

Universidad Nacional
Federico Villarreal

Vicerrectorado de
INVESTIGACION

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

**“PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y
SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO GEÓGRAFO**

AUTOR

QUINTANILLA GOMEZ LUIS RODOLFO

ASESOR

Mg. ZUÑIGA DÍAZ WALTER BENJAMIN

JURADO

Dr. ZAMORA TALAVERANO NOÉ SABINO JORGE

Dr. GALARZA ZAPATA EDWIN JAIME

Dr. ALVA VELASQUEZ MIGUEL

Mg. GÓMEZ ESCRIBA BENIGNO PAULO

LIMA - PERU

2019

DEDICATORIA

- Dedico esta tesis a Dios por haberme dado las fuerzas para cumplir este objetivo tan esperado.
- A mi padre Edmundo por motivarme cada día a ser mejor persona, a mi madre Rosalinda por entenderme siempre y brindarme sus acertados consejos.
- A mi abuelita querida por siempre apoyarme con tanto cariño y estar presente en todos mis logros.
- A mis hermanos Jorge y Juan Carlos por ser un ejemplo de buenos profesionales.
- A mi pareja por entender el esfuerzo que puse en este trabajo y por apoyarme en los nuevos retos que vendrán.

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional Federico Villarreal – UNFV, en especial a mi Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo – FIGAE, por darme las herramientas necesarias en mi formación profesional y por enseñarme que todo es posible si te lo propones.
- A mis informantes; Mg. Carmen Luz Ventura Barrera, Mg. Benigno Gómez Escriba, Dr. Miguel Alva Velásquez y Dr. Noé Sabino Zamora Talaverano, por sus valiosos aportes en el desarrollo de esta tesis.
- A mi asesor de Tesis el Mg. Walter Benjamín Zúñiga Díaz, por demostrarme el amor y la pasión a la Ingeniería Geográfica y por todos los buenos consejos que supo darme.
- A la Empresa Compañía de Minas Buenaventura S.A.A., por darme la oportunidad de iniciarme como profesional especialmente al Área de Exploraciones Generales - Greenfields.

INDICE

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTOS	3
INDICE	4
RESUMEN.....	14
ABSTRACT	15
I. INTRODUCCIÓN	16
1.1. Descripción y Formulación del Problema:.....	17
1.1.1. Descripción.....	17
1.1.2. Formulación del Problema General.....	18
1.1.3. Formulación de Problemas Específicos.	19
1.2. Antecedentes:	20
1.3. Objetivos:	21
1.3.1. Objetivo General.	21
1.3.2. Objetivos Específicos.....	21
1.4. Justificación:.....	22
1.5. Hipótesis:.....	24
1.5.1. Hipótesis General.	24
1.5.2. Hipótesis Específicas.....	24
II. MARCO TEÓRICO	26
2.1. Bases Teóricas:.....	26
2.1.1. Ciclo Productivo de la Minería.	26
2.1.1.1. Cateo y Prospección.....	26
2.1.1.2. Exploración (Estudios Ambientales y de Factibilidad).....	27

2.1.1.3. Desarrollo y Construcción.....	29
2.1.1.4. Producción (Explotación).....	29
2.1.1.5. Cierre y Post-cierre de la Mina.	30
2.1.2. Geología.....	31
2.1.2.1. Geología Regional.....	31
2.1.2.2. Geología Económica.	31
2.1.2.3. Geología Estructural o Tectónica.....	32
2.1.3. Depósitos o Yacimientos.....	32
2.1.3.1. Clasificación de Depósitos.....	33
2.1.4. Alteración.....	35
2.1.4.1. Fluidos o Soluciones Hidrotermales.	35
2.1.4.2. Alteración Hidrotermal.	36
2.1.4.3. Tipos de Alteración Hidrotermal.....	36
2.1.4.4. Espectrometría en Alteraciones Hidrotermales.....	38
2.1.4.5. Comportamiento Espectral de Minerales Representativos de Alteraciones Hidrotermales.....	39
2.1.4.6. Interpretación de la Información y su Aplicación en la Construcción de Modelos de Yacimientos.....	42
2.1.5. Teledetección (PRINCIPIOS FÍSICOS).....	44
2.1.5.1. Espectro Electromagnético.....	45
2.1.5.2. Términos y Unidades de Medida.	46
2.1.5.3. Medios para Obtener Firmas Espectrales.....	49
2.1.5.4. Interacción de la Atmosfera con la Radiación. Electromagnética.	49
2.1.6. Tipos de Sensores y Plataformas.....	53
2.1.6.1. Tipo de Sensores.	53

2.1.6.2. Tipo de Plataformas (Espaciales).....	56
2.1.7. Resolución de un Sistema Sensor.....	57
2.1.7.1. Resolución Espacial.	58
2.1.7.2. Resolución Espectral.	58
2.1.7.3. Resolución Radiométrica.	58
2.1.7.4. Resolución Temporal.	58
2.1.7.5. Resolución Angular.....	59
2.1.8. Plataformas de Teledetección Espacial.	60
2.1.8.1. Programa Satelital LANDSAT.....	60
2.1.8.2. Plataforma Earth Observing-1 (EO-1).	66
2.1.8.3. Plataforma TERRA (EOS-AM 1).	69
2.1.8.4. Programa Satelital WORLDVIEW.	71
2.1.8.5. Programa Satelital PERUSAT-1.	74
2.1.9. Modelos Digitales del Terreno (MDT).	76
2.1.10. Sistemas de Información Geográfica (SIG).	76
2.1.10.1. Base de Datos Geográfica (Geodatabase).	77
2.1.10.2. Ventajas de Usar Geodatabase.	77
2.1.10.3. Tipos de Geodatabase.....	78
III. MÉTODO	80
3.1. Tipo de Investigación:.....	80
3.2. Ámbito Temporal y Espacial:	81
3.3. Variables:	81
3.3.1. Variables Independientes.	81
3.3.2. Variables Dependientes.....	83
3.3.3. Variables Intervinientes.....	83

3.4.	Población y Muestra:.....	84
3.5.	Instrumentos:	85
3.6.	Procedimientos:.....	87
3.7.	Análisis de datos:	88
3.7.1.	Evaluación de Potencial Minero Metálico.	88
3.7.2.	Caracterización del Depósito Asociados a sus Minerales.....	90
3.7.3.	Correlación con Capas de Análisis Social y Medio Ambiental.	91
3.7.4.	Análisis Espacial y Valorización de las Variables Finales.	93
IV.	RESULTADOS	95
4.1.	Construcción de Una Base de Datos Espacial:.....	95
4.2.	Cartografía Base y Escala de Trabajo:	97
4.3.	Variables Metálicas de Entrada:.....	98
4.4.	Análisis de Variables Metálicas:	100
4.4.1.	Unidades Geológicas.....	100
4.4.2.	Concesiones Mineras.....	103
4.4.3.	Fallas o Lineamientos Estructurales.....	104
4.4.4.	Depósitos Minerales Metálicos.	106
4.4.5.	Cuencas Geoquímicas.	109
4.4.6.	Sensores Remotos.	113
4.5.	Ponderación de Variables Metálicas:	115
4.6.	Superficie de Potencial Minero Metálico:.....	117
4.7.	Pre - Procesamiento de Imágenes ASTER:.....	119
4.7.1.	Calibración Radiométrica.....	120
4.7.2.	Calibración de Reflectancia.	121
4.7.3.	Generación de Máscaras Espaciales.....	123

4.8.	Procesamiento de Imágenes ASTER:	133
4.8.1.	Combinación y Cocientes entre Bandas.....	134
4.8.2.	PCA Tipos de Alteración.	138
4.8.3.	MF Minerales de Óxidos (VNIR).	146
4.8.4.	SFF Minerales de Alteración (SWIR).....	150
4.8.5.	Filtros Direccionales y de Bordes (Lineamientos Estructurales).	154
4.9.	Post - Procesamiento de Imágenes ASTER:	158
4.9.1.	Obtención de Elementos Vectoriales.	158
4.9.2.	Mosaicos Regionales ASTER.	160
V.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	161
VI.	CONCLUSIONES	167
VII.	RECOMENDACIONES.....	170
VIII.	REFERENCIAS.....	172
VIV.	ANEXOS.....	175

INDICE DE TABLAS

N°	DESCRIPCION	PAG.
1	Tipos de Alteración Hipógena – Supérgena.	37
2	Tipos de Alteración por Yacimiento.	38
3	Minerales de Fácil Interpretación en el Espectro.	38
4	Comparación de Depósitos Epitermales de Baja y Alta Sulfuración.	42
5	Magnitudes Radiométricas Comúnmente Utilizadas en Teledetección.	48
6	Especificaciones Técnicas de Sensores - Programa LANDSAT.	65
7	Especificación Técnica del Sensor ALI.	67
8	Especificación Técnica del Sensor Hyperion.	68
9	Especificación Técnica del Sensor ASTER.	70
10	Especificaciones Técnicas de Sensores - Programa Satelital WorldView.	73
11	Especificación Técnica del Sensor NAOMI.	75
12	Especificaciones de Cada Tipo de Geodatabase.	78
13	Descripción de las Variables Independientes.	82
14	Descripción de las Variables Dependientes.	83
15	Descripción de las Variables Intervinientes.	84
16	Características de la Geodatabase Área Regional Arequipa.	95
17	Escalas de Trabajo en Base al Desarrollo de la Exploración.	98
18	Escala de Valores de las Variables.	100
19	Valorización de Unidades Geológicas Asociadas a su Tipo de Depósito y Metales.	101
20	Valorización de Concesiones Mineras.	103
21	Valorización de Fallas o Lineamientos Estructurales.	105
22	Rango de Influencia de Fallas.	105
23	Volumen de Deposito Minero por Elementos.	107
24	Valorización de los Depósitos Mineros.	107
25	Área de Influencia de los Depósitos Minerales.	108
26	Rangos Geoquímicos Regionales.	110
27	Combinación de Elementos por Cuencas.	112
28	Valorización de Anomalías Espectrales.	114
29	Criterios de Comparación de Variables Metálicas.	116
30	Matriz de Comparación Pareada.	116
31	Pesos de Variables Metálicas.	117
32	Características de Imágenes ASTER.	120
33	Muestra los Coeficientes de Conversión Unitarios de Cada Banda.	121
34	Tabla de Magnitudes Aplicadas al Modelo de la Atmosfera – MODTRAN.	122
35	Valores Próximos en Condiciones Climáticas – MODTRAN.	123
36	Principales Combinaciones RGB Aplicadas a Geológica.	134

Nº	DESCRIPCION	PAG.
37	Cocientes entre Bandas Aplicados a la Exploración Minera.	136
38	Análisis de Componentes Principales – Óxidos de Hierro y Alteraciones Hidrotermales.	139
39	Transformación de Componentes Principales de la Asociaciones de Óxidos de Hierro.	140
40	Transformación de Componentes Principales de la Alteración Argílica Avanzada.	141
41	Transformación de Componentes Principales de la Alteración Argílica Intermedia.	143
42	Transformación de Componentes Principales de la Alteración Propilítica.	144
43	Máscaras de Minerales de Óxido de Hierro.	148
44	Máscaras de Minerales de Alteración Hidrotermal.	152
45	Capas Vectoriales Trabajadas y Almacenadas en Geodatabase.	159
46	Raster Mosaicos de Combinaciones y Cocientes de Bandas ASTER.	160

INDICE DE FORMULAS

Nº	DESCRIPCIÓN	PAG.
1	Algoritmo de Potencial Minero Metálico.	117
2	Algoritmo de Calibración Radiométrica.	120
3	Algoritmo de Calibración de Reflectancia en la Superficie Terrestre - FLAASH.	121
4	Algoritmo de Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada – NDVI.	124
5	Algoritmo de Índice de Nieve de Diferencia Normalizada – NDSI.	126
6	Algoritmo de Índice de Agua de Diferencia Normalizada – NDWI.	127

INDICE DE FIGURAS

N°	DESCRIPCION	PAG.
1	Clasificación de Depósitos.	33
2	Rangos y Mayores Absorciones de Minerales.	39
3	Absorción de Minerales de Óxidos de Hierro.	40
4	Absorción de Minerales de Alteración Hidrotermal.	41
5	Comparación de Depósitos de Baja y Alta Sulfuración.	44
6	Espectro de Ondas Electromagnéticas en Términos de su Longitud de Onda y su Frecuencia.	46
7	Coeficiente de absorción (en %) por gases atmosféricos, en función de la longitud de onda del espectro electromagnético, distinguiéndose las ventanas atmosféricas (UV) Ultra Violeta, (Vis) Visible y (IR) Infrarrojo.	52
8	Sensores Activos - Radar y Vuelo Lidar.	54
9	Sensores Pasivos - Fotográficos y Óptico - Electrónicos.	56
10	Tipo de Plataformas Según Desplazamiento Orbital.	57
11	Relación entre Resolución Espacial, Espectral y Temporal para Distintos Sensores.	59
12	Resumen Histórico - Programa LANDSAT.	61
13	Distribución de Bandas en el Espectro - Programa LANDSAT	64
14	Modelo Digital del Terreno Zona Sur Área Regional Arequipa.	76
15	Elementos de una Geodatabase.	79
16	Análisis de la Superficie de Potencial Minero Metálico.	89
17	Depósitos Minerales del Área Regional Arequipa.	91
18	Zonas de Excepción y Comunidades Campesinas.	92
19	Distribución de Zonas Propuestas o Target.	94
20	Estructura de Almacenamiento Geodatabase Área Regional Arequipa.	96
21	Capas de Potencial Minero Metálico.	99
22	Raster Unidades Geológicas.	102
23	Raster Concesiones Mineras.	104
24	Raster de Fallas o Lineamientos Estructurales.	106
25	Raster Depósitos Minerales Metálicos.	109
26	Raster Cuencas Geoquímicas.	113
27	Raster Sensores Remotos.	114
28	Variables de Potencial Minero Metálico.	115
29	Calculo de Potencial Minero (Raster Calculator).	118
30	Superficie de Potencial Minero Metálico.	119
31	Firma Espectral de vegetación – ASTER.	123
32	Aplicación de la Máscara de Vegetación ASTER.	125
33	Aplicación de la Máscara de Nieve ASTER.	126
34	Aplicación de la Máscara de Agua y Sombra ASTER.	128
35	Aplicación de la Herramienta Radiometric Calibration.	129

N°	DESCRIPCION	PAG.
36	Aplicación de la Herramienta Thermal Atmospheric Correction.	130
37	Aplicación de la Herramienta Emissivity Normalization.	131
38	Aplicación de la Máscara de Nubes ASTER.	132
39	Máscaras Espectrales General de Imágenes ASTER.	133
40	Combinación de Bandas ASTER.	135
41	Cocientes entre Bandas Aplicados a la Exploración Minera.	138
42	Análisis de Componentes Principales de la Imagen Asociaciones de Óxidos de Hierro.	140
43	Análisis de Componentes Principales de Alt. Argílica Avanzada.	142
44	Análisis de Componentes Principales de Alt. Argílica Intermedia.	143
45	Análisis de Componentes Principales de Alteración Propilítica.	145
46	Análisis de Componentes Principales de Óxidos de Hierro y Alteraciones Hidrotermales.	145
47	Remuestreo de Firmas Espectrales de Jarosita (USGS –ASTER).	147
48	Aplicación de la máscara y MF de Jarosita.	149
49	Filtrado Emparejado de Minerales de Óxidos Hierro.	150
50	Remuestreo de Firma Espectral de Alunita (USGS –ASTER).	151
51	Aplicación de la máscara y SFF de Alunita.	153
52	Filtrado Emparejado de Minerales de Alteración Hidrotermal.	154
53	Filtros de Rumbos Direccionales Kernel (3 x 3).	155
54	Ventanas de Filtros Direccionales de la PC1.	156
55	Combinación 742 y Ventanas de Filtro No Direccionales – Sobel.	157
56	Estructuras Lineales y Circulares a Nivel Regional y Local.	158

INDICE DE ANEXOS

N°	DESCRIPCIÓN	PAG.
1	Esquema de Procesamiento General.	175
2	Potencial Minero Metálico en el Área Regional Arequipa.	176
3	Procesamiento de Imágenes Satelitales ASTER.	177
4	Ficha Propuesta 32.	178
5	Ficha Propuesta 42.	179
6	Ficha Propuesta 5.	180
7	Ficha Propuesta 18-B.	181
8	Ficha Propuesta 18-A.	182

INDICE DE MAPAS

Nº	DESCRIPCIÓN	PAG.
1	Ubicación de la Zona de Estudio.	1
2	Unidades Geológicas.	2
3	Concesiones Mineras.	3
4	Lineamientos Estructurales.	4
5	Depósitos Mineros.	5
6	Geoquímica y Cuencas Sedimentarias.	6
7	Sensores Remotos.	7
8	Potencial Minero Metálico	8
9	Topográfico e Hidrográfico.	9
10	Metalogenético.	10
11	Marco de Imágenes ASTER.	11
12	Combinación RGB 321 (Color Natural – Anomalías de Óxidos).	12
13	Combinación RGB 631 (Unidades Litológicas).	13
14	Combinación RGB 468 (Tipos de Alteración).	14
15	Combinación RGB 742 (Diferenciación de Unidades Litológicas y Rasgos Estructurales).	15
16	Cocientes R2/1, G4/1, B4/3 (Anomalías de Óxidos).	16
17	Cocientes R4/5, G4/6, B4/7 (Anomalías de Alteración Hidrotermal).	17
18	Cocientes R4/6, G5/6, B5/8 (Tipos de Alteración).	18
19	Cocientes R4/7, G4/1, B ((2/3)*(4/3)) (Diferenciación de Unidades Litológicas).	19
20	Cocientes R5/8, G4/6, B6/7 (Rasgos Estructurales).	20
21	PCA de Óxidos de Hierro.	21
22	PCA de Tipos de Alteración Hidrotermal.	22
23	MF Minerales de Óxidos de Hierro.	23
24	MF Minerales de Oxido de Silicio.	24
25	SFF Minerales de Alteración Agílica Avanzada.	25
26	SFF Minerales de Alteración Agílica Intermedia.	26
27	SFF Minerales de Alteración Propilítica 1.	27
28	SFF Minerales de Alteración Propilítica 2.	28
29	Estructuras Lineales y Circulares Regionales.	29
30	Zonas de Excepción y Comunidades Campesinas.	30

RESUMEN

En los últimos 10 años las exploraciones mineras han ido creciendo paulatinamente, apoyados por el estado con la finalidad de promover las inversiones en el País, pero esto no asegura que muchos prospectos o proyectos puedan pasar a una siguiente etapa de desarrollo como la explotación, en muchos casos las empresas no encuentran las cantidades necesarias de minerales que justifiquen la inversión o tienen problemas con las comunidades impactadas que no permiten realizar trabajos en sus tierras; por estos y otros motivos la exploración minera es un negocio de alto riesgo para los inversionistas, ante esta problemática el presente estudio propone zonas de posible mineralización económica, utilizando técnicas SIG en el cálculo de la superficie de potencial minero metálico y la percepción remota aplicada a imágenes ASTER en los subsistemas VNIR y SWIR determinando lineamientos estructurales, anomalías espectrales y minerales de alteración hidrotermal asociados a depósitos de tipo epitermal, estos ambientes de formación epitermal están relacionado directamente a los principales yacimientos mineros encontrados en el Perú. El área de estudio se encuentra ubicado en la zona norte del departamento de Arequipa, en el frente occidental de la cordillera de los andes, el cual está delimito en una extensión de 1'530,837 hectáreas, con altitudes que van desde 1900 a 5500 m.s.n.m. Este estudio ayuda a tomar mejores decisiones en las primeras etapas de exploración (Cateo y Prospección), disminuyendo así el riesgo de inversión y apoya al estado a promover la exploración minera en el Perú.

Palabra Clave: SIG, Teledetección, ASTER, Geología, Alteración Hidrotermal y Exploración Minera.

ABSTRACT

In the last 10 years the mining explorations have been growing gradually, supported by the state for the purpose of promoting the investments in the Country, but this does not assure that many brochures or projects could pass to a following development stage for the development, in many cases the companies do not find the necessary quantities of minerals that justify the investment or have problems with the impacted communities that do not allow to realize works in its grounds; for these and other motives the mining exploration is a business of high risk for the investors, before this problems the present study proposes areas of possible economic mineralization, using skills SIG in the calculation of the surface of metallic mining potential and the remote perception applied to images ASTER in the subsystems VNIR and SWIR determining structural lineaments, spectral and mineral alteration anomalies hydrothermal associated with type deposits epitermal, these formation ambiances epitermal are related straight to the main mining deposits found in Peru. The study area is located in the north area of the department of Arequipa, in the western front of the mountain range of walk, which is delimited in an extension of 1 '530,837 hectares, with altitudes that go from 1900 to 5500 m.s.n.m. This one studied help to take better decisions in the first stages of exploration (Police search and Prospect), diminishing this way the investment risk and it supports the state to promote the mining exploration in Peru.

Key Word: SIG, Remote sensing, ASTER, Geology, Hydrothermal Alteration and Mining Exploration.

I. INTRODUCCIÓN

El Área Regional Arequipa se encuentra situada al norte del departamento de Arequipa, entre la depresión pre andina y en la proximidad de la divisoria continental, abarcando una extensión de 1'530,837 hectáreas, con altitudes que van desde 1900 a 5500 m.s.n.m., la delimitación del área de estudio responde a los intereses de la empresa privada Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. para la generación de nuevas zonas de prospección, relacionadas a sus operaciones mineras más importantes en el Sur del Perú como son Orcopampa (Au-Ag) y Tambomayo (Au-Ag) siendo ambas unidades depósitos epitermales polimetálicos.

Los mayores costos de inversión en las primeras etapas de exploración son causados por la utilización de diversas e inadecuadas técnicas de cateo y prospección en la determinación de zonas de posible mineralización económica; esto se puede reflejar en el “Prospecto Regional Cotahuasi” que utilizo imágenes LANDSAT para el mapeo de anomalías espectrales (BVN, 2008), así como también en el “Prospecto Distrital Cotahuasi” que determino zonas de alteración por óxidos y arcillas (BVN, 2011) y por último en el estudio “Detección Remota del Complejo Volcánico Carhuarazo Utilizando Imágenes ASTER en el Sur de Perú” que utilizó mascarar espectrales, índices de bandas y PCA para determinar los tipos de alteración hidrotermal (Brandmeier, 2010), siendo estos estudios insuficientes para la determinación de zonas de exploración minera; por lo tanto esta investigación tiene como objetivo proponer zonas de posible mineralización económica, mediante la utilización de técnicas SIG y sensores ASTER en la determinación del potencial minero metálico y los minerales de alteración hidrotermal en el Área Regional Arequipa.

1.1. Descripción y Formulación del Problema:

1.1.1. Descripción.

Si bien es cierto el Perú es un país minero, se ha convertido este 2018 en la vitrina de grandes inversionistas extranjeros, esto nos ha permitido estar en el segundo lugar en inversión con US\$ 58.5 millones y 15 proyectos de exploración minera, representando el 19% de la inversión total a nivel mundial (*MINEN, 2018*); logrando un crecimiento de inversión sostenible a través de los últimos años; teniendo en cuenta el punto anterior se debe saber que 1 de cada 10 trabajos de exploración tienen éxito basándose en esta etapa previa a la explotación, la cual implica reunir el financiamiento necesario, acercamiento con las comunidades impactadas, obtener las licencias respectivas entre otros; en el 90% de los casos restantes las empresas pierden desde 600 mil dólares hasta más de 1 Millón de dólares aproximadamente dependiendo del área explorada, o por no encontrar las cantidades necesarias de minerales que justifiquen la inversión en la etapa de explotación; esto y otros factores externos hacen que la exploración minera sea una inversión de alto riesgo.

Ante esta problemática el presente estudio propone determinar zonas de interés con análisis de potencial minero metálico y minerales de alteración hidrotermal favorable para la formación de depósitos con importancia económica; evaluando de esta manera grandes extensiones de terreno con costo razonables de inversión durante el desarrollo de las etapas preliminares de cateo y prospección, utilizando para ello capas de potencial metálico y firmas espectrales obtenidas del *United States Geological Survey (USGS)*; una de las bibliotecas espectrales más completas que ha sido desarrollada por los EEUU con la finalidad de caracterizar los ambientes de formación de los depósitos, con la asociación de minerales.

1.1.2. Formulación del Problema General.

Uno de los principales problemas identificados en la exploración es la determinación de las zonas de prospección, que deriva en la integración de diversas técnicas que aplica el conocimiento geológico, los antecedentes documentarios y la cartografía existente, esto conlleva a la generación de varias propuestas de exploración que puedan darse sobre una misma zona con diferentes interpretaciones o resultados, generando así la incertidumbre de no saber que técnica es el más adecuado para la determinación de zonas de exploración minera.

Si bien es cierto existen diversas técnicas, la utilización del SIG y los Sensores Remotos pueden ayudar a reducir los riesgos de inversión en la zona de estudio, ya que proporcionan resultados confiables para la toma de decisiones en la generación de nuevas propuestas de exploración; además el análisis del entorno puede prevenir conflictos con comunidades campesinas, ya que ayuda a genera planes de cooperación y campañas informativas de los trabajos a realizar en superficie evitando así problemas a futuro.

La empresa Cía. de Minas Buenaventura S.A.A. propone el Área Regional Arequipa, ya que en ella alberga 02 de sus principales minas en producción de la zona sur del Perú, esto los motivó a querer generar nuevas zonas prospectivas y a entender mejor su contexto geo-económico; habiendo desarrollado con anterioridad 02 estudios los cuales no utilizaron toda la potencialidad en la aplicación de la Percepción Remota y aún menos técnicas SIG, además se logró investigar otros estudios académicos que determinaron minerales de alteración hidrotermal utilizando técnicas SAM e índices de bandas para la caracterización de depósitos en ciertos sectores del área de estudio.

Ante esta problemática se plantea el procesamiento de técnicas SIG y sensores remotos multispectrales ASTER para el cálculo del potencial minero metálico y la determinación de minerales de alteración hidrotermal que estén relacionados con posibles depósitos epitermales, con la finalidad de proponer las mejores zonas prospectivas que minimicen la pérdida de dinero para los inversionistas e incentiven a las empresas a desarrollar más estudios exploratorios.

Se plantea la siguiente interrogante.

- ¿Cómo las técnicas SIG y los sensores ASTER contribuyen a determinar el potencial minero metálico y los minerales de alteración hidrotermal a fin de proponer zonas de posible mineralización económica en el Área Regional Arequipa?

1.1.3. Formulación de Problemas Específicos.

- ¿Cómo la creación de una base de datos (Geodatabase) que siga los estándares cartográficos de Cía. de Minas Buenaventura S.A.A. ayuda con la necesidad de registro y consulta de información geoespacial?.
- ¿Cómo la preparación de las variables metálicas de entrada SIG (Unidades geológicas, concesiones mineras, fallas o lineamientos estructurales, depósitos minerales, cuencas geoquímicas y sensores remotos), ayudan en el cálculo de la superficie de potencial minero metálico?.
- ¿Cómo las calibraciones radiométricas, de reflectancia y el enmascaramiento de elementos geográficos en el pre-procesamiento ayudan a reducir las falsas detecciones en las 09 imágenes ASTER que abarcan el Área Regional Arequipa?

- ¿Cómo el procesamiento de imágenes ASTER utilizando combinación de bandas, cocientes o ratios entre bandas, Análisis de Componentes Principales (PCA) contribuyen a determinar los tipos de alteración hidrotermal en el Área Regional Arequipa?.
- ¿Cómo el empleo de técnicas de Filtrado Emparejado (MF), Ajuste de Características Espectrales (SSF) utilizando como base la biblioteca espectral digital del United States Geological Survey (USGS) (Versión: splib07a) ayudan en la determinación de minerales de alteración hidrotermal para el reconocimiento de posibles depósitos epitermales?
- ¿Cómo el análisis e interpretación de las imágenes ASTER utilizando filtros radiométricos direccionales y de bordes colaboran en la identificación de lineamientos estructurales (lineales y circulares) en el Área Regional Arequipa?
- ¿Cómo el procesamiento de imágenes ASTER coopera en obtener elementos vectoriales y mosaicos raster Regionales en el Área Regional Arequipa?

1.2. Antecedentes:

A nivel nacional como extranjero, existen diferentes trabajos de investigación de exploración minera a partir del uso de imagen satélite e información cartográfica con resultados que permitieron determinar y encontrar nuevos prospectos mineros como los realizados por la empresa Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.; a cargo del Área de Exploraciones Generales - *Greenfield*, el cual utilizó cartografía regional con apoyo de imágenes LANDSAT para el mapeo de anomalías espectrales “Prospecto Regional Cotahuasi” a una escala de 1/500,000 en el año 2008 y posterior en el año 2011, llamándose “Prospecto Distrital Cotahuasi”, utilizando técnicas de procesamiento satelital LANDSAT para determinar zonas de alteración por óxidos y arcillas, generando dos folios de trabajo a

escala distrital 1/250,000 y 1/100,000 dividiéndose este último en varias zonas prospectivas a explorar.

A si mismo existen diferentes trabajos de investigación universitaria como el estudio denominado “Detección Remota del Complejo Volcánico Carhuarazo Utilizando Imágenes ASTER en el Sur de Perú para Detectar Zonas de Alteración y Estructuras Volcánicas” (Brandmeier, 2010); también se pudo encontrar en el sector público información en los “Boletines Geológicos” (40, 46, 50, 51 y partes de los boletines 42 y 58) (INGEMMET, 1988-1995) y “Estudios Regionales - Rocas Ígneas en el Sur del Perú” (INGEMMET, 2013) los cuales abarcan la zona de estudio; este material es de acceso libre a través de su página web, en la categoría *Servicios Geológicos Mineros* “BIBLIOTECA VIRTUAL”.

1.3. Objetivos:

1.3.1. Objetivo General.

- Proponer zonas de posible mineralización económica, utilizando técnicas SIG y sensores ASTER que determinen el potencial minero metálico y los minerales de alteración hidrotermal en el Área Regional Arequipa.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Crear una base de datos (Geodatabase) que cumpla con las necesidades de registro y consulta de información geoespacial en base a los estándares cartográficos de Cía. de Minas Buenaventura S.A.A.
- Preparar las variables metálicas de entrada SIG (Unidades geológicas, concesiones mineras, fallas o lineamientos estructurales, depósitos minerales,

cuencas geoquímicas y sensores remotos), para el cálculo de la superficie de potencial minero metálico.

- Aplicar calibraciones radiométricas y de reflectancia en la etapa de pre-procesamiento, así como generar el enmascaramiento de elementos geográficos que ayuden a reducir las falsas detecciones, en las 09 imágenes ASTER que abarcan el Área Regional Arequipa.
- Determinar tipos de alteración hidrotermal utilizando en el procesamiento de imágenes ASTER combinación de bandas, cocientes o ratios entre bandas, Análisis de Componentes Principales (PCA) en el Área Regional Arequipa.
- Determinar minerales de alteración hidrotermal empleando las técnicas de Filtrado Emparejado (MF) y Ajuste de Características Espectrales (SSF); utilizando como base la biblioteca espectral digital del *United States Geological Survey (USGS) (Versión: splib07a)*; para el reconocimiento de posibles depósitos epitermales.
- Utilizar filtros radiométricos direccionales y de bordes en el análisis e interpretación de las imágenes ASTER para la identificación de lineamientos estructurales (lineales y circulares) en el Área Regional Arequipa.
- Obtener elementos vectoriales y mosaicos raster Regionales generados en el procesamiento de imágenes ASTER en el Área Regional Arequipa.

1.4. Justificación:

En la evaluación de los prospectos Regional Cotahuasi y Distrital Cotahuasi, se utilizó como complemento las técnicas de determinación de anomalías espectrales y zonas de alteración por óxidos - arcillas con imágenes LANDSAT, el cual no tienen la capacidad de diferenciar tipos de alteraciones y mineralización, por lo tanto no se aprovechó toda la gama de

productos que ofrece la teledetección para mejorar y afinar el análisis geológico, así como no se evaluó las posibilidades de recursos y potencial minero como un sistema integrado, ya que dicha metodología fue propuesta en el 2013 por la Dirección de Recursos Minerales y Energéticos (DRME) – INGEMMET; ocasionando una limitada información que de una u otra forma influenciarón en la toma de decisiones para la definición de las zonas prospectivas.

El presente estudio demuestra que a través de las técnicas propuestas que correlacionan e integran nuevas variables, mejora la metodología y agrega valor a la información existente, la cual se utiliza para definir nuevas zonas de exploración en la etapa de Cateo y Prospección.

Así mismo, se debe mencionar que el presente trabajo será utilizado como base en el aporte del conocimiento a estudiantes y profesionales que estén interesados en la exploración minera, teniendo en cuenta sus limitaciones y potencialidades; habiendo la posibilidad de mejorar estas técnicas con el tiempo, ya que las variables evolucionan cada vez más con la tecnología (sistemas de adquisición de información de mayor resolución y alcance); no sólo eso sino que también está dirigido a empresas privadas de capital nacional o extranjero que deseen utilizar este estudio como una herramienta en la toma de decisiones, para invertir en la exploración minera en nuestro país.

1.5. Hipótesis:

1.5.1. Hipótesis General.

- Las técnicas SIG y los sensores ASTER permiten proponer zonas de posible mineralización económica en el Área Regional Arequipa a través de la determinación del potencial minero metálico y los minerales de alteración hidrotermal.

1.5.2. Hipótesis Específicas.

- La creación de una base de datos (Geodatabase) en base a los estándares cartográficos de Cía. de Minas Buenaventura S.A.A. ayuda a mejorar las necesidades de registro y consulta de información geoespacial.
- El cálculo de la superficie de potencial minero metálico mejora con la preparación de las variables metálicas de entrada SIG (Unidades geológicas, concesiones mineras, fallas o lineamientos estructurales, depósitos minerales, cuencas geoquímicas y sensores remotos).
- La reducción de las falsas detecciones en el Área Regional Arequipa mejora con las calibraciones radiométricas, de reflectancia y el enmascaramiento de elementos geográficos en el pre-procesamiento de las 09 imágenes ASTER.
- El procesamiento de imágenes ASTER contribuyen a determinar los tipos de alteración hidrotermal utilizando combinaciones de bandas, cocientes o ratios entre bandas y el Análisis de Componentes Principales (PCA) en el Área Regional Arequipa.
- Los minerales de alteración hidrotermal para el reconocimiento de posibles depósitos epitermales son determinados con la ayuda de técnicas de Filtrado

Emparejado (MF), Ajuste de Características Espectrales (SSF) utilizando como base la biblioteca espectral digital del United States Geological Survey (USGS) (Versión: splib07a).

- La utilización de filtros radiométricos direccionales y de bordes en el análisis e interpretación de las imágenes ASTER colaboran en la identificación de lineamientos estructurales (lineales y circulares) en el Área Regional Arequipa.
- Permite obtener del procesamiento de imágenes ASTER elementos vectoriales y mosaicos raster regionales en el Área Regional Arequipa.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Bases Teóricas:

Los siguientes conceptos y especificaciones nos ayudaran a entender mejor el desarrollo del presente estudio.

2.1.1. Ciclo Productivo de la Minería.

Las diversas etapas que implica el quehacer minero tienen un periodo de maduración muy variable, en función a la magnitud del proyecto, la ubicación y servicios disponibles en él, el tipo de yacimiento y mineral, del capital con que se cuente, etc. Es necesario desarrollar varias etapas, antes de empezar a producir, no pudiendo avanzar a una siguiente etapa hasta no haber culminado la anterior. Estas son:

- Cateo y prospección.
- Exploración.
- Desarrollo y construcción.
- Producción.
- Cierre y post-cierre.

2.1.1.1. Cateo y Prospección.

Al principio se tiene como tarea determinar la zona donde se ubica el yacimiento minero. Para ello se procede a realizar el cateo, que consiste en realizar búsquedas visuales de anomalías geológicas en la superficie, lo que puede dar indicios de presencia de minerales. Ya en la prospección, la observación se realiza con el apoyo de herramientas tecnológicas para realizar un trabajo más eficiente y rápido, como las fotos aéreas, datos satelitales, técnicas geofísicas (para observar propiedades

físicas de las rocas analizadas) o geoquímicas (para obtener resultados químicos de los materiales observados) En base a los resultados del cateo y la prospección, se elige el área para un estudio más detallado, que permita comprobar la existencia de minerales. En este momento es que se debe solicitar un petitorio ante las autoridades respectivas, sobre el área donde se presume exista un posible yacimiento mineral, procedimiento que asegura el derecho sobre los posibles minerales que en la zona solicitada se encuentren.

Aprobada la solicitud de petitorio, se obtiene la concesión. Entonces se puede continuar con estudios más detallados que pueden tomar varios años, por lo que se conserva el derecho de explotación del área mediante un pago anual, que se llama Derecho de Vigencia.

2.1.1.2. Exploración (Estudios Ambientales y de Factibilidad).

Si bien todas las etapas del ciclo de vida de una mina son importantes, la exploración tiene un papel más significativo, en tanto que los estudios que en ese momento se realizan permiten determinar la magnitud (reserva) y calidad (ley) del mineral que se encuentra en el yacimiento.

Para ello se realizan estudios más detallados sobre el yacimiento, incluyendo perforaciones, muestreos, análisis del contenido y tipo de mineral, entre otros, buscando definir si el mineral es recuperable y a qué costo. Así, la exploración y los estudios más detallados ayudan a determinar si es viable económicamente la explotación de un yacimiento.

Es importante recalcar respecto de la exploración dos características claves:

- Es una actividad que se realiza de forma continua en el quehacer minero. Esta se realiza tanto en los trabajos de un proyecto nuevo o sobre yacimientos que estén en producción (ampliación de operaciones).
- Es el mecanismo mediante el cual el minero busca incrementar su nivel de reservas probadas (determinadas con certeza) desde aquellas reservas probables (estimadas a partir de información menos completa). Y en base a este incremento de reservas logrará extender la vida útil de la mina.
- De acuerdo al impacto previsto de la actividad de exploración, el titular minero deberá presentar una Declaración Jurada o una Evaluación Ambiental, donde señale los impactos y controles a ejecutar por efectos de su presencia.

Confirmada la información respecto a la calidad y cantidad de mineral del yacimiento, se deben de realizar otros análisis y estudios previos al desarrollo de la mina, entre los que cabe resaltar:

- El impacto y remediación ambiental que se dará de desarrollarse el proyecto. Toda exploración debe contar con un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), con el objeto de conocer el potencial impacto ambiental de su puesta en operación. En el EIA se describen los aspectos físico-naturales de la zona del yacimiento, así como los biológicos, socio-económicos y culturales de su área de influencia. En el EIA se prevé los efectos y consecuencias de realizar la actividad minera, y se establece los métodos de remediación. Su contenido es público.
- El estudio técnico económico que determina la ingeniería necesaria para ejecutar el proyecto, su costo y viabilidad económica. Conocido como Factibilidad, este estudio contiene información de las reservas; leyes de corte, método de minado

(subterráneo o a tajo abierto); plan de desarrollo; costos de transporte, mano de obra, insumos a emplearse; impuestos, seguros, etc.

Toda esta información permitirá determinar los años de duración de la mina, asumiendo un ritmo de producción, el tamaño de la planta, entre otros elementos que serán determinantes en las decisiones a tomar respecto de la planificación de los trabajos necesarios para su operación.

2.1.1.3. Desarrollo y Construcción.

En esta fase se culmina la planificación y se ejecutan los trabajos de infraestructura necesaria para realizar la explotación.

Es claro que los trabajos dependerán del método de extracción así como de la infraestructura para el transporte del mineral. El estudio de Factibilidad permitirá seleccionar el método de explotación (subterráneo o tajo abierto), de acuerdo a las características del yacimiento y su viabilidad. La técnica de extracción subterránea se emplea, generalmente, cuando el mineral se encuentra a mucha profundidad. Por el contrario, si el yacimiento está cerca de la superficie, su tamaño es muy grande o se encuentra diseminado (esparcido) se usa la técnica de extracción a tajo abierto. Todo se planifica antes de extraer el primer gramo de mineral.

2.1.1.4. Producción (Explotación).

Luego de haber culminado las etapas antes mencionadas, recién se puede obtener el mineral. Los pasos previos son rigurosos, no obstante la explotación minera es en sí misma es una etapa mucho más específica y particular.

Sin embargo, vale la pena aclarar que el mineral extraído de por sí no es comerciable, porque contiene gran cantidad de impurezas y está mezclado con rocas sin valor. Por ese motivo se lo sujeta a un tratamiento, para generar valor. La “generación de valor” del mineral se hace mediante distintos procesos (físicos, químicos, y/o físico-químicos, o hidrometalúrgicos) De estos procesos se obtiene las partes valiosas y se desecha las que no tienen valor comercial. Se puede señalar que los contenidos valiosos (metálicos) se obtienen por técnicas que van a depender del tipo de mineral que se está procesando. Finalmente, la refinación y fundición permite “purificar” los metales obtenidos, y es en este momento que recién sirven para su transformación o uso industrial (lingotes, barras, etc.). La etapa de producción es la que más años de duración tiene, influenciada por los costos de operación, el precio de los minerales y el volumen de reservas.

2.1.1.5. Cierre y Post-cierre de la Mina.

Cuando la mina deja de operar, porque ya no tiene reservas de mineral que resulten económicamente viables de ser trabajadas, se procede a su cierre. El cierre se inicia desde el momento que se inicia la operación minera.

El cierre de la mina es programado desde antes de su inicio y tiene como objetivo rehabilitar las áreas donde se desarrolló la actividad minera. Para lograrlo, se desmantelan los equipos e instalaciones que se usaron en el ciclo de vida de la mina y se recuperan las zonas afectadas. El post-cierre, por su parte, es una etapa de monitoreo y mantenimiento de los alcances del cierre, con la finalidad de verificar que el cierre de mina haya sido efectivo.

2.1.2. Geología.

Es la ciencia que estudia la Tierra, en todos sus aspectos y alcances, su origen, constitución, evolución, los procesos que se realizan en ella, tanto interna como externamente a través del tiempo geológico.

2.1.2.1. Geología Regional.

Ciencia que se ocupa de realizar los levantamientos geológicos de grandes regiones, puede ser de cuadrángulos geográficos, distritales, departamentales, etc. En el Perú estos levantamientos los realiza el INGEMMET. Son de mucha utilidad para los planeamientos industriales.

2.1.2.2. Geología Económica.

Es la ciencia que estudia los recursos naturales esencialmente minerales, que el hombre extrae de la Tierra para cubrir sus necesidades y comodidades, teniendo en cuenta su rendimiento económico.

La geología económica estudia los yacimientos metálicos y no metálicos, petrolíferos, acuíferos y en general todos los recursos naturales que la Tierra proporciona al hombre.

Para determinar el rendimiento económico de un recurso, el geólogo debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Cubicación del yacimiento (tonelajes, leyes, etc.).
- Planeamiento de explotación.

- Infraestructura (transporte, vías de comunicación, cercanía de puertos de embarque, centro de compra-venta, centros poblacionales, energía eléctrica, agua, etc.).
- Aspectos legales y tributación.
- Determinación del rendimiento económico (comparación entre el valor de venta y el total de gastos).

2.1.2.3. Geología Estructural o Tectónica.

Es la ciencia que estudia las deformaciones de la corteza terrestre relacionadas con el tiempo geológico.

Estudia las deformaciones orogénicas, diastróficas, epirogénicas, etc. Las deformaciones pueden ser pliegues (homoclinales, anticlinales, sinclinales, domos, etc.), fallas (normales, inversas, etc.), intrusiones (vetas, diques, lacolitos, batolitos, etc.).

2.1.3. Depósitos o Yacimientos.

Los depósitos minerales se encuentran distribuidos en la naturaleza y corresponden a la fracción de la corteza terrestre donde se encuentran aquellas sustancias minerales de interés y utilidad. Estos depósitos se han formado o acumulado gracias a diferentes procesos geológicos como, por ejemplo, la meteorización, proceso que permite la mineralización.

2.1.3.1. Clasificación de Depósitos.

Existen numerosos criterios para clasificar los depósitos minerales. Sin embargo, dada la complejidad de los yacimientos, los cuales pueden responder a más de un criterio simultáneamente, su clasificación resulta engorrosa y no es del todo satisfactoria. (Ver Figura 1)

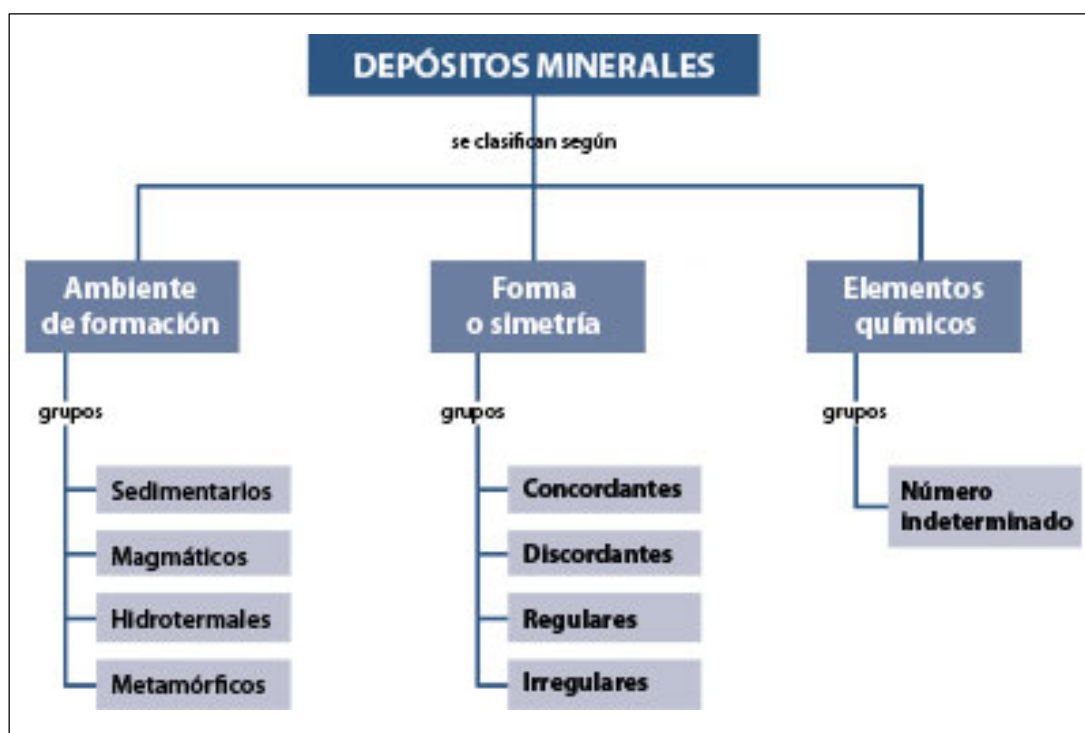


Figura 1. Clasificación de Depósitos.

Fuente: Coldeco Educa (Año 2016).

- **Ambiente de Formación:**

Esta clasificación presenta como limitante el hecho de que muchos depósitos minerales se formaron en etapas diferentes y bajo la influencia de distintos factores, lo que tiende a reunir dentro de un mismo grupo fases de diferentes enriquecimientos.

A su vez, la mineralización tiene lugar por efecto de un conjunto de factores, que no necesariamente dependen del ambiente, sino que tienen relación, por ejemplo, con la naturaleza de la roca de caja.

- **Forma o Simetría:**

La simetría o la forma de un depósito permiten organizar los yacimientos en grupos bien definidos. Esta información es de gran importancia, pues incide directamente en los métodos de explotación que se deberán emplear.

Los inconvenientes de esta clasificación radican en el hecho de que existen yacimientos de simetrías más confusas, lo que obliga a emplear expresiones tales como "semi-irregular" o "casi concordante" provocando que este criterio sea considerado menos científico que los demás.

Sin embargo, si bien la forma de un yacimiento constituye una característica secundaria y no tiene automáticamente una relación con su mineralización, la organización de los depósitos mineralizados en grupos lógicos, presenta algunas ventajas didácticas.

- **Contenido en Elementos Químicos:**

Posiblemente la manera más científica de agrupar los diferentes depósitos minerales sea utilizando el criterio del contenido de elementos químicos del depósito.

En general, debido a que los depósitos son bastante heterogéneos y polimetálicos, la dificultad de esta clasificación radica en que casi todos

los yacimientos están formados por más de un elemento químico con valor económico, lo que hace necesario clasificarlos simultáneamente en dos o más grupos. A su vez, el mismo yacimiento puede cambiarse del grupo de acuerdo con los elementos más importantes que lo determinen. Por ejemplo: un yacimiento puede tener una zona que sea principalmente rica en oro y plata (Au – Ag), y otra en que se dé la relación inversa, plata y oro (Ag – Au).

Si bien la diferenciación de yacimientos en metalíferos y "no-metálicos", es una clasificación bastante útil a primera vista, es necesario considerar que geológicamente existen muchos yacimientos metálicos y no-metálicos que se forman en las mismas condiciones.

2.1.4. Alteración.

Proceso de modificación de los minerales y rocas por acción de los agentes de erosión: agua, viento, hielo, sol, etc. Sinónimo: intemperismo, meteorización.

2.1.4.1. Fluidos o Soluciones Hidrotermales.

Soluciones acuosas ricas en volátiles y otros componentes (entre los que se pueden contar metales), formadas en el interior de la corteza y con temperaturas variables entre 500 y 100°C.

Fluidos mineralizantes; Fluidos hidrotermales desde los cuales precipitan elementos de interés económico.

Origen de las soluciones hidrotermales:

- Soluciones juveniles o magmáticas

- Aguas de deshidratación molecular
- Aguas connatas liberadas por compactación
- Aguas meteóricas infiltradas
- Aguas marinas infiltradas
- Aguas geotérmicas

2.1.4.2. Alteración Hidrotermal.

Alteración hidrotermal es el conjunto de cambios mineralógicos y texturales producidos en las rocas por efecto de las soluciones hidrotermales.

Factores que controlan la Alteración Hidrotermal:

- Temperatura: a mayor T, mayor Alteración.
- pH del fluido: a pH más ácido, mayor Alteración.
- Permeabilidad de la roca.
- Duración interacción Agua/Roca.
- Volumen del fluido hidrotermal.
- Composición de la roca.
- Presión: de manera indirecta al controlar la profundidad de la ebullición, fracturamiento hidráulico, etc.

2.1.4.3. Tipos de Alteración Hidrotermal.

El tipo de alteración varía según la composición de la solución (característico para cada tipo de yacimiento) y su temperatura (característico para cada zona o distancia a la fuente). (Ver Tabla 1)

El estudio de las alteraciones hidrotermales es importante porque constituye una guía de exploración de mena y un indicador del carácter de la solución y por ende de la génesis del yacimiento. (Ver Tabla 2)

Tabla 1. Tipos de Alteración Hipógena – Supérgena.

TIPO DE ALTERACION	MINERALES CARACTERISTICOS	T° (C)	pH	Eh	
Hipógena (Hidrotermal)	Skarn	Wollastonita, granates, olivino, piroxenos, anfíboles, escapolitas, cuarzo y magnetita.	> 350	Neutro o alcalino	Variable
	Potásica	Feldespatos potásico, biotita, sericita, anhidrita, calcita, ankerita, clorita, actinolita, magnetita, hematita, siderita.	300-500	Neutro o alcalino	Variable
	Greisen	Muscovita, feldespatos, cuarzos, topacio, turmalina, fluorita.	> 250	Neutro o alcalino	Variable
	Propilítica	Clorita, carbonatos, epidota, actinolita, albita, caolinita, sericita, piritita, arsenopiritita y menos frecuentemente zeolitas y montmorillonita.	200 - 350	Neutro o alcalino	Variable
	Sub Propilítica	Clorita - esmectita, carbonatos, illita - esmectita, zeolitas.	< 250	Neutro o alcalino	Variable
Hipógena (Hidrotermal)	Fílica	Sericita, cuarzo, piritita, dickita, pirofilita.	250 - 400	Acido (5-6)	Variable
	Argílica	Caolinita, dickita, halloysita, montmorillonita, illita - esmectita, sílice.	150 - 300	Acido (3-5)	Neutro a oxidante
	Argílica Avanzada	Sílice, cuarzo, alunita, Caolinita, dickita, diáspora.	Variable	Acido (1-4)	Neutro a oxidante
	Silificación	Cuarzo, calcedonia, jaspe, ópalo.	Variable	Acido	Variable
Supérgena	Oxidación	Hematita, limonitas, jarosita, malaquita, azurita, crisocola.	150	Acido a neutro	Oxidante
	Enriquecimiento Supergénico	Calcosita, covelita, digenita.	100 - 250	Variable	Oxidante

Fuente: INGEMMET (Curso Teórico – Práctico de Alteraciones Hidrotermales) (Año 2013).

Tabla 2. Tipos de Alteración por Yacimiento.

YACIMIENTO	ALTERACION	ASOCIACIÓN MINERALOGÍA
Pórfido de cobre	Potásica	Vetillas qz-KFPT / bt diseminada
	Fílica	qz-ser-py
	Argílica	Kao-(al)
	Propilítica	CLOs-ep-cac
Mesotermal	Argílica avanzada	kao-dick-prf-qz
	Sericítica	qz-ser
	Argílica	kao-mont
	Propilítica	CLOs-ep-cac-py
Epitermal-LS	Potásica	Qz-ser-adl / smt
	Propilítica	CLOs
Epitermal-HS	Argílica avanzada	kao-qz-al
	Silicificación	qz, calcedonia, ópalo
	Propilítica	CLOs-(ep-cac)

Fuente: INGEMMET (Curso Teórico – Práctico de Alteraciones Hidrotermales) (Año 2013).

2.1.4.4. Espectrometría en Alteraciones Hidrotermales.

La espectrometría de reflectancia es una técnica de identificación de minerales basada en la emisión de radiación electromagnética en la región del espectro infrarrojo cercano (SWIR). Dentro de este rango, algunos iones y enlaces metal-ión tienen absorciones muy definidas que permiten reconocer su existencia dentro de la muestra analizada (Litvak y Godeas 2003). La mayoría de estos iones y enlaces se encuentran en los minerales de alteración hidrotermal, por este motivo el método es de amplia aplicación en la búsqueda de áreas mineralizadas. (Ver Tabla 3)

Tabla 3. Minerales de Fácil Interpretación en el Espectro.

AMBIENTE DE FORMACION	MINERALES DE MAYOR ALTERACION
Alta Sulfuración (HS)	Alunita, Pirofilita, Dickita, Caolín, Diáspora
Baja Sulfuración (LS)	Sericita (muscovita), Illita, Esmectita, Clorita, Carbonatos
Pórfido: Cu, Cu-Au, Cu-Mo ,Au	Biotita, Anhidrita, Clorita, Sericita (muscovita), Pirofilita, ±Zeolitas, Smectitas, Carbonatos, Turmalina
Tipo Carlín	Illita, Dickita, Caolín
Sulfuros Masivos en Volcanogenicos	Sericita (muscovita), Clorita, Cloritoides, Carbonatos, Anhidrita (Gypsum), Anfíboles
Skarn	Granate, Anfíbol, Piroxeno, Talco, Diopsido, Grosularia.
Au asociado en rocas metamórficas	Carbonatos, Talco, Tremolita, Muscovita, Paragonito.

Fuente: INGEMMET (Curso Teórico – Práctico de Alteraciones Hidrotermales) (Año 2013).

2.1.4.5. Comportamiento Espectral de Minerales Representativos de Alteraciones Hidrotermales.

Las características de absorción son manifestaciones de reflejos o tonos de primero y segundo orden, la combinación de tonos de modos fundamentales que ocurren en la región media del infrarrojo. El espectrómetro SWIR es particularmente sensitivo a ciertas moléculas y radicales, incluyendo OH, H₂O, NH₄, CO₃ y los enlaces del catión OH tales como Al-OH, Mg-OH y Fe-OH. Las posiciones características en el espectro de cada mineral y sus formas típicas son función de los enlaces moleculares presentes en el mineral. (Ver Figura 2)

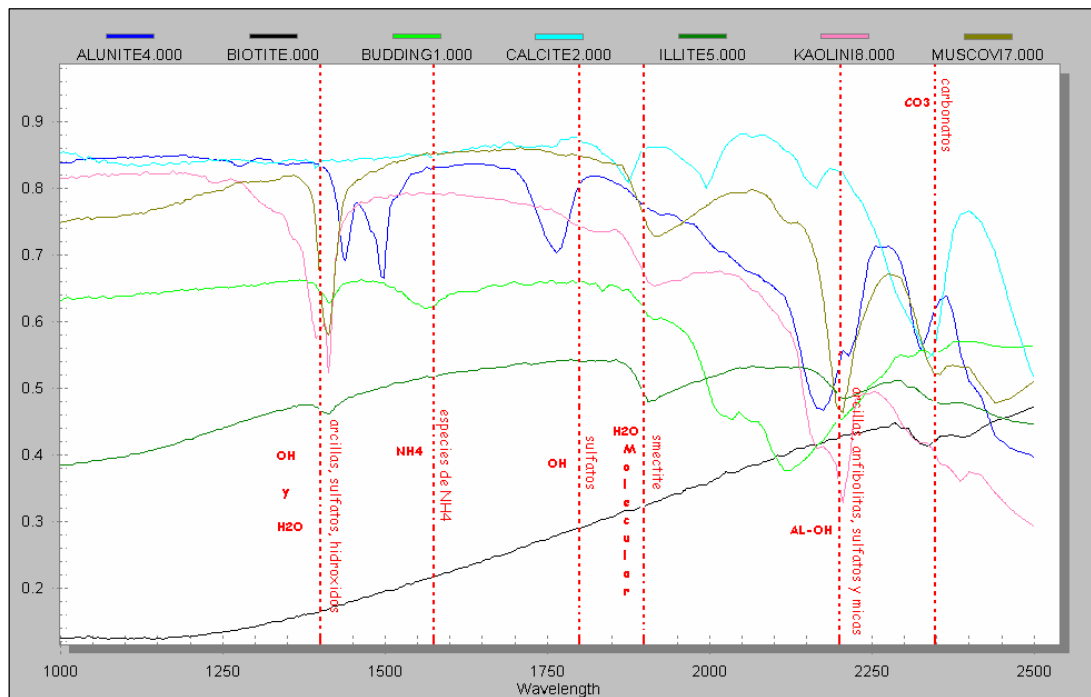


Figura 2. Rangos y Mayores Absorciones de Minerales.

Fuente: INGEMMET (Espectrometría y PIMA en Geología) (Año 2014).

La identificación de minerales está basada en la posición de las ondas, su intensidad, forma de la depresión relacionada a la absorción y la forma total del espectro.

En el rango espectral que involucra al visible (VIS), infrarrojo cercano (NIR) e infrarrojo de onda corta (1.3-2.5 μm) (SWIR), los minerales formadores de rocas y sus productos de alteración tienen rasgos espectrales característicos debido a diferentes factores como el estado de la valencia, composición química, tipo de enlace molecular y estructura cristalina.

