

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN-TACNA

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica – Geotecnia

**“APLICACIÓN DE LAS IMÁGENES ASTER PARA LA DETERMINACIÓN DE
ALTERACIONES HIDROTERMALES EN LA FRANJA METALOGÉNICA DE
YACIMIENTOS EPITERMALES DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL
DEL SUR DEL PERÚ”**

TESIS

Presentada por:

Bach. Dina Hilda Huanacuni Mamani

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO GEÓLOGO - GEOTÉCNICO

TACNA - PERÚ

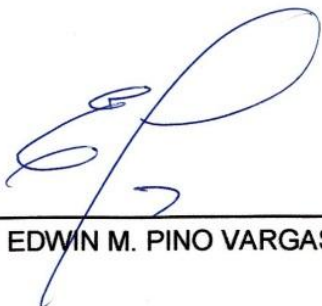
2014

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA – GEOTECNIA

**“APLICACIÓN DE IMÁGENES ASTER PARA LA DETERMINACIÓN DE
ALTERACIONES HIDROTERMALES EN LA FRANJA METALOGENÉTICA DE
YACIMIENTOS EPITERMALES DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL DEL SUR DE
PERÚ”**

Tesis sustentada y aprobada el 15 de abril del 2014, integrada por el siguiente jurado:

PRESIDENTE:



Ph. D. EDWIN M. PINO VARGAS

MIEMBRO –SECRETARIO:



ING. PIO COILA VALDEZ

MIEMBRO:



ING. JORGE BARRIGA GAMARRA

*A mi madre **Isabel Mamani**, por todo su amor, apoyo, comprensión y sacrificio.*

*A mi padre **Eulogio Huanacuni**, por su fortaleza en empujarme a seguir esforzándome cada día más.*

*A mis hermanas **Patricia, Gloria, Celia y Cinthya** que siempre me han apoyado con sus consejos en lo profesional y espiritual.*

*A mi novio y amigo, **Juan Casas** por ser alguien muy especial en mi vida y por demostrarme que en todo momento cuento con él.*

*A mis sobrinos (as) **Daniela, Enrique y Ricky** quienes adoro y llenan mi vida de alegrías.*

AGRADECIMIENTOS

Debo agradecer al Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Dirección de Recursos Minerales y Energéticos y Dirección de Laboratorio, por brindar el apoyo necesario en la realización de este trabajo.

Especial mención y mi sincero agradecimiento al Dr. Humberto Chirif, por acoger gentilmente este trabajo y brindarme la salida de campo para la comprobación de resultados.

También quiero expresar mi agradecimiento de manera especial y sincera al Msc. Jorge Acosta Ale e Ing. María Manrique Gálvez por su disponibilidad, paciencia y dedicación durante el asesoramiento del trabajo, revisión y recomendaciones recibidas. A los Ings. Hismael Rodríguez, Fredy Arcos, Oswaldo Nieto por sus observaciones, sugerencias y Lic. Juan Casas, por su apoyo en el Laboratorio de Teledetección del INGEMMET.

A los Ings Gloria Choque, Jorge Barriga, Pio Coaila, Msc. Edwin Pino, Ítalo Rodríguez, Francisco Zegarra, Jorge Quispe por su aliento constante y motivación.

Un agradecimiento muy especial merece la comprensión, paciencia y el ánimo recibidos de mi familia y amigos.

CONTENIDO

CAPITULO I: INTRODUCCION	1
1.1. Planteamiento de Estudio	2
1.2. Identificación y Planteamiento del Problema	2
1.3. Objetivos de la Investigación	2
1.4. Justificación del Problema de la Investigación.....	3
1.5. Hipótesis	3
1.6. Metodología de la Investigación.....	4
1.7. Marco Teórico	8
1.8. Ubicación y Accesibilidad.....	38
1.9. Antecedentes	39
CAPITULO II: GEOLOGÍA REGIONAL Y GEOLOGÍA ECONÓMICA	41
2.1 Geomorfología	41
2.2 Marco Geológico Regional.....	44
2.2.1 Estratigrafía.....	45
2.2.2 Marco Tectónico Regional	54
2.2.3 Características Geoquímica de Rocas.....	55
2.3 Geología Económica.....	62
2.3.1 Metalogenia	62
2.3.2 Geología, alteración y mineralización	62
CAPITULO III: METODOLOGÍA “PROCESAMIENTO DE IMÁGEN ASTER MEDIANTE EL SOFTWARE ENVI”	69

3.1. Trabajos Preliminares	69
3.2. Modelo de Elevación Digital (DEM)	69
3.3. Filtros Direccionales.....	71
3.4. Procesamiento de imágenes ASTER para determinar anomalías espectrales.....	77
3.4.1 Composición de bandas y cocientes.....	77
3.4.2 Identificación Visual de Zonas de Alteración.....	79
3.4.3 Elaboración de Máscaras.....	83
3.4.4 Cociente de Bandas.....	84
3.4.5 Métodos de Análisis Espectral	88
 CAPITULO IV: RECONOCIMIENTO DE CAMPO Y VALIDACIÓN DE ANOMALÍAS ESPECTRALES.....	 95
4.1 Minerales de alteración Hidrotermal que contribuyen a la Reflectancia de las rocas alteradas.	95
4.2 Espectrómetro PIMA SP	99
4.3 Interpretación de los Ensamblajes mineralógicos.....	102
4.4 Mapeo de alteraciones hidrotermales	104
4.5 Correlación de datos Geoquímicos regionales y locales	114
4.6 Correlación con resultados de muestras Petrominerales.....	121
 CAPITULO V.....	 123
 INTERPRETACIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS IMÁGENES ASTER CON LAS ALTERACIONES HIDROTERMALES.....	 123
5.1. Evaluación de cocientes e Interpretación.....	123
5.2. Mapa de anomalías de alteraciones hidrotermales con mapa de prospección geofísica.	124
.....	128

5.3. Relación de anomalías espectrales con las alteraciones hidrotermales y distribución de depósitos metálicos de los yacimientos Santa Rosa y Tukari	131
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	136
BIBLIOGRAFIA.....	138
RELACIÓN DE ANEXOS.....	144
ANEXO I:	145
ANEXO II:	154
ANEXO III:	157

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.- COMPONENTES DEL CAMPO DE PERCEPCIÓN REMOTA (TOMADO DE CHUVIECO, E. 2008)	10
FIGURA 2.-COMPONENTES DEL REM: UNA ONDA ELECTROMAGNÉTICA SINUSOIDAL (E) Y UNA ONDA SIMILAR MAGNÉTICA (M) EN ÁNGULOS RECTOS, AMBOS SON PERPENDICULAR A LA DIRECCIÓN DE PROPAGACIÓN. (JOGMEC, 2006)	11
FIGURA 3.-LONGITUD DE ONDA (DISTANCIA ENTRE SUCESIVOS PICOS DE LA ONDA) (JOGMEC, 2006)	11
FIGURA 4.-ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO (TOMADO DE NIETO,O)	13
FIGURA 5.- DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL DE LA ENERGÍA RADIADA DESDE LOS CUERPOS NEGROS A VARIAS TEMPERATURAS (DESPUÉS DE T.M. LILESAND Y R.W. KIEFER. 1969)	14
FIGURA 6.-UBICACIÓN DE LAS VENTANAS ATMÓSFERICAS (MÁXIMOS DE TRANSMISIÓN) EN EL ESPECTRO ELECTROMÁGNETICO (VELASCO 2008)	15
FIGURA 7- INTERACCIONES BÁSICAS ENTRE LA ENERGÍA ELECTROMAGNÉTICA Y LA SUPERFICIE TERRESTRE (JOGMEC, 2006)	16
FIGURA 8.- A LA IZQUIERDA SE ENCUENTRA LA UBICACIÓN DE LAS BANDAS 3B Y3N EN EL ESPACIO (JOGMAN, 2006).....	19
FIGURA 9.- A LA DERECHA SE MUESTRA LA CONFIGURACIÓN ESTÉREO DEL SUBSISTEMA VNIR. EL ÁNGULO ENTRE LA POSICIÓN NADIR Y LA POSICIÓN	

VISTA ATRÁS HA SIDO DISEÑADO PARA PERMITIR UNA RELACIÓN BASE – ALTURA DE 0,6 EN LA DIRECCIÓN DE LA ÓRBITA (ALONG TRACK) (JOGMAN, 2006)	19
FIGURA 10.- MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL (JOGMAN, 2006)	19
FIGURA 11.-COMPARACIÓN ENTRE LAS RESOLUCIONES ESPECTRALES DE ASTER Y LANDSAT 7 – THEMATIC MAPPER (JOGMAC, 2006).....	21
FIGURA 12.- ETAPAS UTILIZADAS PARA EL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES ASTER (INGEMMET, 2011).....	22
FIGURA 13.- PROCESO DE ORTORECTIFICACIÓN DE IMÁGENES	25
FIGURA 14.- IMAGEN SIN CORREGIR (IZQUIERDA), IMAGEN ENMASCARADA (DERECHA)	26
FIGURA 15. ESPECTROSCOPIA DE MINERALES Y VEGETALES	29
FIGURA 16. RADIANCIA ESPECTRAL (IZQUIERDA), REFLECTANCIA OBTENIDA CON FLAASH (DERECHA).....	29
FIGURA 17.-VALORES DE LONGITUDES DE ONDA DE LOS RANGOS VISIBLES (VIS), EL INFRARROJO CERCANO (NIR), Y EL INFRARROJO DE ONDA CORTA (SWIR). LA ESCALA HORIZONTAL ESTÁ EN MICRONES Y NANÓMETROS, LA ESCALA VERTICAL MUESTRA EL PORCENTAJE DE REFLECTANCIA.	31
FIGURA 18.- CARACTERÍSTICAS ESPECTRALES DE LA VEGETACIÓN.	32
FIGURA 19.-ILUSTRA LAS POSICIONES DE LONGITUDES DE ONDA DE ALGUNOS ENLACES DE MINERALES COMUNES.....	34
FIGURA 20.-RASGOS DE ABSORCIÓN.....	35
FIGURA 21.-RASGOS MAYORES DE ABSORCIÓN.....	36
FIGURA 22.- ASPECTOS DE UN ESPECTRO DE ABSORCIÓN TÍPICO, INCLUYENDO LA POSICIÓN DE SUS ONDAS, PROFUNDIDAD Y ANCHO (ALTO COMPLETO, MEDIO- ANCHO MÁXIMO). SE MUESTRA TAMBIÉN UN PERFIL GENERALIZADO DENOMINADO “HULL” O “CONTINUO”.....	37
FIGURA 23.-LOS RASGOS DE ABSORCIÓN SEGÚN SU FORMA Y PROFUNDIDAD...	37
FIGURA 24.- CLASIFICACIÓN DE SERIES CALCOALCALINAS DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS A PARTIR DEL CONTENIDO DE ELEMENTOS MAYORES K_2O VS. SiO_2 (LE MAITRE ET AL., 1989)	58
FIGURA 25.- CLASIFICACIÓN DE SERIES CALCOALCALINAS DE LA ZONA DE TUCARI (QDA. PACHAS) & SANTA ROSA A PARTIR DEL CONTENIDO DE ELEMENTOS MAYORES K_2O VS. SiO_2 (LE MAITRE ET AL., 1989).....	58
FIGURA 26.- MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL (DEM) DEL CUADRÁNGULO DE HUAYTIRI.....	70
FIGURA 27.-LINEAMIENTO EN DIRECCIÓN ESTE-OESTE.....	72
FIGURA 28.- LINEAMIENTO EN DIRECCIÓN NORESTE-SUROESTE.....	73
FIGURA 29.- LINEAMIENTO EN DIRECCIÓN NOROESTE-SURESTE.....	74
FIGURA 30.-LINEAMIENTO EN DIRECCIÓN NORTE-SUR.....	75

FIGURA 31- COMPOSICIÓN ASTER RGB: 321	80
FIGURA 32.- COMPOSICIÓN ASTER RGB: 931	81
FIGURA 33.- COMPOSICIÓN ASTER RGB:468.....	82
FIGURA 34. GENERACIÓN DE MÁSCARA DE VEGETACIÓN, ZONAS DE SATURACIÓN, SOMBRA Y AGUA. IZQUIERDA: IMAGEN ASTER RGB: 321; DERECHA: MÁSCARA GENERADA.....	84
FIGURA 35.- ESPECTRO DE ALGUNOS MINERALES CARACTERÍSTICOS DE ZONAS DE ALTERACIÓN ARGÍLICA AVANZADA, FÍLICA Y PROPILÍTICA (SEGÚN MANUAL ASTER FOR INGEMMET, H MOROZUMI, 2006).....	85
FIGURA 36.- COMPOSICIÓN RGB: 4/6, 5/6, 5/8.	86
FIGURA 37.- COMPOSICIÓN RGB: 4/5, 4/6, 4/7.	87
FIGURA 38.- DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS VALORES DE LOS PÍXELES Y DETERMINACIÓN DE EJES PRINCIPALES.	88
FIGURA 39.- FIRMAS ESPECTRALES DE ALGUNOS MINERALES CON PRESENCIA DE HIERRO (Fe ³⁺) E HIDRÓXIDOS (OH ⁻), B1, B3,.....B9 INDICA LA POSICIÓN DE LAS BANDAS DEL SENSOR ETM+ DEL SATÉLITE ASTER.....	90
FIGURA 40.- COMPONENTES PRINCIPALES SELECCIONADAS DEL ANÁLISIS DE AUTOVALORES.....	91
FIGURA 41.- CLASIFICACIÓN DE ALTERACIONES A PARTIR DE COMPONENTES PRINCIPALES.	92
FIGURA 42.- MAPA DE ALTERACIONES ARGÍLICA , FÍLICA, PROPILÍTICA OBTENIDA CON EL MÉTODO PCA EN LA ZONA DE ESTUDIO	93
FIGURA 43.- MAPA DE ALTERACIONES ARGÍLICA, FÍLICA, PROPILÍTICA Y PUNTOS DE MUESTREO.	94
FIGURA 44.- FIRMAS ESPECTRALES DE MINERALES DE ALTERACIÓN ARGÍLICA AVANZADA, INTERMEDIA Y PROPILÍTICA.....	96
FIGURA 45- FIRMAS ESPECTRALES DE MINERALES DE ALTERACIÓN DE DEPÓSITOS DE BAJA SULFURACIÓN.	97
FIGURA 46- FIRMAS ESPECTRALES DE MINERALES DE ALTERACIÓN DE DEPÓSITOS PORFIRÍTICOS.....	98
FIGURA 47.-SE MUESTRAN LOS DIFERENTES RANGOS DE LONGITUD DE ONDA QUE PUEDES MEDIR ALGUNOS EQUIPOS.	99
FIGURA 48.- LADO IZQUIERDO CALIBRACIÓN DEL PIMA Y LADO DERECHO ENTORNO DEL SOFTWARE.....	101
FIGURA 49. -RANGOS DE TEMPERATURA, DEDUCIDOS A PARTIR DE LOS ESTUDIOS GEOTÉRMICOS, EN LAS QUE SON ESTABLES LOS MINERALES HIDROTÉRMICOS MÁS COMUNES EN EL AMBIENTE EPITERMAL, DISPUESTAS SEGÚN SU ESTABILIDAD CON RESPECTO AL PH. MOROZUMI H. (2006)	103
FIGURA 50.- LAS FIRMAS ESPECTRALES DEL LADO DERECHO MUESTRAN LAS CURVAS ESPECTRALES DEL MINERAL ALUNITA CON RASGO DE ABSORCIÓN DE	

1480NM DE LOS DEPÓSITOS DE SANTA ROSA, TUKARI, ARASI SE COMPARÓ CON LA LIBRERÍA ESPECTRAL DE LA USGS. LADO IZQUIERDO, EN LA MUESTRA M0809-001 SE TIENE EL MINERAL DE LA ALUNITA CON ÓXIDOS DE FE DEL YACIMIENTO SANTA ROSA.	104
FIGURA 51.- FIRMA ESPECTRAL DEL MINERAL ALUNITA-CAOLINITA, ALUNITA K-CAOLINITA-JAROSITA DEL SECTOR A-TUKARI-QDA PACCHA.....	105
FIGURA 52.- FIRMA ESPECTRAL DE LA ASOCIACIÓN DE MINERALES SÍLICE-ALUNITA K-NA-CA DEL SECTOR A-TUKARI-QDA PACCHA.	105
FIGURA 53.- FIRMA ESPECTRAL DE LA ASOCIACIÓN DE MINERALES SÍLICE-ALUNITA K CON RASGOS DE ABSORCIÓN 1478 Y 1480NM DEL SECTOR A-TUKARI-QDA PACCHA.	106
FIGURA 54.- MAPA DE ANOMALÍAS ESPECTRALES CON LA DISTRIBUCIÓN DE MUESTRAS.	107
FIGURA 55.- ESPECTROS DE REFLECTANCIA DE LA ZONA DE ALTERACIÓN ARGÍLICA AVANZADA DEL SECTOR A- TUKARI, OBTENIDOS CON EL ESPECTRÓMETRO PIMA (SWIR). LAS CURVAS SON COMPARADAS CON LA LIBRERÍA ESPECTRAL DE LA USGS	108
FIGURA 56.- ESPECTROS DE REFLECTANCIA DE LA ZONA DE ALTERACIÓN ARGÍLICA INTERMEDIA DEL SECTOR A- TUKARI, OBTENIDOS CON EL ESPECTRÓMETRO PIMA (SWIR).	109
FIGURA 57.- ESPECTROS DE REFLECTANCIA DE LA ZONA DE ALTERACIÓN ARGÍLICA INTERMEDIA DEL SECTOR A- TUKARI, OBTENIDOS CON EL ESPECTRÓMETRO PIMA (SWIR). LAS CURVAS SON COMPARADAS CON LA LIBRERÍA ESPECTRAL DE LA USGS	110
FIGURA 58- MAPA DE ANOMALÍAS ESPECTRALES DEL SECTOR DE CHARAQUE.	111
FIGURA 59.- MAPA DE DECONVOLUCIÓN DE EULER –LINEAMIENTOS MAGNÉTICOS.....	127

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 1.- VISTA DE CUMBRES Y ALTIPLANICIES DISECTADAS.	43
FOTOGRAFÍA 2.-VISTA DEL VALLE EN LA ZONA DE MATALAQUE CON PENDIENTES FUERTES.	43
FOTOGRAFÍA 3.-VISTA DE LA MINA SANTA ROSA EN DONDE SE MUESTRA CUMBRES Y ALTIPLANICIES DISECTADAS.....	44
FOTOGRAFÍA 4.-VISTA DEL DOMO MAURUMA.....	65
FOTOGRAFÍA 5.- VISTA DEL DOMO MAURUMA.	65

FOTOGRAFÍA 6.-VISTA PANORÁMICA DEL DEPÓSITO DE SANTA ROSA	66
FOTOGRAFÍA 7.-VISTA PANORÁMICA AL TAJO DE SANTA ROSA.	66
FOTOGRAFÍA 8.-VISTA PANORÁMICA DEL DEPÓSITO DE TUCARI	67
FOTOGRAFÍA 9.-VISTA PANORÁMICA DEL DEPÓSITO DE TUCARI	67
FOTOGRAFÍA 10.- ANALIZADOR MINERAL INFRARROJO PORTÁTIL MODELO SP, PORTABLE INFRARED MINERAL ANALYZER (PIMA SP) CON LONGITUD DE ONDA (λ) DE 1300 – 2500 NM.	101
FOTOGRAFÍA 11.- SECADO DE MUESTRAS.....	102
FOTOGRAFÍA 12.- MUESTRA R0809-004 (IZQUIERDA) BRECHA MAURUMA DEL SECTOR DE SANTA ROSA TOTALMENTE SILICIFICADA Y PRESENCIA DE ÓXIDOS FE Y MUESTRA R0809-009 (DERECHA) SE ENCUENTRA SILICIFICADA CON PRESENCIA DE NUMEROSAS FRACTURAS Y CAVIDADES RELLENAS DE CUARZO, PIRITA, ESFALERITA-CALCOPIRITA Y GALENA POR TODA LA MUESTRA(VER ANEXO RESULTADOS DE ANÁLISIS PETROMINERALÓGICOS).....	115
FOTOGRAFÍA 13.- MUESTRA R0809-007A (IZQUIERDA) LA MUESTRA CORRESPONDE A UNA DE RELLENO COMPUESTA DE ESFALERITA, CALCOPIRITA, PIRITA, GALENA, COBRES GRISES Y ALGO DE MARCASITA Y MUESTRA R0809-008 (DERECHA) LA MUESTRA CORRESPONDE A UNA ESTRUCTURA DE RELLENO COMPUESTO DE CAVIDADES RELLENAS DE ESFALERITA, GALENA, COBRES GRISES Y CALCOPIRITA. (VER ANEXO RESULTADOS DE ANÁLISIS PETROMINERALÓGICOS).....	116
FOTOGRAFÍA 14- MUESTRA R0809-001 (IZQUIERDA) DEL MINERAL ALUNITA EN LUZ TRANSMITIDA NICOLES PARALELOS, MUESTRA EN MANO TOTALMENTE SILICIFICADA VER FIG 50 Y A LA DERECHA SE ENCUENTRA EN NICOLES CRUZADOS MUESTRA DE MANO TOTALMENTE SILICIFICADA CON PRESENCIA DE ÓXIDOS DE FE.....	121
FOTOGRAFÍA 15.- MUESTRA R0809-013 (IZQUIERDA) CUARZO OQUEROSO. PRESENCIA DE ALUNITA – CAOLINITA Y SULFUROS, REEMPLAZAMIENTO Y DISEMINACIONES. HEMATITA (HM) Y LIMONITAS (LIMS) POR TODA LA MUESTRA. PRESENTAN MINERALES PRIMARIOS COMO PIRITA (8%), CALCOPIRITA (TRAZAS), GALENA (TRAZAS) Y MINERALES SECUNDARIOS HEMATITA-LIMONITAS (5%).....	122
FOTOGRAFÍA 16.-VISTA PANORÁMICA DEL SECTOR CACACHARA	133

LISTA DE CUADROS

CUADRO 1.- ZONAS DE ALTERACIÓN Y PRESENCIA DE MINERALES MAYORES Y MENORES (MODIFICADO DE ROWAN & LATHRAM, 1980).	79
--	----

CUADRO 2.-LOS COCIENTES USADOS PARA PRODUCIR UN MAPA DE ALTERACIONES SE MUESTRAN A CONTINUACIÓN.	85
---	----

LISTA DE LÁMINAS

LÁMINA 1.-MAPA DE UBICACIÓN Y ACCESOS	40
LÁMINA 2.- MAPA GEOLÓGICO	59
LÁMINA 3.- MAPA DE DOMINIOS ESTRUCTURALES	60
LÁMINA 4.- MAPA DE UBICACIÓN DE MUESTRAS	61
LÁMINA 5.- MAPA METALOGENÉTICO DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	68
LÁMINA 6.- MAPA DE FILTROS DIRECCIONALES	76
LÁMINA 7.- MAPA DE ALTERACIONES ZONA TUKARI-PACCHA, SANTA ROSA - CACACHARA.....	112
LÁMINA 8.- MAPA DE ANOMALÍAS DEL SECTOR CHARAQUE.....	113
LÁMINA 9.- MAPA DE DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA DE AG	117
LÁMINA 10.- MAPA DE DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA DE AS.....	118
LÁMINA 11.- MAPA DE DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA DE HG	119
LÁMINA 12.- MAPA DE DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA DE CD	120
LÁMINA 13.- MAPA DE RATIO DE K/Th Y ANOMALÍAS ESPECTRALES ASTER ..	128
LÁMINA 14.- MAPA DE ANOMALÍA %K Y ANOMALÍAS ESPECTRALES ASTER ...	129
LÁMINA 15.- MAPA DE LINEAMIENTOS (ASTER) Y DECONVOLUCIÓN DE EULER	130
LÁMINA 16.- CORRELACIÓN ENTRE EL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES, PETROMINERAGRAFIA Y GEOFÍSICA.....	135

LISTA DE TABLAS

TABLA 1.-CARACTERÍSTICAS DE LOS SUBSISTEMAS DE LA IMAGEN ASTER.....	18
TABLA 2.-CARACTERÍSTICAS DE LOS NIVELES DE IMÁGENES ASTER.	22
TABLA 3.- ESTRUCTURA DE LOS DATOS ASTER.....	23
TABLA 4.-COEFICIENTES DE CONVERSIÓN (FUENTE: ASTER USER HANDBOOK VERSIÓN 2).....	27
TABLA 5.-REGIONES DE REFLECTANCIA ESPECTRAL	32
TABLA 6.-MODOS DE VIBRACIÓN	33
TABLA 7.- COMBINACIÓN DE BANDAS DE IMAGEN ASTER.....	77
TABLA 8.- COMPOSICIÓN RGB: 3, 2,1	78
TABLA 9.- COMPOSICIÓN RGB: 4/5,4/6,4/7 (LABORATORIO DE TELEDETECCIÓN)78	

TABLA 10.- SUBGRUPOS DE BANDAS PARA LA DETERMINACIÓN DE TIPOS DE ALTERACIÓN ASTER	90
TABLA 11. -ANÁLISIS DE AUTOVALORES OBTENIDOS DE LA TRANSFORMACIÓN POR COMPONENTES PRINCIPALES PARA EL SUBGRUPO DE BANDAS 123.....	91
TABLA 12.- ANÁLISIS DE AUTOVALORES OBTENIDOS DE LA TRANSFORMACIÓN POR COMPONENTES PRINCIPALES PARA EL SUBGRUPO DE BANDAS 1467.....	91
TABLA 13.- COMPONENTES PRINCIPALES FINALES QUE DETERMINAN LAS ABUNDANCIAS RELATIVAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE ALTERACIÓN.	92
TABLA 14.-LISTA DE MUESTRAS ANALIZADAS POR AU	114
TABLA 15.-LISTA DE MUESTRAS POR OTROS ELEMENTOS	115

RESUMEN

Las imágenes ASTER fueron analizadas para correlacionar las alteraciones hidrotermales de los depósitos de Santa Rosa, Tukari, Sector de Charaque (cuadrángulo Huaytiri). La imagen del cuadrángulo Huaytiri (34v) fue procesado digitalmente y los resultados fueron presentados en combinaciones de bandas, cocientes, componentes principales - PCA, mapas de clasificación y anomalías de alteración hidrotermal.

En la evaluación de campo de los yacimientos de Santa Rosa y Tukari, se identificó y correlacionaron con los mapas de anomalías de alteraciones hidrotermales y anomalías espectrales producidas en el procesamiento digital de la imagen. Los estudios petrográficos y geoquímicos demostraron que el cociente 4/6 resalta la zona de alteración argílica (cuarzo- alunita, pirofillita), el cociente 5/6 la alteración fílica (cuarzo-sericita) tiene una alta correlación con las aureolas de alteración mapeadas en los distritos de Santa Rosa y Tukari.

Mediciones de reflectancia obtenidas con el espectrómetro PIMA/SP de las rocas en las zonas de alteración y alrededores de las minas nos demostraron que la zona argílica avanzada tiene alta reflectancia sílice-alunita, la cual se encuentra en la parte central de los depósitos epitermales de alta sulfuración.

Finalmente, la correlación entre el resultado de las anomalías de las imágenes ASTER, petromineralógico, espectral y geofísica radiométrica son herramientas que nos ayudaran a discriminar y definir target de perforación.

CAPITULO I: INTRODUCCION

Los yacimientos epitermales de alta sulfuración en el Sur del Perú, muestran características geológicas muy especiales que presentan mineralización de oro y plata hospedados principalmente en rocas volcánicas del mio-plioceno. El descubrimiento de nuevos depósitos ha desarrollado la evaluación de evidencias y controles identificados por los diferentes tipos de prospección realizados en los diversos programas de exploraciones.

El desarrollo del presente trabajo de Tesis, correlaciona las imágenes de satélite tipo ASTER con zonas de anomalías de alteraciones hidrotermales de los volcánicos Cenozoicos en los departamentos de Puno y Moquegua, al Sureste del Perú. Para la comprobación de resultados se ha utilizado el Espectrómetro infrarrojo portátil –PIMA/SP que identifica asociaciones de minerales, así como estudios petrográficos. También se realizaron correlaciones con imágenes radiométricas de K/Th. Esta área es considerada como favorable para la exploración de yacimientos tipo epitermales, debido a la amplia distribución de secuencias volcánicas Cenozoicas y por evidencias de mineralización aurífera como los depósitos de Santa Rosa, Tucari, sector Charaque, Pavico, Canahuire - Chucapaca entre otros.

1.1. Planteamiento de Estudio

1.2. Identificación y Planteamiento del Problema

Actualmente la utilización de los sensores remotos predomina en la etapa de prospección para determinar áreas con alteraciones hidrotermales.

La zona de estudio tiene potencial por depósitos metálicos, morfoestructuralmente se encuentra en el Arco del Barroso y el Altiplano Andino, geomorfológicamente se encuentran estructuras volcánicas en formas dómicas y llanuras intravolcánicas. Se propone una metodología para el procesamiento de imágenes satelitales del sensor ASTER para determinar zonas con alteración hidrotermal, que permitirá dar respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Qué método es el adecuado para el mapeo de alteraciones hidrotermales?
- ¿Cuáles son las zonas con alteración hidrotermal favorables para la exploración por depósitos minerales?
- ¿Qué patrones metalogenéticos debemos seguir y cuáles son sus características más relevantes?

1.3. Objetivos de la Investigación

Objetivo General:

- Determinar zonas con alteración hidrotermal para definir las como áreas favorables por depósitos minerales en el dominio volcánico Cenozoico de la Cordillera Occidental del Sur del Perú.

Objetivo Específico:

- Definir los controles distritales de mineralización de los principales depósitos minerales del área de estudio.
- Determinar patrones de anomalías espectrales, según la metalogenia del área.
- Generar un mapa de alteraciones hidrotermales favorables con potencial por depósitos minerales.

1.4. Justificación del Problema de la Investigación

El presente tema de investigación pretende realizar el mapeo de alteraciones hidrotermales, proponiendo un procedimiento para el procesamiento de imágenes y empleando nuevas técnicas. Todo ello, con la finalidad de determinar zonas favorables para la exploración de depósitos minerales, a partir de patrones metalogenéticos distritales de yacimientos conocidos como: Santa Rosa, Tukari, Arasi, San Antonio de esquilache y Chucapaca (Canahuire).

1.5. Hipótesis

Utilizando el procesamiento de imágenes ASTER, se podrá determinar zonas con alteración hidrotermal para definir las como áreas favorables por depósitos minerales en la cordillera occidental del sur del Perú. Los yacimientos epitermales tienen un patrón espectral diferente a otros depósitos minerales, el cual se puede aplicar para la exploración.

Variable independiente

Elaboración de mapas de anomalías espectrales de alteraciones.

Indicador:

Verificación en campo para luego realizarse los estudios de petromineralogía, Espectrometría de reflectancia (PIMA) e imágenes geofísicas.

Variable dependiente:

Zonas potencialmente favorables por depósitos epitermales de Au-Ag.

Indicador:

La elaboración de mapas de anomalías espectrales se realizará mediante el método de Análisis de Componentes Principales (PCA) son algoritmos matemáticos que se encuentran en el software ENVI 4.3 el cual nos ayudara a discriminar la asociación de minerales de alteración argílica avanzada, filica y propilitica.

1.6. Metodología de la Investigación

La metodología que se utilizó es la siguiente:

A. Compilación de Gabinete:

- ✓ Recopilación y sistematización bibliográfica de información geológica-minera, implementación de base de datos de ocurrencias y prospectos mineros.

- ✓ Realización del Procesamiento de imágenes tipo ASTER para determinar las anomalías hidrotermales.
- ✓ Interpretación de imágenes satelitales y la realización de los filtros direccionales como N-S, E-O, Noreste-Suroeste y Noroeste-Sureste, reconociendo fallas y lineamientos estructurales.
- ✓ Preparación de folios y planificación de trabajos de campo.
- ✓ Redacción del informe preliminar.

B. Patrones de Prueba de Zonas de Interés

- ✓ Interpretación de las asociaciones de minerales que puedan existir y determinar el tipo de alteración al que pertenecen.

C. Trabajo de campo - muestreo de Roca para Análisis espectral

- ✓ Descripción litológica, estructural y alteraciones hidrotermales.
- ✓ Recopilación de muestras de campo de las zonas con anomalías tipo argílica, fílica para la realización de estudios geoquímicos (elementos mayores, análisis de Au por ensayo al fuego con 50g por absorción Atómica-AAS o gravimetría), petromineralógicos y PIMA, los cuales nos ayudaran a consolidar la existencia de condiciones favorables para la mineralización.

Muestreo espectral

Luego de la extracción de muestra con anomalías se procede a limpiar una pequeña parte del afloramiento de tal forma que la muestra de mano tenga la mayor parte caras libres de la acción meteórica en el caso que se presente muestra húmeda se procede al secado al horno de 30 a 60 grados centígrados; finalmente se procede a la lectura del espectro de la muestra con el PIMA e identificación del espectro para poder determinar los ensambles mineralógicos.

La imagen seleccionada para el presente estudio correspondió a una parte de la escena SWIR ASTER, tomada el 10 de noviembre del 2001. La imagen fue procesada en el Laboratorio de Teledetección del INGEMMET, utilizando dos software de procesamiento digital de imágenes:

- ✓ ENVI trabaja en ambiente Windows para PC.

Las características del ASTER se describirán en el siguiente capítulo.

Durante el procesamiento digital de la imagen seleccionamos una sub-escena de ASTER, equivalente al cuadrángulo 34v. Esta imagen está compuesta de 1666 x 1666 pixels, fue georeferenciada a un sistema estándar y corregido por efectos de dispersión atmosférica. Posteriormente se aplicaron técnicas de mejoramiento de contraste para llevar a cabo la interpretación.

Las técnicas utilizadas para la interpretación de la imagen del cuadrángulo 34v fueron las siguientes:

- ✓ Combinación de bandas,
- ✓ Elaboración de máscaras,
- ✓ Cocientes de bandas,
- ✓ Elaboración de mapas de anomalías de alteración hidrotermal,

✓ Análisis de componentes principales (CP)

La combinación entre bandas consiste en seleccionar tres bandas adecuadas y asignarles un color a cada una: rojo, verde, azul (RVA). Estas imágenes a colores fueron utilizadas para identificar anomalías espectrales las cuales podrían estar relacionadas a alteraciones hidrotermales.

Las máscaras son imágenes que actúan como transparencias que sólo ocultan los rasgos que interfieren en la interpretación. Nosotros utilizamos las máscaras para ocultar los rasgos que generaban falsas anomalías de alteración.

Los cocientes son divisiones que se hacen entre dos bandas los cuales se utilizan para exagerar rasgos sutiles del terreno en una nueva imagen en tono de grises. Los cocientes fueron utilizados para resaltar las zonas con alteración argílica.

La clasificación supervisada consiste en definir un numero de regiones en la cual queremos que la imagen sea clasificada, a partir de una muestra ingresada por el usuario. La clasificación fue utilizada para dividir la imagen en tipos de litologías y zonas de alteración hidrotermal.

Además de los métodos ya mencionados para extraer información de la imagen, se procesó una nueva técnica desarrollada por CROSTA para elaborar el mapa de anomalías de alteración hidrotermal del cuadrángulo 34v.

Finalmente para la presentación de resultados utilizamos técnicas de sistemas de información geográfica (ArcGIS 10) para superposición de capas sucesivas (vectores) las cuales denominaremos folios; unidades geológicas, anomalías de alteración, curvas de nivel, drenaje, vías, estructuras, dominios aeromagnéticos, dominios radiométricos y ubicación de muestras en la presentación de resultados.

Así mismo, para tener una mejor apreciación regional de la zona de estudio se generó un modelo digital de elevación (DEM), a partir de la banda 3B y 3N de ASTER utilizando el software ENVI.

En la evaluación de las anomalías producidas con las imágenes ASTER se realizó estudios geoquímicos, petrográficos y con la ayuda del espectrómetro PIMA (SWIR) determinamos las firmas espectrales características de las zonas de alteración hidrotermal del cuadrángulo 34v.

D. Redacción Final del Trabajo de Tesis

- ✓ Elaboración de mapa de anomalías espectrales y geoquímicas, redacción de las discusiones y edición final de la tesis.

1.7. Marco Teórico

Definición

Teledetección (Remote Sensing) es la ciencia y el arte de obtener información de un objeto, área o fenómeno, a través del análisis de datos adquiridos mediante un dispositivo, el cual no está en contacto directo con el objeto, área o fenómeno que se está investigando (Lilesand y

Kiefer,1994). La obtención de los datos involucra el uso de instrumentos llamados sensores, capaces de ver o captar las relaciones espectrales y espaciales de objetos y materiales observables a una considerable distancia de aquellos.

Hay muchas aplicaciones en las que los sensores puede usarse para generar información detallada ya sea en materiales y/o objetos en la superficie de la Tierra. Algunas de ellas son: petróleo, gas, oceanografía agricultura, medioambiente, minería, geología, entre otros.

Los sensores remotos utilizan una fuente de energía para registrar datos de superficie terrestre es las distribuciones de energía del “Espectro Electromagnético” (EMM) debido a las características de la superficie terrestre.

Los sensores remotos son instrumentos que pueden ser colocados en plataformas orbitales, llamados “satélites” o, ser aerotransportados “aviones”. Estas características van a determinar la resolución (espacial y espectral) produciendo una amplia variedad de datos, para ser utilizados desde la elaboración de un mapa, cuantificar o monitorear los diferentes recursos de la tierra, hasta determinar la química de los materiales.

Principios básicos de teledetección

El principio de la teledetección se basa en que cada área emite o refleja una radiación específica, en función de su propia naturaleza, por consiguiente el flujo energético es un factor indispensable en la

adquisición de información para conseguir como producto una imagen o escena (fig.1) (Chuvienco, 2008).

Los procesos y elementos que actúan en los sensores remotos electromagnéticos son la adquisición de datos y el análisis de los datos.

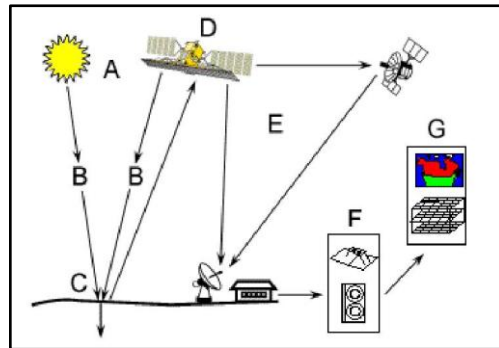


Figura 1.- Componentes del campo de percepción remota (Tomado de Chuvienco, E. 2008)

A: Fuente de energía, pasiva o activa **B:** Trayectoria y su interacción con la atmósfera
C: Incidencia en la superficie terrestre **D:** Satélite **E:** Ciclo de toma y descarga de datos
F: Estación terrena de pre-proceso **G:** Información al usuario.

Energía y principio de radiación

La clave para comprender los sistemas de sensores remotos, la utilización y procesos de sus productos, es entender el camino en que la radiación electromagnética (REM) es generada, propagada y modificada.

La radiación electromagnética es transportada por una onda en un campo electromagnético o como un flujo de partículas, llamados fotones, y que no tiene masa. Los fotones con la energía más alta corresponden a las longitudes de onda más cortas.

Todas estas formas de energía son intrínsecamente similares y se irradian de acuerdo con la teoría básica de ondas, la cual describe la propagación de la energía electromagnética en forma armónica y sinusoidal a la velocidad de la luz (c). La distancia de un máximo de la onda al siguiente es la longitud de onda y el número de picos que pasan por un punto fijo en el espacio por unidad de tiempo es la frecuencia (fig. 2 y fig. 3)

De acuerdo a la física básica, las ondas cumplen con la siguiente ecuación $C=v \lambda$, $v=c/ \lambda$ Donde c velocidad de la luz ($3 \times 10^8 \text{m/seg}$): v es la frecuencia de la luz en hercios (Hz) o ciclos por segundo, y λ (lambda) es la longitud de onda de la luz en metros.

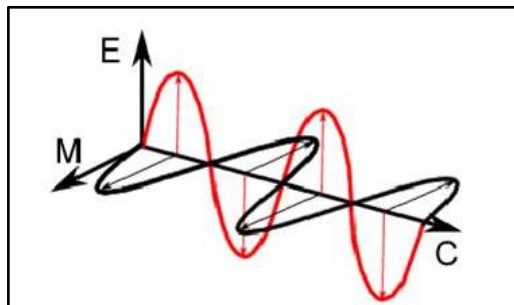


Figura 2.-Componentes del REM: una onda electromagnética sinusoidal (E) y una onda similar magnética (M) en ángulos rectos, ambos son perpendicular a la dirección de propagación. (JOGMEC, 2006)

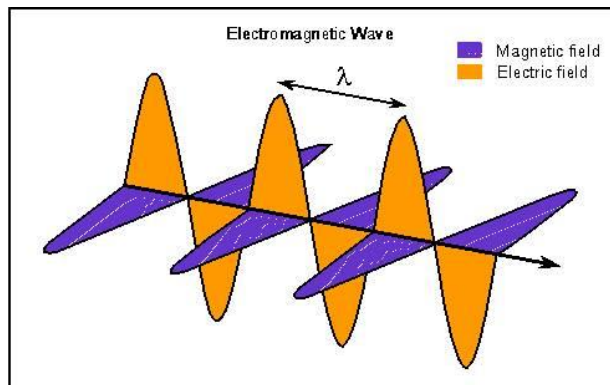


Figura 3.-Longitud de onda (Distancia entre sucesivos picos de la onda) (JOGMEC, 2006)

La mayoría de las características de la radiación electromagnética se explican por la teoría de la onda, también está la teoría Cuántica (o teoría de partículas) que puede ayudar a comprender como la radiación electromagnética interactúa con la materia.

La teoría Cuántica parte del principio, en el cual la REM está compuesta por varias unidades o partículas denominadas fotones o cuanto (Max Planck)

La frecuencia o longitud de onda de la REM es función de la energía del fotón; y está relacionada por la ecuación de Max Planck.

La energía de una longitud de onda, modelo fotón, o energía de radiación se relaciona con la ecuación:

$$Q=h*v \quad \text{o} \quad Q=h*c/\lambda$$

Donde h=Constante de Planck, $6,626*10^{-34}$ J seg.

λ = Longitud de onda (m)

Esta ecuación indica que la energía de un fotón es inversamente proporcional a su longitud de onda, esto permite generalizar que a mayor λ menor es la energía involucrada.

Las ondas más cortas son rayos gamma que tienen longitudes de onda de $10e^{-6}$ micras o menos. Las ondas más largas son de radio que tienen longitudes de onda de muchos kilómetros.

El rango del visible consiste en la porción estrecha del espectro.

Rango Visible: (0,4 a 0,7 μm)

{	Azul: (0,4 a 0,5 μm)
	Verde: (0,5 a 0,6 μm)
	Rojo: (0,6 a 0,7 μm)

- Infrarrojo cercano: (0,7 a 1,3 μm)
- Infrarrojo medio: (1,3 a 8 μm)
- Infrarrojo de onda corta swir: (1,3 a 2,5 μm)
- Infrarrojo térmico: (8 a 14 μm)

Es la distribución de radiación electromagnética según la energía. Las regiones electromagnéticas se definen según, longitud de onda, frecuencia y energía (fig. 4)

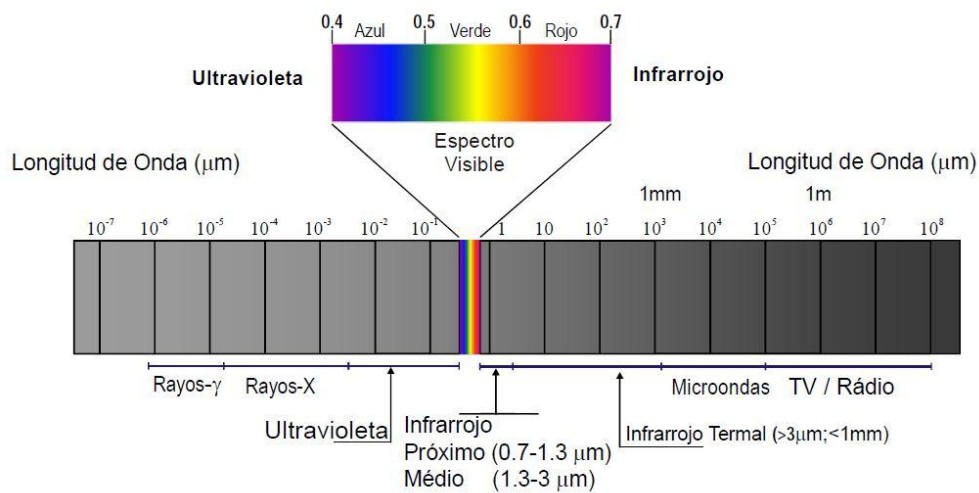


Figura 4.-Espectro electromagnético (Tomado de Nieto,O)

Energía radiante

Todo objeto a temperatura por encima del 0 absoluto (0°K o -273°C) emite energía. La cantidad de energía es función de la temperatura, la ley de **Stefan-Boltzmann** describe esa situación:

$$W = \sigma \cdot T^4$$

Donde W es el total de energía radiante (watts/m^2), σ es la constante de **Stefan-Boltzmann** ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$).

Es importante tener presente la potencia de la temperatura, la relación de **Stefan-Boltzmann** es válida sólo para los denominados *cuerpos negros*, un cuerpo negro es un material ideal que absorbe toda la energía incidente. Esto no existe en la realidad, el máximo de absorción es 1.

Así un cuerpo negro a 6000 K, la temperatura de la superficie del sol, no emitirá radiación con la longitud de onda tan corta como 0,1 μm , teniendo un pico de energía a 0,5 μm , pero emitirá todas las longitudes de onda más allá de 100 μm . la energía total emitida está dada por las áreas bajo las curvas (fig. 5).

