 30 um

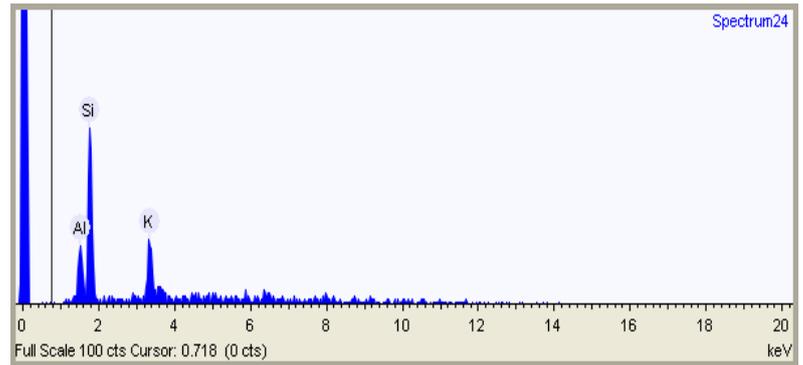
HS5 4 Esmectita

Acquisition conditions

Acquisition time (s) 30.0

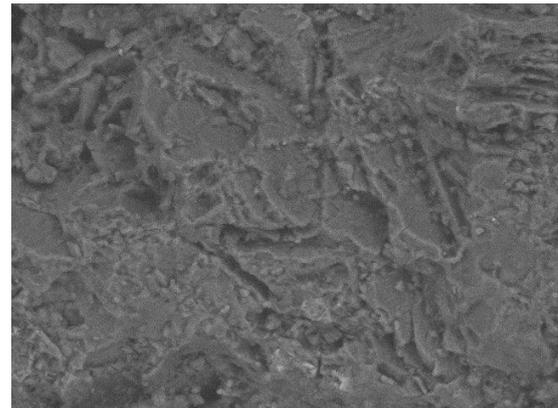
Process time 4

Accelerating voltage (kV) 15.0



Summary results

Element	Weight %
Aluminum	15.0
Silicon	53.2
Potassium	31.9



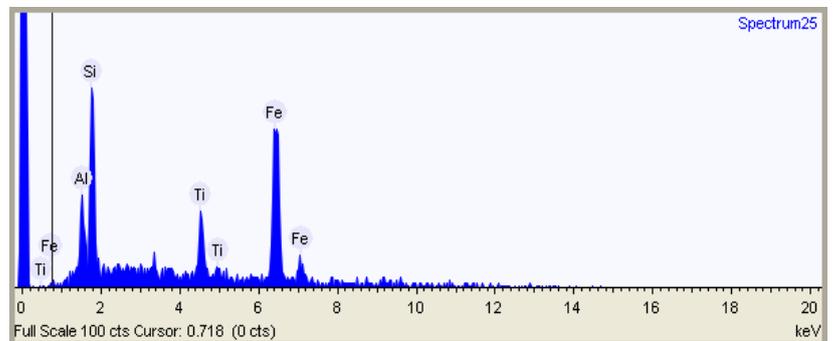
HS5 5 Titanomagnetita

Acquisition conditions

Acquisition time (s) 30.0

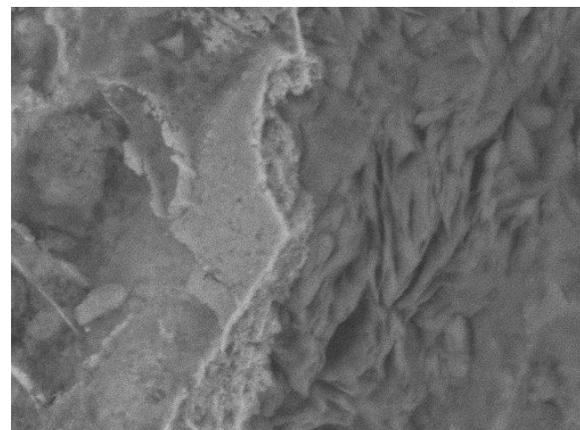
Process time 4

Accelerating voltage (kV) 15.0



Summary results

Element	Weight %
Aluminum	6.6