Espectros de laboratorio de limonita, jarosita, hematita y goethita. Estos minerales tienen características fuertes de Fe^{+3} y presentan absorción en los 0.97-0.83 y 0.48 μm . La jarosita tiene características de Fe-OH y presenta absorción en los 0.97 y 2.27 μm . (Ver Figura 3)

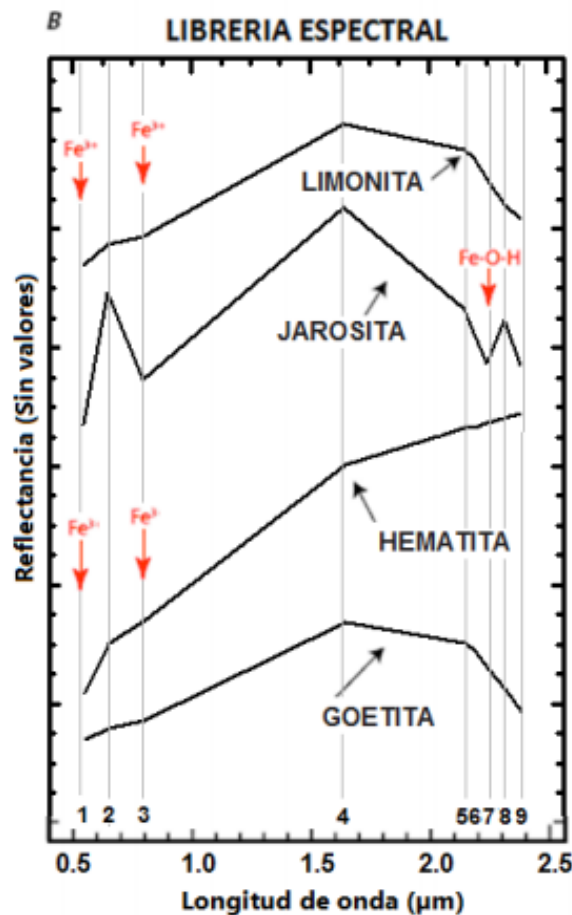


Figura 3. Absorciones de Minerales de Óxidos de Hierro.

Fuente: Modificado de Mars & Rowan, (Año 2006).

Espectros de laboratorio de epidota, calcita, muscovita, caolinita, clorita y alunita, que son minerales comunes de alteración hidrotermal (Clark et al. 1993).

Alunita y caolinita tienen características de Al-OH de absorción a 2.17 y 2.20 μm .; la muscovita ocupa un lugar importante de absorción de Al-OH en los 2.20 μm y una absorción secundaria en los 2.35 μm .; la clorita y epidota tienen características de absorción por la presencia de Fe-Mg-OH en los 2.32 μm y baja reflectancia entre los 1.65 a 0.6 μm producida por la presencia de Fe^{+2} y la calcita tiene una absorción característica en los 2.33 μm . (Ver Figura 4)

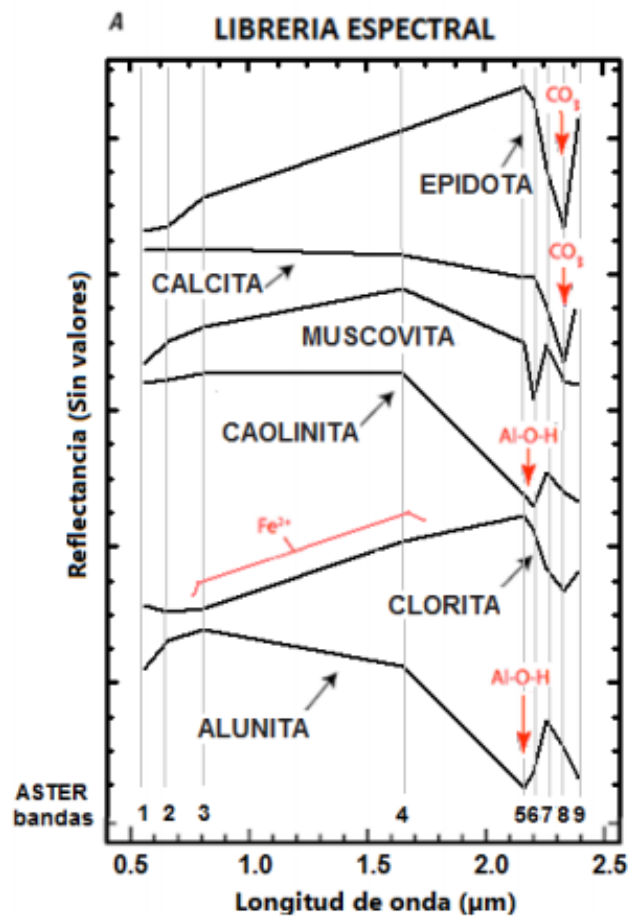


Figura 4. Absorciones de Minerales de Alteración Hidrotermal.

Fuente: Modificado de Mars & Rowan, (Año 2006).

2.1.4.6. Interpretación de la Información y su Aplicación en la Construcción de Modelos de Yacimientos.

La clasificación o zonificación utilizada para la asociación de minerales, ha sido establecida por varios autores como Hayba *et al.* (1985), White y Hedenquist (1990), Sillitoe (1993) y White *et al.* (1995), muchos de ellos incluyendo varios ejemplos de estudios de yacimientos alrededor del mundo; siendo utilizado para este estudio la recopilación en forma de tabla comparativa de Antoni Camprubí, Eduardo González-Partida, Gilles Levresse, Jordi Tritlla y Alejandro Carrillo-Chávez (Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México), estas clasificaciones nos sirve de referencia para poder caracterizar y describir los ambiente de formación de los depósitos epitermales propuestos. (Ver Tabla 4 y Figura 5)

Tabla 4. Comparación de Depósitos Epitermales de Baja y Alta Sulfuración.

	EPITERMAL DE ALTA SULFURACION (HS)	EPITERMAL DE BAJA SULFURACION (LS)
Rocas volcánicas relacionadas	Vulcanismo subaéreo, rocas ácidas a intermedias (esencialmente andesita – riodacita). Encajante de cualquier tipo.	Vulcanismo subaéreo, rocas ácidas a intermedias (esencialmente andesita – riodacita). Encajante de cualquier tipo.
Controles de emplazamiento	Fallas a escala regional o intrusiones subvolcánicas.	Cualesquiera fallas o zonas de fractura estrechamente relacionadas a centros volcánicos.
Extensión de la zona de alteración periférica	Área extensa (comúnmente varios km ²) y visualmente prominente.	Generalmente bastante restringida y de visualización muy sutil, aunque puede abarcar áreas relativamente extensas.
Alteración asociada (ver Figura 6)	Extensa alteración propilítica en zonas adyacentes con baja relación agua/roca. Depósitos profundos: intensa alteración pirofilita–mica blanca. Depósitos someros: núcleo de sílice masiva, con un estrecho margen de alunita y caolinita que hacia el exterior es de mica blanca y arcillas interestratificadas. Depósitos subsuperficiales: ingente alteración argílica. Clorita: raramente. Generalización: alt. argílica avanzada → argílica (±sericítica).	Extensa alteración propilítica en zonas adyacentes con baja relación agua/roca. Gran cantidad de mica blanca en zonas con alta relación agua/roca. Alteración argílica dominante conforme disminuye la temperatura. Los gases escapados a partir de ebullición pueden originar alteración argílica o argílica avanzada en la periferia, o bien superpuesta a partir de fluidos profundos. Clorita: común. Generalización: alt. sericítica → argílica.

Minerales clave de alteración proximal	Alunita cristalina; en profundidad, pirofilita.	Sericita o illita ± adularia; roscoelita (mica-V) en depósitos asociados a rocas alcalinas; a veces, clorita.
Geometría del cuerpo mineralizado	Relativamente pequeño y equidimensional.	Tamaño variable y morfología tabular.
Características distintivas o notables	Presencia de niveles calentados por vapor (niveles superficiales), cuarzo poroso o vuggy (niveles intermedios), mineralización superpuesta a depósitos porfíricos (en profundidad).	Presencia de sínteres y niveles o cobijaduras de calcedonia (niveles superficiales), posible presencia de vetas de sulfuración intermedia en inmediaciones de cuerpos de alta sulfuración (en profundidad).
Carácter de la mineralización económica	Típicamente diseminada, tanto en zona de mica blanca-pirofilita como en sílice masiva. Poco común como relleno de cavidades o porosidad. La mineralización está asociada habitualmente a alteración argílica avanzada, típicamente con abundante pirita.	Característicamente como relleno de cavidades o porosidad, en vetas con contactos netos con el encajante. Típico relleno de filones en bandas, comúnmente con brechificaciones polifásicas. Hacia la superficie se presenta en stockwork o diseminada, según la naturaleza de la permeabilidad primaria y secundaria local.
Ganga de cuarzo	De grano fino, masivo, originado principalmente por reemplazamiento; el cuarzo es residual (vuggy). Calcedonia: ausente en la mayoría.	Cuarzo y calcedonia dispuestos en todo tipo de texturas primarias, de recristalización o reemplazamiento de carbonatos. Calcedonia: común, en bandas.
Otros minerales de la ganga	Carbonatos: ausentes. Adularia: ausente. Alunita y pirofilita: pueden ser abundantes. Barita: diseminada con la mena. Azufre nativo: suele estar presente, rellenando cavidades. Caolinita.	Carbonatos: presentes, comúnmente calcita y rodocrosita. Adularia: diseminada y en vetas. Alunita y pirofilita: escasas. Barita y/o fluorita: presentes localmente; la barita se halla por lo común por encima de la mena. Azufre nativo: ausente. Illita.
Abundancia de sulfuros	10–90% del volumen total, sobre todo de grano fino, pirita con textura parcialmente Láminada. Contenido de azufre total típicamente alto. El contenido en metales base puede ser alto (Cu).	1–20% del volumen total, pero típicamente menos del 5%, pirita predominante. Contenido de azufre total típicamente bajo. Bajo contenido en metales base (Pb, Zn), aunque en numerosos depósitos son relativamente abundantes.
Minerales metálicos clave	Pirita, enargita-luzonita, calcopirita, calcosita, covellita, bornita, tetraedrita-tenantita, oro (esfalerita, galena, telururos). Arsenopirita: poco común. Sulfosales de Ag: raramente. Seleniuros: prácticamente ausentes. Bismutinita: ocasionalmente.	Pirita, esfalerita, marcasita, galena, electrum, oro (sulfosales de Ag, arsenopirita, argentita, calcopirita, tetraedrita). Telururos: relativamente abundantes en algunos depósitos. Enargita: muy raramente. Seleniuros: poco comunes. Bismutinita: muy raramente.
Metales predominantes	Cu, Au, As (Ag, Pb)	Au, Ag (Zn, Pb, Cu)
Metales presentes localmente	Bi, Sb, Mo, Sn, Zn, Te (Hg)	Mo, Sb, As (Te, Se, Hg)
Manifestaciones de sistemas análogos actualísticos	Fumarolas y fuentes termales de alta temperatura cercanas al foco volcánico.	Sistemas geotérmicos con fuentes termales de pH neutro, mud pools.

Fuente: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana (Año 2003).

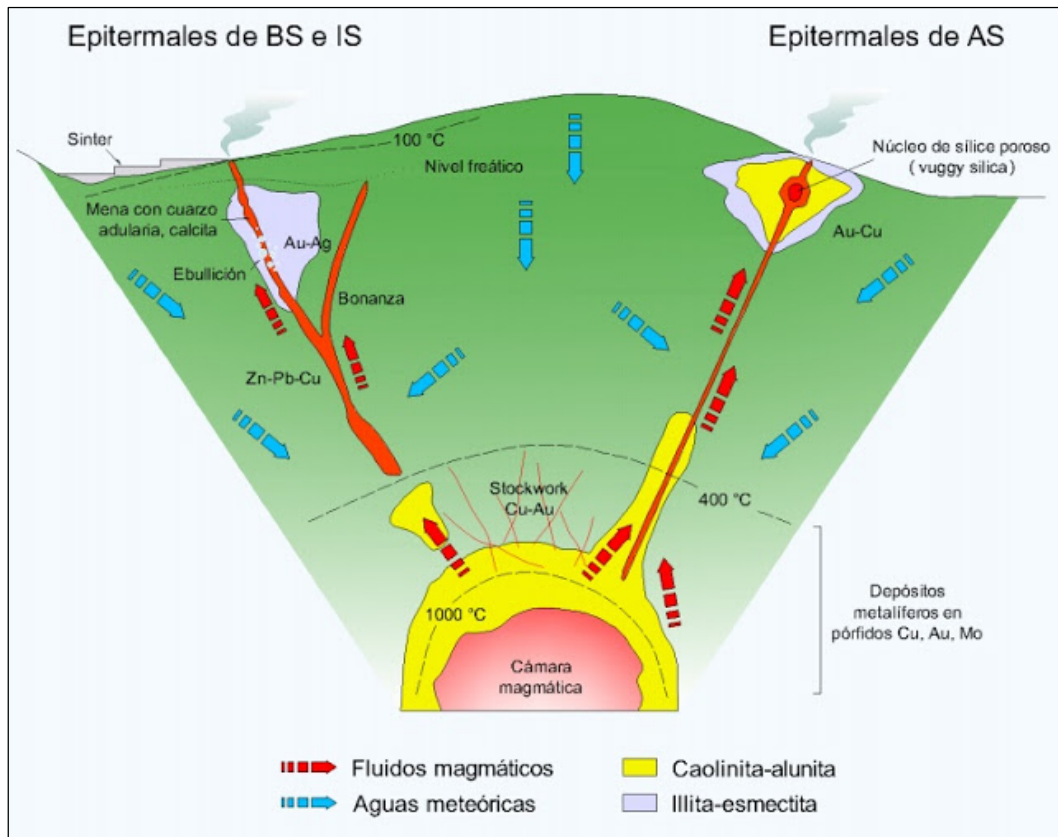


Figura 5. Comparación de Depósitos de Baja y Alta Sulfuración.

Fuente: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana (Año 2016).

2.1.5. Teledetección (PRINCIPIOS FÍSICOS).

Es la técnica que permite obtener información sobre un objeto, superficie o fenómeno a través del análisis de los datos adquiridos por un instrumento que no está en contacto con él. Se basa en que cada objeto, área o fenómeno emite un espectro electromagnético específico, en función de su propia naturaleza y de las radiaciones que recibe. La reflectancia de ese espectro electromagnético se denomina firma espectral, la cual hace distinguible a ese objeto, superficie o fenómeno de los demás.

Por lo general los datos son recogidos a través de sensores instalados en plataformas aerotransportadas o en satélites artificiales, los cuales captan la radiancia emitida o

reflejada, obteniéndose una imagen, habitualmente en falso color con una banda para cada una de estas regiones del espectro. Los avances en tecnología han permitido contar con instrumentos cada vez más precisos basados en electrónica y experimentación con materiales que permiten obtener información cada vez más completa contenida en imágenes satelitales.

2.1.5.1. Espectro Electromagnético.

Es el conjunto diferenciado de las distintas radiaciones electromagnéticas, agrupadas según su frecuencia o según su longitud de onda, a esta terminología se denomina “Espectro Electromagnético”; comprende desde las longitudes más cortas (rayos gamma, rayos X), hasta las kilométricas (tele-comunicaciones).

Desde el punto de vista aplicativo, las regiones más empleadas por las diferentes técnicas de teledetección son:

- Espectro Visible (0.4 a 0.7 μm)
- Infrarrojo Cercano (IRC: 0.7 a 1.3 μm)
- Infrarrojo Medio (IRM: 1.3 a 8 μm)
- Infrarrojo Lejano o Térmico (IRT: 8 a 14 μm)
- Micro-ondas (M. por encima de 1 mm)

Los materiales de la superficie terrestre emiten, reflejan, refractan y absorben los rayos del espectro de acuerdo a sus propiedades físicas y químicas, por lo que la ciencia de la percepción remota ha inventado sensores en cada una de las bandas del espectro electromagnético para registrar estas propiedades. (Ver Figura 6)

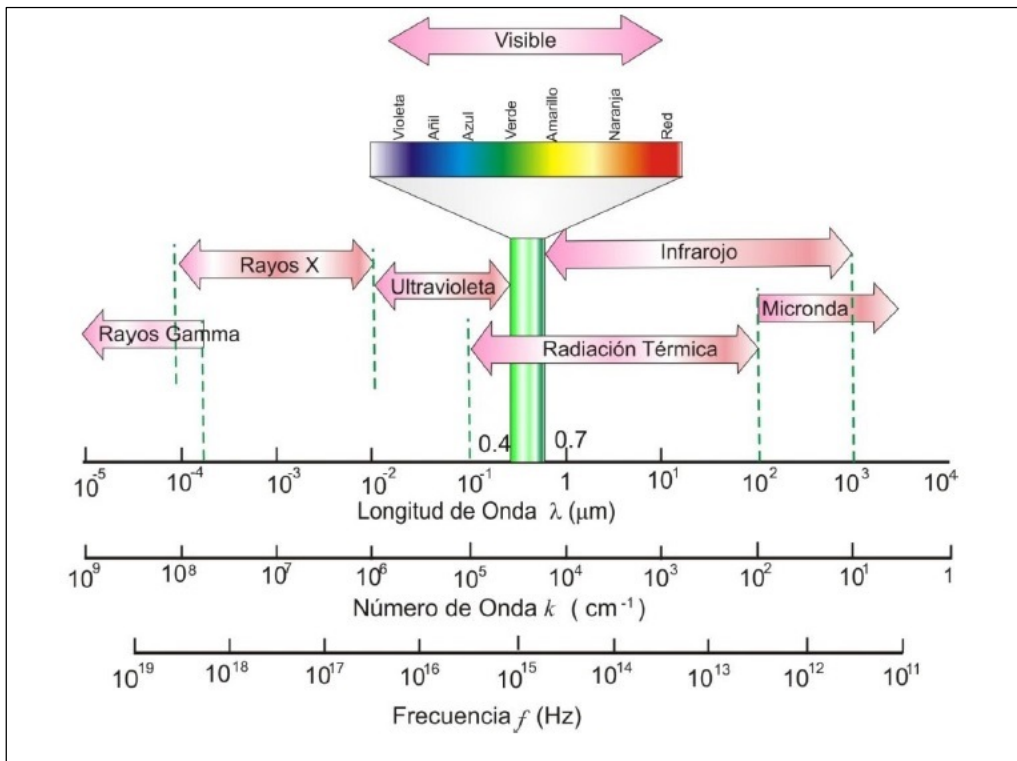


Figura 6. Espectro de Ondas Electromagnéticas en Términos de su Longitud de Onda y su Frecuencia.

Fuente: Adaptado MODEST (Año 2003).

2.1.5.2. Términos y Unidades de Medida.

Para que se pueda producir una observación remota de la superficie terrestre es preciso que el sensor detecte un flujo de energía proveniente de este; por lo tanto convendrá explicar las unidades de medida más empleadas en teledetección como objeto de ser riguroso en la posterior presentación de los procesos de adquisición. (Ver Tabla 5)

MAGNITUDES ABSOLUTAS:

- **Energía radiante (Q):**

Indica el total de energía radiada en todas las direcciones. Se mide en julio (J).

- **El Flujo radiante (Φ):**

Total de energía radiada en todas direcciones por unidad de tiempo. Se mide en vatios (W).

- **Emitancia o excitancia radiante (M):**

Total de energía radiada en todas las direcciones desde una unidad de área y por unidad de tiempo. Se mide en vatios por metro cuadrado (W/m^2).

- **Irradiancia (E):**

Total de energía radiada sobre una unidad de área y por unidad de tiempo. Es equivalente a la emitancia, si bien ésta indica la energía emitida, mientras la irradiancia se refiere a la incidente (W/m^2). Por lo tanto, tiene las mismas unidades que la emitancia y también se puede hablar de irradiancia espectral.

- **Intensidad radiante (I):**

Total de energía radiada por unidad de tiempo y por ángulo sólido (Ω). Se trata este de un ángulo tridimensional, que refiere a la sección completa de la energía transmitida, y se mide en estereo-radianes. Por tanto la intensidad radiante se mide en vatios por estereo-radian (Wsr^{-1}).

- **Radiancia (L):**

Definida como el flujo radiante por unidad de ángulo sólido procedente de una superficie normalmente ubicada a la dirección de propagación. Se cuantifica en vatios por metro cuadrado y estereo-radián ($Wm^{-2} sr^{-1}$).

- **Radiancia espectral (L_λ):**

Indica el total de energía radiada en una determinada longitud de onda por unidad de área y por ángulo sólido de medida. Por cuanto el sensor

detecta una banda particular del espectro, siéndola esta la medida más cercana a la observación remota.

MAGNITUDES RELATIVAS:

- **Emisividad (ϵ):**

Relación entre la emitancia de una superficie (M), y la que ofrecería un emisor perfecto, denominado cuerpo negro, a la misma temperatura (Mt).

- **Reflectividad (ρ):**

Relación entre el flujo incidente y reflejado por una superficie.

- **Absortividad (α):**

Relación entre el flujo incidente y el que absorbe una superficie.

- **Transmisividad (τ):**

Relación entre el flujo incidente y el transmitido por una superficie.

Tabla 5. Magnitudes Radiométricas Comúnmente Utilizadas en Teledetección.

CONCEPTO	SIMBOLO	FORMULA	UNIDAD DE MEDIDA
Energía radiante	Q	-	Julios (J)
Flujo Radiante	ϕ	$\delta Q / dt$	Vatios (W)
Emitancia	M	$\delta \phi / \delta A$	Wm^{-2}
Irradiancia	E	$\delta \phi / \delta A$	Wm^{-2}
Intensidad radiante	I	$\delta \phi / \delta \Omega$	Wsr^{-1}
Radiancia	L	$\delta \phi / \delta A \cos \theta$	$Wm^{-2} sr^{-1}$
Radiancia espectral	L_{λ}	$\delta L / \delta \lambda$	$Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$
Emisividad	ϵ	M / M_n	
Reflectividad	ρ	ϕ_r / ϕ_i	
Absortividad	α	ϕ_a / ϕ_i	
Transmisividad	τ	ϕ_r / ϕ_i	

Fuente: Teledetección Ambiental; Emilio Chuvieco Salinero, 3.ª Edición (Año 2008).

2.1.5.3. Medios para Obtener Firmas Espectrales.

Las firmas espectrales son fundamentales para reconocer cubiertas de interés o parámetros dentro de esas cubiertas, por lo que es recomendado que sean punto de partida para la mayor parte de los trabajos de teledetección; las firmas espectrales de una cubierta pueden obtenerse de diferentes formas:

- Medirla con un radiómetro.
- Extraerla de una biblioteca espectral puesta a punto por alguna institución.
- Simularla mediante modelos físicos.
- Extraerla de alguna imagen con la debida resolución espectral.

2.1.5.4. Interacción de la Atmosfera con la Radiación. Electromagnética.

Como es sabido la atmosfera se compone de gases como: *nitrógeno (N₂)*, *Oxígeno (O₂)*, *argón (Ar)*, *vapor de agua (H₂O)*, *dióxidos de carbono (CO₂)* y *aerosoles*; entre esos componentes el *dióxido de carbono (CO₂)*, *ozono (O₃)* y *valor de agua H₂O* () son los principales responsables de la interacción con la energía electromagnética. Su efecto es triple por un lado absorben energía incidente en determinadas bandas del espectro, lo que limita la observación espacial a aquellas bandas en donde esta absorción es menos intensa; dispersan determinados flujos y emiten otros como cuerpos calientes. Estos procesos producen modificaciones, en ocasiones muy severas, en la radiación originalmente propagada entre la cubierta y el sensor, por lo que es preciso tenerlos en cuenta de cara a obtener una medición más precisa de las características del territorio observado.

- **Dispersión Atmosférica (Reflexión):**

Reflexión de la energía electro magnética que atraviesa la atmósfera en todas las direcciones, al chocar con las partículas suspendidas en la atmósfera o con las moléculas de los gases que la componen. Factores de los que depende:

- Espesor de la atmosfera que la energía electromagnética tiene que atravesar.
- Longitud de onda de la energía electromagnética.
- Tamaño y abundancia de las partículas en suspensión en la atmósfera.

Tipos de dispersión atmosférica:

- **Rayleigh ($\phi < \lambda$):** Afecta a las longitudes de onda más cortas y es la más dispersa que el resto (cielo). Inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda (Ley de Rayleigh).
- **Mie ($\phi \approx \lambda$):** Afectan a mayores longitudes de onda (aerosoles y polvo atmosférico).
- **No selectiva ($\phi > \lambda$):** Afecta por igual en cualquier longitud de onda (nubes o nieblas).

Efectos de la dispersión atmosférica en las imágenes.

- Disminuye la radiancia directa y aumenta la radiancia difusa (luz atmosférica).
- Se reduce el contraste y por tanto la calidad de la imagen.

- Para evitarla, no se usan las bandas de λ corta, si no hay una razón poderosa para ello.

- **Absorción Atmosférica:**

Selectiva en cuanto a la longitud de onda; provocada fundamentalmente por cuatro gases:

- **Oxígeno molecular (O₂):** ultravioleta $< 0,1 \mu\text{m}$, IRT.
- **Ozono (O₃):** ultravioleta $< 0.3 \mu\text{m}$, microondas (27 mm).
- **CO₂:** IRT (15 μm), e IRM (2.5 a 4.5 μm).
- EFECTO INVERNADERO
- **Vapor de agua:** 5.5 – 7 μm .

Sólo se puede utilizar en teledetección la energía electro magnética que no es retenida por la atmósfera. Esos tipos de energía se conocen con el nombre de **VENTANAS ATMOSFÉRICAS**. (Ver Figura 7)

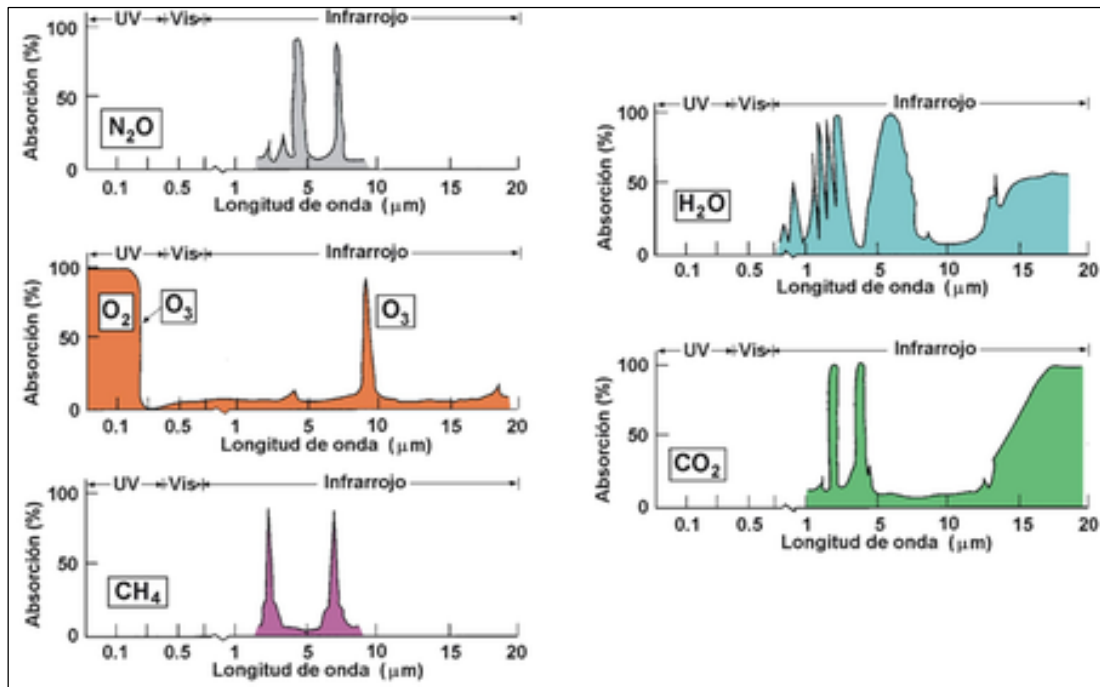


Figura 7. Coeficiente de absorción (en %) por gases atmosféricos, en función de la longitud de onda del espectro electromagnético, distinguiéndose las ventanas atmosféricas (UV) Ultra Violeta, (Vis) Visible y (IR) Infrarrojo.

Fuente: Universidad Complutense de Madrid - Taller Virtual de Meteorología y Climatología (Año 2015).

- **Emisión Atmosférica:**

La atmósfera, igual que cualquier otro cuerpo, también emite la energía electro magnética en cantidades y en longitud de onda controladas por su temperatura (leyes de Planck y Wien).

Afecta fundamentalmente a los estudios térmicos de la superficie terrestre.

CORRECCIONES ATMOSFÉRICAS.

- Pretenden eliminar el efecto de la atmósfera en las imágenes
- Problemas:

1. La composición de la atmósfera (y por tanto su efecto sobre las imágenes) varía en el espacio y en el tiempo.
2. Muy raramente se dispone de información sobre la composición de la atmósfera simultánea a la adquisición de la imagen.

2.1.6. Tipos de Sensores y Plataformas.

2.1.6.1. Tipo de Sensores.

Un sistema de teledetección tiene que estar compuesto por tres componentes básicos: foco energético, superficie terrestre y sensor.

Los sensores remotos se pueden clasificar por el procedimiento de recibir la energía procedente del suelo y sus respectivas cubiertas. Los dividimos en sensores pasivos y activos. Los pasivos son sensores fotográficos, óptico-electrónicos y de antena. El sensor activo más conocido es el radar.

- **Activos:**

Generan ellos mismos la radiación que miden tras ser reflejada. (Ver Figura 8)

- *Radar:* La característica común es la capacidad de emitir un haz energético que luego recogen tras su reflexión sobre la superficie. El radar puede trabajar en cualquier condición atmosférica. Además del radar de imágenes, los satélites también han incorporado otros equipos de medición de distancias y de vientos.

- *Lídar*: Es un sensor activo que emite pulsos de luz entre el ultravioleta y el infrarrojo cercano. Crea información sobre el tipo de partículas de la zona de estudio.

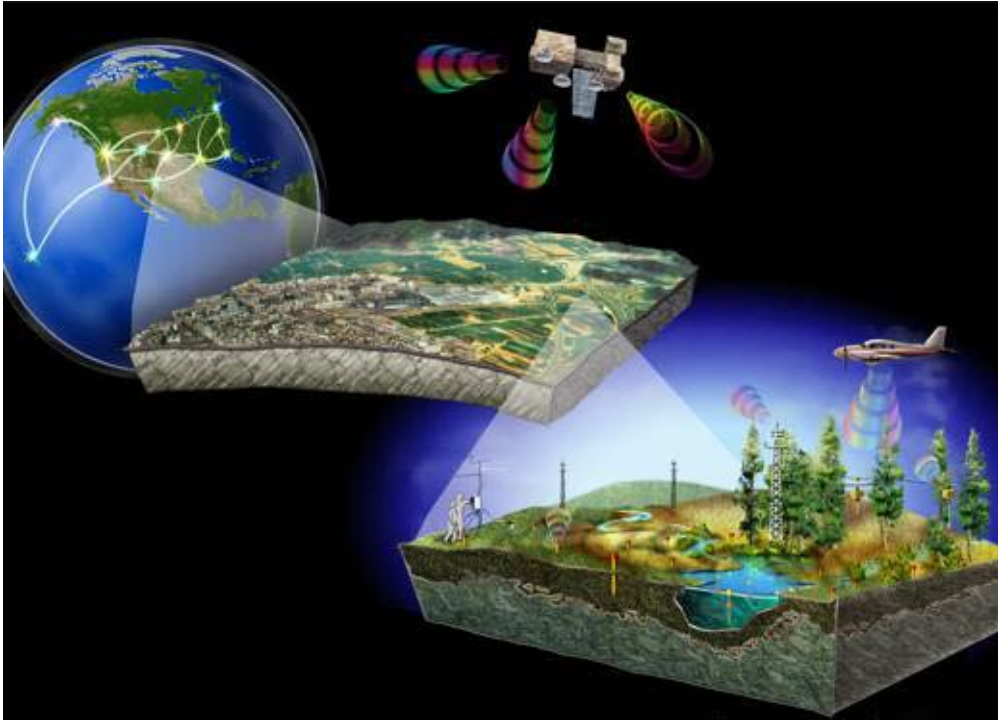


Figura 8. Sensores Activos - Radar y Vuelo Lidar.

Fuente: GeoClever S.G.I. (Soluciones Geosistemicas Integrales) (Año 2016).

- **Pasivos:**

Registran la radiancia reflejada o emitida por la superficie terrestre. (Ver Figura 9)

- *Fotográficos*: Las cámaras fotográficas son el medio más utilizado en teledetección. La película fotográfica más utilizada es el film pancromático (blanco y negro). Las de color mezclan distintas capas fotoquímicas. También se utilizan filmes en infrarrojo blanco y negro y el infrarrojo color. El número de

objetivos puede variar entre una cámara mono o multibanda. En el caso de multibanda se puede incorporar varios objetivos o bien ensamblando varias cámaras.

- *Óptico-electrónicos:*

Exploradores de Barrido (Cross-track scanners):

Consiste en un espejo móvil mecánico que oscila perpendicularmente a la dirección de la trayectoria que les permite explorar una franja de terreno a ambos lados del satélite. Permiten ampliar la banda del espectro detectada a longitudes de onda mayores del visible. Tiene mayor facilidad en la calibración y corrección radiométrica, así como también realiza coberturas sistemáticas y de grandes espacios; entre sus desventajas resalta que el espejo móvil puede fallar y consta de una baja resolución.

Exploradores de Empuje (Along-track scanners):

Permite aumentar la resolución espacial respecto a los barredores convencionales y reducen problemas geométricos; entre sus desventajas reconocemos la variabilidad de sensores y la difícil calibración.

Destacan, también, dos sistemas pasivos utilizados frecuentemente, las cámaras de vídeo y los sensores radiómetros de micro-ondas.

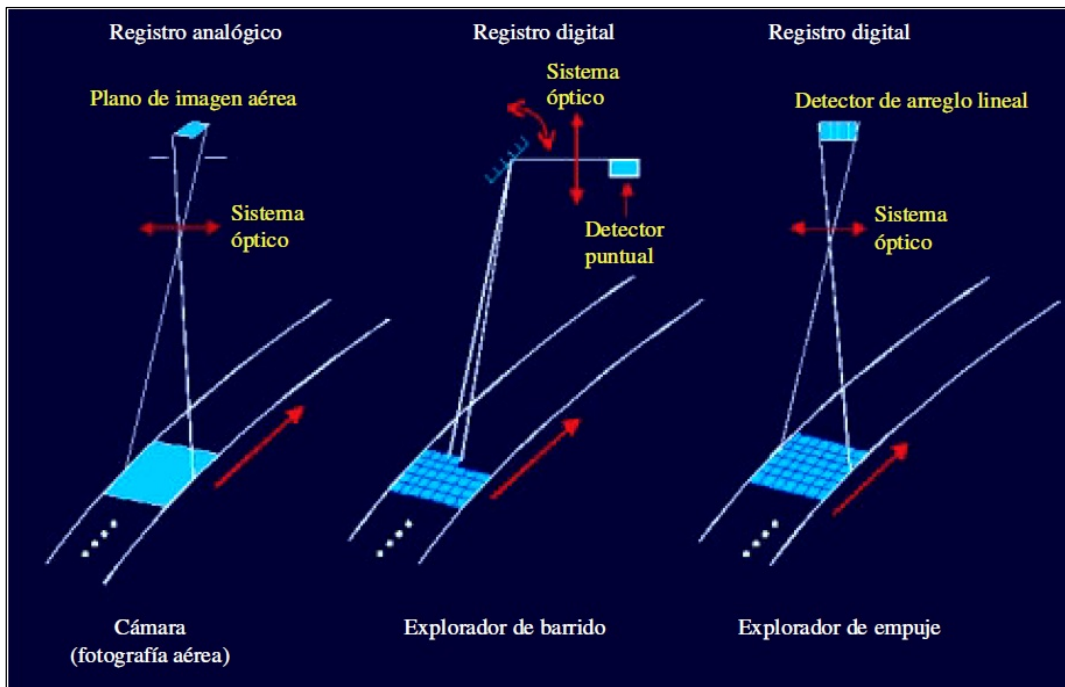


Figura 9. Sensores Pasivos – Fotográficos y Óptico-Electrónicos.

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) –Percepción Remota (Año 2015).

2.1.6.2. Tipo de Plataformas (Espaciales).

Se consideran como plataformas aquellos aparatos o dispositivos móviles o semimóviles que llevan a bordo un sensor, el cual ha sido diseñado para coleccionar información de los objetos o materiales que nos rodean. (Ver Figura 10)

Las plataformas espaciales son satélites que pueden ser clasificados de la siguiente manera:

- Órbita geostacionaria (Observan siempre la misma región de la Tierra; altura de la órbita del orden de los 36,000 Km.):
 - Telecomunicaciones (Solidaridad)
 - Meteorológicos (GOES, METEOSAT – MSG, etc.)

- Órbita heliosincrónica polar (Asegura cobertura total de la superficie terrestre y las mismas condiciones de iluminación solar para la misma zona.):
 - Meteorológicos (NOAA, Terra, Aqua, etc.)
 - De reconocimiento de recursos terrestres (ASTER, LANDSAT, SPOT, ERS, IKONOS, etc.)

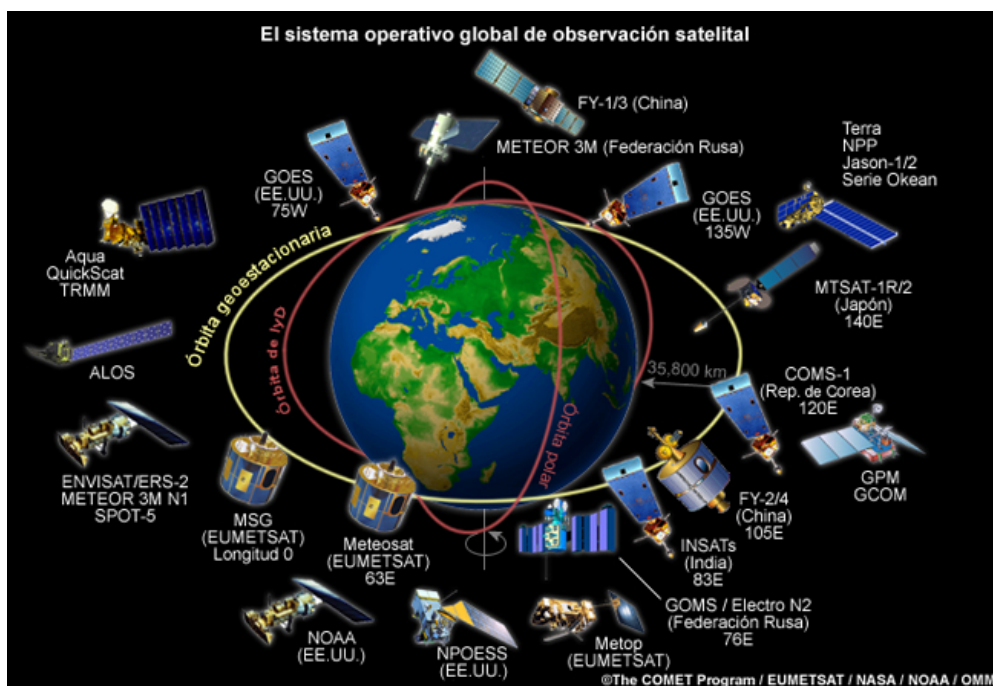


Figura 10. Tipo de Plataformas Según Desplazamiento Orbital.

Fuente: Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA)- EEUU (Año 2015).

2.1.7. Resolución de un Sistema Sensor.

La resolución de un sistema sensor es la habilidad para discriminar información de detalle. Dicha resolución depende del buen funcionamiento y combinación de sus componentes. (Ver Figura 11)

2.1.7.1. Resolución Espacial.

Tamaño sobre el terreno de la mínima unidad de información contenida en la imagen (pixel). Depende de: altura orbital, IFOV (*Instantaneous Field Of View*) del sensor y el tipo de sensor.

- **Muy variada:** 1m (Ikonos) – 5 km (Meteosat).

2.1.7.2. Resolución Espectral.

Indica el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor, mientras más bandas tenga el sensor mayor será su resolución espectral.

- Grandes diferencias entre sistemas de teledetección: pancromáticos, multispectrales e hiperspectrales, generales y específicos.

2.1.7.3. Resolución Radiométrica.

Capacidad del sensor en discriminar intensidades o niveles de radiancia, a mayor número de bits mayor la resolución radiométrica.

- Número de niveles o valores digitales usados para codificar la información: 64, 128, 256, 1024 ó 2048, etc. (6, 7, 8, 10 u 11 bits).

2.1.7.4. Resolución Temporal.

Frecuencia con que el sensor adquiere una imagen del mismo punto de la superficie terrestre. Depende fundamentalmente del tipo y altura de la órbita.

- **Grandes diferencias entre sistemas:** 15 minutos (MSG) – 26 días (SPOT).

2.1.7.5. Resolución Angular.

Capacidad de un sensor para tomar imágenes oblicuas. Esta propiedad permite no solamente acortar los ciclos temporales de recubrimiento, sino que posibilita la generación de imágenes estereoscópicas y por lo tanto la reconstrucción del relieve.

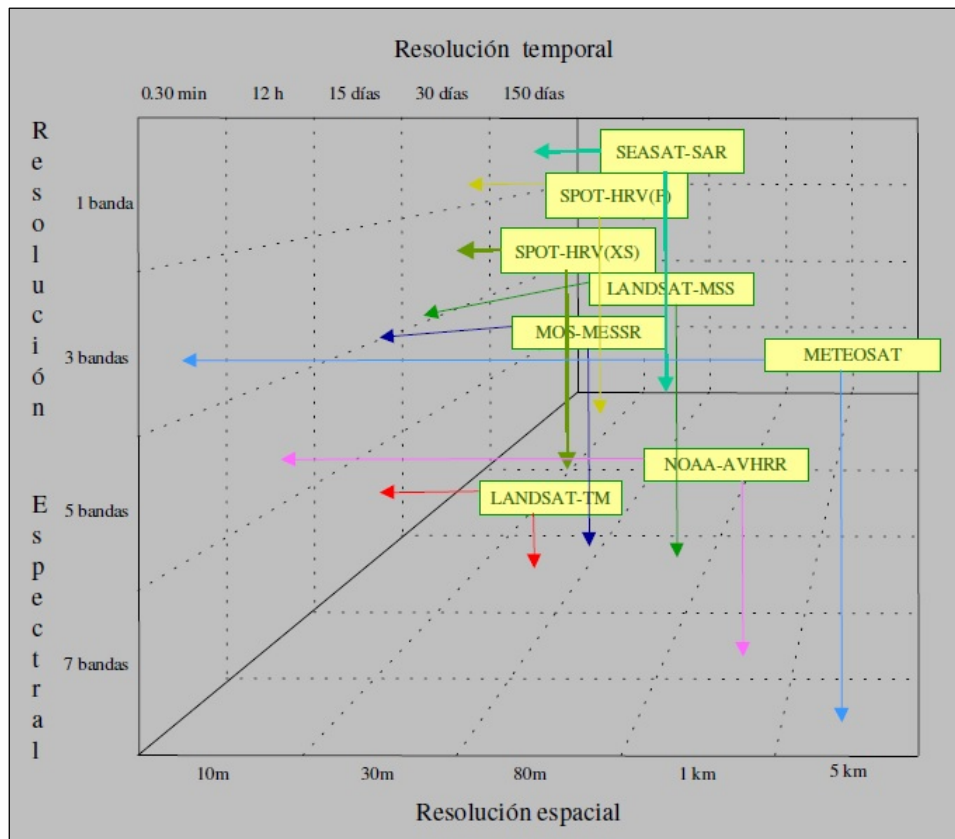


Figura 11. Relación entre Resolución Espacial, Espectral y Temporal para Distintos Sensores.

Fuente: Elementos de Teledetección Espacial. Madrid, RIALP, Chuvieco, Emilio (Año 1990).

2.1.8. Plataformas de Teledetección Espacial.

2.1.8.1. Programa Satelital LANDSAT.

Los orígenes de este programa de satélites no tripulados están en el programa ETRS (*Earth Resources Technology Satellite*) que lanzó las primeras series de satélites ERTS-1 en 1972. Posteriormente parte del Programa de Registro de Recursos Terrestres de la NASA, el programa ERT y los satélites ERTS fueron renombrados como

LANDSAT. Este sistema fue dirigido por la NASA hasta 1983 momento en que la responsabilidad de la operación del sistema fue transferida a la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). En 1985 dicha responsabilidad pasó a la compañía privada EOSAT (Earth Observation Satellite Company) y en la actualidad volvió a ser administrado por la NASA (National Space and Space Administration), con la producción y comercialización del Servicio de Geología de los EEUU (USGS). Los datos suministrados por las misiones LANDSAT han sido utilizados por multitud de gobiernos y empresas privadas de todo el mundo para diversas aplicaciones tanto públicas como privadas: estudios de dirección de los cambios globales registrados en los movimientos de tierras y aguas, exploración de posibles recursos naturales, estudios de polución, detección de cambios en la superficie terrestre, creación de documentos cartográficos, pronósticos de rendimientos agrícolas, etc. (Ver Figura 12)

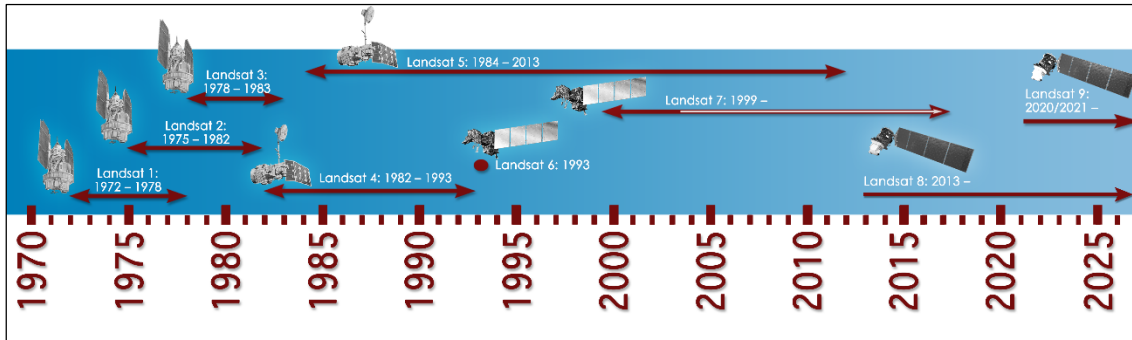


Figura 12: Resumen Histórico - Programa LANDSAT.

Fuente: NASA Earth Science; Programa Landsat (Año 2017).

Web: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/a-landsat-timeline/>

- **Primera Generación LANDSAT (RBV - MSS):**

LANDSAT 1 fue puesto fuera de servicio en 1978 después de un mal funcionamiento de un sensor y los LANDSAT 2 y 3 fueron puestos fuera de comunicación en 1983. La plataforma de la primera generación era una modificación de los satélites meteorológicos Nimbus. La órbita era heliosincrónica, polar, ligeramente inclinada (99.1 grados), la altura orbital media era de 917 Km. y circundaba la Tierra cada 103 minutos, realizando 14 órbitas diarias para volver sobre la misma porción de la superficie terrestre a los 18 días, ya la misma hora local, necesitando 252 órbitas para cubrir la superficie terrestre. Esta primera generación transportaba dos tipos de sensores de imágenes:

- El Barredor Multiespectral (MSS),
- La Cámara de Retorno de Rayos Vidicón (RBV).

- **Segunda Generación LANDSAT (MSS - TM):**

La segunda generación de satélites Landsat está formada por los LANDSAT 4 (1982) y LANDSAT 5 (1984). Siguen una órbita casi polar con una altitud de 705 Km. Para cubrir la superficie terrestre necesitan 16 días y 233 órbitas. El solape de las imágenes en el ecuador es del 7,6% y cruza dicho círculo máximo a las 10: 30 am. Las únicas áreas terrestres no cubiertas por los Landsat son las regiones polares con una latitud superior a 81 grados norte y sur. Los sistemas formadores que equipaban eran dos, el MSS, usado anteriormente, y un nuevo sensor denominado Thematic Mapper (TM). La segunda generación recibe una actualización con el lanzamiento del satélite LANDSAT 7 el 15 de abril de 1999, anteriormente hubo problemas para poner en órbita el que hubiera sido el LANDSAT 6. (Ver Figura 13)

- **Tercera Generación LANDSAT (ETM+):**

La tercera generación de imágenes LANDSAT 7 ETM+ está compuesta por 8 bandas espectrales; entre las principales mejoras técnicas respecto de su antecesor, el satélite LANDSAT 5 TM, se destaca la adición de una banda espectral (Banda Pancromática) con resolución de 15 metros. Las mejoras en las características geométricas y radiométricas y una mayor resolución espacial de la banda térmica de 60m. Estos avances tecnológicos permiten calificar al LANDSAT 7 ETM+ como uno de los satélites más interesantes para la generación de imágenes con aplicaciones directas hasta una escala de 1:25.000.

Un factor importante es que el período de revolución del LANDSAT 7 ETM+ es igual al LANDSAT 5 TM (16 días) y una imagen cubre igual área (185 x 185

km. por escena). La conservación de estos parámetros técnicos facilita que el proceso de captura de imágenes que permite una perfecta integración entre el procesamiento de las imágenes del LANDSAT 7 ETM+ con datos históricos del LANDSAT 5 TM, que existen desde 1984. Esto es especialmente útil cuando es necesario utilizar dos tipos de datos de un mismo lugar en forma simultánea, con estudios multitemporales. (Ver Tabla 6 y Figura 13)

- **Cuarta Generación LANDSAT (OLI- TIRS):**

LANDSAT 8 lleva consigo dos instrumentos, el primero de ellos es el conocido por las siglas OLI (*Cámara Terrestre Operacional*), y posee tres nuevas bandas en comparación con su antecesor ETM+ (*Generador Temático Mejorado de Mapas Plus*); la banda azul profundo (0,433 -0,453 μ m), que está principalmente destinada a estudios costeros y aerosoles, una banda infrarroja de onda corta (1,36-1,38 μ m) para la detección de cirros, y una tercera banda que evalúa la calidad de la información (*Quality Assessment band*). El segundo instrumento es el TIRS (*Sensor Térmico Infrarrojo*), que proporciona dos bandas térmicas. (Ver Tabla 6 y Figura 13)

Una de las características más destacables de estos nuevos sensores es la mejor relación señal – ruido (SNR) con un rango dinámico de 12 bits, lo cual se traduce en 4.096 posibles niveles de grises en una imagen. En comparación, supera ampliamente la información obtenida por los anteriores sensores que reconocían sólo 256 niveles de grises al trabajar en 8 bits. Básicamente, la mejora del rendimiento de señal – ruido permite, por ejemplo, el lograr una mejor diferencia y caracterizar el estado de la cubierta vegetal. Los productos finalmente se

distribuyen de manera gratuita en formato *Geo Tiff metadata* compuestos por un paquete de 11 bandas que son re escaladas un rango dinámico de 16 bits, que se traduce en una escala de 65.535 niveles de grises.

- **Quinta Generación LANDSAT (OLI-2 / TIRS-2):**

LANDSAT 9, está diseñado para visualizar simultáneamente cuatro bandas espectrales visibles, una banda espectral de infrarrojo cercano, tres bandas espectrales de infrarrojo de onda corta a 30 m de resolución espacial, más una banda pancromática a 15 m resolución espacial, y dos bandas térmicas de infrarrojos (bandas 10 y 11) a 100 m; El instrumento OLI-2 de LANDSAT 9 proporcionará fuentes de calibración internas para garantizar la precisión y estabilidad radiométricas, así como la capacidad de realizar calibraciones solares y lunares, el TIRS de LANDSAT 8 tiene un problema de luz parásita que permite que la luz fuera de la imagen alcance el plano focal y reduzca la precisión de sus medidas térmicas, especialmente para la Banda 11. Esto se remediará en TIRS-2. (Ver Tabla 6 y Figura 13)

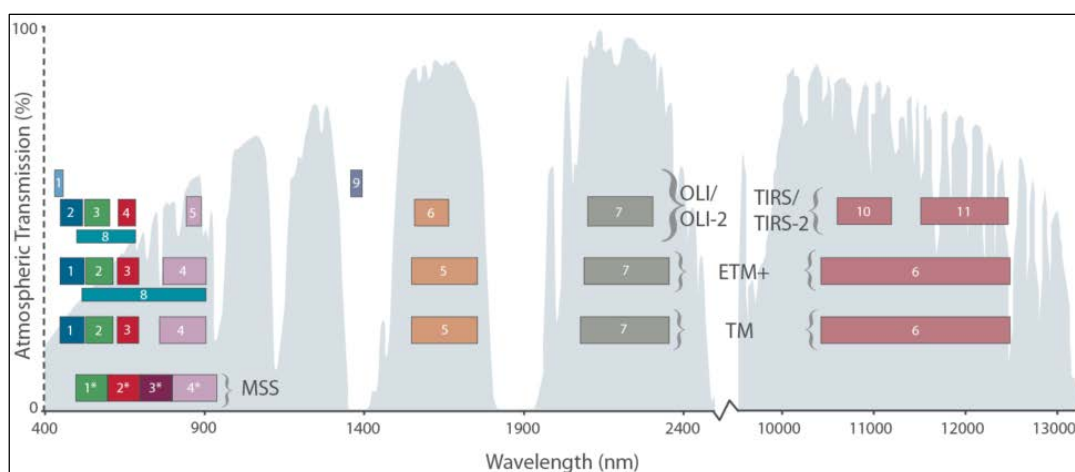


Figura 13. Distribución de Bandas en el Espectro - Programa LANDSAT.

Fuente: NASA Earth Science; Programa Landsat (Año 2018).

Web: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/a-landsat-timeline/>

Tabla 6. Especificaciones Técnicas de Sensores- Programa LANDSAT.

PLATAFORMA	SENSOR	SUBSISTEMA	BANDA	RANGO ESPECTRAL	RESOLUCION ESPACIAL	RESOLUCION ESPECTRAL	RESOLUCION RADIOMETRICA	RESOLUCION TEMPORAL	ANCHO ESCENA
LANDSAT 7	ETM+	AZUL	Band 01	0.45 - 0.52	30 m	08 Bandas	256 niveles (8 bits)	16 días	185 km
		VERDE	Band 02	0.53 - 0.61					
		ROJO	Band 03	0.63 - 0.69					
		NIR	Band 04	0.78 - 0.90					
		SWIR	Band 05	1.55 - 1.75					
			Band 07	2.09 - 2.35					
		TIR	Band 06	10.40 - 12.50	60 m				
PANCHROMATIC	Band 08	0.52 - 0.90	15 m						
LANDSAT 8	OLI Y TIRS	COSTERA	Band 01	0.43 - 0.45	30 m	11 Bandas	65,535 niveles (16 bits)	16 días	185 km
		AZUL	Band 02	0.45 - 0.51					
		VERDE	Band 03	0.53 - 0.59					
		ROJO	Band 04	0.64 - 0.67					
		NIR	Band 05	0.85 - 0.88					
		SWIR	Band 06	1.57 - 1.65					
			Band 07	2.11 - 2.29					
		PANCHROMATIC	Band 08	0.50 - 0.68	15 m				
		CIRRUS	Band 09	1.36 - 1.38	30 m				
		TIR	Band 10	10.60 - 11.19	100 m (*30)				
Band 11	11.50 - 12.51								
LANDSAT 9	OLI-2 Y TIRS-2	COSTERA	Band 01	0.43 - 0.45	30 m	11 Bandas	65,535 niveles (16 bits) POR CONFIRMAR	16 días	185 km
		AZUL	Band 02	0.45 - 0.51					
		VERDE	Band 03	0.53 - 0.59					
		ROJO	Band 04	0.64 - 0.67					
		NIR	Band 05	0.85 - 0.88					
		SWIR	Band 06	1.57 - 1.65					
			Band 07	2.11 - 2.29					
		PANCHROMATIC	Band 08	0.50 - 0.68	15 m				
		CIRRUS	Band 09	1.36 - 1.38	30 m				
		TIR	Band 10	10.60 - 11.19	100 m				
Band 11	11.50 - 12.51								

Fuente: Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) – Misión Landsat, (Año 2018).

Web: <http://landsat.usgs.gov>

- **LANDSAT en la Exploración Geológica – Minera:**

Mediante la combinación de bandas se puede resaltar variaciones de color, tonalidad, textura de las rocas, es muy utilizada para el mapeo de estructuras y detectar zonas de óxidos y arcilla.

Debido a la resolución espacial de las imágenes LANDSAT se puede trabajar a escalas aproximadas de: 1/80,000 con las bandas de 30 metros y 1/35,000 para la banda pancromática de 15 metros.

2.1.8.2. Plataforma Earth Observing-1 (EO-1).

Satélite experimental de la NASA del denominado “New Millennium Program” (NMP) lanzado el 21 de noviembre de 2000. En él se han probado y validado nuevas tecnologías para aplicar en futuras misiones continuadoras del programa LANDSAT, con el fin de reducir los altos costos actuales. A efectos de poder comparar espacial y temporalmente las imágenes obtenidas, la órbita de EO-1 se ha diseñado de tal modo que pase 1 ó 2 minutos después del LANDSAT-7. El satélite orbita a una altitud de 705 km.

EO-1 suministra imágenes multispectrales captadas por el sensor ALI e hiperspectrales del sensor HYPERION. El tamaño de las escenas es de 37 x 42 km para el sensor ALI y de 7,7 x 42 km para HYPERION. Existe la opción, en ambos casos, de ampliar el largo de la escena hasta 185 km. Tanto las imágenes de archivo como las nuevas adquisiciones son gratuitas.

- **Sensor ALI:**

ALI (*Advanced Land Imager*). Sensor multiespectral equivalente al ETM+ de LANDSAT 7, con la diferencia de poseer 10 bandas (ETM+ posee 7), que abarcan el mismo ancho del espectro. Estas bandas han sido diseñadas para imitar seis bandas LANDSAT con tres bandas adicionales que cubren 0.433-0.453, 0.845-0.890 y 1.20-1.30 μm ; con una resolución espacial de 30 metros y una banda adicional que corresponde al canal pancromático (0.480-0.690 μm), con una resolución espacial de 10 metros. El ancho de barrido es de 37 km y tiene una capacidad de visión lateral de hasta 15°. (Ver Tabla 7)

Tabla 7. Especificación Técnica del Sensor ALI.

PLATAFORMA	SENSOR	SUBSISTEMA	ALI - BANDA		RANGO ESPECTRAL	RESOLUCION ESPACIAL	RESOLUCION ESPECTRAL	RESOLUCION RADIOMETRICA	RESOLUCION TEMPORAL	ANCHO ESCENA
	ALI	PANCHROMATIC	PAN	Band 01	0.480-0.690	10 m	10 Bandas	65,536 niveles (16 bits)	16 días	37 km
		VNIR (VIOLETA)	MS-1*	Band 02	0.433-0.453	30 m				
		VNIR (AZUL)	MS-1	Band 03	0.450-0.515					
		VNIR (VERDE)	MS-2	Band 04	0.525-0.605					
		VNIR (ROJO)	MS-3	Band 05	0.630-0.690					
		VNIR	MS-4	Band 06	0.775-0.805					
			MS-4*	Band 07	0.845-0.895					
		SWIR	MS-5*	Band 08	1.200-1.300					
			MS-5*	Band 09	1.550-1.750					
			MS-7	Band 10	2.080-2.350					

Fuente: Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) – ALI Sensor, (Año 2018).

Web: <https://archive.usgs.gov/archive/sites/eo1.usgs.gov/ali.html>

- **ALI en la Exploración Geológica – Minera:**

ALI al igual que LANDSAT y ASTER permite la discriminación litológica y el mapeo de estructuras geológicas, a diferencia de LANDSAT y ASTER, ALI solo tiene 37 km x 42 km - 180 km (la longitud de la toma es variable).