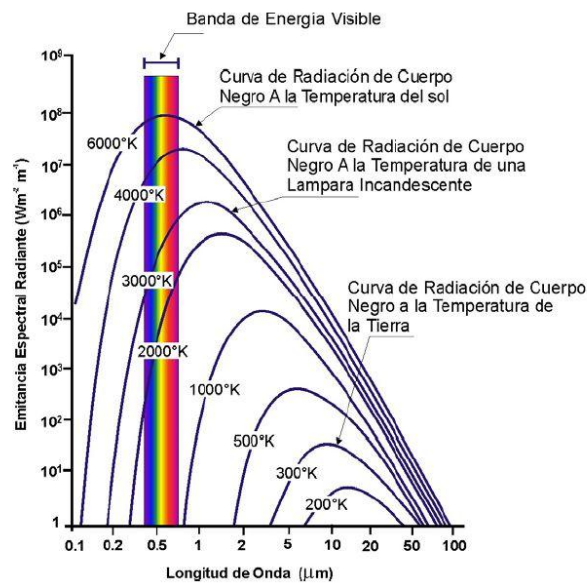


Figura 5.- Distribución espectral de la energía radiada desde los cuerpos negros a varias temperaturas (Después de T.M. Lilesand y R.W. Kiefer. 1969)

Influencia de la Atmósfera o absorción Atmosférica en determinadas longitudes de onda.

La atmosfera tiene un rol importante en el registro de los datos de sensores y en la interacción con la radiación electromagnética. Contiene muchos gases y partículas diferentes, por lo cual absorbe y transmite muchas longitudes de onda diferentes de radiación electromagnética.

En longitudes de onda menores $0,3\mu\text{m}$ (UV) son prácticamente absorbidas. El agua (H_2O) e hidroxilo (OH) absorben radiación en determinadas λ las más importantes son $1,4$; $1,9$; $3,1$ y $6,2\mu\text{m}$.

Otros gases como CO_2 y O_3^+ también absorben radiación, por esta razón los sensores remotos se limitan a las regiones con alta transmitancia, a esas regiones se las denomina *ventanas atmosféricas* (fig. 6)

Estas ventanas existen en la región de las microondas, en algunas bandas de longitud de onda en el infrarrojo, en toda la región visible (VIS) y parte de las regiones del ultravioleta (UV) cercano

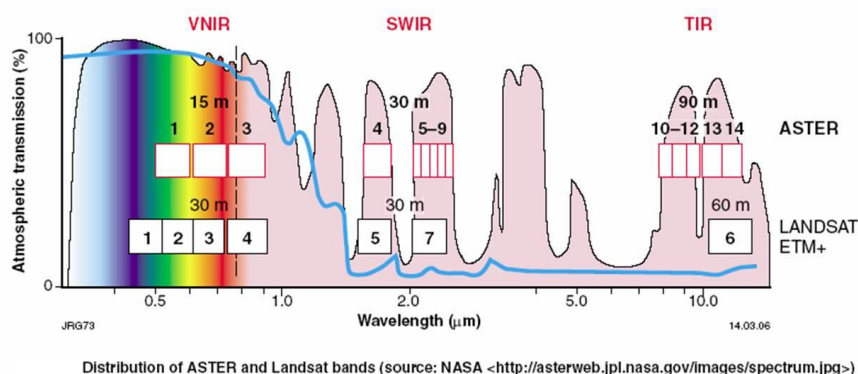


Figura 6.-Ubicación de las ventanas atmosféricas (máximos de transmisión) en el espectro electromagnético (Velasco 2008)

Interacción de la energía con la superficie de la tierra

Cuando la energía electromagnética incide sobre la superficie de la tierra, puede interactuar de tres formas: reflexión (r), absorción (a), y /o transmisión (i). La energía detectada por el sensor es una función de la energía reflejada. (fig. 7)

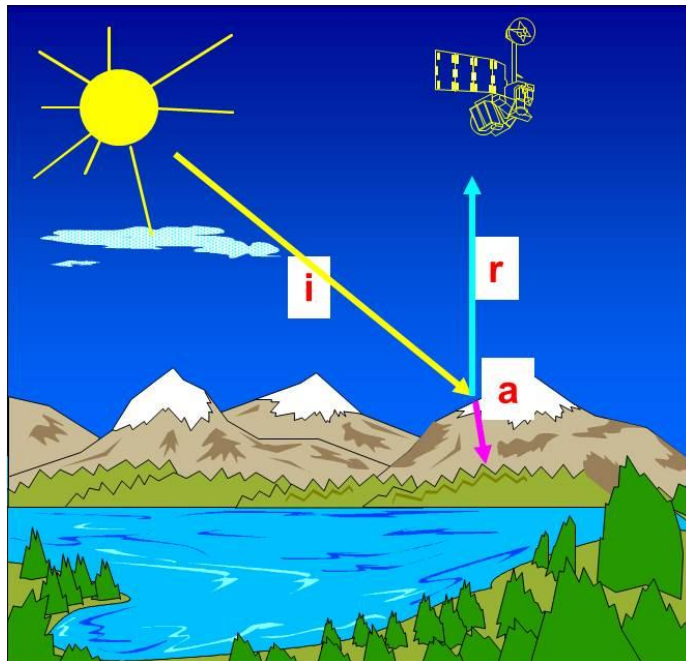


Figura 7- Interacciones básicas entre la energía electromagnética y la superficie terrestre (JOGMEC, 2006)

Características del sensor ASTER

El sensor ASTER obtiene datos a través de 14 bandas espectrales con un ancho de barrido de 60 km y una resolución temporal de 16 días.

El sensor está compuesto de tres radiómetros (Tabla 1), cada uno responsable de medir en diferentes porciones del espectro electromagnético.

El radiómetro en el visible e infrarrojo cercano (VNIR) colecta datos en tres canales espectrales entre 0,52 – 0,86 μm y resolución espacial de 15m.

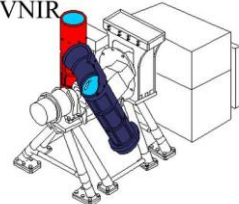
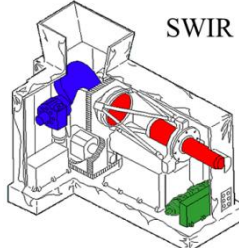
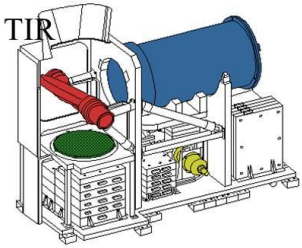
El instrumento VNIR está también equipado con un canal que mira hacia atrás separado en la porción del infrarrojo cercano del espectro electromagnético (canal 3B en la tabla 1), inclinado 27,6° del nadir, que proporciona una capacidad de visión.

El radiómetro infrarrojo de longitudes de onda corta (Short Wavelength InfraRed, SWIR) obtiene datos a través de seis canales espectrales entre 1,60 – 2,430 μm con una resolución espacial de 30 m (Tabla 1)

Finalmente el Radiómetro infrarrojo térmico (Thermal InfraRed, TIR) obtiene datos en cuatro bandas espectrales entre 8,125 – 11,65 μm con una resolución espacial de 90 m.

Las características más relevantes de estas imágenes son que tienen alta resolución espacial y un amplio rango espectral. Su Capacidad estéreo Along –Track B/H 0,6; permite generar DEM o DTM de alta calidad. Presenta una precisión elevación DEM: 15m (**3 σ**) y Precisión Geolocalización DEM: 50m (**3 σ**) (fig. 8 y fig. 9)

Tabla 1.-Características de los subsistemas de la imagen ASTER

REGIÓN ESPECTRAL	RESOLUCIÓN ESPACIAL (M)	BANDA	ANCHO DE BANDA (UM)
 <p>VNIR</p> <p>Visible</p>	15	1	0,520 – 0,600 (Verde)
		2	0,630 – 0,690 (Rojo)
		3N	0,760 – 0,860 (NIR)
		3B	0,76-0,87 (NIR)
 <p>SWIR</p> <p>Infrarojo de Onda Corta</p>	30	4	1,600 – 1,700
		5	2,145 – 2,185
		6	2,185 – 2,225
		7	2,235 – 2,285
		8	2,295 – 2,365
		9	2,360 – 2,430
 <p>TIR</p> <p>Infrarojo Térmico</p>	90	10	8,125 – 8,475
		11	8,475 – 8,825
		12	8,925 – 9,275
		13	10,25 – 10,95
		14	10,95 – 11,65

Modelo de elevación digital (DEM)

Un modelo de elevación digital es regularmente un raster con valores de elevación que representan la superficie del suelo a nivel del mar.

Para generar el DEM se utiliza la tecnología de stereo matching entre las bandas 3N y 3B (fig.8)

Tiene una banda de observación backward (observa con un ángulo de retraso) que pertenece al VNIR (fig.9)

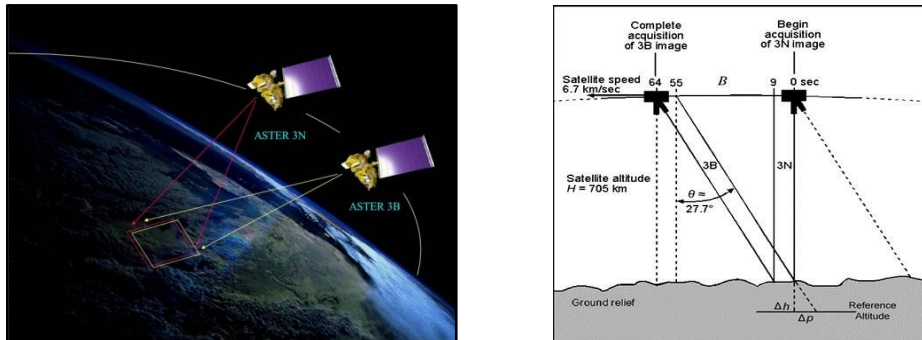


Figura 8.- a la izquierda se encuentra la ubicación de las bandas 3B y3N en el espacio (JOGMAN, 2006)

Figura 9.- a la derecha se muestra la configuración estéreo del subsistema VNIR. El ángulo entre la posición nadir y la posición vista atrás ha sido diseñado para permitir una relación base – altura de 0,6 en la dirección de la órbita (along track) (JOGMAN, 2006)

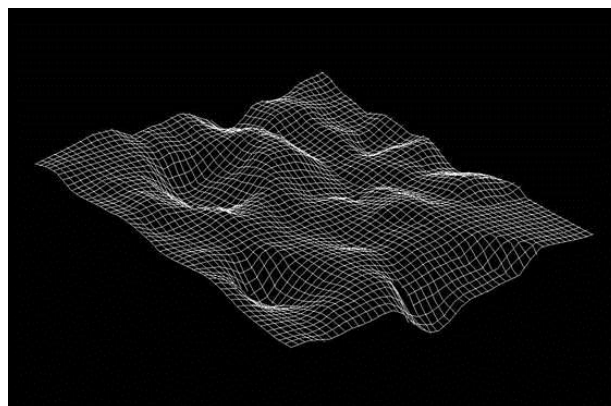


Figura 10.- Modelo de elevación digital (JOGMAN, 2006)

Resolución

Resolución espacial.-Es el tamaño del pixel en el terreno, ASTER 15m, 30, 90m debe ser menor a la mitad de tamaño del objeto de interés más pequeño. Cuanto menor sea el tamaño del pixel será menor la probabilidad de que este sea un compuesto de datos cercanos por lo tanto mayor la resolución espacial.

Resolución temporal.- es la frecuencia con que un satélite puede obtener imágenes de un área en particular. Para el caso del sensor ASTER es de 16 días.

Resolución radiométrica.- La resolución radiométrica o sensibilidad radiométrica se refiere al número de niveles digitales usados para expresar la información colectada por el sensor en una escala de gris (brillo). Se expresa comúnmente como el número de bits (dígitos binarios) necesarios para almacenar el nivel máximo de información.

Resolución espectral.- se refiere a la amplitud de las bandas espectrales. Se relaciona con las características de los diferentes materiales sobre la superficie terrestre que tienen diferentes patrones de respuesta espectral o de emisividad.

Ya que existe una relación estrecha entre la resolución espectral, y la relación señal/ruido, es necesario considerar la buena selección y el número adecuado de bandas espectrales para identificar diferentes blancos de interacción.

Las imágenes del sensor ASTER, tienen 14 bandas y se pueden discriminar las arcillas entre las banda 5 a la 9 a diferencia que las LANDSAT que en ese rango tiene solo la banda 7

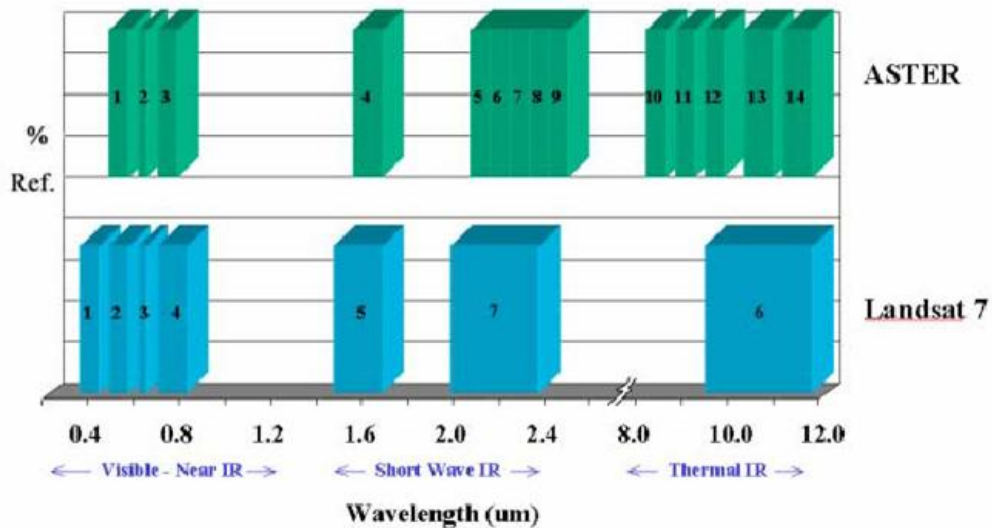


Figura 11.-Comparación entre las resoluciones espectrales de ASTER y LANDSAT 7 – Thematic Mapper (JOGMAC, 2006)

Nivel de data

- Nivel 1A se define como la reconstrucción del dato no procesado a máxima resolución. El dato Nivel 1A viene acompañado por un archivo auxiliar con los datos de efemérides del satélite y con tablas de coeficientes de calibración radiométrica y de corrección geométrica sin aplicar a la imagen. El Nivel 1A es el dato de origen para producir el Modelo Digital de Elevaciones DEM pues posee los parámetros geométricos necesarios que permiten elaborar el DEM sin puntos de control de campo
- Nivel 1B es generado aplicando esos coeficientes.
- Nivel 3A, la información de las imágenes en este nivel cuentan con las correcciones de los niveles L1A y L1B (tabla 2)

Tabla 2.-Características de los niveles de imágenes ASTER.

IMAGEN ASTER	Nivel 1A	Nivel 1B	Nivel 3A
Calibración Radiométrica	X	✓	✓
Georeferenciada	X	✓	✓
Modelo elevación digital (DEM)	X	X	✓

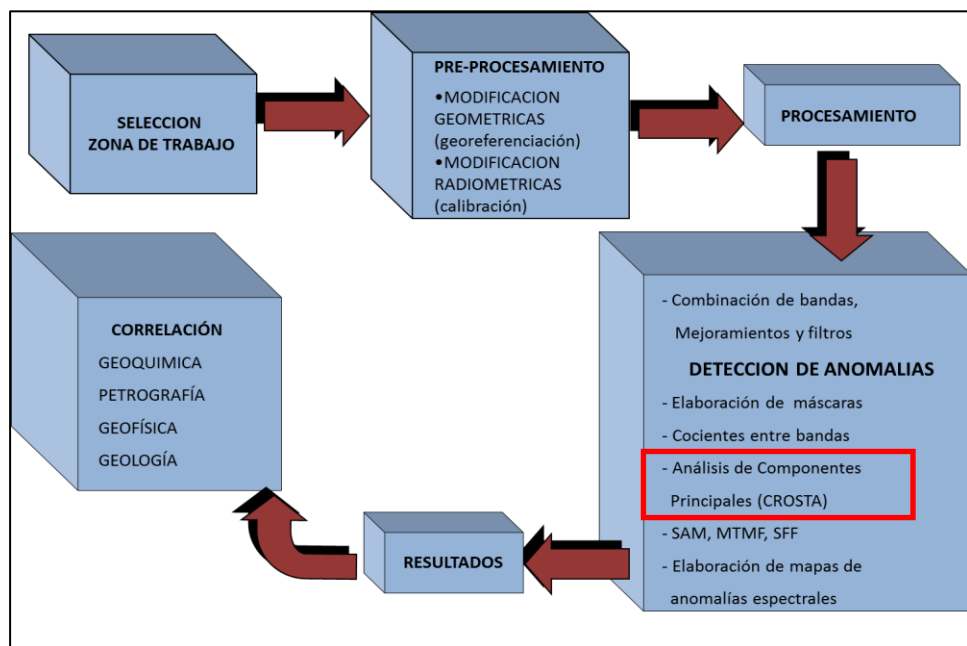


Figura 12.- Etapas utilizadas para el procesamiento de imágenes ASTER (INGEMMET, 2011)

El archivo digital viene en formato HDF (hierarchical data format) es un archivo multi objetivo que comparte distintos tipos de datos. Así como también soporta datos raster, datos vectoriales y metadatos asociados y ofrece para archivos grandes almacenamiento y fácil acceso (tabla 3)

Nº	BANDAS
1	AST_L1A_00311102004150351_20071009115919_32315.hdf_S4
2	AST_L1A_00311102004150351_20071009115919_32315.hdf_S5
3	AST_L1A_00311102004150351_20071009115919_32315.hdf_S6
4	AST_L1A_00311102004150351_20071009115919_32315.hdf_S7
5	AST_L1A_00311102004150351_20071009115919_32315.hdf_S8
6	AST_L1A_00311102004150351_20071009115919_32315.hdf_S9
7	AST_L1A_00311102004150351_20071009115919_32315.hdf_SH
8	AST_L1A_00311102004150351_20071009115919_32315.hdf_T10
9	AST_L1A_00311102004150351_20071009115919_32315.hdf_T11
10	AST_L1A_00311102004150351_20071009115919_32315.hdf_T12
11	AST_L1A_00311102004150351_20071009115919_32315.hdf_T13
12	AST_L1A_00311102004150351_20071009115919_32315.hdf_T14
13	AST_L1A_00311102004150351_20071009115919_32315.hdf_TH
14	AST_L1A_00311102004150351_20071009115919_32315.hdf_V1
15	AST_L1A_00311102004150351_20071009115919_32315.hdf_V2
16	AST_L1A_00311102004150351_20071009115919_32315.hdf_V3B
17	AST_L1A_00311102004150351_20071009115919_32315.hdf_V3N
18	AST_L1A_00311102004150351_20071009115919_32315.hdf_VH

Tabla 3.- Estructura de los datos ASTER

Correcciones Geométricas y Ortorectificación

El dato nivel 1A se procesa con el software elaborado por el equipo científico japonés, en base Windows, Macintosh o Linux, denominado SILCAST (/www.silc.co.jp) Sensor Information Laboratory Corporation, el cual asigna una coordenada a cada pixel realiza la corrección por la altura

sobre el nivel del mar y proyecta los datos a un plano de referencia predeterminado, UTM, WGS84.

SILCAST:

Archivos de entrada: Level-1A HDF Level-1B HDF

Archivo de salida: Geotiff, Proyección UTM.

Ortorectificación

Es una forma de rectificación que corrige el desplazamiento debido al terreno y que se puede usar si existe un DEM del área de estudio. Está basada en las ecuaciones de colinealidad, que se pueden derivar usando GCPs (puntos de control terrestre) en 3D. En áreas relativamente planas, la ortorectificación no es necesaria, pero en áreas montañosas, en las cuales se requiere un alto grado de exactitud, se recomienda la ortorectificación.

Las variaciones topográficas en la superficie de la tierra y la inclinación del satélite afectan la distancia con la que se muestran las características en la imagen satelital. Cuanto más topográficamente diverso sea el paisaje, tanto mayor será la distorsión inherente en la imagen (fig. 13). Para realizar estas correcciones a las imágenes ASTER se utiliza el software SILCAST, que realiza la ortorectificación y extracción de modelos de elevación digital (DEM) a partir de imagen ASTER L1A y L1B en formato HDF.

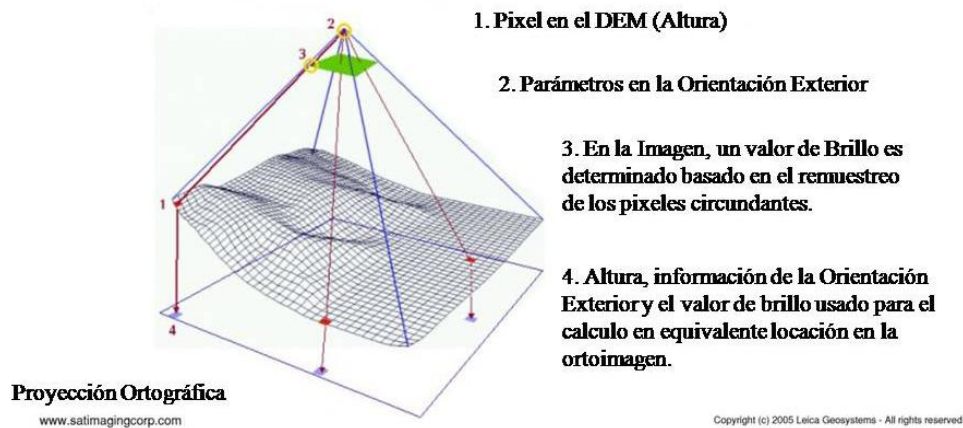


Figura 13.- Proceso de ortorectificación de imágenes

Correcciones de bordes debido al error de paralaje

Las bandas de las imágenes ASTER sufren errores de paralaje, porque los arreglos de sensores para las diferentes bandas no están perfectamente alineados. Esto da lugar a que las bandas se desplacen en el espacio respecto a las otras, por lo tanto tiene un gran impacto en la calidad de la imagen si no se corrige (fig. 14-izquierda). Para corregir la imagen se realiza un enmascaramiento para redimensionar las bandas de las imágenes tomando como referencia la banda más pequeña, que generalmente es la banda 7, y de esta manera tener una imagen sin errores en los bordes (fig. 14-derecha).

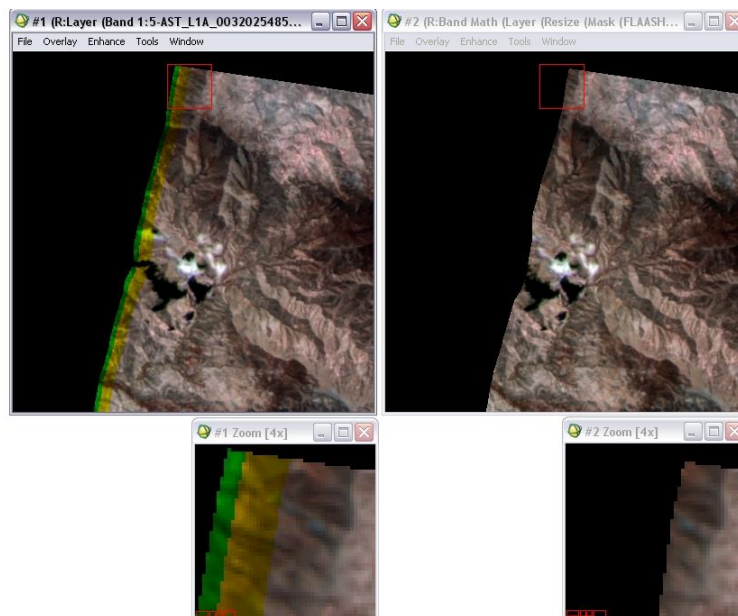


Figura 14.- Imagen sin corregir (Izquierda), Imagen enmascarada (Derecha)

Correcciones Radiométricas

Debido a que el sensor del satélite se encuentra orbitando a una altura de 705 Km aproximadamente, la respuesta radiométrica que recibe desde la superficie se modifica a consecuencia de su paso por la atmósfera. Uno de los efectos más importantes de la atmósfera en las radiaciones visibles e infrarrojas próximas es debido a la dispersión producida por las moléculas de los gases (dispersión de Rayleigh).

Otros efectos de dispersión atmosférica son debidos a la presencia de partículas de aproximadamente el mismo tamaño que las longitudes de onda (aerosoles), pero son más esporádicos y suelen presentarse únicamente en días de atmósferas poco nítidas.

Para aproximar la respuesta recibida por el sensor a la real del objeto observado en la superficie terrestre, se aplican métodos para calcular la radiancia espectral en el sensor y luego eliminar o reducir la dispersión que ocurre en la atmosfera.

Conversión de nivel digital a radiancia

Se realiza la calibración radiométrica en el cual los Niveles Digitales (ND), de las imágenes ASTER ortorectificadas son convertidos a radiancia en sensor, con la siguiente relación:

$$\text{Rad}_i = (\text{ND}_i - 1) \times \text{coef}_i \dots (1)$$

Dónde:

- Rad_i : Radiancia de la banda i
- ND_i : Nivel digital de la banda i
- coef_i : Coeficiente de re calibración de la banda i (Ver Tabla 4)

Tabla 4.-Coeficientes de conversión (Fuente: ASTER User Handbook Versión 2)

Banda Nº	Coeficiente (W/(m2+sr+um)/DN)			
	High gain	Normal Gain	Low Gain1	Low Gain 2
1	0,676	1,688	2,25	
2	0,708	1,415	1,89	
3N	0,423	0,862	1,15	
3B	0,423	0,862	1,15	
4	0,1087	1,2174	0,29	0,29
5	0,0348	0,0696	0,0925	0,409
6	0,0313	0,0625	0,083	0,39
7	0,0299	0,0597	0,0795	0,332
8	0,0209	0,0417	0,0556	0,245
9	0,0159	0,0318	0,0424	0,265
10	N/A	6,822X10-3	N/A	N/A
11		6,780X10-3		
12		6,590X10-3		
13		6,693X10-3		
14		6,225X10-3		

Radiancia a Reflectancia

Obtención de reflectancia mediante la Corrección Atmosférica (Método FLAASH)

Los valores de la radiancia de las imágenes ASTER son convertidos en reflectancia mediante la corrección atmosférica utilizando el modelo FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) incluido en el programa ENVI. Este método, parte de una ecuación estándar de radiancia espectral en un píxel del sensor, L , que se aplica al rango de longitud de onda correspondiente al espectro solar (emisión térmica no se toma en cuenta), en materiales Lambertianas o sus equivalentes.

El modelo FLAASH incluye un método para recuperar la cantidad estimada de aerosol/neblina de píxeles de terrenos oscuros en la escena. El método se basa en observaciones por Kaufman et al. (1997) de una proporción casi fija entre las reflectancias de píxeles como a 660 nm y 2100 nm.

FLAASH recupera la cantidad de aerosoles iterando ecuaciones sobre una serie de rangos visibles, por ejemplo, a 17 km y 200 km. Para cada rango visible, se recupera la escena a la media de 660 nm y 2100 nm para las reflectancias píxeles oscuros, y se interpola la mejor estimación del rango visible, haciendo coincidir la relación a la proporción media de $\sim 0,45$ que se observó por Kaufman et al. (1997). Utilizando esta estimación rango visible, FLAASH realiza un segundo y último cálculo MODTRAN4 sobre el agua.

La propiedad usada para cuantificar la firma espectral de cada material es llamada reflectancia espectral: la razón de la energía reflejada y la energía incidente como una función de la longitud de onda. La reflectancia varía con la longitud de onda para la mayoría de los

materiales (fig15.), ya que la energía en ciertas longitudes de onda es dispersada o absorbida en diferentes grados.

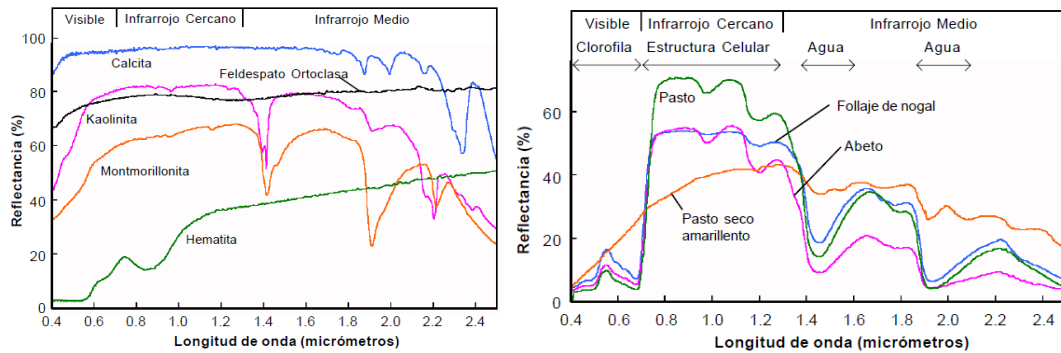


Figura 15. Espectroscopia de minerales y vegetales

Estas variaciones de reflectancia son evidentes cuando se realiza un análisis espectral, para tal fin la radiancia de las imágenes ASTER es transformada en reflectancia (fig. 16) mediante la corrección atmosférica usando el modelo FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes)

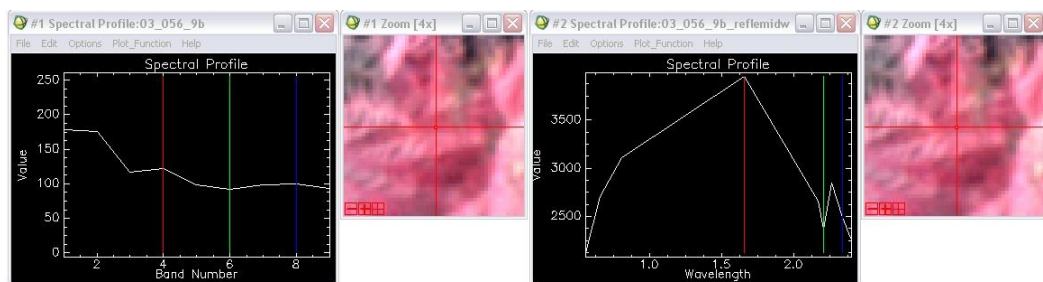


Figura 16. Radiancia espectral (izquierda), reflectancia obtenida con FLAASH (derecha)

Espectroscopia de reflectancia aplicada

Generalidades

La espectroscopia de reflectancia aplicada puede definirse como la técnica que utiliza la energía en las regiones del espectro electromagnético de la luz visible (0,4-0,7), la cercana a infrarroja (0,7-1,3) y la infrarroja de ondas cortas (1,3-2,5mm) para analizar los materiales (fig. 17)

La ciencia y técnicas de la espectroscopia de reflectancia aplicada están basadas en las propiedades espectrales de los materiales. Ciertos átomos y moléculas absorben energía en función de su estructura atómica. Esto se manifiesta en la forma de un gráfico o espectro de reflectancia con sus características rasgos de absorción, lo cual se analizará en detalle posteriormente.

Para el análisis de áreas anómalas, se utilizó el equipo Espectrómetro Portátil Infrarrojo de Onda Corta PIMA con el cual se realizó la identificación de los minerales de grano fino (arcillas) así como definir sus variaciones de composición.

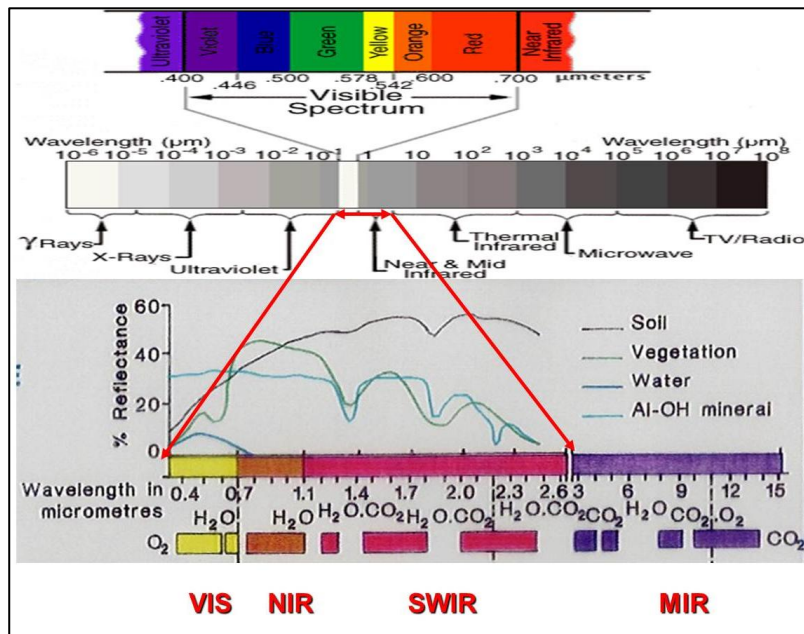


Figura 17.-Valores de longitudes de onda de los rangos visibles (VIS), el infrarrojo cercano (NIR), y el infrarrojo de onda corta (SWIR). La escala horizontal está en micrones y nanómetros, la escala vertical muestra el porcentaje de reflectancia.

Mecanismo de absorción según Hunt (1977) y Goetz et al (1982)

Las características de la reflectancia del espectro de los minerales son el resultado de las diferentes propiedades físicas y químicas. Las transiciones entre los distintos niveles de energía y las diferencias composicionales se manifiestan por los principales rasgos de absorción en longitudes de ondas predeterminadas. La siguiente fig. 18, resume las tres regiones principales de reflectancia espectral dentro del espectro electromagnético, así como las razones por las cuales dichas características de absorción aparezcan en ciertas longitudes de onda en especial.

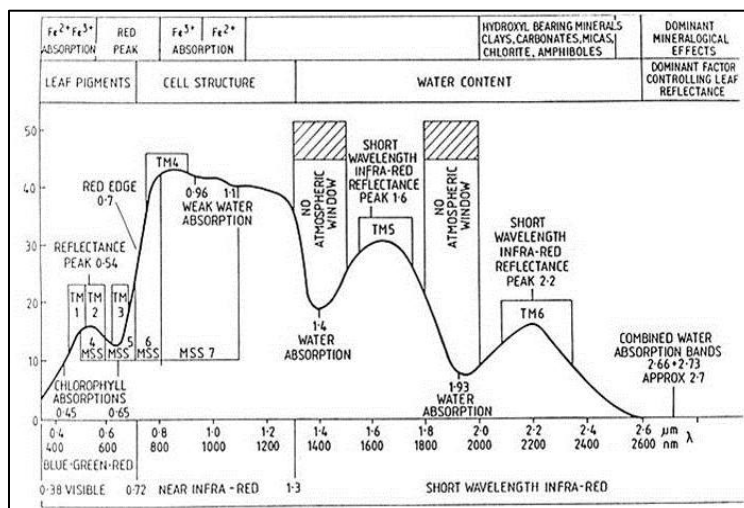


Figura 18.- Características espectrales de la vegetación.

Tabla 5.-Regiones de reflectancia espectral

Nota: VIS=Visible, NIR= near - infra red (infrarrojo cercano), SWIR=short-wave infra-red (Infrarrojo de onda corta) y UV= ultra – violet (Ultra violeta)

REGION	MECANISMO DOMINANTES		
VIS	Transferencia de carga	Identidad del comp	Metales de transición + molecular
VIS/NIR	Efectos del campo cristalino	Identidad	Metales de transición + del compuesto molecular
SWIR	Transición de vibración	Identidad	+geometría de cationes enlazados con OH, SO ₄ , CO ₃
UV-SWIR	Bandas de conducción	Ausencia total	de información-NEGRO

Procesos de vibración

Los movimientos vibracionales entre los componentes (átomos, moléculas) dentro de la red cristalina son los llamados modos fundamentales. El número y forma o tipo de estas vibraciones se

determinan por los átomos presentes, su geometría espacial y la magnitud de las fuerzas que los une.

Cada vibración normal tiene un número cuántico, V_i , asociado con ella y una frecuencia normal ν_i la vibración " i " se relaciona con el movimiento involucrado (tabla 6).

Tabla 6.-Modos de vibración

MODOS DE VIBRACION	
FRECUENCIA	
V1 o ν_{OH}	Extensión simétrica OH
V2	Enlace H-O-H
V3	Extensión asimétrica OH

Por ejemplo, en la molécula de agua hay 3 modos de vibración fundamentales.

Cuando un modo fundamental es excitado por dos o más cuantos de energía, ocurre un sobretono o armónico. Este produce una banda en o cerca de algún valor que representa un múltiplo de la frecuencia fundamental (por ejemplo $2\nu_1$, $3\nu_1$). Un rasgo o banda combinada aparece cuando dos o más vibraciones diferentes de armónicos y combinaciones ocurren en las regiones de SWIR y NIR.

Ciertos átomos y moléculas absorben energía dependiendo de sus estructuras atómicas. La expresión de este fenómeno toma la forma de un espectro de reflectancia, con rasgos de absorción, posición de longitudes de onda y perfiles o aspectos distintivos que pueden ser usados para identificar minerales y fases orgánicas.

Cada mineral detectado en el rango SWIR tiene un conjunto de rasgos espectrales bastante únicos que se combinan en el espectro de reflectancia. Los rasgos tienen frecuencias o longitudes onda con posiciones y anchos de bandas característicos. Tanto los rasgos espectrales como la envolvente o componente de fondo son influenciados por múltiples variables.

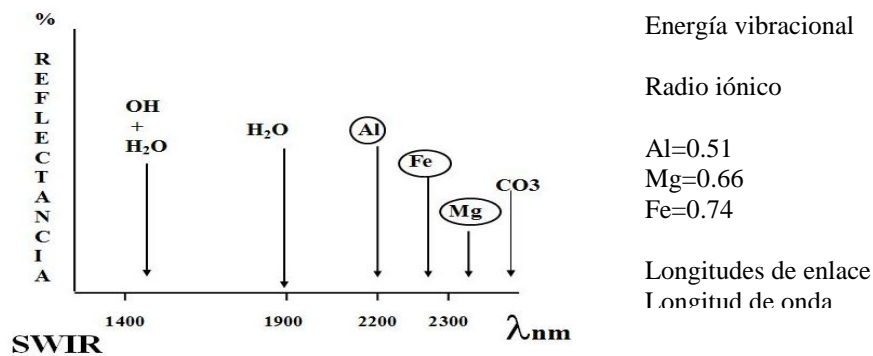


Figura 19.-Ilustra las posiciones de longitudes de onda de algunos enlaces de minerales comunes.

Por lo antes expuesto, es posible usar estas consistentes longitudes de onda de diferentes para la identificación Al-OH se encuentra en la zona de longitud de onda de 2200nm; Los enlaces Fe-OH se encuentran siempre en la zona entre 2280-2295 para las arcillas; Los enlaces Ca-CO₃ se encuentran alrededor de 2,334nm. (fig. 19)

Componentes del espectro

El espectro de reflectancia consiste en general en una curva de envolvente o continuum de rasgos de absorción y rasgos de absorción que tienen frecuencias o posiciones específicas de longitud de onda y de amplitud de bandas (fig.20)

Los rasgos de absorción son mostrados convencionalmente como mínimos respecto al envolvente general de curvas. La intensidad de los

rasgos o profundidad es controlada por la intensidad de las vibraciones de energía presentes en las longitudes de onda específicas, que son características de cada mineral individual. Esto viene a ser función no solo de la concentración de la sustancia detectada, sino también de numerosas propiedades físicas de los materiales

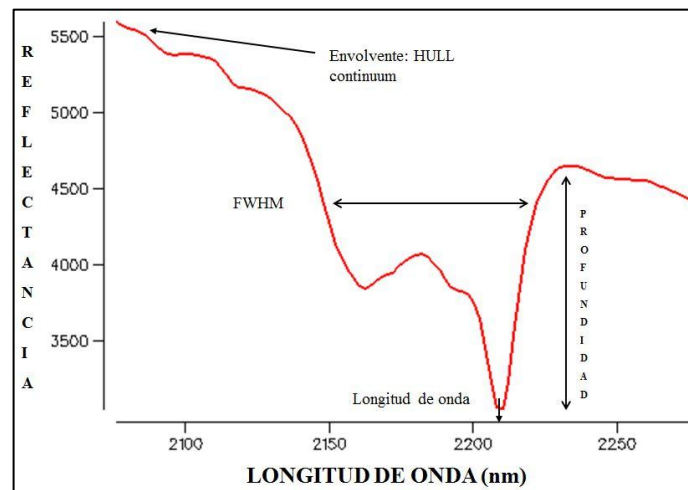


Figura 20.-Rasgos de absorción

Las características que deben ser consideradas en cualquier espectro, para la identificación de compuestos son las siguientes: Rasgos de absorción, estos cambian de forma, profundidad respecto al eje vertical, y posición respecto al eje horizontal (longitud de onda) que nos indica, zonas de energía generada por la vibración de ciertas moléculas y radicales: OH, H₂O, NH₄, CO₃ y enlaces de catión OH como Al-OH, Mg-OH, Fe-OH. (fig. 21)

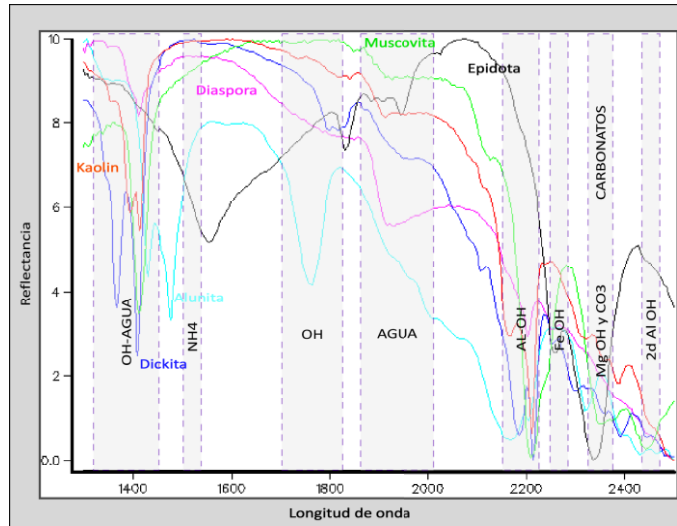


Figura 21.-Rasgos mayores de absorción

Análisis de envolvente

Un cociente de envolvente se obtiene por la razón o cociente entre el valor de reflectancia y su envolvente. Cuando el espectro coincide con el envolvente, su cociente es 1 (fig. 22).

En el proceso de remover el envolvente las posiciones de los mínimos de las absorciones pueden sufrir algunos desplazamientos en longitud de onda.

Sin embargo de lo anterior, los efectos de fondo pueden ser reducidos de esta manera, y se hace más fácil efectuar la extracción de rasgos y el análisis de los espectros.

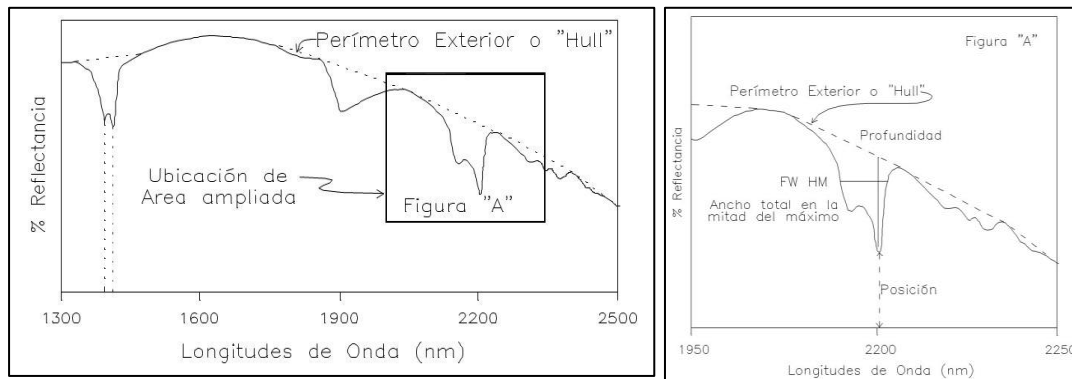


Figura 22.- Aspectos de un espectro de absorción típico, incluyendo la posición de sus ondas, profundidad y ancho (alto completo, medio-ancho máximo). Se muestra también un perfil generalizado denominado “hull” o “continuo”.

Los principales rasgos de absorción que pueden observarse en un espectrómetro PIMA, es la forma y profundidad de cada uno de ellos está en función de las características de la molécula del mineral analizado. (fig. 23)

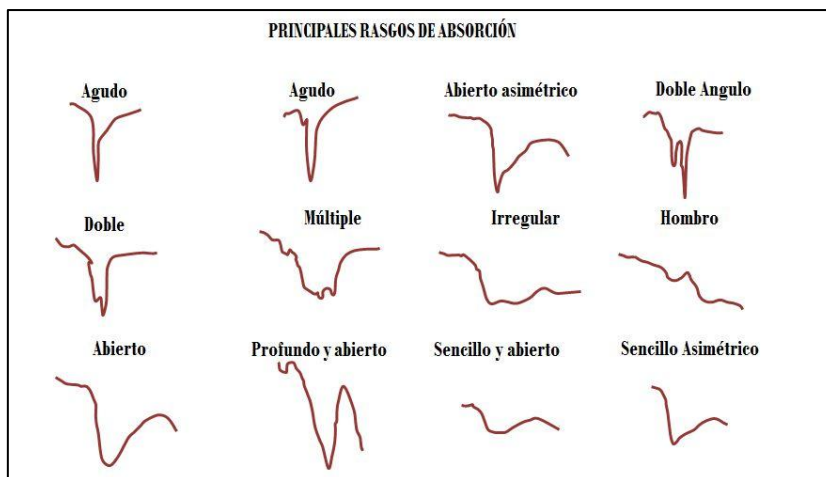


Figura 23.- Los rasgos de absorción según su forma y profundidad.