Silicon	16.8
Titanium	10.5
Iron	66.1



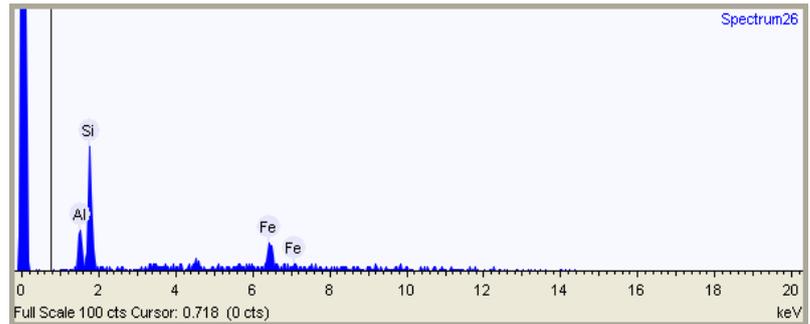
HS 5 6 Ilita

Acquisition conditions

Acquisition time (s) 30.0

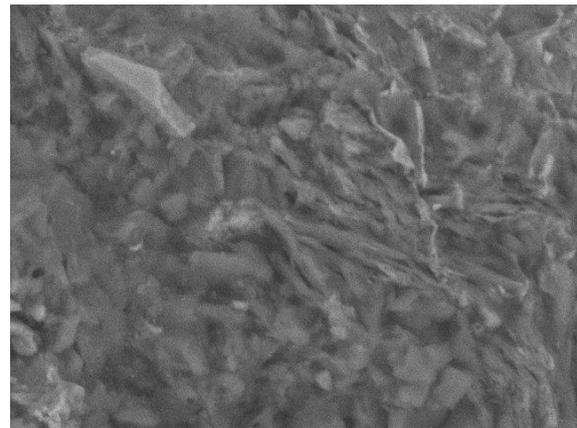
Process time 4

Accelerating voltage (kV) 15.0



Summary results

Element	Weight %
Aluminum	14.6
Silicon	38.7
Iron	46.7



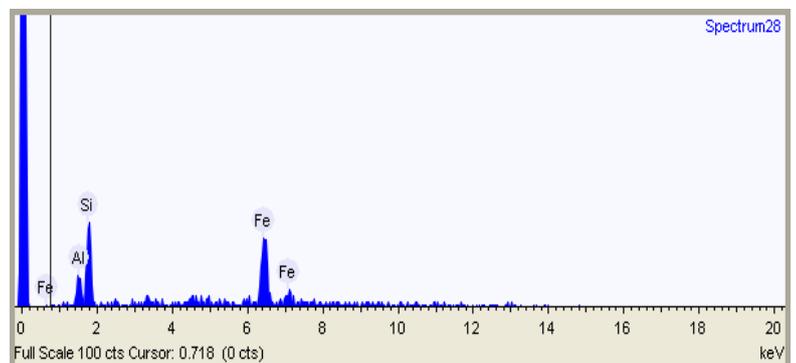
HS5 7 Magnetita

Acquisition conditions

Acquisition time (s) 30.0

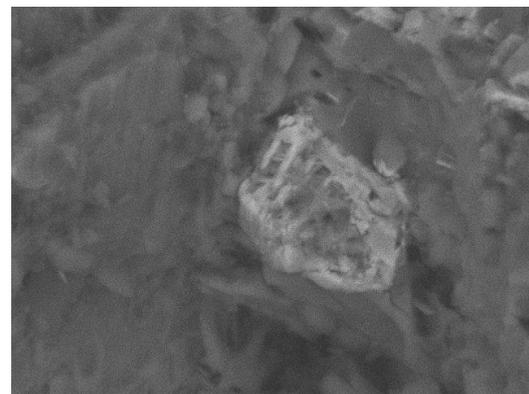
Process time 4

Accelerating voltage (kV) 15.0



Summary results