En el mapeo de óxidos y arcillas ALI da resultados más fiables, debido a sus características espectrales.

Si comparamos ALI y ASTER, ALI es mejor en el mapeo de óxidos, puesto q tienen 6 bandas en el VNIR y ASTER solo posee 3, en el caso del mapeo de arcillas, ASTER es el mejor sensor multiespectral gratuito hasta la fecha.

- **Sensor HYPERION:**

El Hyperion ofrece una cámara hiperespectral de alta resolución capaz de resolver 220 bandas espectrales (0,4-2,5 μm) con una resolución de 30 metros.

El ancho de barrido es de 7.5 kilómetros por 100 kilómetros superficie terrestre por imagen y brindar mapeo espectral detallada a través de los 220 canales con alta precisión radiométrica.

Las imágenes hiperespectrales son de amplia aplicación en la minería, la geología, la silvicultura, la agricultura y la gestión ambiental. Los resultados de clasificación detallada de los bienes de la Tierra a través de las imágenes Hyperion permitirán contar con una mayor precisión en la exploración de minerales a distancia, mejores predicciones del rendimiento de los cultivos y en sus evaluaciones. (Ver Tabla 8)

Tabla 8. Especificación Técnica del Sensor Hyperion.

PLATAFORMA	SENSOR	SUBSISTEMA	BANDA	RANGO ESPECTRAL	RESOLUCION ESPACIAL	RESOLUCION ESPECTRAL	RESOLUCION RADIOMETRICA	RESOLUCION TEMPORAL	ANCHO ESCENA
EO-1	HYPERION	VISIBLE	Band 01 - 35	0.356 - 0.701	30 m	35 Bandas	4096 niveles (12 bits)	200 días	7.7 Km
		NIR	Band 36 - 70	0.711 - 1.058		35 Bandas			
		SWIR	Band 71 - 242	0.852-2.577		172 Bandas			
						242 bandas			

Fuente: Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) – Hyperion Sensor, (Año 2018).

Web: <https://archive.usgs.gov/archive/sites/eo1.usgs.gov/hyperion.html>

- **HYPERION en la Exploración Geológica – Minera:**

Las imágenes HYPERION son usadas para el detallado de minerales, el procesamiento de datos HYPERION, se hace mediante técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes hiperespectrales.

2.1.8.3. Plataforma TERRA (EOS-AM 1).

TERRA es un satélite científico puesto en órbita por la NASA el 18 de diciembre de 1999, en el que han participado las agencias espaciales de Estados Unidos, Japón y Canadá. El objetivo principal de este satélite es el estudio de los ciclos del carbono y de la energía, contribuyendo así a analizar la “salud” del planeta Tierra en su conjunto. TERRA fue el primer satélite del programa EOS (Earth Observing System), que consiste en un sistema integral de monitorización de la Tierra por medio de una serie de satélites de órbitas polares sincronizadas, que llevan a cabo observaciones a nivel global de la superficie terrestre, la atmósfera y los océanos.

- **Sensor ASTER:**

ASTER (*The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) presenta una órbita heliosincrónica a una distancia de 705 kilómetros, con un ciclo de repetición de 16 días, un ancho de barrido de 60 kilómetros y una distancia entre órbitas de 172 Km. ASTER está compuesto por 3 subsistemas, VNIR, SWIR y TIR; cada uno de cuales presenta características particulares tales como 3 bandas en la región espectral del visible e infrarrojo cercano (VNIR) con una resolución espacial de 15 metros; 6 bandas en la región espectral del infrarrojo de onda corta (SWIR) con una resolución espacial de 30

metros y 5 bandas en el infrarrojo térmico con una resolución espacial de 90 metros. (Ver Tabla 9)

Tabla 9. Especificación Técnica del Sensor ASTER.

PLATAFORMA	SENSOR	SUBSISTEMA	BANDA	RANGO ESPECTRAL	RESOLUCION ESPACIAL	RESOLUCION ESPECTRAL	RESOLUCION RADIOMETRICA	RESOLUCION TEMPORAL	ANCHO ESCENA
TERRA EO AM-1	ASTER	VNIR	Band 01	0.52 - 0.60	15 m	15 Bandas	256 niveles (8 bits)	16 días	60 km
			Band 02	0.63 - 0.69					
			Band 03N	0.78 - 0.86					
			Band 03B	0.78 - 0.86					
		SWIR	Band 04	1.600 - 1.700	30 m		256 niveles (8 bits)		
			Band 05	2.145 - 2.185					
			Band 06	2.185 - 2.225					
			Band 07	2.235 - 2.285					
			Band 08	2.295 - 2.365					
		TIR	Band 09	2.360 - 2.430	90 m		4096 niveles (12 bits)		
			Band 10	8.125 - 8.475					
			Band 11	8.475 - 8.825					
			Band 12	8.925 - 9.275					
			Band 13	10.25 - 10.95					
	Band 14	10.95 - 11.65							

Fuente: Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) – ASTER Sensor (Año 2000).

- **ASTER en la Exploración Geológica – Minera:**

Según el tipo de análisis ASTER permite la discriminación litológica, mapeo de estructuras geológicas y la identificación de áreas de alteración hidrotermal, a su vez gracias a las 6 bandas en el SWIR, nos permite analizar las características de absorción de distintos minerales. Entre los minerales que se pueden discriminar se encuentran la caolinita, alunita, illita, clorita, epidota, jarosita, dickita, sericita, entre otros; así como también es muy utilizada en la generación de modelos de elevación del terreno.

2.1.8.4. Programa Satelital WORLDVIEW.

WorldView 1 y 2 son satélites ópticos de muy alta resolución que pertenecen a la compañía DigitalGlobe. WorldView-1 se lanzó el 18 de septiembre de 2007 y WorldView-2 el 8 de octubre de 2009. Los dos despegaron a bordo de cohetes Delta 7920 desde la base de la fuerza aérea estadounidense en Vandenberg. Está previsto que WorldView-1 dure hasta 2018 y que WorldView-2 lo haga hasta 2017.

Los dos describen una órbita heliosincrónica y descienden sobre el ecuador en cada órbita a las 10:30 am. WorldView-1 orbita a una altitud de 496 km y tiene un periodo orbital de 94.6 minutos, con un tiempo medio de repetición de paso de 1.7 días y puede obtener 1.3 millones de Km² por día. Utiliza un sensor pancromático para la captación de imágenes. WorldView-2 orbita a una altitud de 770 km, tiene un tiempo de revisita de 1.1 días y con un margen de error menor de 5 m para la localización de elementos geográficos.

El sensor para las imágenes del WorldView-1 apunta a Tierra a una distancia de muestreo de 50 cm en nadir (en tonos de gris solamente) en un rango de 0.4 - 0.9 μ m. El ancho de franja del sensor es de 17.7 km en nadir. El sensor del WorldView-2 tiene un muestreo espacial de 46 cm pancromática y 1.85 metros multiespectral en 8 bandas distintas (4 colores estándares: azul, verde, rojo e IR cercano y 4 nuevos colores: costero, amarillo, banda espectral en el borde del rojo e IR cercano 2). El ancho de barrido del sensor es de 16.4 km en nadir. (Ver Tabla 10)

- **Sensor Worldview-3:**

WorldView-3 fue puesto en órbita en Septiembre del 2014 a una altura prevista de 617 km, proporciona una resolución pancromática de 31 cm, una resolución multiespectral de 1.24 m, una resolución infrarroja de onda corta de 3.7 m y una resolución de nubes, aerosoles, vapores, hielo y nieve (clouds, aerosols, vapors, ice and snow, CAVIS) de 30 m. Tiene un tiempo de revisita promedio <1 día, y puede obtener hasta 680,000 km² por día, lo cual mejora aún más la capacidad de recolección de imágenes de DigitalGlobe para una obtención más rápida y confiable. El sistema de WorldView-3, permite una ubicación geográfica de alta precisión < 3.5 metros CE90 (sin control terrestre) y una penetración superficial de la bruma. (Ver Tabla 10)

- **Sensor Worldview-4:**

WorldView-4 (anteriormente GeoEye-2), lanzado en noviembre de 2017, con un tiempo de servicio de 10 a 12 años, ofrece un segundo sensor de DigitalGlobe capaz de entregar imágenes a una resolución pancromática de 31 cm y una resolución multiespectral de 1.24 m, uno de los niveles más alto de detalle disponible comercialmente por satélite. WorldView-4 expande en gran medida las capacidades de recolección de 31 cm y el crecimiento del archivo en el entorno de imágenes actual, con un rango dinámico de 11 bits, que se traduce en una escala de 2,048 niveles de grises. WorldView-4 opera a una altitud de 617 kilómetros y puede reunir 680,000 km² por día. Es un sensor de alta precisión < 5 metros CE90 (sin control terrestre) y entrega datos de imágenes de alta calidad. (Ver Tabla 10)

- **WorldView en la Exploración Geológica – Minera:**

El sensor más apto para ser usado en la exploración minera es el WorldView-3; debido a la alta variedad espectral y resolución espacial que posee (31cm); además permite definir mejor el mapeo de estructuras geológicas a escalas mayores 1/1,500 y la identificación de áreas de alteración hidrotermal, a su vez gracias a las 8 bandas en el SWIR, nos permite analizar las características de absorción (Mejor representación de las firmas espectrales) de distintos minerales. Entre los minerales que se pueden discriminar se encuentran la caolinita, alunita, illita, clorita, epidota, jarosita, dickita, sericita, entre otros.

Tabla 10. Especificaciones Técnicas de Sensores - Programa Satelital WorldView.

PLATAFORMA	SENSOR	SUBSISTEMA	BANDA	RANGO ESPECTRAL	RESOLUCION ESPACIAL	RESOLUCION ESPECTRAL	RESOLUCION RADIOMETRICA	RESOLUCION TEMPORAL	ANCHO ESCENA
WorldView-2	WorldView-2	PANCHROMATIC	Band 01	0.45 - 0.80	0.5 m	09 Bandas	2,048 niveles (11 bits)	4 días	16.4 km
		COSTERA	Band 02	0.40 - 0.45	1.95 m				
		AZUL	Band 03	0.45 - 0.51					
		VERDE	Band 04	0.51 - 0.58					
		AMARILLO	Band 05	0.585 - 0.62					
		ROJO	Band 06	0.63 - 0.69					
		ROJO BORDE	Band 07	0.705 - 0.745					
		NIR	Band 08	0.77 - 0.895					
			Band 09	0.86 - 1.04					
WorldView-3	WorldView-3	PANCHROMATIC	Band 01	0.45 - 0.80	0.31 m	01 Bandas	2,048 niveles (11 bits)	5 días	13.1 km
		COSTERA	Band 02	0.40 - 0.45	1.24 m	08 Bandas			
		AZUL	Band 03	0.45 - 0.51					
		VERDE	Band 04	0.51 - 0.58					
		AMARILLO	Band 05	0.585 - 0.62					
		ROJO	Band 06	0.63 - 0.69					
		ROJO BORDE	Band 07	0.705 - 0.745					
		NEAR-IR1	Band 08	0.77 - 0.895					
		NEAR-IR2	Band 09	0.86 - 1.04					
		SWIR 1	Band 10	1.195 - 1.225	3.70 m	08 Bandas			
		SWIR 2	Band 11	1.550 - 1.590					
		SWIR 3	Band 12	1.640 - 1.680					
						16,384 niveles (14 bits)			

		SWIR 4	Band 13	1.710 - 1.750	30 m	12 CAVIS Bandas	2,048 niveles (11 bits)		
		SWIR 5	Band 14	2.145 - 2.185					
		SWIR 6	Band 15	2.185 - 2.225					
		SWIR 7	Band 16	2.235 - 2.285					
		SWIR 8	Band 17	2.295 - 2.365					
		DESERT CLOUDS	Band 18	0.405 - 0.420					
		AEROSOL-1	Band 19	0.459 - 0.509					
		VERDE	Band 20	0.525 - 0.585					
		AEROSOL-2	Band 21	0.635 - 0.685					
		AGUA-1	Band 22	0.845 - 0.885					
		AGUA-2	Band 23	0.897 - 0.927					
		AGUA-3	Band 24	0.930 - 0.965					
		NDVI-SWIR	Band 25	1.220 - 1.252					
		CIRRUS	Band 26	1.365 - 1.405					
		SNOW	Band 27	1.620 - 1.680					
		AEROSOL-1	Band 28	2.105 - 2.245					
AEROSOL-2	Band 29	2.105 - 2.245							
WorldView-4	WorldView-4	PANCHROMATIC	Band 01	0.45 - 0.80	0.31 m	01 Bandas	2,048 niveles (11 bits)	5 días	13.2 km
		AZUL	Band 02	0.45 - 0.51	1.24 m	04 Bandas			
		VERDE	Band 03	0.51 - 0.58					
		ROJO	Band 04	0.65 - 0.69					
		NEAR-IR	Band 05	0.78 - 0.92					

Fuente: HARRIS GEOSPATIAL SOLUTIONS – Sensors and Satellites, (Año 2018).

Web: <https://www.harrisgeospatial.com/Data-Imagery/Satellite-Imagery/High-Resolution>

2.1.8.5. Programa Satelital PERUSAT-1.

PerúSAT-1, es un sistema satelital de observación de la Tierra, sus beneficios abarcan múltiples campos, desde la seguridad y defensa, hasta las actividades productivas diversas, como agricultura, minería, tala ilegal, colabora además con la prevención de riesgos, catastro, planificación urbana, ordenamiento territorial, zonificación ecológica económica, combate de ilícitos, entre otros. La adquisición del Sistema Satelital comprende un instrumento óptico de resolución pancromática de 70 cm y una resolución multiespectral de 2.80 m, el Satélite fue puesto en órbita 15 de septiembre del 2016 a una altura de 702.5 km y en la actualidad orbita la Tierra a una

velocidad de 27 mil km/h. con una vida útil mínima de 10 años; así como la construcción del Centro Nacional de Operaciones de Imágenes Satelitales (CNOIS) para el control del satélite y gestión de las imágenes. (Ver Tabla 11)

Tabla 11. Especificación Técnica del Sensor NAOMI.

PLATAFORMA	SENSOR	SUBSISTEMA	BANDA	RANGO ESPECTRAL	RESOLUCION ESPACIAL	RESOLUCION ESPECTRAL	RESOLUCION RADIOMETRICA	RESOLUCION TEMPORAL	ANCHO ESCENA
ASTROBUS – S	NAOMI	PANCHROMATIC	PAN	0.45 - 0.75	0.7 m	01 Bandas	4096 niveles (12 bits)	26 días	14.5 Km
		AZUL	Band 01	0.45 - 0.52	2.8 m	04 Bandas			
		VERDE	Band 02	0.53 - 0.60					
		ROJO	Band 03	0.62 - 0.69					
		NIR	Band 04	0.76 - 0.89					
						05 Bandas			

Fuente: CONIDA – Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial, (Año 2018).

Web: <http://www.conida.gob.pe/>

- **PERUSAT-1 en la Exploración Geológica – Minera:**

Las imágenes del PERUSAT-1 pueden ser usado en la generación de cartográfica e interpretación geológica a nivel distrital y local a escalas mayores 1/5,000; pueden ser utilizadas a través de filtros radiométricos en la interpretación de lineamientos estructurales (Lineales y circulares); además pueden ser procesadas espectralmente para la generación de mapas de Óxidos Férricos (Fe³) y la determinación de algunos minerales con presencia de hierro como jarosita, goethita y hematita, con la finalidad de poder asociarlo a posibles yacimientos supérgenos.

2.1.9. Modelos Digitales del Terreno (MDT).

Es una representación digital de la distribución espacial de la elevación de la superficie del terreno. La unidad básica de información es un valor de elevación, altura o posición vertical (coordenadas Z), al que acompaña los valores correspondientes de posición horizontal (Coordenadas X e Y), expresados en un sistema de proyección para cada uno de los puntos del terreno. (Ver Figura 14)

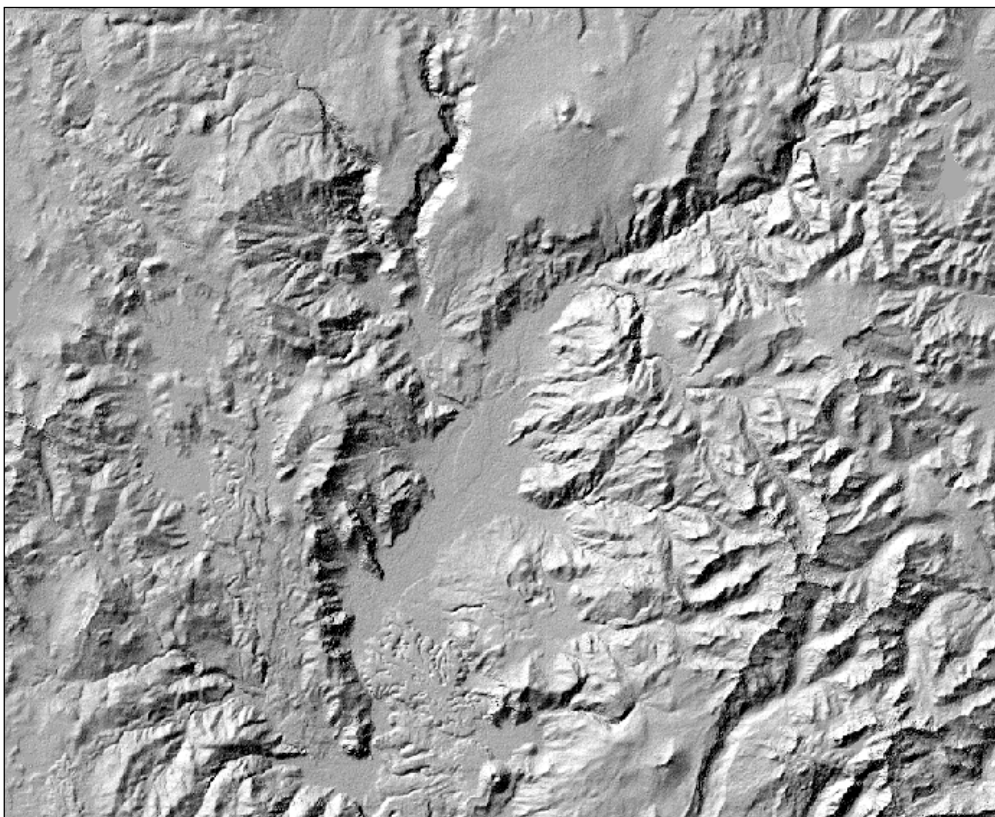


Figura 14. Modelo Digital del Terreno Zona Sur Área Regional Arequipa.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

2.1.10. Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información

geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión. También puede definirse como un modelo de una parte de la realidad referido a un sistema de coordenadas terrestre y construido para satisfacer unas necesidades concretas de información. En el sentido más estricto, es cualquier sistema de información capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada. En un sentido más genérico, los SIG son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.

2.1.10.1. Base de Datos Geográfica (Geodatabase).

La geodatabase es la estructura de datos nativa para ArcGIS, es el almacenamiento físico de la información geográfica, que principalmente utiliza un sistema de administración de bases de datos (DBMS) o un sistema de archivos. Puede acceder y trabajar con esta instancia física del conjunto de dataset a través de ArcGIS o mediante un sistema de administración de bases de datos utilizando SQL. (Ver Tabla 12 y Figura 15)

2.1.10.2. Ventajas de Usar Geodatabase.

- Menor demanda de almacenamiento que Access o un shapefile.
- Gestión simplificada (Seguridad en la información).
- Formato comprimido (Niveles de trabajo).

- GDB (Minimiza la redundancia de datos y edición, Niveles de compresión, Visualización y consulta varias veces más rápido que Access).

2.1.10.3. Tipos de Geodatabase.

La geodatabase es un "contenedor" utilizado para alojar un conjunto de dataset. Hay tres tipos:

- **Geodatabase de archivos:** almacenados como carpetas en un sistema de archivos. Cada dataset se aloja como un archivo que puede escalar hasta 1 TB de tamaño. Las geodatabase de archivos se recomiendan por sobre las geodatabase personales.
- **Geodatabase personal:** todos los dataset se almacenan dentro de un archivo de datos de Microsoft Access con un límite de tamaño de 2 GB.
- **Geodatabase corporativa:** también conocidas como geodatabase multiusuario, pueden no tener límite de tamaño y cantidad de usuarios. Se almacenan en una base de datos relacional con Oracle, Microsoft SQL Server, IBM DB2, IBM Informix o PostgreSQL.

Tabla 12. Especificaciones de Cada Tipo de Geodatabase.

ALMACENAMIENTO	MICROSOFT ACCESS	FICHEROS	SQL SERVER EXPRESS	ORACLE, SQL SERVER, IBM DB2, IBM INFORMIX Y POSTGRESQL, NETEZZA (10.2)
Geodatabase	Personal	File	Workgroup	Enterprise
Capacidad	2 GB	1 TB por tabla	10 GB	Ilimitada
Plataforma	Windows	Multiplataforma	Windows	Multiplataforma
Usuarios / Edición	Monousuario	Monousuario	10/10	Ilimitado

Fuente: Documentación de ArcGIS Desktop (Año 2016).

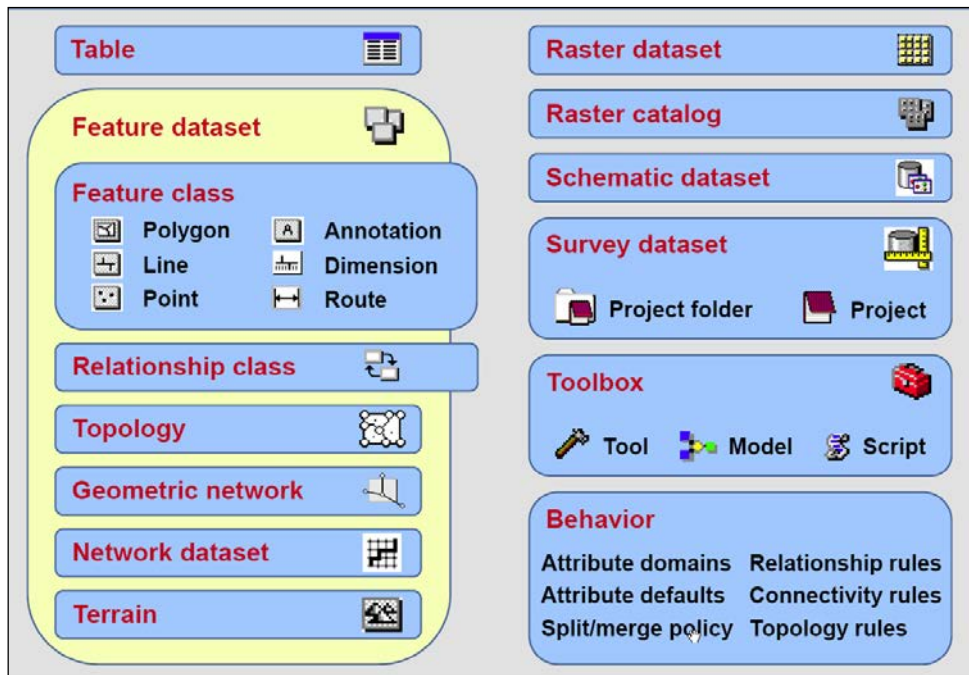


Figura 15. Elementos de una Geodatabase.

Fuente: Documentación de ArcGIS Desktop (Año 2016).

III. MÉTODO

3.1. Tipo de Investigación:

A continuación se describen los métodos a utilizar:

- **Método Inductivo;** se transforma los valores de los píxeles (ND) de las imágenes satelitales ASTER calibradas en radianza y reflectancia, para determinar patrones de rocas alteradas agrupadas en zonas anómalas favorables a la exploración, también se tienen en cuenta las capas metálicas de entrada como los lineamientos estructurales, proyectos mineros, unidades geológicas, catastro y cuencas geoquímicas en el análisis del comportamiento geológico y la aptitud que posee el área de estudio para desarrollar actividad minera.
- **Método Deductivo;** se utiliza el comportamiento del espectro electromagnético en el VNIR y SWIR a través de la reflectancia de las rocas, para poder determinar los diferentes minerales de alteración hidrotermal y asociarlos a los tipos de depósitos; además evalúa la importancia minera económica del territorio en función del cálculo de la superficie de potencial minero metálico a través de las variables de entrada que describen las características geológicas del área de estudio.
- **Método Correlacional;** se relaciona de los minerales hidrotermales asociado por zonificación a los tipos de depósito epitermal de alta y baja sulfuración a yacimientos con posible mineralización económica; además se vincula las variables metálicas y el grado de importancia de ellas en la evaluación de recursos y cálculo de la superficie de potencial minero metálico.

3.2. Ámbito Temporal y Espacial:

El desarrollo del presente estudio se llevó a cabo durante los meses de noviembre del 2018 hasta marzo del 2019 y políticamente ocupa las provincias de La Unión, Condesuyo, Castilla y Caylloma del departamento de Arequipa, así como también las provincias de Chumbivilcas y Espinar para el departamento de Cusco; siendo limitado en la parte superior derecha por el Centro Poblado de Cayarani y por la parte inferior izquierda con los centros poblados de Chichas y Salamanca todos en la provincia de Condesuyo; además abarca parte de la Subcuenca de Cotahuasi, la parte superior izquierda de la Cuenca Camaná-Majes-Colca ambos de la vertiente del pacifico y parte superior de la Intercuenca Alto Apurímac en la vertiente del amazonas.

3.3. Variables:

3.3.1. Variables Independientes.

Las variables indirectas se encuentran relacionadas con factores físicos, geomorfológicos (calibración de imágenes) y también con las características metálicas económicas del territorio (evaluación del potencial minero). Analizan una gran variedad de técnicas para una correcta interpretación y descripción de los fenómenos geo-económicos con el propósito de generar nuevas zonas de prospección minera. (Ver Tabla 13)

Tabla 13. Descripción de las Variables Independientes.

	VARIABLES	DESCRIPCION	INDICADORES
1	Calibraciones geométrica, topográficas, radianza, reflectancia, atmosféricas y ortorectificación.	Ángulo que forma la línea recta que une la Tierra con el Sol y la vertical.	Angulo Solar (grados)
2		Distancia vertical a un origen determinado, considerado como nivel cero, para el que se suele tomar el nivel medio del mar.	Altitud (m.s.n.m.)
3		Extensión lineal recta que une la Tierra con el Sol.	Distancia Tierra – Sol (Unidades Atmosféricas)
4		Magnitud física que refleja la cantidad de calor, ya sea de un cuerpo, de un objeto o del ambiente.	Temperatura (°C)
5		Porcentaje de radiación incidente que es reflejada por una superficie bidimensional.	Reflectividad (%)
6		Es el flujo radiante que abandona una unidad de área en una dirección particular siguiendo un ángulo sólido particular.	Radiancia (Wm⁻²sr⁻¹)
7	Máscaras, filtros clasificaciones y análisis espectral.	Término que designa a una selección de longitudes de onda con comportamientos electromagnéticos similares.	Bandas (Equivalente a λ)
8	Análisis visual	Ciencia que se ocupa de realizar los levantamientos geológicos de grandes regiones, puede ser de cuadrángulos geográficos, distritales, departamentales, etc.	Geología Regional (ha)
9		Constituye una flexión o rasgo físico mapeable en la superficie terrestre, es de forma lineal, rectilínea o suavemente curvilínea.	Lineamientos (m)
10		Derecho que se confiere, a toda persona para que explore o explote las sustancias minerales concesibles que existan dentro del perímetro de un terreno determinado.	Concesiones Mineras (ha)
11		Se denomina así a una concentración natural de minerales que presenta razonables posibilidades de ser explotada con provecho económico.	Depósitos Minerales (metros)
12		Método basándose en la medición sistemática de uno o varios elementos químicos (Minerales) de material naturalmente formado.	Geoquímica (ppm)

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

3.3.2. Variables Dependientes.

Las variables directas son todas aquellas que están relacionadas con la determinación de las zonas prospectivas y que intervienen en la toma de decisiones, tienen múltiples aspectos que deben ser analizados cuidadosamente para interpretar correctamente los productos cartográficos. (Ver Tabla 14)

Tabla 14. Descripción de las Variables Dependientes.

	VARIABLES	DESCRIPCION	INDICADORES
1	Zonas de Mineralización	Lugares específicos donde los minerales se han introducido en las rocas, dando como resultado la formación de depósitos con posible valor económico.	Reconocimiento de las firmas espectrales para cada mineralización.
2	Anomalías de Alteración Hidrotermal	Superficie que presentan cambios mineralógicos, texturales y químicos de una roca producidas ante la presencia o circulación de soluciones hidrotermales.	Argílicas (Acidas), Fílicas (neutras) y Propilíticas (Básicas).
3	Potencial Minero Metálico	Estimación de la aptitud que tiene una zona en cuanto a sus posibilidades para desarrollar la actividad minera	Valorización y ponderación del potencial minero metálico.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

3.3.3. Variables Intervinientes.

Las variables intervinientes son todas aquellas que están relacionadas con la información que proporciona el producto base, la cuales sirven de parámetros para determinar el tipo de procesamiento, sus rangos espectrales, la ponderación jerárquica, el grado de importancia y el análisis que se le aplicará, ya que el comportamiento en los subsistemas y las capas de potencial metálico son distintas. (Ver Tabla 15)

Tabla 15. Descripción de las Variables Intervinientes.

	VARIABLES	DESCRIPCION	INDICADORES	
1	Escena de Imagen Satelital ASTER	(Resolución Espacial) Tamaño del pixel en el terreno.	VNIR: 15 m. SWIR: 30 m. TIR: 90 m.	
2		(Resolución Espectral) Número, λ y ancho de las bandas espectrales que contiene un sensor.	VNIR: 4 Bandas. SWIR: 6 Bandas. TIR: 5 Bandas.	
3		(Resolución Radiométrica) Indica la capacidad del sensor para discriminar niveles de radiancia.	VNIR: 8 bits. SWIR: 8 bits. TIR: 12 bits.	
4		(Resolución Temporal) Define la frecuencia con que un satélite puede obtener imágenes de un área en particular.	16 Días.	
5		Capas de Potencial Minero (Metálico)	Unidad Geológica	Tipo de Deposito Metales Asociados Formación
6			Concesiones Mineras	Naturaleza Metálica Metalotecto
7			Fallas	Longitud de Estructuras
8			Depósitos Minerales Metálicos	Estado de Desarrollo Metales Asociados
9			Geoquímica	Metal Precioso
10			Sensores Remotos	Tipo de Anomalía

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

3.4. Población y Muestra:

La población hace referencia a la zona noreste del departamento de Arequipa que abarca una extensión de 5'939,788.00 hectáreas; mientras que la muestra representa la zona de interés propuesta por la empresa privada Cía. de Minas Buenaventura S.A.A. con una extensión de 1'530,837 hectáreas, la cual esta relaciona con sus operaciones mineras más importantes en el Sur del Perú como son Orcopampa (Au-Ag) y Tambomayo (Au-Ag) ambas unidades de tipo epitermal polimetálico.

3.5. Instrumentos:

Información cartográfica:

- Cartas Geológicas digitales a escala 1/100,000 de los cuadrángulos 30-Q, 30-R, 30-S, 31-Q, 31-R, 31-S, 32-Q, 32-R y 32-S del INGEMMET: Cartografía con información de estratificación, rocas ígneas y geología estructural.
- Mapa geológico digital de Lee Oldham, metalogenético y de centros volcánicos a escala 1/1'000,000 del INGEMMET: Cartografía regional para la identificación e interpretación de Metalotectos.
- Mapas temáticos de catastro minero (INGEMMET, 2018), zonas de excepción (SERNAN), ocurrencias mineras y depósitos minerales a escala 1/1'000,000 (MINEN, 2010-2018): Cartografía para el cálculo del potencial minero metálico y el análisis geoeconómico.
- Base de datos geoquímica de sedimentos y cuencas sedimentarias a escala 1/1'000,000 (INGEMMET): Registros geoquímico de Au, Ag y Cu, fronteras de subcuencas hidrográficas para la identificación de cuencas geoquímicas.
- Mapas topográficos e hidrográficos a escala 1/100,000 y MDT a RE 10 metros: Topografía para la verificación de la altimetría en la zona de estudio.
- Mapas satelitales a escala 1/500,000 con combinación de bandas en color natural RGB (321), anomalías de alteraciones RGB (468), litología RGB (631) y lineamientos estructurales (Filtros direccionales y circulares): Cartografía para la identificación de zonas anómalas de alteración y sistemas de control estructural de la zona de estudio.

Equipos y Programas:

- Laptop - HP; procesador Core i7, memoria RAM 6GB, tarjeta de video nvidea 650M - 2 GB: Generación de información y elaboración del informe.
- Disco Duro - WESTERN DIGITAL; interfaz de USB 2.0 y 3.0, capacidad 1TB: Almacenamiento de información documentaria y cartográfica.
- Software ARCGIS 10.5 con extensión habilitada “*Spatial Analyst*” y la barra de herramienta “*Arc Hydro Tools*” – ESRI: Procesamiento de información vectorial y análisis espacial.
- Software ENVI 5.3 y la extensión “FLAASH” (Corrección atmosférica) – HARRIS GEOESPATIAL SOLUTIONS: Procesamiento de información raster, análisis espectral y compresión de imágenes.
- Software Google Earth Pro, mayor a la v7.3: Ubicación de la zona de estudio y vistas 3D de elementos geográficos.
- Software Map Source – GARMIN: Procesamiento de puntos GPS de campo.
- GPSMAP 64SC Sistemas GPS y GNSS – GARMIN: Captura de puntos GPS, senderismo, altímetro, brújula y linterna.
- Cámara Digital Cybershot 14.5 megapixeles – SONY: Registro de imágenes de campo o detalles particulares del estudio.
- Escalímetro y Protactor – ROTRING: Regla de medición a distintas escalas de trabajo.
- Libreta de campo – RITE IN THE RAIN: Apuntes y dibujos importantes generados en el desarrollo del estudio.

Equipos de Seguridad:

- Botas aceradas - REDHORN SAFETY: Calzado de cuero con punta de acero para proteger los pies de cualquier tipo de lesión física.
- Guantes de seguridad - REDHORN SAFETY: Protege la mano de cualquier tipo de lesión física menor.
- Casco de seguridad – 3M: Cobertor de cabeza que la protege de cualquier tipo de impacto.
- Lentes de seguridad - ANSI: Lentes transparentes de plástico endurecido que protegen la vista del ingreso de agentes externos (QUINTANILLA, 2012).
- Chaleco de seguridad: Chaleco de color naranja o amarillo con cintas reflectivas que ayuda a una fácil identificación.

3.6. Procedimientos:

Los procedimientos utilizados y definidos en el marco de la investigación, permitirán en su desarrollo alcanzar los objetivos propuestos. (Ver Anexo 9.1)

- Definición del área de estudio, recopilación de información existente y construcción de una base de datos espacial cartográfica.
- Preparación de variables de entrada (Unidades geológicas, concesiones mineras, fallas o lineamientos estructurales, depósitos mineros, cuencas geoquímicas y anomalías espectrales).
- Obtención del grado de importancia, análisis de ponderación de variables y aplicación del algoritmo de potencial minero metálico.
- Adquisición y pre-procesamiento de 09 imágenes ASTER; así como la creación de máscaras espectrales (vegetación, agua, nieve, sombras y nubes).

- Combinación de bandas y cocientes entre bandas para la identificación de zonas anómalas de alteración hidrotermal, diferenciación de unidades litológicas y rasgos estructurales.
- Determinación de los tipos de alteración hidrotermal utilizando técnicas de mapeo del Análisis de Componentes Principales (PCA).
- Determinar los minerales de alteración hidrotermal utilizando las técnicas de Filtro Emparejado (MF) para el VNIR y Ajuste de Características Espectrales (SFF) para el SWIR; utilizando para ello las firmas espectrales de la USGS.
- Obtención de los filtros de lineamientos estructurales direccionales y circulares a nivel Regional y Distrital.
- Se analiza espacialmente la zona de estudio y se valoriza las variables finales existentes, obteniendo como resultado las propuestas de Áreas de Prospección Minera del Área Regional Arequipa.

3.7. Análisis de datos:

3.7.1. Evaluación de Potencial Minero Metálico.

Las grandes fallas regionales controlan los valores muy altos de potencial minero con dirección NW-SE (Predominante) y NE-SW en toda el Área Regional Arequipa, los valores altos están relacionados a las anomalías espectrales, concesiones mineras y unidades geológicas relacionado a los metalotectos como Grupo Tacaza, Grupo Barroso, Grupo Yura, Batolito de la Costa, etc., en los cuales se desarrollan los principales depósitos mineros asociados a yacimientos tipo Epitermal (Au-Ag / Ag-Pb-Zn), los valores medios están conformados por el Grupo Andahua y otras formaciones como Aniso, Pusa. Sencca. etc.; los valores de potencial minero más bajos se relacionan

a los depósitos sedimentarios y cuencas geoquímicas que no son representativas del territorio ya que no reflejan una buena distribución de la superficie.

La Superficie de Potencial Minero Metálico sirve como indicador para generar mejores propuestas que conlleva a determinar zonas favorables a la mineralización económica.

(Ver Figura 16)

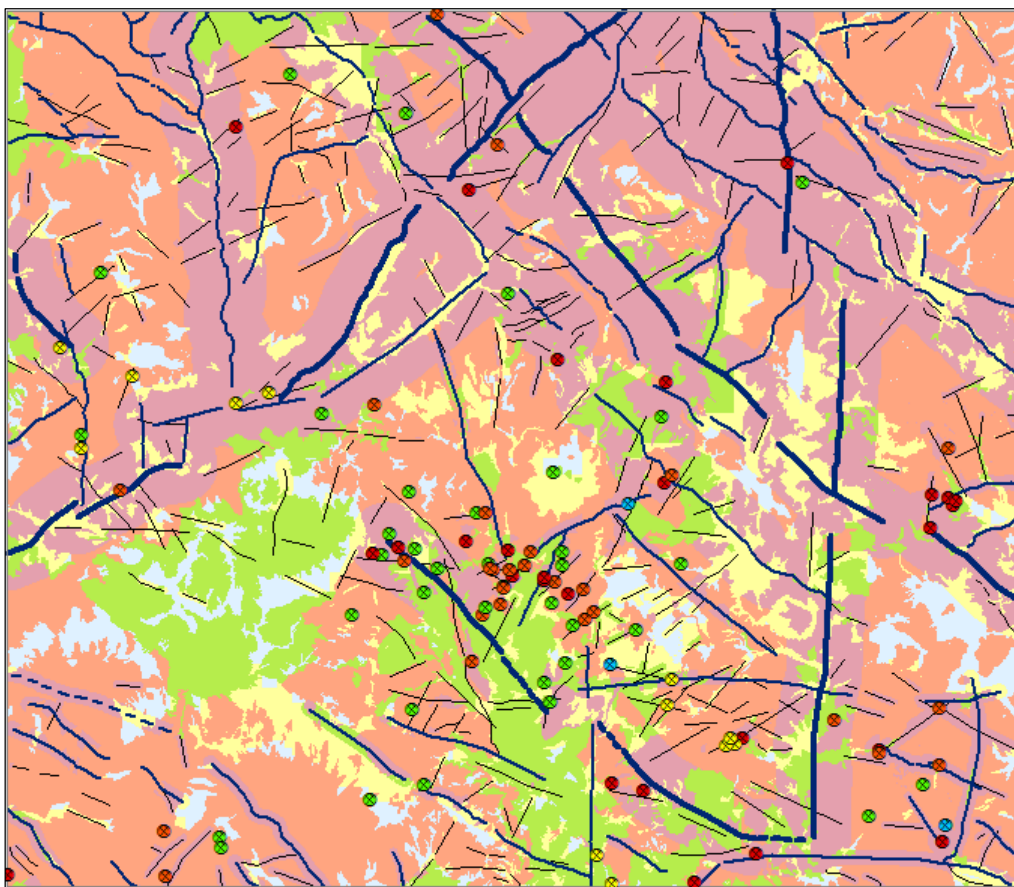


Figura 16. Análisis de la Superficie de Potencial Minero Metálico.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

3.7.2. Caracterización del Depósito Asociados a sus Minerales.

Las características generales de ciertos depósitos son conocidos y están resumidos por varios autores como Hayba *et al.* (1985), White y Hedenquist (1990), Sillitoe (1993) y White *et al.* (1995), muchos de ellos incluyendo varios ejemplos de estudios de yacimientos alrededor del mundo.

Las Tablas 1 y 2, se utilizaron de referencia para la clasificación de los sistemas de mineralización y la asignación del tipo de alteración en los resultados de las imágenes ASTER; determinando posibles relaciones con depósitos Epitermal de Alta y Baja Sulfuración, esto se debe a la variedad de minerales coincidentes en los zonamientos de los depósitos encontrados en el Área Regional Arequipa, que van desde Alteraciones de tipo Argílica Avanzada (Alunita, Caolinita y Pirofilita), Argílica Intermedio (Illita, Sericita), Propilítica (Clorita, Calcita) y Sílice (Ópalo). (Ver Figura 17)

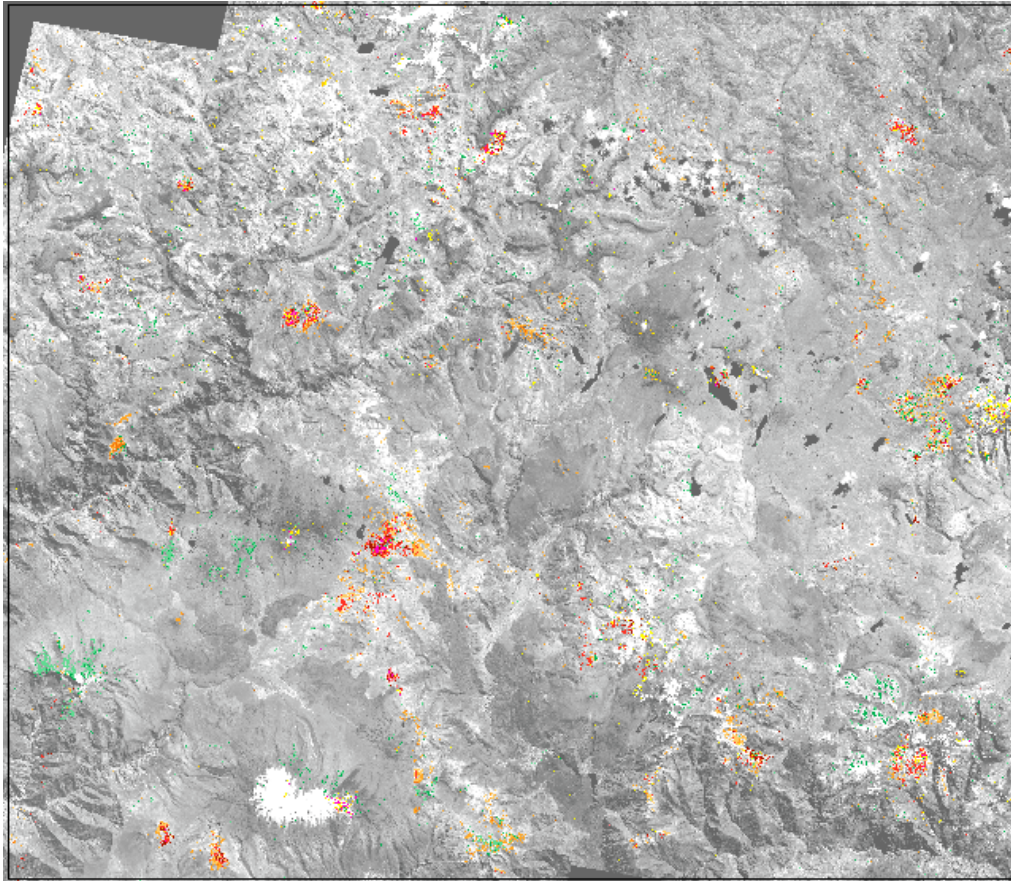


Figura 17. Depósitos Minerales del Área Regional Arequipa.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

3.7.3. Correlación con Capas de Análisis Social y Medio Ambiental.

El Área Regional Arequipa se encuentra intersectado por el Área Natural Protegida Sub Cuenca del Cotahuasi (Reserva Paisajística), en la zona superior izquierda, la cual cubre una extensión de 378,672 ha que representa el 24.73% de toda el área de estudio, además se cuenta con otras ANPs y zonas de amortiguamiento de menor tamaño que suman 289,590 ha.; estas zonas de excepción no tienen más de 20 años de formadas y muchas de ellas tienen la categoría de privadas o regionales; en la zona norte en el 2017 el INGEMMET han creado 02 grandes áreas llamadas ANAP Pacay de 15,300 ha. y ANAP Pucara de 16,200 ha. con la finalidad de promover en esas zonas la exploración minera para el bienestar del estado; las comunidades campesinas ocupan los grandes

3.7.4. Análisis Espacial y Valorización de las Variables Finales.

Los resultados del procesamiento de las imágenes satelitales ASTER nos generó 65 zonas de interés o target al inicio de la etapa de evaluación; como primer filtro se evaluó las zonas anómalas de alteraciones hidrotermales mayores a 25 ha esto se realizó con la finalidad de poder encontrar los grandes depósitos con alteración Supérgena, posteriormente se adiciono las capas o variables de la superficie de potencial minero lográndose reducir a 20 zonas de interés, las cuales nos ayudaron a descartar varias áreas que no cumplían con las necesidades de las propuestas, dentro del proceso de evaluación se tuvo en cuenta la situación legal de las concesiones mineras, el contexto geológico (Estructuras asociadas a las anomalías, Metalotectos de unidades geológicas, etc.), además se relacionó la geoquímica de cuencas y los depósitos mineros con las zonas de interés; por último se correlaciono con las capas Social y Medio Ambiental, que identifica como áreas libres de zonas de excepción y comunidades campesinas solo el 28.05% de toda el área de estudio; logrando así definir 05 zonas (Target) finales (01 nivel regional, 02 nivel distrital y 02 nivel local); cada zona (Target) ha sido estudiado individualmente dando como resultado las fichas técnicas que resumen el contexto de desarrollo de cada una de ellas. (Ver Anexos 9.4 – 9.8 y Figura 19)

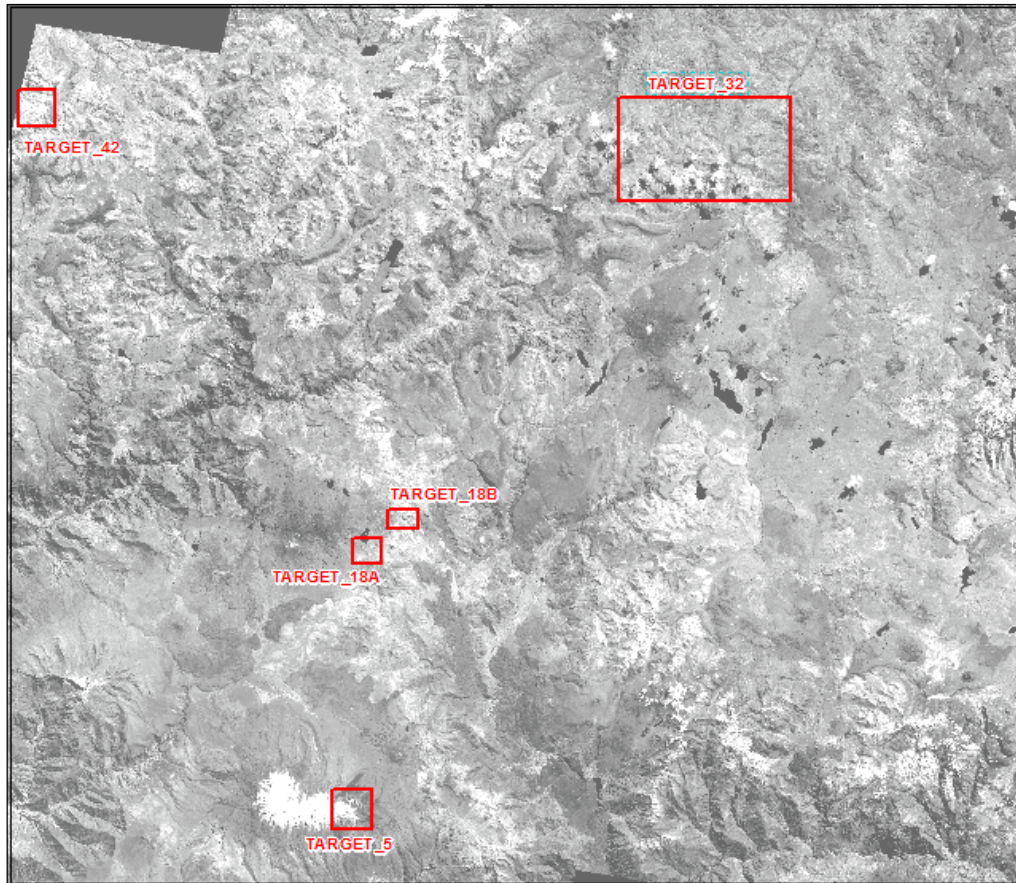


Figura 19. Distribución de Zonas Propuestas o Target.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

IV. RESULTADOS

4.1. Construcción de Una Base de Datos Espacial:

El diseño de la base de datos SIG, se desarrolló siguiendo el “*Protocolo de Almacenamiento de Información Geoespacial – GEODATABASE*”, del Área de Exploraciones Generales - Cía. de Minas Buenaventura S.A.A.; teniendo en cuenta este protocolo se realizaron los procedimientos de creación de la estructura de almacenamiento Geodatabase, estandarización de atributos de las capas de trabajo, integración de datos a los featureclass correspondientes y validación de la información almacenada; este tipo de almacenamiento cumple con la necesidad de registro y consulta de la información, según los requerimientos de los distintos tipos de usuarios SIG del Área de Exploraciones. (Ver Tabla 16 y Figura 20)

Tabla 16. Características de la Geodatabase Área Regional Arequipa.

	TIPO	ALMACENAMIENTO	CAPACIDAD	USUARIO	COMPATIBLE	PROYECCION
1	File Geodatabase	Ficheros	1 Tb.	Monousuario	ArcGIS 10.1, Oracle, Access, SQL Server, etc.	WGS84 - UTM Zona 18 Sur

Fuente: Documentación de ArcGIS Desktop, (Año 2017).

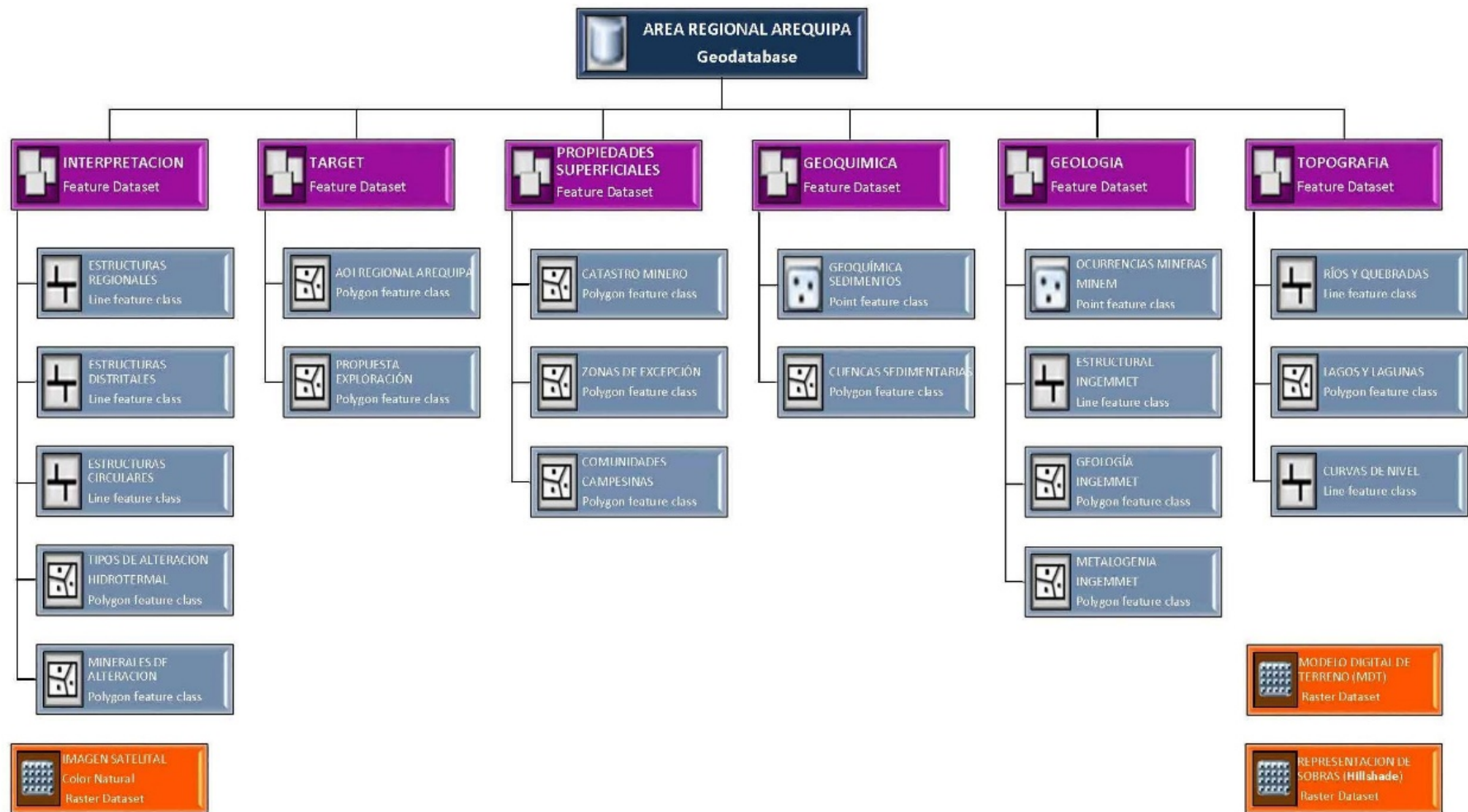


Figura 20. Estructura de Almacenamiento Geodatabase Área Regional Arequipa.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

- Operador GIS:

Es responsable de la configuración, mantenimiento y ajuste de los datos espaciales de la Geodatabase, así como el encargado del desarrollo y entrega de productos cartográficos, la recolección y reformato de datos, la asistencia en el diseño de nuevas capas de trabajo, la programación de mejoras del sistema, la realización de análisis espaciales para la evaluación del potencial minero y procesamiento de minerales de alteración hidrotermal, así como también la realización del control de calidad cartográfico y la sostenibilidad del sistema.

4.2. Cartografía Base y Escala de Trabajo:

La cartografía base utilizada para este estudio es trabajada en escala 1/100,000, siendo ideal para interpretaciones visuales a nivel regional (1/500,000), esto dependerá de la etapa en la cual se encuentre el estudio de exploración y el nivel de detalle que se desee representar; en el siguiente cuadro se especifica la etapa de exploración con el nivel de detalle (escala) que necesita para una adecuada interpretación cartográfica. (Ver Tabla 17)

Tabla 17. Escalas de Trabajo en Base al Desarrollo de la Exploración.

ETAPAS	CARTOGRAFIA	ESCALA	DESCRIPCION
INICIAL			
Cateo – Prospección	Nivel Regional	1/500,000	Es el conjunto de actividades que conducen al estudio y caracterización geológica de una zona determinada y permiten establecer de forma visual los sectores que presentan manifestaciones o indicios geológicos de un depósito económicamente explotable.
		1/250,000	
		1/100,000	
INTERMEDIA			
Prospecto	Nivel Distrital	1/25,000	La observación se realiza con el apoyo de herramientas tecnológicas para determinar áreas de posible mineralización, como imágenes satelitales (zonas de alteración), técnicas geofísicas (para observar propiedades físicas de las rocas analizadas) o geoquímicas (para obtener resultados químicos de los materiales observados).
		1/20,000	
		1/10,000	
AVANZADA			
Proyecto (Exploración para indicar y medir recursos)	Nivel Local	1/5,000	Son las actividades que tienen como fin determinar la continuidad de las estructuras mineralizadas y medir un volumen de recursos así como un modelo geológico - minero del depósito, para lo cual se hacen programas de perforación con diamantina, en mallas que se van cerrando de acuerdo con el yacimiento.
		1/2,000	
		1/1,000	

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

4.3. Variables Metálicas de Entrada:

Para el desarrollo de la Superficie de Potencial Minero Metálico, se trabajó con la información adquirida por la empresa Cía. de Minas Buenaventura S.A.A., así como también se recopiló información de distintos prospectos, proyectos y del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) (Ver Anexo 9.2 y Figura 21); para la utilización de las variables de entrada se debe de tener en cuenta lo siguiente:

1. Toda la información cartográfica debe de ser vectorial y estar asociada a una tabla de atributos.
2. Los archivos vectoriales deben estar asociado a una proyección de origen, siendo utilizado para este estudio el datum WGS84 y la proyección UTM Zona 18 Sur.
3. La información debe estar actualizada en base a las últimas publicaciones hechas por las instituciones especializadas en los temas geológico – mineros correspondientes (Ej. Concesiones Mineras, Depósitos Minerales, etc.).
4. Toda la información cartográfica generada se almacenara en los Featureclass de la Geodatabase, según dataset al cual pertenezcan.

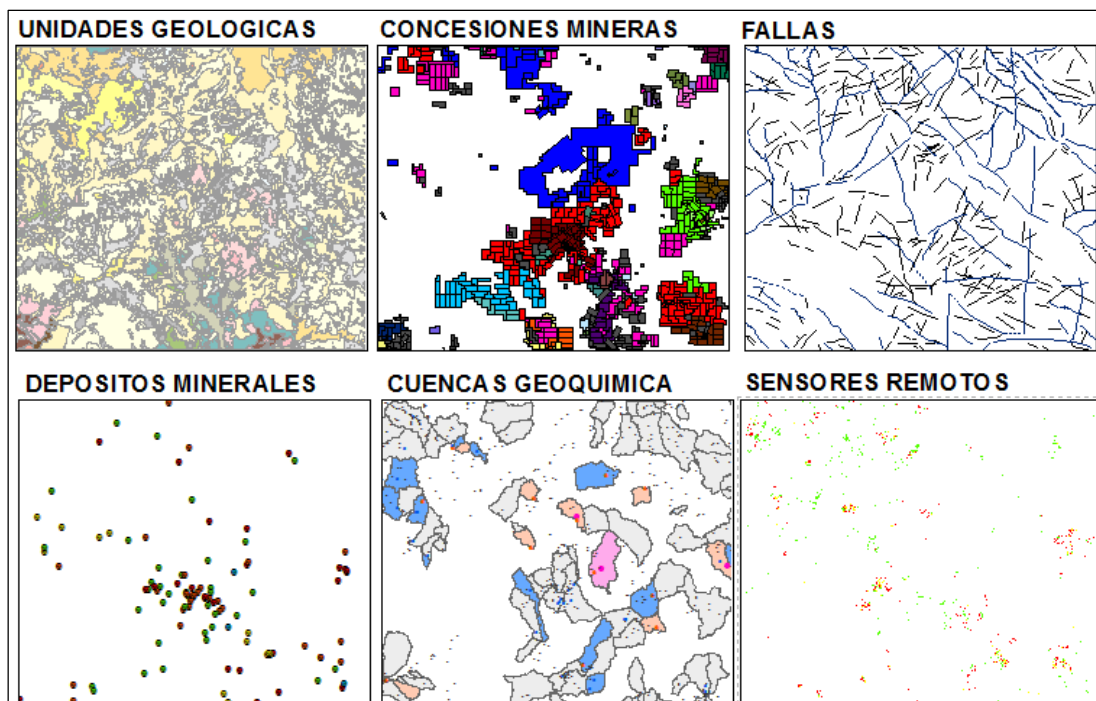


Figura 21. Capas de Potencial Minero Metálico.