1.8. Ubicación y Accesibilidad

La zona de estudio se ubica al sur del territorio peruano, dentro de las regiones de Tacna, Moquegua y Puno (Lámina 1). Abarca una extensión aprox. 2900 Km². El área de estudio según la carta Geológica Nacional se encuentra dentro del cuadrángulo de Huaytire (34-v), y se enmarca entre las siguientes coordenadas geográficas:

Hoja	Código	Escala
Huaytire	34v (I,II,III,IV)	1: 50 000

Latitud Sur: 16°00´S -17°00´S

Longitud Oeste: 70°00´O - 71°00´O

La altitud fluctúan entre 2450 y 5000 m.s.n.m.

Se puede acceder al área vía aérea, de Lima a Juliaca (~1 hora); posteriormente vía terrestre siguiendo la carretera asfaltada Puno Laraqueri y finalmente siguiendo la trocha carrozable desvío a mina Tucari (~1 h 30 min).

Ruta 1	Vía de acceso	Tiempo
Lima – Juliaca	Aérea	1h.
Puno- Laraqueri 560-Km	Carretera asfaltada/afirmada	45 min.
Laraqueri-desvío mina Tucari 185km	Trocha carrozable	45 min.
Desvío Mina- Mina Tucari 185km	Trocha carrozable	45 min.

1.9. Antecedentes

En la zona de estudio no se han presentado trabajos de procesamiento de imágenes satelitales ya que la mayoría de estos trabajos son realizados por empresas privadas. Los trabajos realizados son de carácter regional como el estudio de los recursos minerales del Perú entre los años 2000-2006, que comprende la evaluación geológica y económica de la franja N°1 ubicada en el sur del Perú, entre los paralelos 16°00´ y 18°00´ de latitud sur.

Informes técnicos y tesis por empresas privadas como Buenaventura y Aruntani:

Tesis

- Evolución de alteraciones hidrotermales, Quebrada Pacha, emplazadas en el Mioceno Superior. Carumas-Moquegua. (Nieto, O.)
- Petrografía, Geoquímica e implicancias metalogenéticas de los volcánicos cenozoicos del Sureste del Perú: zona Mazo Cruz – Puno. (Quispe, J.)
- Caracterización Geoquímica, Petrográfica y mineralógica en la prospección de oro del sector Charaque cuadrángulo de Huaitire-Moquegua. (Gonzales, R.)

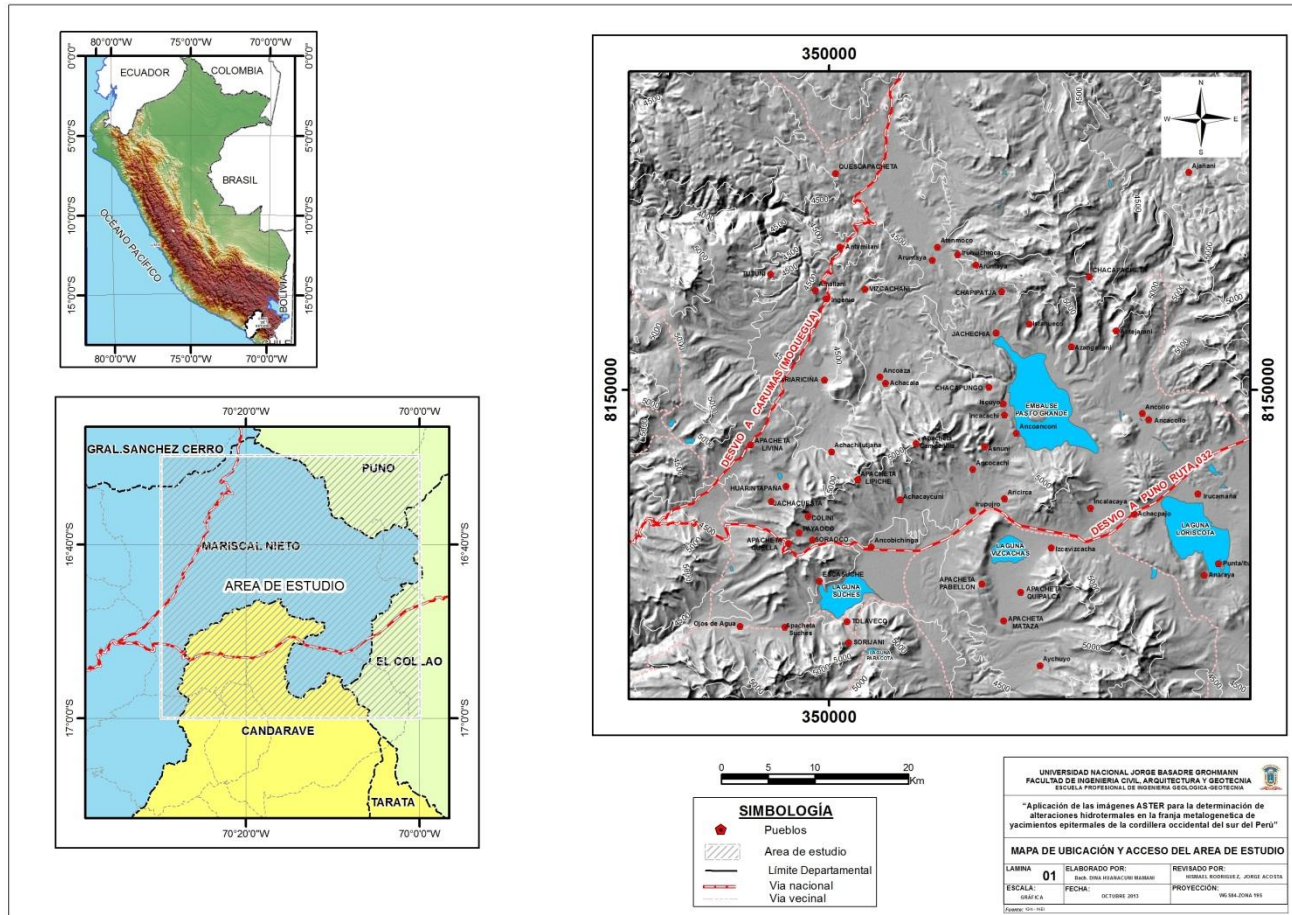


Lámina 1.-Mapa de Ubicación y accesos

CAPITULO II: GEOLOGÍA REGIONAL Y GEOLOGÍA ECONÓMICA

2.1 Geomorfología

La cordillera occidental tiene una elevación promedio de 4000-5200 msnm. Tiene un ancho máximo de 130 km y alrededor de 1500 km de largo, extendiéndose desde el Sureste de Tacna (18°S) hasta el suroeste de Lambayeque (7°S).

El alto condoroma caylloma corresponde a un alto estructural mesozoico desarrollado en la parte media de la cuenca occidental del sur y centro del Perú. Tiene un espesor de 31 km.

Geomorfológicamente se observan estructuras volcánicas de formas dómicas, lagunas y llanuras intravolcánicas. También cañones en los extremos septentrionales (norte) de la hoja.

Cordillera Occidental

Ubicado entre los sistemas de fallas Cincha Lluta Incapuquio y Cusco Lagunillas Mañazo. Esta unidad morfológica varía entre 3900 y 4800 msnm, donde se puede encontrar las siguientes unidades geomorfológicas:

a. Cumbres disectadas

Ubicadas en casi todo el cuadrángulo de la zona de estudio. Está representada por elevaciones que varían entre 4500 a 5000 msnm;

Compuesto por afloramientos de rocas volcánicas, pertenecientes a Grupo Barroso.

b. Altiplanicie disectada

Ubicado al noreste y sureste de la zona de estudio, sus elevaciones se encuentran en 3800 a 4000 msnm.

c. Altiplanicie

Ubicada en toda la zona del estudio, formada por acumulaciones de material 4000 a 5000msnm. Constituyen llanuras disectadas, con frecuentes accidentes topográficos formados por acumulaciones de depósitos de bofedal - Intercalación de limos, arenas y niveles orgánicos (fotografía 1 y 3).

d. Ladera Intramontañosa

Ubicada al sur del pueblo de Carumas entre 3000 y 4000msnm. esta zona se considera la superficie Huaylillas, presenta un relieve ondulado y rugoso. Estas planicies o superficies presentan una significativa conservación a través del tiempo debido al clima árido de la zona.

e. Valles Intramontañoso

Los valles se encuentran erosionando las unidades descritas anteriormente. Estos valles van de 2000 a 4500 msnm. Los ríos que circulan por estos valles desembocan en las pampas casi horizontales. Generalmente cuando estos atraviesan las Montañas, son valles jóvenes (V) con pendientes fuertes y cuando atraviesan las lomas son valles maduros de pendientes suaves. (fotografía 2)



Fotografía 1.- Vista de cumbres y altiplanicies disectadas.



Fotografía 2.-Vista del valle en la zona de Matalaque con pendientes fuertes.



Fotografía 3.-Vista de la mina Santa Rosa en donde se muestra cumbres y altiplanicies disectadas.

2.2 Marco Geológico Regional

La zona de estudio se encuentra ubicada en la parte central de la Cordillera Sur occidental, específicamente en la parte central de la Cadena Volcánica del Sur, configurando un ambiente típicamente vulcanológico, cuya conformación data del Cenozoico hasta el Cuaternario, caracterizada por varias etapas de efusión (básicas y ácidas), siendo la última etapa correspondiente al denominado Gpo. Barroso. (Lámina 2)

Las rocas aflorantes en el área de estudio corresponden a las siguientes unidades:

2.2.1 Estratigrafía

Formación Vizcacha (Mioceno Superior)

Secuencia piroclástica masiva y fragmentaria de color pardo amarillento. Su parte cristalina está constituida principalmente por cuarzo, biotita y escasos cristales de hornblendas y plagioclasas. La parte de los fragmentos líticos están constituidos por andesitas gris bruno. Se aprecian algunos pómez. La matriz está constituida de ceniza con pequeños cristales y fragmentos líticos. En la parte inferior de la secuencia es muy frecuente la presencia de estos fragmentos líticos de hasta 5 cm de diámetro; en cambio en la parte superior se tiene que aumentar la presencia de cristales (biotita) mientras que la dispersión del cuarzo es normal. Este afloramiento se ubica en el sector Noroeste. No presenta deformación.

Formación Sencca (Plioceno)

Secuencias piroclásticas masivas de color gris claro. Su parte cristalina está constituida principalmente por cuarzo y biotita. En los fragmentos líticos de andesitas, se aprecian alguna pómez (como elementos juveniles), y una matriz de cenizas finas. Estas secuencias afloran por lo general infrayaciendo a depósitos volcánicos del Grupo Barroso. Sin embargo se ha reconocido en algunos afloramientos que infrayacen a secuencias sedimentarias de la Formación Capillune., y que están geográficamente relacionadas al volcanismo Barroso, por

lo que muy probablemente estos depósitos pertenecen al volcanismo amplio del Grupo Barroso.

Formación Capillune (Plioceno)

Se trata de sedimentos volcanogénicos alternados con secuencias sedimentarias de ambiente lagunar. En la pampa Huaitire, al este de la laguna Suches se ha observado un afloramiento en cuya parte inferior se describen arenas intercaladas con arcillas y limonitas en estratificación fina. En la parte media se observa una intercalación de limoarenas, arcillas y diatomitas en estratificación laminar. Hacia la parte superior se intercalan arcillas, limonitas, esporádicos niveles de diatomita, tobas retrabajadas y conglomerados.

Grupo Barroso (Neógeno)

Se trata de un volcanismo amplio que ha sido estudiado y diferenciado desde el punto de vista lito-morfo-estructural.

Desde el punto de vista litológico se han reconocido estructuras volcánicas de tobas y flujos de lava. Desde el punto de vista morfoestructural se han reconocido estrato-volcanes, centros volcánicos y complejos volcánicos.

Estrato-volcán Tutupaca.-

En la hoja son restringidos los depósitos de este aparato volcánico que se encuentra en la hoja de Tarata. Sin embargo se ha podido diferenciar tres tipos de rocas volcánicas:

Andesitas afaníticas, Andesitas porfiríticas y Arenas volcanogénicas. Estos afloramientos se ubican hacia el extremo Suroeste de la Hoja.

Estrato-volcán Pacsihuanqui.-

Es el estrato-volcán más grande compuesto por flujos de lava vesiculares en la parte alta del aparato, dacita porfirítica y andesitas porfiríticas. Este aparato se ubica en el extremo Sureste de la hoja, al sur del embalse Pasto Grande.

Complejos Volcánicos

a) Complejo Volcánico Mujillani.-

Mediano aparato volcánico constituido en la parte alta por una andesita vesicular afanítica de color gris oscuro, una dacita porfirítica con presencia de xenolitos y abundantes flujos de lava andesíticos porfiríticos. Este aparato muestra una mediana erosión manteniendo su forma cónica. Se le encuentra entre el extremo Noreste y Sureste de la Hoja.

b) Complejo Volcánico Ichujasi.-

Constituido por lavas andesíticas porfiríticas con mediana erosión. Su composición es muy similar a las antes mencionados. Las plagioclasas no guardan una buena orientación, pero se notan capas de flujo.

c) Complejo Volcánico Cacachara.-

En donde se distinguen dos tipos de lavas. En la parte más alta pequeños afloramientos de lavas vesiculares afaníticas de color gris oscuro y más abajo abundante lavas andesíticas porfiríticas muy similares a las descritas anteriormente. Estos afloramientos abarca grandes áreas en el extremo Noreste de la Hoja. mostrándose medianamente erosionados.

d) Complejo Volcánico Caracara - Chuchuaura.-

Muestra 5 tipos de depósitos volcánicos: Andesitas vesiculares, andesita porfirítica, traquiandesita porfirítica, flujo de bloques y andesitas afaníticas. Estos depósitos muestran una ligera erosión.

e) Complejo Volcánico Suches.-

Predominan tres tipos de lavas: Andesitas porfiríticas, afaníticas y vesiculares. Se ubican en la parte central del extremo Suroeste de la Hoja, muchos de estos flujos de lava se encuentran cubiertos por morrenas y depósitos fluvio-glaciares. También se aprecian en sus afloramientos alteración hidrotermal, con mineralización.

f) Complejo Volcánico Chuquiananta.-

Este complejo está constituido por lavas andesíticas afaníticas y porfiríticas. Se ubica en el extremo Suroeste de la Hoja y provienen de centros ubicados en la parte Norte de la Hoja de Tarata. En estos afloramientos se ha

observado mucha alteración hidrotermal con brechas hidrotermales posteriores a su emplazamiento.

g) Complejo Volcánico Cotañe.-

Se trata de lavas andesíticas porfiríticas, dispuestas en capas someramente erosionadas que se ubican en el extremo Noroeste de la Hoja. Están compuestas de plagioclasa, biotita alterada, tomando un color pardo a gris presentando escasos xenolitos.

h) Complejo Volcánico Chojó Chojone.-

Constituido por andesitas afaníticas de color gris oscuro, en capas delgadas; afloran en el vértice Noreste de la Hoja, cuyo centro se ubica en la Hoja de Mazo Cruz. Muestran una geoforma de flujo de lava formando una meseta, estas lavas son las más distales.

i) Complejo Volcánico Carahuara.-

Constituido por depósitos de andesita vesicular en las parte altas y más abajo lavas andesíticas porfiríticas de color gris claro con presencia de feldespatos con ligera orientación, biotita y escasa hornblenda, sobre una matriz afanítica. Este complejo se le observa en el extremo Noreste de la Hoja, cuyos centros se ubican en la Hoja de Mazo Cruz. Presenta una geoforma cómica, y en la parte alta se observan formas típicas de bosque de rocas. Estrato-volcán Mesocalani.- Constituido por secuencias de flujos

piroclásticos, En la base se observan depósitos de tobas de lapilli bastante alteradas y hacia la parte superior se observan brechas con fragmentos líticos andesíticos basálticos y de andesitas de color blanco a rosado.

Estrato-volcán Quesllampo.-

Constituido por tobas riolíticas, con abundante cuarzo y vidrio en una matriz de ceniza. El color que predomina es el blanquecino.

Estrato-volcán Asnuni.-

Constituido por tobas, constituidas en su parte cristalina por biotita, cuarzo. Su parte más frecuente de fragmentos líticos por andesitas porfiríticas. Todavía se puede observar su base cónica. También se observan en la parte central afloramientos de brechas andesíticas porfiríticas. Este aparato volcánico se ubica hacia el Suroeste del embalse Pasto Grande. Las tobas se describen como toba-brechoides riolíticas.

Estrato-volcán Sasahuini.-

Constituido por tres tipos de depósitos: lavas andesíticas porfiríticas, lavas andesíticas afaníticas y lavas dacíticas porfiríticas. Estos depósitos se encuentran erosionados y alterados. Los más distales son las lavas afaníticas de color gris oscuro. En el lado Este del aparato volcánico se ubican

las lavas andesíticas porfiríticas de color pardo a rosado, expuestas en capas no tan delgadas, constituidas por plagioclasas que guardan cierta dirección al flujo y biotita totalmente alterada. Las lavas dacíticas se ubican hacia la parte central del aparato volcánico. Estos afloramientos se encuentran en el extremo Suroeste de la Hoja.

Estrato-volcán Pichacollo.-

Constituido por depósitos de lavas andesíticas porfiríticas de color gris, con plagioclasas y biotitas fuertemente alteradas; en capas delgadas mostrando una fuerte erosión.

Estrato-volcán Collunco.-

Compuesto por depósitos de lavas andesíticas con texturas porfiríticas de color gris; constituidas por plagioclasas, biotitas alteradas; en una matriz afanítica. Se presenta fuertemente erosionada tomando una geoforma cónica. Este aparato se ubica en el extremo Noroeste de la Hoja.

Estrato-volcán Punta Pérdida.-

Compuesto por depósitos de lavas de composiciones traquiandesíticas y con texturas porfiríticas; con plagioclasa, biotita alterada y escasa hornblenda, en una matriz afanítica, con un color gris parduzco. Esta morfoestructura se presenta bien erosionada. Hacia la parte central se observa una fuerte oxidación, así como también su base cónica.

Estrato-volcán Pasto Grande.-

Se distingue dos litologías:

Lavas andesíticas afaníticas.

Sobreyaciendo a las brechas antes mencionadas, se muestran como depósitos de flujos de lava en capas delgadas, con coloraciones grises. Morfoestructuralmente están bien erosionadas.

Brechas.-

De composiciones andesítica, texturas afaníticas; en una matriz fragmentaria y de cenizas. Este afloramiento se ubica en las nacientes del río Vizcacha, y en la desembocadura del embalse Pasto Grande., constituyendo el centro de dicho estrato-volcán.

Centro volcánico Cayco.-

Depósitos piroclásticos constituidos principalmente por pómez de color gris oscuro y escorias de color negro, con tamaños aproximados de 5 cm de diámetro; fragmentos líticos de composición andesítica flotando en una matriz de ceniza. Este afloramiento se localiza hacia el vértice Sureste de la Hoja. Este nivel se intercala con sedimentos volcánicos de caída y tobas retrabajadas.

Complejo Volcánico Loriscota.-

Depósitos de lavas afaníticas oscuras, bastante alteradas. Morfoestructuralmente están muy erosionados. Se observan cristales pequeños de plagioclasas y hornblendas en una

matriz afanítica. Este afloramiento se distingue en el sector Sureste de la Hoja.

Cuaternario

a.- Pleistoceno

Morrenas.-

Compuestas por fragmentos líticos de hasta un metro de diámetro, en una matriz compuesta de arena y lodo. Estos depósitos están ligados a aparatos volcánicos de diversas altitudes.

b.- Holoceno

Bofedal.-

Bioestratos con buena distribución en la Hoja. En corte se ha podido apreciar que a veces se intercalan con depósitos de arena, ceniza y con otros bofedales más antiguos.

Depósitos de Ceniza.-

Estos depósitos están constituidos por ceniza, pómez, fragmentos líticos, y arenas. Están relacionadas a los últimos eventos del volcán Ticsani.

Depósitos Fluvioglaciales.-

Son los depósitos que están mejor distribuidos en la Hoja, Compuestos de arenas y conglomerados con fragmentos líticos grandes que están flotando.

Depósitos Aluviales.-

Conforman otro de los depósitos mayormente expuestos en el área de estudio, muchas veces con vegetación escasa.

Depósitos Coluviales.-

Compuestos por arenas y aglomerados, producto de la meteorización física sobre las rocas volcánicas del estrato-volcán Quesllampo. Se le reconoce al Sureste de la Hoja.

Depósitos de Bloques de Caída (Flujos de Escombros).-

Estos depósitos están relacionados a los últimos eventos volcánicos del estrato-volcán Tutupaca, y que están constituidos por pómez, ceniza y bombas volcánicas con textura de corteza de pan, afloran en el extremo Suroeste de la Hoja.

Depósitos Fluviales.-

Depósitos algo restringidos, constituidos por arenas y cantos redondeados a subredondeados, totalmente de origen volcánico.

2.2.2 Marco Tectónico Regional

La zona de estudio se encuentra ubicada en el Dominio Alto Condoroma Caylloma. Corresponde a un alto estructural mesozoico desarrollado en la parte media de la cuenca occidental del sur y centro del Perú. Los depósitos mesozoicos son menos potentes que en la cuenca (Carlotto, 2009). Está controlado por el sistema de fallas Condoroma-Caylloma-Mollebamba

Zonas de deformación en la parte Norte, en sedimentos de la Formación Maure con plegamientos y buzamientos en el sector noroeste de la zona de Titire que llegan hasta 40 a 50°, alcanzando un rumbo de N25°. En el extremo Noreste la influencia deformativa está presente en sedimentos cretáceos que no afloran en la Hoja, con plegamientos y fallamientos relacionados con la mineralización en la mina Cacachara.

En cuanto a las fallas, la más representativa es la que se ubica en la parte Este de la pampa Titire, que ha movilizó bloques en terrenos pliocénico (Gpo. Maure). Este lineamiento se puede proyectar hasta el extremo Suroeste del embalse Pasto Grande. En los terrenos del Grupo Barroso lo que más se ha podido observar son lineamientos con orientación Noroeste, como el que aparece al Oeste de la laguna Suches. Al sur oeste del cuadrángulo se encuentra la caldera Tutupaca en el cual se encuentran el arco Suches y Vizcacha. Estrato volcán de Tutupaca y Suche, como se muestra en lámina 3.

2.2.3 Características Geoquímica de Rocas

Métodos Analíticos

Para realizar la evaluación geoquímica de las rocas volcánicas, se han empleado resultados de ensayos químicos de elementos mayores y menores (ver anexo II).

Algunos análisis han sido preparados para el presente estudio, mientras que otros han sido tomados de los trabajos de Aramaki et al (1984); Johnson (1986); INGEMMET (1993,2003, 2008); Mamani, M & Ibarra, I (2000); Quispe, J. (2004);

Buenaventura (2003); Gonzales, R. (2002); Henning (2005); Nieto, O. (2009).

Para los ensayos químicos de elementos mayores y menores realizados por INGEMMET se emplearon muestras de rocas inalteradas, es decir, sin modificación en su composición química por procesos de alteraciones hidrotermales y/o meteóricas.

Los métodos analíticos corresponden a análisis por roca total, realizado en el Laboratorio Inspectorate y Análisis multielemental (ICP)

Elementos Mayores

El Volcánico Barroso, se trata de un volcanismo amplio que ha sido estudiado y diferenciado. Para la identificación de los diferentes tipos de rocas volcánicas se utilizó criterios químicos de clasificación basados en los porcentajes recalculados al 100% sin H₂O y CO₂ en peso de óxido, fueron ploteados en el diagrama Na₂O + K₂O versus SiO₂ de Middlemost et al. (1994).

Según la clasificación de Peccerillo y Taylor (1976) se dividen las rocas en ultrabásicas (SiO₂ < 45%), básicas (45% < Si₂O < 52%), intermedias (52% < Si₂O < 63%) y ácidas (Si₂O > 63%).

Para reportar el contenido de Hierro (Fe), ya sea como ferroso (FeO) o férrico (Fe₂O₃), en muchos casos estos valores no representan el valor magmático, debido a que las rocas han podido sufrir alteración. Por lo tanto, el contenido de hierro total fue recalculado como óxido ferroso y denotado como FeO total.

Diagrama TAS

Este diagrama relaciona el contenido de sílice SiO_2 (wt%) versus álcalis $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (wt%) (fig. 23)

En el diagrama TAS, se puede distinguir que las rocas correspondientes al Grupo Tacaza definen una tendencia alcalina con una ligera disposición calco-alcalina. Las composiciones litológicas varían de basalto, basalto andesita a traquiandesita. Entonces se clasifican como básicas a intermedias con concentraciones de SiO_2 entre 50,85% a 98,27%.

Regionalmente las rocas del Grupo Palca, Sillapaca, Maure y Barroso, definen una evolución calcoalcalina bien marcada. Por sus respectivas concentraciones de álcalis total y sílice tienen una variación litológica amplia.

El Grupo Sillapaca varía entre traquiandesita, dacitas catalogadas como rocas ácidas cuyas concentraciones de SiO_2 van de 62,36% a 64,93%.

El Grupo Maure geográficamente se encuentra en dirección NE-SW químicamente se encuentra las rocas riolitas definida como roca ácida entre 73,82% a 76,44%. En la zona de estudio la muestra HU010600 contiene 74,15% de SiO_2 .

El Grupo Barroso varía entre traquiandesita, traquita, andesita, descritas como rocas ácidas con SiO_2 entre 54,54 % a 98,27%.

En la fig. 24 se muestra el depósito de Tucari que varía de traquiandesita, andesita como rocas ácidas con SiO_2 de 59,66 a 62,92%; Santa rosa-Cacachara varía de Traquiandesita, andesita como rocas ácidas con SiO_2 de 61,67 a 62,40%. Finalmente Quebrada Pachas que varía de traquiandesita, andesita y dacita como rocas ácidas entre 57,41 a 66,28% de SiO_2 . (Lámina 4)

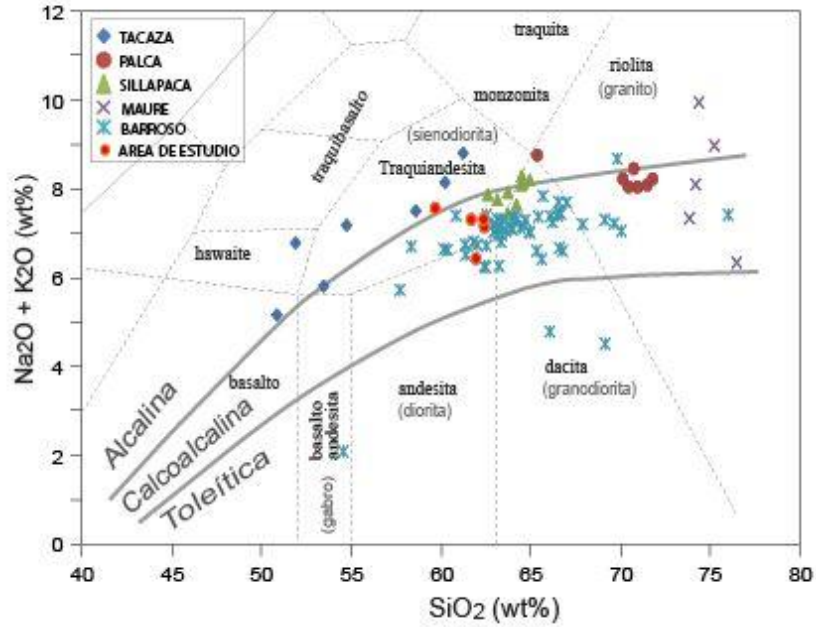


Figura 24.- Clasificación de series calcoalcasinas de las rocas volcánicas a partir del contenido de elementos mayores K_2O vs. SiO_2 (Le Maitre et al., 1989)

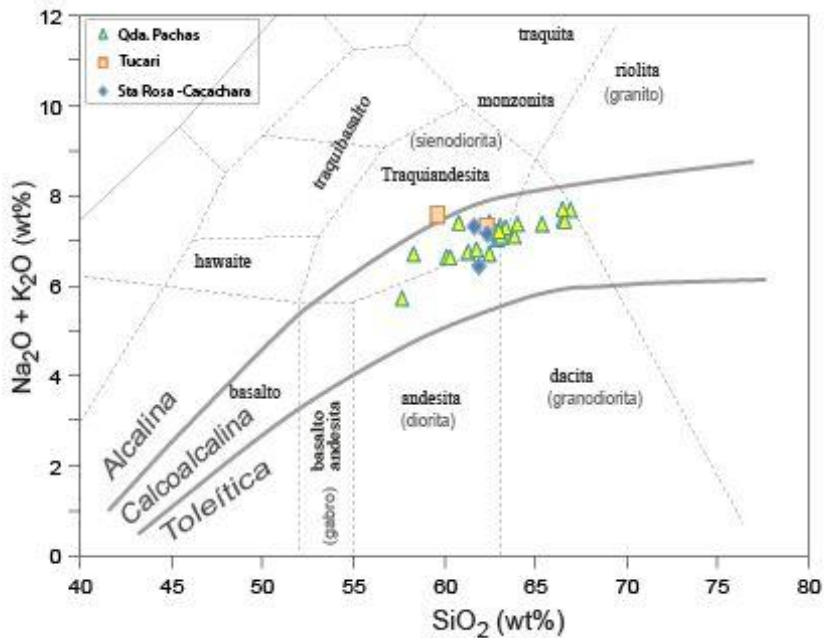
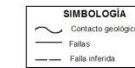
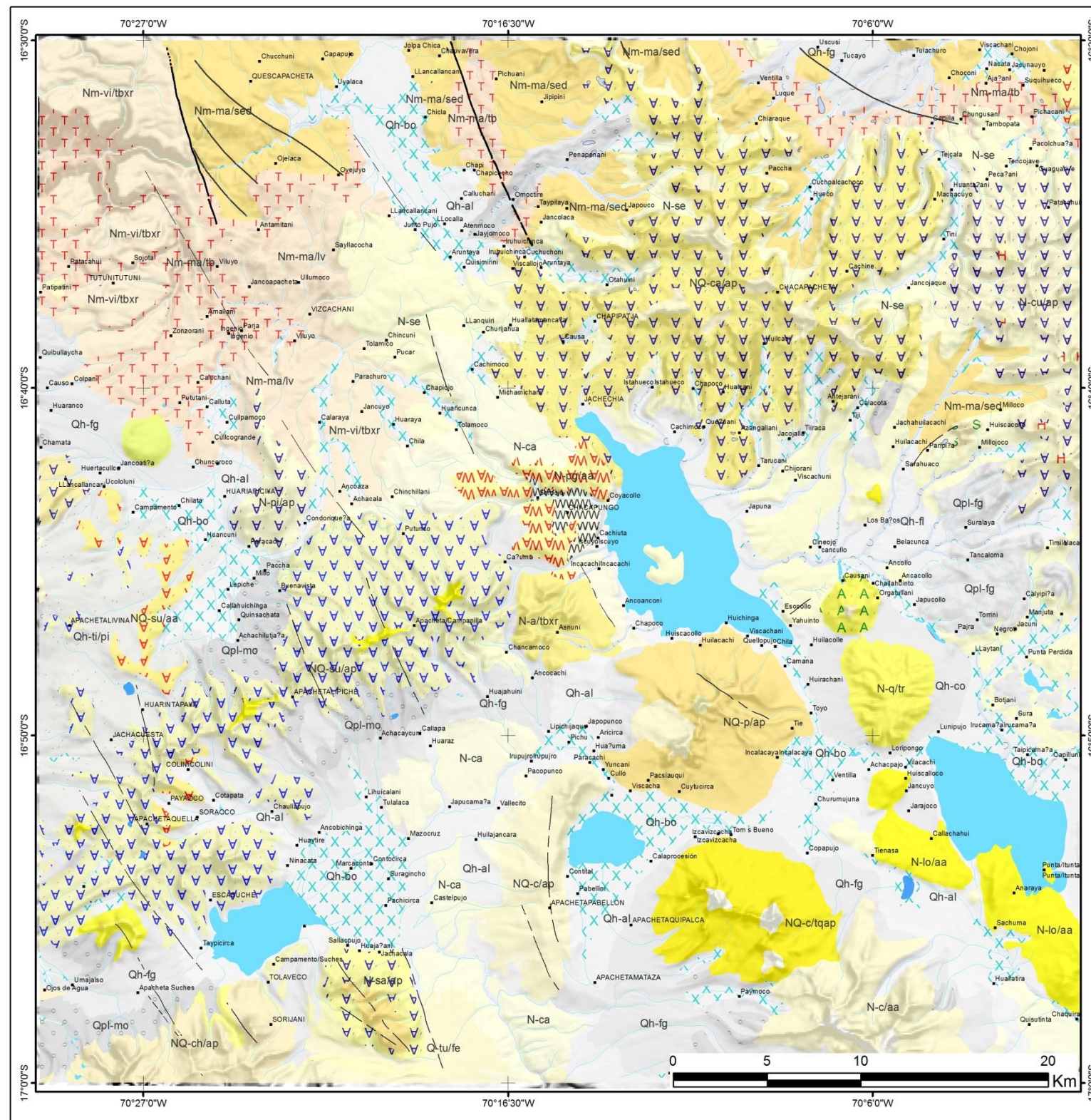


Figura 25.- Clasificación de series calcoalcasinas de la zona de Tucari (Qda. Pachas) & Santa Rosa a partir del contenido de elementos mayores K_2O vs. SiO_2 (Le Maitre et al., 1989)



LEYENDA						
ERA/TEMPO	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOLÓGICAS			
C E N O Z O I C A	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósitos aluviales			
			Depósitos de bodegal			
			Depósitos coluviales			
			Depósitos fluvio-glaciares			
			Cuaternario fluvial			
			Depósitos proclásticos			
			Depósitos Morencos			
			NEÓGENO	PLEISTOCENO	ESTRATOS VOLCÁNICOS	Caracara
						Chuchibara
						Carachana
Churupimanta						
Carahara						
Liscotea						
Colafama						
Milshaju						
Colunco						
Anhuay						
MODERNA	PLIOCENO	CENTRO VOLCÁNICO	Formación Capilane			
			Formación Seneca indiferenciado			
			Formación Viscachas			
			Unidad superior			
			Unidad intermedia			
			Unidad inferior			

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA-GEOTECNIA

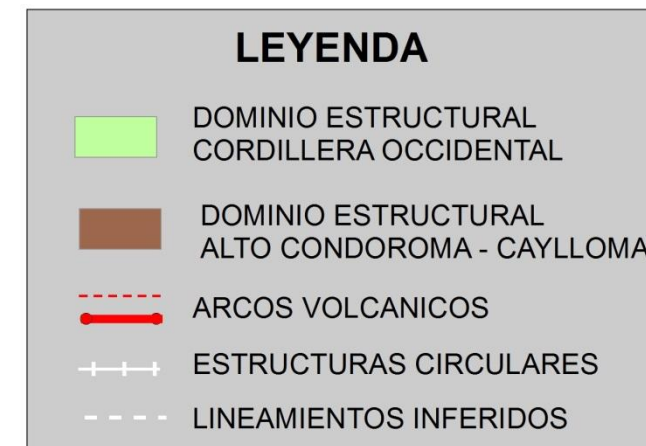
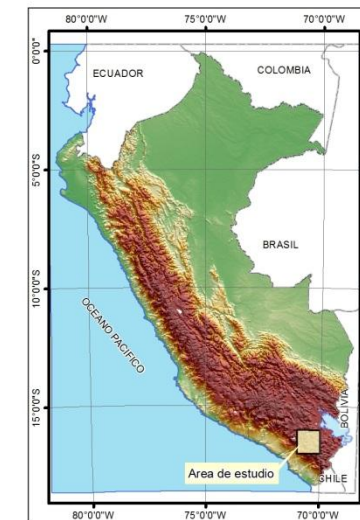
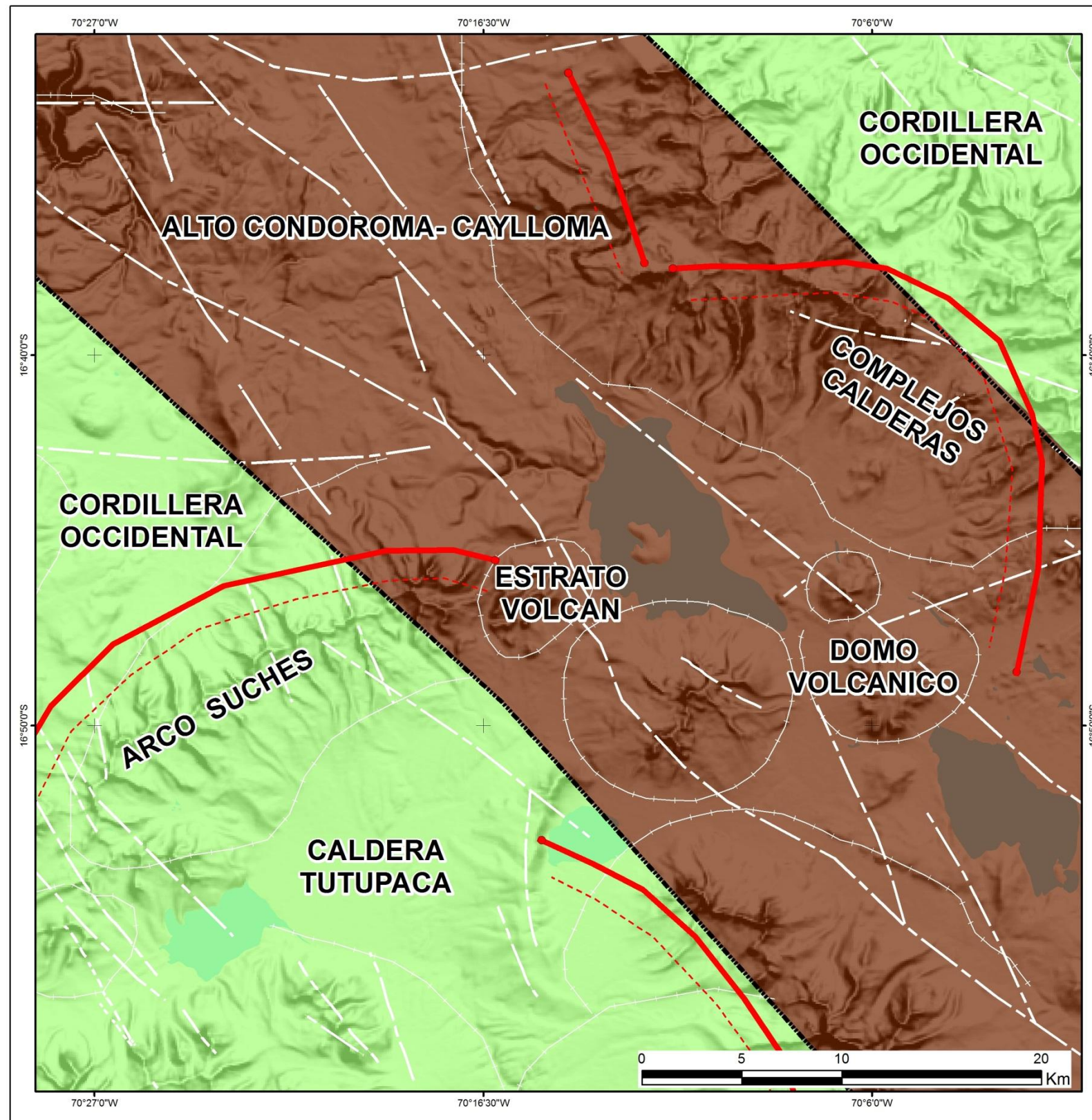
"Aplicación de las imágenes ASTER para la determinación de alteraciones hidrotermales en la franja metalogenética de yacimientos epitermales de la cordillera occidental del sur del Perú"

MAPA GEOLÓGICO

LAMINA: 02	ELABORADO POR: Bach. DINÁ HUANACUNI MAMANI	REVISADO POR: HISMAL RODRIGUEZ, JORGE ACOSTA
ESCALA: GRÁFICA	FECHA: OCTUBRE 2013	PROYECCIÓN: WGS84-ZONA 19S

Fuente: Tomado de Base Geológica 1:50000, cuadrángulo 34v-INGEMMET.

Lámina 2.- Mapa geológico



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA-GEOTECNIA

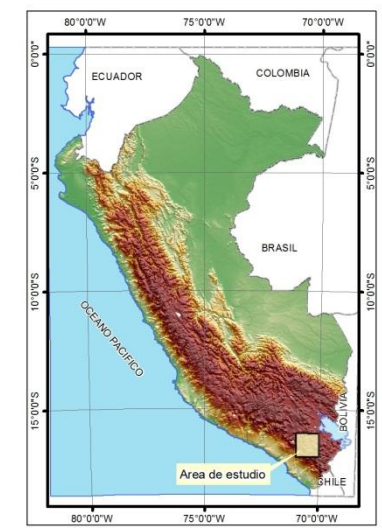
“Aplicación de las imágenes ASTER para la determinación de alteraciones hidrotermales en la franja metalogenética de yacimientos epitermales de la cordillera occidental del sur del Perú”

MAPA DE DOMINIOS ESTRUCTURALES

LAMINA 03	ELABORADO POR: Bach. DINA HUANACUNI MAMANI	REVISADO POR: HISMAL RODRIGUEZ, JORGE ACOSTA
ESCALA: GRÁFICA	FECHA: OCTUBRE 2013	PROYECCIÓN: WGS84-ZONA 19S

Fuente: Tomado de GEOCATMIN, Capa Dominio Estructural.

Lámina 3.- Mapa de Dominios Estructurales



LEYENDA

ERA/TEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOSTRATIGRAFICAS	
CENOZOICA	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósitos aluviales, Depósitos de botedal, Depósitos coluviales, Depósitos fluvoglaciares, Cuaternario fluvial, Depósitos proclásticos, Depósitos Morencos	
		PLEISTOCENO	COMPLEJO VOLCANICO	Canacra, Chuchuaera, Cacachara, Chiquiananta, Canchana, Lonscata, Cotafame
			ESTEREO VOLCANICO	Milijahu, Colhuco, Amuisi, Pastor Grande, Pichacollo, Questimpo, Mesacalca, Sasahuani, Paschuamqui, Siches, Ichujasa
MESOCENO	PUCOCENA	GRUPO BARROSO	Tutupaca, Domo Chila	
		GRUPO BARROSO	Arenas volcánicas, Cayco, Andesta porfídica, Tobas rílicas	
CENOZOICA	CUATERNARIO	HOLOCENO	Flujo de bloques y ciasto, Andesta, Andesta porfídica, Andesta vesicular	
		PLEISTOCENO	COMPLEJO VOLCANICO	Traguandestas Porfídicas, Andesta vesicular, Andesta afanítica, Andesta porfídica, Andesta vesicular
			ESTEREO VOLCANICO	Dacita porfídica, Andesta porfídica, Toba brecha rílica, Andesta afanítica, Andesta porfídica, Toba de La gila, Andesta porfídica, Andesta Afanítica, Andesta Vesicular, Andesta porfídica
MESOCENO	PUCOCENA	GRUPO BARROSO	Brechas, Brechas proclásticas, Andesta Afanítica, Andesta Vesicular, Dacita Porfídica, Andesta porfídica	
		GRUPO BARROSO	Arenas volcánicas, Cayco, Andesta porfídica, Tobas rílicas, Traguandesta porfídica, Andesta porfídica	
CENOZOICA	CUATERNARIO	HOLOCENO	Formación Capilune, Formación Sencca indiferenciado, Formación Viscachas	
		PLEISTOCENO	GRUPO BARROSO	Unidad superior, Nivel tobaceo, Unidad inferior
			GRUPO BARROSO	

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA-GEOTECNIA

"Aplicación de las imágenes ASTER para la determinación de alteraciones hidrotermales en la franja metalogenética de yacimientos epitermales de la cordillera occidental del sur del Perú"

MAPA DE UBICACION DE MUESTRAS

LAMINA: 04	ELABORADO POR: Bach. DINA HUANACUNI MAMANI	REVISADO POR: HISMAR RODRIGUEZ, JORGE ACOSTA
ESCALA: GRÁFICA	FECHA: OCTUBRE 2013	PROYECCIÓN: WGS84-ZONA 18S

Fuente: Tomado de GEOCATMIN; Nieto, O. (2009); Gonzales, R. (2005)

Lámina 4.- Mapa de ubicación de muestras

2.3 Geología Económica

2.3.1 Metalogenia

En la zona de estudio se ubica la Franja XXIII donde se encuentran epitermales de Au-Ag del Mio-Plioceno. Se extiende en el dominio volcánico de la Cordillera Occidental del centro-sur del Perú ($12^{\circ}30'-18^{\circ}$). La mineralización de Au-Ag, está relacionada con actividad magmática Mio- Pliocena. Sus controles estructurales son fallas NO-SE de los sistemas de fallas Chonta, Abancay-Condorama-Caylloma y Cincha-LLuta, así como, fallas menores E-O. Las edades de mineralización de esta franja se registran entre 7 y 1 Ma, constituida principalmente por epitermales de Au-Ag de alta sulfuración, con excepción del depósito de Ag-Au Arcata de baja sulfuración (5,4 Ma, Candiotti et al., 1990) y del depósito de Pb-Zn-Ag de Recuperada de intermedia sulfuración (6,4 Ma, Noble & McKee, 1999). Los epitermales de Au-Ag de alta sulfuración que se distribuyen en esta franja son Tucari, Santa Rosa, Pucamarca, Pico Machay, Corihuarmi, Huamanrazo, Ccarhuaraso, Palla Palla, Baños del Indio y otros (Quispe, 2004; Acosta & Santisteban, 2007; Acosta et al., 2008).