Element	Weight %
Aluminum	8.2
Silicon	19.4
Iron	72.4



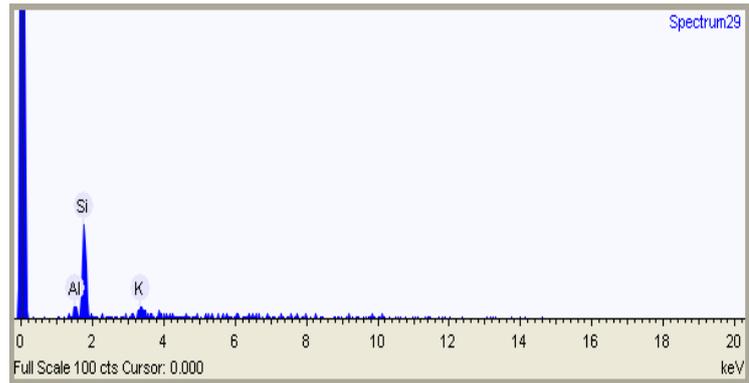
SJS4 1 Esmectita

Acquisition conditions

Acquisition time (s) 30.0

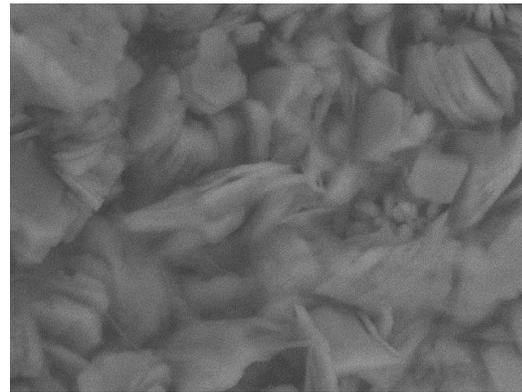
Process time 4

Accelerating voltage (kV) 15.0



Summary results

Element	Weight %
Aluminum	6.4
Silicon	79.9
Potassium	13.7



SJS 2 Esmectita

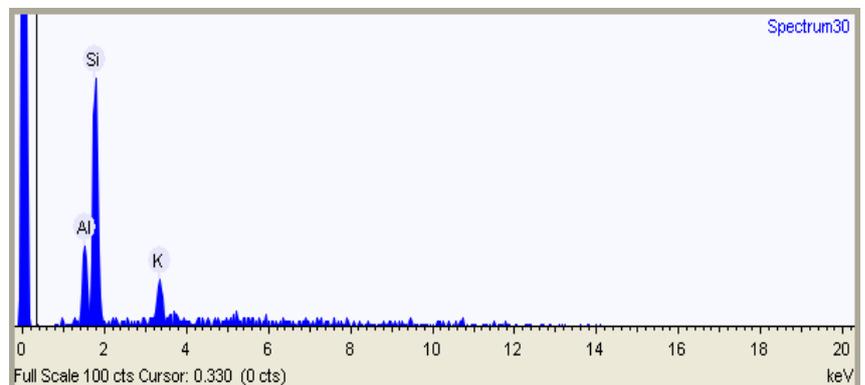
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 30.0

Process time 4

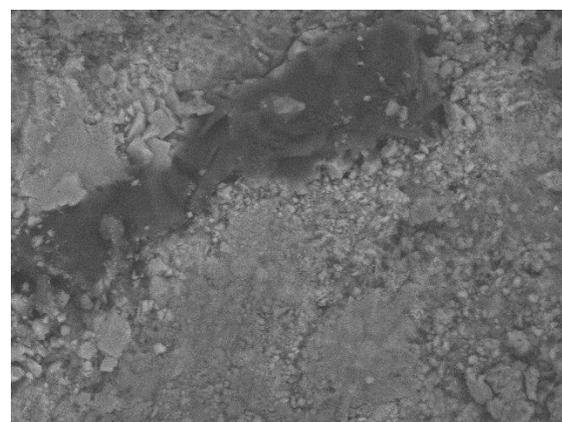
Accelerating voltage (kV)