Fuente: Cía. de Minas Buenaventura S.A.A. – INGEMMET (Año 2018).

4.4. Análisis de Variables Metálicas:

El rango de asignación de valores y colores de representación para las variables metálicas se realizan siguiendo la Tabla 18, propuesta por la Dirección de Recursos Minerales y Energéticos (DRME) del INGEMMET.

Tabla 18. Escala de Valores de las Variables.

GRADO O NIVEL	VALOR DE CADA NIVEL	AREA DE INFLUENCIA	RGB
MUY ALTO	3		217-120-140
	2.9		
	2.8		
	2.7		
	2.6		
ALTO	2.5		255-127-74
	2.4		
	2.3		
	2.2		
MEDIO	2.1		152-230-0
	2		
	1.9		
	1.8		
BAJO	1.7		255-255-115
	1.6		
	1.5		
	1.4		
MUY BAJO	1.3		210-235-255
	1.2		
	1.1		
	1		

Fuente: Dirección de Recursos Minerales y Energéticos (DRME) – INGEMMET, (Año 2013).

4.4.1. Unidades Geológicas.

El procesamiento se realizara en base a las formaciones, utilizando las cartas geológicas 1/100,000 del INGEMMET; de la siguiente manera:

1. Se inicia con la integración de las 09 cartas conservando sus atributos de origen, teniendo en cuenta que contenga el nombre de formación para cada polígono, así como también se debe de eliminar los espacios vacíos entre polígonos.
2. Una vez que este validada la información alfanumérica y vectoriales; se procede a dar valor a las formaciones en base a la Tabla 19, la cual asocia la formación al tipo de depósito y metal, obteniendo así su grado de importancia, la valorización se registra en un nuevo campo de atributo llamado “VALOR (Type-Double)”.

Tabla 19. Valorización de Unidades Geológicas Asociadas a su Tipo de Depósito y Metales.

TIPO DE DEPÓSITO	METALES	UNIDAD GEOLÓGICA	VALOR EN MATRIZ	GRADO O NIVEL
EPITERMALES	Au-Ag	Grupo Calipuy, Grupo Barroso, Grupo Tacaza, Fm. Chimú, Fm. Porculla, Fm. Soraya	3	Muy Alto
	Ag-Pb-Zn	Grupo Calipuy, Grupo Barroso, Grupo Tacaza, Fm. Porculla, Grupo Pullucana, Fm. Pariatambo, Fm. Chota.	2.9	Muy Alto
VETAS	Au-Ag	Batolito de la Costa (norte, y sur), Batolito de Pataz; Fms. Sandia y Ananea, Grupo Excelsior, Fm. Cajamarca.	2.8	Muy Alto
PÓRFIDOS	Au-Cu	Batolito de la Costa (sur), Batolito de abancay, Stocks del Mioceno, Fm Soraya, Intrusivos de la Cord. del Cóndor, Grupo Pullicana.	2.8	Muy Alto
	Cu-Mo-W	Batolito de la Cordillera Blanca, Grupo Quilmaná, Fm. Oyotún, Grupo Toquepala	2.7	Muy Alto
SKARN Y REEMPLAZAMIENTO	Ag-Pb-Zn	Grupo Pucará, Grupo Copacabana, Fm Santa, Fm Carhuaz, Secuencia carbonatada del Cretáceo, Fm. Chulec, Fm. Ferrobamba, Fm. Jumasha	2.7	Muy Alto
	Cu-Pb-Zn	Grupo Pucará, Grupo Copacabana, Fm. Santa, Fm. Chulec, Secuencia carbonatada del Cretácico, Fm Jumasha	2.6	Muy Alto
PLACERES	Au	Depósitos Cuaternarios, depósitos morrénicos	2.7	Muy Alto
	Otros	Depósitos Cuaternarios, depósitos morrénicos	2.5	Alto
MVT	Ag-Pb-Zn	Grupo Pucará (Chambará)	2.7	Muy Alto
VMS	Au-Cu-Pb	Formación Ereo	2.6	Muy Alto
	Pb-Zn-Cu	Grupo Casma, Fm La Bocana, Grupo Quilmaná	2.4	Alto

IOCG	Fe-Cu-Au	Grupo Casma, Volcánicos Oyotún, Fm. Chocolate, Fm. Guaneros	2.4	Alto
MANTOS	Au-Ag	Grupo Mitu, Complejo del Maraón, Fm. Chicama	2.3	Alto
	Pb-Zn-Cu	Intrusivos Paleozoico	2.3	Alto
	Fe	Complejo del Maraón	2.2	Alto
VETAS	Cu-Pb-Zn	Batolito de la Costa (Centro), Grupo Excelsior, Intrusivos Bella Unión	2.1	Alto
	Fe	Complejo del Maraón	2	Alto
Otras unidades expuestas en el Orógeno Andino			1.7	Medio
Unidades recientes o expuestas en la Amazonía			1.2	Bajo

Fuente: Dirección de Recursos Minerales y Energéticos (DRME) – INGEMMET, (Año 2013).

3. Llenado la valorización de registros de las formaciones se procede a convertir el vector a Raster en formato BSQ, teniendo en cuenta el campo VALOR y la resolución espacial de 30 metros. (Ver Figura 22)

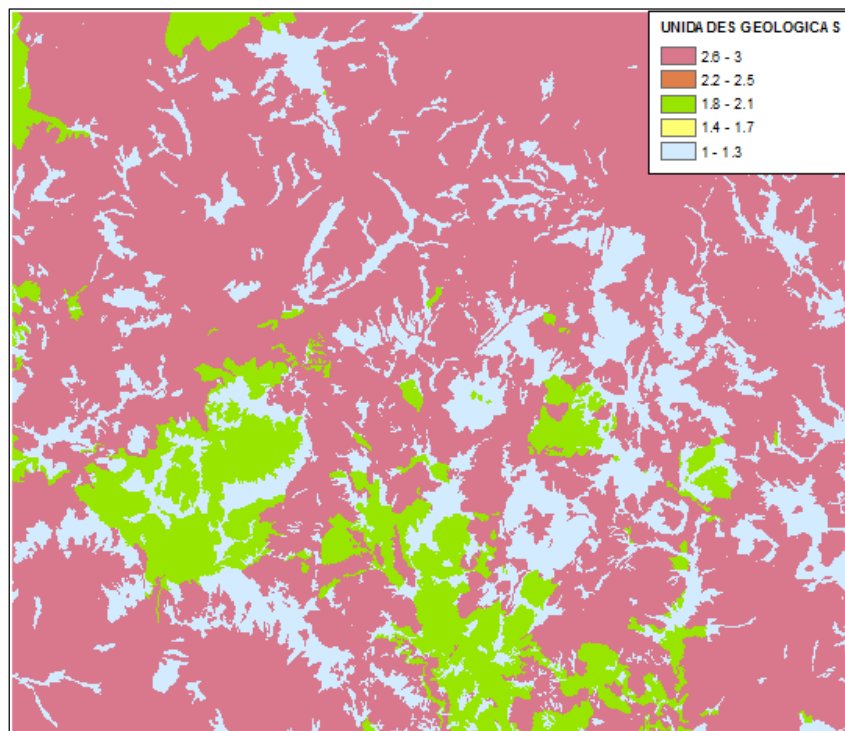


Figura 22. Raster Unidades Geológicas.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

4.4.2. Concesiones Mineras.

El procesamiento se realizara en base a los Metalotectos, utilizando la capa concesiones mineras que se puede obtener a través del visualizador web GEOCATMIN:

1. Una vez que se tienen la capa de concesiones mineras actualizada, se procede con la extracción de registros llamados TITULADOS y METALICOS, de los campos LEYENDA y NATURALEZA respectivamente, en una sola capa de trabajo.
2. En modo edición, se une los registros TITULADOS y posteriormente se borra los vértices que aparecen por intersección de los anteriores polígonos, para tener un mejor procesamiento de información.
3. La capa de concesiones se interseca con la capa de unidades geológicas (Metalotectos), con la finalidad de relacionar la naturaleza de la concesión y los metalotectos geológicos, teniendo en cuenta la siguiente guía. (Ver Tabla 20)

Tabla 20. Valorización de Concesiones Mineras.

CONCESIONES	VALOR DE CADA NIVEL	Nivel
Metalotectos con áreas concesionadas	3	Muy Alto
Metalotectos sin áreas concesionadas	2.8	Muy Alto
No Metalotectos con áreas concesionadas	2.4	Alto
No Metalotectos sin áreas concesionadas en el orógeno	1.7	Medio
No Metalotectos sin áreas concesionadas en la selva	1.2	Bajo

Fuente: Dirección de Recursos Minerales y Energéticos (DRME), (Año 2013).

4. Se registra la valorización según la condición de cada concesión en el campo de atributo llamado “VALOR (Type-Double)” y se procede a convertir la capa vector resultante a Raster en formato BSQ, teniendo en cuenta el campo VALOR y la resolución espacial de 30 metros. (Ver Figura 23)

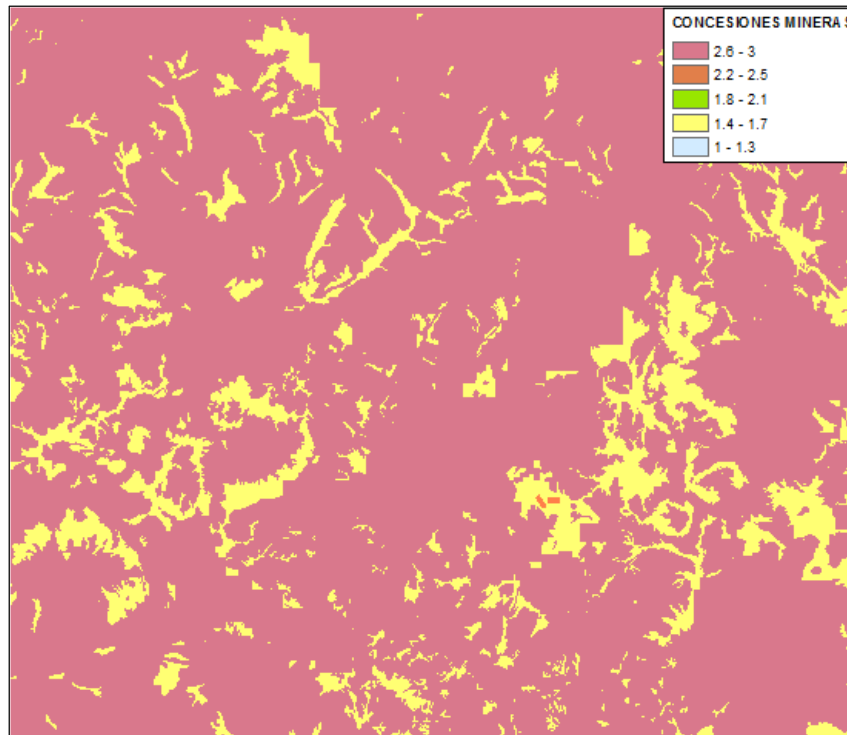


Figura 23. Raster Concesiones Mineras.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

4.4.3. Fallas o Lineamientos Estructurales.

Para el procesamiento se utilizar los lineamientos y fallas interpretadas de las imágenes ASTER a nivel regional y distrital como variables de entrada; se debe tener en cuenta para el análisis de este proceso los criterios de longitud e influencia de las estructuras, de la siguiente manera:

1. Los lineamientos y fallas se clasifican según la Tabla 21, que especifica la valorización en rangos de longitud, los registros están unidos como un solo valor (un solo segmento o varias fallas segmentadas el cual conforma una sola falla por Ej. Fallas inferidas); todos en relación al criterio de dirección de rumbo o azimut y longitud.

Tabla 21. Valorización de Fallas o Lineamientos Estructurales.

LONGITUD DE FALLA	VALOR	GRADO O NIVEL
> 50 Km	2.8	Muy Alto
10 - 50 Km	2.2	Alto
< 10 Km	1.7	Medio
Ausencia de Fallas (Orógeno)	1.5	Medio
Ausencia de Fallas (Llanura Amazónica)	1.2	Bajo

Fuente: Dirección de Recursos Minerales y Energéticos (DRME), (Año 2013).

2. El grado de influencia de las fallas en la superficie se representara a través de Buffer, la cual considera una distancia perpendicular al rumbo del lineamiento o falla según las siguientes especificaciones. (Ver Tabla 22)

Tabla 22. Rango de Influencia de Fallas.

RANGO	INFLUENCIA
Para fallas de 1 - 10 Km	500 m
Para fallas de 10 - 50 Km	1 Km
Para fallas mayores a 50 km	5 Km

Fuente: Dirección de Recursos Minerales y Energéticos (DRME), (Año 2013).

3. Generado el rango de Buffer de influencia que determina la zona con mayor potencial para el emplazamiento de depósitos minerales, se debe de cubrir en su totalidad el área de estudio para generar una buena interpolación al momento de transformar los vectores a Raster, asignando el menor grado de valorización a las zonas sin presencia de lineamiento o fallas.

- Una vez cubierta y clasificada toda la zona de estudio, se procede a convertir la capa vector resultante a Raster en formato BSQ, teniendo en cuenta el campo VALOR y la resolución espacial de 30 metros. (Ver Figura 24)

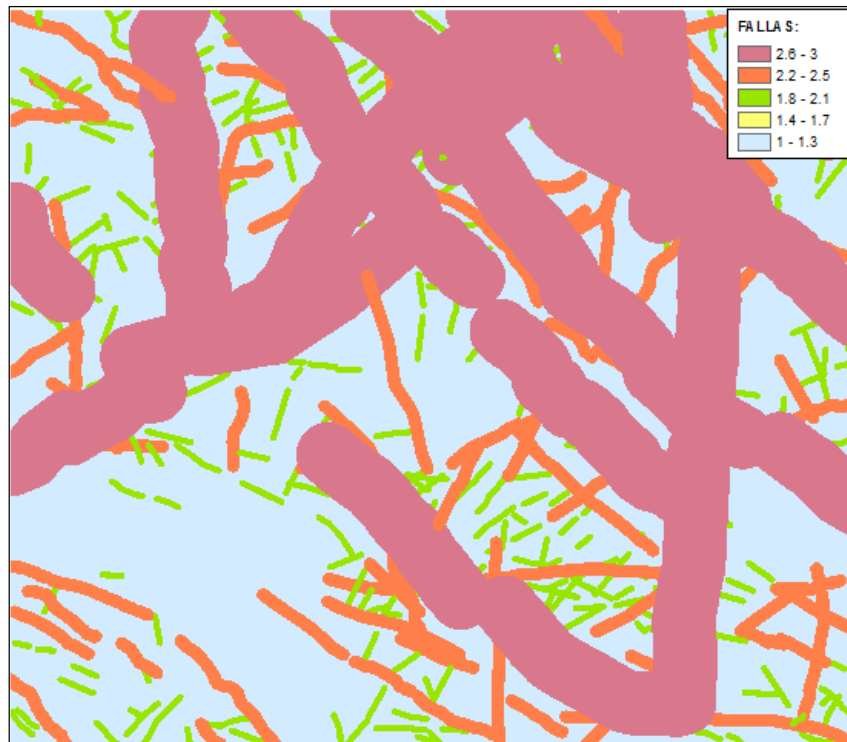


Figura 24. Raster de Fallas o Lineamientos Estructurales.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

4.4.4. Depósitos Minerales Metálicos.

Para la valoración de los depósitos minerales se relaciona el estado de desarrollo de la actividad minera con los elementos principales que contienen, este procesamiento se realiza de la siguiente manera:

- Los depósitos mineros se clasifican en base a su tonelaje y el elemento asociado. (Ver Tabla 23)

Tabla 23. Volumen de Depósito Minero por Elementos.

ELEMENTO	VOLUMEN DEL DEPÓSITO MINERAL (TONELADAS FINAS)		
	PEQUEÑO	MEDIANO	GRANDE
Au	< 25	25-250	> 250
Ag	< 250	250-5,000	> 5,000
Cu	< 50,000	50,000-1,000,000	> 1,000,000
Mo	< 2,000	2,000-200,000	> 200,000
Pb	< 50,000	1,000,000	> 1,000,000
Zn	< 50,000	1,000,000	> 1,000,000
Fe	< 10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	> 10 ⁸
Sn	< 5,000	5,000-50,000	> 50,000
W	< 500	500-10,000	> 10,000
U	< 1000	1,000-5,000	> 5,000

Fuente: Dirección de Recursos Minerales y Energéticos (DRME), (Año 2013).

2. Una vez que se categoriza el depósito minero por su dimensión, tipo de metal y etapa de desarrollo, se valoriza según el grado de potencial extraído. (Ver Tabla 24)

Tabla 24. Valorización de los Depósitos Mineros.

TIPO	DIMENSIÓN	METALES	VALOR EN ESCALA	VALOR EN MATRIZ	GRADO O NIVEL
OPERACIONES	GRANDE	METALES PRECIOSOS	1024	3	MUY ALTO
		METALES BASE	512	2.9	MUY ALTO
		HIERRO, OTROS	256	2.7	MUY ALTO
	MEDIANO	METALES PRECIOSOS	512	2.9	MUY ALTO
		METALES BASE	256	2.7	MUY ALTO
		HIERRO, OTROS	128	2.5	MUY ALTO
	PEQUEÑO	METALES PRECIOSOS	256	2.7	MUY ALTO
		METALES BASE	128	2.5	MUY ALTO
		HIERRO, OTROS	64	2.4	ALTO
PROYECTOS	GRANDE	METALES PRECIOSOS	128	2.5	MUY ALTO
		METALES BASE	64	2.4	ALTO
		HIERRO, OTROS	32	2.3	ALTO
	MEDIANO	METALES PRECIOSOS	64	2.4	ALTO
		METALES BASE	32	2.3	ALTO
		HIERRO, OTROS	16	2.2	ALTO
	PEQUEÑO	METALES PRECIOSOS	32	2.3	ALTO
		METALES BASE	16	2.2	ALTO
		HIERRO, OTROS	8	2.1	ALTO

PROSPECTOS	GRANDE	METALES PRECIOSOS	16	2.2	ALTO
		METALES BASE	8	2.1	ALTO
		HIERRO, OTROS	4	1.9	MEDIO
	MEDIANO	METALES PRECIOSOS	8	2.1	ALTO
		METALES BASE	4	1.9	MEDIO
		HIERRO, OTROS	2	1.8	MEDIO
	PEQUEÑO	METALES PRECIOSOS	4	1.9	MEDIO
		METALES BASE	2	1.8	MEDIO
		HIERRO, OTROS	1	1.7	MEDIO
OCURRENCIA/ ANOMALÍA				1.6	MEDIO
AUSENCIA EN EL ORÓGENO				1.5	MEDIO
AUSENCIA EN LLANO AMAZÓNICO				1.2	BAJO

Fuente: Dirección de Recursos Minerales y Energéticos (DRME), (Año 2013).

3. El siguiente paso es representar el área de influencia Buffer de cada depósito minero, esta área de influencia se determina en base a la Tabla 25.

Tabla 25. Área de Influencia de los Depósitos Minerales.

TIPO	DIMENSIÓN	BUFFER (Km)
OPERACIONES, PROYECTOS Y PROSPECTOS	Grande	2
	Mediano	1
	Pequeño	0.5
OCURRENCIA/ANOMALÍA	-	0.25

Fuente: Dirección de Recursos Minerales y Energéticos (DRME), (Año 2013).

4. Generado el rango Buffer de influencia que determina la zona con mayor potencial, se debe de cubrir en su totalidad el área de estudio para generar una buena interpolación al momento de transformar los vectores a Raster, asignando el menor grado de valorización a las zonas sin presencia de depósitos minerales.
5. Una vez cubierta y clasificada toda la zona de estudio se procede a convertir la capa vector resultante a Raster en formato BSQ, teniendo en cuenta el campo VALOR y la resolución espacial de 30 metros. (Ver Figura 25)

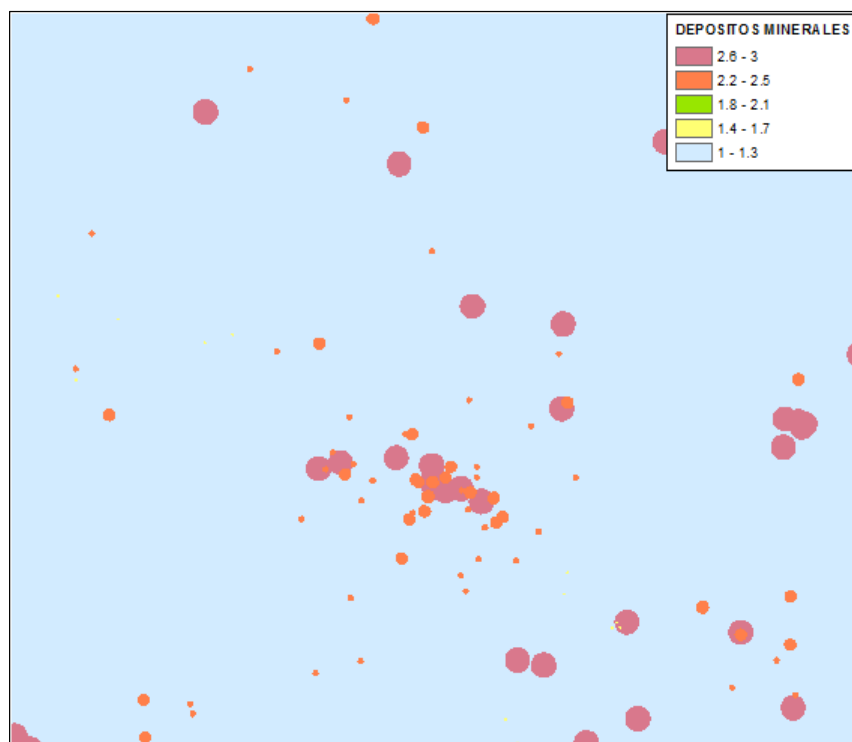


Figura 25. Raster Depósitos Minerales Metálicos.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

4.4.5. Cuencas Geoquímicas.

La categorización de la variable geoquímica se determina en base a los metales de mayor interés económico para la empresa Cía. de Minas Buenaventura S.A.A., los cuales son oro (Au), plata (Ag) y Cobre (Cu), para ellos se cuenta con rangos de clasificación establecidos por el Área de Exploraciones Generales, aplicado a prospectos regionales que se especifican en la Tabla 26.

Tabla 26. Rangos Geoquímicos Regionales.

METAL	ELEMENTO	RANGOS	COLOR	RGB
Metales Preciosos	Oro Au (ppb)	>350		255-51-153
		100 - 350		255-192-0
		35 - 100		0-112-192
		<35		166-166-166
	Plata Ag (ppm)	>35		255-51-153
		10-35		255-192-0
		0.5-10		0-112-192
		<0.5		166-166-166
Metal Base	Cobre Cu (ppm)	>350		255-51-153
		100 - 350		255-192-0
		35 - 100		0-112-192
		<35		166-166-166

Fuente: Cía. de Minas Buenaventura S.A.A.- Exploraciones Generales, (Año 2016).

Para la generación de microcuencas y subcuencas geoquímicas sedimentarias se realiza el proceso de modelamiento de cuencas hidrográficas con Modelos Digitales de Terreno (MDT), de la siguiente manera:

1. El Modelo Digital de Terreno (MDT) utilizó el radar ALOS PALSAR (*Phased Array Type L-band Synthetic Aperture Radar*), de 12.5 metros de resolución espacial y la extensión GIS ARCHYDRO.
2. Se inicia con el pulido o eliminado de imperfecciones que pueda tener el Raster, causado por errores en la interpolación de datos, utilizando para ello la herramienta de **relleno de sumideros** (*Fill Sinks*) (Redondea el valor del pixel discontinuo de elevación al valor más cercano), esto se realiza con la finalidad de garantizar la representación de la cuencas y los arroyos.
3. Se calcula la **dirección de flujos de escorrentía** (*Flow Direction*), de cada pixel de entrada, posteriormente se determina el peso acumulado de todas los pixeles que fluyen en cada celda de pendiente descendente en el Raster de

salida con la herramienta **acumulación de flujos de escorrentía** (*Flow Accumulation*).

4. Para obtener la red hídrica se define el **umbral de detalle del drenaje con la herramienta** (*Stream Definition*) (Valor del 5%), posteriormente se **distingue los distintos tramos de la red hídrica con la herramienta** (*Stream Segmentation*), por último se convierte la red hídrica raster en vector con la herramienta (*Drainage line processing*), el nivel de detalle de la red hídrica será en base al valor asignado en el procesamiento.
5. Para la delimitación de la microcuenca hídrica se utilizara la herramienta (*Catchment Grid Delineation*) es decir las celdas que vierten el flujo a cada uno de los tramos de río (segmento) se convierten en una microcuenca, si las muestras abarcan varias microcuencas dentro de un sistema hidrológico más grande se puede unir en una subcuencas con la herramienta (*Adjoint Catchment processing*), obtenido las cuencas necesarias para la representación de las muestras geoquímicas de sedimentos se procede a convertir los raster de microcuencas y subcuencas en vector con la herramienta (*Catchment polygon processing*), posteriormente se almacena en el Dataset de GEOQUIMICA.

Una vez que se tienen las muestras de sedimentos de los principales elementos Au (ppb), Ag (ppm) y Cu (ppm), así como las cuencas delimitadas se procede a interseccionarlas de la siguiente manera:

1. Los menores valores de representación para las muestras deben de ser para Au (35-100 ppb), Ag (0.5-10ppm) y Cu (35-100ppm), en base a esos rangos se realiza una selección espacial (*Select by location*) de las microcuencas y

subcuencas, dando como resultado las cuencas con valores anómalos más representativos de los 03 elementos.

2. Se asigna el valor de las microcuencas y subcuencas promediando la cantidad de muestras que contiene para cada elemento Au (ppb), Ag (ppm) y Cu (ppm), se extrae los valores promedio a través de la herramienta (*Intersect*).
3. La valorización de las microcuencas y subcuencas se realiza con la Tabla 27, que asigna a cada cuenca un valor en base a la cantidad de elementos que contiene.

Tabla 27. Combinación de Elementos por Cuencas.

Au (ppb)	Ag (ppm)	Cu (ppm)	VALOR	GRADO O NIVEL
X	X	X	3.0	Muy Alto
X	X	-	2.4	Alto
X	-	X	1.8	Medio
-	X	X	1.8	Medio
X	-	-	1.8	Medio
-	X	-	1.5	Bajo
-	-	X	1.5	Bajo
-	-	-	1.0	Muy Bajo

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

4. Se debe de cubrir en su totalidad el área de estudio para generar una buena interpolación al momento de transformar los vectores a Raster, asignando el menor grado de valorización a las zonas sin presencia de cuencas geoquímicas sedimentarias.
5. Una vez cubierta y clasificada toda la zona de estudio se procede a convertir la capa vector resultante a Raster en formato BSQ, teniendo en cuenta el campo VALOR y la resolución espacial de 30 metros. (Ver Figura 26)

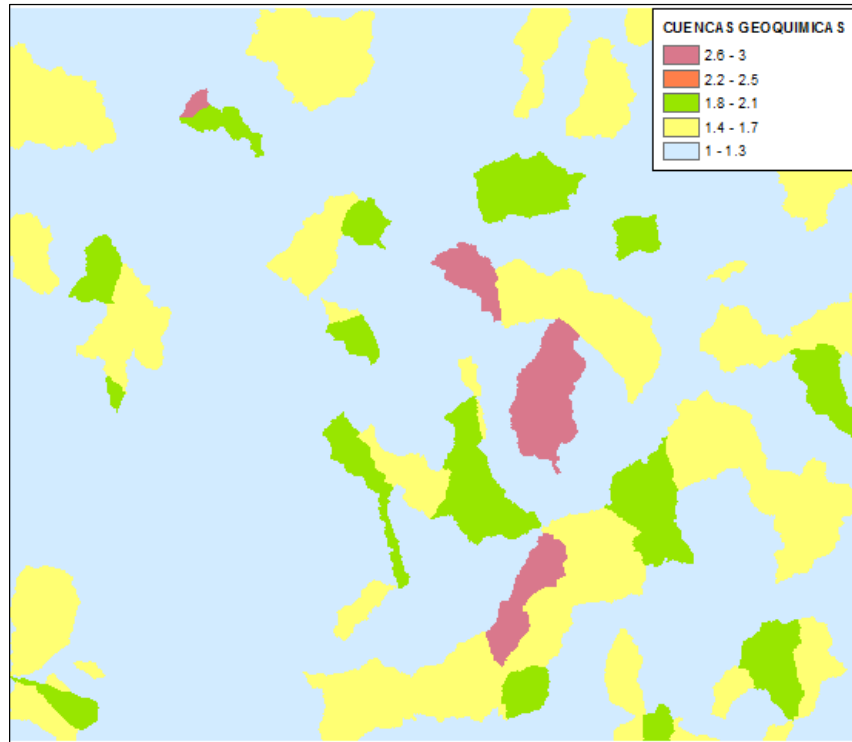


Figura 26. Raster Cuencas Geoquímicas.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

4.4.6. Sensores Remotos.

En el procesamiento de sensores remotos se utiliza las anomalías espectrales identificadas del sensor LANDSAT 8, de la siguiente manera:

1. Se realiza la unión de anomalías en modo edición (*Merge*) por cada categoría de registro, además se debe de cubrir en su totalidad el área de estudio para generar una buena interpolación al momento de transformar los vectores a Raster, asignando el menor grado de valorización a las zonas con ausencia de anomalías espectrales.
2. Se valoriza cada categoría en base a la Tabla 28.

Tabla 28. Valorización de Anomalías Espectrales.

TIPO	VALOR	GRADO O NIVEL
Óxidos + Arcillas	2.8	Muy Alto
Óxidos	2.2	Alto
Arcillas	1.9	Medio
Ausencia de Anomalías	1.5	Bajo

Fuente: Dirección de Recursos Minerales y Energéticos (DRME), (Año 2013).

- Una vez cubierta y clasificada toda la zona de estudio se procede a convertir la capa vector resultante a Raster en formato BSQ, teniendo en cuenta el campo VALOR y la resolución espacial de 30 metros. (Ver Figura 27)

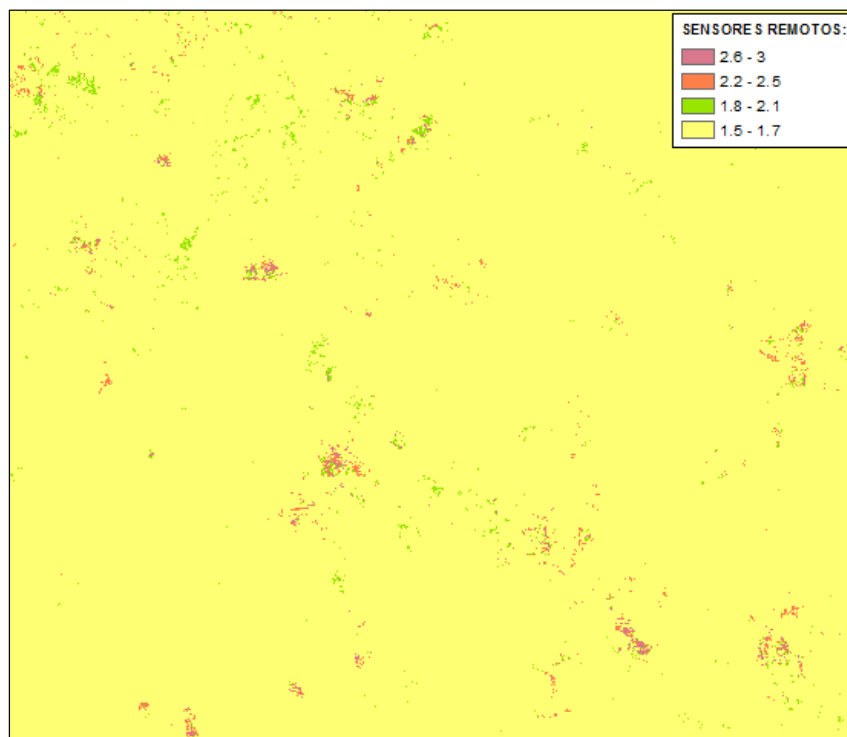


Figura 27. Raster Sensores Remotos.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

Como resultado se generaron 06 variables metálicas, clasificadas según el rango de escalas de valorización establecido Tabla 18, obteniéndose 06 imágenes en formato

Raster con resolución espacial de 30 metros y extensión de archivo BSQ. (Ver Figura 28)

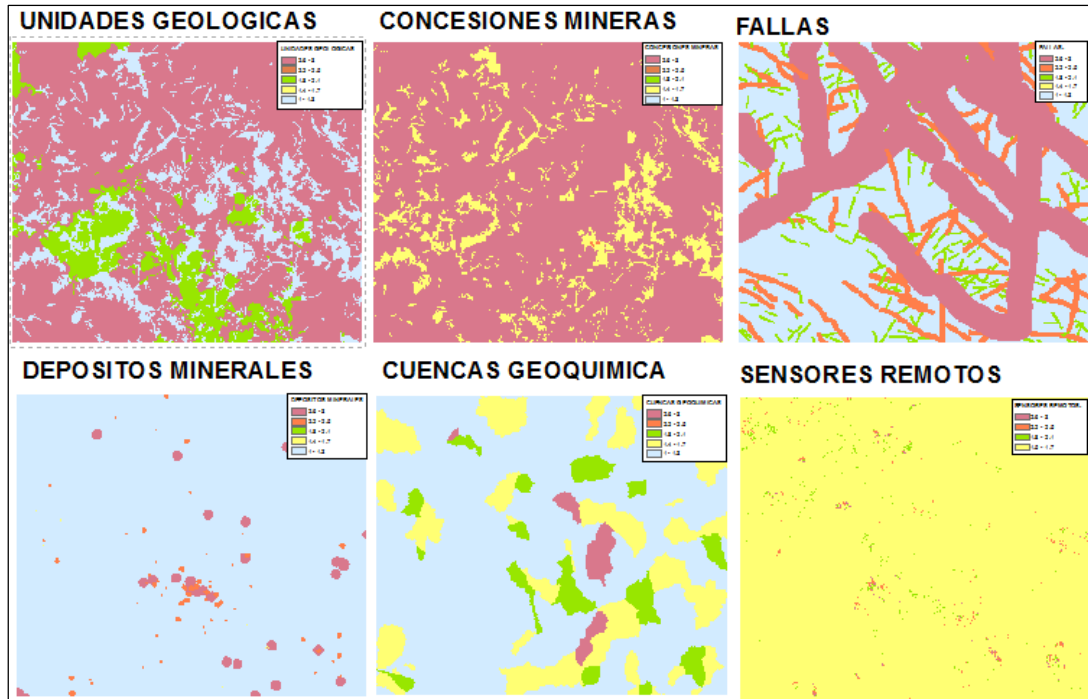


Figura 28. Variables de Potencial Minero Metálico.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

4.5. Ponderación de Variables Metálicas:

Con la finalidad de determinar el grado de importancia de cada variable se aplica el método de comparación pareada desarrollado por la Dirección de Recursos Minerales y Energéticos (DRME) – INGEMMET.

Para asignar el valor adecuado a las capas de potencial minero metálico en la matriz de comparación pareada se utiliza la Tabla 29, donde los criterios de comparación van del rango 1 al 9, los cuales especifican el valor de importancia que tiene una capa sobre otra o la igualdad entre ellas.

Tabla 29. Criterios de Comparación de Variables Metálicas.

COMPARACION	EXPLICACION	
1	Igual importancia	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio
3	Moderadamente más importante un elemento que el otro	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente al otro
5	Fuertemente más importante un elemento que en otro	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro
7	Mucho más fuerte la importancia de un elemento frente que la del otro	Un elemento domina fuertemente. Su dominación está probada en práctica
9	Importancia extrema de un elemento frente al otro	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible

Fuente: Dirección de Recursos Minerales y Energéticos (DRME), (Año 2013).

Se realiza la comparación pareada de las capas de potencial minero metálico, teniendo en cuenta el grado de influencia que tienen los criterios o variables, en la relación y determinación de las posibles zonas de exploración. (Ver Tabla 30)

Tabla 30. Matriz de Comparación Pareada.

ATRIBUTO	UNIDAD GEOLOGICA	CONCESIONES MINERAS	FALLAS	DEPOSITOS MINERALES METALICOS	CUENCAS GEOQUIMICAS	SENSORES REMOTOS
Unidades Geológicas	1	5	6	7	8	9
Concesiones Mineras	1/5	1	3	5	8	9
Fallas	1/6	1/3	1	3	6	7
Depósitos Minerales Metálicos	1/7	1/5	1/3	1	3	3
Cuencas Geoquímicas	1/8	1/8	1/6	1/3	1	2
Sensores Remotos	1/9	1/9	1/7	1/3	1/2	1

Fuente: Dirección de Recursos Minerales y Energéticos (DRME), (Año 2013).

Como resultado se obtiene la Tabla 31 donde se especifica los pesos ponderados para cada variable metálica, los cuales serán aplicados en el algoritmo de potencial minero, cada peso está relacionado al grado de importancia de su variable.

Tabla 31. Pesos de Variables Metálicas.

VARIABLES	PESO
Unidades Geológicas	0.481
Concesiones Mineras	0.239
Fallas o Lineamientos Estructurales	0.145
Depósitos Minerales Metálicos	0.069
Cuencas Geoquímicas	0.038
Sensores Remotos	0.027

Fuente: Dirección de Recursos Minerales y Energéticos (DRME), (Año 2013).

4.6. Superficie de Potencial Minero Metálico:

Una vez valorizada cada variable metálica y asignado sus pesos respectivos, se proceden a calcular el algoritmo de potencial minero con la siguiente formula:

$$(V_1 \times P_1) + (V_2 \times P_2) + (V_3 \times P_3) + (V_4 \times P_4) + (V_5 \times P_5) + (V_6 \times P_6) \quad 1.0$$

Dónde:

$V_{(n)}$: Variables

$P_{(n)}$: Pesos

Se utiliza para el cálculo la herramienta (**Map Algebra**) de ARCGIS que se encuentra dentro del grupo de herramientas del Arctoolbox (Ver Figura 29), de la siguiente manera:

1. Se importa los 06 Raster de cada variable dentro de la herramienta de cálculo (**Map Algebra**).

2. Se multiplica cada Raster por su respectivo peso y posteriormente se suma las 06 variables. (Ver Formula 1)
3. Se obtiene el Raster de superficie de potencial minero metálico para el Área Regional Arequipa. (Ver Figura 29)

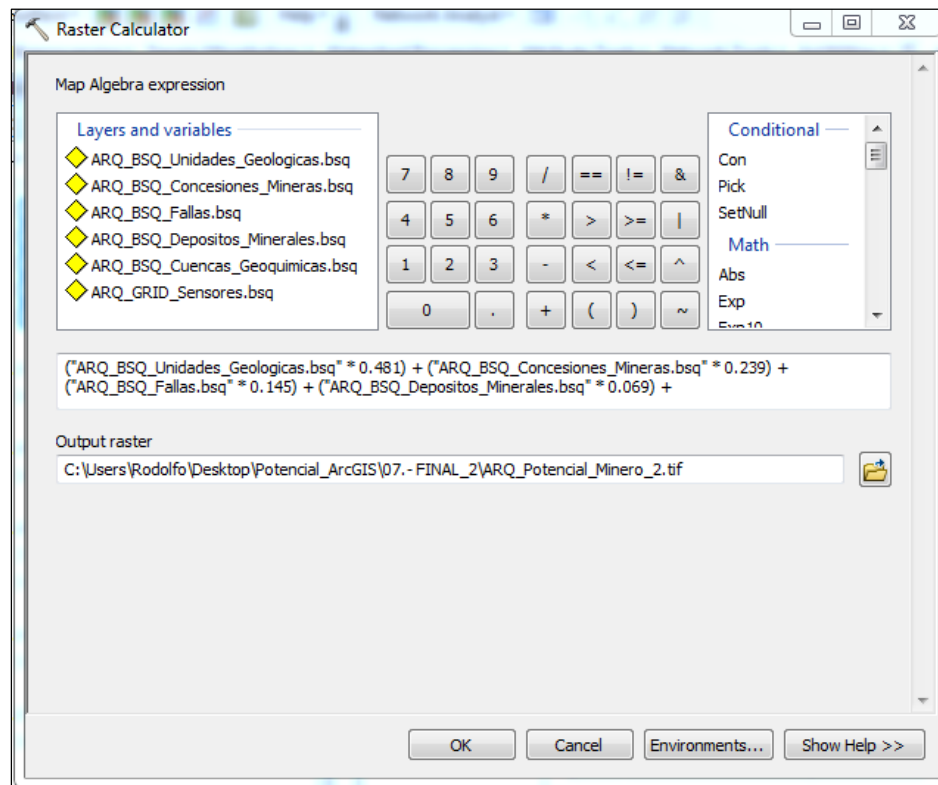


Figura 29. Calculo de Potencial Minero (*Raster Calculator*).

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

El mapa de potencial minero grafica zonas de muy alta potencialidad (2.6 - 3.0) asociados a las grandes fallas regionales de orientación NW-SE, así como también representa valores altos (2.2 - 2.5) asociados a las principales unidades geológicas relacionados con los grupos y formaciones de Metalotectos. (Ver Figura 30)

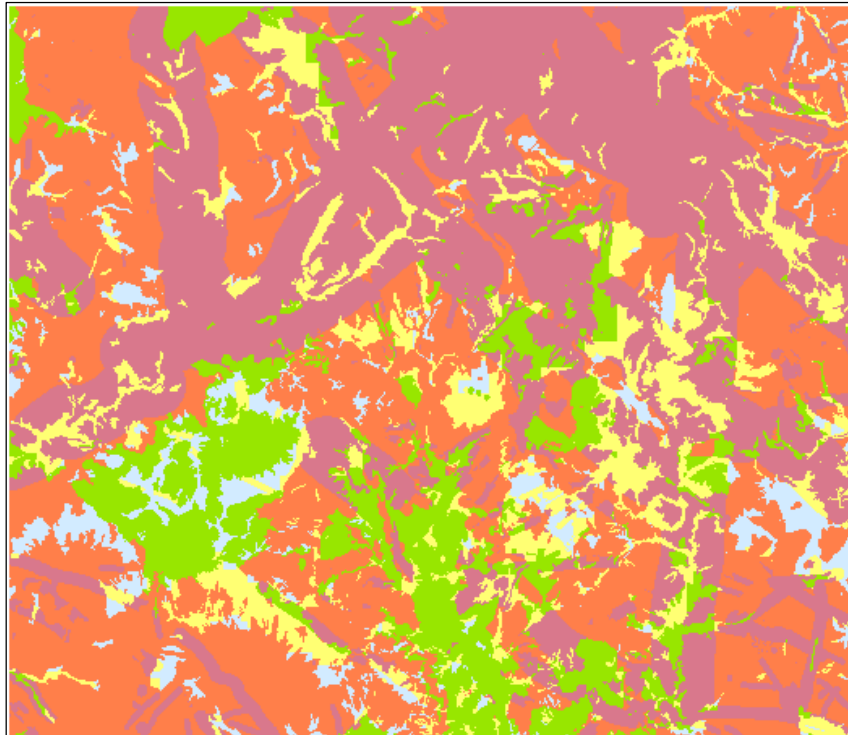


Figura 30. Superficie de Potencial Minero Metálico.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

4.7. Pre - Procesamiento de Imágenes ASTER:

Las imágenes ASTER utilizadas han sido adquiridas por el Área de Sistema de Información Geológica (SIG) – Exploraciones Generales de Cía. de Minas Buenaventura S.A.A., estas imágenes han sido capturadas en distintas fechas y presentan un nivel de corrección L1T (contienen datos calibrados de radianza en el sensor y correcciones geométricas aplicados a la imagen (GLS2000), los datos se encuentran orientados al norte de la trayectoria UTM, el error de paralaje que afecta al SWIR esta corregido), siendo adquiridas y utilizadas en diferentes proyectos de exploración de forma individual (por escenas). (Ver Anexo 9.3 y Tabla 32)

Tabla 32. Características de Imágenes ASTER.

	CODIGO ASTER	REFERENCIA	ZONA	FECHA
1	AST_L1T_00307202001151843_20150418155019_3 9522	Proyecto Azuca	18	20/07/2001
2	AST_L1T_00308142001151217_20150501181937_9 3188	Minas Ares - Arcata	18	14/08/2001
3	AST_L1T_00308142001151226_20150501181943_2 5956	Minas Tambomayo - Orcopampa	18	14/08/2001
4	AST_L1T_00308202003150402_20150430135750_1 20354	Mina Madrigal	19	20/08/2003
5	AST_L1T_00308202003150353_20150430135746_6 6662	Mina Suyckutambo	19	20/08/2003
6	AST_L1T_00306292005151015_20150510025224_1 11123	Mina Arirahua	18	29/06/2005
7	AST_L1T_00306292005151006_20150510025223_1 16844	Proyecto Esperanza	18	29/06/2005
8	AST_L1T_00307312005151010_20150510134142_2 5536	Minas Poracota - Chipmo	18	31/07/2005
9	AST_L1T_00307312005151019_20150510134142_2 5538	Proyecto Paychiloma	18	31/07/2005

Fuente: Cía. de Minas Buenaventura S.A.A.- Exploraciones Generales, (Año 2018).

4.7.1. Calibración Radiométrica.

Utilizando las imágenes ASTER ya calibradas geométricamente y sin errores de paralaje que puedan distorsionar las bandas, se procede a extraer los datos de radiancia en el sensor almacenado como números digitales (ND), con el siguiente algoritmo (Guía de usuario ENVI - *Radiometric Calibration*) (Ver Formula 2 y Tabla 33).

$$L_{VNIR-SWIR} = \left(\frac{A}{G}\right)ND + D \quad 2.0$$

Dónde:

$L_{VNIR-SWIR}$: Radiancia espectral $W/(m^2 sr \mu m)$.

A: Coeficiente de corrección lineal.

G: Ganancia (**Gain**).

D: Sesgo (**Offset**).

ND: Número Digital para cada pixel de la imagen.

Tabla 33. Muestra los Coeficientes de Conversión Unitarios de Cada Banda.

Banda	Coeficiente (W/m ² *sr*um)/DN)			
	Ganancia Alta	Ganancia Normal	Baja Ganancia 1	Baja Ganancia 2
1	0.676	1.688	2.25	N/A
2	0.708	1.415	1.89	
3N	0.423	0.862	1.15	
3B	0.423	0.862	1.15	
4	0.1087	0.2174	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	6.822 x 10-3	N/A	N/A
11		6.780 x 10-3		
12		6.590 x 10-3		
13		5.693 x 10-3		
14		5.225 x 10-3		

Fuente: AST_LIT Product User's Guide, (Año 2016).

4.7.2. Calibración de Reflectancia.

Modelo FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes), toma como base la ecuación estándar para la radiancia espectral de un pixel en el sensor L, aplicado para el rango de longitud de onda solar (la emisión térmica es despreciada), en materiales Lambertianas o equivalentes, tomando la siguiente expresión, (Guía de usuario ENVI - ITT) (Ver Formula 3).

$$L = \left(\frac{A\rho}{1-\rho_e S} \right) + \left(\frac{B\rho_e}{1-\rho_e S} \right) + L_a \quad 3.0$$

Dónde:

ρ : Reflectancia superficial del pixel.

ρ_e : Reflectancia superficial promedio del pixel y la región de entorno.

S : Albedo esférico de la atmósfera.

L_a : Parte de la radiancia dispersada por la atmósfera.

A y B: Son coeficientes que dependen de las condiciones atmosféricas y geométricas pero no de la superficie.

Antes de aplicar la subrutina FLAASH a las imágenes ASTER, se debe tener la información calibrada en radiancia y almacenada en formato BIL (Band interleaved by Line); posteriormente, es necesario dividir por un factor de escala de 10 de tal forma que se obtengan de dicha transformación en unidades $mW/(cm^2 sr \mu m)$ coincidan con las unidades que manejan los procesos de la subrutina FLAASH $\mu W/(cm^2 sr nm)$.

Se tuvo en el procesamiento algunas consideraciones con respecto a la ubicación del área de estudio, el modelo que simula FLAASH el cual compensa los efectos atmosféricos, se basa en la transferencia de radiación MODTRAN4; siendo configurado la zona de estudio como un clima Tropical según la Tabla 34, así como rural (Centros poblados dispersos) para el modelo de aerosoles; otros parámetros que la subrutina FLAASH emplea son: la posición geográfica del centro de la imagen, el tipo de sensor, la altitud del sensor, la elevación, el tamaño del pixel, la fecha y hora de la imagen y la visibilidad (Ver Tabla 35); estos datos fueron obtenidos del metadato de las imágenes ASTER. (Ver Figura 31)

Tabla 34. Tabla de Magnitudes Aplicadas al Modelo de la Atmosfera – MODTRAN.

Modelo Atmosférico	Vapor de Agua (std atm-cm)	Vapor de Agua (g/cm ²)	Temperatura del Aire en Superficie
Sub-Artico Invierno (SAW)	518	0.42	-16° C o 3° F
Medio - Latitud Invierno (MLW)	1060	0.85	-1° C o 30° F
Estandar EEUU (US)	1762	1.42	15° C o 59° F
Sub-Artico Verano (SAS)	2589	2.08	14° C o 57° F
Medio - Latitud Verano (MLS)	3636	2.92	21° C o 70° F
Tropical (T)	5119	4.11	27° C o 80° F

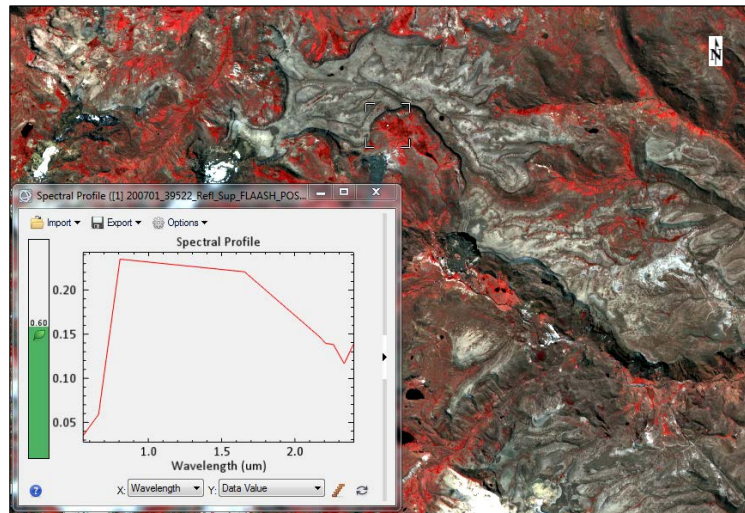
Fuente: Manual de ENVI Classic Tutorial: Using ASTER Data with FLAASH, (Año 2013).

Web: <http://www.exelisvis.com/Learn/Resources/Tutorials>

Tabla 35. Valores Próximos en Condiciones Climáticas – MODTRAN.

Estado del Tiempo	Escena Visibilidad
Claro	40 - 100 km
Claro Solar Moderada	20 - 30 km
Grueso Haze	15 km o menos

*Fuente: Manual de ENVI Classic Tutorial: Using ASTER Data with FLAASH, (Año 2013).
Web: <http://www.exelisvis.com/Learn/Resources/Tutorials>*



Firma espectral de vegetación en el procesamiento de corrección atmosférica FLAASH, teniendo en cuenta la baja reflectividad en el visible con ausencia de la banda azul ($0.485 \mu m$) en el sensor ASTER; alta reflectividad en el IRC debido a la estructura celular de la plantas y una baja reflectividad en el SWIR causado por el efecto absorbente del agua.

Figura 31. Firma Espectral de vegetación – ASTER.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

4.7.3. Generación de Máscaras Espaciales.

- **Aplicación de Máscaras para Vegetación:**

Para la generación de la máscara de vegetación se calculara el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada), que se desarrolla como un índice derivado de las medidas de los valores de la reflectancia en la banda roja (Red) y el infrarrojo próximo (NIR) del espectro electromagnético que describe la cantidad relativa de biomasa de una región a otra (ROUSE ET AL 1974); la cual

presenta una reflectancia muy alta en los $0.80 \mu m$ de longitud de onda y baja en el resto de las longitudes de onda (especialmente en el rojo). (Ver Figura 32)

Se calcula mediante la fórmula:

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_R)}{(\rho_{NIR} + \rho_R)} \quad 4.0$$

Dónde:

ρ_{NIR} : Reflectancia en la banda del Infrarrojo Cercano (NIR).

ρ_R : Reflectancia en la banda Roja (Red).

Siendo:

$$NDVI_{ASTER} = \frac{(B_3 - B_2)}{(B_3 + B_2)}$$

NDVI puede adquirir valores comprendidos entre -1 y 1. El valor 0 corresponde a suelo completamente desnudo, sin vegetación y 1 a suelo con una cubierta de biomasa máxima. Se puede presentar el caso en que NDVI presente valores negativos, lo que indicaría la presencia de lámina de agua, nieve o nubes.

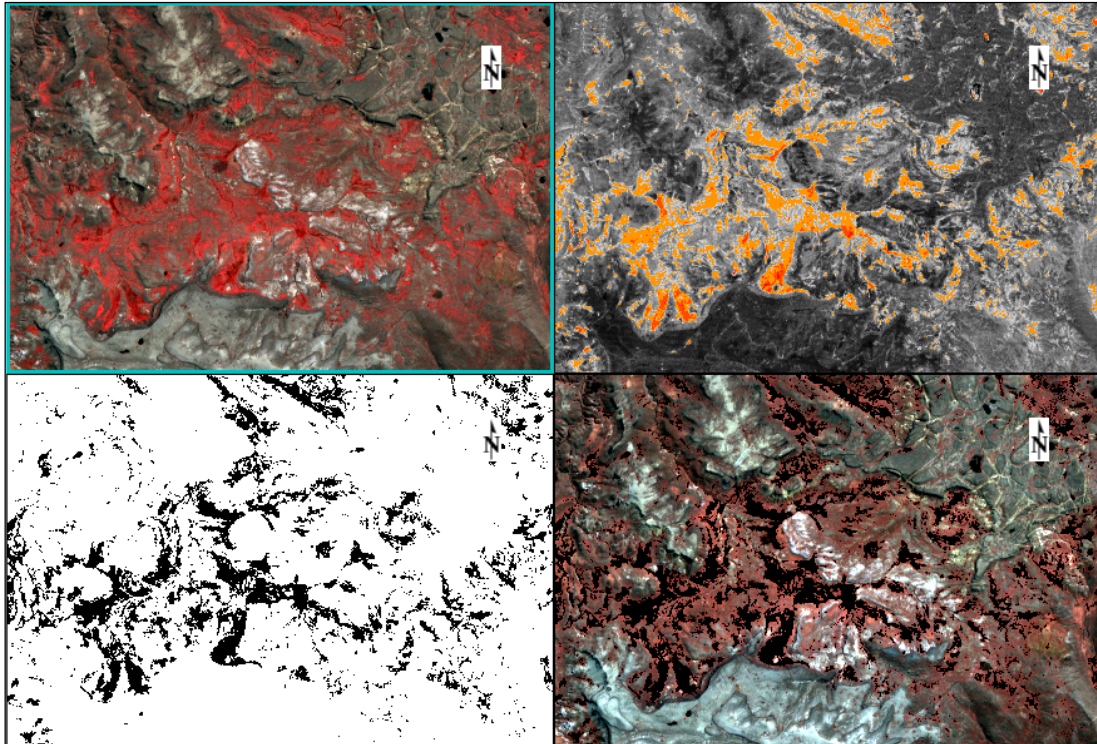


Imagen en falso color RGB 321 (Izquierda Superior) que resalta la vegetación en intensidades de color rojo, contrastadas con el NDVI (Derecha Superior) ≥ 0.6 para discriminar las áreas de mayor concentración de vegetación, posteriormente se genera la máscara de vegetación (Inferior Izquierda) que suprime la vegetación en el rango 0.6 – 1 del NDVI y la aplicación de la máscara de vegetación (Derecha inferior) con zonas oscuras en reemplazo de la vegetación.

Figura 32. Aplicación de la Máscara de Vegetación ASTER.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

- **Aplicación de Máscaras para Nieve:**

Se aplica el NDSI (Índice de Nieve de Diferencia Normalizada), que desarrolla un índice derivado de las medidas de los valores de la reflectancia en la banda roja (Red) y el infrarrojo de onda corta (SWIR) del espectro electromagnético que delimita y mapea la nieve (KULKARNI ET. 2002); el cual desprecia las variaciones de pendiente y los efectos de la topografía (NEGI ET AL. 2009); la intersección (superficie común) donde la ρ_{SWIR} es < 0.2 y NDSI es ≥ 0.4 produce las máscaras de nieve; siendo las áreas más claras los valores más altos de NDSI. (Ver Figura 33)

Se calcula mediante la fórmula:

$$\rho_{SWIR} < 0.2 \cap NDSI = \frac{(\rho_G - \rho_{SWIR})}{(\rho_G + \rho_{SWIR})} \geq 0.4 \quad 5.0$$

Dónde:

ρ_G : Reflectancia en la banda Verde (Green).

ρ_{SWIR} : Reflectancia en la banda del Infrarrojo de Onda Corta (SWIR).

Siendo:

$$NDSI_{ASTER} = \frac{(B_1 - B_4)}{(B_1 + B_4)}$$

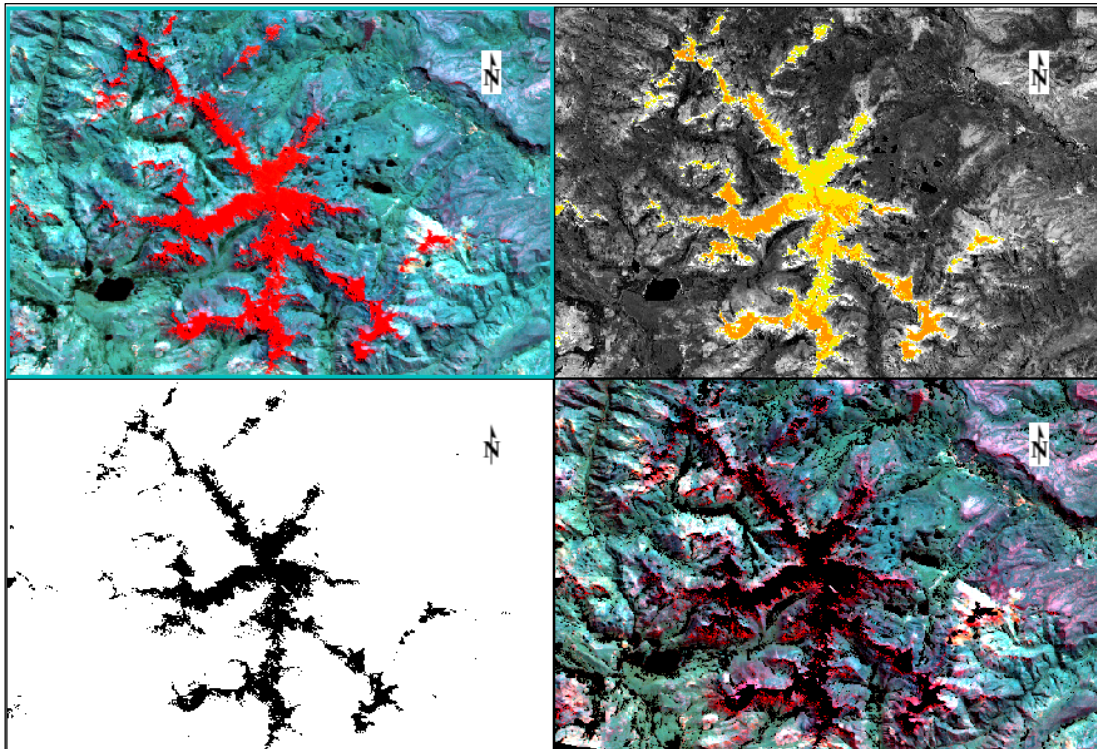


Imagen en falso color RGB 159 (Izquierda Superior) que resalta la nieve en color rojo, contrastadas con el NDSI (Derecha Superior) ≥ 0.4 para discriminar las áreas de mayor concentración de nieve, posteriormente se genera la máscara de nieve (Inferior Izquierda) que suprime la nieve en el rango $0.4 - 1$ del NDSI y la aplicación de la máscara de nieve (Derecha inferior) con zonas oscuras en reemplazo de la nieve.