2.3.2 Geología, alteración y mineralización

Tipo de yacimiento

Los depósitos Santa Rosa y Tukari pertenecientes al distrito minero de Aruntani, son los primeros yacimientos epitermales

de alta sulfuración descubiertos en la cordillera Occidental del sur del Perú. Estos se encuentran en la proyección sur del sistema de fallas Condoroma- Caylloma y su intersección con fallas menores de dirección E – O, a través de las cuales se han emplazado domos félsicos y estratovolcanes con lavas de composición traquiandesítica que hicieron erupción 8 y 6 Ma (Barreda et al., 2004). Localmente, la mineralización está controlada por fallas de dirección NO-SE en Santa Rosa y fallas NO-SE y EO en Tukari.

La alteración hidrotermal está relacionada con intrusivos de domos dacíticos que tienen edades entre 7 y 4 Ma (Barreda et al; 2004). Contemporáneamente se han emplazado los depósitos de Mazo Cruz, Baños del indio, Huilacollo, así como el último descubrimiento en el cerro Chucapaca por Canteras del Hallazgo (Lámina 5).

A continuación se describirá los depósitos tipo epitermales de alta sulfuración como Santa Rosa y Tukari.

Mina Tukari y Santa Rosa

Ubicación

Tucari y Santa Rosa se encuentran en el Distrito Minero Aruntani ubicado en la provincia y departamento de Puno en el límite del departamento de Moquegua. Los yacimientos se encuentran en la base del Grupo Barroso conformado por domos félsicos y estratovolcanes de traquiandesita de edades

que van desde 8,3; 7,0; 7,1; 6,6 Ma (France et al. 1985, Bradfor 1999 en Barreda et al., 2004)

Geología

La mineralización en Santa Rosa está relacionada con el margen de un domo riolítico y emplazada en tobas riolíticas y laminares, lavas riolíticas y riodacíticas, andesitas y traquiandesitas. La mineralización presenta un control litológico y estructural, controlada por la Falla Cotañani de rumbo NO-SE.

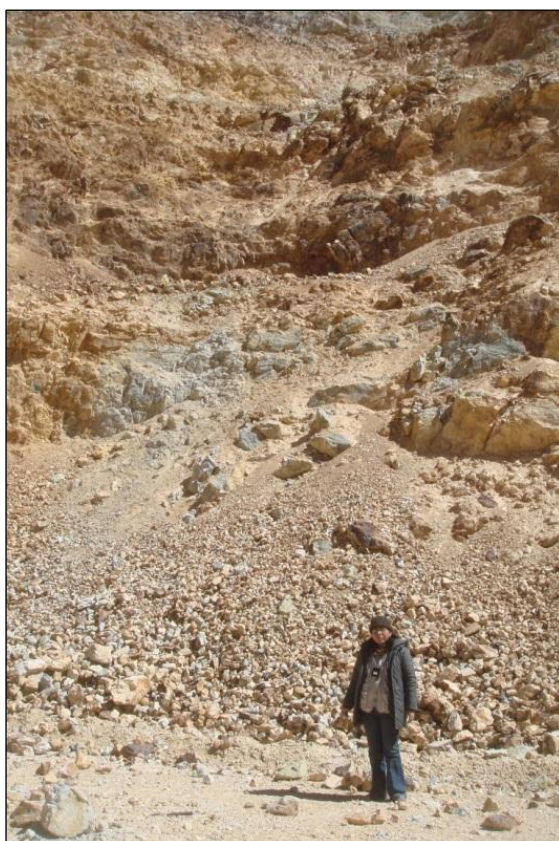
Alteración y mineralización

Tucari se ubica a 20Km al NE de Santa Rosa, la alteración corresponde al emplazamiento de intrusiones dacíticas en un complejo estrato volcánico andesíticos. Las alteraciones hidrotermales están conformadas por centros de sílice masiva representada por múltiples etapas de brechas hidrotermales, las cuales están rodeadas por sílice granular y alteración argílica avanzada. En la periferie se presentan zonas de alteración argílica. La mineralización ha sido controlada por fallas NNE y E-O. Las morrenas y coluviones ubicados en el flanco sur, también se encuentran mineralizados y con contenido promedio de 2 g/t Au. Los recursos cubicados en el 2004 fueron 50 Mt con 1g/t Au (Reporte interno ARUNTANI).

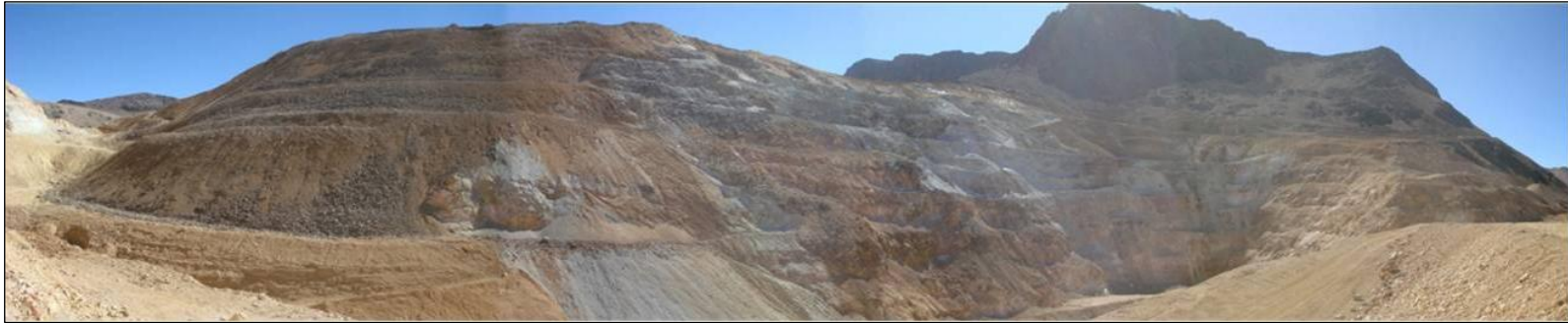
En Santa Rosa se ha determinado una edad de mineralización en alunita que corresponde a 7,16 Ma (UBC, 2004 en Barreda et al., 2004). La edad de mineralización en Tucari es más joven que en Santa Rosa y fue datada en alunita en 4,61 Ma. En alunita (UBC, 2004 en Barreda et al., 2004).



Fotografía 4.-Vista del Domo Mauruma



Fotografía 5.- Vista del Domo Mauruma.



Fotografía 6.-Vista panorámica del depósito de Santa Rosa



Fotografía 7.-Vista panorámica al Tajo de Santa Rosa.



Fotografía 8.-Vista panorámica del depósito de Tucari



Fotografía 9.-Vista panorámica del depósito de Tucari

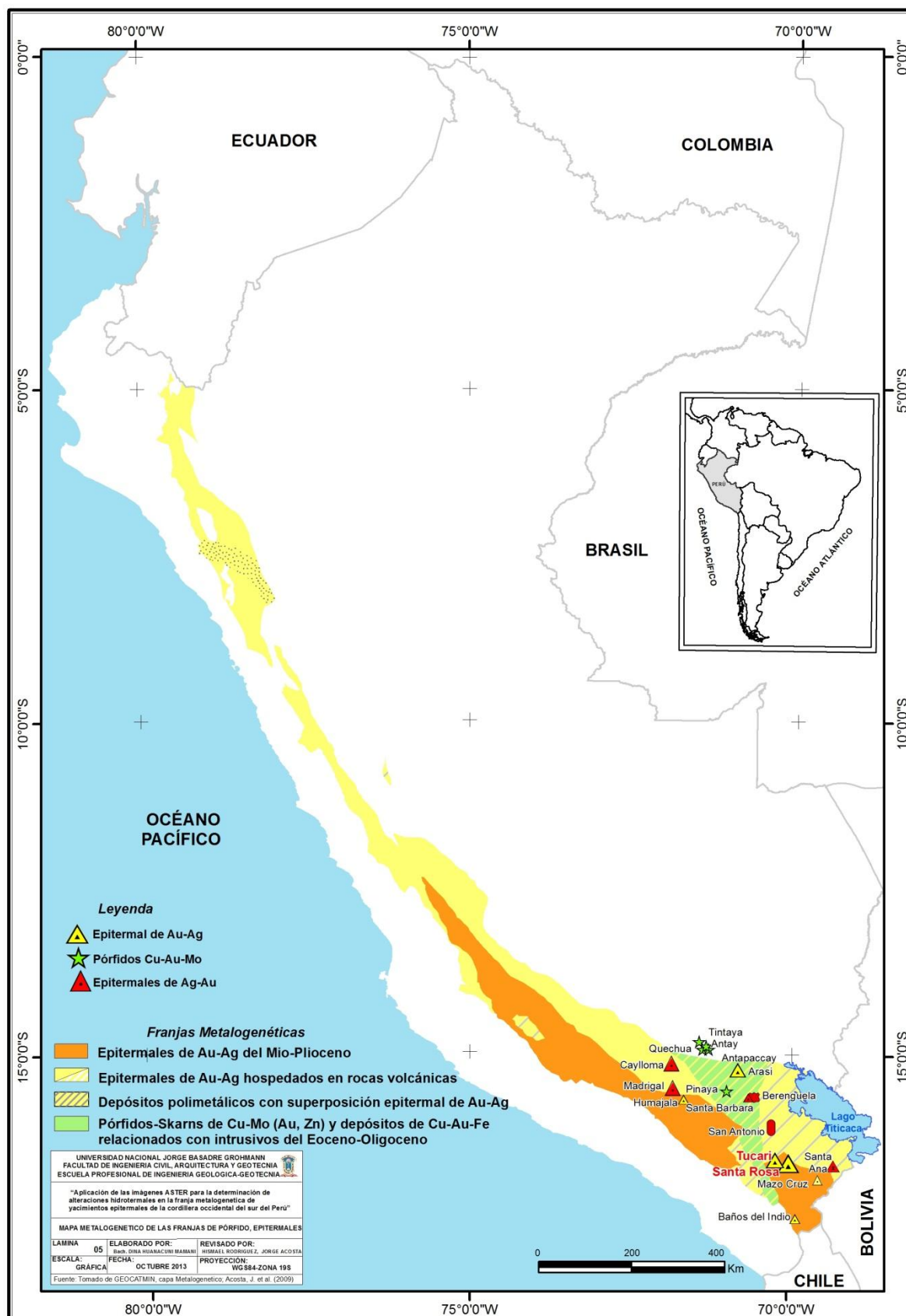


Lámina 5.- Mapa metalogenético de la zona de estudio

CAPITULO III: METODOLOGÍA “PROCESAMIENTO DE IMÁGEN ASTER MEDIANTE EL SOFTWARE ENVI”

3.1. Trabajos Preliminares

En los últimos años las técnicas para el procesamiento de imágenes satelitales tales como LANDSAT se utilizan para determinar zonas con anomalías de óxidos, arcillas, óxidos+ arcillas realizados en la tesis J, Acosta (2009).

También se determinó áreas con anomalías hidrotermales en la región de Cajamarca los cuales se realizaron trabajos con imágenes ASTER como el de G. Rodríguez (2010).

En el presente trabajo se muestra la siguiente metodología para la determinar zonas con anomalías espectrales.

3.2. Modelo de Elevación Digital (DEM)

Utilizando el dato Nivel 1 A de la imagen ASTER. Obtenemos la Fig.25. (Ver tabla 2)

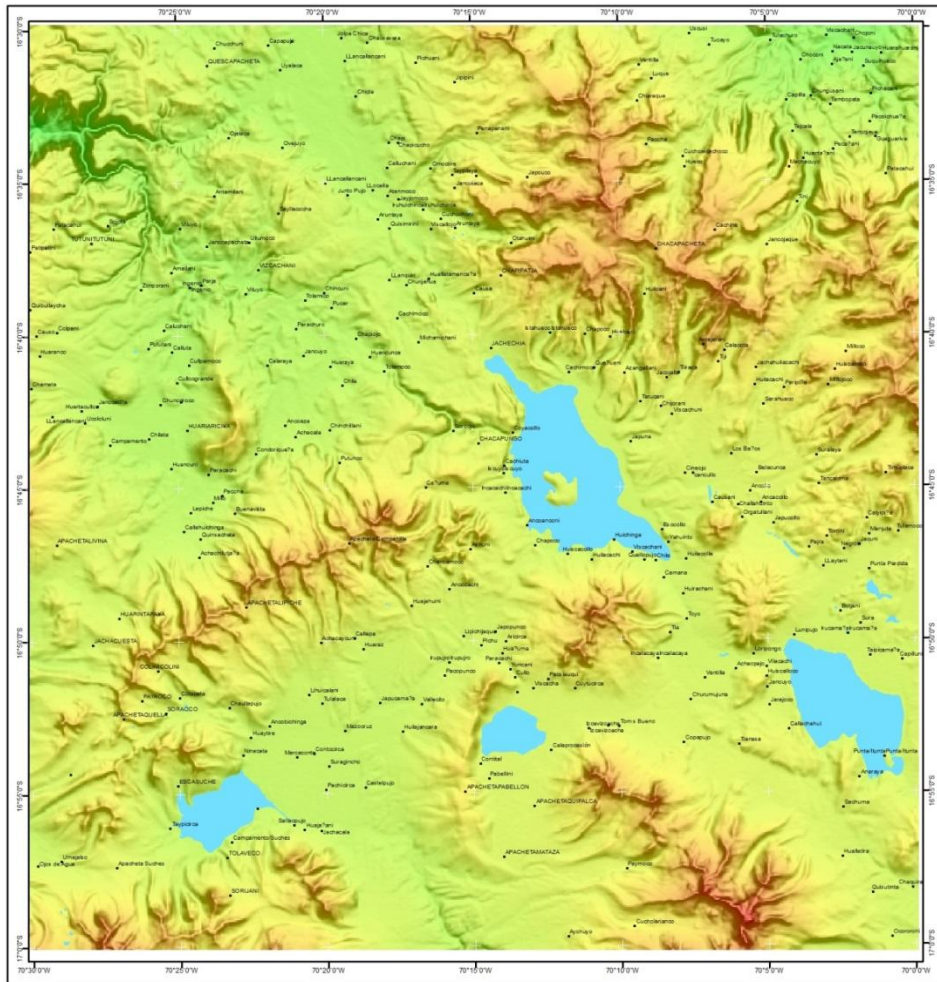


Figura 26.- Modelo de elevación digital (DEM) del cuadrángulo de Huaytiri.

3.3. Filtros Direccionales

Los filtros direccionales se utilizan para detectar rasgos lineales con una orientación en particular en la imagen. Consisten de una matriz de números que se mueve paralelamente a las filas o columnas de los pixeles.

En la zona de estudio se realizó filtros direccionales con los cuales se identificó lineamientos en las siguientes direcciones:

- Filtro de dirección Este-Oeste

1	1	1
1	-2	1
-1	-1	-1

Son 10 lineamientos que llevan una orientación E-O son el resultados por este tipo de filtro. En la fig. 26 se aprecia que este filtro ha resaltado los lineamientos con esa dirección.

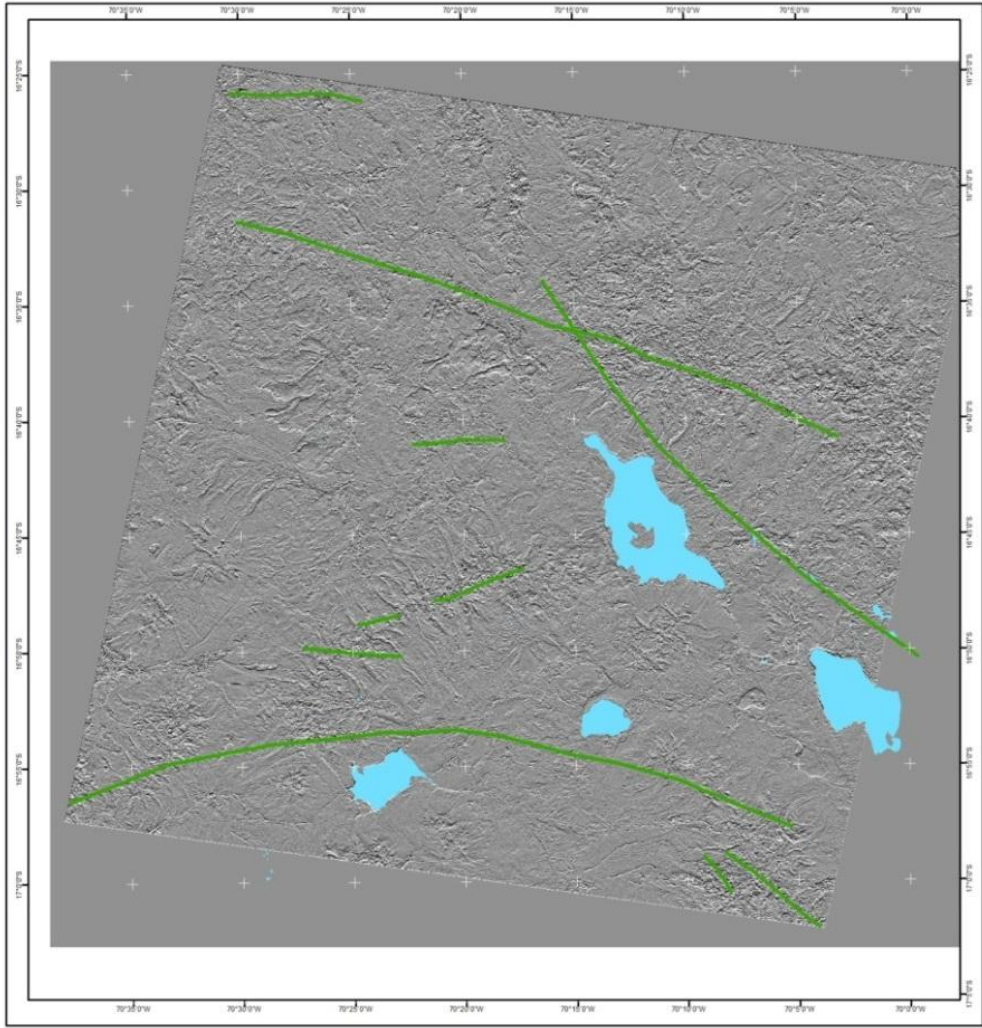


Figura 27.-Lineamiento en dirección Este-Oeste

- Filtro de dirección Noreste – Suroeste

-1	-1	1
-1	-2	1
1	1	1

Son 15 lineamientos que llevan una orientación E-O son el resultado por este tipo de filtro. En la fig. 27 se aprecia que este filtro ha resaltado los lineamientos con esa dirección.

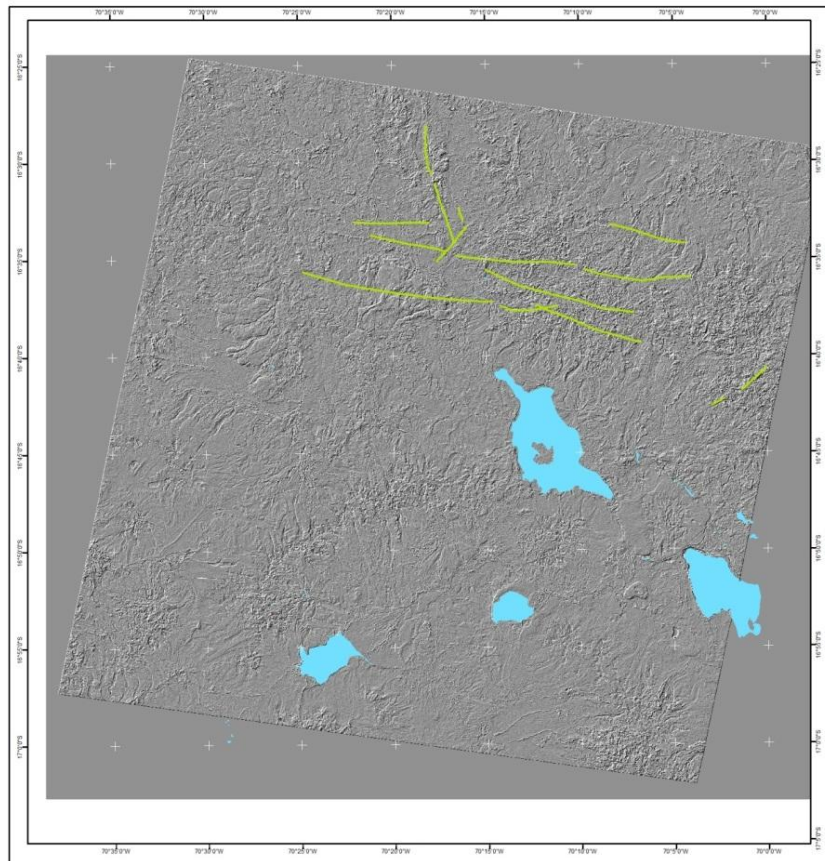


Figura 28.- Lineamiento en dirección Noreste-Suroeste.

- Filtro de dirección Noroeste – Sureste

1	-1	-1
1	-2	-1
1	1	1

Son 9 lineamientos que llevan una orientación E-O son resultados por este tipo de filtro. En la fig. 28 se aprecia que este filtro ha resaltado los lineamientos con esa dirección.

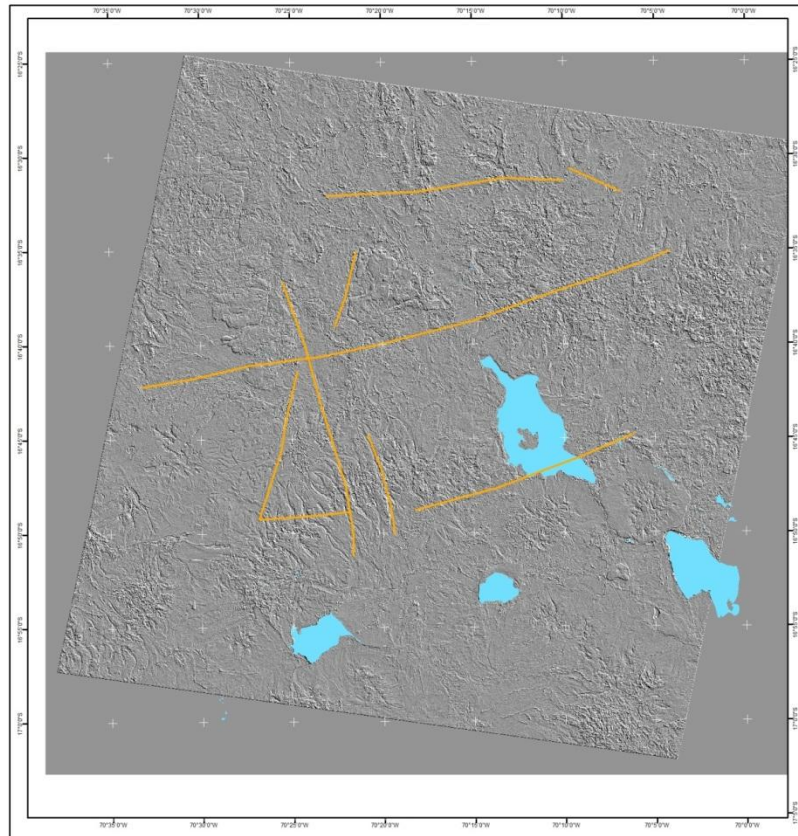


Figura 29.- Lineamiento en dirección Noroeste-Sureste

- Filtro de dirección Norte – Sur

-1	1	1
-1	-2	1
-1	1	1

Son 34 lineamientos que llevan una orientación E-O son resultados por este tipo de filtro. En la fig. 29 se aprecia que este filtro ha resaltado los lineamientos con esa dirección.

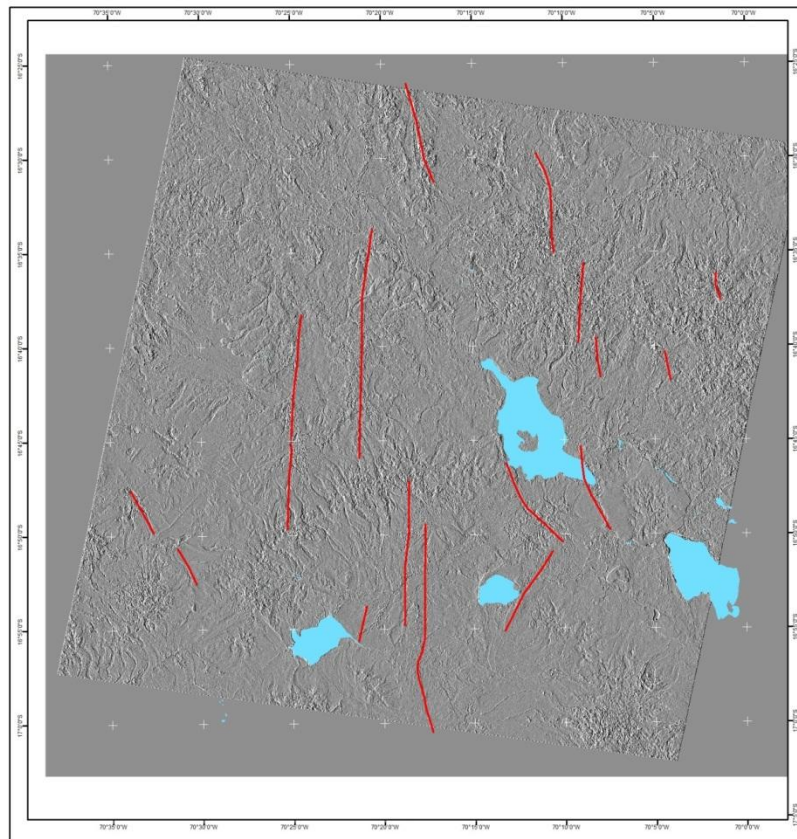
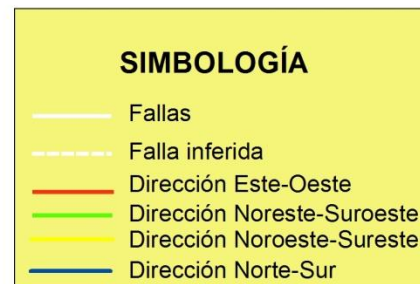
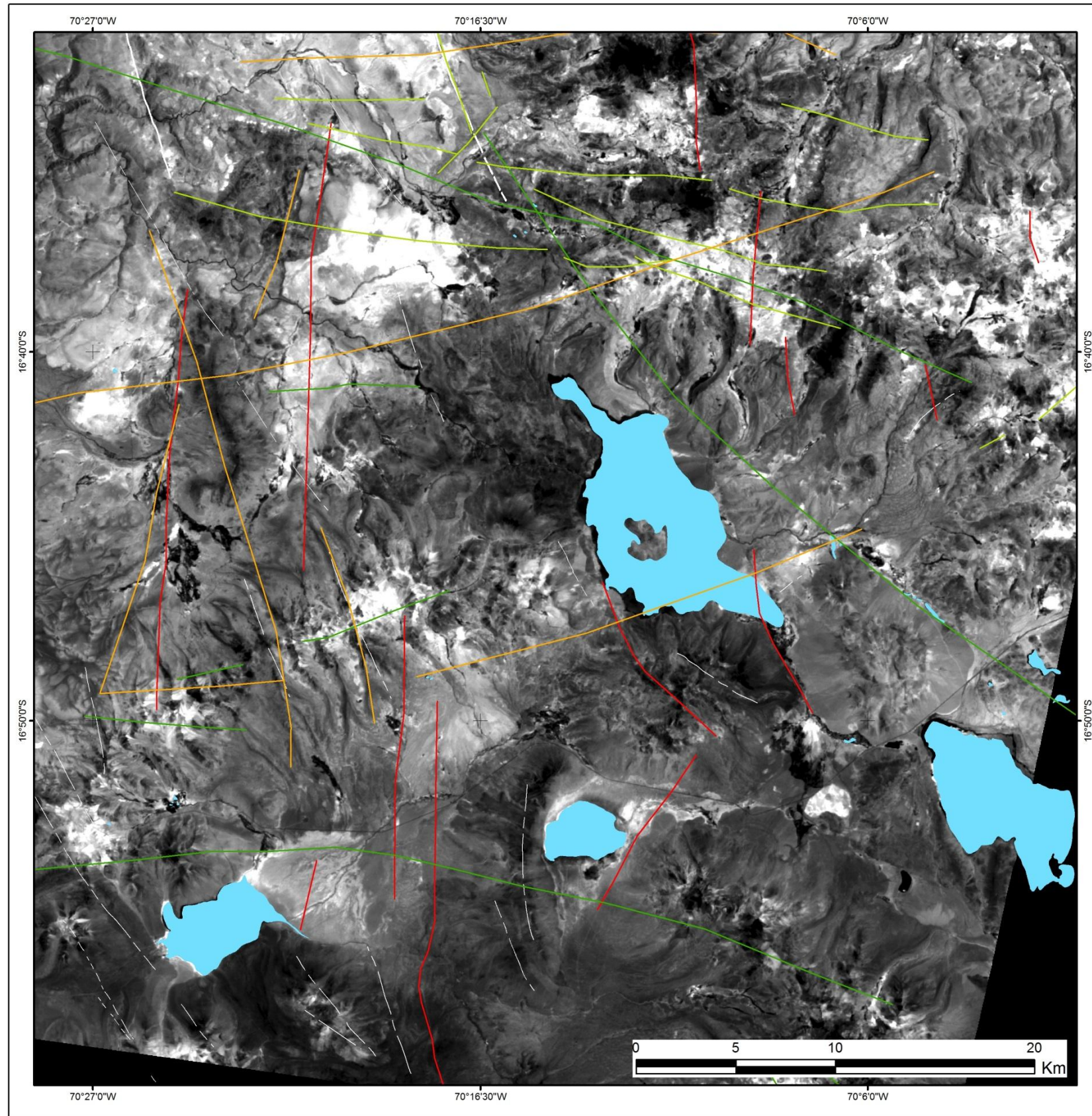


Figura 30.-Lineamiento en dirección Norte-Sur



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA-GEOTECNIA		
“Aplicación de las imágenes ASTER para la determinación de alteraciones hidrotermales en la franja metalogenética de yacimientos epitermales de la cordillera occidental del sur del Perú”		
MAPA DE FILTROS DIRECCIONALES		
LAMINA	ELABORADO POR:	REVISADO POR:
06	Bach. DINA HUANACUNI MAMANI	HISMAEL RODRIGUEZ, JORGE ACOSTA
ESCALA:	FECHA:	PROYECCIÓN:
GRÁFICA	OCTUBRE 2013	WGS84-ZONA 19S
Fuente: INGENMET		

Lámina 6.- Mapa de filtros direccionales

3.4. Procesamiento de imágenes ASTER para determinar anomalías espectrales.

3.4.1 Composición de bandas y cocientes

Esta es la etapa preliminar del mapeo de minerales posterior a la adecuada preparación de los datos, se analizan combinaciones simples de bandas y ratios.

Se hicieron diferentes combinaciones de bandas, la combinación 4,6,8, útil para la determinación de zonas de alteración y 3,2,1 de oxidación, sin el empleo de otras técnicas de procesamiento de imágenes, visualizándose en tonos amarillos las zonas alteradas y con presencia de óxidos y el empleo de ratio de bandas nos ayuda a discriminar zonas de alteración hidrotermal. (tablas 8,9,10)

Tabla 7.- Combinación de Bandas de Imagen ASTER

Composición de falso color	RGB	3 2 1		
Discriminación de tipos de rocas	RGB	9 3 1		
Mapeando alteraciones	RGB	9 4 3	4 5 8	5 6 7
		8 5 3	2 4 7	4 6 8

Tabla 8.- Composición RGB: 3 2 1

	M:			COLOR
	A: ALTO	MODERADO	B: BAJO	
	R	G	B	
	3	2	1	
Vegetación	A	B	B	Rojo
Óxidos de Hierro	M	A	B	Verde -Amarillo
Otras rocas	M	M	M	Gris
Sedimentos en el agua	B	M	M	Cyan

Tabla 9.- Composición RGB: 4/5,4/6,4/7 (Laboratorio de Teledetección)

	A: ALTO M: MODERADO B: BAJO			COLOR
	R	G	B	
	4/5	4/6	4/7	
Alunita (Alt. Argílica)	A	M	B	Rojo-Amarillo
Kaolinita (Alt. Filica)	M	A	B	Verde-Amarillo
Calcita (Alt. propilítica)	B	B	A	Azul

Se procede a establecer la secuencia del procesamiento digital de las imágenes TERRA ASTER, haciendo uso del software ENVI, en la determinación en superficie de tipos de alteración aplicable a depósitos epitermales de alta y baja sulfuración y a depósitos metálicos en Pórfidos (Cu, Au, Mo). Los mapas obtenidos son útiles en etapas de exploración y en la determinación de guías de mineralización.

Las imágenes ASTER (subsistemas VNIR y SWIR) permiten obtener mapas de tipos de alteración (Cuadro 1) en los

depósitos anteriormente mencionados, como son alteración argílica, fílica y propilítica. Adicionalmente se incluye la secuencia para la determinación de zonas de alteración por óxidos.

Zona de Alteración	Minerales mayores y menores
Propilítica	Epidota, clorita, albita, carbonato, montmorillonita, goetita + mica potásica, pirita, zeolitas.
Argílica	Montmorillonita, caolinita, cuarzo, mica potásica, goetita, hematita, jarosita + clorita, carbonato.
Argílica avanzada	Cuarzo, pirofilita, alunita, caolinita, opal, feldespato potásico, mica potásica, hematita + anastasa
Fílica	Cuarzo, mica potásica, caolinita, arcillas esmectita, hematita, jarosita, feldespato potásico, albita.
Opalizada	Cuarzo, alunita. Caolinita, pirofilita, calcita + anastasa
Silicificada	Cuarzo, alunita, caolinita, diáspora, pirofilita, hematita, goetita, jarosita + anastasa, rutilo, opal, mica potásica.

Cuadro 1.- Zonas de Alteración y presencia de minerales mayores y menores (Modificado de Rowan & Lathram, 1980).

3.4.2 Identificación Visual de Zonas de Alteración.

Podemos identificar visualmente la presencia de zonas de alteración, vegetación, nubes, cuerpos de agua, etc. Las composiciones RGB que nos sirven para visualizar dichas características son:

- **RGB: 321** Identificación de óxidos en tonos amarillos claros a blancos, vegetación en rojo, zonas de saturación en blanco, agua en color azul oscuro a negro (Fig. 31).
- **RGB: 931** Determinan unidades geológicas. Nieve en tonos cian (Fig. 32)
- **RGB: 468** Alteraciones hidrotermales en tonalidades rosáceas y verdes (Fig. 33).

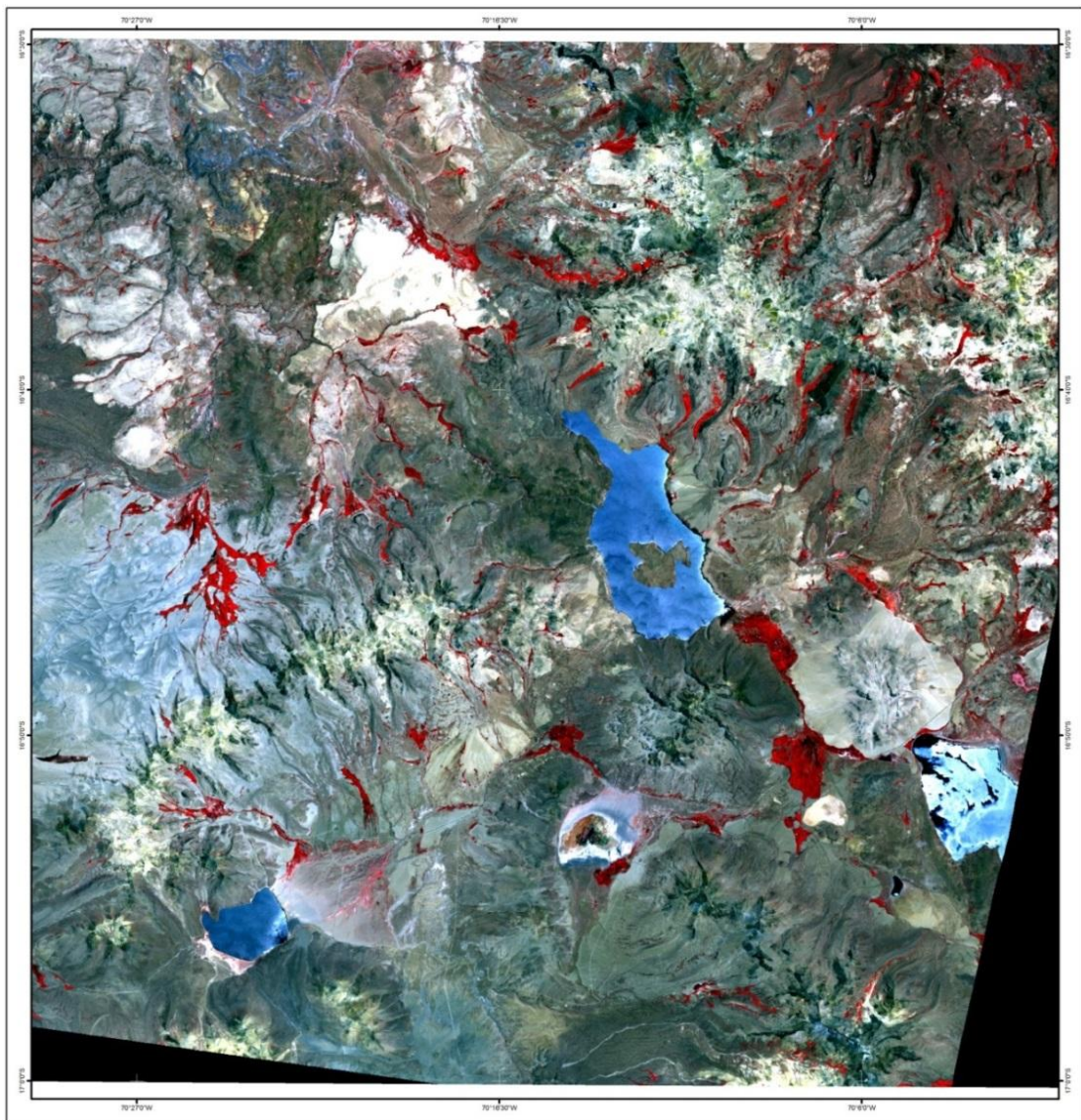


Figura 31- Composición ASTER RGB: 321

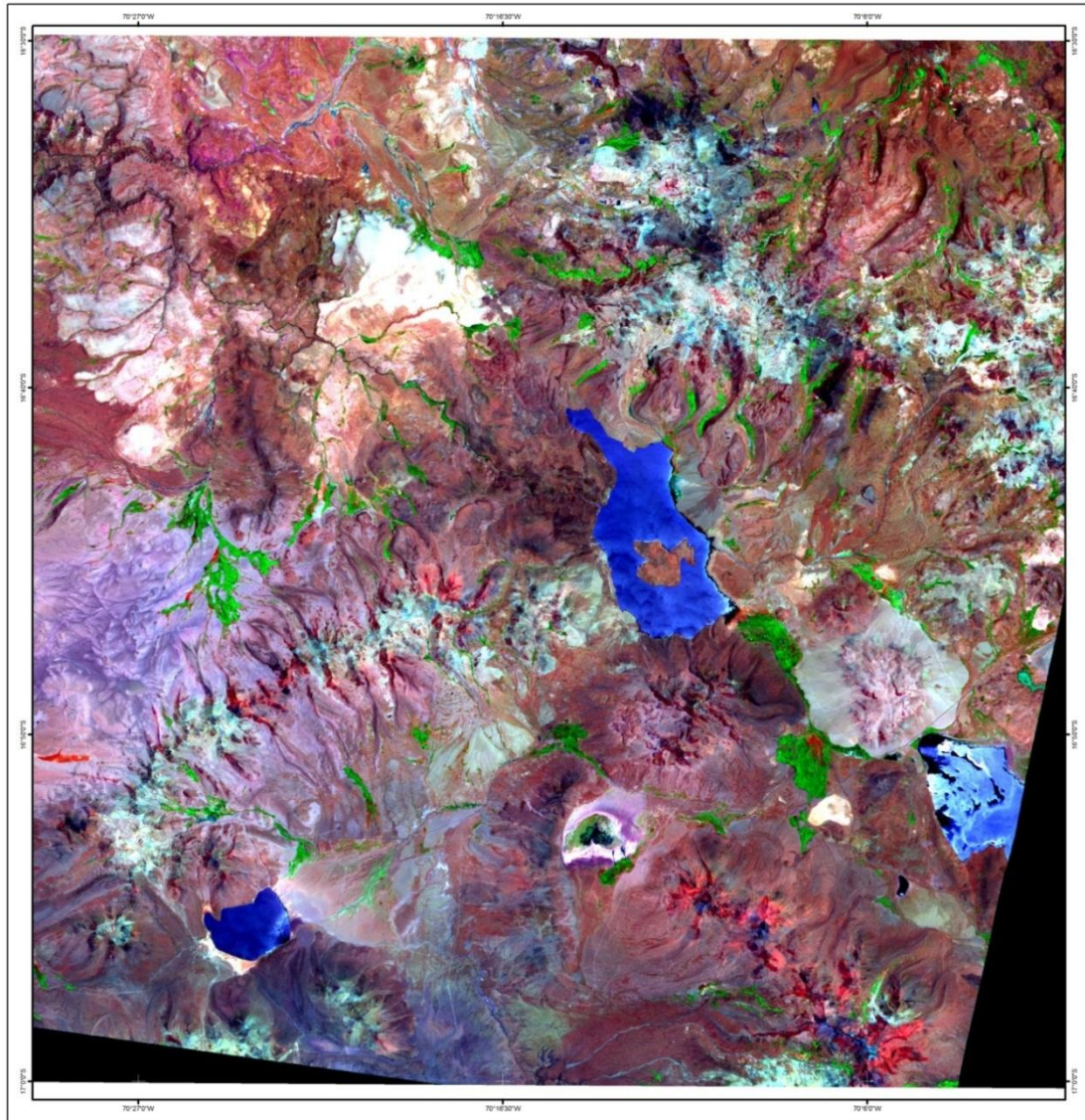


Figura 32.- Composición ASTER RGB: 931

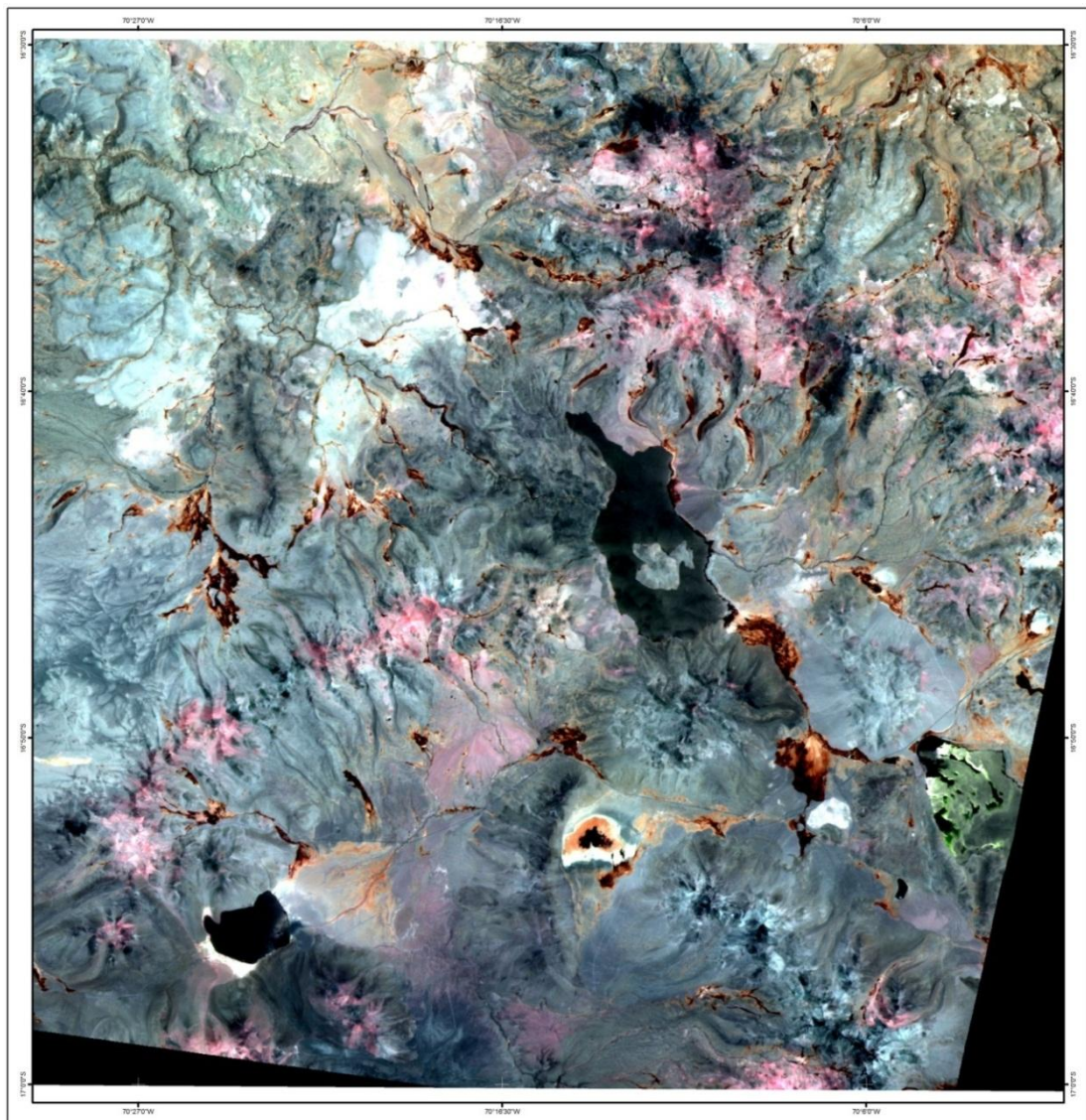


Figura 33.- Composición ASTER RGB:468

3.4.3 Elaboración de Máscaras

3.4.3.1 Enmascaramiento

Para resaltar las anomalías espectrales por presencia de Óxidos (Fe^{3+}) e Hidróxidos (OH^-), es necesario enmascarar las siguientes zonas en la imagen:

- Las zonas cubiertas por vegetación (en zonas de vegetación seca resalta la presencia de arcillas y que puede no ser cierto).
- Las zonas que corresponden a cuerpos de agua y sombras por pendiente.
- Las zonas de saturación (valores máximos de zonas blancas).