15.0



Summary results

Element	Weight %
Aluminum	17.3
Silicon	65.4
Potassium	17.4



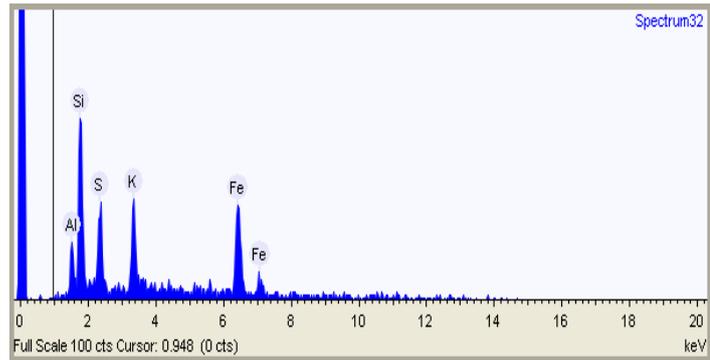
SJS4 3 Pirita, Esmectita

Acquisition conditions

Acquisition time (s) 30.0

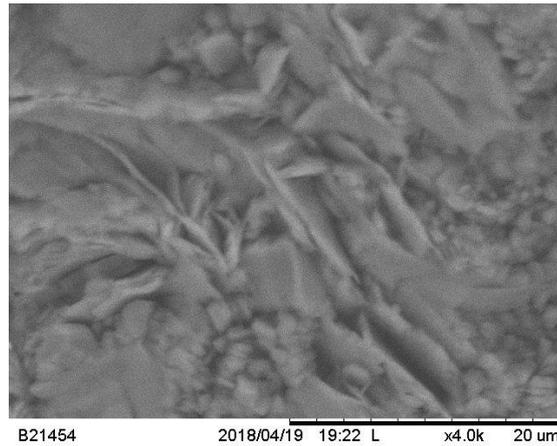
Process time 4

Accelerating voltage (kV) 15.0



Summary results

Element	Weight %
Aluminum	5.9
Silicon	20.8
Sulfur	11.4
Potassium	13.0
Iron	48.9



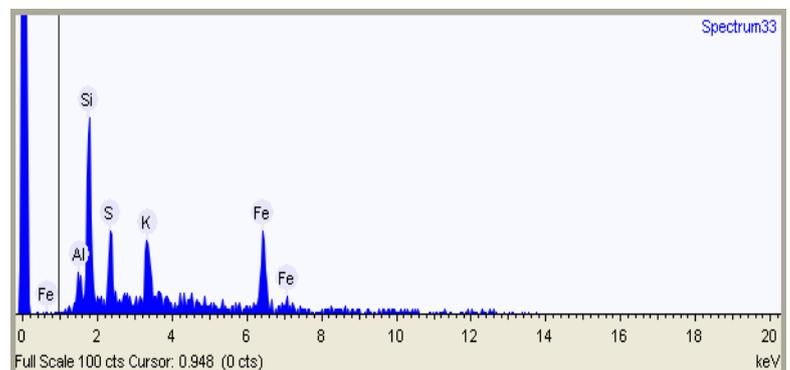
SJS4 4 Pirita, Esmectita

Acquisition conditions

Acquisition time (s) 30.0

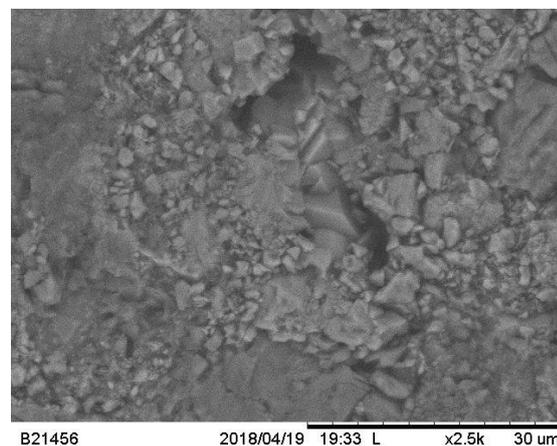
Process time 4

Accelerating voltage (kV) 15.0



Summary results

Element	Weight %
Aluminum	4.2
Silicon	24.8
Sulfur	11.5
Potassium	12.3
Iron	47.2



SJS4 5 Esmectita

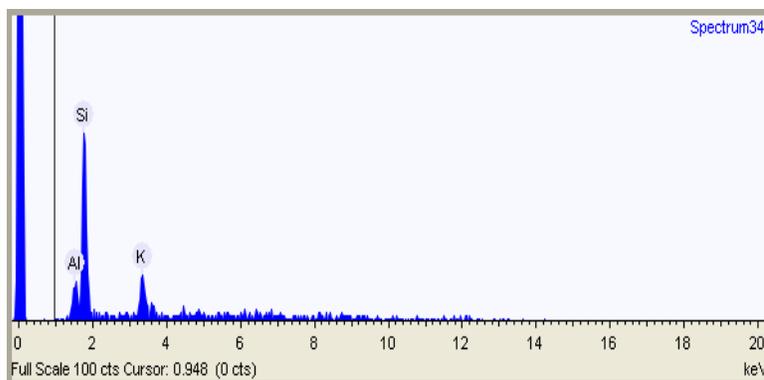
Acquisition conditions

Acquisition time (s) 30.0

Process time 4

Accelerating voltage (kV)

15.0



Summary results

Element	Weight %
Aluminum	7.6
Silicon	66.8
Potassium	25.5



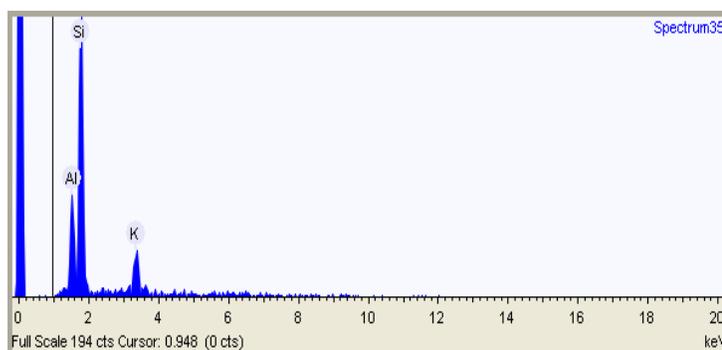
SJS4 6

Acquisition conditions

Acquisition time (s) 30.0

Process time 4

Accelerating voltage (kV) 15.0



Summary results

Element	Weight %
Aluminum	17.2
Silicon	66.1
Potassium	16.7