Figura 33. Aplicación de la Máscara de Nieve ASTER.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

- **Aplicación de Máscaras para Agua y Sombra:**

Siendo el NDWI (Índice de Agua de Diferencia Normalizada), un índice derivado de las medidas de los valores de la reflectancia en la banda del infrarrojo cercano (NIR) y el infrarrojo de onda corta (SWIR) del espectro electromagnético, que detecta agua líquida en la vegetación (*ECUACIÓN 1 DE GAO, 1996*); el NIR refleja la vegetación relativamente alta, mientras que los aumentos de reflectancia SWIR como contenido de agua disminuye en la vegetación, siendo los valores de $NDWI > 0$ suponen superficies de agua y en algunos casos abarcan superficies de sombras, mientras que los valores de $NDWI \leq 0$ suponen superficies diferentes al agua. (Ver Figura 34)

Se calcula mediante la fórmula:

$$NDWI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{SWIR})}{(\rho_{NIR} + \rho_{SWIR})} \quad 6.0$$

Dónde:

ρ_{NIR} : Reflectancia en la banda del Infrarrojo Cercano (NIR).

ρ_{SWIR} : Reflectancia en la banda del Infrarrojo de Onda Corta (SWIR).

Siendo:

$$NDWI_{ASTER} = \frac{(B_3 - B_4)}{(B_3 + B_4)}$$

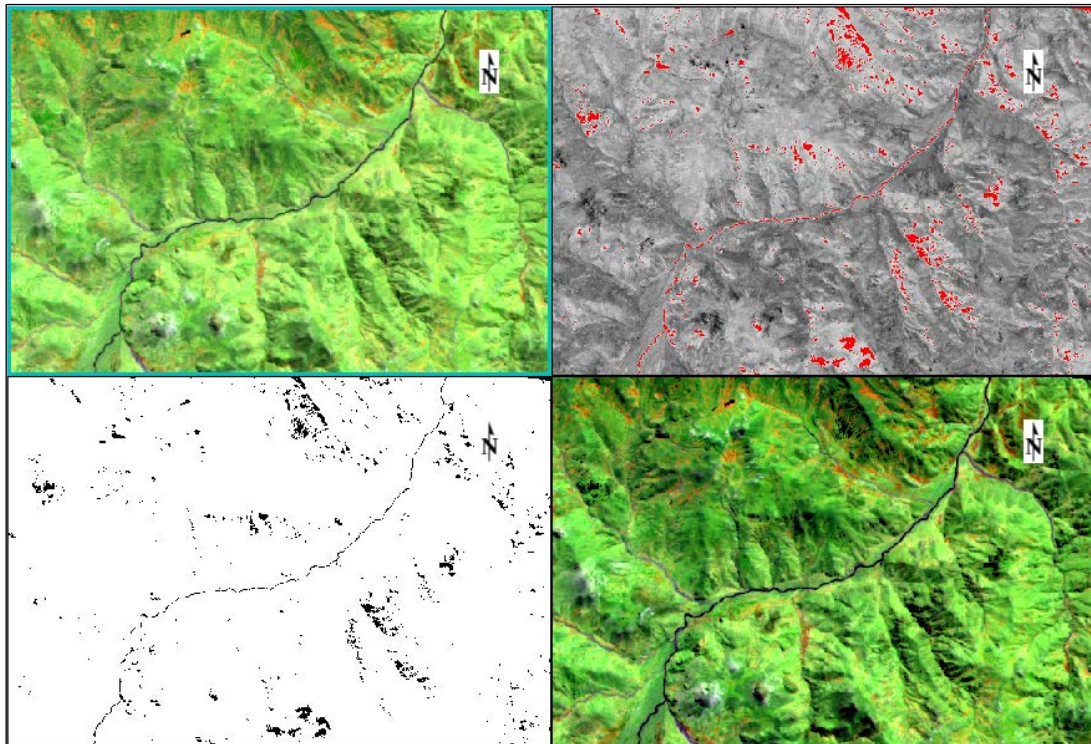


Imagen en falso color RGB 341 (Izquierda Superior) que muestra el río y las sombras en color negro, contrastadas con el NDWI (Derecha Superior) > 0 para discriminar las áreas de superficie de agua y sombra, generación de la máscara de Agua y Sombra (Inferior Izquierda) que suprime el agua y sombra en el rango $0 - 1$ del NDWI y la aplicación de la máscara de agua y sombra (Derecha inferior) con zonas oscuras en reemplazo las superficies de agua y sombras.

Figura 34. Aplicación de la Máscara de Agua y Sombra ASTER.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

Los valores de NDVI, NDSI y NDWI están en el rango entre -1 y +1. Los valores inferiores a 0 se filtraron para maximizar los resultados, siendo de interés el rango de (0 a 1). Estos valores componen menos del 1% de las imágenes.

- **Aplicación de Máscaras para Nubes:**

Para la obtención de la radiancia en el espectro térmico se emplea la misma metodología descrita en la calibración del espectro óptico; es decir convertir los niveles digitales a radiancia, usando los coeficientes de calibración del sensor térmico (Ver Formula 2) o la herramienta (*Radiometric Calibration*) de ENVI. (Ver Figura 35)

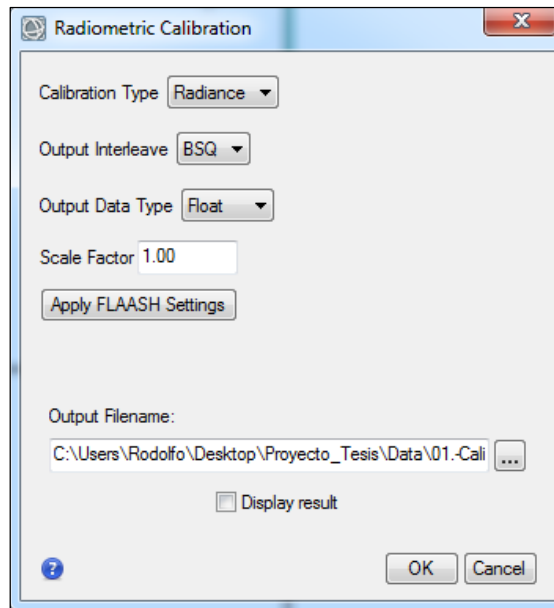


Figura 35. Aplicación de la Herramienta Radiometric Calibration.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

Para la corrección atmosférica térmica se utiliza la herramienta (*Thermal Atmospheric Correction*) de ENVI (Este algoritmo asume que la atmósfera es uniforme sobre la escena de datos y que existe una superficie cercana al cuerpo negro dentro de la escena), teniendo en cuenta lo siguiente:

- 1.- El factor de escala se deja por defecto ya que las unidades de entrada son las mismas a la de salida. ($W / m^2 / \mu m / sr$).
- 2.- Seleccione “ALL” estimará la temperatura de la superficie para cada píxel utilizando el valor máximo de las temperaturas de brillo encontradas a lo largo de las longitudes de onda de entrada.
- 3.- Para el grafico de dispersión se deja por defecto la opción “Top of Bins” (Ajusta una línea en la parte superior del diagrama de dispersión de la luminosidad frente a la temperatura del brillo). (Ver Figura 36)

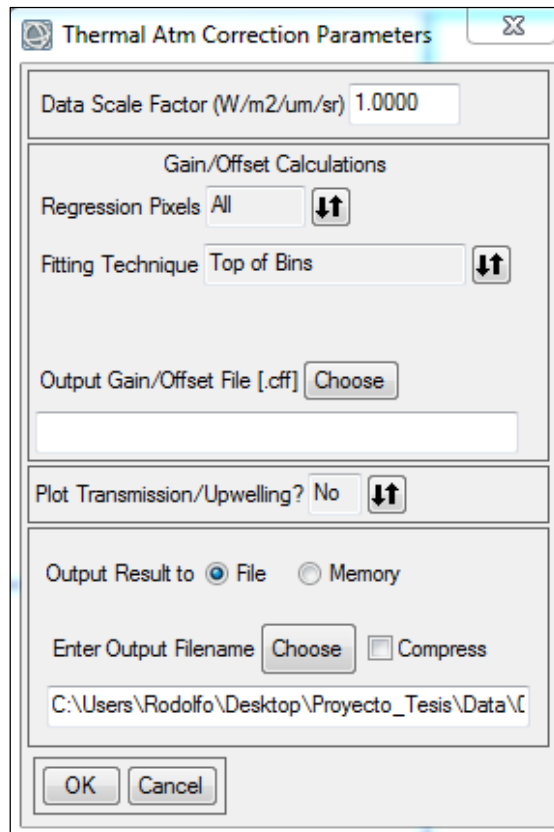


Figura 36. Aplicación de la Herramienta Thermal Atmospheric Correction.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

Para poder separar la información de la emisividad y temperatura en los datos de luminosidad medidos con el sensor se utiliza la herramienta (*Emissivity Normalization*) de ENVI (Técnicas asumen un valor de emisividad fija) (Ver Figura 37), para lo cual se debe de tener en cuenta:

- 1.- Se deja por defecto la escala de valores de radiancia en las unidades y factor de escala de longitud (leídas desde el encabezado en unidades de μm).
- 2.- La emisividad fija se asume como el valor de 0.9600 (Puede variar).

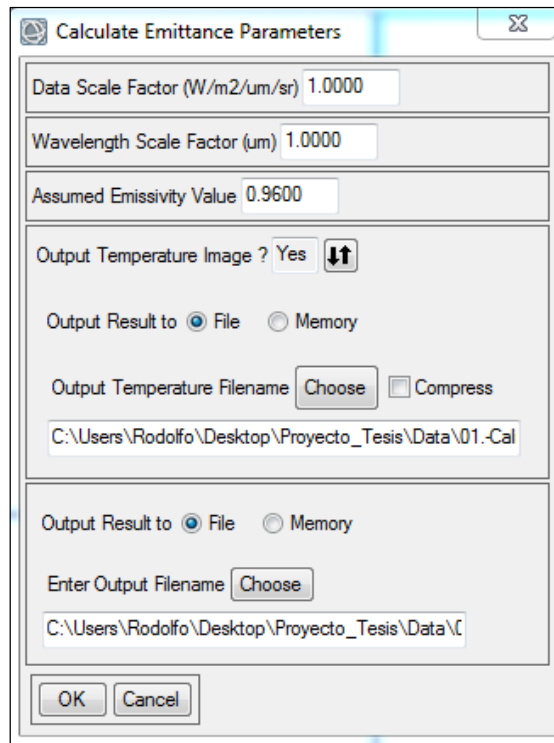


Figura 37. Aplicación de la Herramienta Emissivity Normalization.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

Teniendo como resultado la imagen de Temperatura en grados Kelvin, el último paso es poder convertirlo en grados Celsius, es decir restarle 273.15, para poder generar la máscara de nubes en base a su temperatura (C°). (Ver Figura 38)

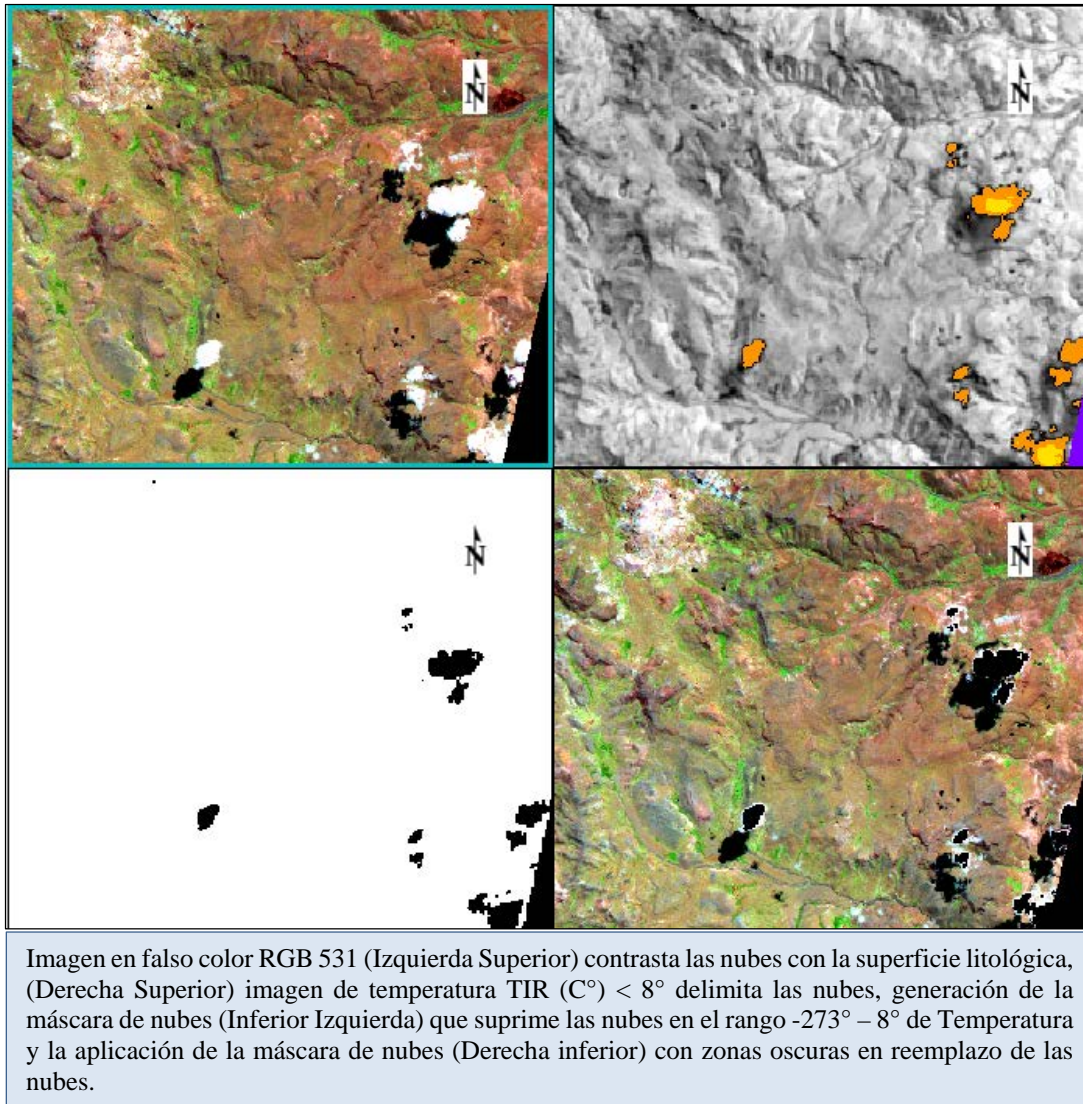


Figura 38. Aplicación de la Máscara de Nubes ASTER.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

Se construye una nueva mascara general que contenga todas las máscaras creadas (Aguas, sombras, nieve, vegetación y nubes), con la finalidad de eliminar los pixeles o registros que puedan causar falsas detecciones en el procesamiento de imágenes ASTER. (Ver Figura 39)

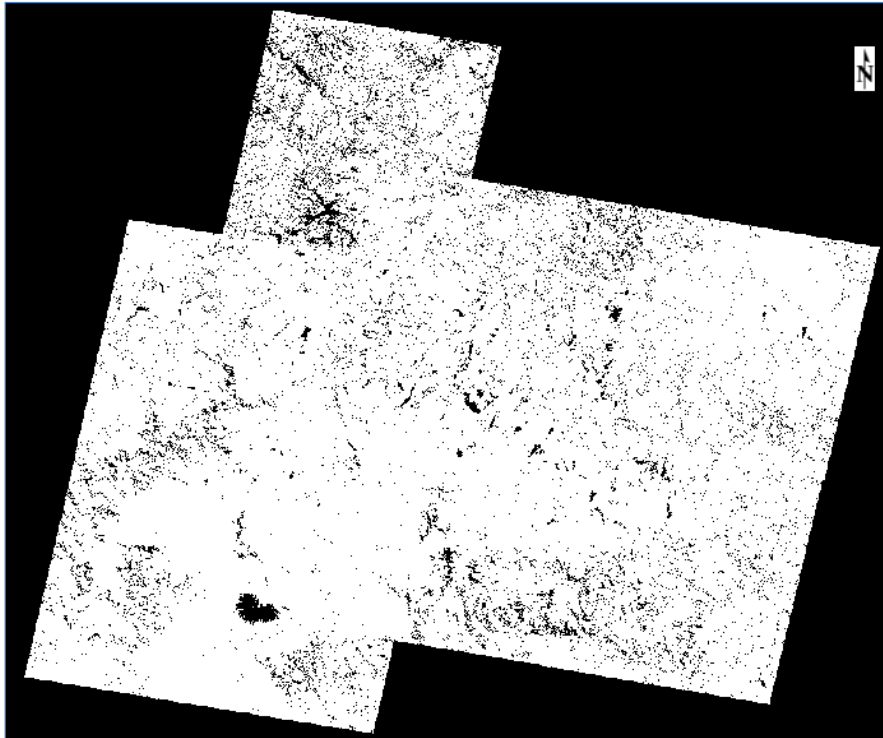


Figura 39. Máscaras Espectrales General de Imágenes ASTER.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

4.8. Procesamiento de Imágenes ASTER:

Se aplicó una variedad de métodos y técnicas para resaltar o identificar anomalías en la superficie terrestre que nos ayuden a determinar posibles depósitos minerales, para lo cual se utilizó la metodología de procesamiento de Óxidos de Hierro y Alteraciones Hidrotermales, Minerales de Alteración y Lineamientos Estructurales, para ello se usó las técnicas al (95% de confiabilidad), como combinación en falso color, ratios, cocientes entre bandas, Análisis de Componentes Principales (PCA), Filtrado Emparejado (MF) y Ajuste de Características Espectrales (SFF). (Ver Anexo 9.3)

4.8.1. Combinación y Cocientes entre Bandas.

- **Combinación de Bandas:**

Las imágenes de color se obtienen al combinar 3 bandas, asignándoles a cada una de estas los colores primarios: Rojo, Verde y Azul (RGB); de esta manera se logran las imágenes en falso color resaltando las características de la superficie de acuerdo al tipo de estudio que se desea realizar como: estudio de la erosión de playas y arenales, inventario regional del medio ambiente para hacer estudios de impacto ambiental, cartografía geológica para la exploración de pozos petroleros, etc.

Para este estudio se aplica en la determinación de anomalías de óxidos de hierro, alteraciones hidrotermales y lineamientos estructurales. (Ver Tabla 36)

Tabla 36. Principales Combinaciones RGB Aplicadas a Geológica.

	COMBINACION (RGB)	DESCRIPCION
1	321	Color Natural / Anomalías de Óxidos
2	631	Litología
3	468	Alteración
4	742	Diferenciación de Unidades Litológicas y Rasgos Estructurales.

Fuente: Laboratorio de Teledetección (LTD) – INGEMMET, (Año 2018).

Podemos identificar visualmente la presencia de zonas de óxidos, alteraciones, vegetación, nevados, cuerpos de agua etc. Las combinaciones RGB se describen:

RGB 321: Se reconoce a la vegetación en tonalidades de rojo (relacionado a estado de la vegetación), zonas de óxidos en tonalidades cafés oscuros a claros, las alteraciones en color blanco (Se confunde con la nieve) y cuerpos de agua en tonalidades de azul y color negro. (Ver Figura 40)

RGB 631: Se identifica los diferentes tipos de rocas en distintas tonalidades de oscuras a claras, las zonas de alteración en color blanco, los nevados en color celeste y la vegetación en color verde. (Ver Figura 40)

RGB 468: Se visualiza las alteraciones hidrotermales en tonalidades rosadas, las zonas de óxidos en tonalidades morado, la vegetación en tonalidades de marrón y el agua o nevados en color negro. (Ver Figura 40)

RGB 742: Se representa con claridad los rasgos estructurales, las tonalidades oscuras litológicas, las alteraciones hidrotermales en color blanco y la nieve en color azul. (Ver Figura 40)

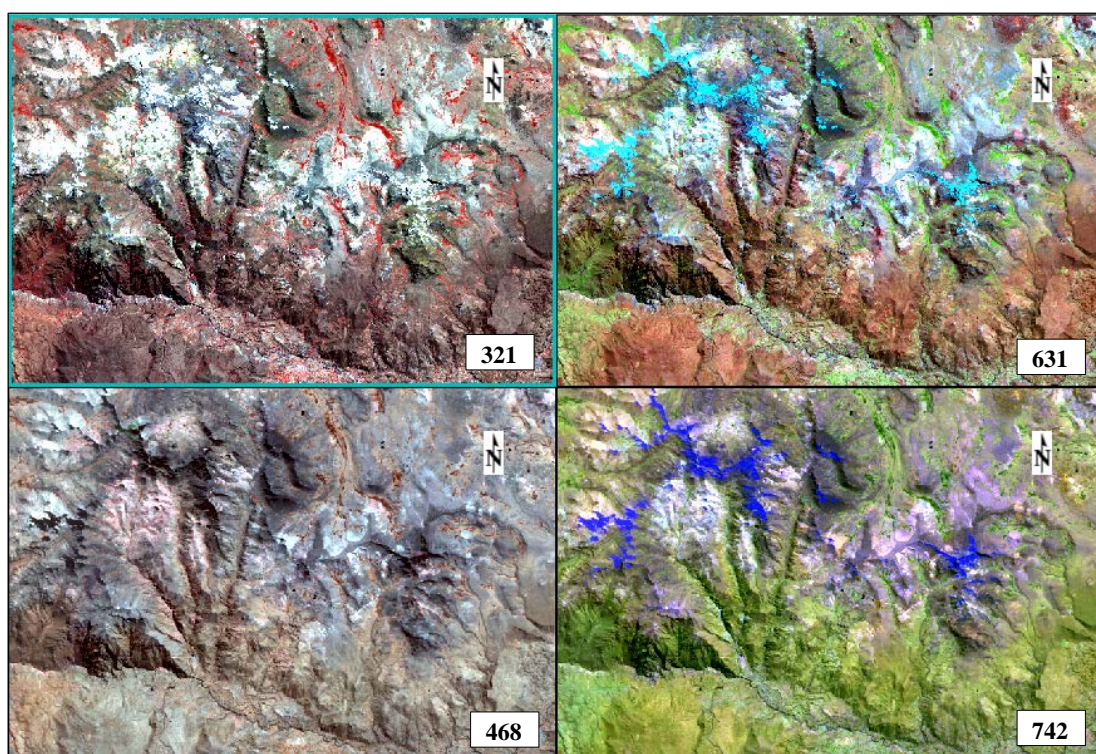


Imagen color natural y anomalías de óxidos RGB 321 (Izquierda Superior), imagen de discriminación litológica RGB 631 (Derecha Superior), imagen alteraciones hidrotermales RGB 468 (Inferior Izquierda), imagen de diferenciación de unidades litológicas y rasgos estructurales RGB 742 (Derecha inferior) todas ellas resaltando diferentes unidades geográficas.

Figura 40. Combinación de Bandas ASTER.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

- **Cocientes entre Bandas:**

Los cocientes o ratios de bandas nos ayuda a discriminar entre dos materiales con comportamiento reflectivo muy distinto en esas dos bandas, los resultados serán píxeles con la más grande diferencia de reflectancia entre las dos bandas espectrales involucradas.

Se debe tener en cuenta que las áreas de color más oscuro son aquellas en las cuales el denominador es mayor que el numerador, así mismo cuando el numerador es mayor que el denominador las áreas son más claras en las imágenes resultantes (Acosta, 1999).

Los cocientes de bandas que se aplican para poder discriminar zonas de óxidos, alteraciones hidrotermales, unidades litológicas y rasgos estructurales en los subsistemas VNIR-SWIR, describen rangos espectrales de picos de absorción y reflectancia característicos (Yamaguchi, 1987). (Ver Tabla 37)

Tabla 37. Cocientes entre Bandas Aplicados a la Exploración Minera.

	RATIO ENTRE BANDAS	DESCRIPCION
1	2/1, 4/1, 4/3	Zonas de Óxidos
2	4/5, 4/6, 4/7	Zonas de Alteración Hidrotermal
3	4/6, 5/6, 5/8	Tipos de Alteración
4	4/7, 4/1, ((2/3)*(4/3))	Diferenciación de Unidades Litológicas
5	5/8, 4/6, 6/7	Rasgos Estructurales

Fuente: Laboratorio de Teledetección (LTD) – INGEMMET, (Año 2018).

En la generación de los cocientes entre bandas se usó las herramientas del Software ENVI (*Band Ration* y *Band Math*), siendo utilizadas para resaltar y mejorar la interpretación visual de anomalías de óxidos, alteraciones, tipos de litología, lineamientos estructurales, vegetación, nevados, cuerpos de agua etc.

Las combinaciones de cocientes se describen:

RGB 2/1, 4/1, 4/3: Se definen las zonas con óxidos de hierro en tonalidades de rojo a blanco, debido a la buena reflectancia generada por la combinación de cocientes, con una fuerte absorción en las bandas 1 y 3 relacionados al enlace de Fe-OH e ion Fe⁺³ y una buena reflectancia en las bandas 2 y 4. (Ver Figura 41)

RGB 4/5, 4/6, 4/7: Se visualiza las zonas con alteración hidrotermal en color blanco, debido a la alta respuesta generada en los tres cocientes, el enlace Al-OH de las arcillas produce picos de absorción en las bandas 5 y 6, mientras que en la banda 7 la reflectancia es baja debido al enlace Fe-OH. (Ver Figura 41)

RGB 4/6, 5/6, 5/8: Se observa las variaciones de alteraciones hidrotermales en tonalidades de colores que van desde el verde oscuro, amarillos y rojo, el cociente 4/6 resalta las alteraciones acidas (alunita, dickita y caolinita), el cociente 5/6 resaltan las alteraciones intermedia o fílica (sericita, esmectita, motmorillonita e illita) y el cociente 5/8 resalta las alteraciones propilítica (clorita, epidota y calcita). (Ver Figura 41)

RGB 4/7, 4/1, ((2/3)*(4/3)): Se refleja la variación de unidades litológicas en tonalidades de azul, celeste, violeta y morado. (Ver Figura 41)

RGB 5/8, 4/6, 6/7: Se interpreta con mayor facilidad los rasgos estructurales, en tonalidades de celeste a blanco para lineamientos y en tonalidades de morado para estructuras circulares, debido a la buena relación de cocientes con picos de absorciones en las bandas 6, 7 y 8 relacionados al enlace Al-OH, Fe-OH y Mg-OH /CO₃ respectivamente. (Ver Figura 41)

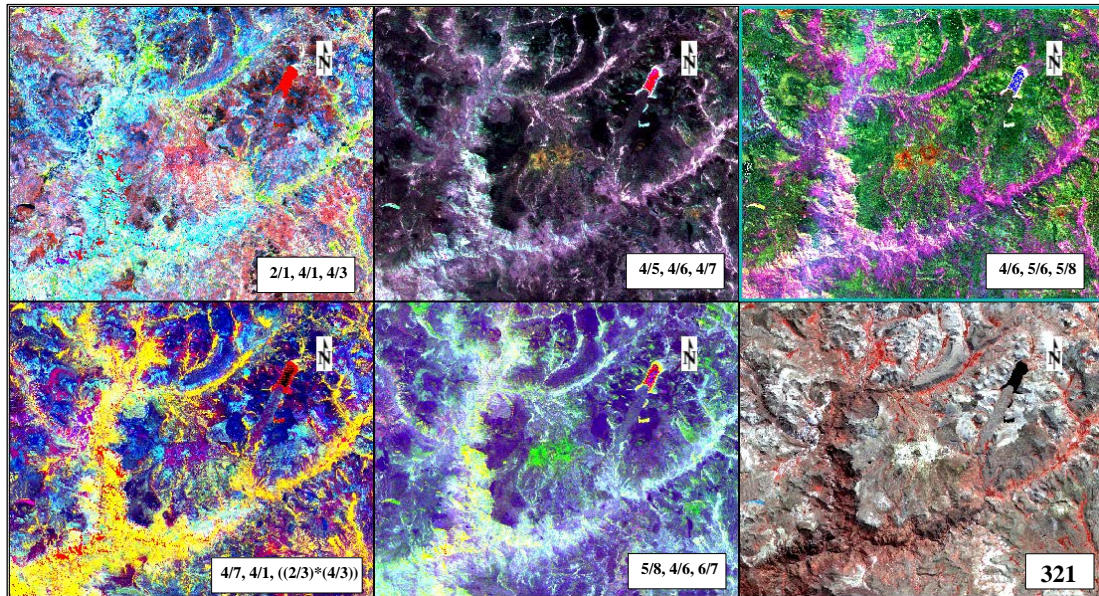


Imagen de óxidos de hierro cocientes RGB 2/1, 4/1, 4/3 (Izquierda Superior), imagen de alteración hidrotermal cocientes RGB 4/5, 4/6, 4/7 (Centro Superior), imagen de tipos de alteración hidrotermal cocientes RGB 4/6, 5/6, 5/8 (Derecha Superior), imagen de unidades litológicas cocientes RGB 4/7, 4/1, ((2/3)*(4/3)) (Izquierda Inferior), imagen de rasgos estructurales cocientes RGB 5/8, 4/6, 6/7 (Centro inferior) e imagen en falso color RGB 321 (Derecha Inferior).

Figura 41. Cocientes entre Bandas Aplicados a la Exploración Minera.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

4.8.2. PCA Tipos de Alteración.

El objetivo del Análisis de Componentes Principales (PCA) es resumir un grupo amplio de variables en un nuevo conjunto (más pequeño) sin perder una parte significativa de la información original (*Chuvieco, 1996*). Para el usuario final de los productos de la Teledetección, el objetivo del PCA es construir una o varias imágenes que incrementen su capacidad de diferenciar distintas coberturas superficiales.

Esta técnica se utilizó para poder discriminar los tipos de alteración hidrotermal y anomalías de óxidos de hierro. (Ver Tabla 38 y Figura 46)

Tabla 38. Análisis de Componentes Principales – Óxidos de Hierro y Alteraciones Hidrotermales.

	COMPONENTES	DESCRIPCION
1	1, 2, 3	Asociaciones de Óxido de Hierro
2	1, 4, 6, 7	Alteración Argílica Avanzada
3	1, 3, 5, 6	Alteración Argílica Intermedia
4	1, 3, 5, 8	Alteración Propilítica

Fuente: Laboratorio de Teledetección (LTD) – INGEMMET (Año 2018).

Se realiza la transformación para cada grupo de componentes con la herramienta del Software ENVI (*Forward PCA Rotation New Statistics and Rotate*), obteniendo 02 archivos de resultados los vectores estadísticos (Tablas) y los componentes principales (Bandas), los cuales se utilizarán para el análisis del reconocimiento de las alteraciones hidrotermales.

- **Componentes 1, 2, 3:**

Describe la transformación de componentes principales de las bandas 1, 2 y 3; el valor característico (2.293646) de la CP1 representa el 99.02% de la varianza de los datos por lo que puede ser interpretada como el “efecto topográfico y el albedo” de las imágenes originales, los pesos característicos de la CP2 indican que dicha componente está dominada por la vegetación debido al valor (0.73937) del vector característico de la banda 3, el signo positivo indica que los píxeles influenciados por la vegetación aparecen brillantes; la tercera componente CP3 describe las diferencias entre las bandas 1 - 2 y la mínima contribución de la banda 3. (Ver Tabla 39)

Tabla 39. Transformación de Componentes Principales de la Asociaciones de Óxidos de Hierro.

BANDAS	CP1	CP2	CP3
%Varianza	99.02%	0.89%	0.09%
Valor	2.293646	0.020565	0.002029
Band 1	-0.581847	-0.587684	-0.562211
Band 2	-0.463362	-0.328572	0.823004
Band 3	-0.668394	0.73937	-0.081132

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

El CP3 describe las magnitudes de las bandas 1 y 2 como opuestas en signos por lo que se puede interpretar que los óxidos con alta reflectancia se encuentran en banda 2 (Tonos claros debido al signo positivo) y absorción en la banda 1 (Tonos oscuros debido al signo negativo). (Ver Figura 42)

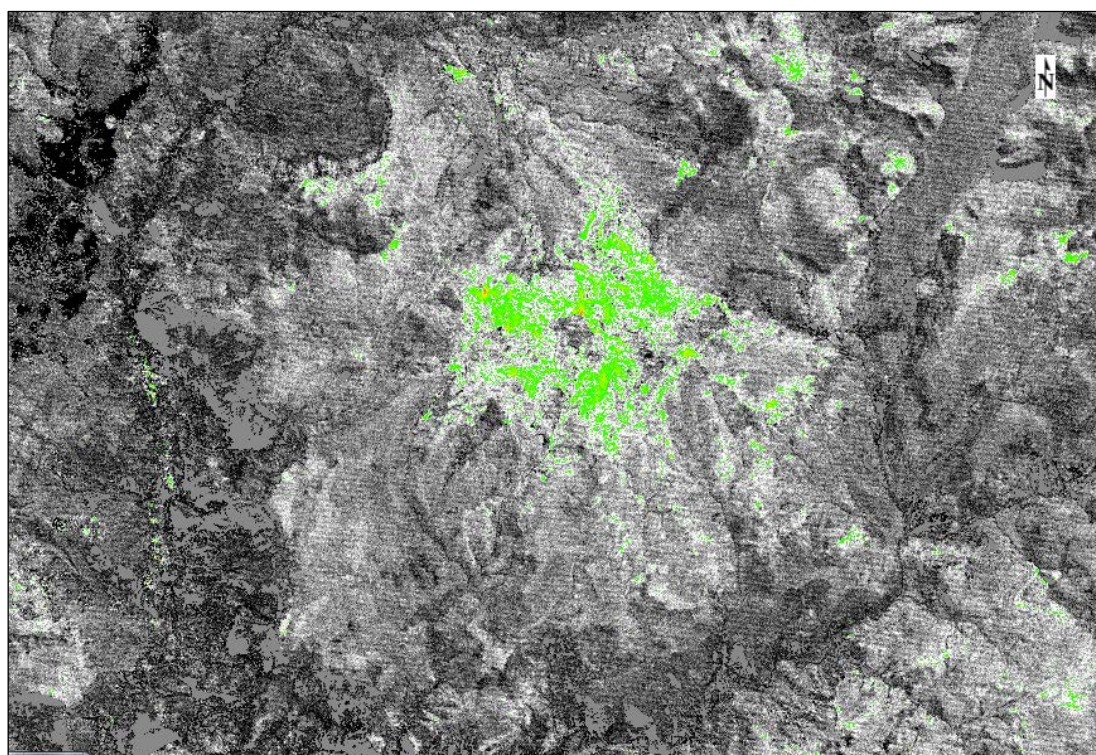


Imagen de PCA Asociaciones de Óxido de Hierro, PC3 en tonalidades de colores con rangos de 0.1 – 0.7, en muchos casos relacionados a alteraciones hidrotermales (Rango varía según imagen).

Figura 42. Análisis de Componentes Principales de la Imagen Asociaciones de Óxidos de Hierro.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

- **Componentes 1, 4, 6, 7:**

Describe la transformación de componentes principales de las bandas 1, 4, 6 y 7; la CP1 se puede interpretar como el albedo y la topografía debido a su valor característico de 2.953358 que representa una varianza del 98.30% procedente de las imágenes originales, los componentes del CP2 representan alta reflectancia en las bandas 1 y 7 rocas y una baja reflectancia en las bandas 4 y 6 asociado a vegetación y suelos, la componente CP3 muestran la información débilmente de alteraciones asociado a otras rocas en tonos oscuros debido al valor negativo banda 4. (Ver Tabla 40)

Tabla 40. Transformación de Componentes Principales de la Alteración Argílica Avanzada.

BANDAS	CP1	CP2	CP3	CP4
%Varianza	98.30%	1.41%	0.26%	0.03%
Valor	2.953358	0.042222	0.007921	0.00088
Band 1	0.505479	0.497003	0.497628	0.499845
Band 4	0.842627	-0.445287	-0.266197	-0.144353
Band 6	-0.18056	-0.726231	0.331809	0.574359
Band 7	-0.043227	0.165212	-0.755916	0.632003

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

Los vectores característicos de la cuarta componente CP4 bandas 4 y 6 son opuestos en signo por lo que se interpreta como alteraciones agílica avanzada con una alta reflectancia en banda 4 reflectancia (Tonos oscuros debido al signo negativo) y banda 6 absorción (Tonos claros debido al signo positivo). (Ver Figura 43)

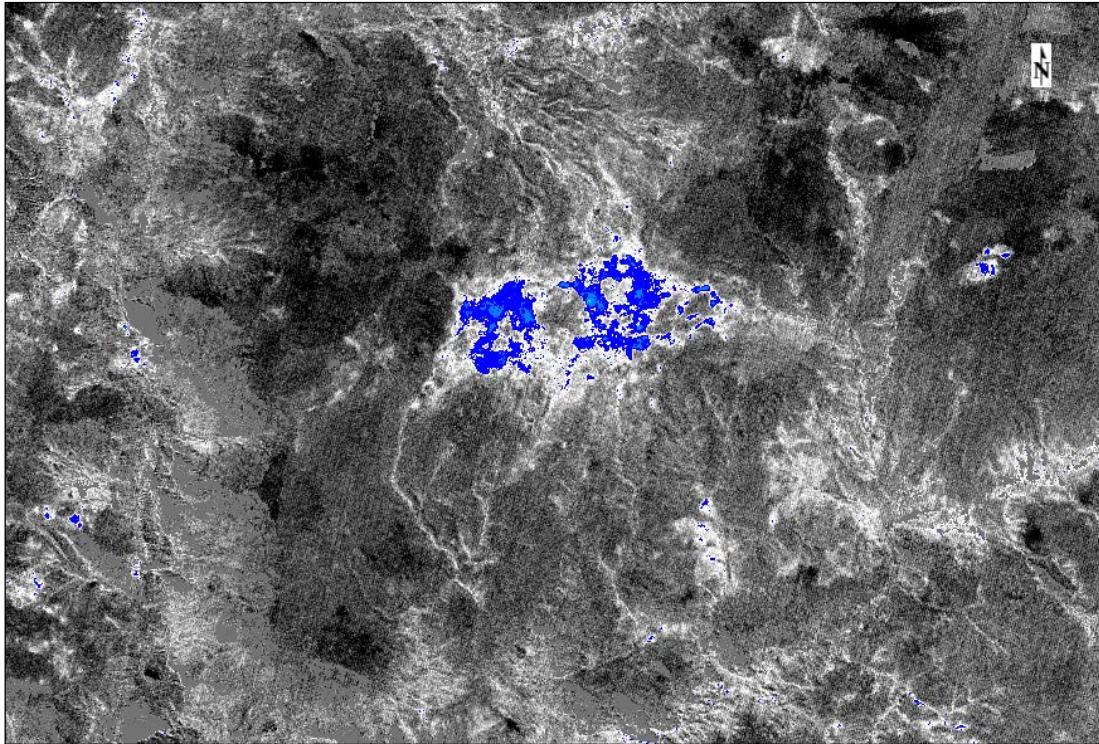


Imagen de PCA de Alteración Argílica Avanzada, PC4 en tonalidades de colores con rangos de 0.1 – 1.7, niveles de concentración abundantes aglomerados (Rango varía según imagen).

Figura 43. Análisis de Componentes Principales de Alt. Argílica Avanzada.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

- **Componentes 1, 3, 5, 6:**

Describe la transformación de componentes principales de las bandas 1, 3, 5 y 6; el valor característico (2.939963) de la CP1 representa el 98.36% de la varianza de los datos por lo que puede ser interpretada como el “efecto topográfico y el albedo” de las imágenes originales, el componente CP2 presenta alteraciones combinadas con distinto tipos de rocas en las bandas de mayor reflectancia 1, 3 y 5, los pesos de los vectores característicos de la componente principal 3 (CP3), indican que dicha componente está dominada por la vegetación debido al valor de 0.49475 de la banda 1 los cuales aparecen brillantes debido a su signo positivo. (Ver Tabla 41)

Tabla 41. Transformación de Componentes Principales de la Alteración Arg. Intermedia.

BANDAS	CP1	CP2	CP3	CP4
%Varianza	98.36%	1.15%	0.46%	0.03%
Valor	2.939963	0.034494	0.01381	0.000814
Band 1	0.509577	0.498509	0.49475	0.497034
Band 3	0.737584	0.164367	-0.422824	-0.500173
Band 5	-0.439175	0.850684	-0.232388	-0.171631
Band 6	0.058528	-0.028431	-0.722799	0.687988

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

De los vectores característicos del SWIR bandas 5 y 6 en la CP4 se tiene que los pixeles influenciados por la presencia de alteraciones argílicas se presentan en tonos brillantes debido al valor positivo y magnitud del vector característico en la banda 6 (Absorción) (0.687988) y la magnitud negativa de la banda 5 (-0.171631). (Ver Figura 44)

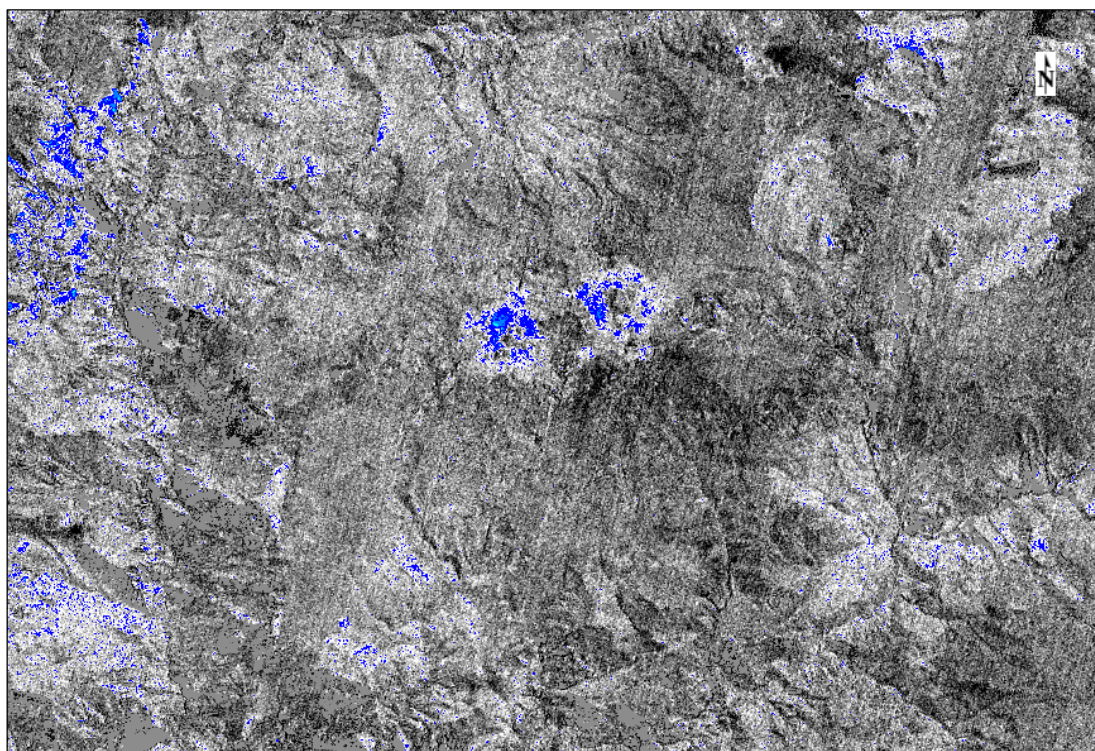


Imagen de PCA de Alteración Intermedia, PC4 en tonalidades de colores con rangos de 0.08 – 0.8, niveles de concentración intermedios aglomerados a escasos (Rango varía según imagen).

Figura 44. Análisis de Componentes Principales de Alt. Argílica Intermedia.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

- **Componentes 1, 3, 5, 8:**

Describe la transformación de componentes principales de las bandas 1, 3, 5 y 8; la CP1 se puede interpretar como el albedo y la topografía debido a su valor característico de 2.960525 que representa una varianza del 98.39% procedente de las imágenes originales, los componentes de la CP2 presenta alteraciones combinadas con distinto tipos de rocas en las bandas de mayor reflectancia 1, 3 y 8, los pesos de los vectores característicos de la componente principal 3 (CP3), indican que dicha componente está dominada por la vegetación debido al valor de 0.492705 de la banda 1 los cuales aparecen brillantes debido a su signo positivo. (Ver Tabla 42)

Tabla 42. Transformación de Componentes Principales de la Alteración Propilítica.

BANDAS	CP1	CP2	CP3	CP4
%Varianza	98.39%	1.00%	0.55%	0.06%
Valor	2.960525	0.030186	0.016485	0.001765
Band 1	0.50876	0.496157	0.492705	0.502228
Band 3	0.695003	0.244967	-0.494282	-0.461137
Band 5	0.489074	-0.81204	-0.011648	0.318217
Band 8	-0.13763	0.1855	-0.716094	0.658678

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

El CP4 describe las magnitudes de las bandas 5 y 8 dentro del rango del SWIR aplicados a los hidróxidos, cuentan con signos semejantes de valores positivo (Tonos claros en la imagen), siendo de mayor reflectancia la banda 8 asociadas a minerales carbonatados por lo que se puede interpretar como alteraciones propilíticas. (Ver Figura 45)

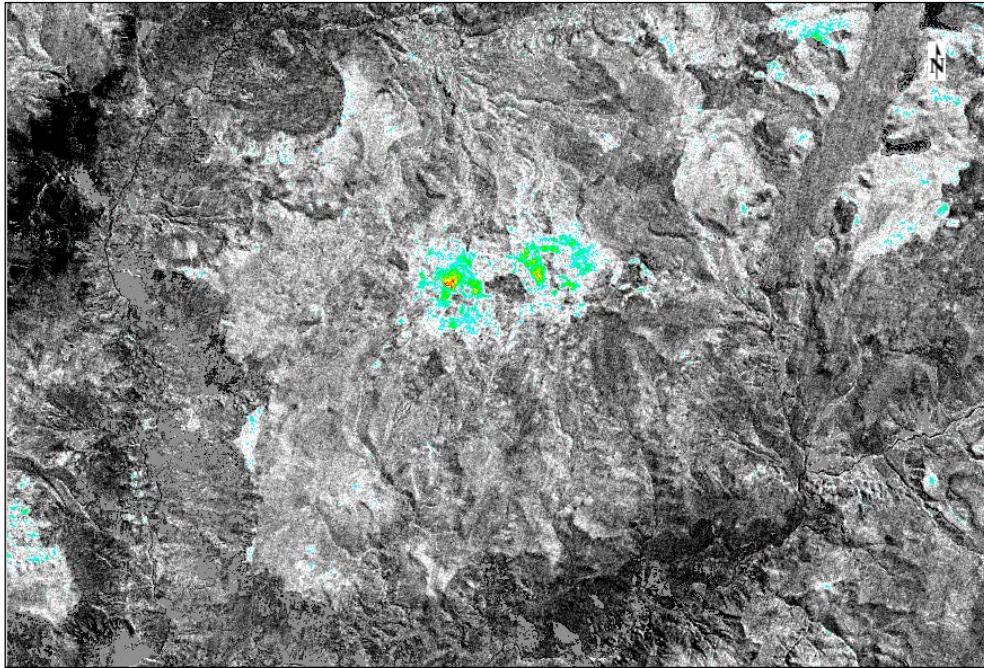


Imagen de PCA de Alteración Propilítica, PC4 en tonalidades de colores con rangos de 0.1 – 0.5, niveles de concentración intermedios aglomerados (Rango varía según imagen).

Figura 45. Análisis de Componentes Principales de Alteración Propilítica.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

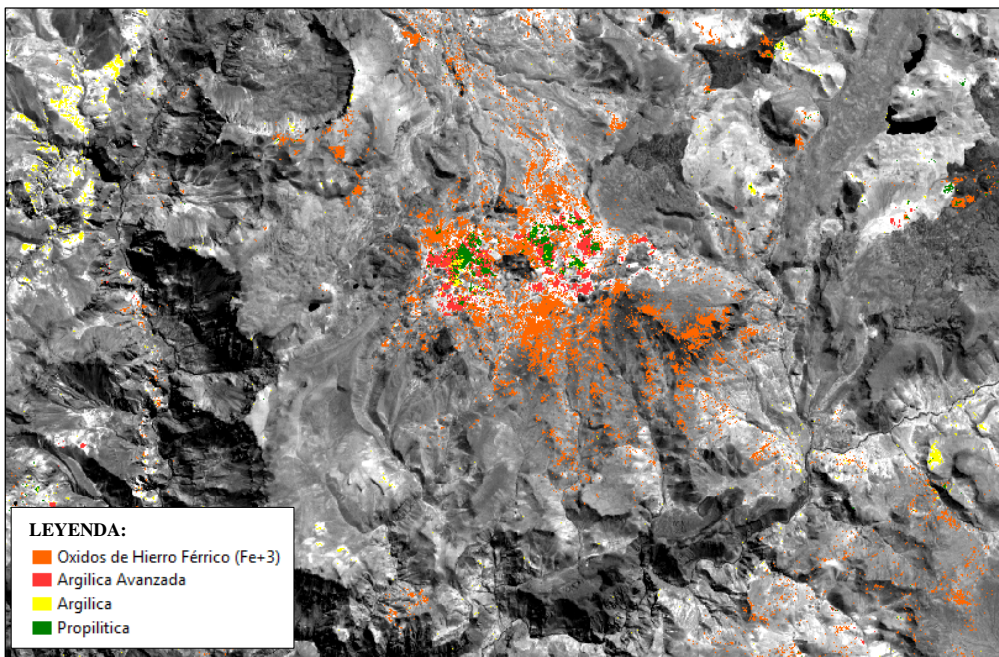


Imagen que muestra al centro volcánico Chocco, con presencia de Óxidos (Anaranjado) y las distintas alteraciones hidrotermales como Alt. Argílica Avanzada (Rojo), Alt. Argílica Intermedia (Amarillo) y Alt. Propilítica (Verde), este tipo de asociaciones están relacionadas a depósito de alta y media sulfuración.

Figura 46. Análisis de Componentes Principales de Óxidos de Hierro y Alteraciones Hidrotermales

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

4.8.3. MF Minerales de Óxidos (VNIR).

El Filtrado Emparejado (*Matched Filtering*), utiliza un desmantelamiento parcial para encontrar la abundancia de elementos definidos por el usuario, además proporciona un medio rápido para detectar materiales específicos basados en coincidencias con espectros almacenados en la biblioteca o los espectros de la propia imagen y no requiere el conocimiento de todos los elementos dentro de una escena de imagen para realizar el procesamiento; esta técnica tiene buenos resultados en la aplicación del subsistema VNIR donde los espectros de análisis son simple (03 bandas).

Esta técnica puede encontrar algunos falsos positivos para materiales raros los cuales se contrastan con las imágenes de combinación de bandas con la finalidad de evitar falsas detecciones espectrales.

Para el procesamiento se utilizan las firmas espectrales del grupo de minerales (*USGS_MIN.sli*) de la biblioteca *United States Geological Survey (USGS)*, los minerales seleccionados están relacionados a las principales fuentes hidrotermales de depósitos de exploración, los cuales deben de ser remuestreados a la resolución espectral del sensor ASTER de la siguiente manera:

1. Se abre la biblioteca espectral de la USGS a través de la herramienta (*Spectral Library Viewer*), en el cual se selecciona los minerales Goethite 1, Jarosite 6 y Hematite.
2. Se crea una biblioteca espectral con los 03 firmas de Óxidos seleccionadas denominándola “*USGS_VNIR*”.sli, posteriormente se utiliza la herramienta (*Spectral Resampling Input File*) para remuestrear las firmas, se selecciona

la opción (*Pre Defined Filter Function*) para poder escoger el sensor de salida (ASTER).

3. Se almacena con el nombre de “ASTER_VNIR.sli” y se ejecuta la herramienta, el resultado son las firmas espectrales seleccionadas en la resolución espectral ASTER. (Ver Figura 47)

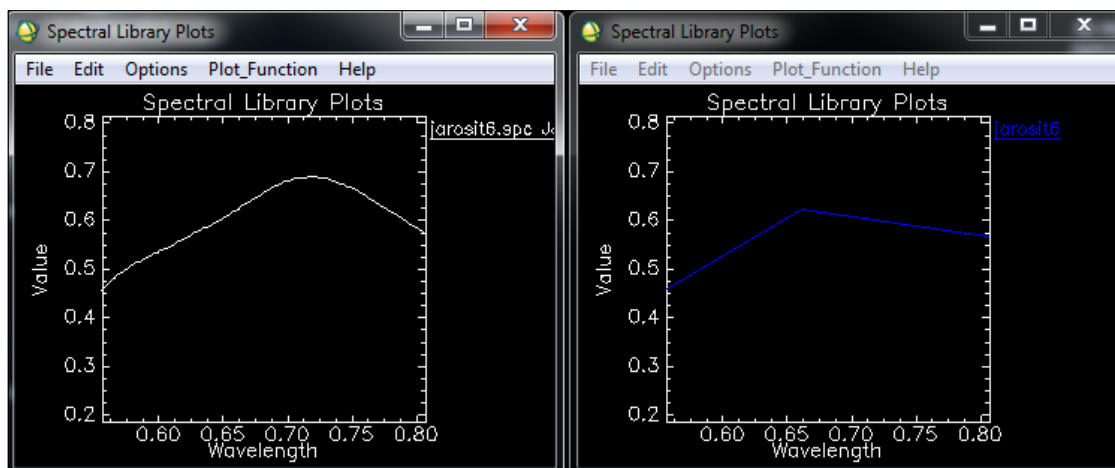


Figura 47. Remuestreo de Firmas Espectrales de Jarosita (USGS –ASTER).

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

Para la aplicación de la técnica MF y el uso de las máscaras espectrales de cada mineral de Óxidos se procede de la siguiente manera:

1. Se ejecuta la herramienta de ENVI (*Matched Filtering*), teniendo en cuenta que el análisis solo será para el subsistema VNIR (0.556 a 0.807 Micrómetros) (03 Bandas), se importa las firmas espectrales seleccionadas “ASTER_VNIR.sli”, dentro del proceso se incorpora la máscara espacial general de cada imagen para delimitar mejor las áreas de procesamiento de cada escena.

2. Se almacena los resultados teniendo en cuenta los datos estadísticos generados y MF de Minerales de Óxidos.
3. Para la generación de las máscaras de minerales se utiliza la herramienta (*Band Math*) utilizando de referencia la Tabla 43.

Tabla 43. Máscaras de Minerales de Óxido de Hierro.

	MINERAL	APLICACIÓN DE MASCARA
1	Goethita	Ratios de máscaras 2/1, 3/2, dentro de rangos conocidos para goethite; de VNIR MF para resultado Goethite 1.
2	Jarosita	Ratios de máscaras 2/1, 3/2, dentro de rangos conocidos para jarosite; de VNIR MF para resultado Jarosite 6.
3	Hematita	Máscara de O _x Fe con pixeles removidos de índices Jarosite y Goethite.

Fuente: Australian Geological & Remote Sensing Services (AGARSS), (Año 2003).

4. El resultado final es la aplicación de cada mascara de mineral (Goethita, Jarosita y Hematita) para cada MF de óxidos, siendo cada imagen la anomalía de cada mineral representada en la superficie. (Ver Figura 48)

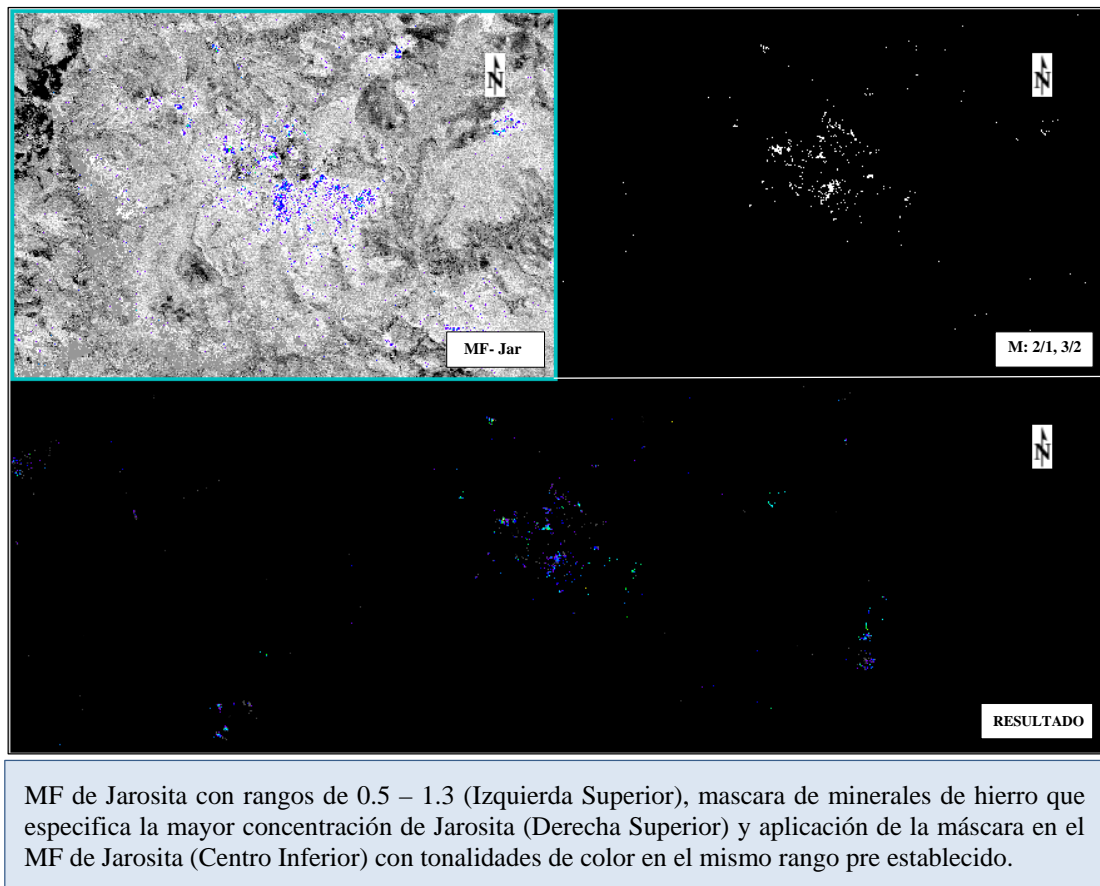


Figura 48. Aplicación de la máscara y MF de Jarosita

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

La abundancia de óxidos de hierro hace que la diferenciación y mapeo de especies de óxidos sea más significativo, porque las diferentes especies pueden ser relacionadas a distintos procesos de formación, como por ejemplo la goethita se puede desarrollar en zonas de oxidación de las mineralizaciones de sulfuros de hierro o por erosión, mientras que la hematita puede formarse a partir de la meteorización de muchas rocas o encontrarse como cementante en otras ocasionando la coloración roja en muchas de ellas. A nivel espectral los minerales de Óxidos de Hierro presentan la mayor absorción en la banda 1 (0.55 μm) seguido de la banda 3 (0.81 μm), esto es causado por el catión férrico Fe^{+3} y una mayor reflectancia en la banda 2 (0.66), siendo la Jarosita el minerales con mayor reflectancia en esa banda. (Ver Figura 49)

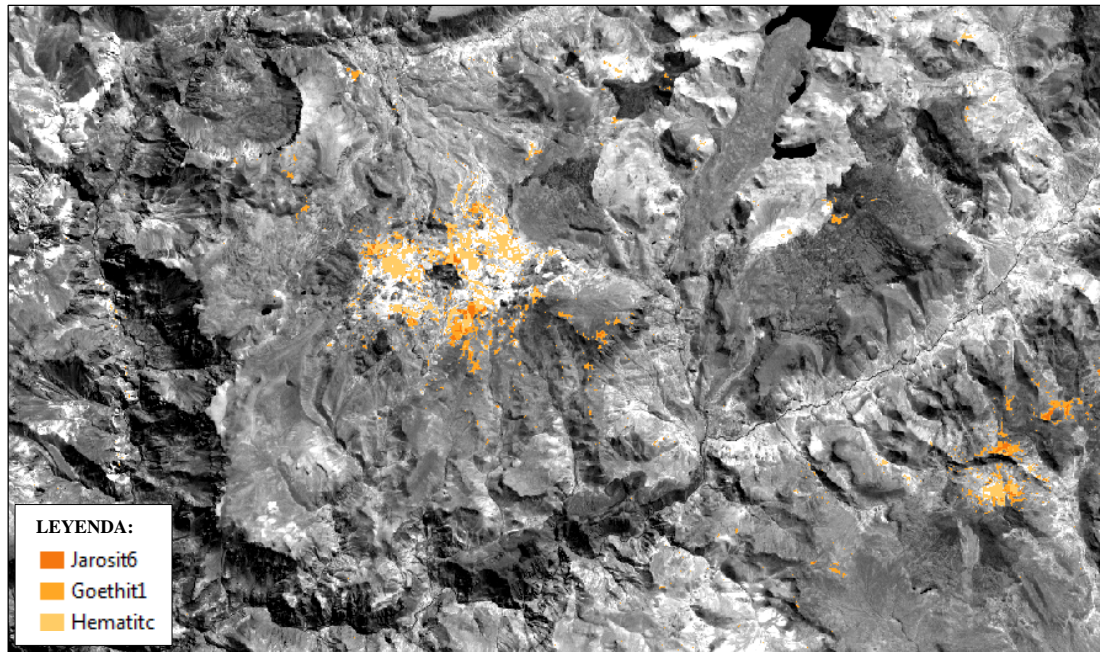


Imagen muestra la anomalía de Óxidos de Hierro del centro volcánico Chocco, con presencia de minerales como Jarosita 6 (Anaranjado Oscuro), Goethita 1 (Anaranjado Intermedio) y Hematita (Anaranjado Claro) en su mayoría la oxidación está relacionada a alteraciones supérgenas.