3.4.3.2 Máscara de vegetación

- Para crear la máscara de vegetación se usa el Índice de vegetación diferencial normalizada (NDVI).
- Se elige el umbral correspondiente. Generalmente la vegetación densa y/o robusta tiene un $\text{NDVI} > 0,40$. Sin embargo dado que cada imagen es diferente, se debe elegir el umbral de manera interactiva superponiendo los valores de NDVI.
- Finalmente se crea la máscara para la vegetación.

3.4.3.3 Máscara de sombra, agua y background

- Determinar las áreas de sombra y agua, haciendo uso de la banda 5 (valores bajos).

- Determinar el umbral a partir de esta banda, y crear una máscara

3.4.3.4 **Máscara de nubes y zonas saturadas:**

- Determinar las áreas de nubes y las zonas saturadas haciendo uso de la banda 1 (valores altos).
- Determinar el umbral a partir de esta banda, y crear una máscara.

3.4.3.5 **Unión de máscaras:**

Unir las tres máscaras en una sola máscara (ver Fig.34)



Figura 34. Generación de máscara de vegetación, zonas de saturación, sombra y agua. Izquierda: Imagen ASTER RGB: 321; Derecha: Máscara generada.

3.4.4 **Cociente de Bandas**

Los cocientes de bandas son usados para resaltar las diferencias espectrales entre bandas y reducir los efectos de la topografía. Dividiendo una banda espectral por otra se genera una nueva banda de intensidades relativas.

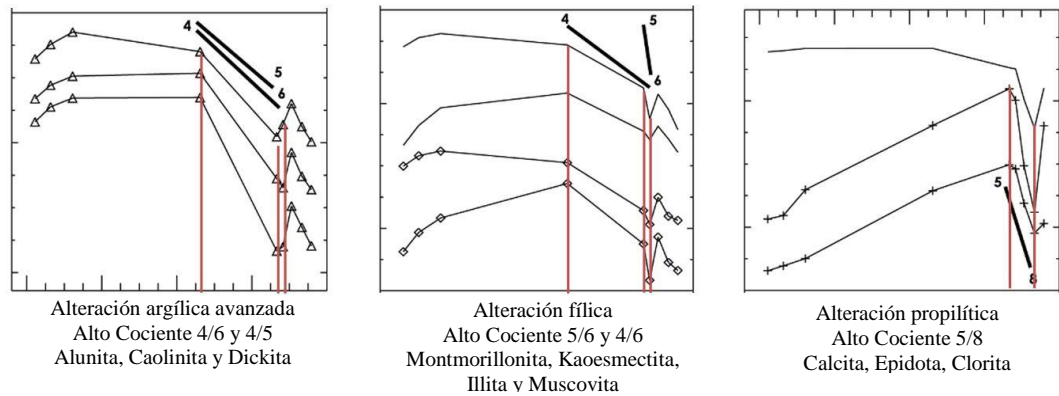


Figura 35.- Espectro de algunos minerales característicos de zonas de alteración argílica avanzada, fílica y propilítica (según Manual ASTER for INGEMMET, H Morozumi, 2006).

La selección de las bandas para cada tipo de alteración se determina en base al espectro de los minerales y/o asociaciones minerales presentes en los depósitos característicos de dichas zonas de alteración.

Cuadro 2.- Los cocientes usados para producir un mapa de alteraciones se muestran a continuación.

Tipo de alteración	Cociente
Argílica avanzada:	4/6
Fílica:	5/6
Propilítica	5/8

Se realiza los cocientes de bandas al archivo conteniendo las 9 bandas (de preferencia aplicar previamente el enmascaramiento). Obteniendo un archivo conteniendo los tres cocientes.

Se realiza una composición RGB con los ratios obtenidos: 4/6, 5/6, 5/8 (Fig. 36 y 37). La alteración argílica avanzada realza los tonos rojos (debido al 4/6 alto), la alteración intermedia se muestra en tonos

naranja a amarillo por la mezcla de verde (5/6 alto) y rojo (4/6), y la alteración propilítica realza el color azul (debido al 5/8 alto).

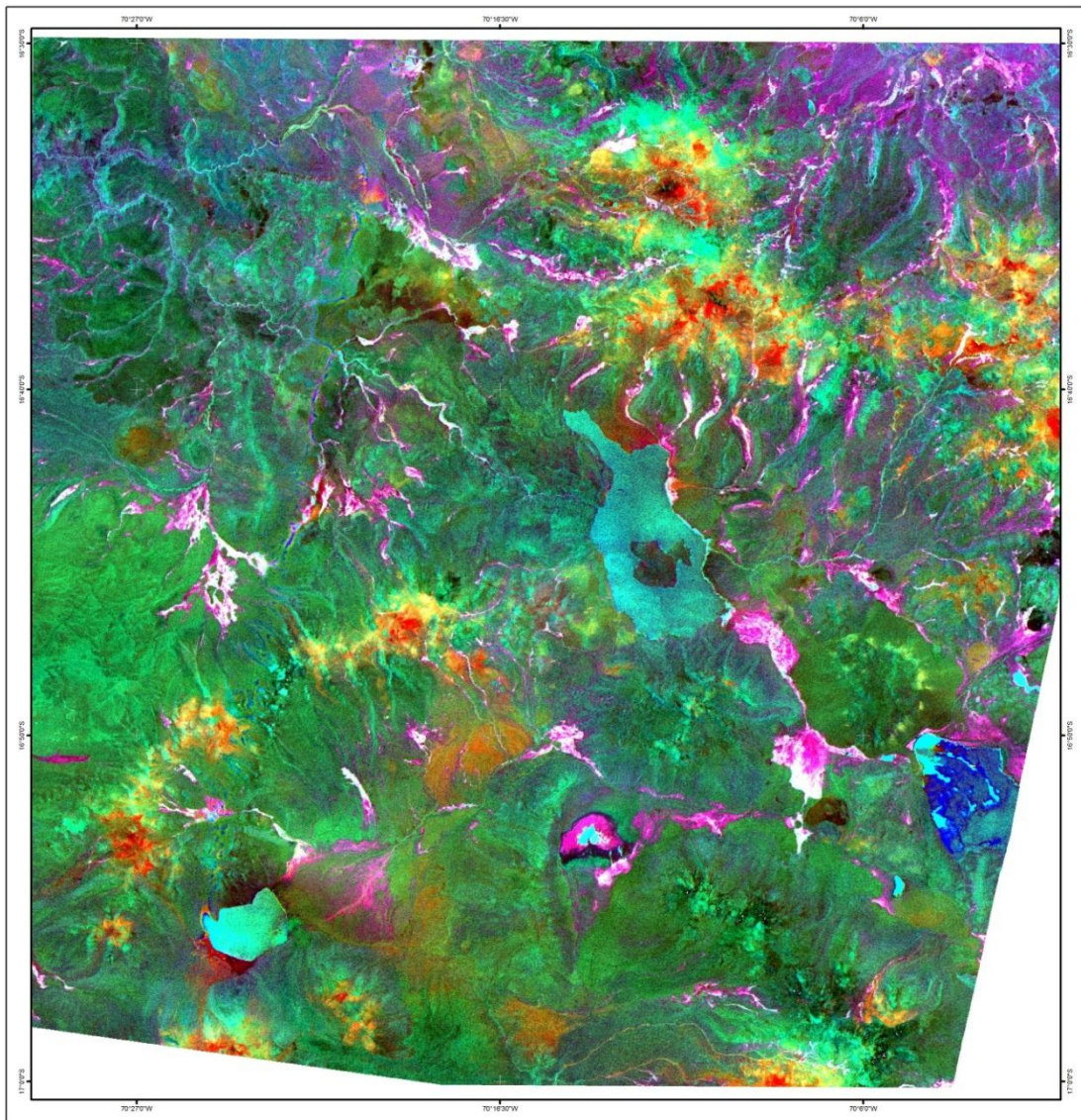


Figura 36.- Composición RGB: 4/6, 5/6, 5/8.

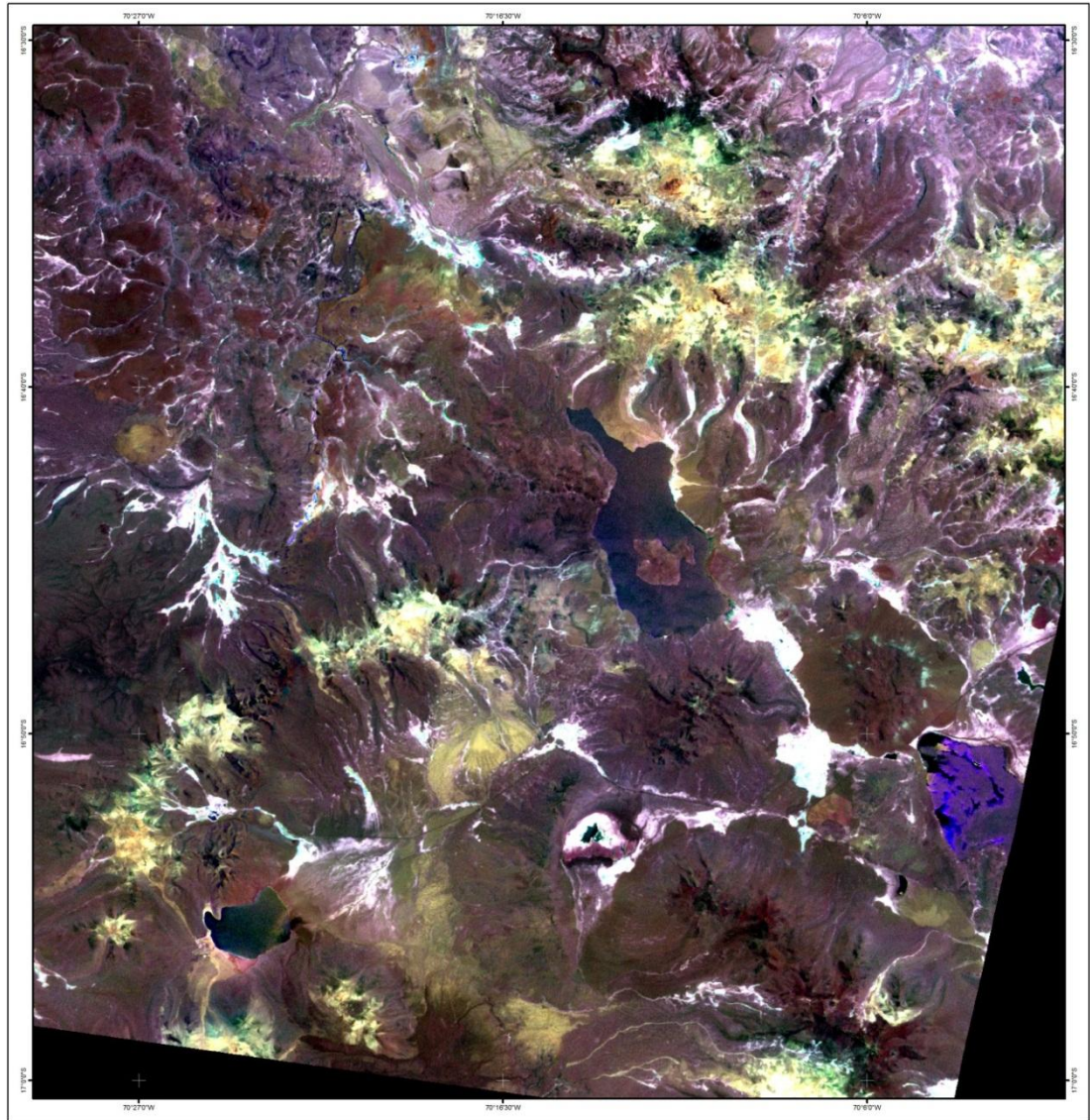


Figura 37.- Composición RGB: 4/5, 4/6, 4/7.

3.4.5 Métodos de Análisis Espectral

3.4.5.1 Análisis de Principales Componentes (PCA)

El método de Análisis de Componentes Principales es un procedimiento matemático usado en el procesamiento de imágenes satelitales para transformar un número de bandas espectrales altamente correlacionadas en un número menor de bandas espectrales no correlacionadas llamadas componentes principales.

Esto se hace encontrando un nuevo conjunto de ejes ortogonales que tienen su origen en la media del conjunto de datos (fig. 38) y que son rotados de manera que la varianza del conjunto de datos sea maximizada. La primera componente de dos bandas estará en la dirección del eje con la mayor varianza del conjunto de datos, la segunda componente en la dirección de la segunda mayor varianza y así sucesivamente.

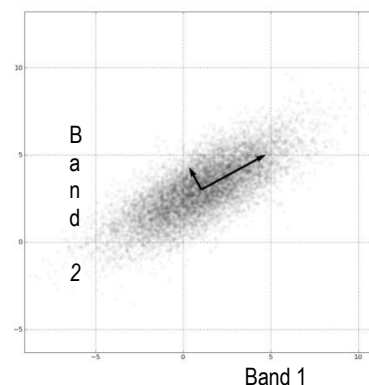


Figura 38.- Distribución espacial de los valores de los pixeles y determinación de ejes principales.

Variantes del método son:

- a) Feature-Oriented Principal Component Selection – FPCS. Propuesto por Crósta & Moore (1987).
- b) Crósta Technique. Propuesto por Loughlin (1991), adaptado del anterior.

El método de Componentes Principales puede aplicarse a todas las bandas de una imagen, como es el caso del método FPCS, o a subgrupos de bandas poco o altamente correlacionadas, como es el caso de la técnica Crósta. Para el primer caso, la primera componente principal obtenida del conjunto de bandas contendrá el 95% de la varianza total de las “n” bandas usadas.

En un segundo caso, se usa un subgrupo de bandas que se correlacionan poco o nada, en cuyo caso el resultado final mostrará la información que es única para cada banda.

La técnica Crósta (Loughlin, 1991), útil en la determinación de dos conjuntos de minerales arcillas y óxidos e hidróxidos de hierro (estos últimos asociados a la meteorización de sulfuros) como indicadores de mineralización de oro en depósitos epitermales. Esta técnica se basa en el análisis de Componente Principales aplicados a subgrupos de 4 bandas, seleccionados en base a la posición de sus rasgos de absorción en su espectro (fig. 39).

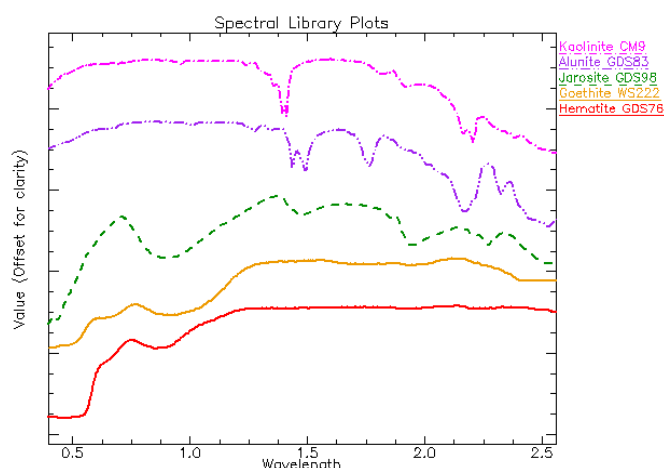


Figura 39.- Firmas espectrales de algunos minerales con presencia de Hierro (Fe³⁺) e hidróxidos (OH⁻), B1, B3,.....B9 indica la posición de las bandas del sensor ETM+ del satélite ASTER.

Los subgrupos de bandas para la determinación de zonas de alteración para las imágenes ASTER han sido elegidos según su ubicación en el espectro (Tabla 10 y fig. 35):

Tabla 10.- Subgrupos de bandas para la determinación de tipos de alteración ASTER

Tipo de alteración	Subgrupo
Argílica avanzada:	Bandas 1, 4, 6 y 7
Fílica:	Bandas 1, 3, 5 y 6
Propilítica	Bandas 1, 3, 5 y 8
Óxidos	Bandas 1, 2 y 3

Se realiza la transformación por Componentes Principales para cada subgrupo. Guardar los archivos conteniendo las PC y los archivos de las estadísticas (*.sta)

Se analiza los autovalores (Tabla 11 y Tabla 12) a partir de los archivos *.sta, determinar las PCs que contienen la información de interés para cada tipo de alteración (ver fig. 40). Para la imagen procesada, tenemos por ejemplo:

Tabla 11. -Análisis de autovalores obtenidos de la transformación por componentes principales para el subgrupo de bandas 123.

ÓXIDOS Eigenvector	Band 1	Band 2	Band 3
Band 3 (PC3)	-0,379730	0,715175	-0,586796

Tabla 12.- Análisis de autovalores obtenidos de la transformación por componentes principales para el subgrupo de bandas 1467

ARGÍLICA Eigenvector	Band 1	Band 4	Band 6	Band 7
Band 6 (PC3)	0,035941	0,763944	-0,511660	0,391537

- Argílica avanzada → PC4
- Filica: → PC4
- Propilítica → -PC4
- Oxidos → PC3

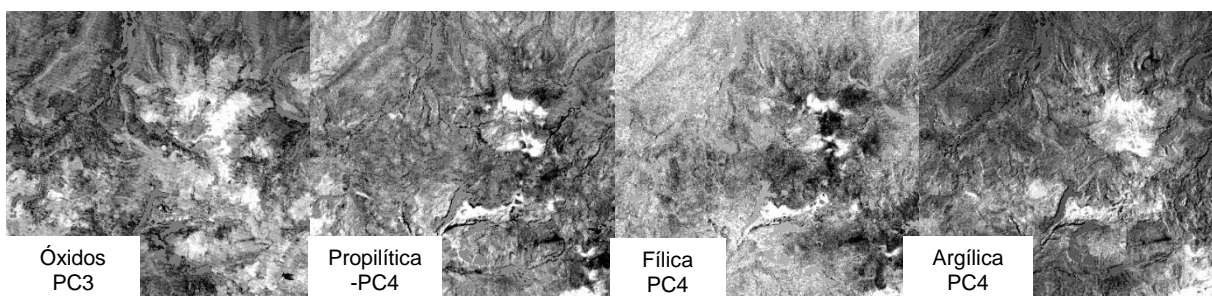


Figura 40.- Componentes Principales seleccionadas del análisis de autovalores.

3.4.5.2 Clasificación de Anomalías

Seleccionamos cada subgrupo y asignamos los colores a las anomalías obtenidas de los 4 subgrupos, según la siguiente escala de colores (Fig. 41):

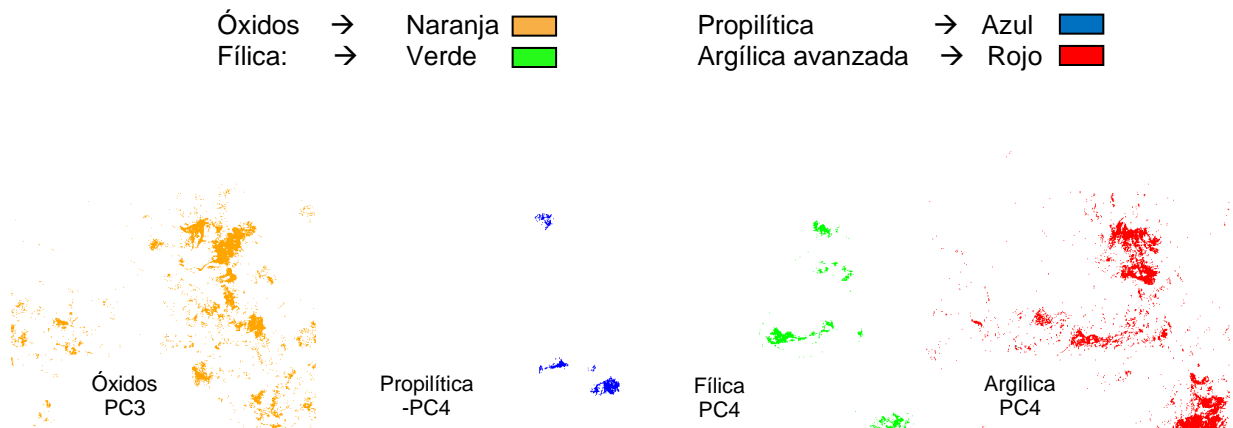


Figura 41.- Clasificación de alteraciones a partir de componentes principales.

3.4.5.3 Composición de mapa final

Determinar el sentido de las PCs elegidas e invertirlas si fuera necesario (caso: PCs negativas, Tabla 13).

Tabla 13.- Componentes Principales finales que determinan las abundancias relativas de los diferentes tipos de alteración.

Tipo de alteración	Contraste espectral (firma espectral)	Análisis de autovalores (*.sta)
Argílica avanzada	B4 > B6	PC4
Fílica	B5 > B6	PC4
Propilítica	B5 > B8	-PC4
Óxidos	B2 > B1	PC3

La composición final de tipos de alteraciones ASTER obtenida con el método de componentes principales, se observa en las figuras 42 y 43.

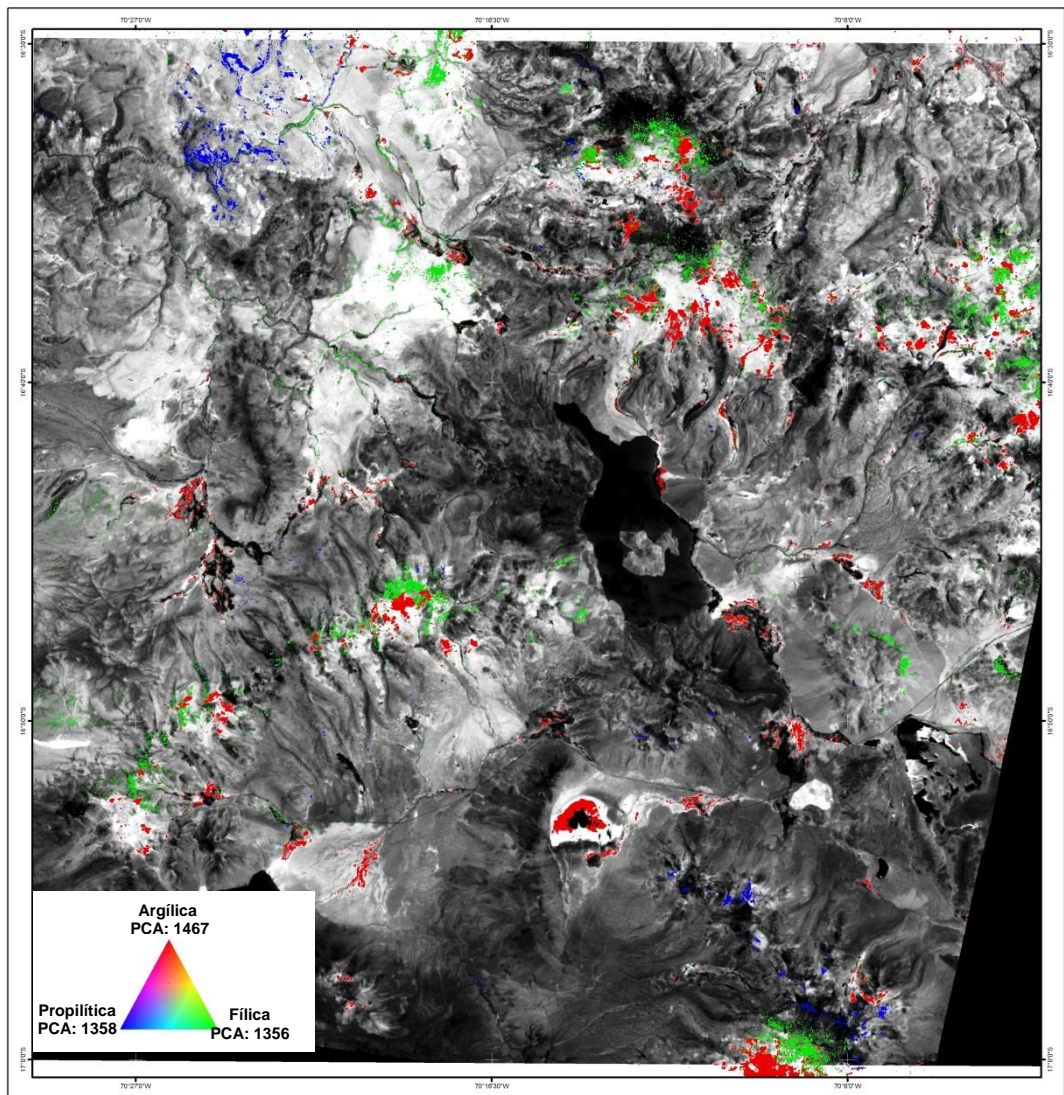


Figura 42.- Mapa de Alteraciones Argílica , Fílica, Propilítica obtenida con el método PCA en la zona de estudio

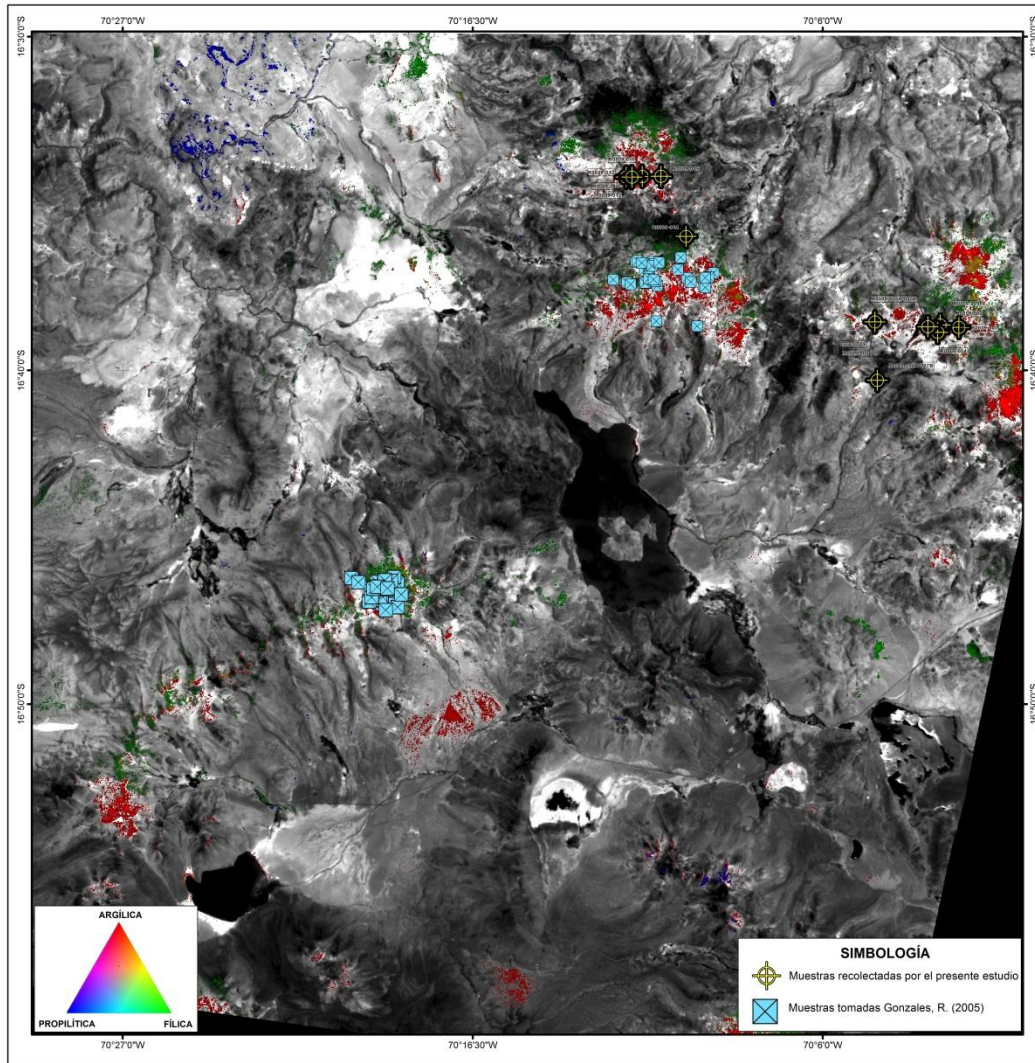


Figura 43.- Mapa de Alteraciones Argílica, Fílica, Propilítica y puntos de muestreo.

CAPITULO IV: RECONOCIMIENTO DE CAMPO Y VALIDACIÓN DE ANOMALÍAS ESPECTRALES

4.1 Minerales de alteración Hidrotermal que contribuyen a la Reflectancia de las rocas alteradas.

Minerales de Alta Sulfuración:

- **Alteración Argílica Avanzada – Acido Sulfato:**
Alunita, Kaolinita, Dickita, Diáspora, Pirofilita, Zunyita
- **Alteración Argílica Intermedia – Argílica:**
Kaolinita, Dickita, Montmorillonita, Illita - Esmeclita
- **Alteración Propilítica:**
Calcita, Clorita, Epidota, Sericita

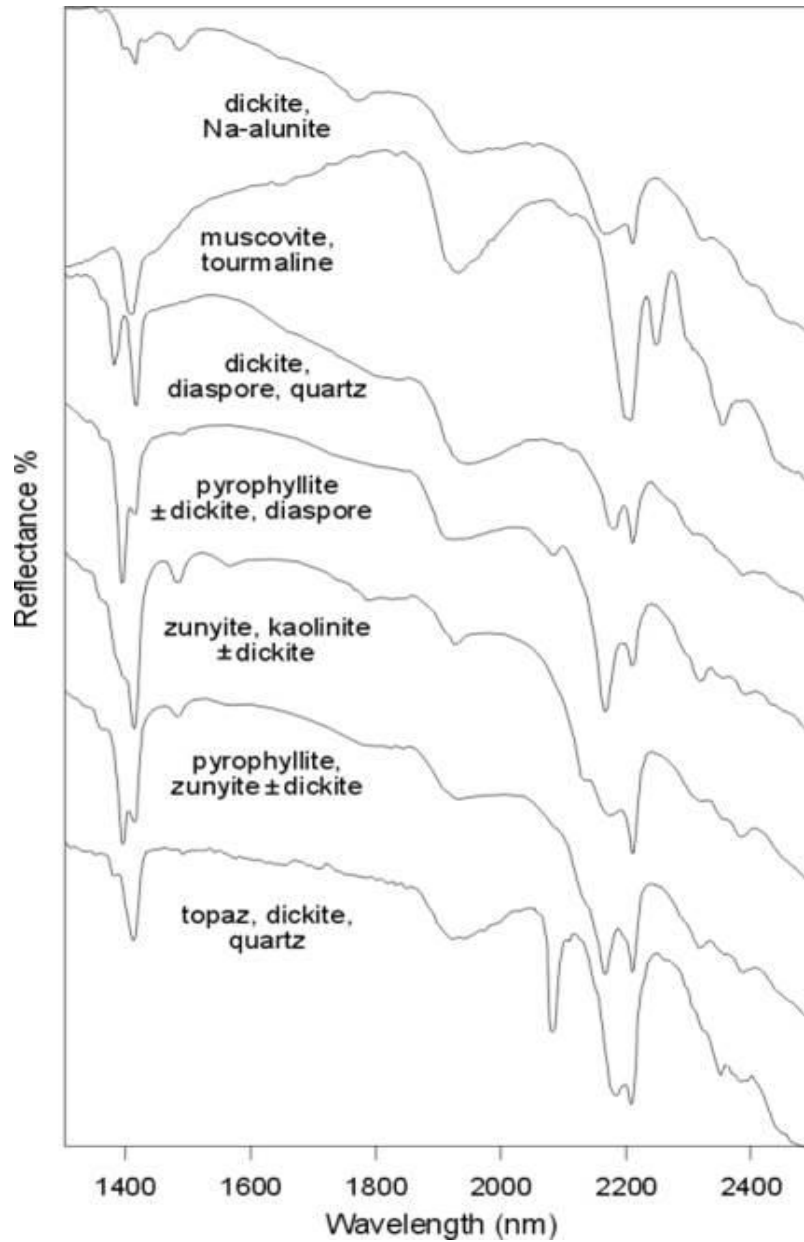


Figura 44.- Firmas espectrales de minerales de alteración Argílica Avanzada, intermedia y propilítica.

Minerales de baja sulfuración

- ✓ Alteración Sericita -“Adularia”/: Sericita
- ✓ Alteración Argílica: Illita, Esmectita, Calcedonia, Ópalo, Montmorillonita, Kaolinita, Calcita, Dolomita.
- ✓ Alteración Argílica Avanzada – Acido Sulfato (Steam Heated): Kaolinita, Alunita, Cristobalita (Opal, Calcedonia), Jarosita.
- ✓ Alteración Propilítica, Zeolítica: Calcita, Epidota, Wairakita, Clorita, Illita-Esmectita, Montmorillonita.

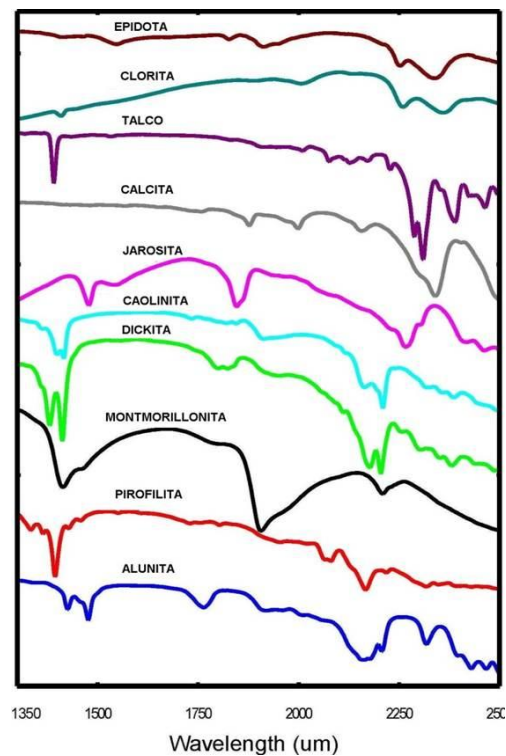


Figura 45- firmas espectrales de minerales de alteración de depósitos de baja sulfuración.

Pórfido

- ✓ Alteración Potásica: Biotita, Actinolita, Sericita, Clorita, Epidota, Muscovita, Anhidrita
- ✓ Alteración Fílica : Sericita (Muscovita - Illita), Clorita, Anhidrita
- ✓ Alteración Argílica Intermedia - Argílica: Sericita (Illita - Esmectita), Clorita, Montmorillonita, Kaolinita, Calcita, Epidota
- ✓ Alteración Propilítica:
- ✓ Clorita, Epidota, Calcita, Actinolita, Sericita

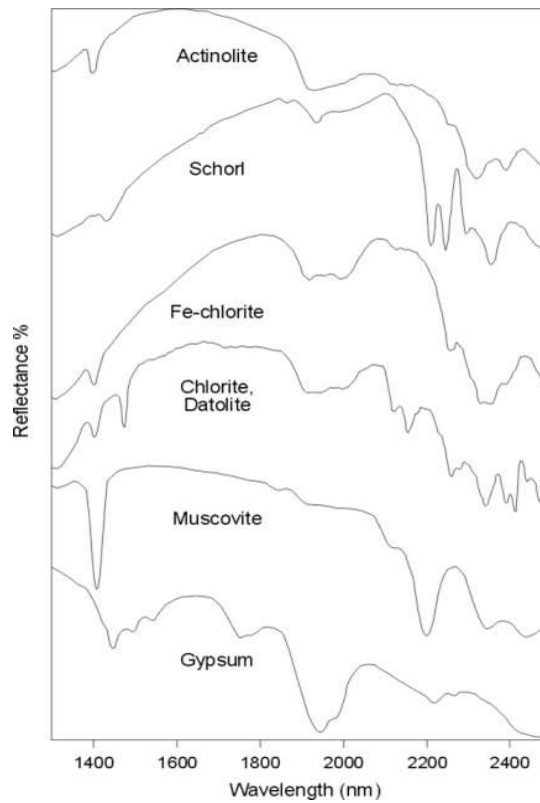


Figura 46- Firmas espectrales de minerales de alteración de depósitos porfiríticos.

Principales Características:

- Intervalo de medición : 1300-2500nm
- Resolución espectral : 5 -6nm
- Intervalo de muestreo : 2nm
- Tiempo de adquisición : 37seg. En modo normal, 17seg.
Modo
Rápido y 6min 15seg para
muestreos de alta calidad.
- Señal/ruido : desde 2500:1 en modo normal,
11500:1 para integraciones más altas.
- Capacidad de almacenaje : 600 espectros aprox.
- Peso : 3.4 – 3.9 kg.

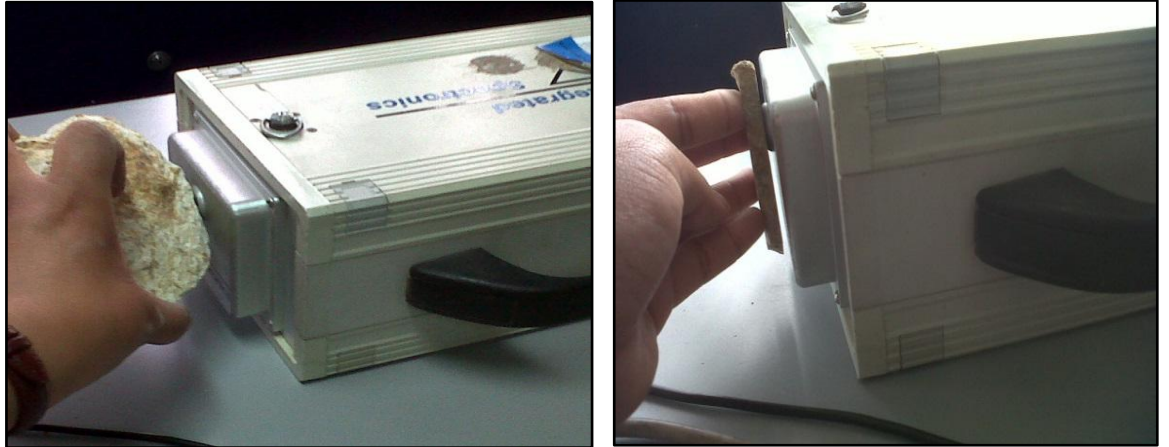
Recolección de espectros

Se analizó la reflectancia de 16 muestras, cortadas por un petrótopo, de superficie lisa. Sus dimensiones fueron: 4x2x0.3cm aproximadamente.

El espectrómetro PIMA SP (SWIR) estuvo conectado a una PC en la cual se encontraba el programa de recolección de espectros. El procedimiento fue muy sencillo y consistió de la siguiente manera ver fig. 48.

- Ejecución del programa de recolección de espectros en la PC.
- Calibración del equipo
- Adhesión de la muestra en la ventana del espectrómetro.
- Obtención del espectro (aproximadamente 30seg).
- Grabación del espectro (*.fos)

Los espectros fueron almacenados en archivos tipo *.fos Por lo que fue necesario hacer una transformación a un formato estándar (ASCII) para su posterior interpretación.



Fotografía 10.- Analizador Mineral Infrarrojo Portátil modelo SP, Portable Infrared Mineral Analyzer (PIMA SP) con Longitud de onda (λ) de 1300 – 2500 nm.

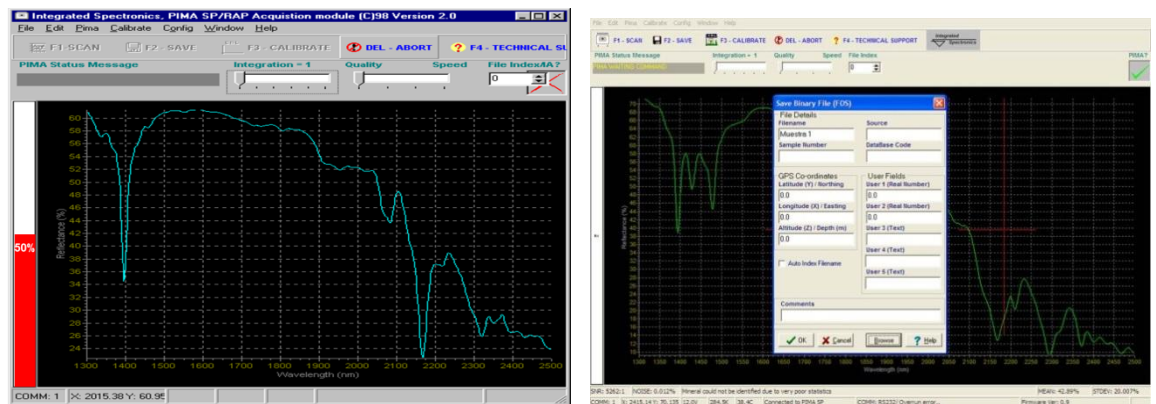


Figura 48.- Lado izquierdo Calibración del PIMA y lado derecho Entorno del software.

Para el análisis con el PIMA, se deberá tener en cuenta que las rocas deben estar secas (Fotografía 11), ya que este puede producir un error a realizar la lectura.

El agua también tiene su firma espectral, por lo que se recomienda secar las muestras antes de realizar la lectura con el PIMA, así optimizaremos los resultados.



Fotografía 11.- Secado de muestras.

4.3 Interpretación de los Ensamblajes mineralógicos

Una vez obtenidos los espectros y salvados en formato estándar ASCII (*.txt), estos fueron comparados con modelos de curvas espectrales de minerales de alteración hidrotermal de la United States Geological Survey (USGS) y del Jet Propulsion Laboratory (JPL) utilizando la librería espectral de ENVI RT 3.0. Los espectros también fueron comparados con las curvas espectrales de Spectral International Inc.

Los minerales pueden ser distinguidos no solo por sus rasgos distintivos y posiciones a una cierta longitud de onda, sino también por el carácter del perfil espectral. La identificación de minerales está basada en las posiciones de la longitud de onda, intensidad y forma de las depresiones de absorción y la forma del espectro total.

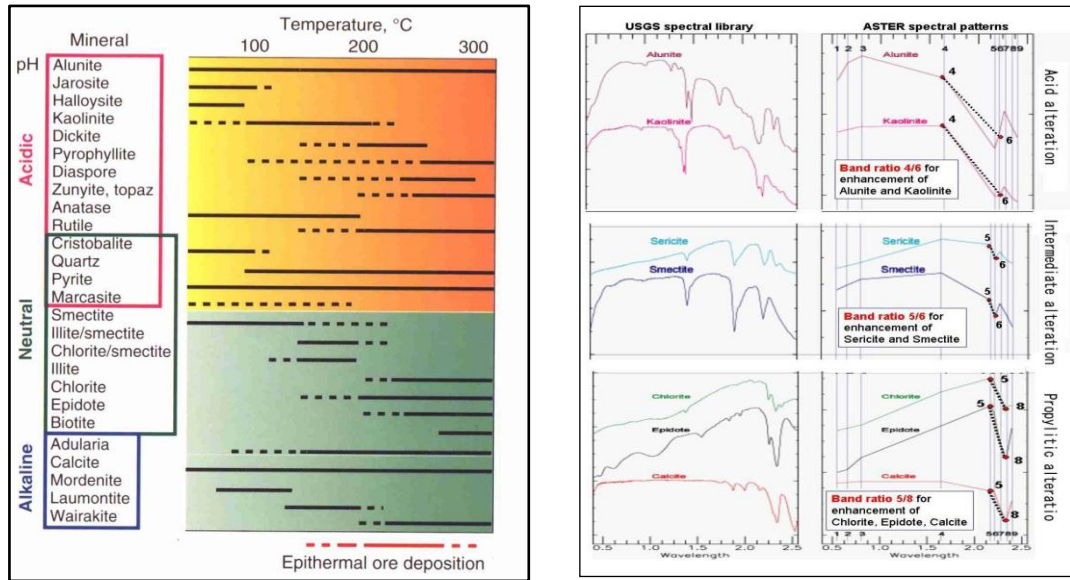


Figura 49. -Rangos de temperatura, deducidos a partir de los estudios geotérmicos, en las que son estables los minerales hidrotermales más comunes en el ambiente epitermal, dispuestas según su estabilidad con respecto al PH. Morozumi H. (2006)

Mediante el procesamiento de imágenes se determinaron zonas con anomalías hidrotermales; con alteración tipo argílica, fílica y propilítica. Para corroborar los resultados se realizó la interpretación de los resultados de la firma espectral de las rocas y el estudio de secciones delgadas y pulidas. A continuación se presentan algunos resultados:

4.4 Mapeo de alteraciones hidrotermales

Alteración Argílica Avanzada

Se puede observar la asociación mineralógica sílice-alunita, la cual se encuentra en la parte central de los depósitos epitermales de alta sulfuración. Esta alteración representa temperaturas que varían de 150°C a 280°C. La alunita puede variar de acuerdo a las cercanías de las fuentes de calor, pasando de una alunita potásica a una cálcica, la cual se altera a una alunita sódica.

La firma espectral de una muestra del yacimiento Santa Rosa presenta un rasgo de absorción a 1480 nm, el cual es típico de una alunita potásica (fig. 50).

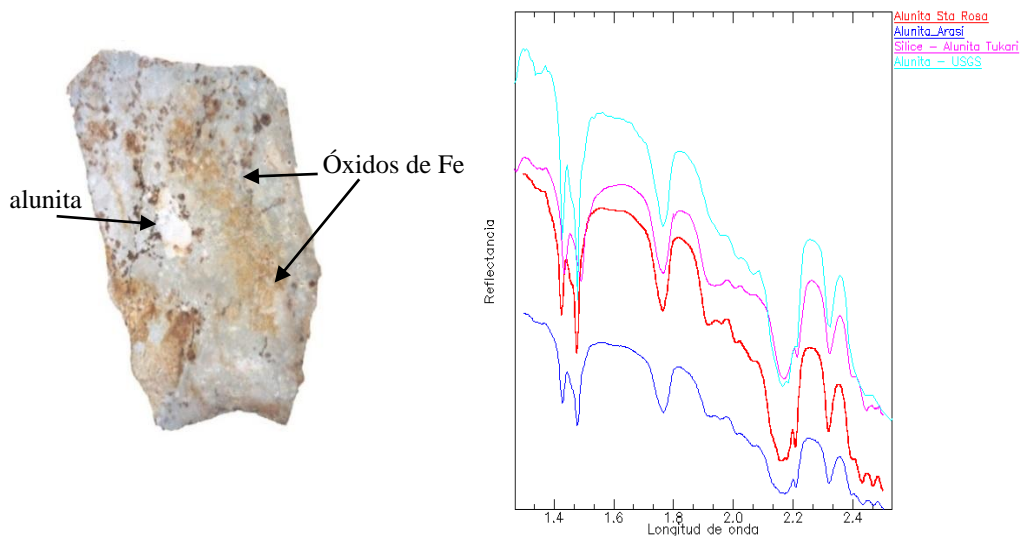


Figura 50.- Las firmas espectrales del lado derecho muestran las curvas espectrales del mineral alunita con rasgo de absorción de 1480nm de los depósitos de Santa Rosa, Tukari, Arasi se comparó con la librería espectral de la USGS. Lado izquierdo, En la muestra M0809-001 se tiene el mineral de la alunita con óxidos de Fe del yacimiento Santa Rosa.

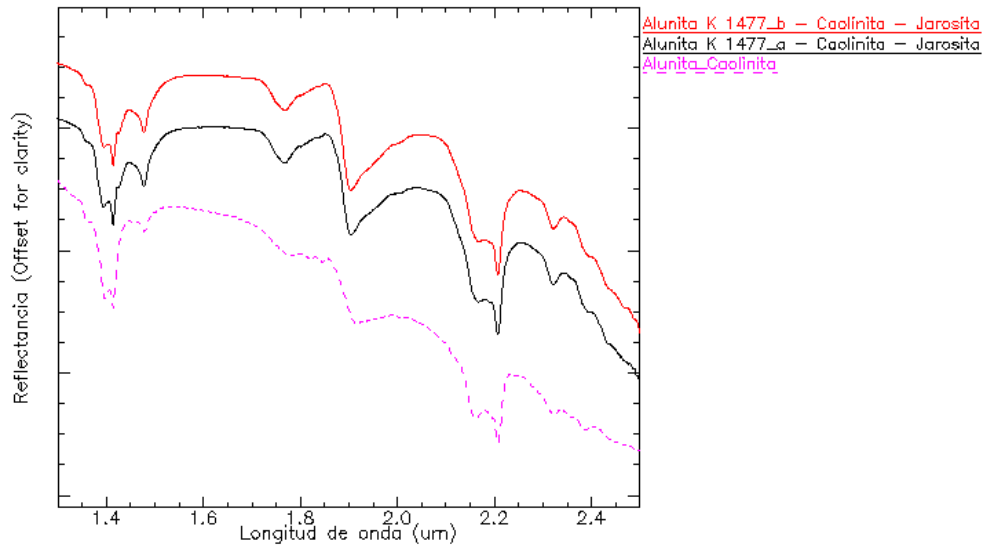


Figura 51.- Firma espectral del mineral alunite-caolinite, alunite K-caolinite-Jarosite del sector A-Tukari-Qda Paccha.

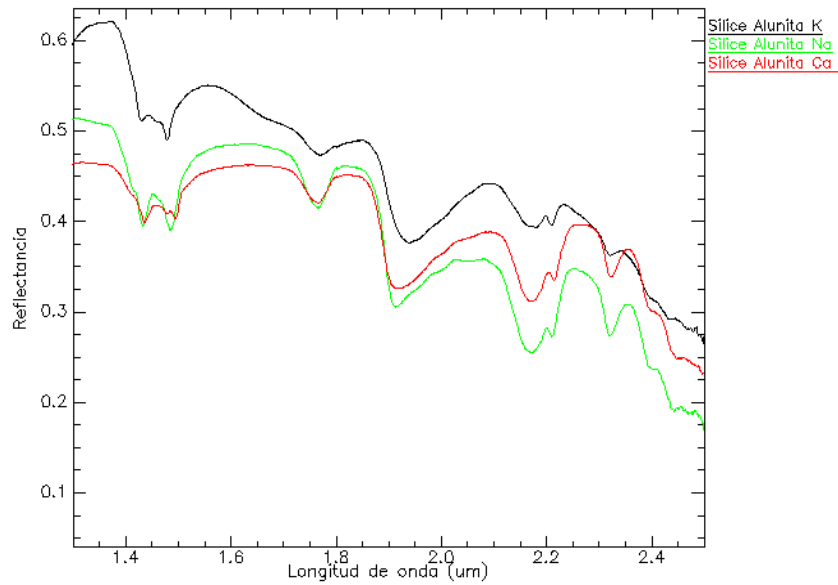


Figura 52.- Firma espectral de la asociación de minerales sílice-alunite K-Na-Ca del sector A-Tukari-Qda Paccha.

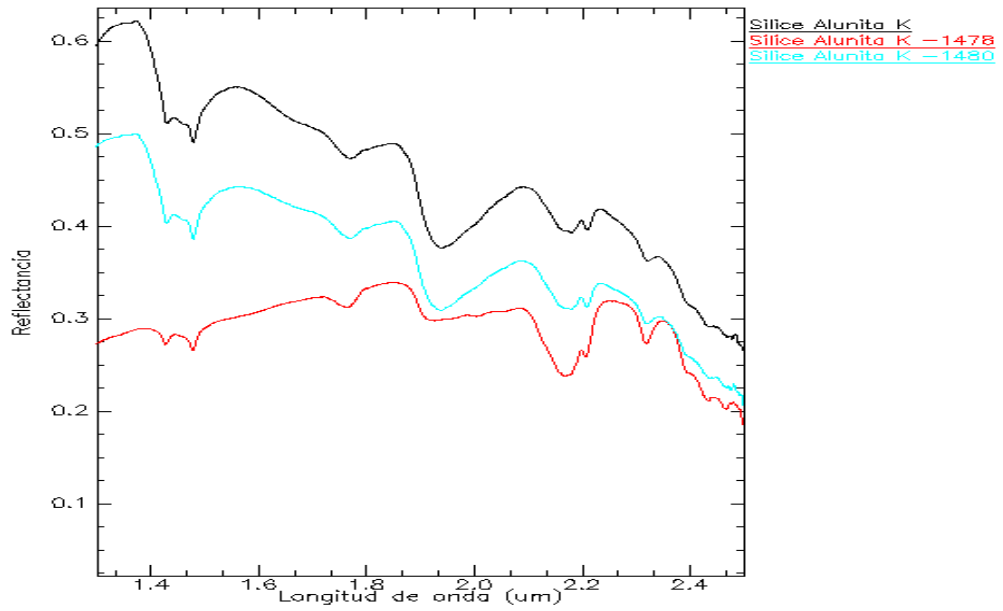


Figura 53.- Firma espectral de la asociación de minerales sílice-alunite K con rasgos de absorción 1478 v 1480nm del sector A-

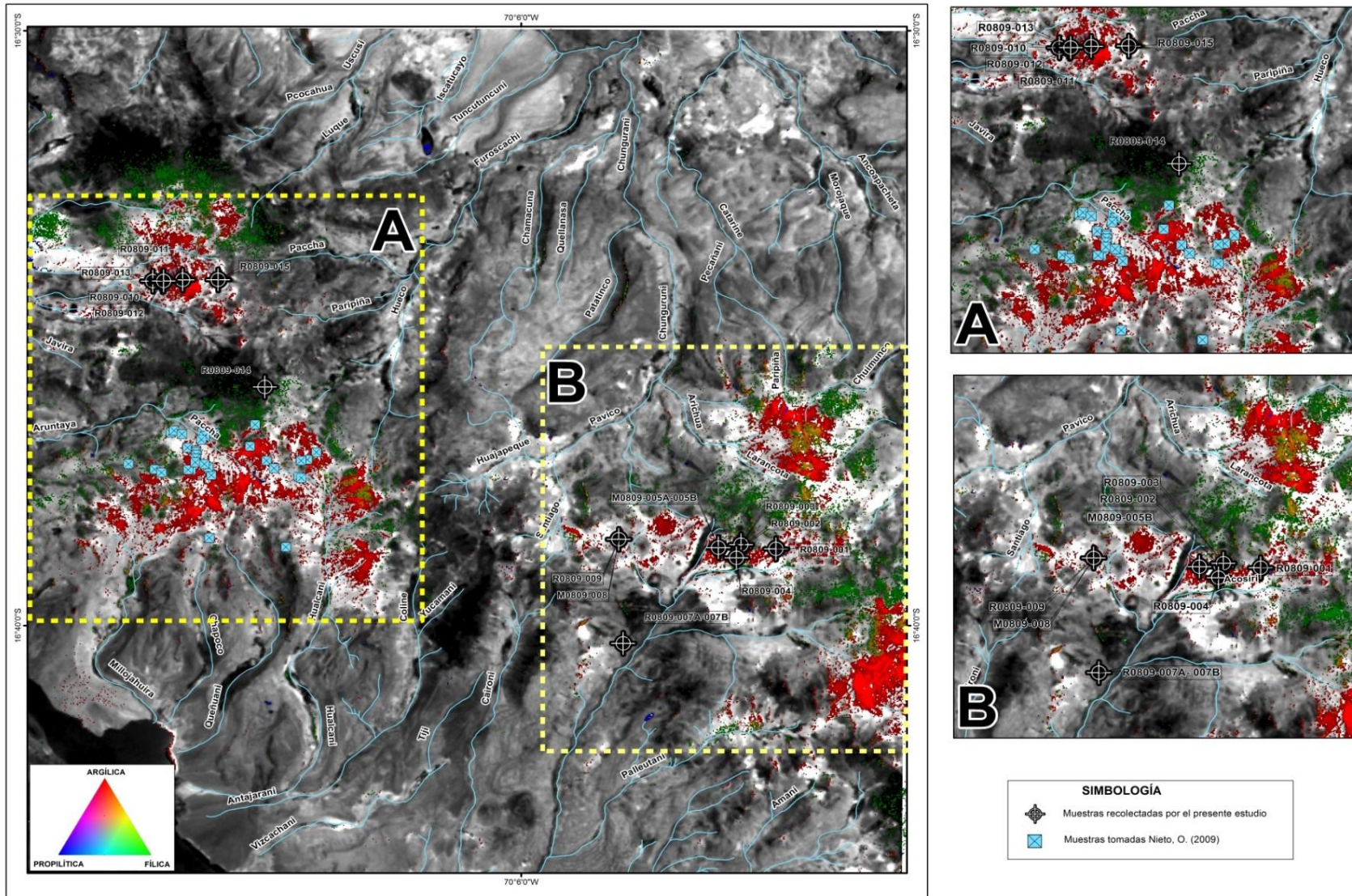


Figura 54.- Mapa de anomalías espectrales con la distribución de muestras.

En la fig. 54 sector A- Tukari- Paccha, las muestras son de asociación pirofilita-alunita, está asociada a brechas hidrotermales y freáticas. La firma espectral de esta asociación presenta un rasgo de absorción a 1350 nm. En el yacimiento Santa Rosa sector B, se presenta esta alteración Sílice-Pirofilita-Alunita y está asociada a brechas hidrotermales.

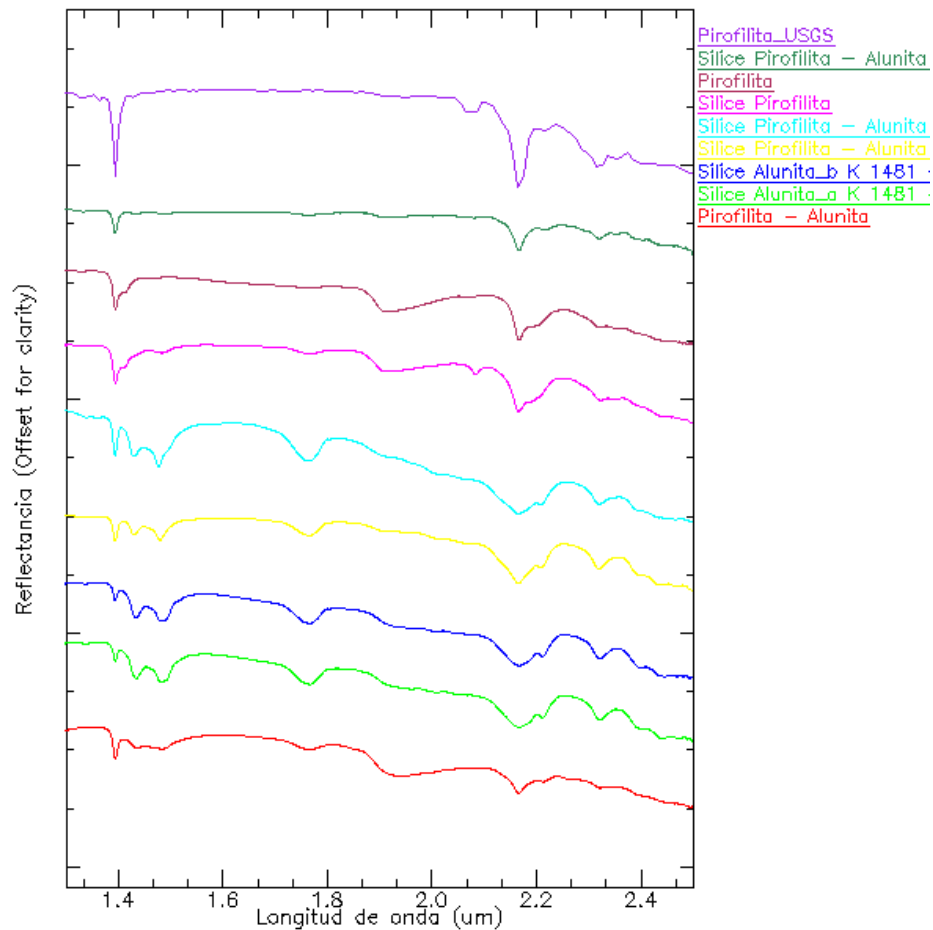


Figura 55.- Espectros de reflectancia de la zona de alteración argílica avanzada del sector A- Tukari, obtenidos con el espectrómetro PIMA (SWIR). Las curvas son comparadas con la librería espectral de la USGS

La asociación sílice-illita-Óxidos de hierro se encuentra ubicada en la periferie de los yacimientos epitermales de alta sulfuración. Esta alteración se forma por debajo de los 150 °C.

La alteración sílice-illita en el área de estudio, está restringida en las fallas y en halos de alteración de brechas hidrotermales; este ensamble también se encuentra en los focos de fuentes de aguas termales extintas. La firma espectral se caracteriza por presentar rasgos de absorción entre 1275-1900. (Comparación de la firma espectral de la muestra con la imagen satelital)

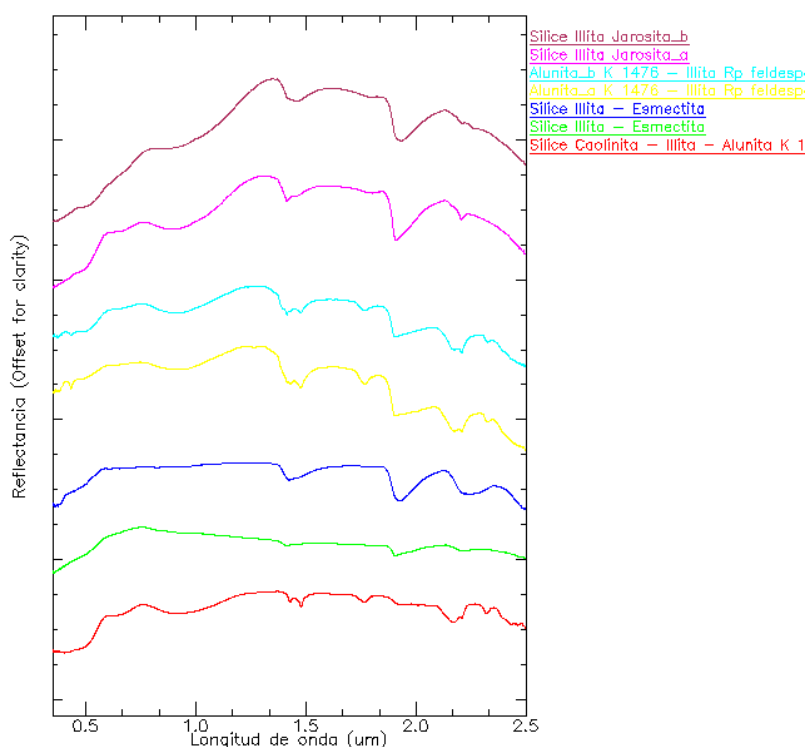


Figura 56.- Espectros de reflectancia de la zona de alteración argílica intermedia del sector A- Tukari, obtenidos con el espectrómetro PIMA (SWIR).

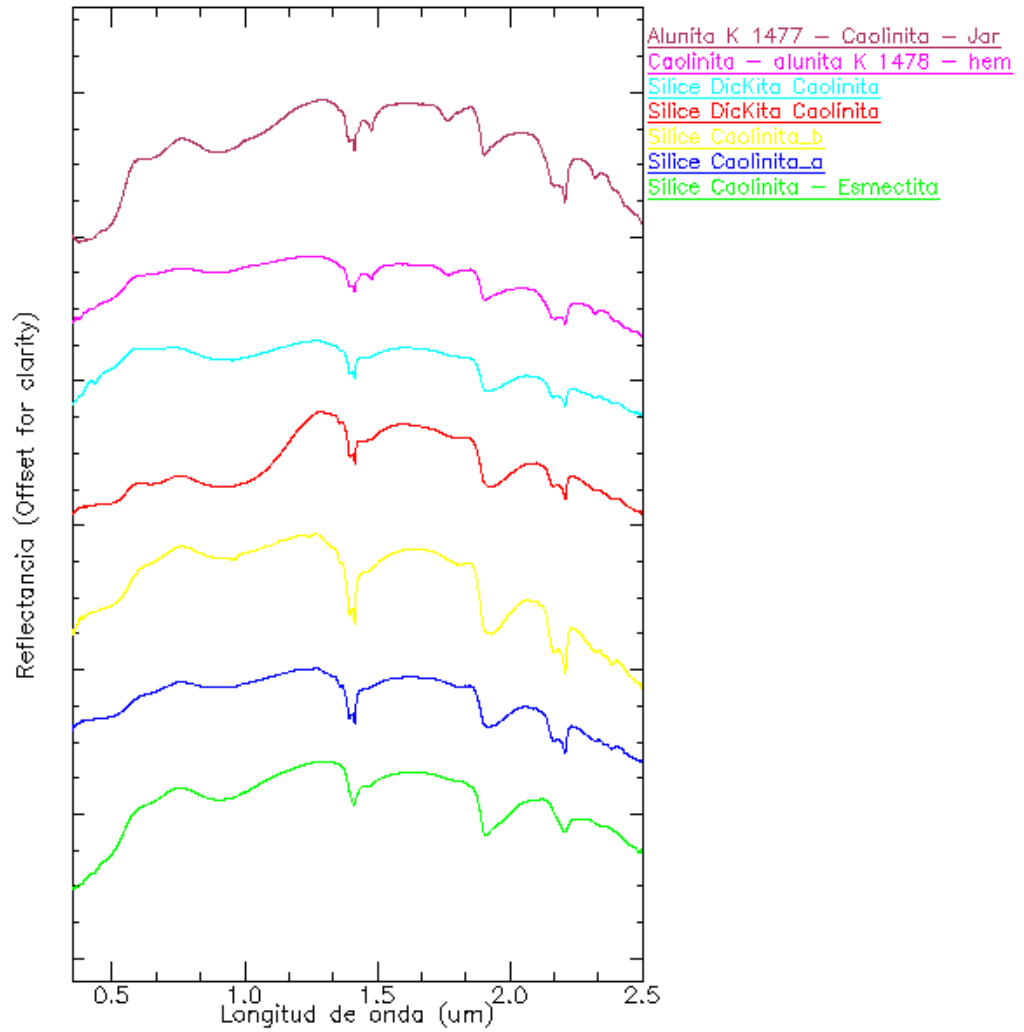


Figura 57.- Espectros de reflectancia de la zona de alteración argílica intermedia del sector A- Tukari, obtenidos con el espectrómetro PIMA (SWIR). Las curvas son comparadas con la librería espectral de la USGS

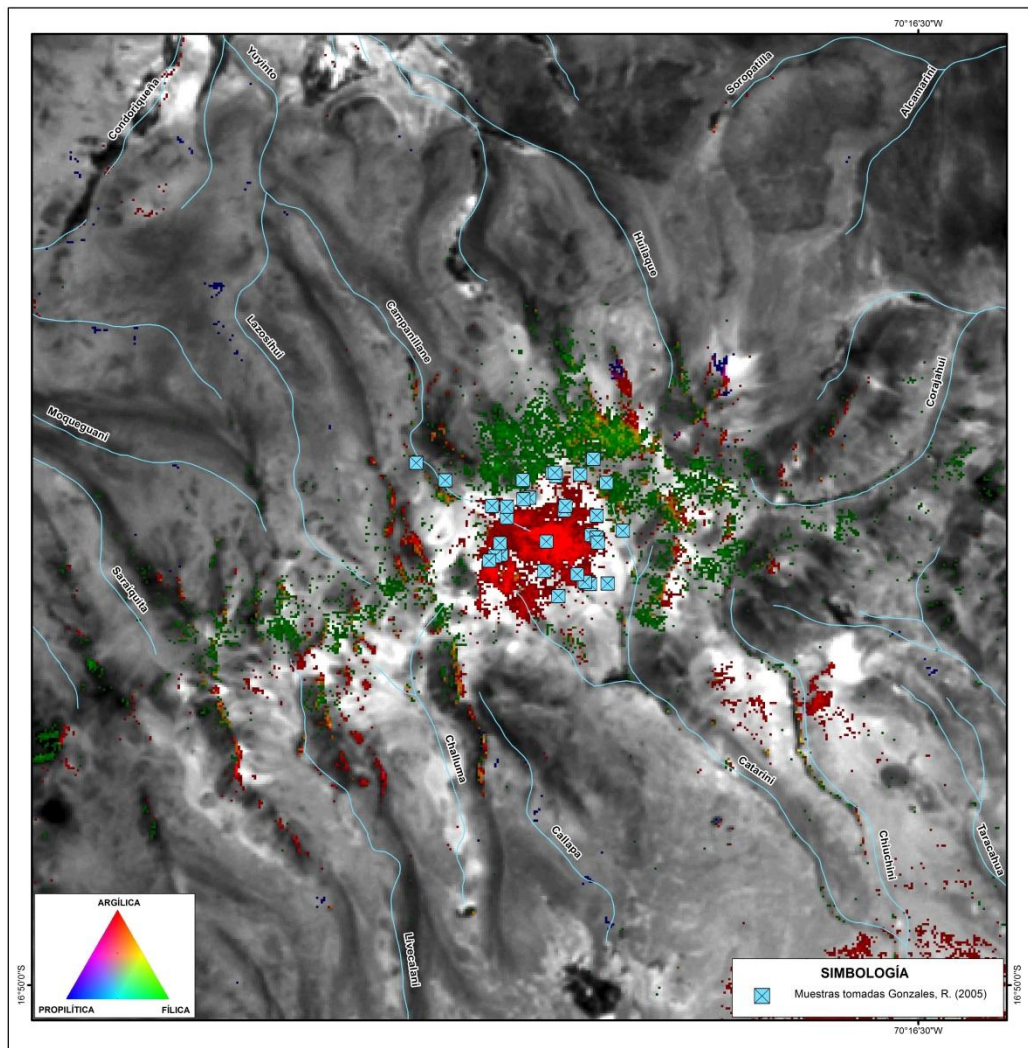
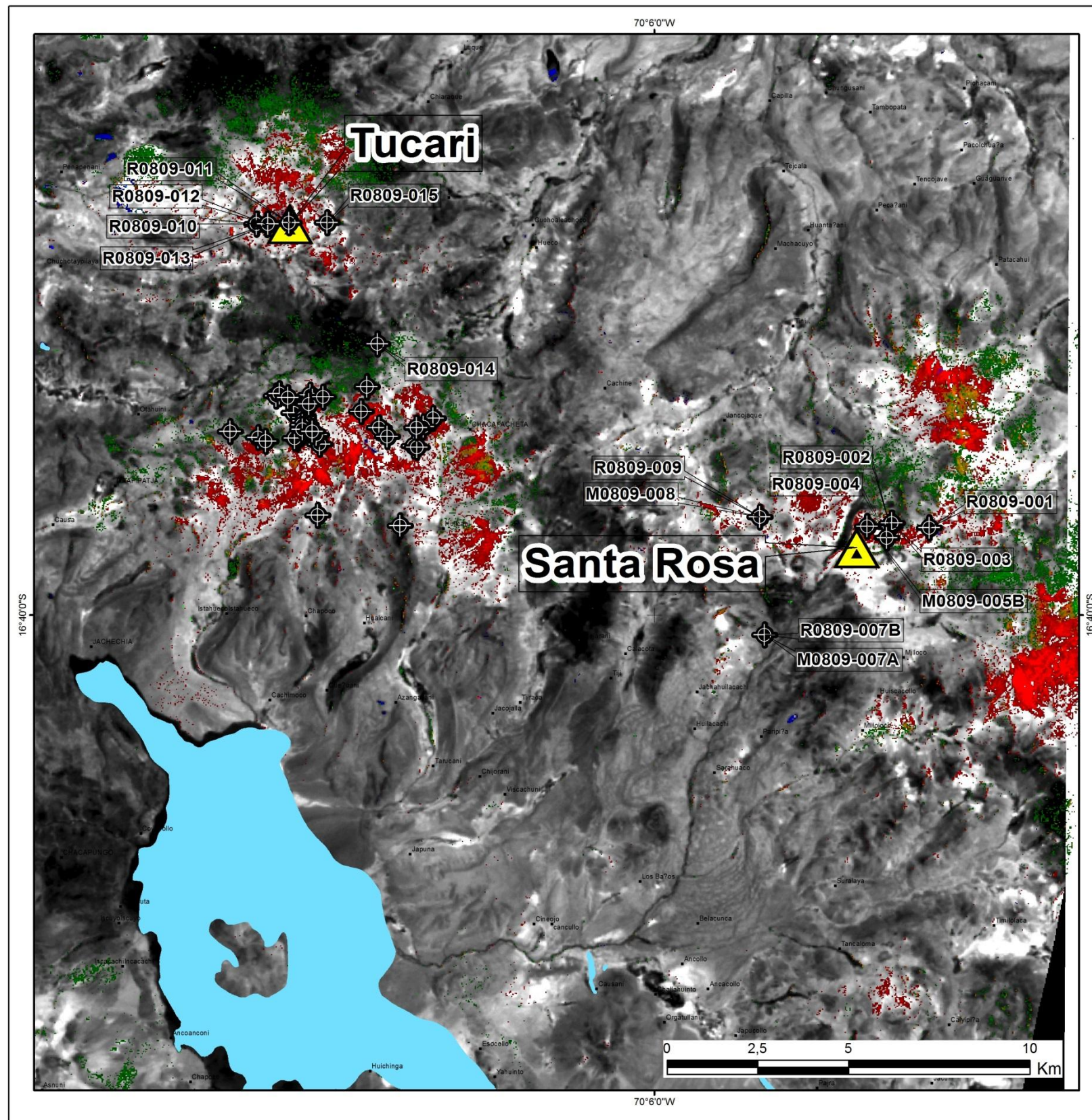


Figura 58- Mapa de anomalías espectrales del sector de Charaque.



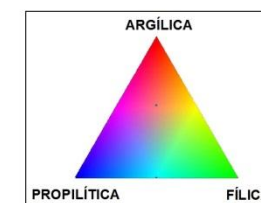
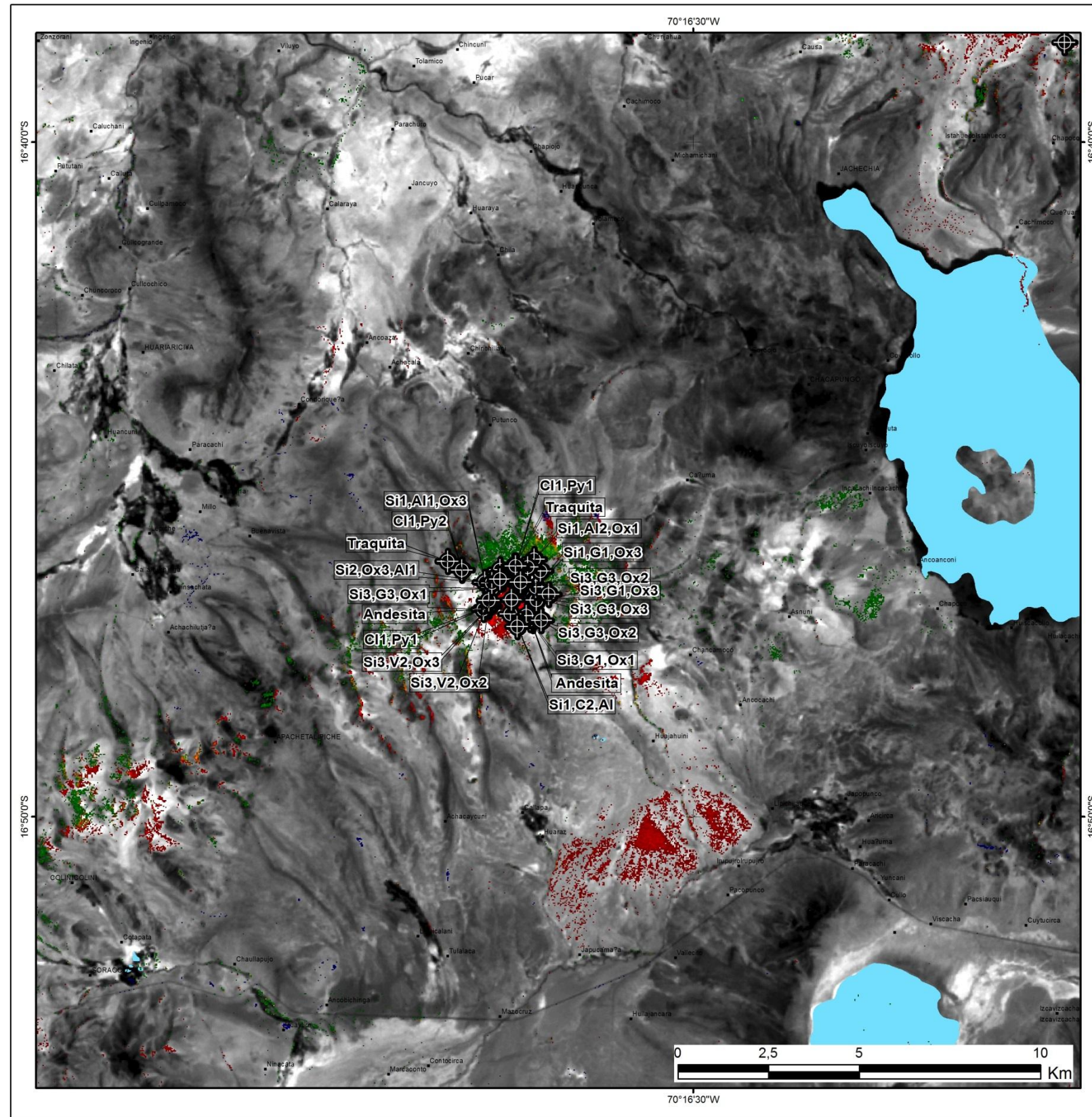
SIMBOLOGÍA

	Depósitos epitermales HS
	Muestras recolectadas y tomadas de Nieto, O (2009)



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLOGICA-GEOTECNIA		
"Aplicación de las imágenes ASTER para la determinación de alteraciones hidrotermales en la franja metalogénica de yacimientos epitermales de la cordillera occidental del sur del Perú"		
MAPA DE ALTERACIONES ZONA TUKARI - PACCHA SANTA ROSA - CACACHARA		
LÁMINA: 07	ELABORADO POR: Bach. DINA HUANCUNI MAMANI	REVISADO POR: HISMAEL RODRIGUEZ, JORGE ACOSTA
ESCALA: GRÁFICA	FECHA: DICIEMBRE 2013	PROYECCIÓN: WGS84-ZONA 19S
Fuente: INGEMMET		

Lámina 7.- Mapa de alteraciones Zona Tukari-Paccha, Santa Rosa - Cacachara



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA-GEOTECNIA

"Aplicación de las imágenes ASTER para la determinación de alteraciones hidrotermales en la franja metalogenética de yacimientos epitermales de la cordillera occidental del sur del Perú"

**MAPA DE ANOMALIAS ESPECTRALES
 SECTOR CHARAQUE**

LAMINA: 08	ELABORADO POR: Bach. DINA HUANACUNI MAMANI	REVISADO POR: HIRMAEL RODRIGUEZ, JORGE ACOSTA
ESCALA: GRÁFICA	FECHA: DICIEMBRE 2013	PROYECCIÓN: WGS84-ZONA 19S

Fuente: INGEMMET, Gonzales, R (2005)

Lámina 8.- Mapa de anomalías del Sector Charaque

4.5 Correlación de datos Geoquímicos regionales y locales

La zona de estudio se encuentra en la Franja 1 del estudio de Recursos Minerales del Perú, realizado por INGEMMET en el año 2000. Comprende desde la frontera sur hasta el paralelo 16º de latitud sur, en forma paralela a los trabajos de la Carta Geológica.

Según M. Manrique (2011) Las anomalías presentes en la Franja XXIII (Franja de Epitermales de Au-Ag del mio-plioceno) son As, Hg que evidenciaría el carácter volátil de las secuencias volcánicas.

Los depósitos de Tucari y Santa Rosa son los mejores caracterizados en la Franja XXIII, están enmarcados dentro de anomalías de As, Hg y Santa Rosa adicionalmente con Ag y Cd (láminas 9, 10, 11, 12).

Se enviaron a analizar 10 muestras por Au obteniendo los siguientes resultados ver tabla 15, 16.

De las cuales las muestras R0809-004 y R0809-009 (fotografía 12,13) presentan los valores altos como 0,683ppm Au y 0,448ppm Au respectivamente.

Tabla 14.-Lista de muestras analizadas por Au

Nº	Código de muestra	Au (FA/AA) ppm
0001	R0809-001	0,091
0002	M0809-002	0,037
0004	R0809-004	0,683
0005	R0809-005A	0,065
0006	M0809-005B	0,008
0007	M0809-007A	0,021
0009	M0809-008	0,045
0010	R0809-009	0,448



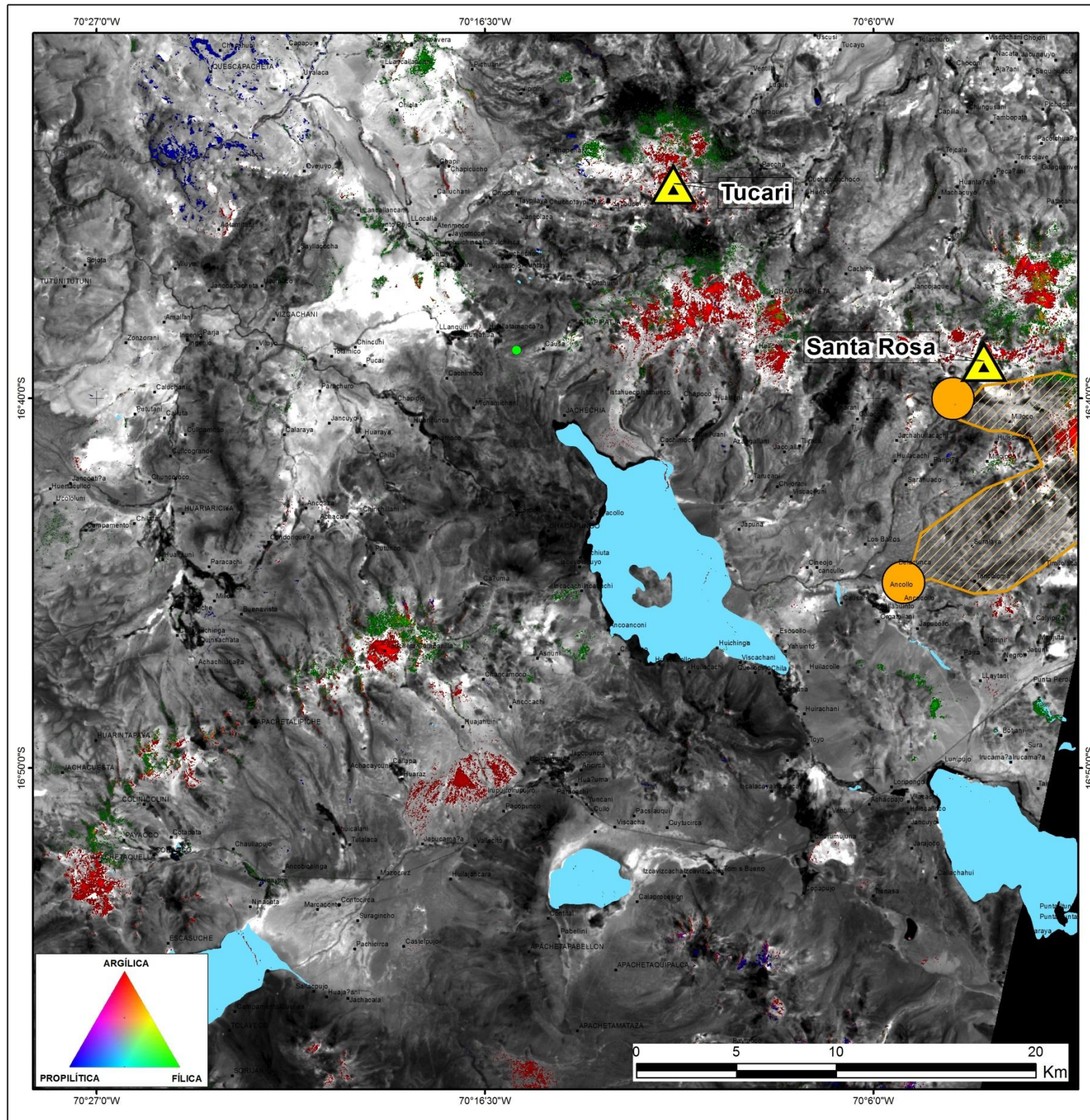
Fotografía 12.- Muestra R0809-004 (izquierda) brecha Mauruma del sector de Santa Rosa totalmente silicificada y presencia de óxidos Fe y muestra R0809-009 (derecha) Se encuentra silicificada con presencia de numerosas fracturas y cavidades rellenas de cuarzo, pirita, esfalerita-calcopirita y galena por toda la muestra(ver Anexo resultados de análisis petromineralógicos)

Tabla 15.-Lista de muestras por otros elementos

	Código de muestra		
	M0809-007A	M0809-008	
RESULTADOS	Ag (ppm)	>100,0	>100,0
	Ag (ppm)	>300	182,1
	Cu (ppm)	476	278
	Fe (ppm)	8236	--
	Fe (%)	--	1,13
	Pb(%)	>2,00	>2,00
	Pb(%)	>10,00	2,44
	Zn (%)	>2,00	>2,00
	Zn (%)	6,66	6,31



Fotografía 13.- Muestra R0809-007A (izquierda) La muestra corresponde a una de relleno compuesta de esfalerita, calcopirita, pirita, galena, cobres grises y algo de marcasita y muestra R0809-008 (derecha) La muestra corresponde a una estructura de relleno compuesto de cavidades rellenas de esfalerita, galena, cobres grises y calcopirita. (ver Anexo resultados de análisis petromineralógicos)



Ag (ppm)

- 0.1 - 0.2
- 0.2 - 1.5
- 1.5 - 5.6 (Anomalía muy Débil)
- 5.6 - 15.0 (Anomalía Débil)
- 15.0 - 50.0 (Anomalía)
- 50.0 - 500.0 (Anomalía Fuerte)

SIMBOLOGÍA

- Depósitos epitermales HS
- Area Ag >= 1.5 ppm

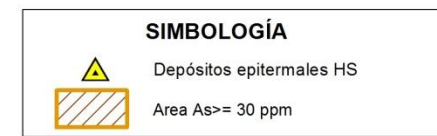
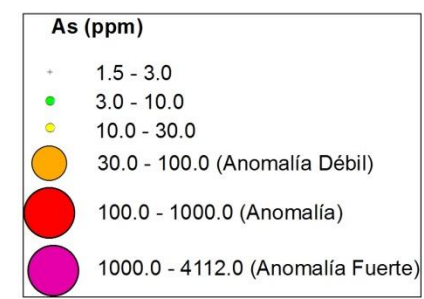
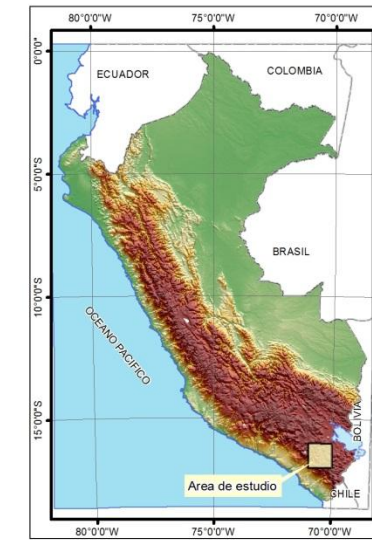
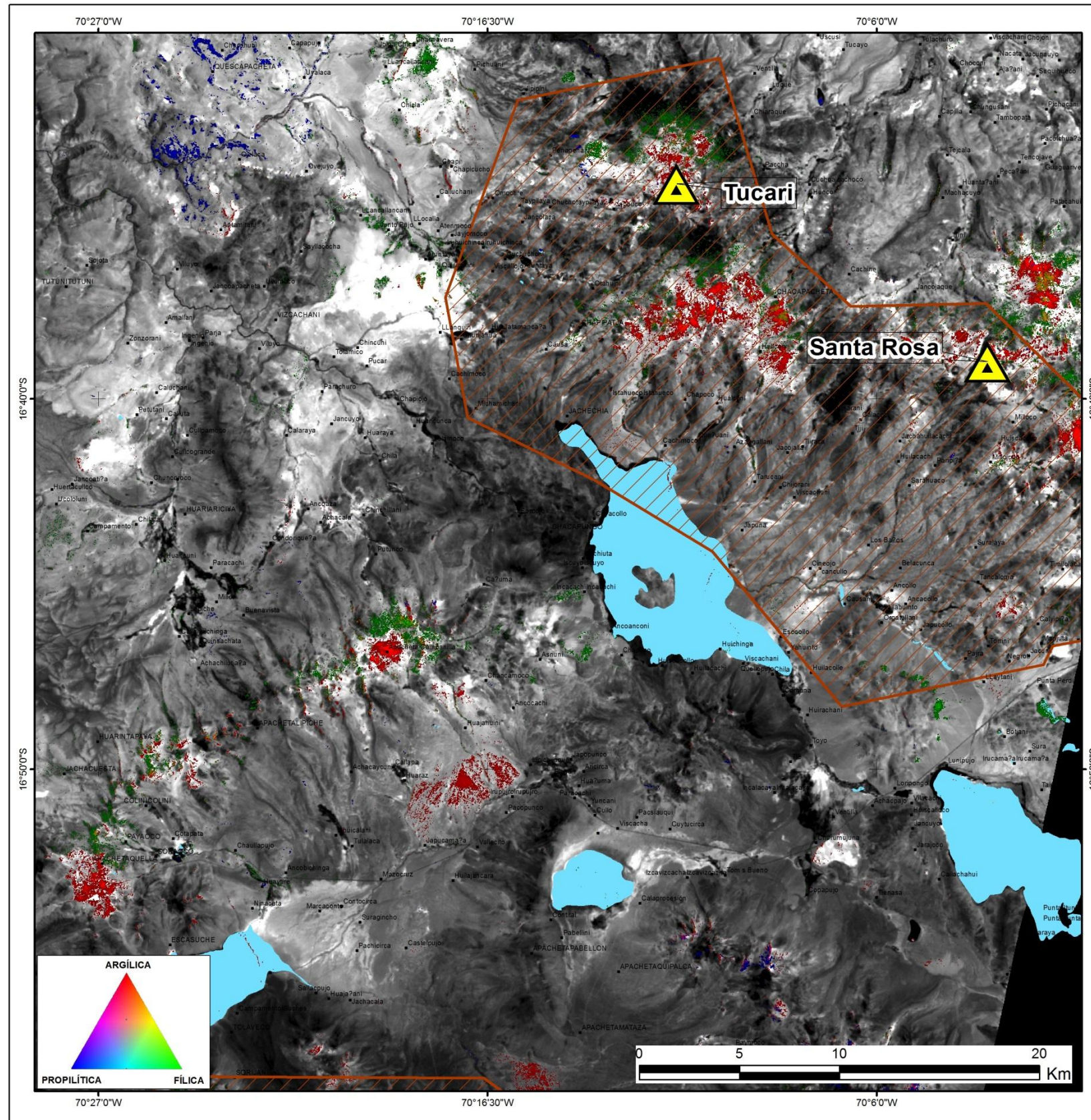
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA-GEOTECNIA