Figura 49. Filtrado Emparejado de Minerales de Óxidos Hierro.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

4.8.4. SFF Minerales de Alteración (SWIR).

El Ajuste de Características Espectrales (*Spectral Feature Filtering*); es un método de análisis hiperespectral, compara el ajuste de los espectros de la imagen con los espectros de referencia mediante una técnica de mínimos cuadrados, basado en la absorción para emparejar espectros de la imagen a los espectros de referencia una vez que las características continuas se elimina de ambos conjuntos de datos.

Para el procesamiento SFF también se utilizan las firmas espectrales del grupo de minerales (*USGS_MIN.sli*) de la biblioteca *United States Geological Survey (USGS)*, los cuales deben de ser remuestreados a la resolución espectral del sensor ASTER (Ver

Figura 50), según los pasos explicados con anterioridad; los minerales seleccionados son almacenados en la biblioteca “SWIR_ASTER.sli”:

- **Argílica Avanzada:** Alunite 1, Pyrophyllite 3 y Kaolinite 7.
- **Argílica:** Illita 2, Illita 1, Motmorillonita 8, Muscovita 3 y Muscovita4.
- **Propilítica:** Dolomita 1, Clorita 3, Calcita 3 y Epidota 3.
- **Silicificación:** Ópalo.

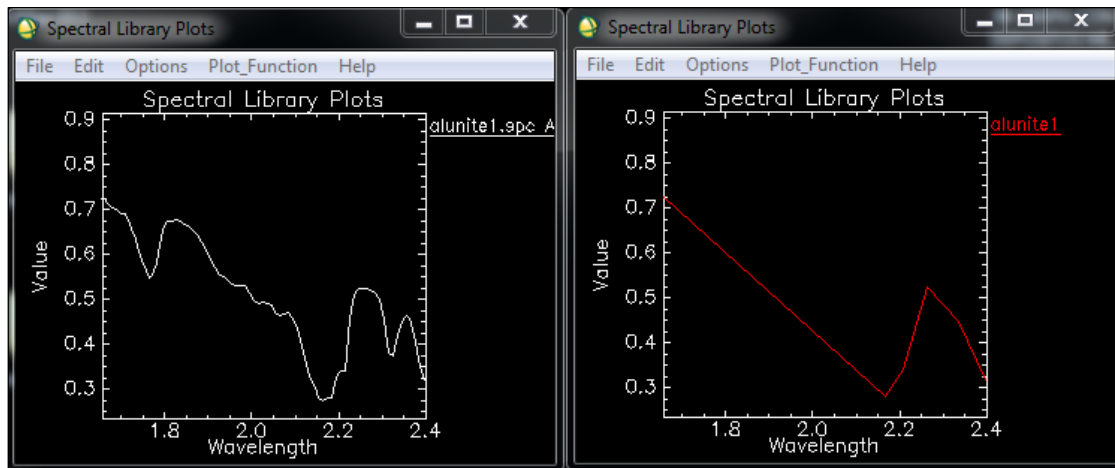


Figura 50. Remuestreo de Firma Espectral de Alunite (USGS –ASTER).

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

En la aplicación de la técnica SFF y el uso de las máscaras espectrales de cada mineral de alteración, se procede de la siguiente manera:

1. Se ejecuta la herramienta de ENVI (*Spectral Feature Filtering*), teniendo en cuenta que el análisis solo será para el subsistema SWIR (1.656 a 2.4 Micrómetros) (06 Bandas), se importa las firmas espectrales seleccionadas “ASTER_SWIR.sli”, dentro del proceso se incorpora la máscara espacial

general de cada imagen para delimitar mejor las áreas de procesamiento de cada escena.

2. Se almacena los resultados teniendo en cuenta que la “Imágenes de Escala (coincide con el material) e Imágenes RMS (error de coincidencia)” no estén combinadas para cada espectro de referencia.
3. Para la generación de las máscaras de minerales se utiliza la herramienta (*Band Math*) empleando de referencia la Tabla 44.

Tabla 44. Máscaras de Minerales de Alteración Hidrotermal.

	MINERAL	APLICACIÓN DE MASCARA
1	Alunita	Máscaras de Ratios $4/5 > 1$; $5/6 < 1$; $7/6 > 1$; $7/5 > 1$; $7/8 > 1$; $9/8 < 1$, $5/8 < 1$, $5/9 < 1$; Aplicados al SFF para resultado Alunita 1
2	Pirofilita	Máscara de Alunita aplicado a SFF para resultado Pyrophyllite 3
3	Caolinita	Máscaras de Ratios $4/5 > 1$; $5/6 > 1$; $7/6 > 1$; $7/5 > 1$; $7/8 > 1$; $9/8 < 1$, $6/8 < 1$, $6/9 < 1$; Aplicados al SFF para resultado Kaolinite 7
4	Illita	Máscaras de Ratios $4/5 > 1$; $5/6 > 1$; $7/6 > 1$; $7/5 > 1$; $7/8 > 1$; $9/8 < 1$; Aplicados a la relación $7/6$ y posterior SFF para resultado Illite 2.
5	Illita - Esmectita	Máscaras de Ratios $4/5 > 1$; $5/6 > 1$; $7/6 > 1$; $7/5 > 1$; $7/8 > 1$; $9/8 < 1$; Aplicados a la relación $7/6$ y posterior SFF para resultado Illite 1.
6	Esmectita	Máscaras de Ratios $4/5 > 1$; $5/6 > 1$; $7/6 > 1$; $7/5 > 1$; $7/8 > 1$; $9/8 < 1$; Aplicados a la relación $7/6$ y posterior SFF para resultado Motmorillonite 8.
7	Sericita	Máscaras de Ratios $4/5 > 1$; $5/6 > 1$; $7/6 > 1$; $7/5 > 1$; $7/8 > 1$; $9/8 > 1$, $6/8 < 1$, $6/9 < 1$; Aplicados al SFF para resultado Muscovite 4
8	Fengita	Máscaras de Ratios $4/5 > 1$; $5/6 > 1$; $7/6 > 1$; $7/5 < 1$; $7/8 > 1$; $9/8 > 1$, $6/8 < 1$, $6/9 < 1$; Aplicados al SFF para resultado Muscovite 3.
9	Ópalo	Máscaras de Ratios $4/5 > 1$; $5/6 > 1$; $7/6 < 1$; $7/5 < 1$; $7/8 < 1$; $9/8 < 1$, $6/9 < 1$; Aplicados al SFF para resultado Opal 2.
10	Dolomita	Máscaras de Ratios $4/5 > 1$; $5/6 > 1$; $7/6 < 1$; $7/5 < 1$; $7/8 < 1$; $9/8 > 1$, $6/9 > 1$; Aplicados al SFF para resultado Dolomite 1
11	Clorita	Máscaras de Ratios $4/5 < 1$, $5/6 > 1$, $7/6 < 1$, $7/5 < 1$, $7/8 > 1$, $9/8 > 1$, $5/8 > 1$, $6/9 > 1$; Aplicados al SFF para resultado Chlorite 3
12	Calcita	Máscaras de Ratios $4/5 > 1$, $5/6 > 1$, $7/6 < 1$, $7/5 < 1$, $7/8 > 1$, $9/8 > 1$, $5/8 > 1$, $6/9 > 1$; Aplicados al SFF para resultado Calcite 3
13	Epidota	Máscaras de Ratios $4/5 < 1$; $5/6 > 1$; $7/6 < 1$; $7/5 < 1$; $7/8 > 1$; $9/8 > 1$, $5/8 > 1$, $6/9 > 1$; Aplicados a la relación $5/8$ y posterior SFF para resultado Epidote 3.

Fuente: Australian Geological & Remote Sensing Services (AGARSS), (Año 2003).

4. Por último se aplica cada mascara de mineral (Alunita, Pirofilita, Caolinita, Illita, Illita - Esmectita, Esmectita, Sericita, Fengita, Ópalo, Dolomita,

Clorita, Calcita y Epidota) para cada SFF de hidróxidos, siendo cada imagen la anomalía de cada mineral representada en la superficie. (Ver Figura 51)

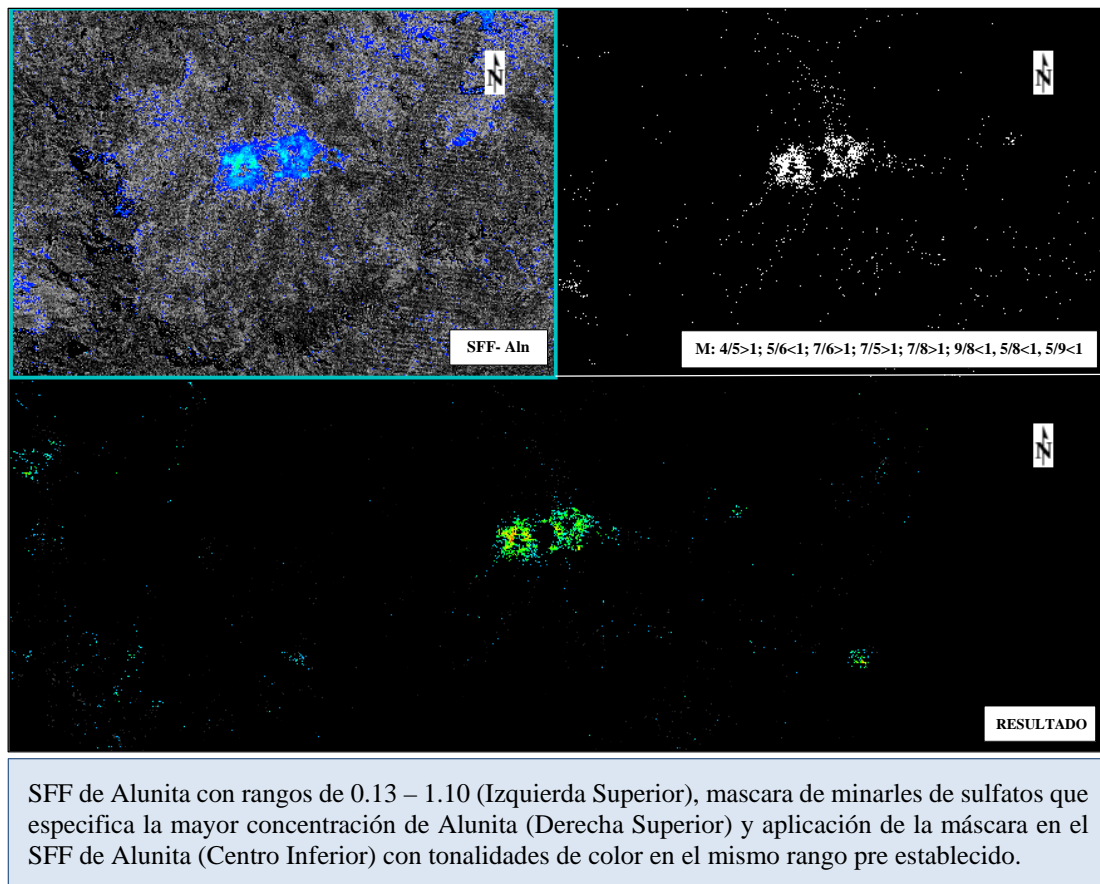
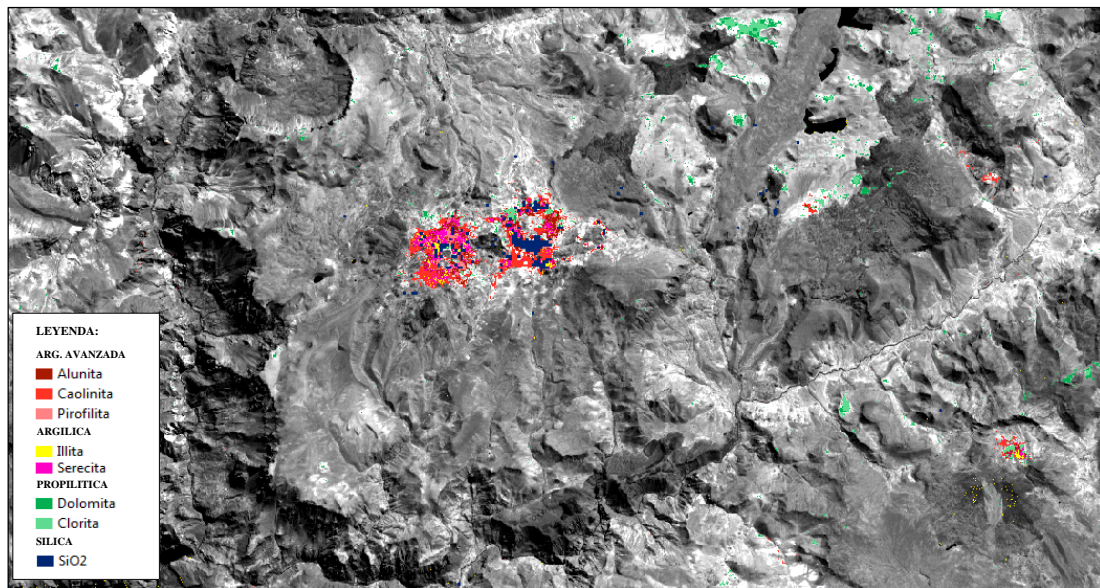


Figura 51. Aplicación de la máscara y SFF de Alunita.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

Espectralmente los minerales como la alunita, caolinita e illita tienen características de absorción (Al-OH) en las bandas 5 y 6 (2.17 – 2.20 μm), la muscovita (Sericitita) cuenta con 02 absorción características en las banda 6 (2.20 μm) (Al-OH) y banda 8 (2.35 μm) (CO₃), la clorita y dolomita se caracterizan por las absorciones en las banda 7 (2.26 μm) (Fe-OH) y banda 8 (2.33 μm) (Fe-Mg-OH) y por último el ópalo cuenta con 02 absorciones características en las banda 6 (2.20 μm) (Al-OH) y banda 7 (2.26 μm) (Fe-OH). (Ver Figura 52)



Anomalía de Hidróxidos del centro volcánico Chocco, resaltando la abundancia de minerales como Alunita (Rojo Oscuro) y Caolinita (Rojo Intermedio) relacionadas a alteraciones Arg. Avanzada, Sericita (Magenta) e Illita (Amarillo) pertenecientes a la alteración tipo Argílica y en menor cantidad los minerales de Clorita (Verde Claro), Dolomita (Verde Oscuro) y SiO₂ (Azul Oscuro).

Figura 52. Filtrado Emparejado de Minerales de Alteración Hidrotermal.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

4.8.5. Filtros Direccionales y de Bordes (Lineamientos Estructurales).

Con la finalidad de poder intensificar las estructuras existentes en el área de estudio se aplicaron diferentes filtros espaciales (Lineales y no lineales), a través del método de convolución espacial con grado de libertad (kernel) de 3 x 3 pixeles (Ver Figura 53), para lo cual se utilizó imágenes ASTER con una resolución de 15 metros (Fusión con pancromática); el cual dio como resultado un buen contraste especialmente en las zonas de extensiones abruptas, facilitando así la interpretación de lineamientos estructurales. (Ver Figura 54)

$(3) \quad NE = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$	$(4) \quad NW = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ 1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$
$(5) \quad SW = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 \\ 1 & -2 & -1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$(6) \quad SE = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$

Figura 53. Filtros de Rumbos Direccionales Kernel (3 x 3).

Fuente: J.R. Ruiz-Armenta y R.M. Prol-Ledesma; Técnicas de procesamiento de imágenes en la exploración de yacimientos minerales de origen hidrotermal; Instituto de Geofísica y Posgrado en Geofísica UACP, UNAM y Cd. Universitaria México, (Año 1995).

Determinación de filtros estructurales direccionales:

- 1.- Se utiliza el PCA para cada imagen ASTER en sus 09 bandas, obteniendo en el CP1 la mayor cantidad de información topográfica para el análisis estructural (Mayor cantidad de datos comunes).
- 2.- Se aplica un filtro de paso bajo (Mediana) para atenuar el ruido en el CP1 y mejorar los resultados del procesamiento en las imágenes.
- 3.- En la detección de estructuras lineales se utilizó los filtros direccionales (Ver Figura 53), a través de la herramienta “*Directional*” del módulo de “*Convolutions and Morphology - FILTER*”.
- 4.- Se suaviza la imagen de componentes direccionales con un filtro de paso bajo (Mediana), para reducir el efecto secundario (artefactos, armónicos y ruido) de la convolución direccional.
- 5.- Se extraen vectorialmente las fracturas o fallas regionales y distritales en líneas denominadas “**Estructuras Direccionales**”.

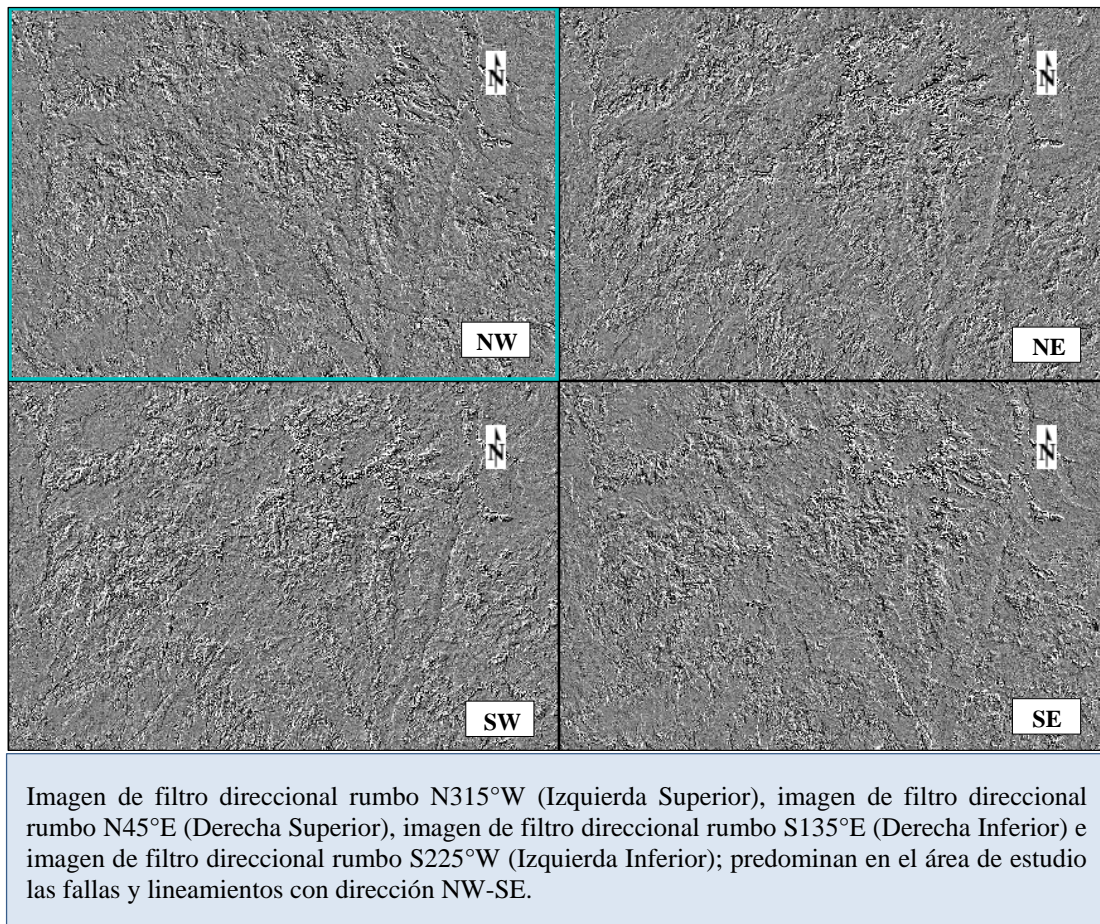


Figura 54. Ventanas de Filtros Direccionales de la PC1

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

6.- Se utiliza la imagen CP1 del procedimiento anterior (Filtros direccionales), en la detección de bordes estructurales.

7.- Para poder exhibir solo los detalles de bordes o fronteras de las estructuras como una línea de contorno se aplica filtros de realce no direccionales, a través de la herramienta “Sobel” del módulo de “Convolutions and Morphology - FILTER”.

8.- Se procede a identifica y extraer vectorialmente los segmentos de bordes prominentes denominados “Estructuras Circulares”. (Ver Figura 55)

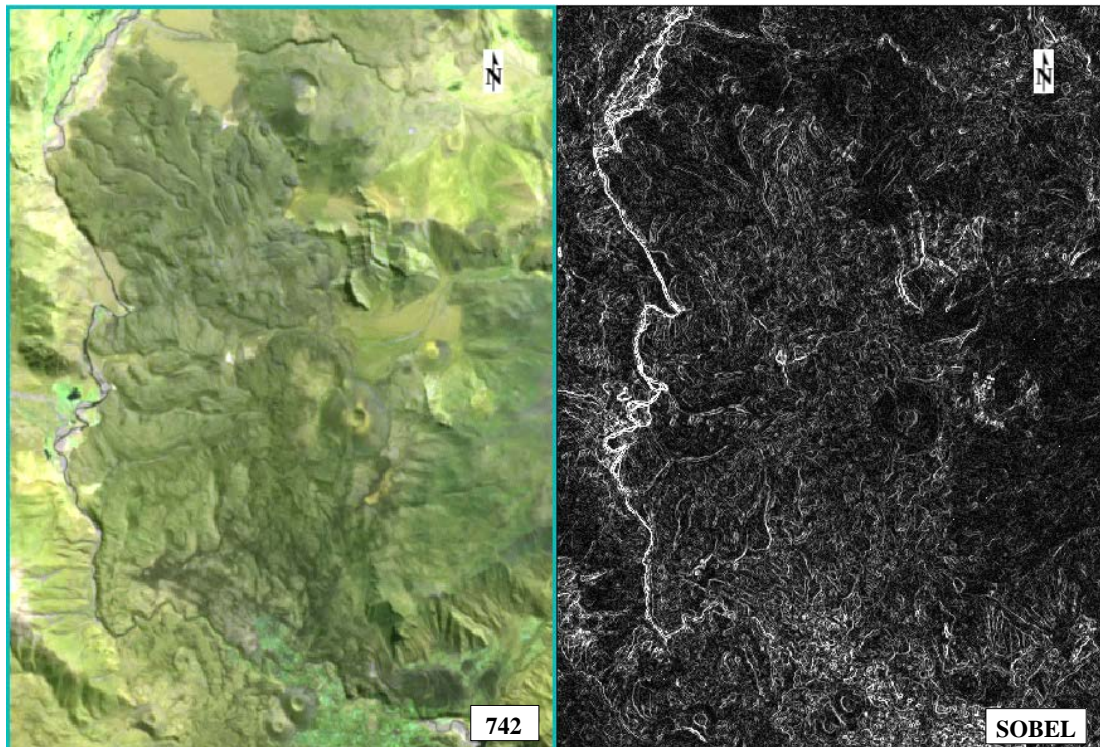
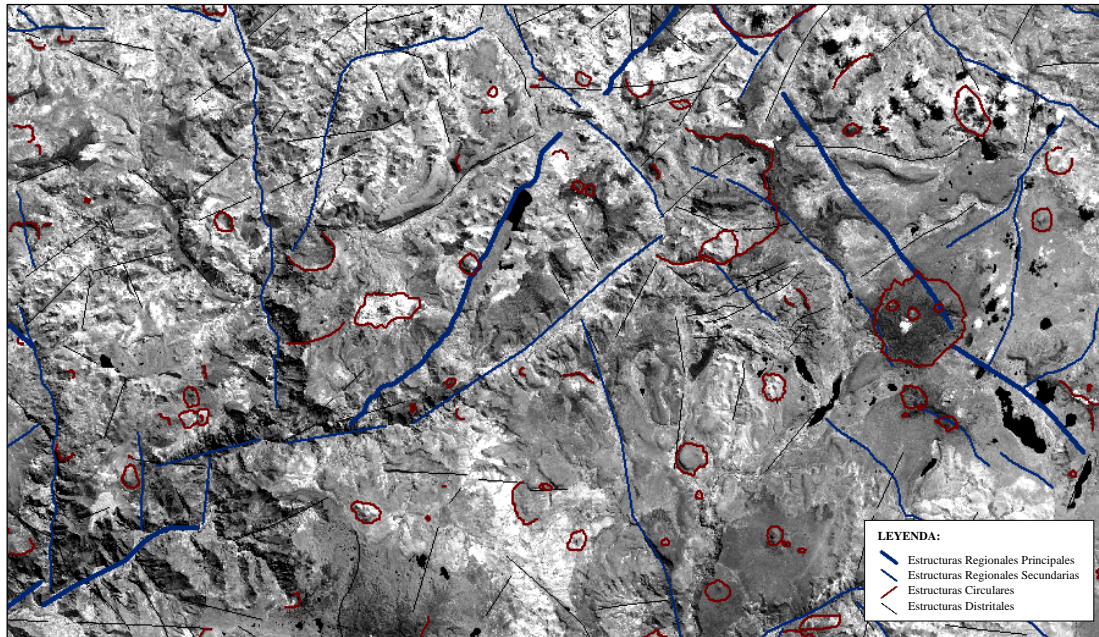


Imagen en falso color RGB 742 (Izquierda) realza las estructuras lineales y circulares, también se visualiza los derrames basálticos asociados a los volcanes; en la imagen de filtro no direccional Sobel (Derecha) se visualiza el patrón dendrítico y los rasgos circulares concéntricos que se alinean en dirección NW-SE.

Figura 55. Combinación 742 y Ventanas de Filtro No Direccionales – Sobel.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

La interpretación de lineamientos estructurales del Área Regional Arequipa describe un sistema complejo de fallas de dirección NW-SE, NE-SW, N-S y E-O que en conjunto muestran regionalmente una tendencia de dirección NW-SE, que controlan el sistema de calderas, cuellos volcánicos miocénicos, centros volcánicos y sistema de mineralización de la zona, además se visualiza que los emplazamientos de ocurrencias minerales están relacionados a estructuras que generan fallas tensionales y aperturas de orientación NE-SW a E-O (M. Rosas, 2013), que posiblemente en sus intersecciones definan yacimientos económicos. (Ver Figura 56)



Banda 3 contrastada con las interpretaciones de fallas regionales principales (Azul grueso), fallas regionales secundarias (Azul delgado), estructuras circulares (Rojo oscuro) y estructuras distritales (Negro delgado); se visualiza una gran variedad de estructuras circulares relacionadas a centros volcánicos, fallas regionales y distritales que delimitan e intersectan las estructuras circulares.

Figura 56. Estructuras Lineales y Circulares a Nivel Regional y Local.

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

4.9. Post - Procesamiento de Imágenes ASTER:

4.9.1. Obtención de Elementos Vectoriales.

Los elementos vectoriales obtenidos de los distintos procesos son exportados en formato shapefile y almacenados junto con la información adquirida (Proporcionada por BVN) en formato Dataset propio de la Geodatabase, en total se han obtenido 15 capas de fuente propia y 18 capas cedidas por BVN (Actualizadas y trabajadas) (Ver Tabla 45), siendo la información base para la elaboración cartográfica.

Tabla 45. Capas Vectoriales Trabajadas y Almacenadas en Geodatabase.

	CAPA	FUENTE
1	Unidades Geológicas	BVN
2	Estructuras Geológicas	BVN
3	Concesiones Mineras	BVN
4	Interpretación Estructural Regional	Propia
5	Interpretación Estructural Distrital	Propia
6	Interpretación Estructural Local	Propia
7	Interpretación Estructuras Circulares	Propia
8	Depósitos Mineros	BVN
9	Geoquímica de Sedimentos	BVN
10	Cuencas Geoquímicas Sedimentarias	Propia
11	Sensores Remotos LANDSAT	Propia
12	Superficie de Potencial Minero	Propia
13	Metalogenia	BVN
14	Estructuras Metalogénicas	BVN
15	Curvas de Nivel	BVN
16	Ríos y Quebradas	BVN
17	Lagos y Lagunas	BVN
18	Marco de Escenas ASTER	BVN
19	Anomalías de Óxidos	Propia
20	Anomalías de Hidróxidos	Propia
21	Tipos de Alteración Hidrotermal	Propia
22	Tipos de Alteración Sílica	Propia
23	Minerales de Óxidos de Hierro	Propia
24	Minerales de Alt. Argílica Avanzada	Propia
25	Minerales de Alt. Argílica	Propia
26	Minerales de Alt. Propilítica	Propia
27	Propiedades Superficiales	BVN
28	Comunidades Campesinas	BVN
29	Centros Poblados	BVN
30	Límites Políticos	BVN
31	Centros Volcánicos	BVN
32	Vías de Acceso Provincial	BVN
33	Área Regional Arequipa	BVN
34	Propuestas de Zonas de Exploración	Propia

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

4.9.2. Mosaicos Regionales ASTER.

Las imágenes ASTER fueron procesadas a nivel espectral por separado para evitar errores en las zonas de traslape y alteración de los datos ND de cada imagen causados por el mosaico, para el análisis visual se realizó el mosaico general teniendo en cuenta las 09 imágenes ASTER utilizando la herramienta de ENVI (*Seamless Mosaic*), previamente al procesamiento se deben de enmarcar las escenas para que todas las bandas tengan las mismas dimensiones, el resultado se exporta en formato Raster TIFF y se almacena en la Geotabase como Raster Dataset; en total se obtuvieron 10 mosaicos de fuente propia y 02 mosaicos cedidas por BVN (Ver Tabla 46), para poder identificar mejor a nivel visual las zonas propuestas de exploración.

Tabla 46. Raster Mosaicos de Combinaciones y Cocientes de Bandas ASTER.

	MOSAICO	FUENTE
1	Imagen RGB 321	Propia
2	Imagen RGB 631	Propia
3	Imagen RGB 468	Propia
4	Imagen RGB742	Propia
5	Imagen Ratio RGB 2/1, 4/1, 4/3	Propia
6	Imagen Ratio RGB 4/5, 4/6, 4/7	Propia
7	Imagen Ratio RGB 4/6, 5/6, 5/8	Propia
8	Imagen Ratio RGB 4/7, 4/1, ((2/3)*(4/3))	Propia
9	Imagen Ratio RGB 5/8, 4/6, 6/7	Propia
10	Imagen Mascara Espectral General	Propia
11	Imagen de Sombras (MDT)	BVN
12	Imagen Media Resolución SASPlanet	BVN

Fuente: Elaboración Propia, (Año 2018).

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Los resultados aceptan la hipótesis planteada en este estudio, ya que ha permitido proponer 05 zonas de prospección en el Área Regional Arequipa a través del cálculo de la superficie de potencial minero metálico, determinar zonas anómalas, tipos de alteración, lineamientos estructurales y clasificar minerales de alteración hidrotermal en las 09 imágenes multiespectrales ASTER; estas técnicas han sido contrastadas entre sí y con información de distintas instituciones (INGEMMET, prospectos o proyectos de diversas empresas mineras, etc.) para evitar falsas detecciones o interpretaciones erróneas en la generación de información final; los resultados pueden ser aplicados a nivel Regional, Distrital y Local (Menos nivel de detalle) y pueden ser utilizados en la toma de decisiones para iniciar exploraciones mineras en las zonas propuestas (Ver Anexos 9.4 – 9.8), estudios estructurales a nivel regional, estudios de Zonificación Ecológica y Económica – ZEE y la planificación del Ordenamiento Territorial (Superficie de potencial minero).
- Los resultados dan la potencialidad de poder determinar tipos de depósito y entender su ambiente de formación, siendo para este estudio depósitos de tipo epitermal de alta y baja sulfuración; los cuales no podían ser identificados en estudios precedentes como “Prospecto Regional Cotahuasi” a escala 1/500,000 en el año 2008 y “Prospecto Distrital Cotahuasi” en el año 2011 a escalas 1/250,000 y 1/100,000, realizados por la empresa Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.; a cargo del Área de Exploraciones Generales – Greenfield; este último estudio solo determinó anomalías espectrales, utilizando técnicas de procesamiento en imágenes LANDSAT para identificar zonas de alteración por óxidos y arcillas (Hidróxidos); además las interpretaciones de estructuras regionales fueron a nivel visual (sobre imágenes en falso color RGB 741), no logrando reconocer lineamientos importantes en el Área Regional Arequipa.

- Se generó la base de datos Geodatabase “**Área Regional Arequipa**” en base a los estándares cartográficos de Cía. de Minas Buenaventura S.A.A., con la finalidad de almacenar la información vectorial y los mosaicos raster obtenidos como resultado, esta forma de almacenamiento centraliza toda la información en un solo repositorio el cual puede ser auditado y gestionado de manera práctica; estas herramienta de trabajo responde a las necesidades actuales de registro y consulta, así como también soporta distintos tipos de vectores (punto, línea o polígono) y raster (catalogo, mosaico, etc.); los prospectos o proyectos revisados del área de estudio no contaban con este tipo de almacenamiento, la información era trabajada en shapefile (archivos aislados) y almacenados en carpetas, dando como resultado la duplicidad de archivos, perdida de información, archivos arruinados, multi variedad de formatos y distintas estructura de tablas de registro.
- Las variables metálicas fueron facilitadas por Cía. de Minas Buenaventura S.A.A., mucha de esta información tuvo que ser actualizada en base a la datos existente en distintas instituciones, prospectos y proyectos que se encuentran dentro de los límites del Área Regional Arequipa; varios sectores no cuentan con información local o distrital las cuales han sido cubiertas por este estudio; dentro de las ventajas que ofrece esta técnica SIG, es que pueden ser aplicado a nivel distrital y local dependiendo del nivel de detalle de las variables de entrada que se deseen trabajar, el estudio fue realizado a escala 1/100,000 ideal para interpretaciones o análisis a nivel regional (1/500,000), actualmente el INGEMMET realiza este procedimiento en la Dirección de Recursos Minerales y Energéticos (DRME) en mosaicos 1/100,000 de las cartas nacionales, siendo corroborado que aún no han sido elaborado las cartas de potencial minero en los marcos 30-Q, 30-R, 30-S, 31-Q, 31-R, 31-S, 32-Q, 32-R y 32-S que abarcan el área de estudio.

- Las calibraciones realizadas de radianza y reflectancia dieron buenos resultados en el enmascaramiento de elementos geográficos, anomalías espectrales y en el reconocimiento de firmas espectrales, utilizando para ello los metadatos de cada escena capturados por el sensor, las técnicas de calibración y de generación de máscaras son semejantes a varios estudios como por ejemplo “Detección Remota del Complejo Volcánico Carhuarazo Utilizando Imágenes ASTER en el Sur de Perú para Detectar Zonas de Alteración y Estructuras Volcánicas” (Brandmeier, 2010), este estudio utilizó menos enmascaramientos a comparación del nuestro ya que no contaban con glaciales, nubes y no considero las sombras en su área de trabajo; los umbrales utilizados para cada máscara dependieron del nivel de cobertura del elemento a extraer para ello se utilizó las técnicas de Índices Normalizados que fluctúan entre -1 y 1; así como imágenes de temperatura para el enmascaramiento de nubes (C°), estas técnicas fueron aplicadas a las 09 imágenes ASTER que abarcan el Área Regional Arequipa.
- En el procesamiento de imágenes ASTER para la determinación de anomalías se utilizó los cocientes entre bandas dando buenos resultados, siendo contrastado con las combinaciones de bandas generando imágenes de falso color que relacionaron bien las zonas anómalas, hasta este proceso se pudo comparar con los estudios de “Prospecto Regional Cotahuasi” realizados por parte de la empresa Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.; a cargo del Área de Exploraciones Generales – *Greenfield*, los cuales dieron como resultado la delimitación a nivel visual de sus áreas anómalas; en la determinación de tipos de alteración se utilizó la técnica de Análisis de Componentes Principales (PCA) que identificó una componente predominante para cada tipo de alteración (Óxidos de hierro, alteración argílica avanzada, alteración argílica intermedia y alteración propilítica), los cuales fueron bien definidos por rango y contrastados con los cocientes de bandas para delimitar mejor las zonas anómalas; esta técnica se puede

comparar con lo realizado en el estudio “Detección Remota del Complejo Volcánico Carhuarazo Utilizando Imágenes ASTER en el Sur de Perú para Detectar Zonas de Alteración y Estructuras Volcánicas” (Brandmeier, 2010), que usa índices de bandas para determinar sus tipos de alteración; en nuestro caso esta técnica generó muchas falsas detecciones por lo cual fue descartado del análisis para la clasificación de alteraciones hidrotermales.

- Para el reconocimiento de posibles depósitos económicos se utilizó la mineralización de alteraciones hidrotermales a través de la zonificación de minerales asociados a la características del tipo de depósito, ya sea Epitermal de Alta Sulfatación (HS) el cual se reconoce como; superficies extensas (comúnmente varios km²) visualmente prominente, que incluyen fallas a escala regional o intrusiones subvolcánicas, generalmente presentan alteraciones argílica avanzada y alteraciones propilíticas asociadas en zonas adyacentes; para la caracterización de depósitos tipo Epitermal de Baja Sulfuración (LS) se reconoce como; zonas generalmente bastante restringida y de visualización muy sutil, a nivel estructural cualquier fallas o zonas de fractura estrechamente relacionadas a centros volcánicos y representa extensas alteraciones propilíticas en zonas adyacentes, alteración argílica o argílica avanzada en la periferia; dando como resultado la determinación de 04 zonas de depósitos tipo Epitermal de Alta Sulfatación (HS) y 01 zona de tipo Epitermal de Baja Sulfuración (LS), esta asociación de minerales por zonificación no ha sido analizada y caracterizada por ningún estudio precedente ya sea por falta de técnicas de procesamiento avanzadas o por tener otro enfoque de búsqueda; se puede comparar con el estudio “Detección Remota del Complejo Volcánico Carhuarazo Utilizando Imágenes ASTER en el Sur de Perú para Detectar Zonas de Alteración y Estructuras Volcánicas” (Brandmeier, 2010); el cual solo concluyó en que las estructuras volcánicas jóvenes y la argilización puede

cartografiarse en regiones desconocidas hasta cierto punto, además hacen mención de sus zonas de mayor concentración de minerales (Andamarca, Natrolita, Caolinita, Nacrita, Alunita, etc.) y ausencia de ellos (Minerales de propilitización), por lo cual este estudio es un aporte al reconocimiento de posibles depósitos de mineralización en la zona sur del Perú.

- En la interpretación de estructuras regionales y distritales se utilizaron 04 direcciones fundamentales NW, NE, SE y SW, siendo las direcciones predominantes de los lineamientos estructurales, lográndose definir así las fallas principales en sentido NW-SE (Posiblemente el metalotecto Sistema de Fallas Abancay – Condorona - Caylloma) que controla el sistema de fallas del Área Regional Arequipa, además se determinaron las fallas secundarias en sentido NE-SW que intersectan a las fallas principales; se analiza que al NW de la estructura circular Caldera Huayta, existe un sistema complejo de fallas y lineamientos con sentido NE-SW que se reconoce como el corredor de fallas Poracota – Tambomayo (CPT), el cual se define como estructuras mayores que generan tensionales y aperturas donde se emplazan ocurrencias minerales de orientación NE-SW y E-W (M. Rosas, 2013); en esta zona se acumulan la mayor cantidad de prospectos y proyectos de Área Regional Arequipa siendo una zona importante de referencia para la generación de propuestas de exploración; a comparación de otros estudios como “Estudios Regionales - Rocas Ígneas en el Sur del Perú” (INGEMMET, 2013) y los “Boletines Geológicos” (40, 46, 50, 51 y parte del 42 y 58) (INGEMMET, 1988-1995), los cuales también identifican las estructuras regionales y algunas distritales que predominan en la zona sur a menor detalle, estos estudios no relacionan las estructuras regionales con sus proyectos existentes, así como tampoco identifican el contexto geoeconómico en la búsqueda del potencial minero.

- Como resultado se obtuvieron los elementos vectoriales de los rangos espectrales de los distintos procesos, así como los mosaicos raster de las 09 imágenes ASTER en combinación y cocientes de bandas; esta información puede ser mejorada si se aumenta el nivel de detalle en las capas de entrada metálicas y se utiliza imágenes de mayor resolución espectral - espacial, como por ejemplo imágenes WorldView-3; esto dependerá de las necesidades que tenga el estudio o el nivel de desarrollo que tenga el proyecto, para poder determinar mejor los zonamientos de alteraciones, lineamientos estructuras y afloramientos de mapeo; a comparación de los estudios “Prospecto Regional Cotahuasi” (BVN, 2008) y “Prospecto Distrital Cotahuasi” (BVN, 2011) que solo generaron productos raster con anomalías de alteración e imágenes de falso color para una interpretación visual, reduciendo la potencialidad de la información en la utilización de análisis espaciales y dificultando el almacenamiento de los datos por el elevado uso de almacenamiento (Sin técnicas de compresión), estos fueron factores que se tuvieron en cuenta en la elaboración de nuestro estudio.

VI. CONCLUSIONES

1. Se concluye que las técnicas utilizadas para calcular la superficie de potencial minero metálico logro clasificar zonas de alto y muy alto potencial representando el 35% y 36.6% respectivamente, esto refleja las altas aptitudes que tiene el Área Regional Arequipa para desarrollar la actividad minera; así como también los minerales de alteración hidrotermal como Óxidos de Hierro (Goethita, Jarosita y Hematita), alteraciones de tipo Argílica Avanzada (Alunita, Pirofilita y Caolinita), Argílica Intermedia (Sericita, Esmectita, Motmorillonita e Illita), Propilítica (Dolomita, Clorita, Calcita y Epidota) y Silificación (Ópalo), que determinaron a través de la asociación y caracterización de sus mineralizaciones depósitos de tipo epitermal de alta (HS) y baja (LS) sulfuración los cuales están relacionados con la formación de mineralizaciones económicas, todos estos resultados contribuyeron a proponer 05 zonas de interés minero que representan el 2.5% del Área Regional Arequipa.
2. La Geodatabase “**Area_Regional_Arequipa**” satisface la necesidad de registro y consulta de información geoespacial, la cual sigue los estándares cartográficos de Cía. de Minas Buenaventura SAA, además mejora la multi consulta entre usuarios, la uniformidad de registros, la relacionalidad de los datos, regula las entidades vectoriales de las 34 capas validadas y el almacenamiento eficiente raster de las 12 imágenes comprimidas, así como preserva la confiabilidad de la información almacenada.
3. El cálculo de la superficie de potencial minero metálico mejoró el análisis espacial y su ponderación con la preparación de las variables metálicas, las cuales ajustaron el resultado en la clasificación de la escala de asignación de valores (Rango de potencial minero), así como también ayudaron a entender el contexto geológico y económico del Área Regional Arequipa.

4. La aplicación de calibraciones de radianza y reflectancia demostró buenos resultados en los niveles de absorciones reflejados en las firmas espectrales de los minerales de alteración hidrotermal (Jarosita, Alunita, etc.), así como también en el desplazamientos de la información y en la reducción de errores del sensor; las máscaras espectrales a través de los índices normalizados lograron reducir las falsas detecciones en un 93.76%, obteniendo mejores resultados en el pre-procesamiento de imágenes ASTER.
5. La técnica Análisis de Componentes Principales (PCA) determinó los tipos de alteración hidrotermal como Óxidos de Hierro, Argílica Avanzada, Argílica Intermedia, Propilítica y Silificación; estos resultados fueron reforzado con la comparación de anomalías espectrales obtenidas de las combinaciones y cocientes entre bandas.
6. La utilización de la técnica de Filtrado Emparejado (MF) determinó minerales como la Goethita, Jarosita y Hematita para un ambiente de formación de tipo supérgeno; la técnica de Ajuste de Características Espectrales (SSF) determinó minerales como la Alunita, Pirofilita, Caolinita, Illita, Motmorillonita, Muscovita, Dolomita, Clorita, Calcita, Epidota y Ópalo, para un ambiente de formación de tipo hipógeno; estas diferenciaciones y la contribución de la biblioteca espectral de la *United States Geological Survey (USGS)* como información base de minerales de exploración ayudo a reconocer posibles depósitos epitermales en el Área Regional Arequipa.
7. Los filtros radiométricos direccionales y de bordes determinaron el sistema complejo de fallas regionales predominante, con tendencia de dirección NW-SE que controlan el sistema de calderas, centros volcánicos y sistema de mineralización del Área Regional Arequipa, además determino las principales estructuras regionales asociadas con el metalotecto sistema de fallas Abancay – Condorona – Caylloma.
8. Los elementos vectoriales y raster contribuyeron en la toma de decisión para la generación de propuestas de zonas de exploración minera, ya que facilitaron la

correlación entre el potencial minero metálico, los minerales de alteración asociados a depósitos epitermales y las capas de análisis socioambientales.

VII. RECOMENDACIONES

1. Gestionar los petitorios mineros de las 05 zonas propuestas para la realización de futuras campañas preliminares de exploración minera, las cuales abarcan una extensión total de 38,025 ha.
2. Ejecutar una primera campaña de acercamiento con las comunidades campesinas en los target 32, 42, 18-B y 5, con la finalidad explicar el trabajo de exploración preliminar que se desea realizar en sus territorios y pedir los permisos correspondientes, asegurando siempre el respeto por las comunidades campesinas y costumbres culturales.
3. Planificar y realizar el levantamiento de muestras de alteración utilizando *PIMA (Portable Infrared Minerals Analyzer)* en las 05 zonas propuestas, para el remuestreo de las 09 imágenes ASTER, con la finalidad de caracterizar los posibles depósitos minerales, definir nuevos objetivos de exploración a más detalle, así como también para corregir los levantamientos de mapeo de alteraciones y su posterior reinterpretación.
4. Elaborar un programa de mapeo litológico, alteraciones y estructural a nivel distrital en el target 32 a una escala de trabajo 1/25,000, a nivel local el mapeo para los targets 42 y 05 a una escala de trabajo 1/10,000 y por último un mapeo a más detalle por ser las zonas de menor tamaño en los target 18-A y 18-B a escala de trabajo 1/5,000.
5. Planificar y realizar el muestreo geoquímico de suelos, rocas en afloramientos y lugares de interés económico (muestras de mano).
6. Efectuar un levantamiento topográfico a escala de 1/10,000 o 1/5,000 de los prospectos de interés (Etapa de Proyecto Avanzado).
7. Diseñar y programar un levantamiento geofísico para la caracterización litológica (Magnetometría, cargabilidad y resistividad) de los principales proyectos (Etapa de Proyecto Avanzado).

8. Se debe fomentar un mayor acercamiento con las comunidades campesinas y reuniones de colaboración (Etapa de Proyecto Avanzado).
9. Planificar y gestionar un programa de perforaciones preliminar de 20 plataformas como máximo (Etapa de Proyecto Avanzado).
10. Elaboración del DIA (Categoría I) por parte del Área de Medio Ambiente para la ejecución del programa de perforación (Etapa de Proyecto Avanzado).
11. Utilizar imágenes WorldView-3, en zonas de mayor interés con la finalidad de mejorar el detalle del mapeo y determinar nuevas zonas de alteración con posible mineralización.
12. El Estado debe seguir invirtiendo en la difusión de prospectos de exploración minera, así como gestionar que el Centro Nacional de Operaciones de Imágenes Satelitales (CNOIS) realicen un convenio de cooperación con el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), con la finalidad de facilitar imágenes satelitales del PERUSAT-1 para mejorar el nivel de detalle de los prospectos de la cartera de exploración.
13. Este estudio puede servir de base en la enseñanza para distintas universidades e institutos aplicados al rubro minero, así como tomarse de ejemplo en los cursos relacionados a Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Talleres Espaciales o Teledetección, ya que el estudio cubre la gran mayoría de procedimientos establecidos para dichas asignaturas.

VIII. REFERENCIAS

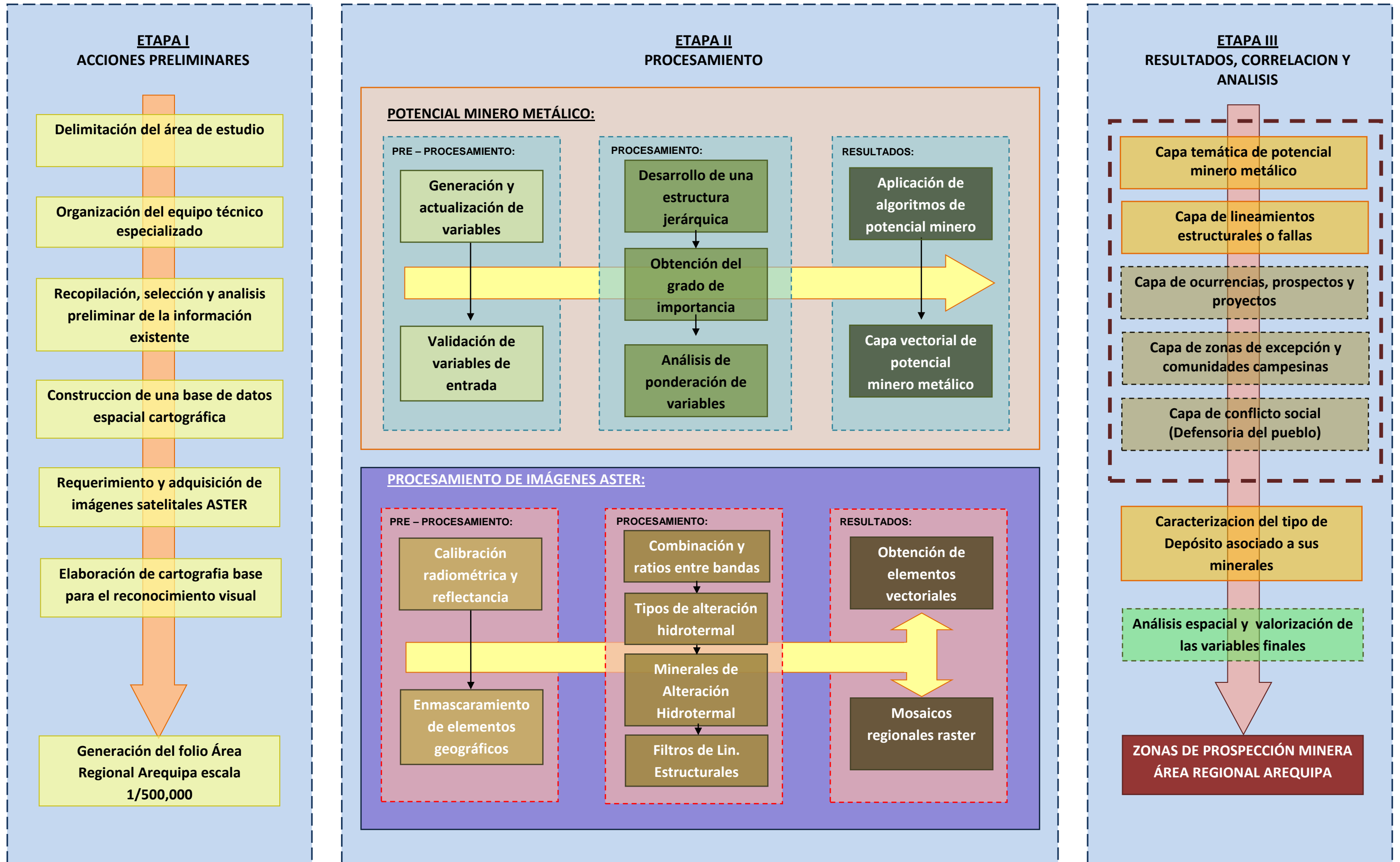
- Angel Sabastizagal y Paul Torres (Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. – Exploraciones Greenfield) (2008). Informe Interno Final Prospecto Regional Cotahuasi.
- B. Aldalur, M. S. (2002). Realce de Imágenes: Filtrado Espacial. *Revista de Teledetección*, 17, 31–42. Retrieved from <http://www.aet.org.es/revistas/revista17/AET17-04.pdf>
- Bob Agar, (Servicio de Teleobservacion y Geologicos de Australia). (2003). *ASTER Alteration Mineral Mapping; Las Pampas, Cajamarca - Peru*. 1–16.
- Brandmeier, M. (2010). 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/ArcScene. *Geocarto International*, 25(8), 629–648. <https://doi.org/10.1080/10106049.2010.519787>
- Christian Vargas Gonzales, (Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial - CONIDA). (2010). Mapeo de Minerales Utilizando Imágenes Hyperion y ASTER en Castrovirreyna - Huancavelica. *XV Congreso Peruano de Geología - Sociedad Geológica Del Perú*.
- Christian Vargas Gonzales, (Remote Sensing Geoimage S.A.C). (2015). Caracterización Espectral de Tipos de Alunita y Sílice en Depósitos Epitermales de Alta Sulfuración Utilizando Imágenes ASTER. *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de Abril de 2015, INPE*, 1247–1254. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Contell, C., Vayá, J., Lanjeri, S., & Camacho, F, (Vivero Empresarial. Parc Científic Universitat de Valencia). (2009). Optimización del Algoritmo ACCA para la Detección en Imágenes LANDSAT de Nubes, Sombras y Agua. *Teledetección: Agua y Desarrollo Sostenible. XIII Congreso de La Asociación Española de Teledetección*, (Irish 2000), 453–456.
- Diana Huanacuni Mamani, Casas Malpartida Juan, (Colegio de Ingenieros del Perú. Capítulos de Ingeniería de Minas, G. y M.-T. técnicos). (2011). Reconocimiento de Zonas de Alteración Hidrotermal en Depósitos Epitermales con Imágenes ASTER - Sur de Perú. *INGEMMET*.
- Eduardo Gerardo Sánchez Cárdenas, (Universidad Nacional Autónoma de México). (2016). Aplicación de Técnicas de Percepción Remota con Datos ASTER para Detectar Blancos de Exploración Minera. *Programa de Posgrado En Ciencias de La Tierra - Centro de Geociencias*.
- Emilio Chuvieco Salinero (2008). Teledetección Ambiental (La Observación de la Tierra desde el espacio). *Editorial Ariel S.A.- 3era Edición*.
- Ferrero, S. B., Palacio, M. G., & Campanella, O. R. (2002). Análisis de componentes principales en teledetección . Consideraciones estadísticas para optimizar su interpretación. *Revista de Teledeteccion*, 17, 43–54.

- Flor Greethel Rodríguez Aycho, (Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco). (2008). *Determinación de zonas de alteración hidrotermal mediante imágenes ASTER*.
- Godeas, M., & Litvak, V. D. (2006). Identificación de anomalías de amonio por espectrometría de reflectancia: Implicancias para la exploración minera. *Revista de La Asociación Geológica Argentina*, 61(3), 438–443.
- Hantson, S., Chuvieco, E., Pons, X., Domingo, C., Cea, C., Moré, G., ... Tejeiro, J. a. (2011). Cadena de Pre-Procesamiento Estándar para las Imágenes Landsat del Plan Nacional de Teledetección. *Revista de Teledetección*, 36, 51–61.
<https://doi.org/10.1136/bmj.300.6727.771>
- Inés M. Di Tommaso (Servicio Geológico Minero Argentino) (2005). Detección de Areas de Alteración Hidrotermal a Partir de Datos ASTER SWIR y TIR en los Menucos, Provincia De Río Negro – Argentina. *Contribución Técnica del Proyecto GEOSAR-AR-2005*.
- Instituto Geológico, M. y M. (INGEMMET). (n.d.). *Espectrometría y PIMA en Geología*.
- J.R. Ruiz-Armenta, R. M. prol-L. (1995). Técnicas de Procesamiento de Imágenes en la Exploración de Yacimientos Minerales de Origen Hidrotermal. *Física de La Tierra*, (7), 105–137.
- Jorge Chira, Fernández, Carlos Ríos Moreno, Gerardo Trelles Vásquez, Eder Villarreal Jaramillo, (Instituto Geológico, M. y M.-D. de R. M. y E.-I. (2018). Estimación del Potencial Minero Metálico del Perú y su Contribución Económica al Estado, Acumulado al 2050. *Dirección de Recursos Minerales y Energéticos*, 1–92. Retrieved from www.ingemmet.gob.pe/.../LIBRO+POTENCIAL+MINERO+2018+23-05-2018.pdf
- José Jesús Pasapera Gonzales (CONIDA – Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial) (2013). Curso de Procesamiento Digital de Imágenes con ENVI – Nivel Intermedio.
- Jorge Edmundo Quintanilla Gómez, (Universidad Nacional Federico Villarreal). (2013). Balance Hídrico y Aplicaciones en la Margen Derecha de la Sub Cuenca del Río Tingo - Maygasbamba. *UNFV*.
- Kanlinowsk I, A. and Oliver, S. (2004). *ASTER Mineral Index Processing Manual. Remote Sensing Application Geoscience Australia*. (October).
- Katherine Gonzales, (Instituto Geológico, M. y M.-I. (2011). Aplicación de la Teledetección en la Exploración Geológica y de los Recursos Minerales. *Laboratorio de Teledetección*.
- Mario Rosas (Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.) (2013). Mineralización Cordillerana en las Alturas de Shila y Orcopampa. I *Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra “Valle del Colca – Laboratorio Natural del Mundo”*.