"Aplicación de las imágenes ASTER para la determinación de alteraciones hidrotermales en la franja metalogenética de yacimientos epitermales de la cordillera occidental del sur del Perú"

DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA DE Ag (ppm)

LÁMINA: 09	ELABORADO POR: Bach. DINA HUANACUNI MAMANI	REVISADO POR: HISMAEL RODRIGUEZ, JORGE ACOSTA
ESCALA:	FECHA: DICIEMBRE 2013	PROYECCIÓN: WGS84-ZONA 19S
Fuente: INGEMMET		

Lámina 9.- Mapa de distribución geoquímica de Ag



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA-GEOTECNIA

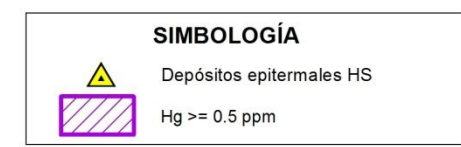
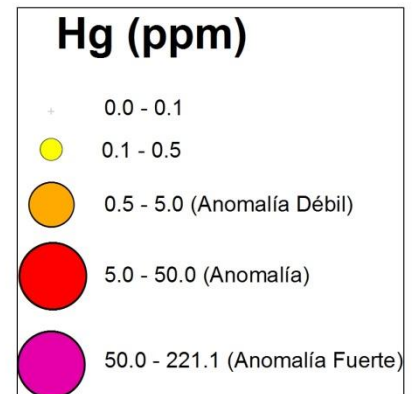
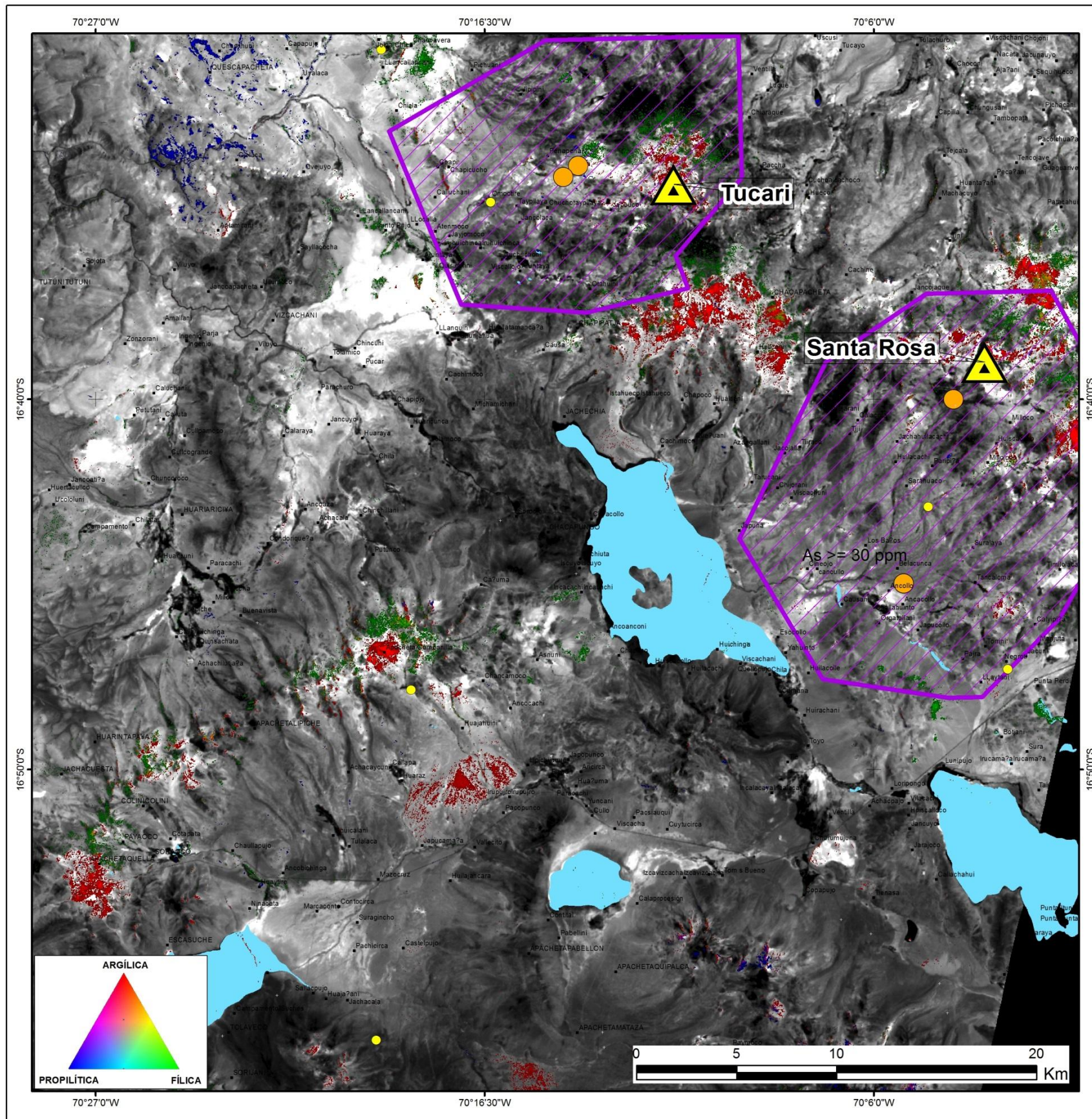
“Aplicación de las imágenes ASTER para la determinación de alteraciones hidrotermales en la franja metalogenética de yacimientos epitermales de la cordillera occidental del sur del Perú”

DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA DE As (ppm)

LAMINA	ELABORADO POR:	REVISADO POR:
10	Bach. DINA HUANACUNI MAMANI	HISMAEL RODRIGUEZ, JORGE ACOSTA
ESCALA:	FECHA:	PROYECCIÓN:
GRÁFICA	DICIEMBRE 2013	WGS84-ZONA 19S

Fuente: INGEMMET

Lámina 10.- Mapa de distribución geoquímica de As



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA-GEOTECNIA

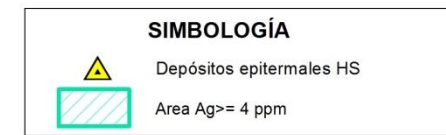
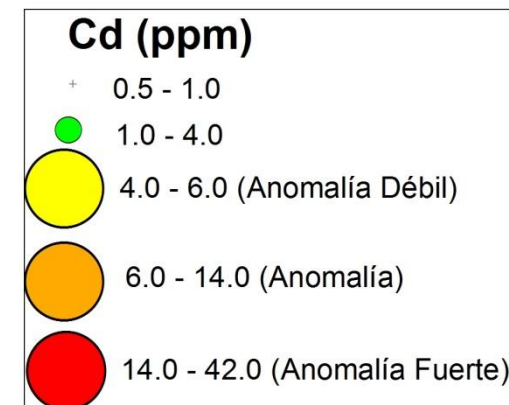
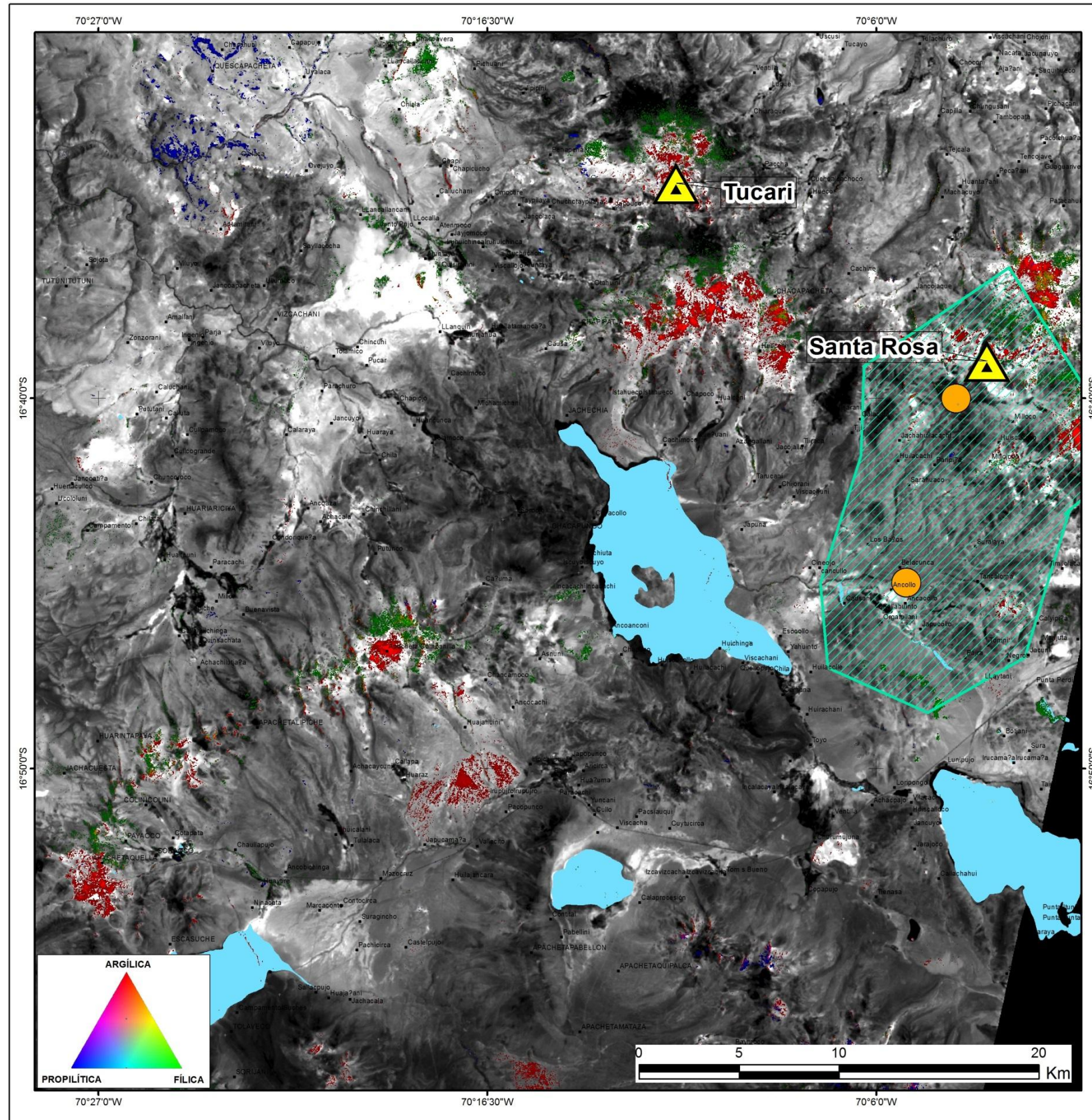
“Aplicación de las imágenes ASTER para la determinación de alteraciones hidrotermales en la franja metalogenética de yacimientos epitermales de la cordillera occidental del sur del Perú”

DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA DE Hg (ppm)

LÁMINA 11	ELABORADO POR: Bach. DINA HUACUNI MAMANI	REVISADO POR: HISMAEL RODRIGUEZ, JORGE ACOSTA
ESCALA: GRÁFICA	FECHA: DICIEMBRE 2013	PROYECCIÓN: WGS84-ZONA 19S

Fuente: INGMET

Lámina 11.- Mapa de distribución geoquímica de Hg



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA-GEOTECNIA

“Aplicación de las imágenes ASTER para la determinación de alteraciones hidrotermales en la franja metalogenética de yacimientos epitermales de la cordillera occidental del sur del Perú”

DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA DE Cd (ppm)

LAMINA	ELABORADO POR:	REVISADO POR:
12	Bach. DINA HUANCUNI MAMANI	HISMAEL RODRIGUEZ, JORGE ACOSTA
ESCALA:	FECHA:	PROYECCIÓN:
GRÁFICA	DICIEMBRE 2013	WGS84-ZONA 19S

Fuente: INGEMMET

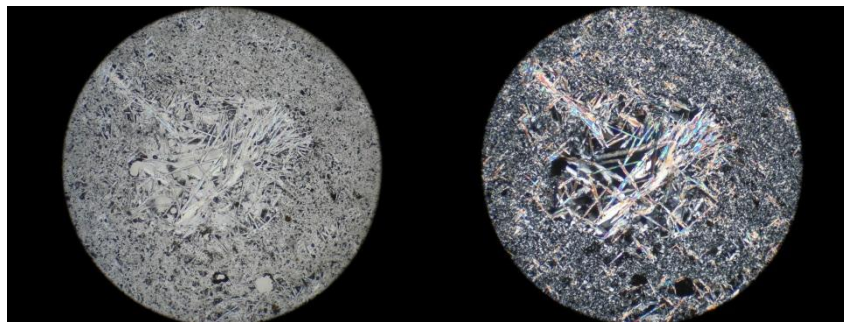
Lámina 12.- Mapa de distribución geoquímica de Cd

4.6 Correlación con resultados de muestras Petrominerográficas

La interpretación de los resultados del estudio de secciones delgadas y pulidas guarda relación con los espectros obtenidos del estudio de espectrometría. A continuación se detallaran resultados de las muestras R0809-001 y R0809-013, las descripciones faltantes de las muestras se encuentran en el Anexo 1.

En la zona de Santa Rosa se realizaron estudios de secciones delgadas y pulidas. Los estudios petrográficos mostraron fenocristales alterados (argilizados) en una matriz sílicea, minerales secundarios: cuarzo (60%), alunita (30%) opacos (10%).

Las secciones mostraron estructuras de relleno con cuarzo, pirita y abundantes óxidos de Fe, como mineral primario se tiene pirita (10%) minerales secundarios como óxidos de hierro (8%)



Fotografía 14- Muestra R0809-001 (izquierda) del mineral alunita en Luz transmitida nicols paralelos, muestra en mano totalmente silicificada ver fig 50 y a la derecha Se encuentra en nicols cruzados muestra de mano totalmente silicificada con presencia de Óxidos de Fe.

Los estudios minerográficos en Cacachara mostraron una estructura de relleno compuesto de cavidades de esfalerita, galena, cobres grises y calcopirita. Minerales primarios Pirita (<1%), galena (15%), esfalerita 20%), calcopirita (<1%). Cobres grises (1%) y minerales secundarios hematita (0.5%) ver fotografía 10 muestra R0809-008.

En la zona de Tucari, corresponde a una roca intensamente alterada por sílice con cavidades y diseminaciones de pirita, escasa calcopirita, seguida de galena y abundantes óxidos de Fe.



Fotografía 15.- Muestra R0809-013 (izquierda) Cuarzo oqueroso. Presencia de Alunita – caolinita y sulfuros, reemplazamiento y diseminaciones. Hematita (hm) y limonitas (LIMs) por toda la muestra. Presentan minerales primarios como pirita (8%), calcopirita (trazas), galena (Trazas) y minerales secundarios hematita-limonitas (5%).

CAPITULO V

INTERPRETACIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS IMÁGENES ASTER CON LAS ALTERACIONES HIDROTERMALES

5.1. Evaluación de cocientes e Interpretación

La evaluación de los cocientes 4/6, 5/6, 5/8 se llevó a cabo con la correlación de resultados petromineragráficos y de espectrometría (PIMA), siendo favorables.

Lo cual nos permitió comprobar que efectivamente el cociente 4/6 realza la alteración ácida - argílica avanzada (tonos rojos) debido a altos valores en los sectores A y B fig. 54.

La alteración intermedia se muestra en tonos naranja a amarillo por la mezcla de verde ratio 5/6 (alto) y 4/6 (rojo),

Correlacionando con los análisis petromineragráficos se obtuvieron que las muestras presentan alteración tipo sílice-alunita rellenando sus cavidades presenta minerales como pirita, azufre, escapolita y presencia de óxidos de Fe. (Ver Anexo I; Muestra M0809-002, M0809-005B, R0809-009). Para la muestra R0809-001 presenta rasgos de absorción de 1480nm típica de alunita como se aprecia en la fig. 50.

El ratio 5/8 (alto) realza la alteración propilítica de color azul. Se pudo comprobar la correlación entre las anomalías de alteración argílica avanzada con las firmas espectrales de los minerales típicos de alteración argílica y argílica intermedia como alunita, pirofilita, esmectita en la fig.55.

Para el caso de los cocientes 4/5, 4/6, 4/7 correlacionan con las anomalías de óxidos. El cociente 4/5 y 4/6 nos ayudan a identificar minerales de Al-OH y 4/7 a identificar minerales Fe OH (Ver fig.56 y fig. 57)

5.2. Mapa de anomalías de alteraciones hidrotermales con mapa de prospección geofísica.

El mapa de anomalías de alteraciones hidrotermales presentó una alta correlación con los minerales recolectados en campo (Lamina 7 y 8).

Comprobamos que las anomalías de color rojo (PCA: 1467) están relacionados a la alteración argílica avanzada mientras que las anomalías de color verde correlación con la alteración fílica (PCA: 1356).

Observamos la correlación en los sectores de Tukari, Santa Rosa y Cacachara según resultados mostrados en la fig. 50, 55, 56 y 57.

Métodos radiométricos

Para la zona de estudio se cuenta con datos radiométricos obtenidos del Proyecto Multinacional Andino ejecutado en el año 2001 donde se realizó la adquisición de información magnética, radiométrica Gama Ray por U, Th, K.

Actualmente el INGEMMET está reinterpretando los datos radiométricos por la Dirección de Recursos Minerales y Energéticos- Actividad Prospección Geofísica. Por lo cual se utilizó el mapa del ratio K/Th.

Si superponemos al mapa radiométrico K/Th las anomalías espectrales del procesamiento de imágenes ASTER, observaremos que al norte del cuadrángulo, en el sector Tukari y Santa Rosa se tienen bajos valores radiométricos a diferencia del sector de Charaque (suroeste del cuadrángulo).

Existe una correlación entre las anomalías de alteración Argílica Avanzada e Intermedia con las zonas con bajos valores radiométricos K/Th ver Lámina 13 y Lámina 14.

Según los resultados de las lecturas espectrales del PIMA correlaciona la alteración argílica avanzada y argílica intermedia realizada por el procesamiento de imágenes (fig. 50, 55, 56 y 57) con la presencia de asociaciones de minerales como pirofilita-alunita que se encuentra asociada a brechas hidrotermales y freáticas en el sector de Paccha-Tukari y Sílice-Pirofilita-Alunita en el sector de Santa Rosa.

La alteración sílice-illita está restringida en las fallas y en halos de alteración de brechas hidrotermales; este ensamble también se encuentra en los focos de fuentes de aguas termales extintas.

Así mismo la alteración existente es producto de un control estructural N35°W, paralelo al trend andino. En la intersección se ubican las Minas de Santa Rosa y Tucari, se conoce también que estos yacimientos tienen controles estructurales locales EW y NS, los que no se tienen en el Sector Charaque. (Gonzales, 2004).

Podemos decir que la correlación entre los mapas de ratio K/Th es directamente proporcional con las anomalías espectrales generadas por el procesamiento de imágenes ASTER.

Deconvolución de Euler

Según Borda, E. 2006 en su trabajo denominado: Deconvolución de Euler sobre Campo Potencial Magnetométrico y su uso para delineación de fallas regionales, presenta como determinar la ubicación y profundidad de las posibles fuentes que puedan originar la anomalía magnética a través de la ecuación de homogeneidad de Euler, para ello hace uso de la ecuación diferencial así como también del índice estructural, que se encuentra relacionado con el tipo de cuerpo que origina la anomalía magnética.

Al aplicar estas ecuaciones de Euler se puede estimar las profundidades de una amplia variedad de estructuras

geológicas tal como contactos magnéticos, esferas, extrusiones, fallas, diques, etc.

Adquiriendo esta información para la caracterización geofísica se utilizó el mapa de lineamientos magnéticos conjuntamente con la devolución de Euler para determinar las principales estructuras una con Rumbo SW-NE y otra NW-SE.

En la Lámina 15 se muestra la correlación del método con la obtención de filtros generados por las imágenes ASTER (ver fig.27, fig. 28, fig. 29, fig. 30)

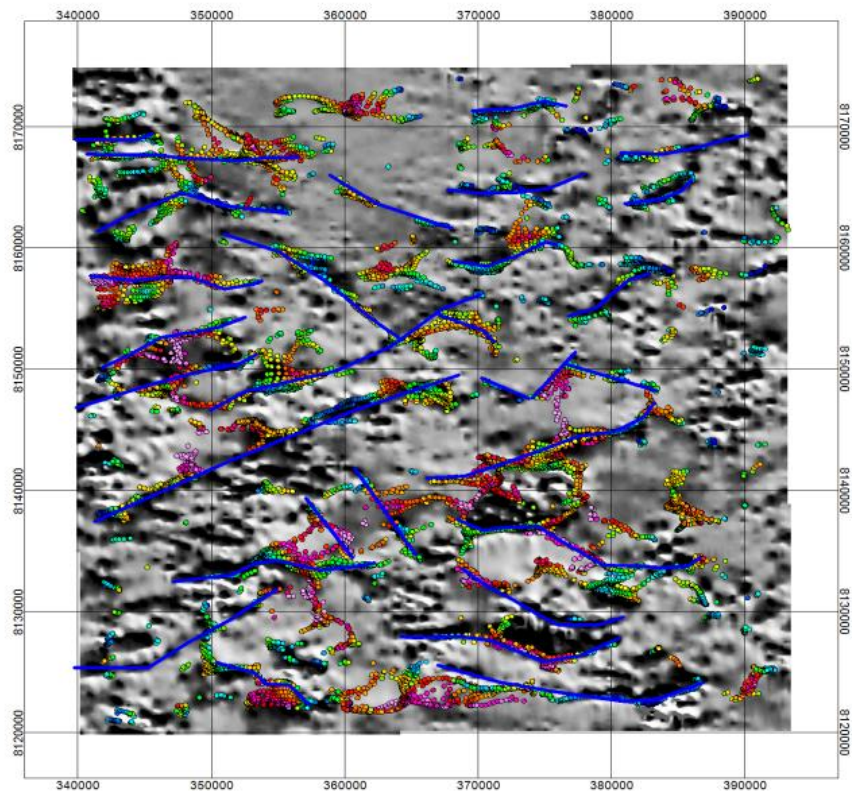
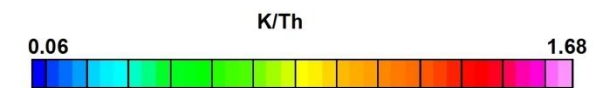
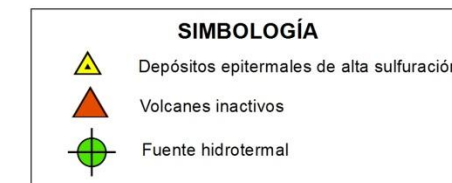
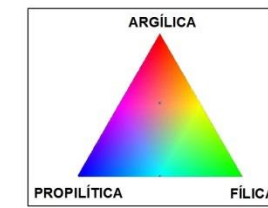
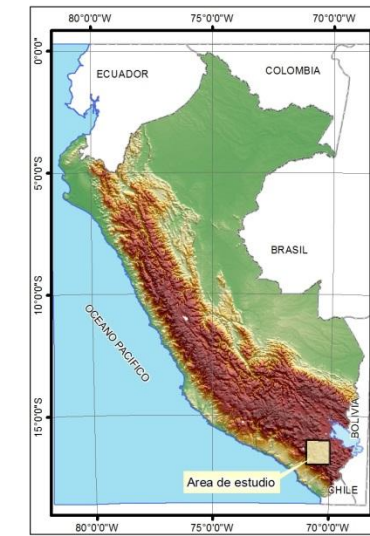
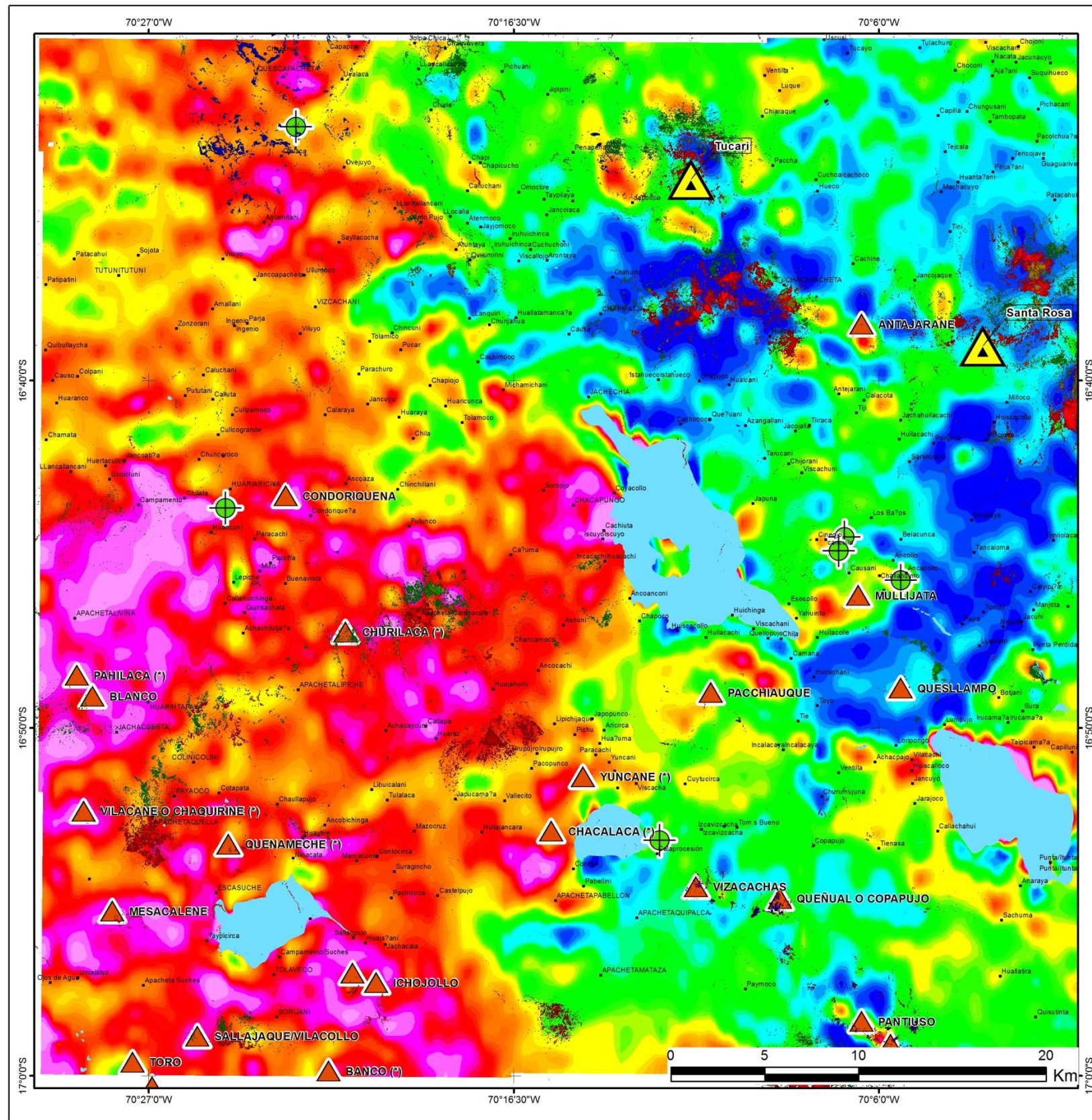


Figura 59.- Mapa de Deconvolución de Euler –lineamientos magnéticos.



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA-GEOTECNIA

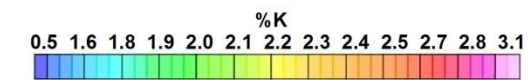
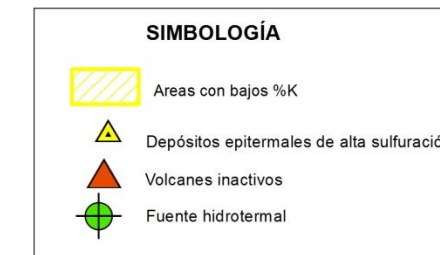
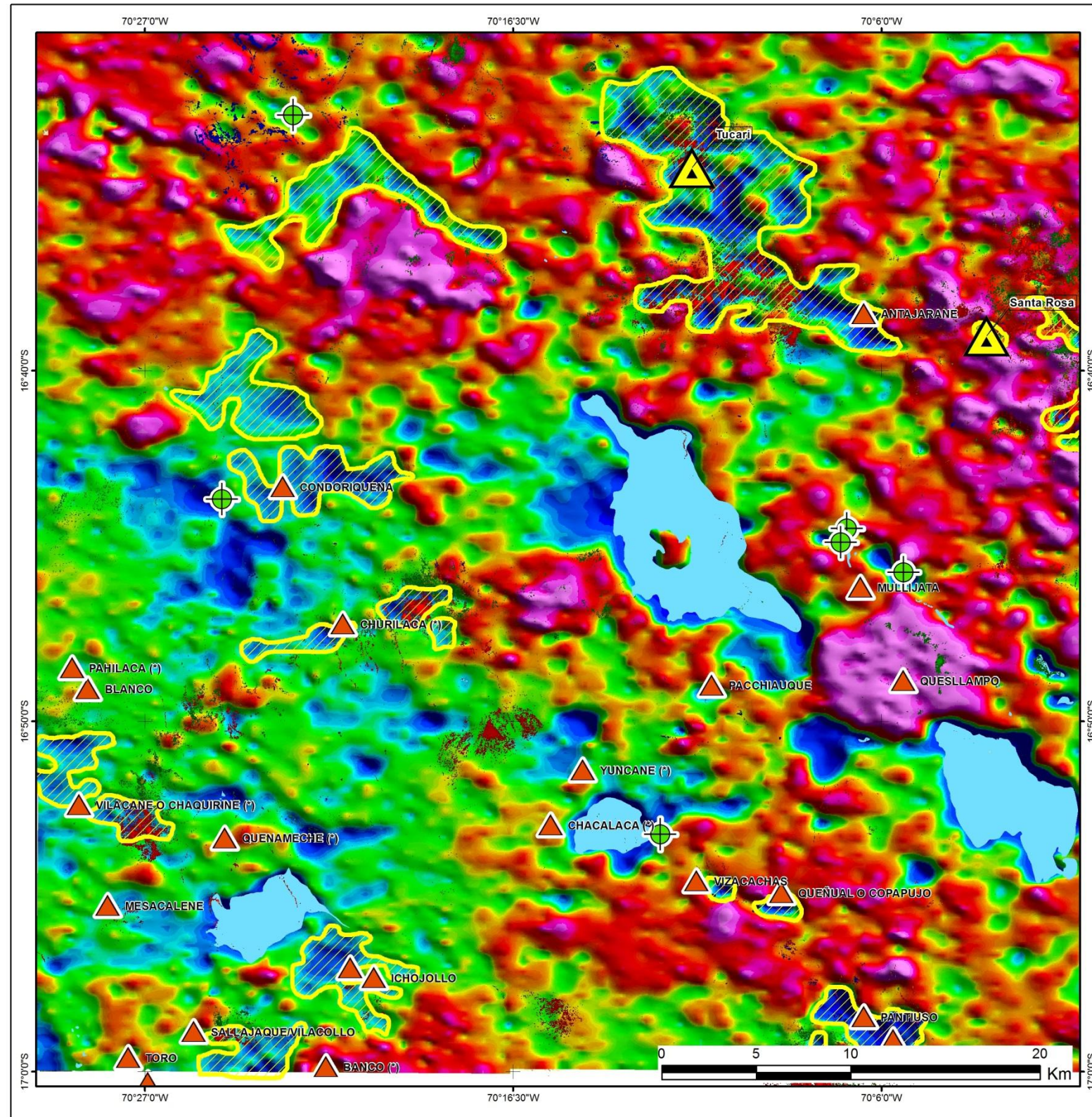
“Aplicación de las imágenes ASTER para la determinación de alteraciones hidrotermales en la franja metalogenética de yacimientos epitermales de la cordillera occidental del sur del Perú”

MAPA DE RATIO DE Th/k Y ANOMALIAS ESPECTRALES ASTER

LAMINA	ELABORADO POR:	REVISADO POR:
13	Bach. DINA HUANCUNI MAMANI	HISMAEL RODRIGUEZ, JORGE ACOSTA
ESCALA:	FECHA:	PROYECCIÓN:
GRÁFICA	DICIEMBRE 2013	WGS84-ZONA 19S

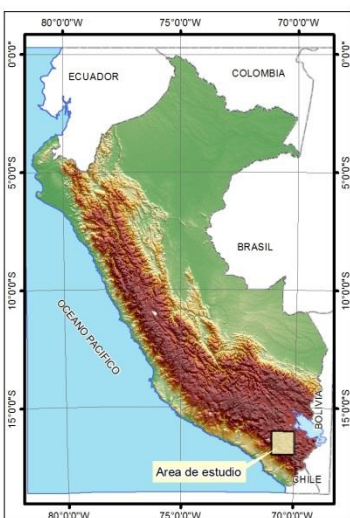
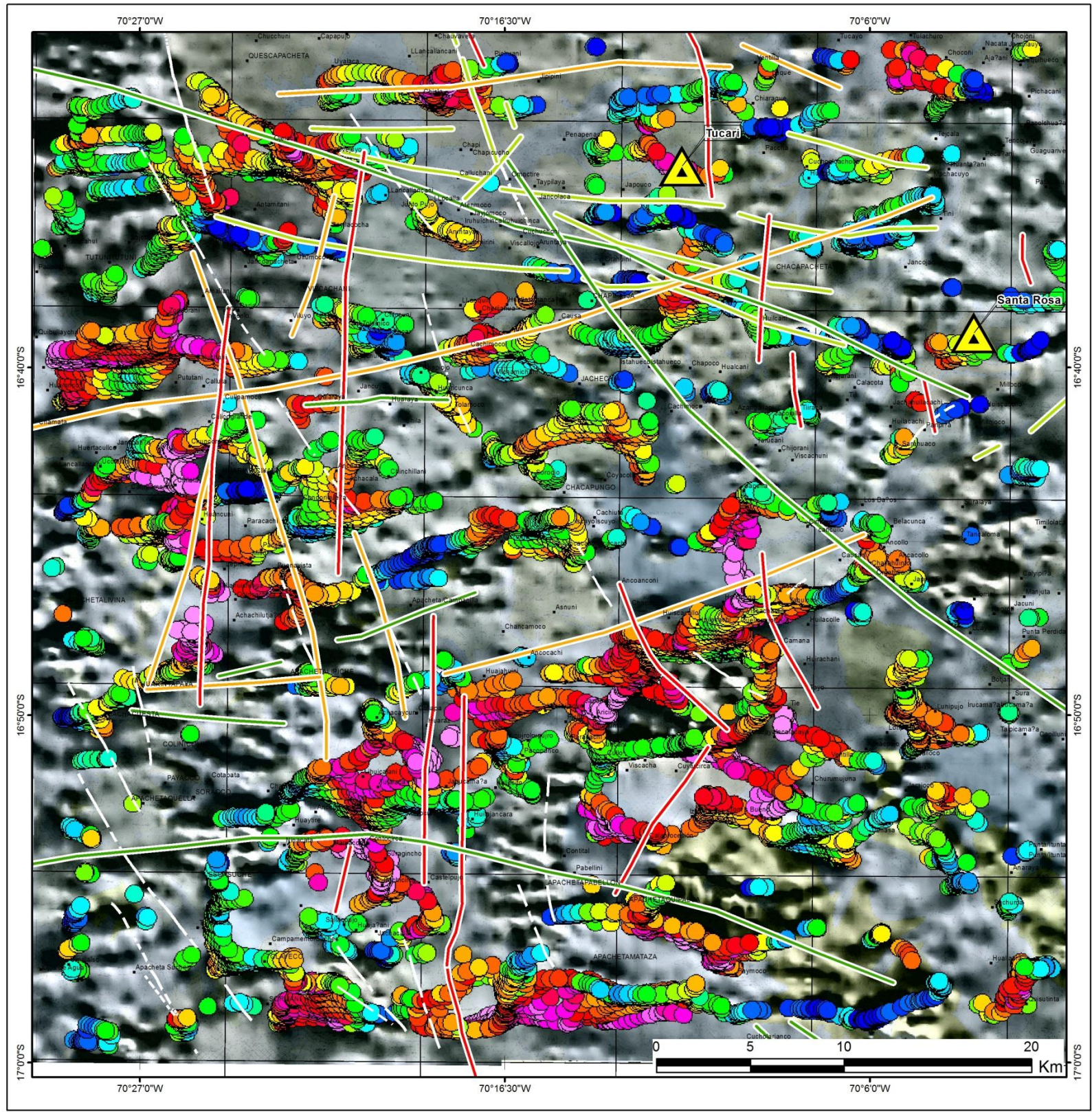
Fuente: INGEMMET

Lámina 13.- Mapa de ratio de K/Th y anomalías espectrales ASTER



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA-GEOTECNIA		
"Aplicación de las imágenes ASTER para la determinación de alteraciones hidrotermales en la franja metalogénica de yacimientos epitermales de la cordillera occidental del sur del Perú"		
MAPA DE ANOMALIA %K Y ANOMALÍAS ESPECTRALES ASTER		
LAMINA	ELABORADO POR:	REVISADO POR:
14	Bach. DINA HUANACUNI MAMANI	HISMAEL RODRIGUEZ, JORGE ACOSTA
ESCALA:	FECHA:	PROYECCIÓN:
GRÁFICA	DICIEMBRE 2013	WGS84-ZONA 19S
Fuente: INGEMMET		

Lámina 14.- Mapa de anomalía %K y anomalías espectrales ASTER



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA-GEOTECNIA

"Aplicación de las imágenes ASTER para la determinación de alteraciones hidrotermales en la franja metalogenética de yacimientos epitermales de la cordillera occidental del sur del Perú"

MAPA DE LINEAMIENTOS (ASTER) Y DECONVOLUCION DE EULER (GEOFISICA)

LAMINA	ELABORADO POR:	REVISADO POR:
15	Bach. DINA HUANACUNI MAMANI	HISMAEL RODRIGUEZ, JORGE ACOSTA
ESCALA:	FECHA:	PROYECCIÓN:
GRÁFICA	DICIEMBRE 2013	WGS84-ZONA 19S

Fuente: INGEMMET

Lámina 15.- Mapa de lineamientos (ASTER) y Deconvolución de Euler

5.3. Relación de anomalías espectrales con las alteraciones hidrotermales y distribución de depósitos metálicos de los yacimientos Santa Rosa y Tukari

En la zona de estudio, las áreas de mayor alteración se restringen a las unidades volcánicas que se encuentran en el complejo volcánico Curaahuara, andesita porfirítica, al noreste del cuadrángulo mientras la zona con un porcentaje menor de anomalías se encuentra en el sector de Charaque.

Por tal motivo se establecieron las zonas prospectivas, denominadas Sector Tukari- Paccha, Sector Santa Rosa Cacachara y Sector de Charaque.

En el sector de Tukari- Paccha, Sector Santa Rosa Cacachara están conformadas por centros de sílice masiva representada por múltiples etapas de brechas hidrotermales, las cuales están rodeadas por sílice granular y alteración argílica avanzada. En la periferie se presentan zonas de alteración argílica. La mineralización ha sido controlada por fallas NNE y E-O. Las morrenas y coluviones ubicados en el flanco sur, también se encuentran mineralizados y con contenido promedio de 2 g/t Au. Los recursos cubicados en el 2004 fueron 50 Mt con 1g/t Au. Según los estudios del PIMA muestran preferentemente áreas con Las alteraciones hidrotermales de tipo Argílica Avanzada como en la muestra R0809-001 cuarzo- alunita (1480nm), Argílica según la muestra R0809-002 y R0809-003 asociación de minerales cuarzo- illita-esmectita. Zonas de silicificación como las muestras R0809-004 y R0809-005 A. Finalmente la

zona Argílica Avanzada cuarzo-alunita-caolinita R0809-005B con reflectancia de la alunita de 1478nm.

Las alteraciones hidrotermales están conformadas por centros de sílice masiva representada por múltiples etapas de brechas hidrotermales, las cuales están rodeadas por sílice granular y alteración argílica avanzada. En la periferie se presentan zonas de alteración argílica.

El Complejo Cacachara que es parte del Grupo Barroso. Está compuesta por Domos de Tony Pacha, Domo Victoria y Domo Ana Lucía; son de composición Traqui andesita a Traqui dacita (Nieto, 2009)

En el sector de Paccha, las alteraciones hidrotermales que se determinaron con ayuda del Terraspec son: sílice alunita en las zonas de contacto entre domos (brecha de contacto), las alunitas Ca – Na de mayor temperatura, donde están asociadas a un fuerte control estructural; la sílice residual (sílice granular) está desarrollada por control estructural de ascenso de fluidos hidrotermales tanto como aguas termales (Sílice Sinter), en algunos casos forman Steam Heated; la Sílice Opalina se aprecia en las cúpulas de los domos, donde existió un paleo nivel freático regional que está entre los 4900 y 5100 m.s.n.m.; la presencia de brechas freáticas están relacionadas a sistemas estructurales, desarrollando sílice vuggy con sílice Alunita K – azufre, estos generan brechas con clastos de Sílice Alunita; los domos pueden alterarse hasta sílice arcilla (illita – esmectita). (Nieto, 2009)

En el Sector Cacachara, Las alteraciones hidrotermales en este sector está compuesta por la asociación cuarzo-esmectita según las lecturas que se realizó con el PIMA.

La relación entre la mineralización de Cacachara y Pavico con el volcanismo reciente del Grupo Barroso concuerda con el modelo metalogénico planteado por Fletcher et al. (1989) quien dice que la circulación de fluidos convectivos que generaron la mineralización fue estimulada por el Sillapaca o los centros subvolcánicos del Barroso. Sin embargo, las vetas de Cacachara ocurrieron dentro de una intrusión dacítica subvolcánica con alteración hidrotermal y la ausencia local de los volcánicos del Grupo Tacaza excluye la posibilidad que ellos representen la fuente de metales; en ambos casos, la mineralización de este distrito no es conforme con los conceptos de Fletcher et al.



Fotografía 16.-Vista panorámica del Sector Cacachara

En el Sector Charaque, en la zona de estudio existen afloramientos de rocas volcánicas de origen efusivo y explosivo (andesitas, traquitas y tufos) del Grupo Barroso; la andesita y tufo volcánico son las rocas encajonantes de la alteración y mineralización. Charaque cuenta con alteraciones de tipo argílica a argílica avanzada, silicificación de cuarzo amorfo y sílice residual mapeables en el campo.

(lámina 16)

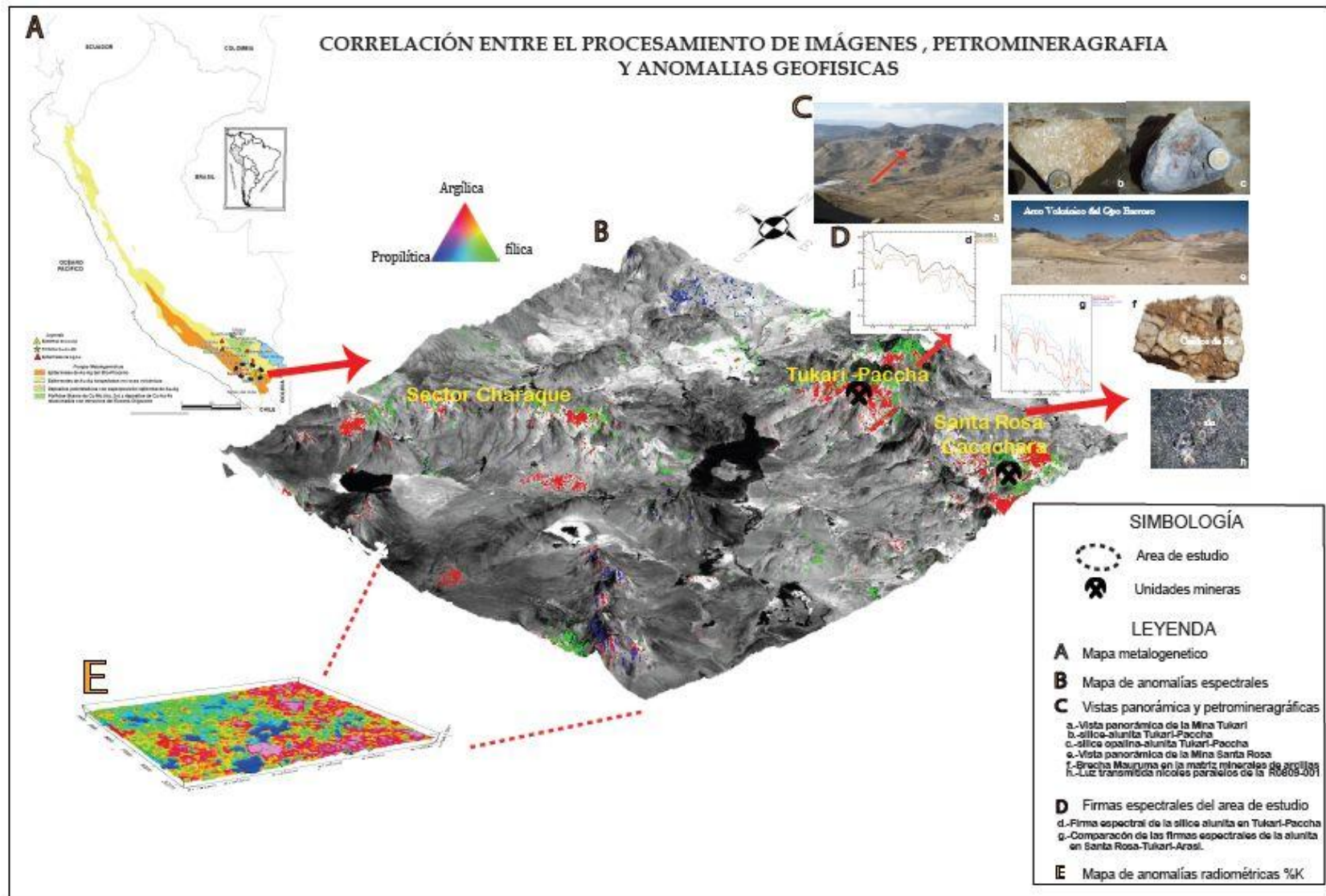


Lámina 16.- Correlación entre el procesamiento de imágenes, petromineralografía y geofísica.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El diagrama TAS confirma que las zonas de Santa Rosa, Tukari y pachas tienen una tendencia calco-alcalino rica en potasio con ligera disposición alcalina, las composiciones litológicas varían entre traquiandesita, andesita y dacita.
- El mapa de anomalías de alteración hidrotermal, elaborado a partir de los cocientes 4/6, 5/6, 5/8 de las bandas ASTER, mostró una alta correlación con las aureolas de alteración tipo argílica, fílica mapeadas en los distritos de Santa Rosa y Tukari.
- Los sectores que fueron definidos como prospectables por presentar diferentes tipos de alteración hidrotermal son: Sector de Tukari donde predomina la alteración argílica a argílica avanzada, Santa Rosa predomina la alteración argílica avanzada y finalmente Sector de Charaque.
- Los ratios K/Th correlacionan con las anomalías de las imágenes ASTER sector de Tukari y Santa Rosa pero no con las del sector de Charaque, esto podría deberse al control estructural ya que las minas Santa Rosa y Tukari localmente presentan controles estructurales en dirección EW y NS.
- Si bien es cierto en el sector de Charaque tenemos alteraciones argílica y fílica pero esta zona no cuenta con las condiciones estructurales para albergar y/o definir yacimientos como Tukari y Santa Rosa.
- Se recomienda utilizar El método FLAASH para la corrección atmosférica debido a que este método utiliza un modelo atmosférico para estimar la reflectancia, lo cual nos ayudará a

obtener mejor los resultados de nuestro procesamiento de imágenes.

- Se recomienda la utilización de la técnica de filtros en dirección Noroeste-Sureste y Este Oeste, para la interpretación de lineamientos ya que correlacionan con el método de deconvolución de Euler. Sin embargo, la aplicación de estos merece un amplio conocimiento de las bondades y desventajas que ofrecen.
- Las anomalías radiométricas de valores bajos de %K correlacionan espacialmente con las anomalías del procesamiento de imágenes ASTER y fuentes geotérmicas, se recomienda seguir investigando de esta herramienta para la determinación de “target”.
- Las empresas mineras deberían generar y almacenar las firmas espectrales en una librería espectral de todos sus proyectos pórfidos, epitermales, etc. para que después de un análisis de espectrometría (PIMA, Terraspec, fieldspac, etc) consideren la identificación y diferenciación entre la asociación de minerales como alunita potásica (K), alunita sódica (Na), alunita cálcica (Ca).
- Se recomienda realizar el procesamiento de imágenes en el cuadrángulo 33v y 33x ya que las alteraciones tipo argílica y fílica se encuentran con mayor densidad en las rocas tipo andesita porfírica y se prolongan en dirección Noreste y en el cuadrángulo 33u, debido a que se encuentra alteración propilitica delimitada por un lineamiento en dirección NW-SE del cuadrángulo en rocas del grupo Maure.
- Se recomienda investigar la zona del sector de charaque como potencial geotérmico.

BIBLIOGRAFIA

- Acosta J. (1999) Correlación de Imágenes Landsat y Espectrometría con Alteraciones Hidrotermales del Pórfido de Cobre de Quellaveco. Tesis Ingeniero Geólogo. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Acosta J., et al., 2009a: Acosta J, Rivera R, Valencia M, Chirif H, Huanacuni D, Rodriguez I, Villarreal E, Payco D, Santisteban A. 2009. Memoria Mapa Metalogenético del Perú 2009, publicado por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET.
- Acosta J., et al., 2009b: Acosta J, Rivera R, Valencia M, Chirif H, Huanacuni D, Rodriguez I, Villarreal E, Payco D, Santisteban A, A. Neyra, versión 2009. Mapa Metalogenético del Perú: Operaciones y Proyectos Mineros, publicado por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET.
- Aramaki, S., 1984. Formation of the Aira caldera, southern Kyushu, 22.000 years ago. *Journa of Geophysical Research*, 89: 8485-8501.
- Anthony A. Longo Ph.D. Geology Dissertation Department of Geosciences, Doctoral Defense, April 7, 2005 COAS Admin Conference Rm 106, Evolution of Volcanism and Hydrothermal Activity in the Yanacocha Mining District, Northern-Perú.
- Barreda J., Loayza D., Juárez. P; Torres R. (2004) Depósitos epitermales de alta sulfuración en el distrito minero Aruntani, Moquegua. 5p.
- Borda E., (2006) Deconvolución de Euler sobre el campo potencial magnetometrico y su uso para delineación de fallas regionales. Informe de suficiencia. Universidad Nacional de Ingenieria. p 69.

- Brandmeier, M. (2011) Remote Sensing of Carhuarazo Volcanic Complex: Using ASTER Imagery in Southern Peru to detect alteration zones and volcanic structures-a combined approach of image processing in ENVI and ARCGIS/ARCSCE. 22nd LAK 2011, Heidelberg, p 21-22.
- Carlotto, et. al (2009) Dominios Geotectónico y metalogénesis del Perú. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú. p1-89.
- Clark, A.H., Farrar, E., Kontak, D.J., Langridge, R.J., Arenas, M.J., France, L.J., McBride, S.L., Woodman, P.L., Wasteneys, H.A., Sandeman, H.A. & Douglas, D.A. (1990).- Geologic and geochronologic constraints on the metallogenic evolution of the Andes of Southeastern Peru. Econ. Geol., 85, p. 1520-1583.
- Crosta, A. and Moore, J. McM., (1989) Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State, Brazil: a prospecting case history in Greenstone belt terrain. In: Proceedings of the 7th ERIM Thematic Conference: Remote sensing for exploration geology, pp. 1173-1187.
- Corbett G. J. y Leach T.M. (1997). Southwest Pacific RIM Gold-Copper System: Structure, Alteration and Mineralization. Short Course Manual.
- Chuvieco, E (2008) Teledetección Ambiental. 3ª edición actualizada septiembre. Editorial Ariel, S.A.
- Goetz, A.H.F., Rowan L.C. and Kingston, M.J., (1982) Mineral identification from orbit: Initial results from the shuttle multispectral infrared radiometer. Science, 2018 1020-1024.
- Gonzales, R. (2005) Caracterización Geoquímica, Petrográfica y mineralógica en la prospección de oro del sector Charaque cuadrángulo de Huaitire-Moquegua. Universidad de Ingeniería

Geológica y Metalúrgica-Escuela Profesional de Ingeniería Geológica. 105p.

- Hauff, Phoebe L. (1996) Recolección e Interpretación de Datos del espectrómetro SWIR de PIMA II.
- Henning, D. (2005).Geology and geochemistry of the Cerro Millo gold prospect, southern Peru. Institute of Mineralogy and Mineral Resources Technical University of Clausthal.156p.
- Hedenquist, J. & Lowenster, J. (1994): The Role of Magmas in the Formation of Hidrotermal ore Deposits. – Nature, volumen 370, No. 6490, p. 519 – 527.
- Hedenquis Jeffrey W. and Tony Longo, 2008. Epithermal High-sulfidation Gold Deposits: Characteristics, related ore types, and exploration: XIV Congreso Peruano de Geología.
- Hunt, G.R., (1977) "Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near infrared", Geophysics, vol. 42, p.501-513.
- INGEMMET (2000). Estudio de los recursos minerales del Perú. Franja N° 1. Boletín N° 8 Serie B: Geología Económica: 181p.
- INGEMMET (1993): Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano al Oeste del Lago Titicaca, Sur del Perú. – Boletín No. 42, Serie A, p. 257.
- INGEMMET (2003): Compendio de Yacimientos Minerales del Perú. – Boletín No. 10, Serie B, p. 620.
- INGEMMET (2011) Laboratorio de Teledetección.
- JOGMEC (2006) presentación interna Japan oil, Gas and Metals National Corporation.
- Klein, T., Barreda, J., and Harvey, B., 1997, San Jose Sur - high sulfidation gold deposit Yanacocha district, Peru: Resúmenes extendidos IX Congreso

- Kaufman, Y. J., Wald, A. E., Remer, L. A., Gao, B. C., Li, R. R., and Flynn, L., (1997a) The MODIS 2.1- μm channel correlation with visible reflectance for use in remote sensing of aerosol. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 35: 1286-1298.
- Kaufman, Y. J., Tanre, D., Remer, L., Vermote, E. F., Chu, A., and Holben, B. N., (1997b), Operational remote sensing of tropospheric aerosol over the land from EOS-MODIS. J.Geophys. Res, 102(14): 17051-17068.
- Loughlin, W.P., (1991) "Principal component analysis for alteration mapping", Photogramm. Eng. Remote. Sens., vol. 57, p.1163-1169.
- Lillesand, T.M.and Kiefer, R.W., 1994Remote Sensing and Image Interpretation,3rd Ed,Jhon Wiley and Sons, Inc.: Toronto.
- Mamani, M. & Ibarra, I. (2000).- Magmatismo y Tectónica Meso-Cenozoica del Altiplano y del Borde Noreste de la Cordillera Occidental de la Región de Puno. – Tesis Ing. Geólogo, UNSAAC, Cusco, p. 80.
- M, Manrique. (2011) Informe interno Geoquímica de sedimentos de escorrentía al sur del Perú y su relación metalogenetica (franjas 1 y 2 del INGEMMET) p 17.
- Matthew, M. et al. – Atmospheric Correction of Spectral Imagery: Evaluation of the FLAASH Algorithm with AVIRIS Data, Spectral Sciences, Inc.
- Marquetti,C.(2005) Metodología y análisis de imágenes ASTER para la exploración mineral en un Sector de la cordillera de colanguil, San Juan, Argentina. Contribuciones técnicas del Proyecto GEOSAT-AR 2005: 31-40.
- Morozumi H. (2006) Improvement of the Technology for the evaluation of Geological Resources. Report on Improvement

Project of the Technology for the evaluation of geological resources. 15p.

- Nieto, O. (2009) Evolución de alteraciones hidrotermales, Quebrada Pacha, emplazadas en el Mioceno Superior. Carumas-Moquegua Universidad Nacional de San Agustín. Facultad de Geología, Geofísicas y Minas-Escuela Profesional de Ingeniería Geológica. 101p.
- Proyecto Multinacional Andino (2001): Mapa Metalogenético de la Región Fronteriza entre Argentina, Bolivia, Chile y Perú (14° S y 28°S), p. 96 –222.
- Quispe, J (2004) Tesis de Grado Petrografía, Geoquímica e implicancias metalogenéticas de los volcánicos cenozoicos del Sureste del Perú: zona Mazo Cruz (Puno). 106p.
- Quispe, J. et al (2008) Mapa Metalogenetico del Perú 2008 XIII Congreso Latinoamericano de Geología y XIV Congreso Peruano de Geología, 6p.
- Rodríguez, G. (2010) Determinación de zonas de Alteración Hidrotermal mediante imágenes ASTER, oeste de Cajamarca. Tesis Ingeniero Geólogo. Tesis Ing. Geólogo, UNSAAC, Cusco, p. 99.
- Rowan, L.C. & Lathram, E. H., (1980) Mineral exploration in Remote Sensing in Geology, by Siegal and Gillespie. John Wiley & Son, 702, p. p. 553-605
- Sabins, Floyd F. Jr (1987) Remote Sensing, principles and interpretation.
- Sempere, T. Jacay, J. (2004) Estructura Tectónica del Sur del Perú (Antearco, Arco, y altiplano suroccidental) XIII Congreso Peruano

de Geología. Resúmenes extendidos sociedad geológica del Perú, p. 324-327.

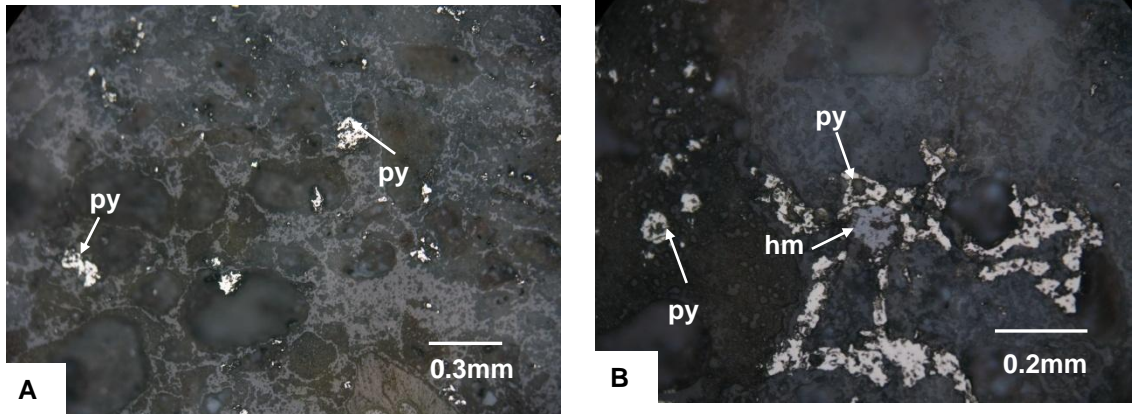
- Sillitoe, R.H., 1983, Enargite-bearing massive sulfide deposits high in porphyry copper systems: *Economic Geology*, v. 78, p. 348-352.
- Tommaso, I. (2005) Mapeo de alteración hidrotermal a partir de datos ASTER en el pórfido de Cu-Mo El Infiernillo, Mendoza-Argentina. *Anais XII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005. INPE, p. 1765-1773.

RELACIÓN DE ANEXOS

**ANEXO I:
ESTUDIOS PETROMINERAGRÁFICOS**

1. MINA SANTA ROSA

Muestra M0809-002

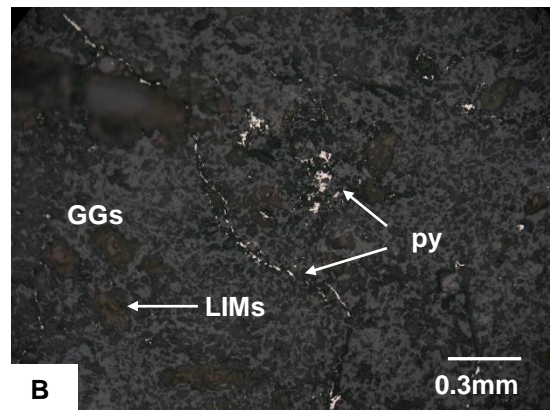
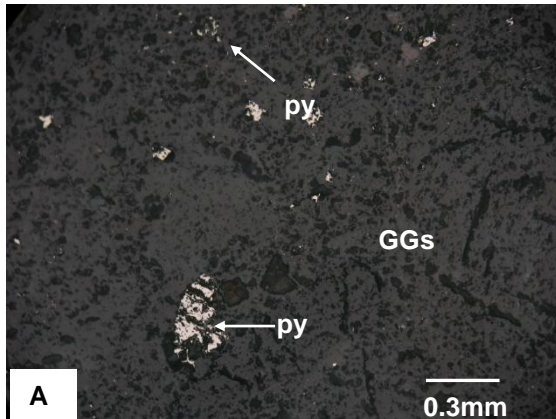


A: Pirita (py) relleno de pequeñas cavidades por toda la muestra.

B: Pseudoformas cúbicas de hematita (hm) formadas a partir de pirita (py).

1. Descripción macroscópica:	Dacita, presenta alteración de tipo sílice alunita y relleno de sus cavidades presenta minerales como pirita, azufre y escapolita. Los minerales formadores de roca están alterándose.
2. Descripción microscópica:	La muestra corresponde a una estructura de relleno compuesto de cuarzo, pirita y abundantes óxidos de Fe.
3. Mineralogía : 3.1 Primarias	Pirita (10%)
3.2 Secundarios	hematita-limonitas (8%),
4. Texturas:	Reemplazamiento y disseminaciones.
5. Secuencia paragenética:	Gangas Pirita Hematita, limonitas

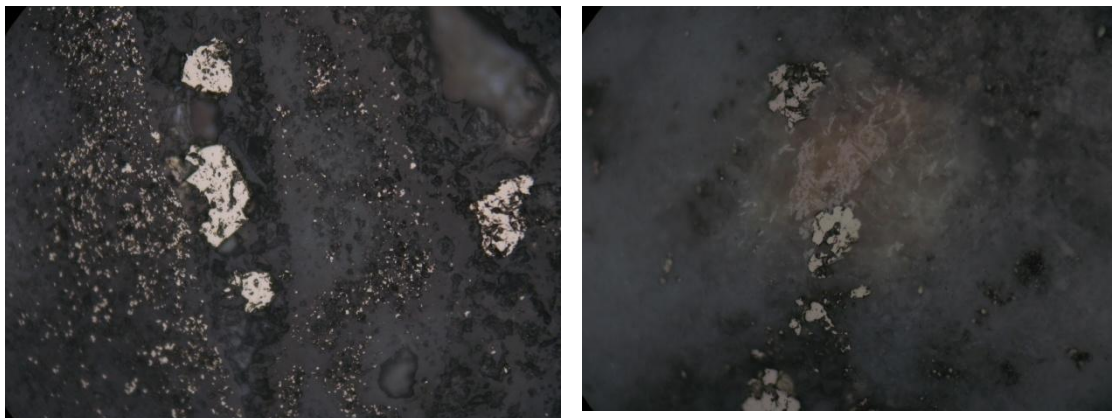
Muestra M0809-003



A: Granos de pirita (py) relleno de cavidades por toda la muestra
 B: Pirita (py) como diseminaciones por toda la muestra

1. Descripción macroscópica:	Traquiandesita con textura porfírica presenta óxidos de hierro y alteración tipo argílica avanzada (sílice- alunita) con diseminaciones de pirita, calcopirita y escapolita
2. Descripción microscópica:	La muestra corresponde a una roca ígnea intensamente reemplazada con diseminaciones y pequeñas cavidades de pirita y óxidos de Fe por toda la muestra.
3. Mineralogía : 3.1 Primarias	Pirita (8%).
3.2 Secundarios	Hematita (5%)
4. Texturas:	Reemplazamiento y diseminaciones.
5. Secuencia paragenética:	Gangas Pirita Hematita, limonitas

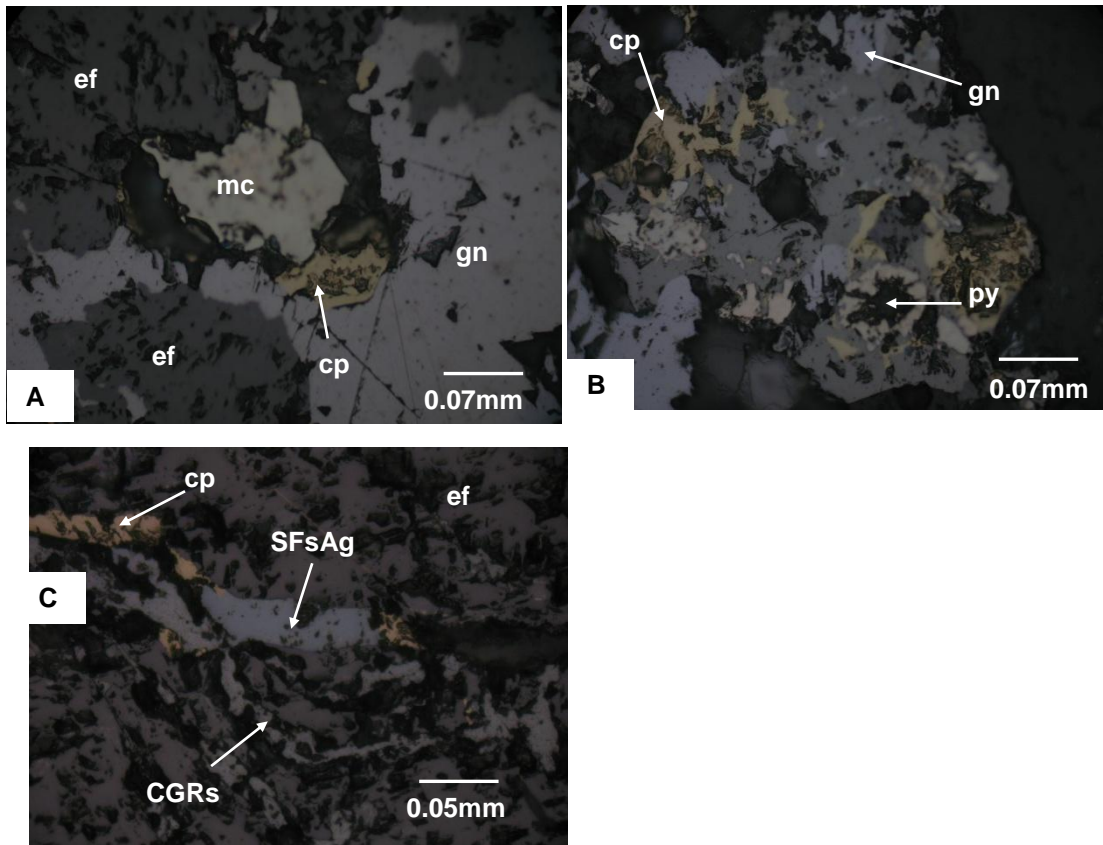
Muestra M0809-005B



1. Descripción macroscópica:	Presenta alteración tipo cuarzo-alunita más conocida como sílice opalina con sulfuros diseminados.
2. Descripción microscópica:	La muestra corresponde a una estructura de relleno compuesto de cuarzo, arcillas y varias generaciones de pirita como diseminaciones y rellenando fracturas por toda la muestra. Limonitas y hematita reemplazando a pirita.
3. Mineralogía : 3.1 Primarias	Pirita (5%), Pirita II (5%)
3.2 Secundarios	Hematita (3%), rutilo (<0.5%)
4. Texturas:	Reemplazamiento y diseminaciones.
5. Secuencia paragenética:	Gangas Rutilo Pirita I Pirita II Hematita

2. QUEBRADA PACHAS

Muestra M0809-007A



A: Playas de galena (gn) reemplazando a la esfalerita (ef) y calcopirita (cp). Marcasita (mc) reemplazando a la pirita (py).

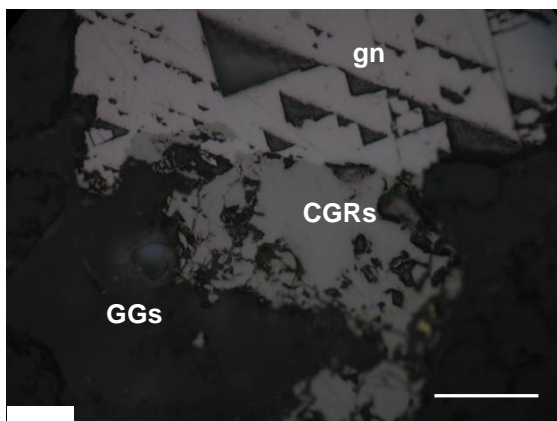
B: Playas de cobres grises (CGRs) reemplazando a la galena (gn), calcopirita (cp) y pirita (py).

C: Proustita-pirargirita (SFsAg), cobres grises (CGRs) y calcopirita (cp) relleno de pequeñas cavidades en la esfalerita (ef).

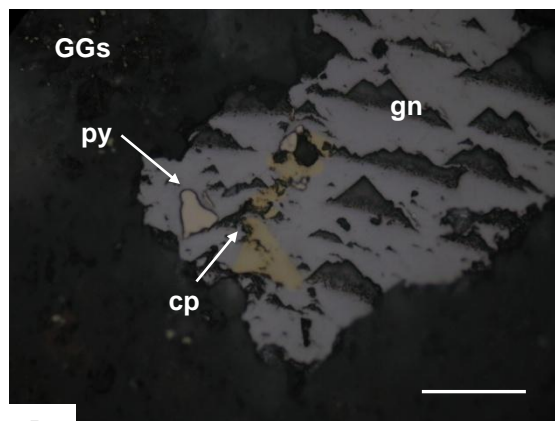
1. Descripción macroscópica:	Brecha con minerales de cuarzo presencia de galena, calcopirita.
2. Descripción microscópica:	La muestra corresponde a una de relleno compuesta de esfalerita, calcopirita, pirita, galena, cobres grises y algo de marcasita.
3. Mineralogía : 3.1 Primarias	Pirita (8%), marcasita (0.5%), calcopirita (15%), esfalerita (10%), galena (5%), cobres grises (1.5%), sulfosales de plata (<0.5%)

3.2 Secundarios	Hematita (2%)
4. Texturas:	Reemplazamiento y relleno de fracturas.
5. Secuencia paragenética:	Pirita, Marcasita Calcopirita Esfalerita Galena Cobres grises Sulfosales de plata, Hematita

3. CACACHARA



A
muestra M0809-008



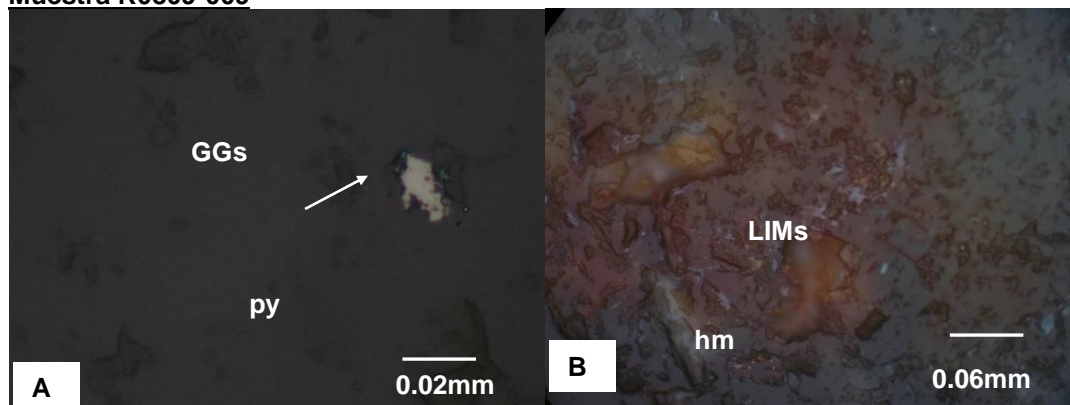
B

A: Cobres grises (CGRs) reemplazando a la galena (gn).
B. 3: Galena (gn) reemplazando a la calcopirita I (ef-cp I).

1. Descripción macroscópica:	Andesita alterada con cuarzo galena, esfalerita.
2. Descripción microscópica:	La muestra corresponde a una estructura de relleno compuesto de cavidades rellenas de esfalerita, galena, cobres grises y calcopirita.
3. Mineralogía : 3.1 Primarias	Pirita (<1%), galena (15%), esfalerita 20%), calcopirita (<1%). Cobres grises (1%)

<p>3.2 Secundarios</p> <p>4. Texturas:</p> <p>5. Secuencia paragenética:</p>	Hematita (0.5%)
	Reemplazamiento y disseminaciones.
	Gangas Pirita Calcopirita Esfalerita Galena Cobres grises Hematita

Muestra R0809-009

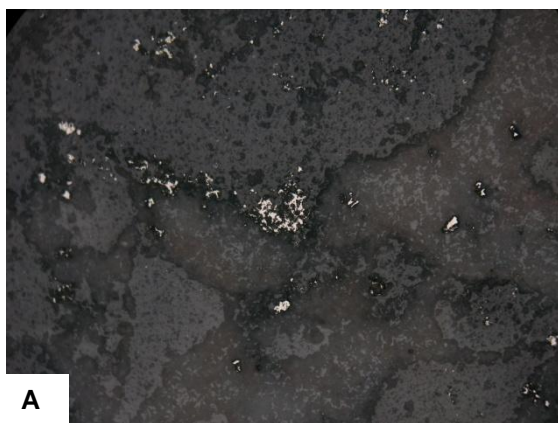


A: Pirita (py) relleno de pequeñas cavidades por toda la muestra.
B: Presencia de hematita (hm) y limonitas (LIMs) tiñendo y relleno de cavidades por toda la muestra.

1. Descripción macroscópica:	Sulfuros, Óxidos de hierro.
2. Descripción microscópica:	La muestra corresponde a una estructura de relleno compuesto de cuarzo con disseminaciones de pirita, calcopirita y óxidos de Fe por toda la muestra.
3. Mineralogía :	
3.1 Primarias	Pirita (1%), calcopirita (<0.5%)
3.2 Secundarios	Hematita-limonitas (5%)

4. Texturas:	Reemplazamiento y disseminaciones.
5. Secuencia paragenética:	Gangas Pirita Calcopirita Hematita

M0809-009^a

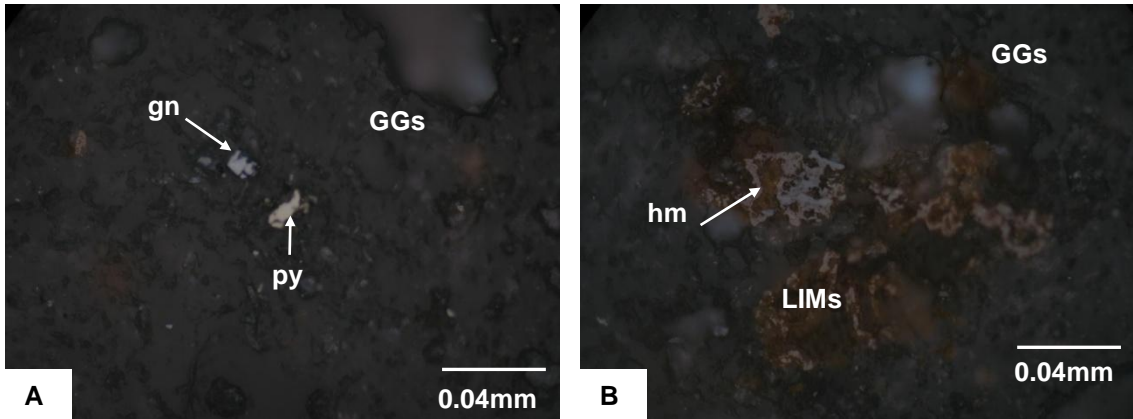


A: Pirita (py) relleno de fracturas y cavidades por toda la muestra.

1. Descripción macroscópica:	Domo andesíticos con venillas de cuarzo, pirita con alteración argílica
2. Descripción microscópica:	La muestra corresponde a una estructura de relleno compuesto de cuarzo, pirita y abundante hematita y limonitas.
3. Mineralogía : 3.1 Primarias	Pirita (10%)
3.2 Secundarios	Hematita-limonitas (<5%), rutilo (<1%)
4. Texturas:	Reemplazamiento y disseminaciones.
5. Secuencia paragenética:	Gangas Pirita Hematita-limonitas

4.- MINA TUCARI

Muestra R0809-013



A: Pirita (py) y galena (gn) relleno de pequeñas cavidades por toda la muestra
 B: Hematita (hm) y limonitas (LIMs) por toda la muestra.

1. Descripción macroscópica:	Sílice vuggy con alteración tipo argílica avanzada de alunita- caolinita (menor temperatura) sulfuros y con leyes de 1g/t Au
2. Descripción microscópica:	La muestra corresponde a una roca intensamente alterada por sílice cavernosa con cavidades y disseminaciones rellenas de pirita, escasa calcopirita, seguida de galena y abundantes óxidos de Fe.
3. Mineralogía : 3.1 Primarias	Pirita (8%), calcopirita (trazas), galena (Trazas)
3.2 Secundarios	Hematita-limonitas (5%)
4. Texturas:	Reemplazamiento y disseminaciones.
5. Secuencia paragenética:	Gangas Rutilo Pirita calcopirita Galena Malaquita Hematita-limonitas

**ANEXO II:
RESULTADOS DE ENSAYOS QUÍMICOS DE
ELEMENTOS MAYORES**

1.-Lista de muestras de la zona de estudio

ID	MUESTRA	LUGAR DE EMPLAZAMIENTO	ESTE	NORTE	DATUM	ZONA	REFERENCIA BIBLIOGRAFICA
1	CHR-01	C° Charaque	359701.53	8143406.93	WGS84	19	Gonzales (2005)
2	CHR-02	C° Charaque	359636.54	8143432.93	WGS84	19	Gonzales (2005)
3	CHR-03	C° Charaque	359535.54	8143534.93	WGS84	19	Gonzales (2005)
4	CHL-04	C° Challuma	359112.54	8143575.93	WGS84	19	Gonzales (2005)
5	CHL-05	C° Challuma	359136.54	8143967.93	WGS84	19	Gonzales (2005)
6	CHL-06	C° Challuma	358556.55	8143788.93	WGS84	19	Gonzales (2005)
7	MIL-07	C° Milloco	358475.55	8143767.93	WGS84	19	Gonzales (2005)
8	MIL-08	C° Milloco	358402.55	8143707.93	WGS84	19	Gonzales (2005)
9	CHL-09	C° Challuma	359715.53	8144057.92	WGS84	19	Gonzales (2005)
10	CAM-10	C° Campanillane	359784.53	8144026.92	WGS84	19	Gonzales (2005)
11	CAM-11	C° Campanillane	359798.53	8143959.93	WGS84	19	Gonzales (2005)
12	CHR-12	C° Charaque	359927.53	8143413.93	WGS84	19	Gonzales (2005)
13	CAM-13	C° Campanillane	359781.53	8144318.92	WGS84	19	Gonzales (2005)
14	CAM-14	C° Campanillane	359365.54	8144386.92	WGS84	19	Gonzales (2005)
15	ESC-15	Qda Escarintampeña	358434.55	8144438.92	WGS84	19	Gonzales (2005)
16	ESC-16	Qda Escarintampeña	358626.55	8144284.92	WGS84	19	Gonzales (2005)
17	CHL-17	C° Challuma	358541.55	8143943.92	WGS84	19	Gonzales (2005)
18	CHR-18	C° Charaque	359295.54	8143241.94	WGS84	19	Gonzales (2005)
19	ESC-19	Qda Escarintampeña	357454.57	8145007.91	WGS84	19	Gonzales (2005)
20	ESC-20	Qda Escarintampeña	357828.56	8144775.91	WGS84	19	Gonzales (2005)
21	ESC-21	Qda Escarintampeña	358829.55	8144787.91	WGS84	19	Gonzales (2005)
22	ESC-22	Qda Escarintampeña	358624.55	8144429.92	WGS84	19	Gonzales (2005)
23	ESC-23	Qda Escarintampeña	358914.55	8144551.92	WGS84	19	Gonzales (2005)
24	CAT-24	Catarine	359902.53	8144756.91	WGS84	19	Gonzales (2005)
25	CHN-25	C° Chancane	359733.53	8145075.91	WGS84	19	Gonzales (2005)
26	JAN-26	C° Jancosane	359564.54	8144867.91	WGS84	19	Gonzales (2005)
27	JAN-27	C° Jancosane	359255.54	8144840.91	WGS84	19	Gonzales (2005)
28	JAN-28	C° Jancosane	359209.54	8144887.91	WGS84	19	Gonzales (2005)
29	JAN-29	C° Jancosane	359241.54	8144889.91	WGS84	19	Gonzales (2005)
30	ESC-30	Qda Escarintampeña	358836.55	8144529.92	WGS84	19	Gonzales (2005)
31	CAM-31	C° Campanillane	359379.54	8144446.92	WGS84	19	Gonzales (2005)
32	CAM-32	C° Campanillane	360119.53	8144120.92	WGS84	19	Gonzales (2005)
33	MEM-2	Domo Tucari	373048	8164555	WGS84	19	Nieto(2009)
34	PAC-1399	Domo Pacha	372791	8161868	WGS84	19	Nieto(2009)
35	PAC-316	Domo Pacha	372997	8162580	WGS84	19	Nieto(2009)
36	PAC-317	Domo Pacha	373389	8162649	WGS84	19	Nieto(2009)
37	PAC-963	Domo Pacha	372926	8162406	WGS84	19	Nieto(2009)
38	PAC-1398	Domo Pacha	372614	8162130	WGS84	19	Nieto(2009)
39	PAC-811	Domo Pacha	373870	8162340	WGS84	19	Nieto(2009)
40	PAC-813	Domo Pacha	373230	8161970	WGS84	19	Nieto(2009)
41	PAC-873	Domo Pacha	372596	8161531	WGS84	19	Nieto(2009)
42	TL-48	Domo Pacha	373199	8161554	WGS84	19	Nieto(2009)
43	MEM-3	Domo Analucia	373629	8164508	WGS84	19	Nieto(2009)
44	MEM-4	Domo Analucia	374458	8163717	WGS84	19	Nieto(2009)
45	PAC-817	Domo Analucia	375098	8163589	WGS84	19	Nieto(2009)
46	PAC-818	Domo Analucia	375563	8164716	WGS84	19	Nieto(2009)
47	PAC-815	Domo Analucia	374580	8162840	WGS84	19	Nieto(2009)
48	PAC-1397	Domo Huilcane	374324	8161580	WGS84	19	Nieto(2009)
49	PAC-1403	Domo Huilcane	374752	8162050	WGS84	19	Nieto(2009)
50	PAC-1406	Domo Huilcane	374175	8162300	WGS84	19	Nieto(2009)
51	PAC-814	Domo Huilcane	373900	8161575	WGS84	19	Nieto(2009)
52	MEM-1	Lava Traquiandesita	372215	8164931	WGS84	19	Nieto(2009)
53	MEM-5	Lava Traquiandesita	374667	8165062	WGS84	19	Nieto(2009)
54	PAC-812	Lava Traquiandesita	375160	8164038	WGS84	19	Nieto(2009)
55	PAC-1409	Lava Traquiandesita	375825	8163975	WGS84	19	Nieto(2009)
56	R0809-001	Santa Rosa	389941	8159415	WGS84	19	Huanacuni (2013)
57	R0809-002	Santa Rosa	388891	8159439	WGS84	19	Huanacuni (2013)
58	R0809-003	Santa Rosa	388944	8159542	WGS84	19	Huanacuni (2013)
59	R0809-004	Santa Rosa	388815	8159133	WGS84	19	Huanacuni (2013)
60	R0809-005A	Santa Rosa	388299	8159444	WGS84	19	Huanacuni (2013)
61	M0809-005B	Santa Rosa	388299	8159444	WGS84	19	Huanacuni (2013)
62	R0809-006	Santa Rosa	385465	8159689	WGS84	19	Huanacuni (2013)
63	M0809-007A	Cacachara	385608	8156465	WGS84	19	Huanacuni (2013)
64	R0809-007B	Cacachara	385608	8156465	WGS84	19	Huanacuni (2013)
65	M0809-008	Cacachara	385465	8159689	WGS84	19	Huanacuni (2013)

66	R0809-009	Cacachara	385465	8159689	WGS84	19	Huanacuni (2013)
67	R0809-010	Cacachara	372158	8167619	WGS84	19	Huanacuni (2013)
68	R0809-011	Cacachara	373011	8167659	WGS84	19	Huanacuni (2013)
69	R0809-012	Tucari	372434	8167606	WGS84	19	Huanacuni (2013)
70	R0809-013	Tucari	372466	8167622	WGS84	19	Huanacuni (2013)
71	R0809-014	Tucari	375367	8164356	WGS84	19	Huanacuni (2013)
72	R0809-015	Tucari	374017	8167669	WGS84	19	Huanacuni (2013)

2.- Lista de descripción de muestras empleadas para estudios petromineraográficos

ID	Muestra	Unidad	Este	Norte	Cota	Descripción de muestra de mano
1	R0809-001	Santa Rosa	389941	8159415	4847	Roca caja alterada, presencia de cuarzo granular gris con alunita rosada.
2	M0809-002	Santa Rosa	388891	8159439	4842	Roca caja alterada con presencia de sulfuros-escorodita- azufre.
3	R0809-003	Santa Rosa	388944	8159542	4915	Roca caja alterada , dacita con presencia de cuarzo-escorodita-pirita-calcopirita.
4	R0809-004	Santa Rosa	388815	8159133	4821	Brecha Mauruma con cuarzo opalino y azufre. matriz: alunita potasica (K)-óxidos de Fe.
5	R0809-005A	Santa Rosa	388299	8159444	4926	Roca caja andesita, marrón con presencia de cuarzo opalino-alunita-óxidos de Fe.
6	M0809-005B	Santa Rosa	388299	8159444	4926	Roca caja con presencia de cuarzo opalino-pirita en microvenillas.
7	M0809-007A	Cacachara	385608	8156465	4764	Mena -Victoria brecha cuarzo-galena-calcopirita. Vetillas de cuarzo-escorodita corta Vetillas escorodita-calcopirita.
8	R0809-007B	Cacachara	385608	8156465	4764	Roca Caja Alterada - Victoria.
9	M0809-008	Cacachara	385465	8159689	4910	Mena con presencia de cuarzo-galena-escorodita como roca caja andesita.
10	R0809-009	Cacachara	385465	8159689	4910	Roca caja alterada, sector de Cacachara con presencia de sulfuros-óxidos de Fe.
11	R0809-009A	Cacachara	372158	8167619	5182	Roca caja domo con venillas de cuarzo-pirita, roca caja con alteracion argilica intensa.
12	R0809-011	Tucari	373011	8167659	5124	Roca caja sulfuros-vuggy con venillas de cuarzo-alunita.
13	R0809-012	Tucari	372434	8167606	5065	Roca caja Brecha crackelada-goetita-baritina/ fragmentos con sulfuros.
14	R0809-013	Tucari	372466	8167622	5064	Roca caja Cuarzo oqueroso. Vetillas Alunita-kaolinita, sulfuros.
15	R0809-014	Tucari	375367	8164356	5274	Roca caja Domo dacitico violáceo. Flow banding 152/68-SO
16	R0809-015	Tucari	374017	8167669	5169	Roca Caja andesita gris oscura.

Tipo de muestra

R Roca

M Mena

**ANEXO III:
ESTUDIOS DE RESULTADOS DE PIMA**

Relación de muestras de firmas espectrales realizadas por el PIMA

Nº	Muestra	Unidad	Este	Norte	Cota	qz	k-al	n-al	rflct	pyr	dias	kao	dk	ill	sm	FeOx	NH4	Otros	Asociación	Alteración	Descripción de muestra de mano
1	GR13-R0809-001	Santa Rosa	389941	8159415	4847	2	3		1480										qz-al-	Argilica Avanzada	Roca caja alterada, presencia de cuarzo granular gris con alunita rosada.
2	GR13-M0809-002	Santa Rosa	388891	8159439	4842									1	3				sm-	Argilica	Roca caja alterada, con presencia de sulfuros-escorodita- azufre.
3	GR13-R0809-003	Santa Rosa	388944	8159542	4915	2									3				qz-sm-ill	Argilica	Roca caja alterada. Dacita con presencia de cuarzo-escorodita-pirita-calcopirita.
4	GR13-R0809-004	Santa Rosa	388815	8159133	4821	3													qz-	Silicificacion	Brecha Mauruma con cuarzo opalino y azufre. matriz: alunita potasica (K)-óxidos de Fe.
5	GR13-R0809-005A	Santa Rosa	388299	8159444	4926	3													qz-	Silicificacion	Roca caja - andesita marrón con presencia de cuarzo opalino-alunita-óxidos de Fe.
6	GR13-M0809-005B	Santa Rosa	388299	8159444	4926	2	2		1478			3							qz-al-kao-	Argilica Avanzada	Roca caja con presencia de cuarzo opalino-pirita en microvenillas.
7	GR13-M0809-007A	Cacachara	385608	8156465	4764										3				sm-	Argilica	Veta Victoria brecha cuarzo-galena-calcopirita. Vetillas de cuarzo-escorodita corta Vetillas escorodita-calcopirita.
8	GR13-R0809-007B	Cacachara	385608	8156465	4764	1									2				qz-sm-	Argilica	Roca Caja Alterada - Victoria.
9	GR13-M0809-008	Cacachara	385465	8159689	4910	1									2				qz-sm-	Argilica	Mena del sector de Cacachara con presencia de cuarzo-galena-escorodita como roca caja andesita.
10	GR13-R0809-009	Cacachara	385465	8159689	4910	1									2				qz-sm-	Argilica	Roca caja alterada, sector de Cacachara con presencia de sulfuros-óxidos de Fe.
11	GR13-R0809-009A	Cacachara	372158	8167619	5182	2													qz-	Silicificacion	Domo con venillas de cuarzo-pirita, roca caja con alteracion argilica intensa.
12	GR13-R0809-011	Tucari	373011	8167659	5124	2													qz-	Silicificacion	Sulfuros-vuggy con venillas de cuarzo-alunita.
13	GR13-R0809-012	Tucari	372434	8167606	5065	2													qz-	Silicificacion	Roca caja Tukari. Brecha crakelada-goetita-baritina/ fragmentos con sulfuros.
14	GR13-R0809-013	Tucari	372466	8167622	5064	2													qz-	Silicificacion	Roca caja Tukari. Cuarzo oqueroso. Vetillas Alunita-kaolinita, sulfuros.
15	GR13-R0809-014	Tucari	375367	8164356	5274	1									1				qz-	Silicificacion	Roca caja Tukari. Domo dacitico violáceo. Flow banding 152/68-SO
16	GR13-R0809-015	Tucari	374017	8167669	5169															NONE	Roca Caja Tukari, andesita gris oscura.

Asociación	Alteración	Código
si	Silicificacion	1
qz-al-dk-pyr	Argilica Avanzada	2
ill-sm-kao/hall-qz	Argilica	3
chl-ep-cac	Propilitica	4