- Mauricio Cuadra Moreno, Juan Luis Mamani Rodríguez, (Ministerio de Energía y Minas). (2018). Perú: Cartera de Proyectos de Exploración Minera 2018. *Edición: 01 - MINEN*, 1–71.
- Mena Osorio Favio M (Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión) (2008). Aplicación de Imágenes Aster en la Exploración Geológica Minera.
- Minerales, Y. (Universidad de C. (2011). Alteración Hidrotermal : Conceptos generales. *Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Introducci.*
- Noel White, C. T. (Geological S. of C. – C. R. C. . (1991). *Mapeo de Alteraciones en Exploración Aplicación de la Espectrometría de Onda Corta del Infrarojo (SWIR)*. 1–25.
- Raymond F. Kokaly, Roger N. Clark, Gregg A. Swayze, K. Eric Livo, Todd M. Hoefen, Neil C. Pearson, Richard A. Wise, William M. Benzel, Heather A. Lowers, Rhonda L. Driscoll, and Anna J. Klein, (U.S. Geological Survey). (2017). USGS Spectral Library Version 7. *U.S. Department of the Interior and U.S. Geological Survey, 10*, 141–143. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.1980.tb01113.x>
- Roger Tomlinson (2007). Pensando en el SIG - Planificación del Sistema de Información Geográfica Dirigida a Gerentes. *Tercera Edición*.
- Ruiz Fernández, Luis Ángel (Universidad Politécnica de Valencia – Departamento de Ingeniería Cartográfica, G. y F. (2012). *Análisis de Componentes Principales Aplicaciones en Teledetección*.
- Survey, U. S. G. (2015). Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Level 1 Precision Terrain Corrected Registered At-Sensor Radiance (AST_L1T) Product, AST_L1T Product User's Guide. *Open-File Report, 1*, 1–68. <https://doi.org/10.3133/OFR20151171>
- SII- Spectral Internacional INC (2015). Espectroscopia de Reflectancia Aplicada. *Versión 4.0*.
- Teofilo Mamani Ticona, (Universidad Nacional del Altiplano - Puno). (2017). Aplicación de Imágenes ASTER en la Detección de Zonas de Alteraciones Hidrotermales, Sector Titire, Carumas - Moquegua. *Escuela Profesional de Ingeniería Geológica*.
- Vargas R., L. E. (2013). Aplicación del ArcGIS en la Evaluación de Recursos y Potencial Minero en el Perú. *Conferencia Latinoamericana de Usuarios Esri – LAUC 2013*, 35. Retrieved from https://es.slideshare.net/telematicaperu/aplicacin-del-arcgis-en-la-evaluacin-de-recursos-y-potencial-minero-en-el-per-luis-enrique-vargas-rodriguez-ingemmet-per?from_action=save
- William Martínez, John Cervantes (Instituto Geológico, M. y M. (2003). Rocas Igneas en el Sur del Peru - Nuevos Datos Geocronométricos, Geoquímicos y Estructurales entre los Paralelos 16° y 18°30' Latitud Sur. *Boletín 26 Serie D: Estudios Regionales - INGEMMET*.
- Yepes, S. (n.d.). *Metodología para Preparar los Datos de ASTER para su Ingreso en FLAASH y la Aplicación del Software para Corregir Atmosféricamente la Imagen*. 1–8.

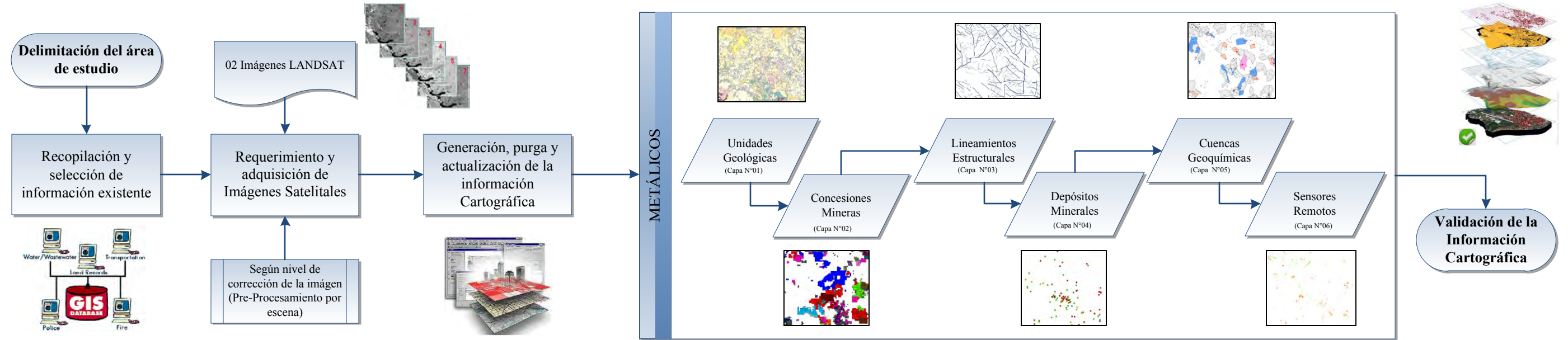
ESQUEMA DE PROCEDIMIENTO GENERAL

Propuestas de Exploración Minera Utilizando Técnicas SIG y Sensores ASTER en el Área Regional Arequipa

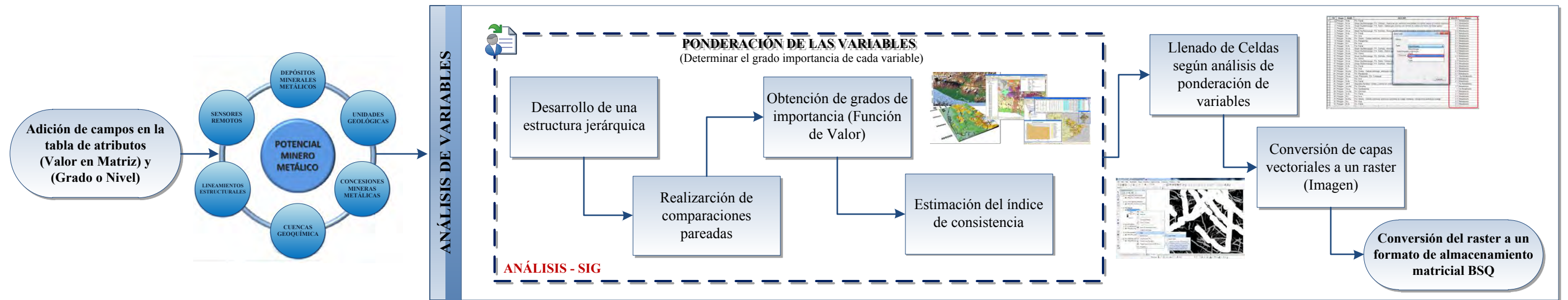


POTENCIAL MINERO METALICO EN EL AREA REGIONAL AREQUIPA

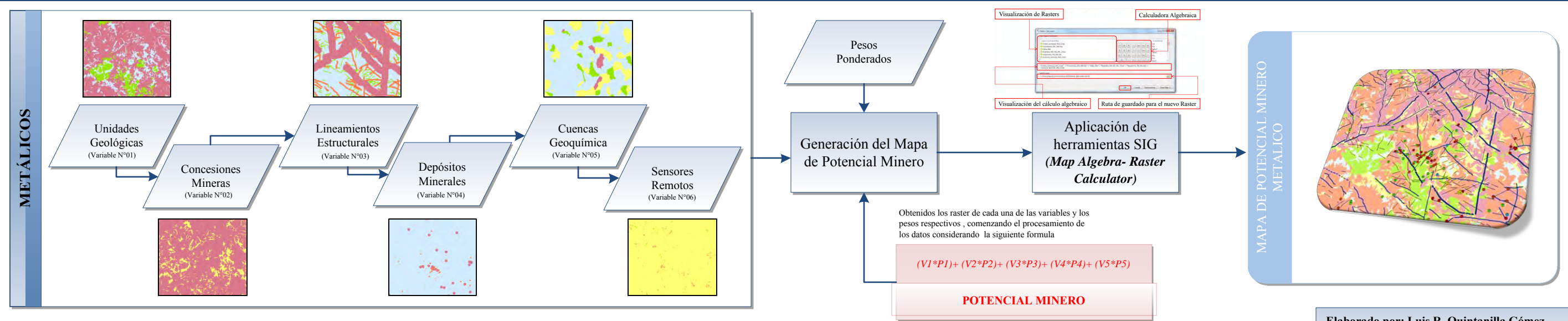
ETAPA I (PRE - PROCESAMIENTO)



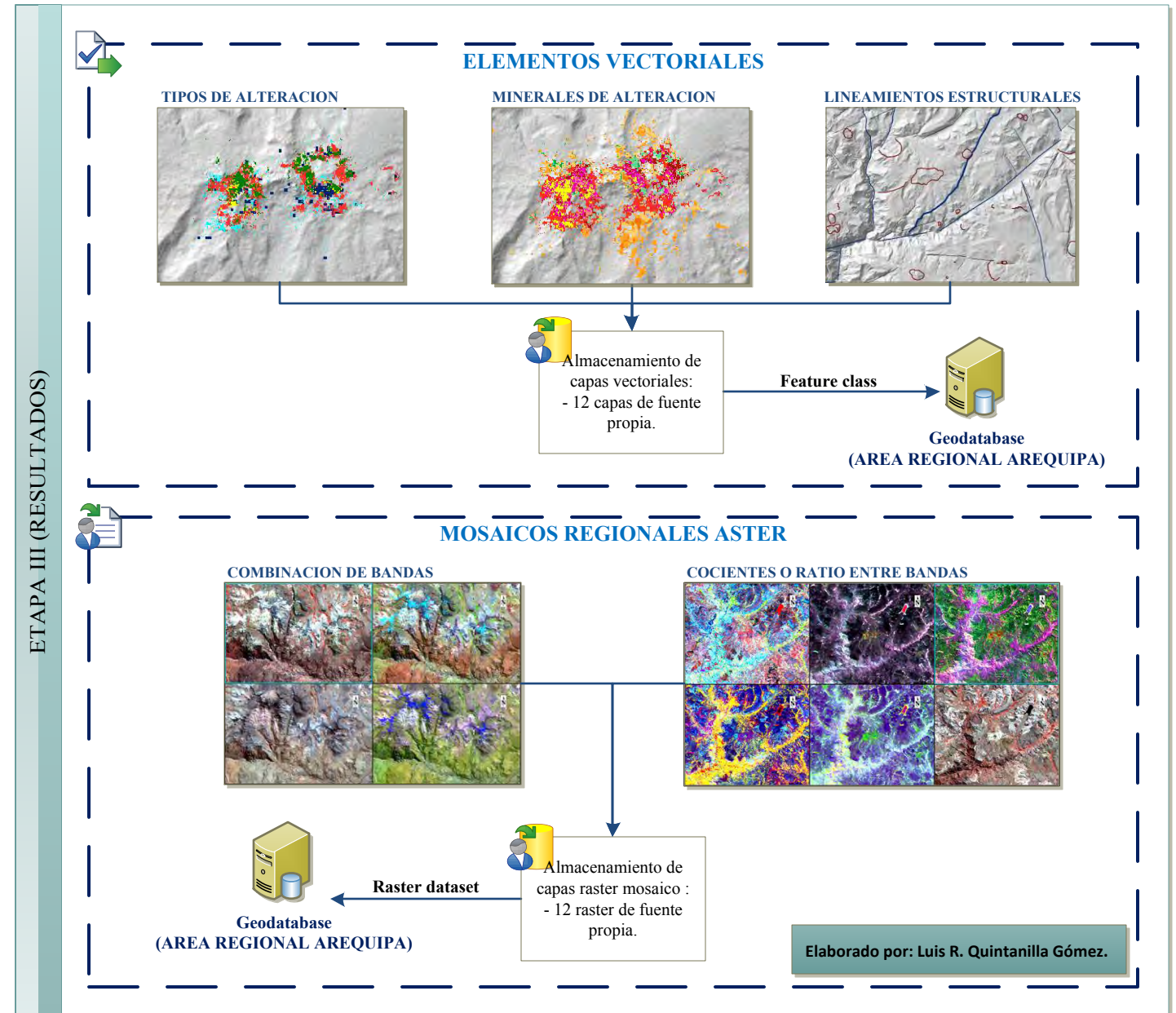
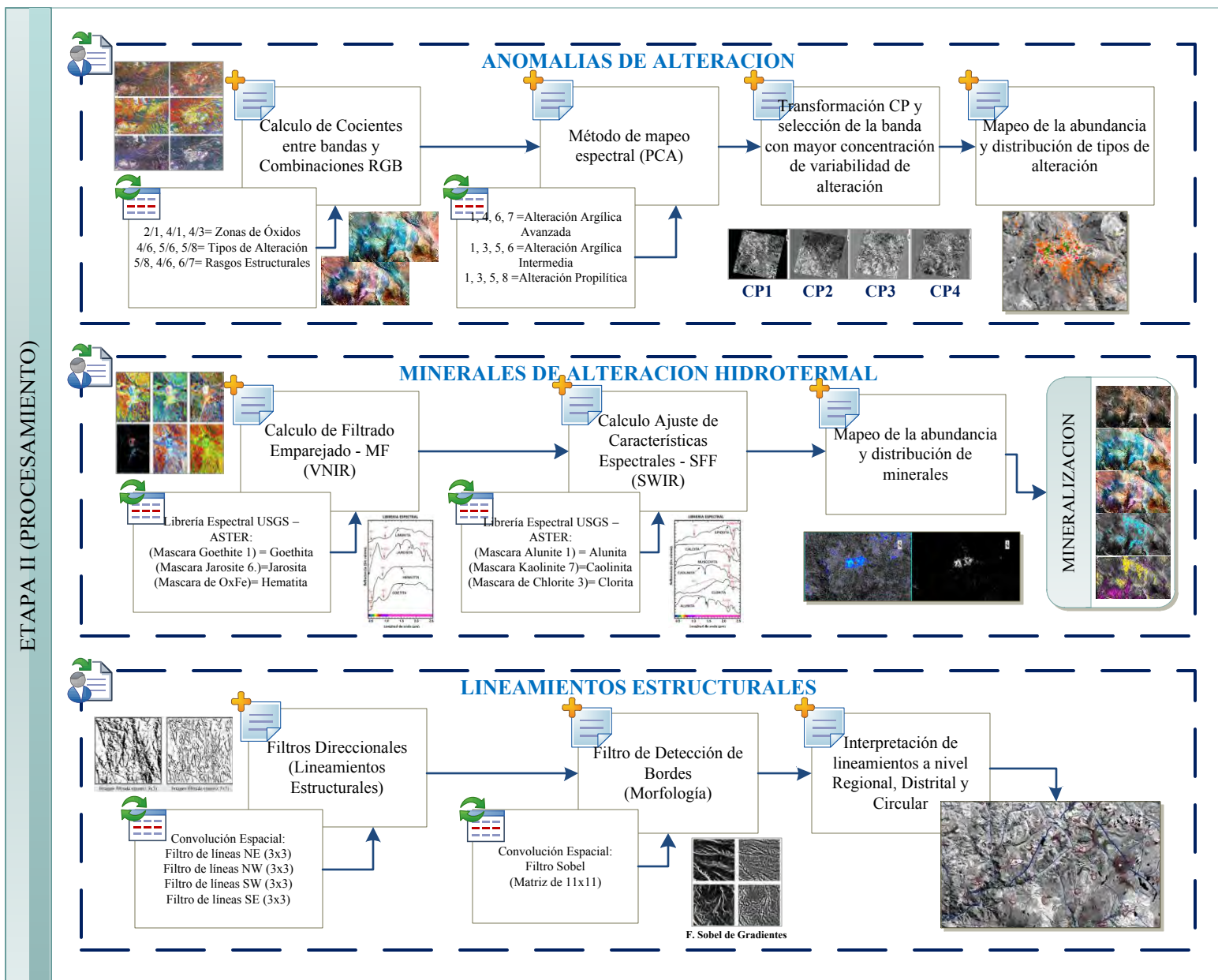
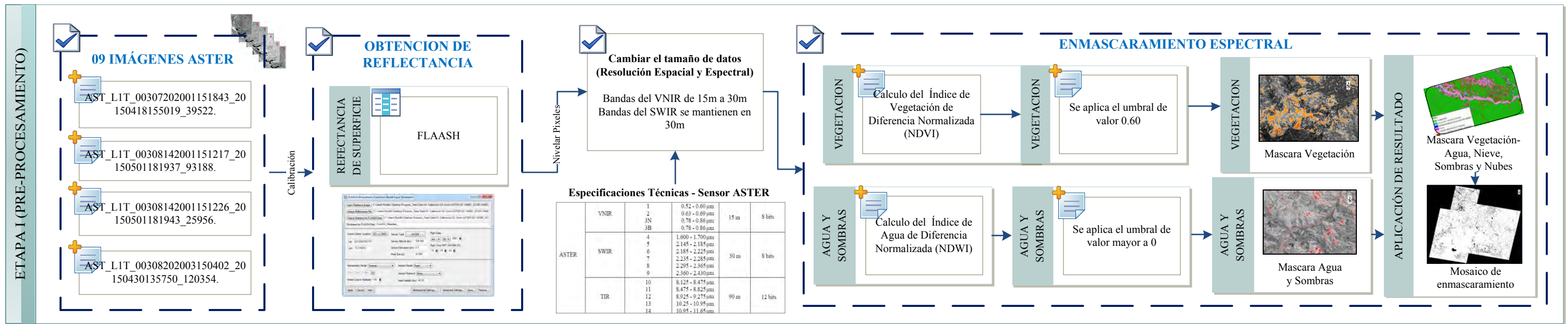
ETAPA II (PROCESAMIENTO)



ETAPA III (RESULTADOS)

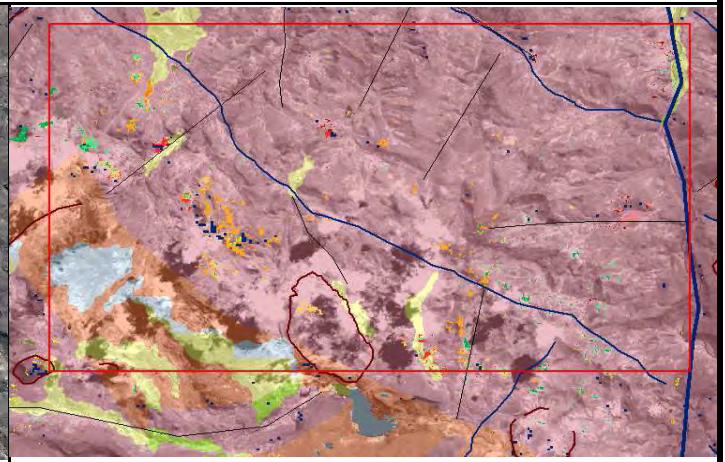


PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES ASTER





**PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y
SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA**



DATOS DE LA PROPUESTA

NOMBRE: TARGET N°32	TIPO: REGIONAL
----------------------------	-----------------------

UBICACIÓN GEOGRAFICA

DISTRITO	CAYARANI - SANTO TOMAS	ESTE	807546.3347
PROVINCIA	CONDESUYOS - CHUMBIVILCAS	NORTE	8365955.421
DEPARTAMENTO	AREQUIPA - CUSCO	ELEVACION	4,513
PROYECCION	WGS84 UTM - Zona 18 Sur	AREA (ha.)	30,764

ANALISIS ESPACIAL

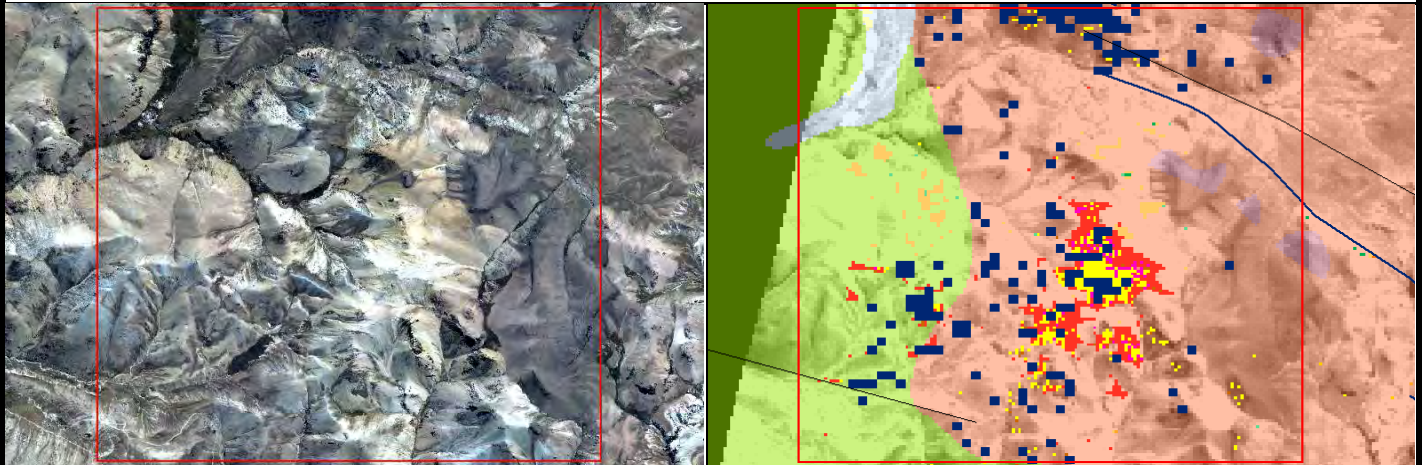
POTENCIAL MINERO	MUY ALTO	DEPOSITO	OP. ALJA VICTORIA Vetas (Au)
UNIDADE GEOLOGICA	GRUPO BARROSO FORMACION ALPABAMBA	GEOQUIMICA	VALORES BAJOS
FALLAS	EST. REG. Y DIS. CIRCULAR	SENSORES	ARG. AVANZADA, PROP. MIN. OXIDOS, SILICEA
METALOGENIA	XV - XXI-b	ZONAS DE EXCEPCION	SUBCUENCA DEL COTAHUASI
CONCESIONES	CIA. MINERA ARES FRESNILLO PERU	COMUNIDAD	ALCA VICTORIA

COMENTARIO

Describe una zona de mineralización dispersa, relacionada a estructurales distritales y locales, además se puede reconocer un posible domo o estructura circular, la mineralización es más abundante en la dirección SW de la falla regional, logrando encontrar minerales como clorita y calcita, se visualiza que varias de las estructuras cortan zonas de alteración Argílica Avanzada (Alunita y Caolinita), en algunos casos la alteración silicea está relacionada con los óxidos (Goethita y Hematita) y alteraciones (Alunita y Caolinita), existe poca presencia de alteración argílica, no existe un claro zonamiento de minerales a nivel superficial que defina mejor el tipo de depósito pero por los grupos de minerales encontrados en toda la zona, es posible que este relacionado con un epitermal de alta sulfuración en formación



**PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y
SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA**



DATOS DE LA PROPUESTA

NOMBRE: TARGET N°42	TIPO: DISTRITAL
----------------------------	------------------------

UBICACIÓN GEOGRAFICA

DISTRITO	CORONEL CASTAÑEDA	ESTE	719903.245
PROVINCIA	PARINACOCHAS	NORTE	8371412.662
DEPARTAMENTO	AYACUCHO	ELEVACION	4,755
PROYECCION	WGS84 UTM - Zona 18 Sur	AREA (ha.)	2,330

ANALISIS ESPACIAL

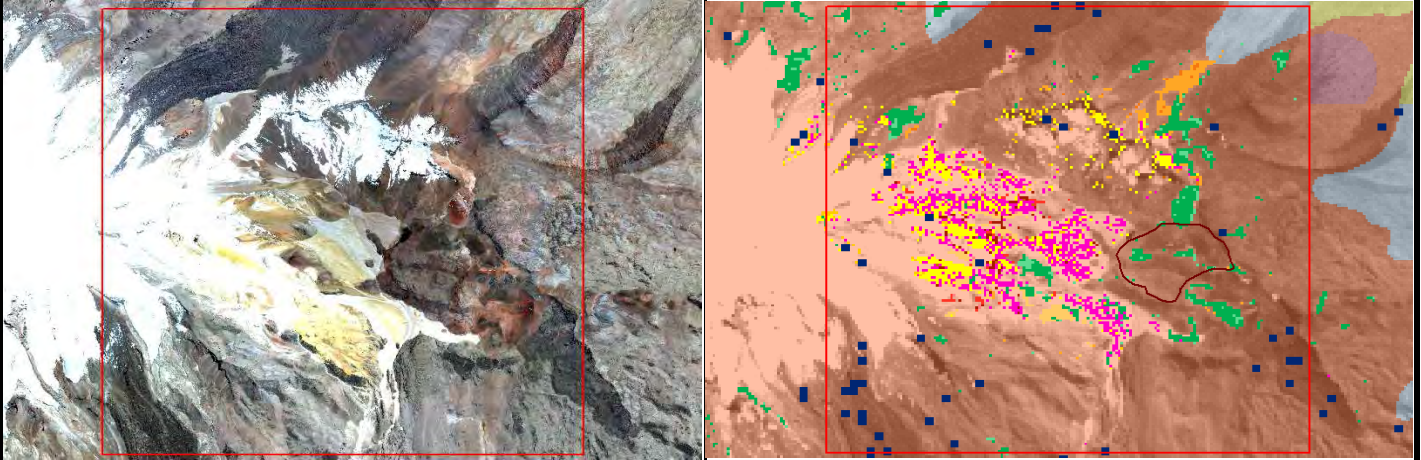
POTENCIAL MINERO	ALTO	DEPOSITO	NO PRESENTA
UNIDADE GEOLOGICA	GRUPO BARROSO FORMACION ALPABAMBA	GEOQUIMICA	VALORES MUY BAJOS
FALLAS	EST. REGIONALES Y DISTRITALES (NW-SE)	SENSORES	ARG. AVZ, ARG., SIL MINERALES DE OXIDOS
METALOGENIA	XXI-b	ZONAS DE EXCEPCION	SUBCUENCA DEL COTAHUASI
CONCESIONES	NO CONCESIONADO	COMUNIDAD	HUANACCMARCA

COMENTARIO

Presenta un zonamiento mas claro, donde se puede definir una oxidacion periferica (Hematita), en la parte interna se mezclan los minerales de Caolinita (Argl. Avanzada), Illita, Serecita (Argilica) y oxido siliceo, todos estos minerales son caracteristicos en un deposito epitermal de alta sulfuracion; geológicamente se encuentra dentro de la Formación Alpbamba, Formación Aniso y el Grupo Barroso (Metalotectos) que ayuda a ubicar esta propuesta en la zona de alta potencialidad minera; estructuralmente cuenta con fallas regionales secundarias y lineamientos distritales todas de dirección NW-SE.



**PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y
SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA**



DATOS DE LA PROPUESTA

NOMBRE: TARGET N°05	TIPO: DISTRITAL
----------------------------	------------------------

UBICACIÓN GEOGRAFICA

DISTRITO	SALAMANCA - VIRACO -MACHAGUAY	ESTE	761179.7373
PROVINCIA	CONDESUYOS - CASTILLA	NORTE	8279147.246
DEPARTAMENTO	AREQUIPA	ELEVACION	5,377
PROYECCION	WGS84 UTM - Zona 18 Sur	AREA (ha.)	2759

ANALISIS ESPACIAL

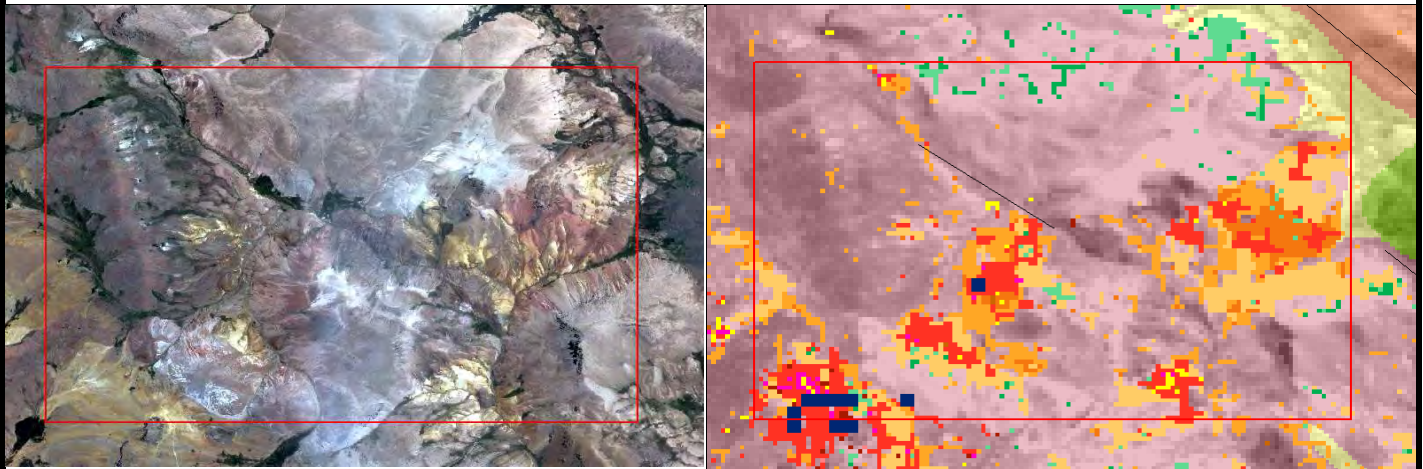
POTENCIAL MINERO	ALTO	DEPOSITO	PROS. COROPUNA ESTE Vetas (Au-Cu)
UNIDADE GEOLOGICA	GRUPO BARROSO DEP. SEDIMENTARIO	GEOQUIMICA	VALORES BAJOS
FALLAS	ESTRUCTURA CIRCULAR	SENSORES	ARG., PROP. MIN. OXIDOS
METALOGENIA	XXIII	ZONAS DE EXCEPCION	NO PRESENTA
CONCESIONES	NO CONCESIONADO	COMUNIDAD	UNRO ANDAGUA

COMENTARIO

Se encuentra dentro de una estructura circular (Ladera derecha del Nevado Coropuna), muestra un zonamiento en etapas, las cuales reflejan alteraciones Argílicas Avanzadas (Alunita, Caolinita y Pirofilita) de manera escasa en zonas altas, Alteración Argílica (Illita, sercicitita) en la parte media y en la base una fuerte Alteración Propilitica (Clorita, Dolomita), presenta Oxido Silicio disperso y escaso; se encuentra dentro del grupo Barroso un reconocido metalotecto, por estas características se le define como un posible depósito epitermal de baja sulfuración; existe un prospecto aledaño llamado "Coropuna Este", el cual explora por vetas de Au-Cu que no abarca la anomalía de alteración central; la propuesta se encuentra dentro de una estructura volcánica del potencial minero alto que abarca en su totalidad el metalotecto Grupo Barroso.



**PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y
SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA**



DATOS DE LA PROPUESTA

NOMBRE: TARGET N°18-B	TIPO: LOCAL
------------------------------	--------------------

UBICACIÓN GEOGRAFICA

DISTRITO	SALAMANCA - CAYARANI	ESTE	767898.5673
PROVINCIA	CONDESUYOS	NORTE	8317309.491
DEPARTAMENTO	AREQUIPA	ELEVACION	4,821
PROYECCION	WGS84 UTM - Zona 18 Sur	AREA (ha.)	950

ANALISIS ESPACIAL

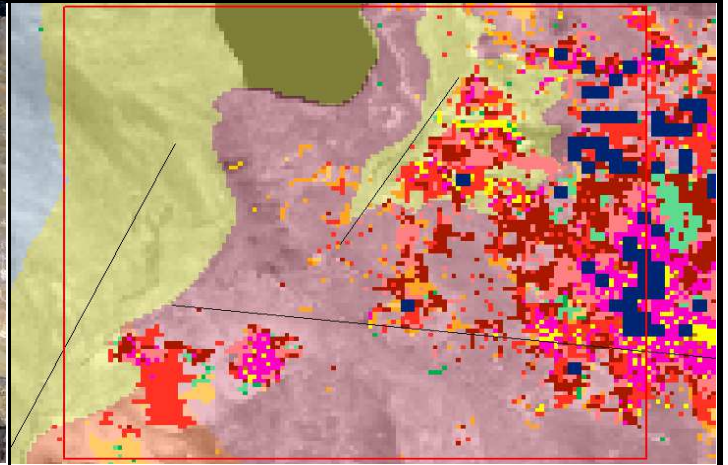
POTENCIAL MINERO	MUY ALTO	DEPOSITO	PROS. SOMBRERORUMI HS (Au)
UNIDADE GEOLOGICA	FORM. ORCOPAMPA FORM. ALPABAMBA	GEOQUIMICA	VALORES BAJOS
FALLAS	NO PRESENTA	SENSORES	ARG. AVANZADA., ARG. MIN. OXIDOS, SIL.
METALOGENIA	XXI-b	ZONAS DE EXCEPCION	SUBCUENCA DEL COTAHUASI
CONCESIONES	FRESNILLO PERU IED OPERATIONS	COMUNIDAD	UMACHULCO

COMENTARIO

La zona esta ubicada al NE del epitermal de alta sulfuracion de la Mina Poracota de Cia de Minas Buenaventura SAA; se identifican 02 anomalias dentro de la zona de interes que pueden ser ramales del deposito de Poracota, estas anomalias representan minerales de Alteracion Argilica Avanzada (Caolinita y Alunita), muy poca presencia de Argilica Intermedia y Silice, abundante presencia de Oxidos (Jarosita, Goethita y Hematita), en la zona norte del target se visualiza una fuerte Alteracion Propilitica (Clorita, Calcita), el target tienen todas las características de ser la continuación del epitermal de alta sulfuración presente; se encuentra dentro del rango muy alto de potencial minero que relaciona las Formaciones Orcopampa y Alpabamba con distintas operaciones de mineralización comprobada.



**PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y
SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA**



DATOS DE LA PROPUESTA

NOMBRE: TARGET N°18-A	TIPO: LOCAL
------------------------------	--------------------

UBICACIÓN GEOGRAFICA

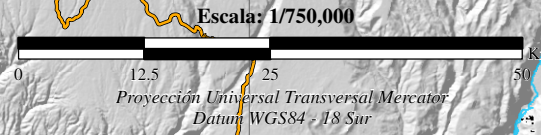
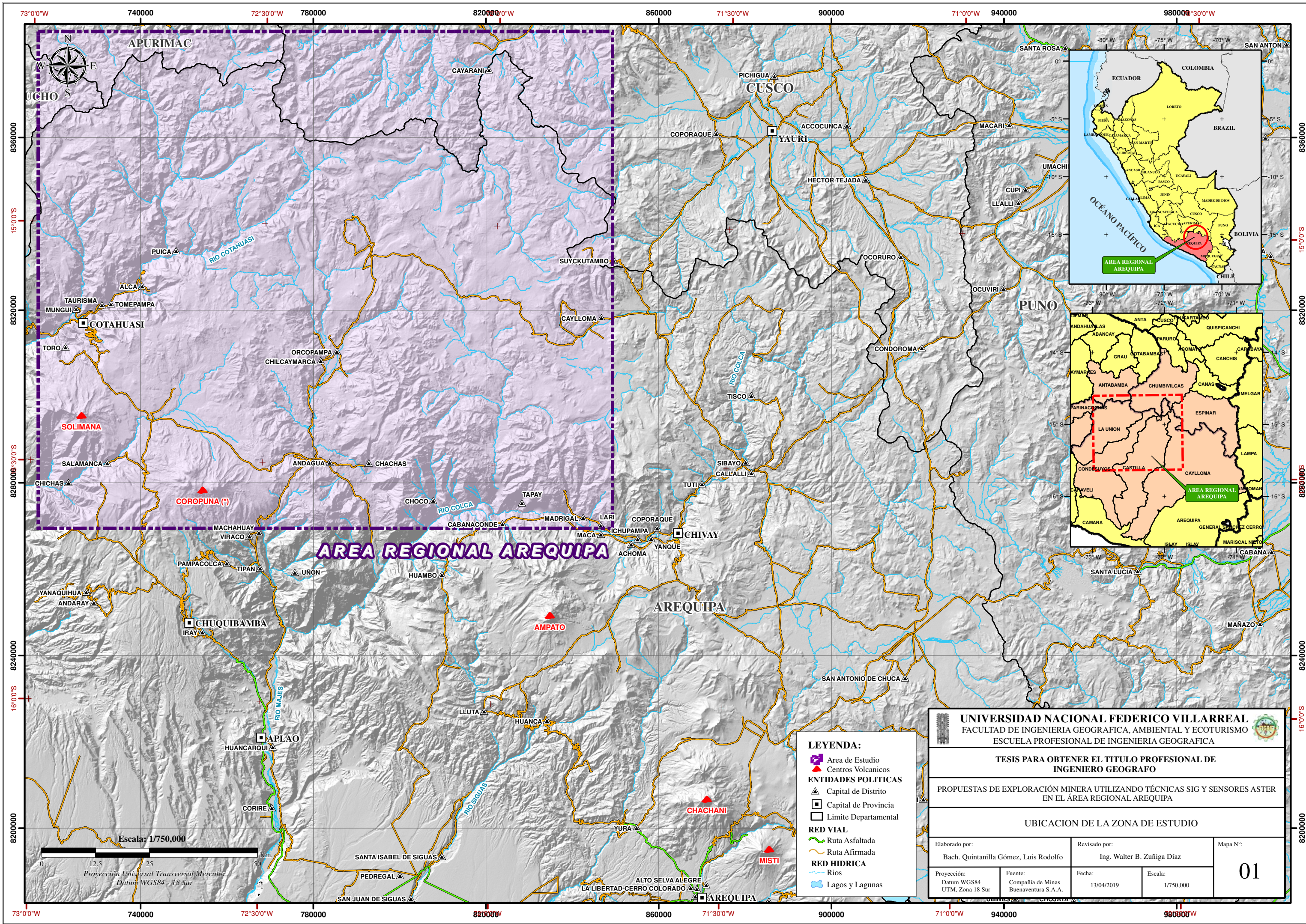
DISTRITO	SALAMANCA	ESTE	763221.5282
PROVINCIA	CONDESUYOS	NORTE	8313202.41
DEPARTAMENTO	AREQUIPA	ELEVACION	4,862
PROYECCION	WGS84 UTM - Zona 18 Sur	AREA (ha.)	1222

ANALISIS ESPACIAL

POTENCIAL MINERO	MUY ALTO	DEPOSITO	OP. PORACOTA HS (Au-Ag)
UNIDADE GEOLOGICA	FORM. ORCOPAMPA FORM. ALPABAMBA	GEOQUIMICA	VALORES MUY BAJOS
FALLAS	ESTRUCTURAS DISTRITALES	SENSORES	ARG. AVZ., PROP., SIL MIN. OXIDOS
METALOGENIA	XXIII XXI-b	ZONAS DE EXCEPCION	SUBCUENCA DEL COTAHUASI
CONCESIONES	FRESNILLO PERU IED OPERATIONS	COMUNIDAD	NO PRESENTA

COMENTARIO

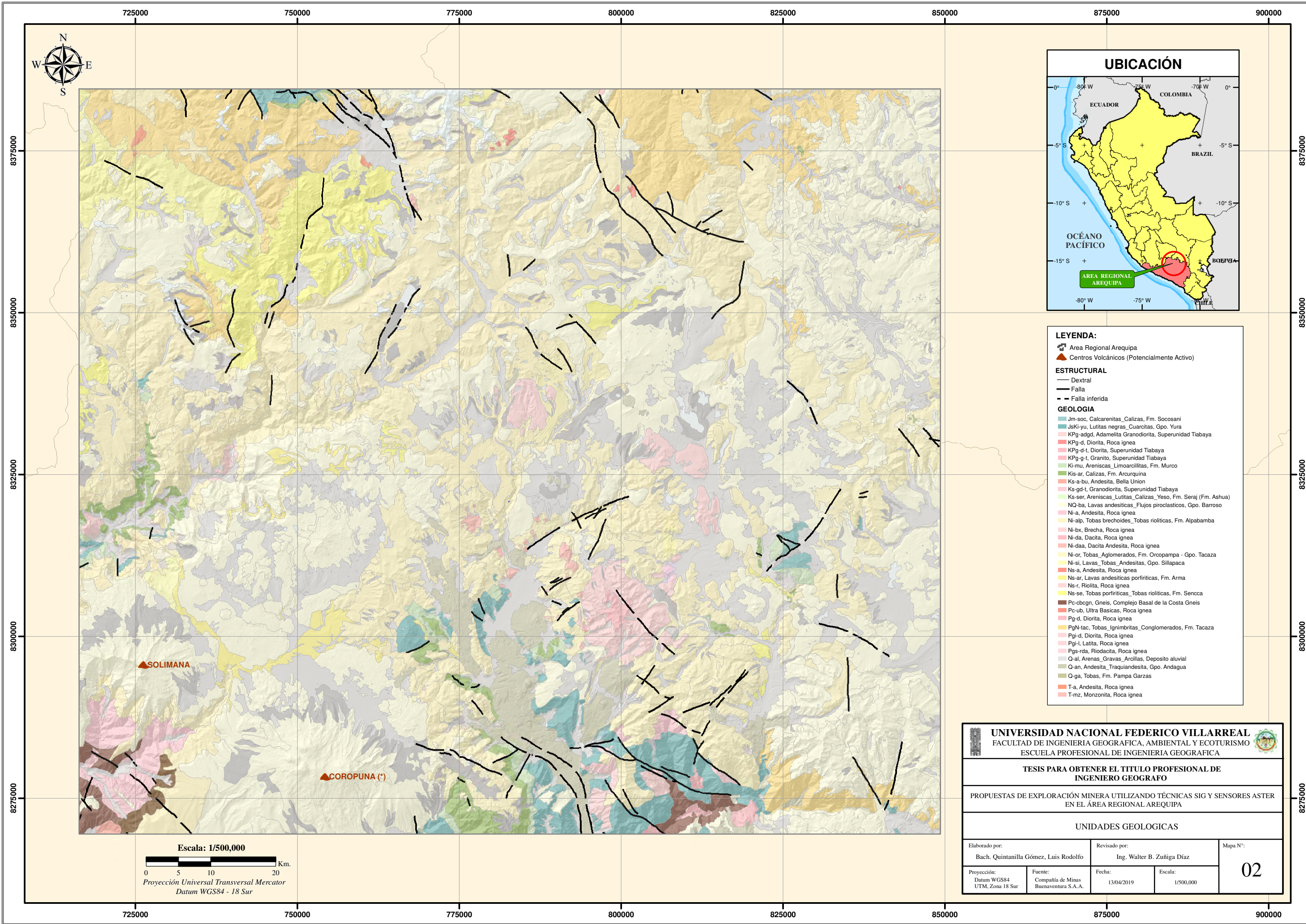
Abarca la zona SW del deposito epitermal de alta sulfuracion de Poracota de BVN, refleja un zoneamiento bien definido en intercalaciones de alteraciones Argilica Avanzada (Alunita, Caolinita y Pirofilita), Argilica Intermedia (Illita, Sericita), Propilitica (Clorita) y Oxido de Silice; muestra estructuras distritales que cortan el target en 02 anomalia; la zonificación esta bien definida caracterizada por los minerales que demuestran ser un deposito epitermal de alta sulfuración; geológicamente se encuentran dentro de las Formación Orcopampa, Formación Alpabamba y depósitos sedimentarios, que caracterizan la zona con el rango muy alto de potencial minero, estructuralmente presentan lineamientos distritales.



LEYENDA:

- Area de Estudio
- Centros Volcanicos
- ENTIDADES POLITICAS**
- Capital de Distrito
- Capital de Provincia
- Limite Departamental
- RED VIAL**
- Ruta Asfaltada
- Ruta Afirmada
- RED HIDRICA**
- Rios
- Lagos y Lagunas

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOGRAFICA			
TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOGRAFO			
PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA			
UBICACION DE LA ZONA DE ESTUDIO			
Elaborado por:	Revisado por:	Mapa N°:	
Bach. Quintanilla Gómez, Luis Rodolfo	Ing. Walter B. Zuñiga Díaz	01	
Proyección:	Fuente:	Fecha:	Escala:
Datum WGS84 UTM, Zona 18 Sur	Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.	13/04/2019	1/750,000



LEYENDA:

- Area Regional Arequipa
- Centros Volcánicos (Potencialmente Activo)

ESTRUCTURAL

- Dextral
- Falla
- Falla inferida

GEOLOGIA

- Jm-soc, Calcarenitas_Calizas, Fm. Socosani
- JsKi-yu, Lutitas negras_Cuarzitas, Gpo. Yura
- KPg-adgd, Adamecita Granodiorita, Superunidad Tiabaya
- KPg-d, Diorita, Roca ignea
- KPg-d-t, Diorita, Superunidad Tiabaya
- KPg-g-t, Granito, Superunidad Tiabaya
- Ki-mu, Areniscas_Limoarcillitas, Fm. Murco
- Kis-ar, Calizas, Fm. Arcuruquina
- Ks-a-bu, Andesita, Bella Union
- Ks-gd-t, Granodiorita, Superunidad Tiabaya
- Ks-ser, Areniscas_Lutitas_Calizas_Yeso, Fm. Seraj (Fm. Ashua)
- NQ-ba, Lavas andesíticas_Flujos piroclásticos, Gpo. Barroso
- Ni-a, Andesita, Roca ignea
- Ni-alp, Tobas brechoides_Tobas riolíticas, Fm. Alpacamba
- Ni-bx, Brecha, Roca ignea
- Ni-da, Dacita, Roca ignea
- Ni-daa, Dacita Andesita, Roca ignea
- Ni-or, Tobas_Aglomerados, Fm. Oropampa - Gpo. Tacaza
- Ni-si, Lavas_Tobas_Andesitas, Gpo. Sillapaca
- Ns-a, Andesita, Roca ignea
- Ns-ar, Lavas andesíticas porfíricas, Fm. Arma
- Ns-r, Riolita, Roca ignea
- Ns-se, Tobas porfíricas_Tobas riolíticas, Fm. Sencca
- Pc-cbcgn, Gneis, Complejo Basal de la Costa Gneis
- Pc-ub, Ultra Basicas, Roca ignea
- Pg-d, Diorita, Roca ignea
- PgN-tac, Tobas_Ignimbritas_Conglomerados, Fm. Tacaza
- Pgi-d, Diorita, Roca ignea
- Pgi-l, Latita, Roca ignea
- Pgs-rda, Riodacita, Roca ignea
- Q-al, Arenas_Gravas_Arcillas, Deposito aluvial
- Q-an, Andesita_Traquiandesita, Gpo. Andagua
- Q-ga, Tobas, Fm. Pampa Garzas
- T-a, Andesita, Roca ignea
- T-mz, Monzonita, Roca ignea

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOGRAFICA

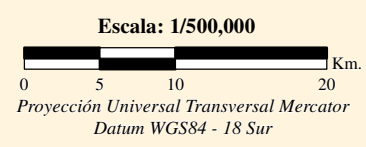
TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOGrafo

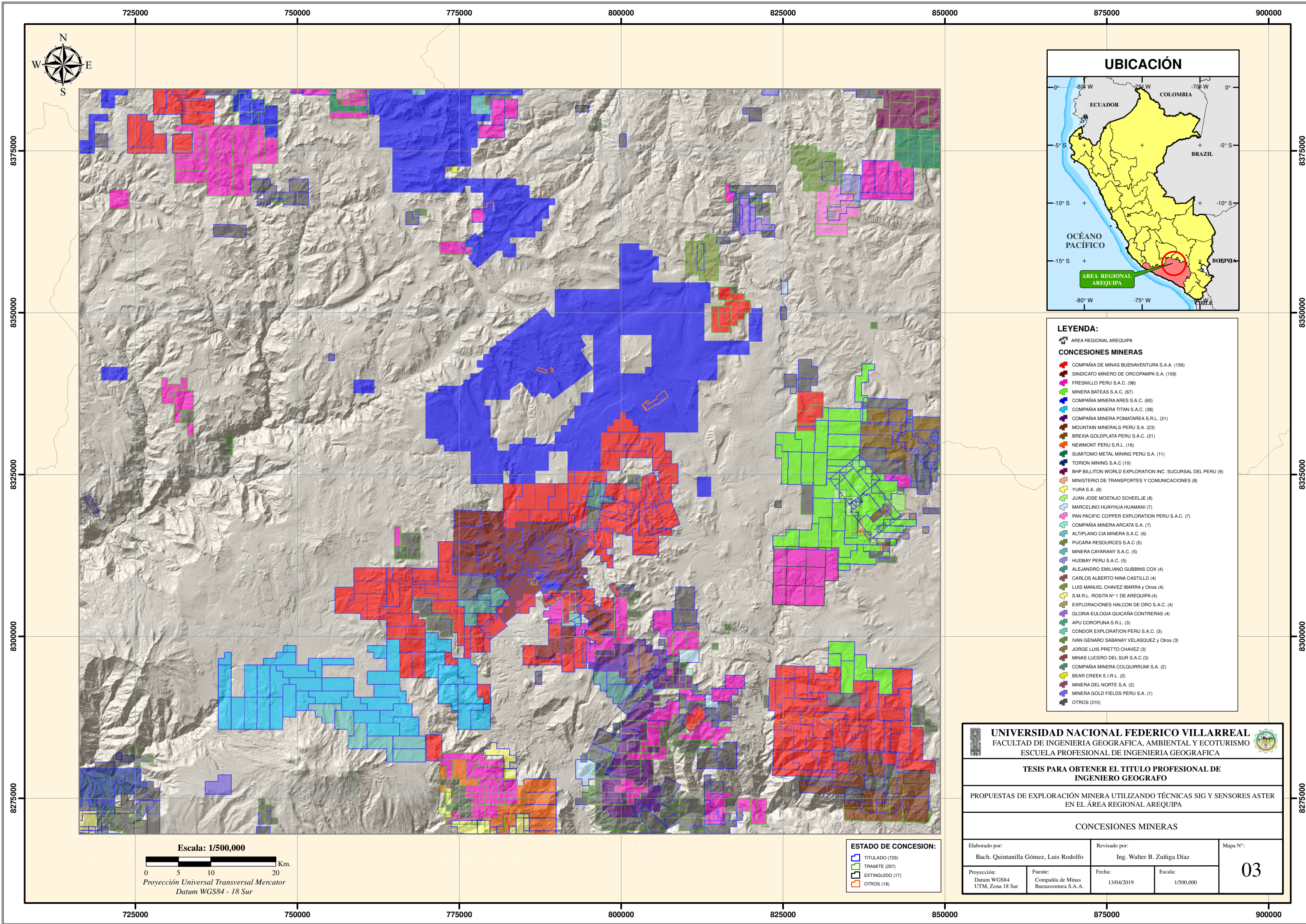
PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA

UNIDADES GEOLOGICAS

Elaborado por: Bach. Quintanilla Gómez, Luis Rodolfo	Revisado por: Ing. Walter B. Zuñiga Díaz	Mapa N°: 02
Proyección: Datum WGS84 UTM, Zona 18 Sur	Fuente: Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.	Fecha: 13/04/2019

Escala: 1/500,000





LEYENDA:

- AREA REGIONAL AREQUIPA
- CONCESIONES MINERAS**
- COMPANIA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A. (156)
- SINDICATO MINERO DE ORCOPAMPA S.A. (159)
- FRESNILLO PERU S.A.C. (98)
- MINERA BATEAS S.A.C. (67)
- COMPANIA MINERA ARES S.A.C. (60)
- COMPANIA MINERA TITAN S.A.C. (38)
- COMPANIA MINERA POMATAREA S.R.L. (31)
- MOUNTAIN MINERALS PERU S.A. (23)
- BREXIA GOLDPLATA PERU S.A.C. (21)
- NEWMONT PERU S.R.L. (16)
- SUMITOMO METAL MINING PERU S.A. (11)
- TORION MINING S.A.C. (10)
- BHP BILLITON WORLD EXPLORATION INC. SUCURSAL DEL PERU (9)
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES (8)
- YURA S.A. (8)
- JUAN JOSE MOSTAJO SCHEELIE (6)
- MARCELINO HUAYHUA HUAMANI (7)
- PAN PACIFIC COPPER EXPLORATION PERU S.A.C. (7)
- COMPANIA MINERA ARCATA S.A. (7)
- ALTIPLANO CIA MINERA S.A.C. (6)
- PUCARA RESOURCES S.A.C. (5)
- MINERA CAVARANY S.A.C. (5)
- HUDBAY PERU S.A.C. (5)
- ALEJANDRO EMILIANO GUBBINS COX (4)
- CARLOS ALBERTO NINA CASTILLO (4)
- LUIS MANUEL CHAVEZ IBARRA y Otros (4)
- S.M.R.L. ROSITA N° 1 DE AREQUIPA (4)
- EXPLORACIONES HALCON DE ORO S.A.C. (4)
- GLORIA EULOGIA QUICANA CONTRERAS (4)
- APU COROPUNA S.R.L. (3)
- CONDOR EXPLORACION PERU S.A.C. (3)
- IVAN GENARO SABANAY VELASQUEZ y Otros (3)
- JORGE LUIS PRETTO CHAVEZ (3)
- MINAS LUCERO DEL SUR S.A.C. (3)
- COMPANIA MINERA COLOQUIRUMI S.A. (2)
- BEAR CREEK E.I.R.L. (2)
- MINERA DEL NORTE S.A. (2)
- MINERA GOLD FIELDS PERU S.A. (1)
- OTROS (210)

Escala: 1/500,000

Proyección Universal Transversal Mercator
Datum WGS84 - 18 Sur

ESTADO DE CONCESION:

- TITULADO (729)
- TRAMITE (257)
- EXTINGUIDO (17)
- OTROS (18)

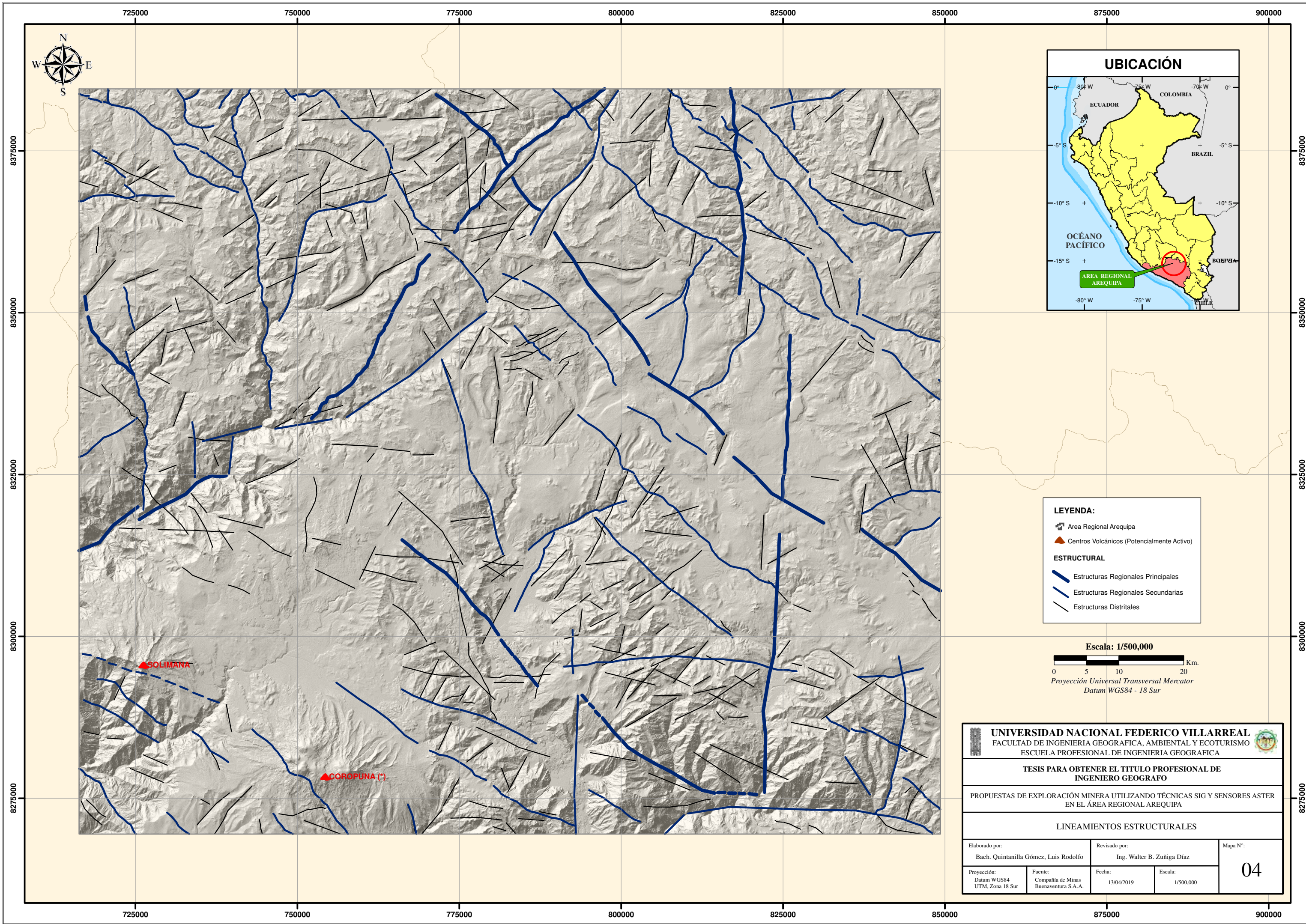
UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOGRAFICA

TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOGrafo

PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA

CONCESIONES MINERAS

Elaborado por: Bach. Quintanilla Gómez, Luis Rodolfo	Revisado por: Ing. Walter B. Zuñiga Díaz	Mapa N°: 03
Proyección: Datum WGS84 UTM, Zona 18 Sur	Fuente: Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.	Fecha: 13/04/2019
Escala: 1/500,000		



LEYENDA:

- Area Regional Arequipa
- Centros Volcánicos (Potencialmente Activo)

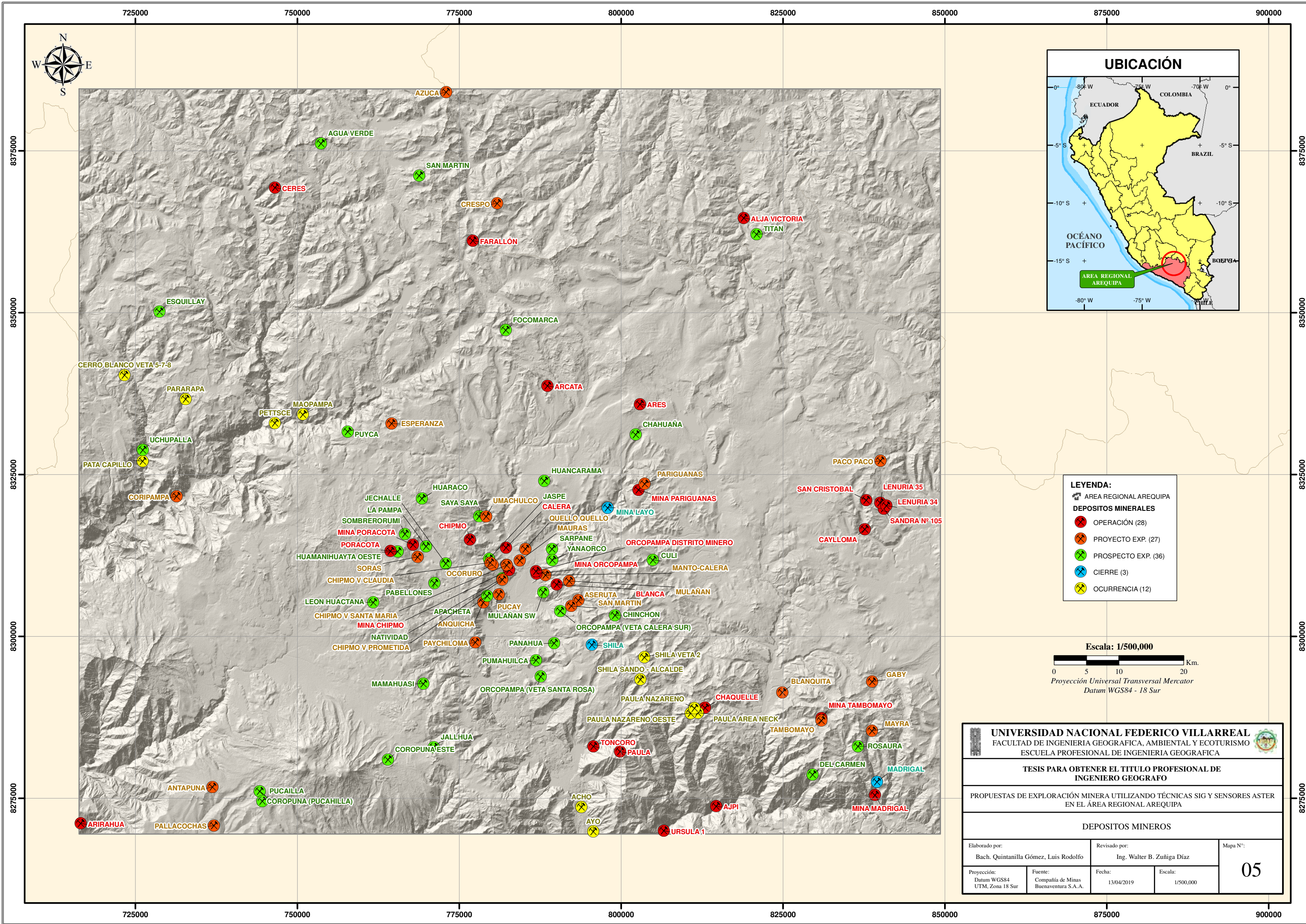
ESTRUCTURAL

- Estructuras Regionales Principales
- Estructuras Regionales Secundarias
- Estructuras Distritales

Escala: 1/500,000

Proyección Universal Transversal Mercator
Datum WGS84 - 18 Sur

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOGRAFICA			
TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOGrafo			
PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA			
LINEAMIENTOS ESTRUCTURALES			
Elaborado por: Bach. Quintanilla Gómez, Luis Rodolfo		Revisado por: Ing. Walter B. Zuñiga Díaz	
Proyección: Datum WGS84 UTM, Zona 18 Sur		Fecha: 13/04/2019	
Fuente: Compañía de Minas Buena Ventura S.A.A.		Escala: 1/500,000	
			04



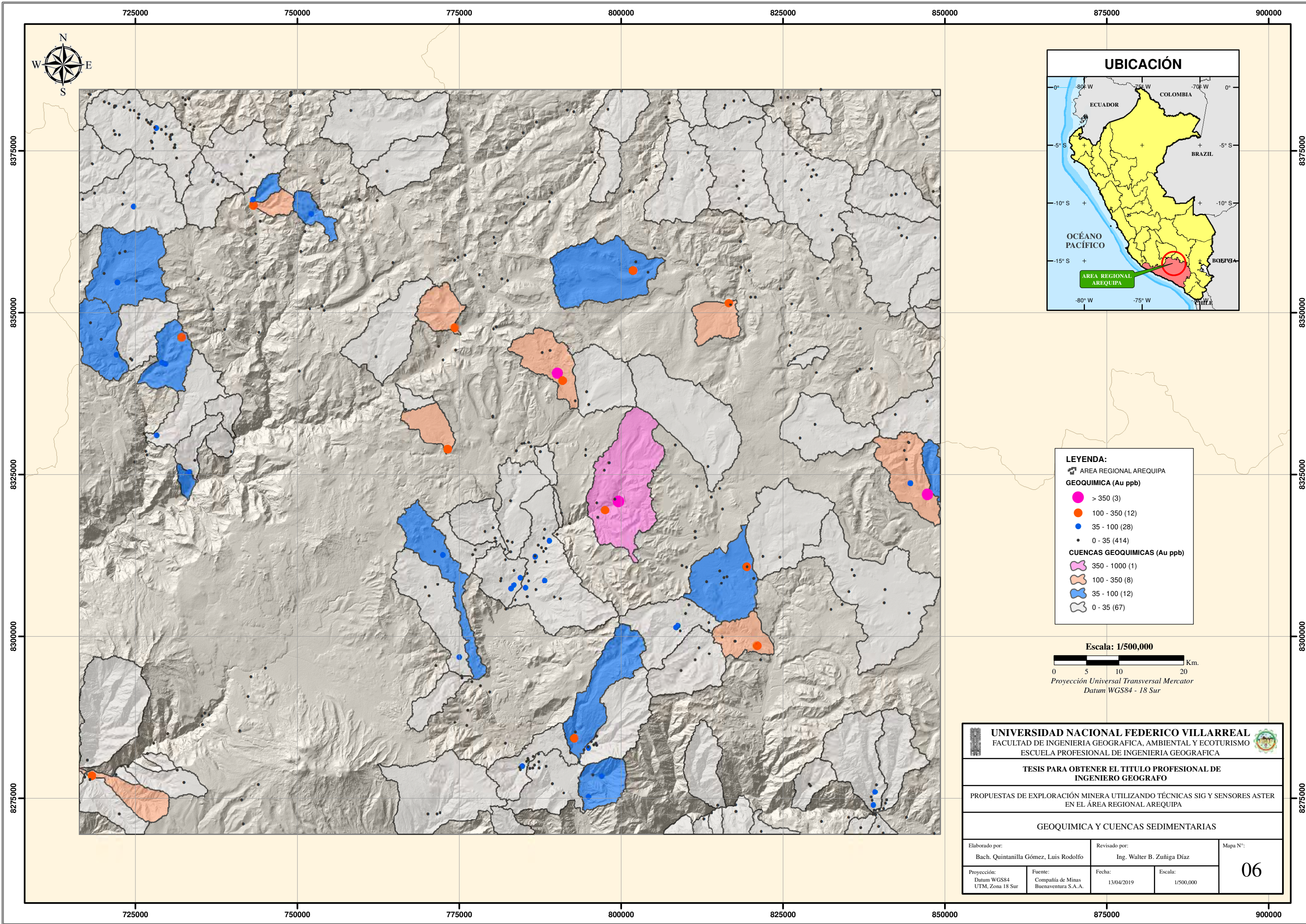
LEYENDA:

- AREA REGIONAL AREQUIPA
- DEPOSITOS MINERALES**
 - OPERACIÓN (28)
 - PROYECTO EXP. (27)
 - PROSPECTO EXP. (36)
 - CIERRE (3)
 - OCURRENCIA (12)

Escala: 1/500,000

Proyección Universal Transversal Mercator
Datum WGS84 - 18 Sur

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOGRAFICA			
TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOGRAFO			
PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA			
DEPOSITOS MINEROS			
Elaborado por: Bach. Quintanilla Gómez, Luis Rodolfo	Revisado por: Ing. Walter B. Zuñiga Díaz	Mapa N°: 05	
Proyección: Datum WGS84 UTM, Zona 18 Sur	Fuente: Compañía de Minas Buena Ventura S.A.A.	Fecha: 13/04/2019	Escala: 1/500,000



LEYENDA:

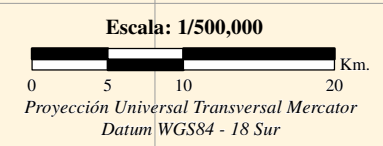
▣ AREA REGIONAL AREQUIPA

GEOQUIMICA (Au ppb)

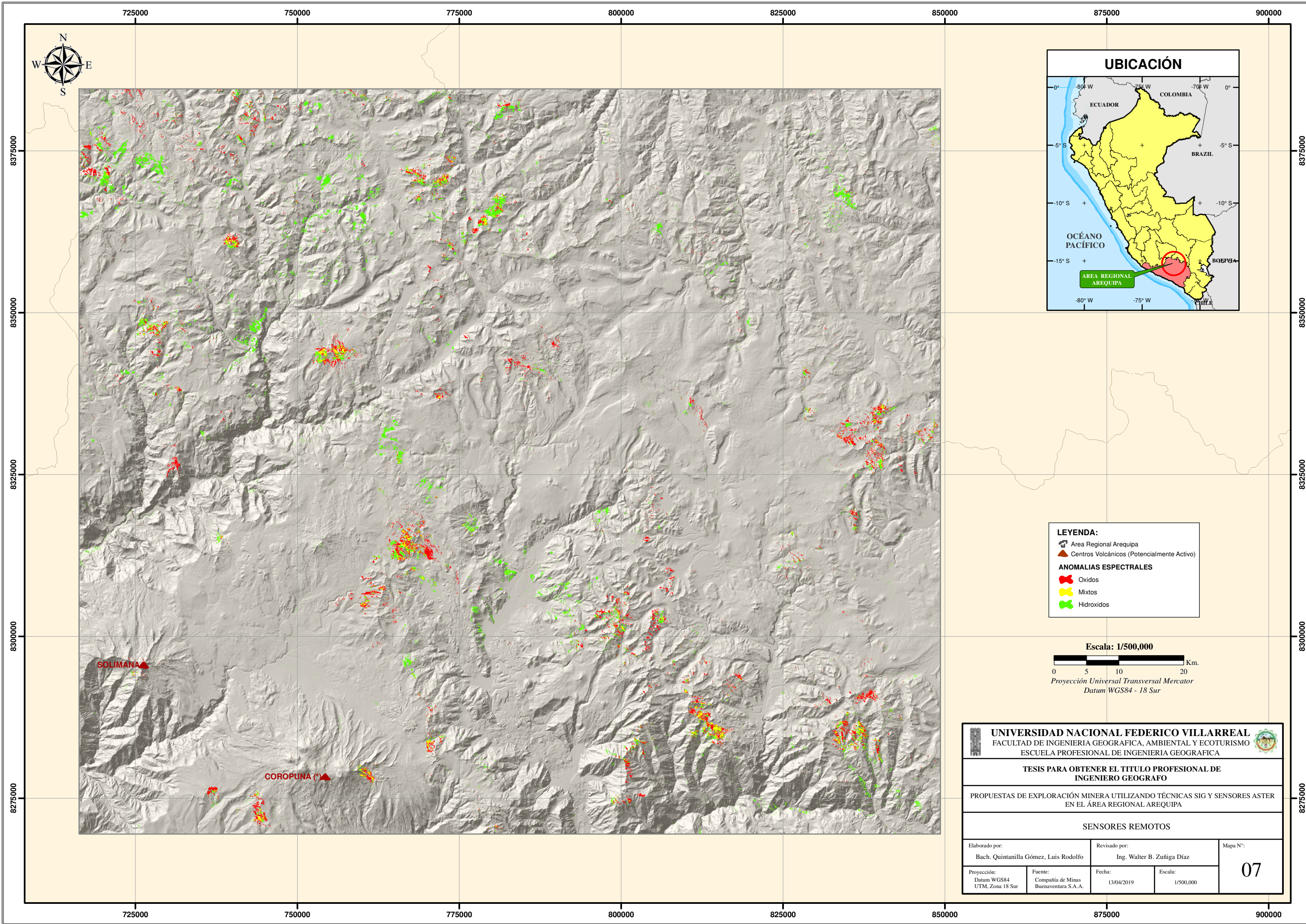
- > 350 (3)
- 100 - 350 (12)
- 35 - 100 (28)
- 0 - 35 (414)

CUENCAS GEOQUIMICAS (Au ppb)

- ▭ 350 - 1000 (1)
- ▭ 100 - 350 (8)
- ▭ 35 - 100 (12)
- ▭ 0 - 35 (67)



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOGRAFICA			
TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOGrafo			
PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA			
GEOQUIMICA Y CUENCAS SEDIMENTARIAS			
Elaborado por: Bach. Quintanilla Gómez, Luis Rodolfo	Revisado por: Ing. Walter B. Zuñiga Díaz	Mapa N°:	
Proyección: Datum WGS84 UTM, Zona 18 Sur	Fuente: Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.	Fecha: 13/04/2019	Escala: 1/500,000
			06



LEYENDA:

- Area Regional Arequipa
- Centros Volcánicos (Potencialmente Activo)

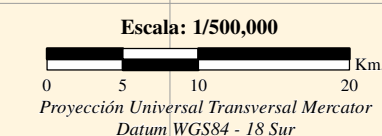
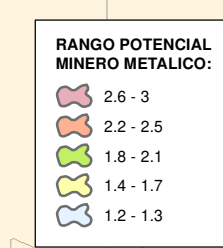
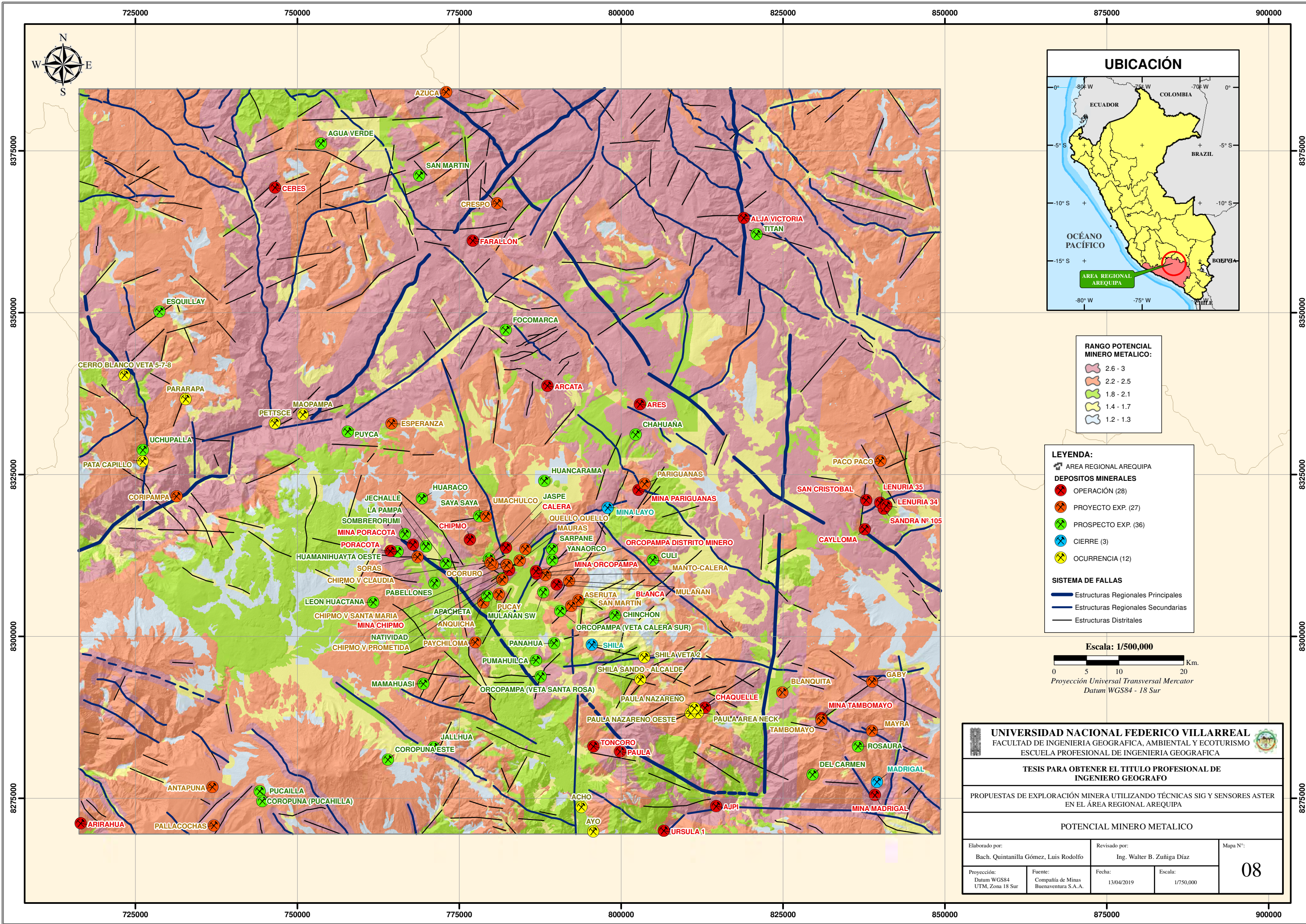
ANOMALIAS ESPECTRALES

- Oxidos
- Mixtos
- Hidroxidos

Escala: 1/500,000

Proyección Universal Transversal Mercator
Datum WGS84 - 18 Sur

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOGRAFICA			
TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOGrafo			
PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA			
SENSORES REMOTOS			
Elaborado por: Bach. Quintanilla Gómez, Luis Rodolfo		Revisado por: Ing. Walter B. Zuñiga Díaz	
Proyección: Datum WGS84 UTM, Zona 18 Sur		Fecha: 13/04/2019	
Fuente: Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.		Escala: 1/500,000	
			07



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOGRAFICA

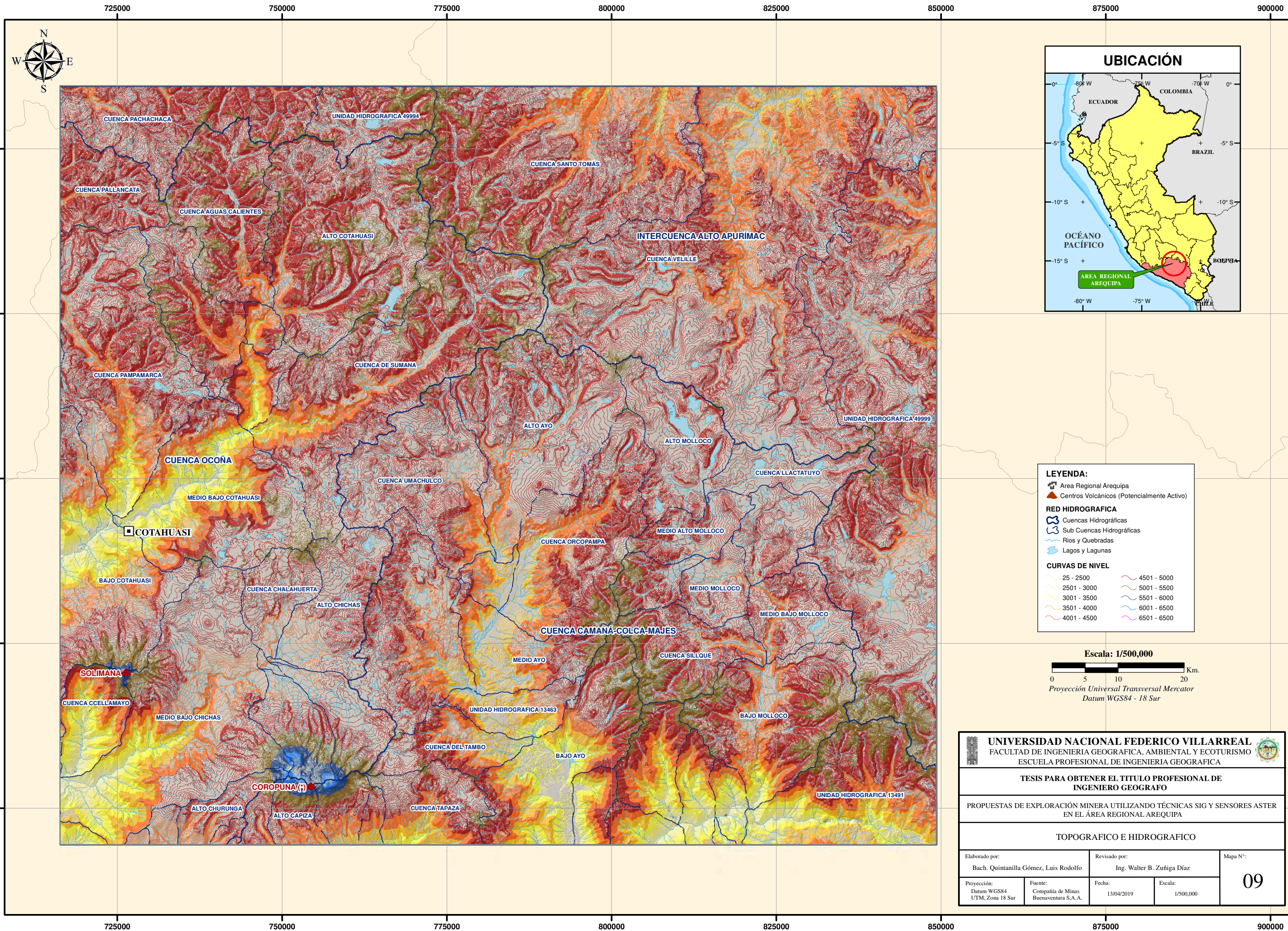
TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOGrafo

PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA

POTENCIAL MINERO METALICO

Elaborado por: Bach. Quintanilla Gómez, Luis Rodolfo	Revisado por: Ing. Walter B. Zuñiga Díaz	Mapa N°:
Proyección: Datum WGS84 UTM, Zona 18 Sur	Fuente: Compañía de Minas Buena Ventura S.A.A.	Fecha: 13/04/2019
		Escala: 1/750,000

08



LEYENDA:

- Area Regional Arequipa
- Centros Volcánicos (Potencialmente Activo)

RED HIDROGRAFICA

- Cuencas Hidrográficas
- Sub Cuencas Hidrográficas
- Rios y Quebradas
- Lagos y Lagunas

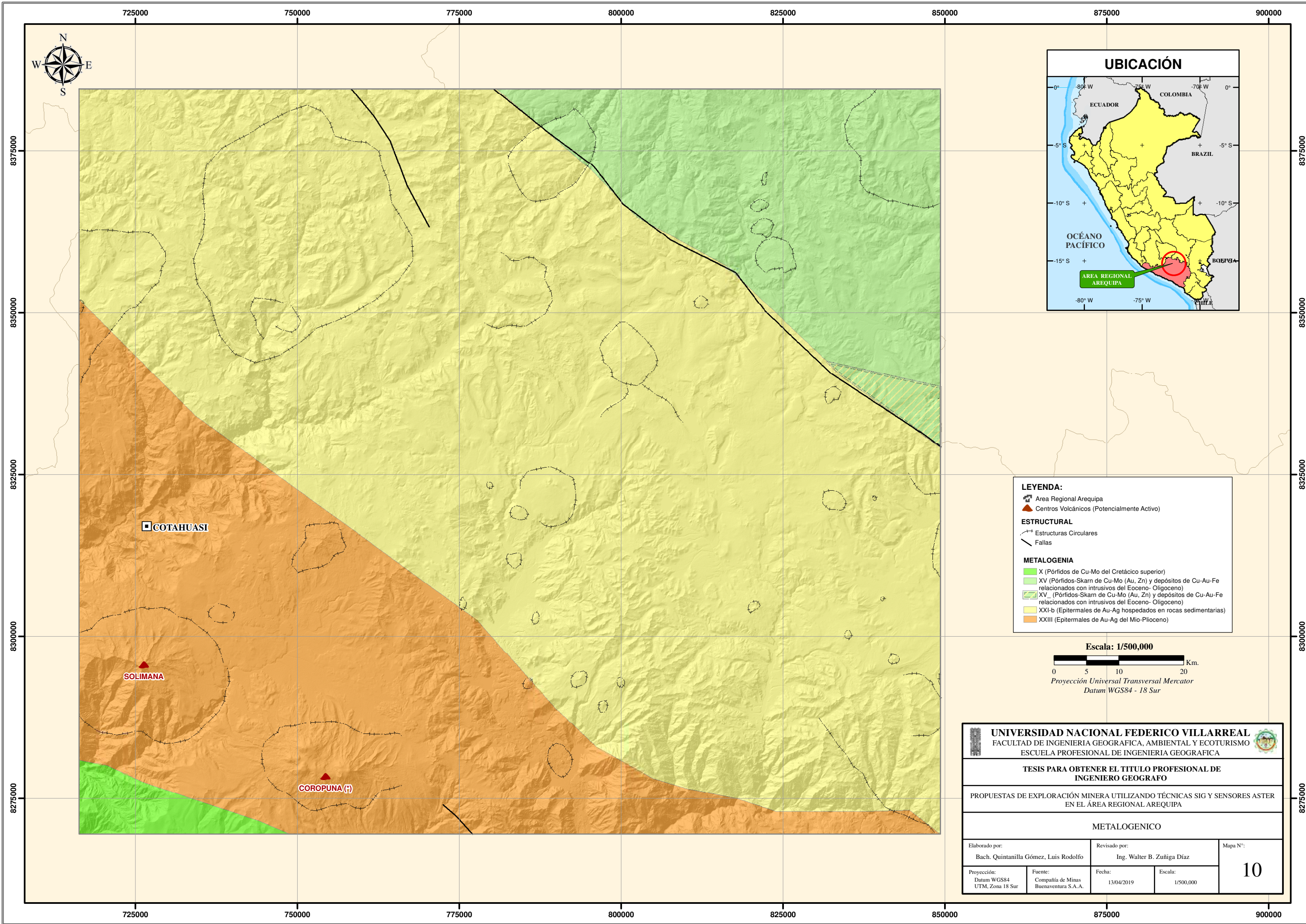
CURVAS DE NIVEL

25 - 2500	4501 - 5000
2501 - 3000	5001 - 5500
3001 - 3500	5501 - 6000
3501 - 4000	6001 - 6500
4001 - 4500	6501 - 6500

Escala: 1/500,000

Proyección Universal Transversal Mercator
Datum WGS84 - 18 Sur

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOGRAFICA			
TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOGrafo			
PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA			
TOPOGRAFICO E HIDROGRAFICO			
Elaborado por: Bach. Quintanilla Gómez, Luis Rodolfo		Revisado por: Ing. Walter B. Zuñiga Díaz	
Proyección: Datum WGS84 UTM, Zona 18 Sur		Fecha: 13/04/2019	
Fuente: Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.		Escala: 1/500,000	
			09



LEYENDA:

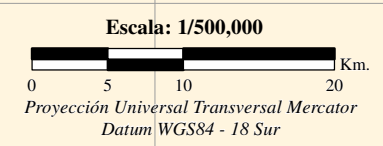
- Area Regional Arequipa
- Centros Volcánicos (Potencialmente Activo)

ESTRUCTURAL

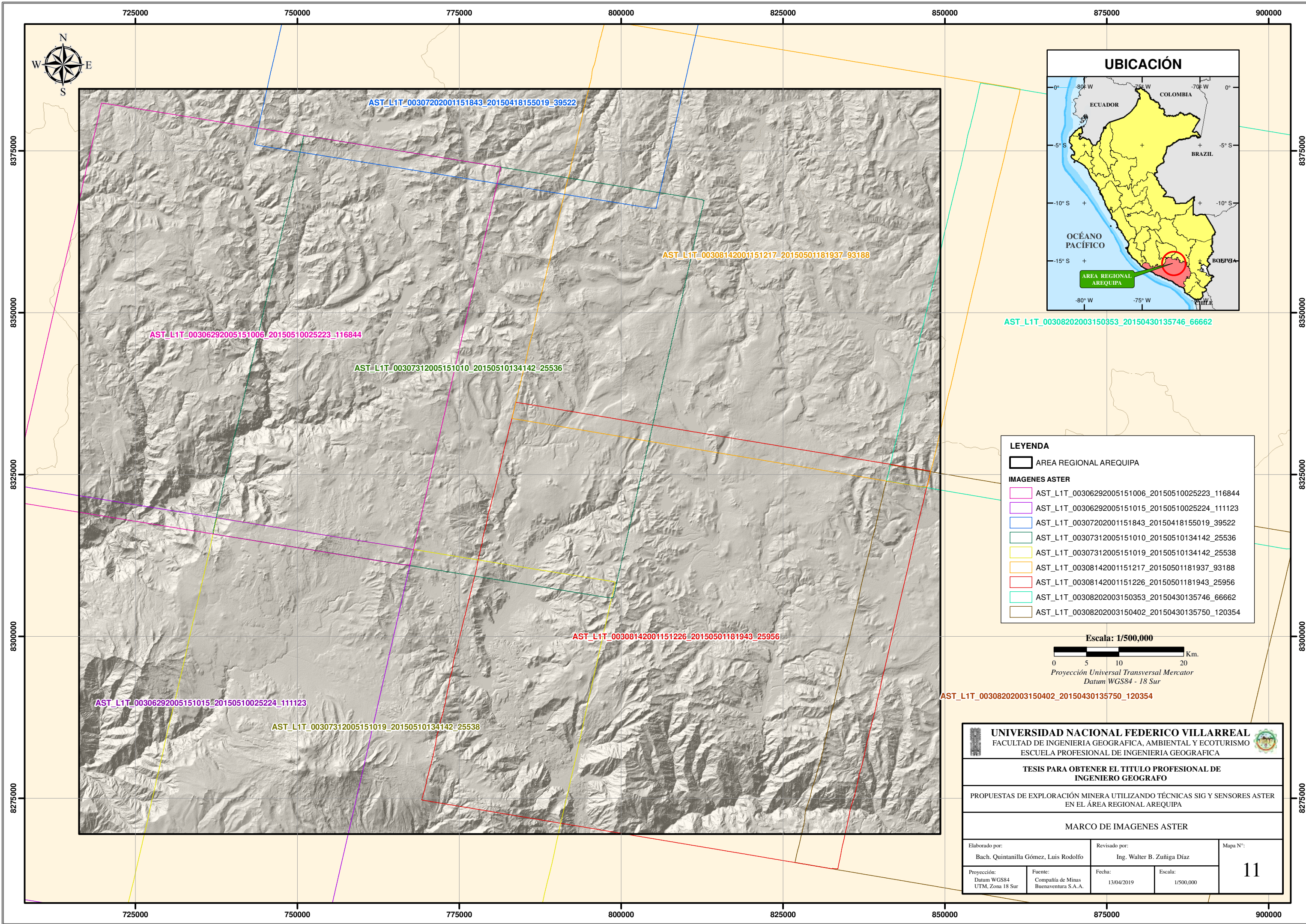
- Estructuras Circulares
- Fallas

METALOGENIA

- X (Pórfidos de Cu-Mo del Cretácico superior)
- XV (Pórfidos-Skarn de Cu-Mo (Au, Zn) y depósitos de Cu-Au-Fe relacionados con intrusivos del Eoceno- Oligoceno)
- XV_ (Pórfidos-Skarn de Cu-Mo (Au, Zn) y depósitos de Cu-Au-Fe relacionados con intrusivos del Eoceno- Oligoceno)
- XXI-b (Epitermales de Au-Ag hospedados en rocas sedimentarias)
- XXIII (Epitermales de Au-Ag del Mio-Plioceno)



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOGRAFICA			
TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOGrafo			
PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA			
METALOGENICO			
Elaborado por: Bach. Quintanilla Gómez, Luis Rodolfo		Revisado por: Ing. Walter B. Zuñiga Díaz	
Proyección: Datum WGS84 UTM, Zona 18 Sur		Fecha: 13/04/2019	
Fuente: Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.		Escala: 1/500,000	
			10

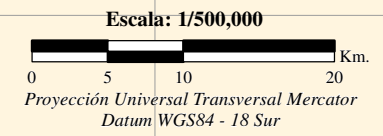


LEYENDA

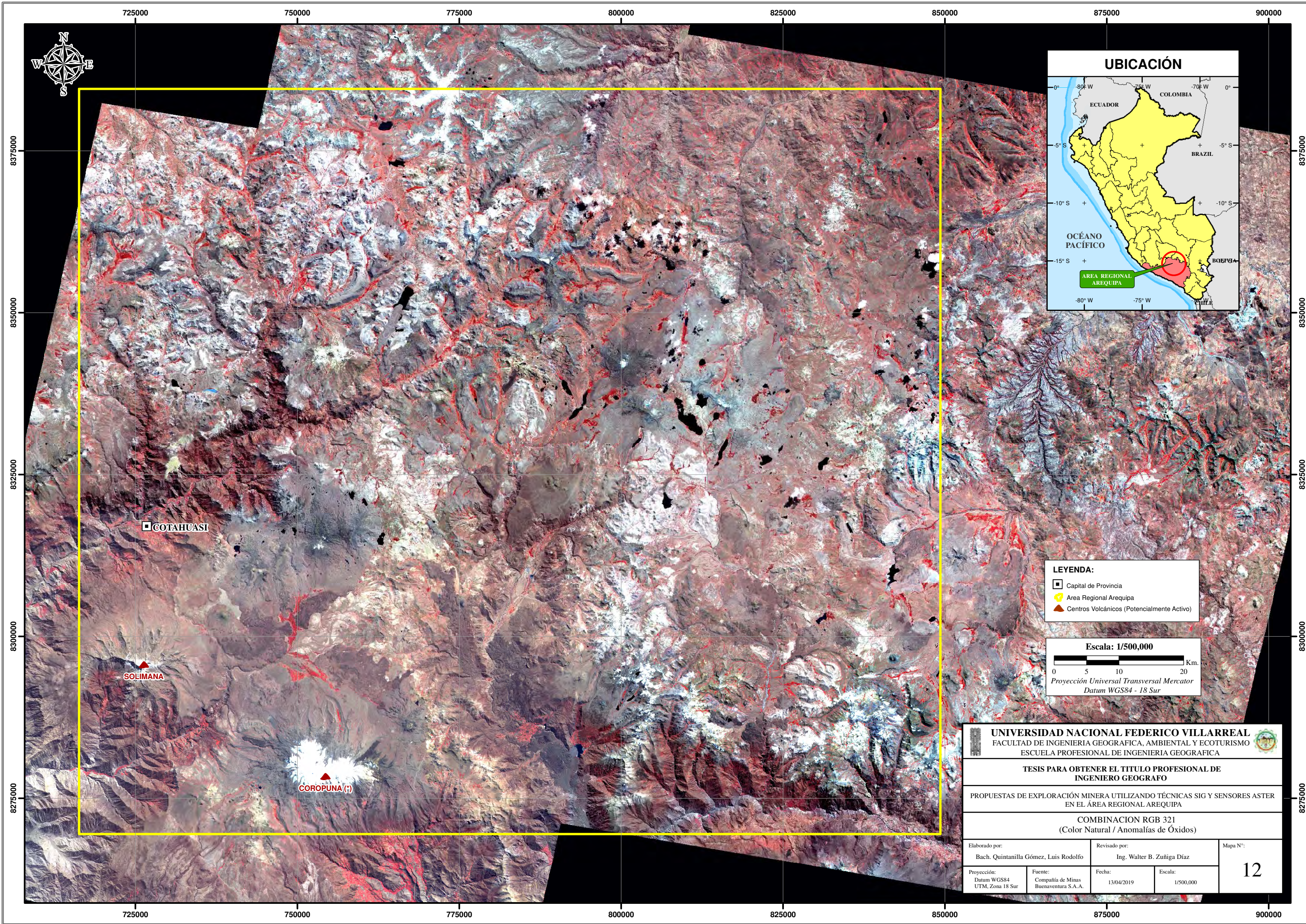
▭ AREA REGIONAL AREQUIPA

IMAGENES ASTER

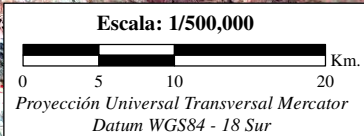
- ▭ AST_L1T_00306292005151006_20150510025223_116844
- ▭ AST_L1T_00306292005151015_20150510025224_111123
- ▭ AST_L1T_00307202001151843_20150418155019_39522
- ▭ AST_L1T_00307312005151010_20150510134142_25536
- ▭ AST_L1T_00307312005151019_20150510134142_25538
- ▭ AST_L1T_00308142001151217_20150501181937_93188
- ▭ AST_L1T_00308142001151226_20150501181943_25956
- ▭ AST_L1T_00308202003150353_20150430135746_66662
- ▭ AST_L1T_00308202003150402_20150430135750_120354



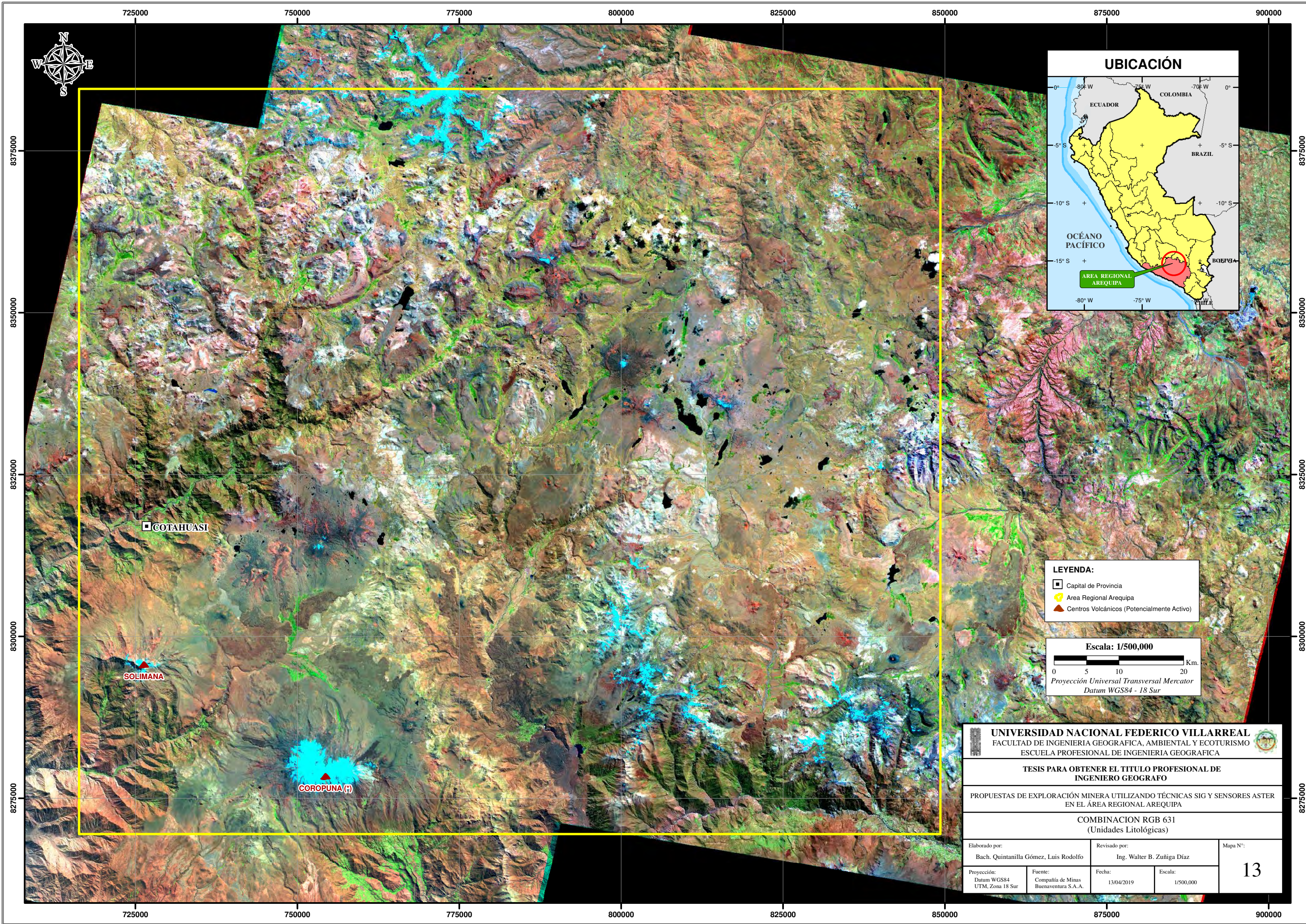
<p>UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOGRAFICA</p>			
<p>TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOGrafo</p>			
<p>PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA</p>			
<p>MARCO DE IMAGENES ASTER</p>			
Elaborado por: Bach. Quintanilla Gómez, Luis Rodolfo	Revisado por: Ing. Walter B. Zuñiga Díaz	Mapa N°: 11	
Proyección: Datum WGS84 UTM, Zona 18 Sur	Fuente: Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.	Fecha: 13/04/2019	Escala: 1/500,000



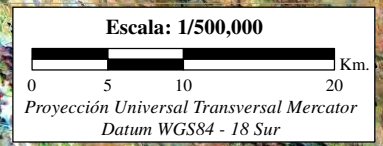
- LEYENDA:**
- Capital de Provincia
 - ⬡ Área Regional Arequipa
 - ▲ Centros Volcánicos (Potencialmente Activo)



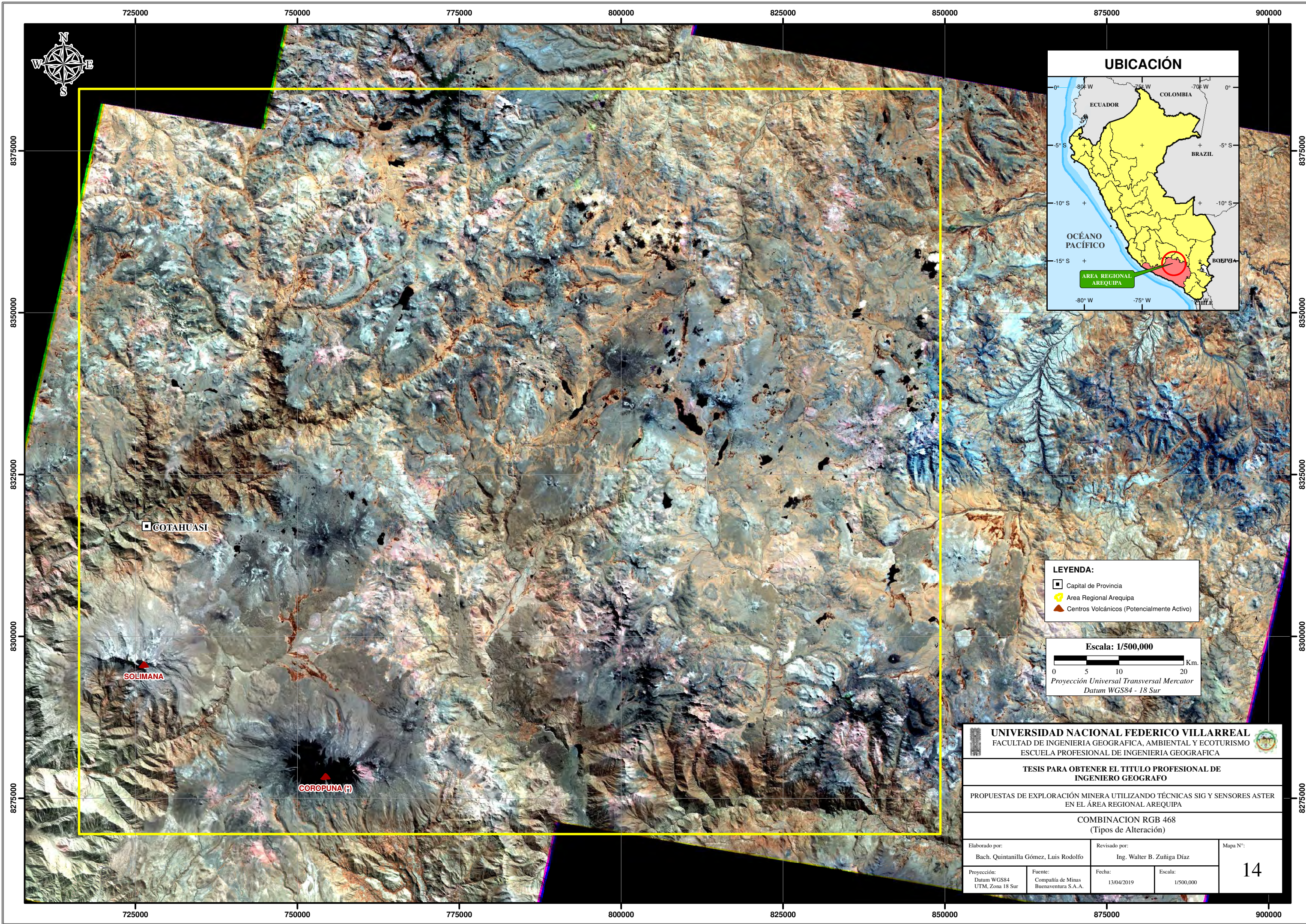
UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOGRAFICA			
TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOGRAFO			
PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA			
COMBINACION RGB 321 (Color Natural / Anomalías de Óxidos)			
Elaborado por: Bach. Quintanilla Gómez, Luis Rodolfo		Revisado por: Ing. Walter B. Zuñiga Díaz	
Proyección: Datum WGS84 UTM, Zona 18 Sur		Fecha: 13/04/2019	
Fuente: Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.		Escala: 1/500,000	
			Mapa N°: <h1 style="margin: 0;">12</h1>



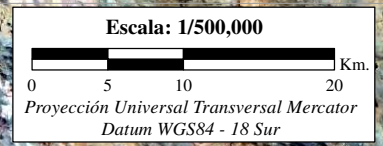
- LEYENDA:**
- Capital de Provincia
 - ⬡ Area Regional Arequipa
 - ▲ Centros Volcánicos (Potencialmente Activo)



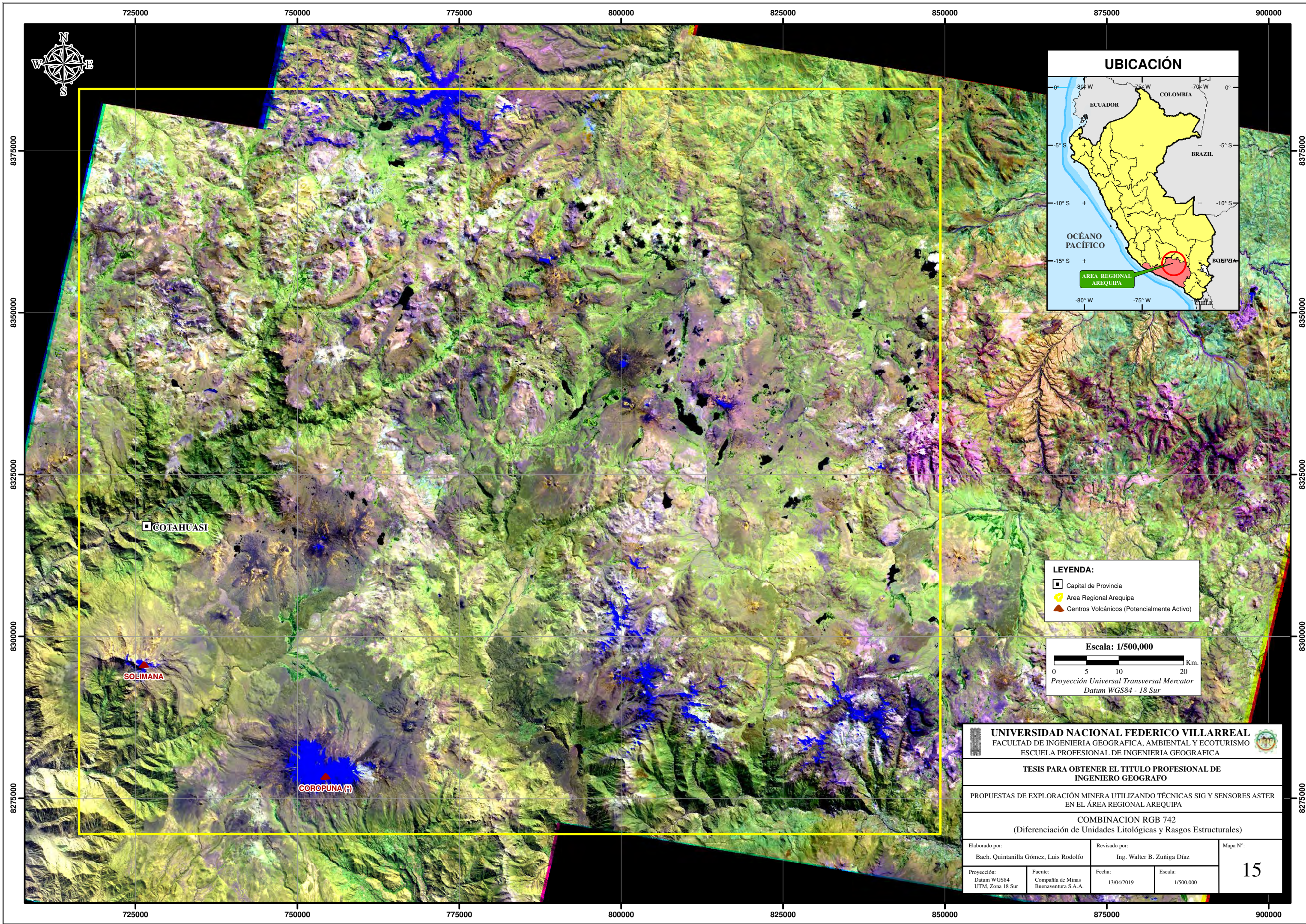
UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOGRAFICA			
TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOGrafo			
PROPUESTAS DE EXPLORACION MINERA UTILIZANDO TECNICAS SIG Y SENSORES ASTER EN EL AREA REGIONAL AREQUIPA			
COMBINACION RGB 631 (Unidades Litológicas)			
Elaborado por: Bach. Quintanilla Gómez, Luis Rodolfo		Revisado por: Ing. Walter B. Zuñiga Díaz	
Proyección: Datum WGS84 UTM, Zona 18 Sur		Fuente: Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.	
Fecha: 13/04/2019		Escala: 1/500,000	
			13



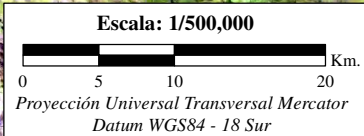
- LEYENDA:**
- Capital de Provincia
 - ⬡ Area Regional Arequipa
 - ▲ Centros Volcánicos (Potencialmente Activo)



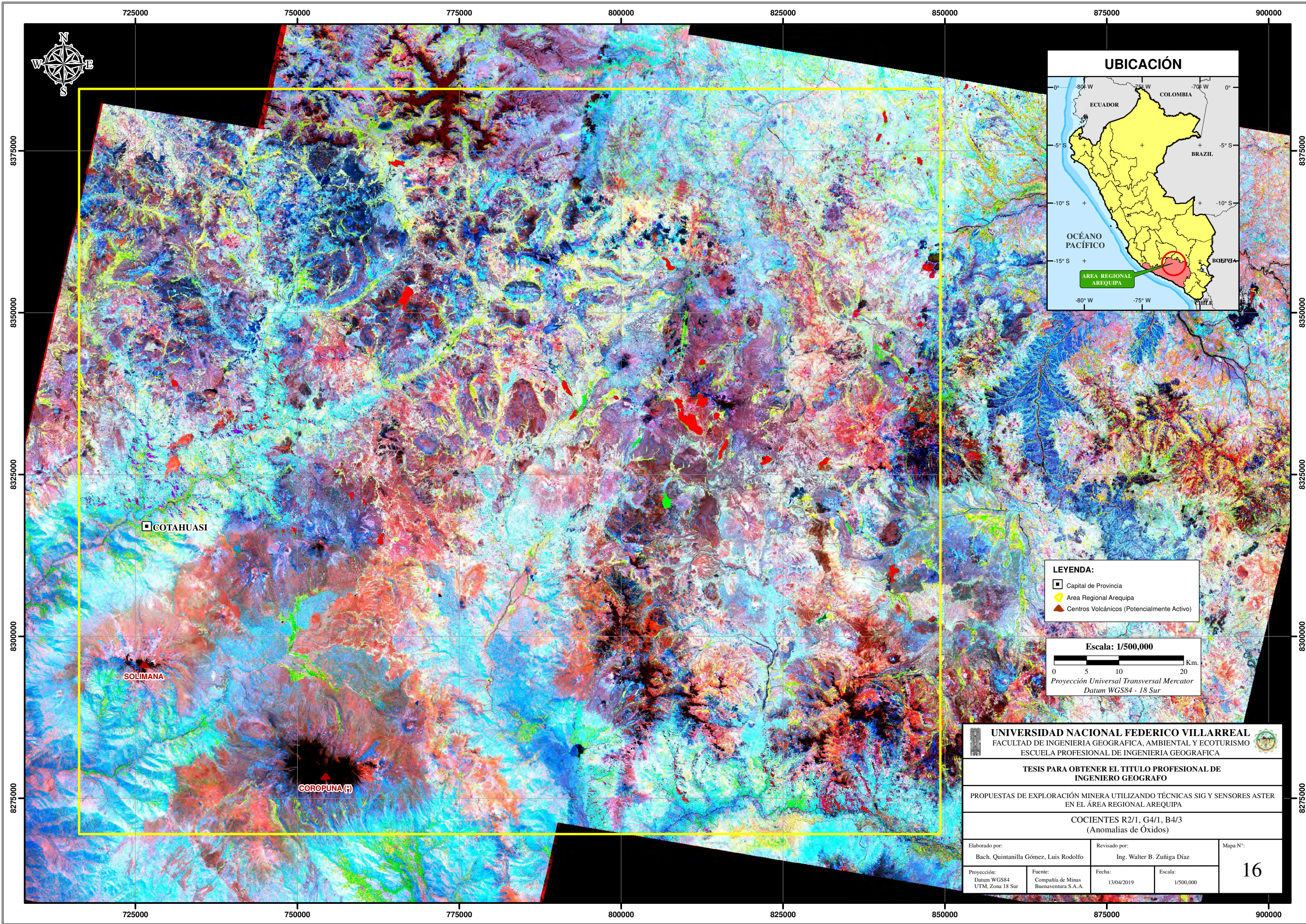
UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOGRAFICA			
TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOGrafo			
PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA			
COMBINACION RGB 468 (Tipos de Alteración)			
Elaborado por: Bach. Quintanilla Gómez, Luis Rodolfo		Revisado por: Ing. Walter B. Zuñiga Díaz	
Proyección: Datum WGS84 UTM, Zona 18 Sur		Fecha: 13/04/2019	
Fuente: Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.		Escala: 1/500,000	
			Mapa N°: 14



- LEYENDA:**
- Capital de Provincia
 - ⬡ Area Regional Arequipa
 - ▲ Centros Volcánicos (Potencialmente Activo)



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOGRAFICA			
TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOGrafo			
PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA			
COMBINACION RGB 742 (Diferenciación de Unidades Litológicas y Rasgos Estructurales)			
Elaborado por:	Revisado por:	Mapa N°:	
Bach. Quintanilla Gómez, Luis Rodolfo	Ing. Walter B. Zuñiga Díaz	15	
Proyección: Datum WGS84 UTM, Zona 18 Sur	Fuente: Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.	Fecha: 13/04/2019	Escala: 1/500,000



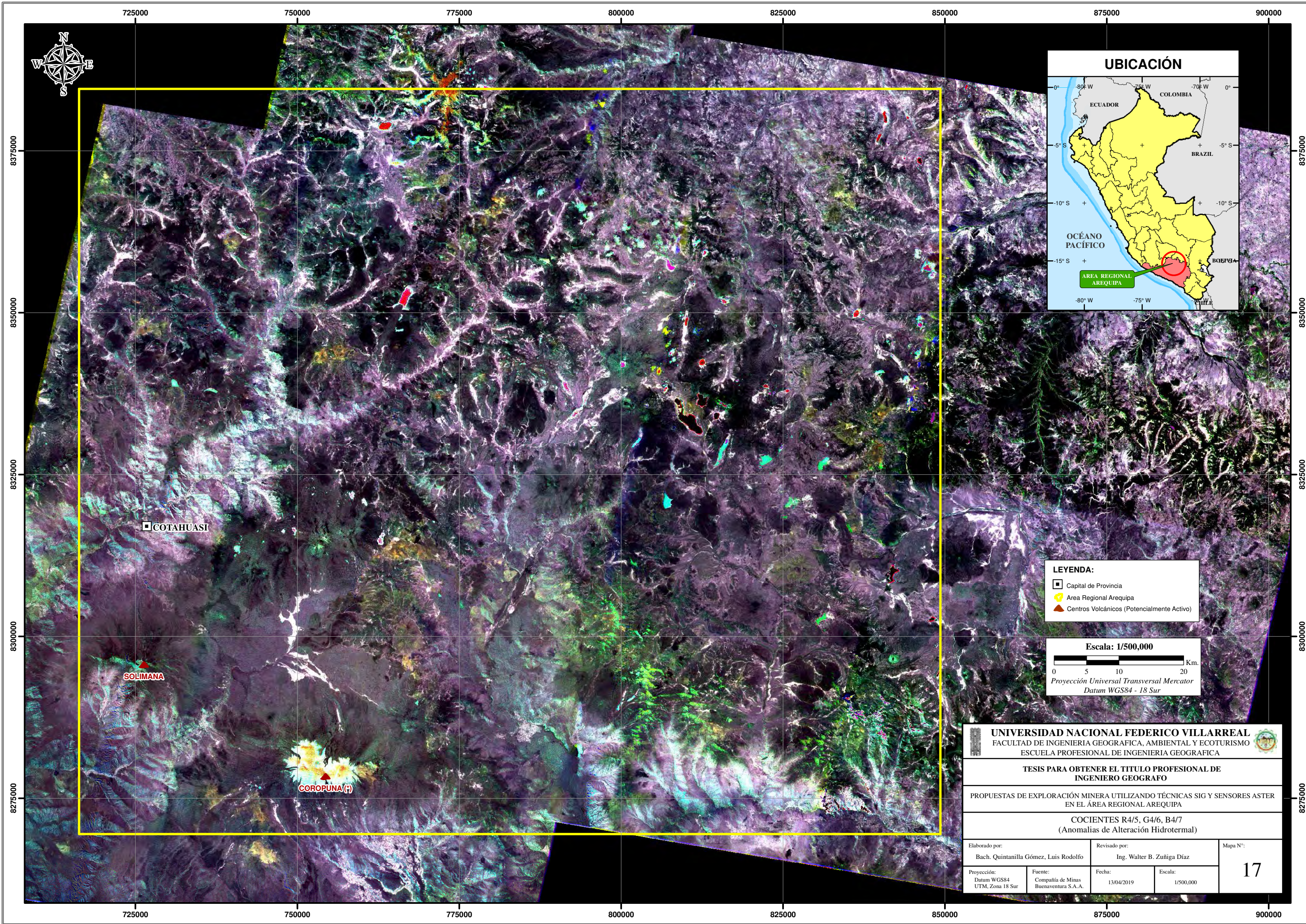
LEYENDA:

- Capital de Provincia
- ⬡ Area Regional Arequipa
- ▲ Centros Volcánicos (Potencialmente Activo)

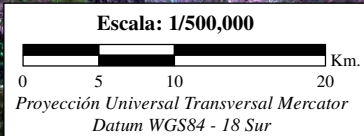
Escala: 1/500,000

Proyección Universal Transversal Mercator
Datum WGS84 - 18 Sur

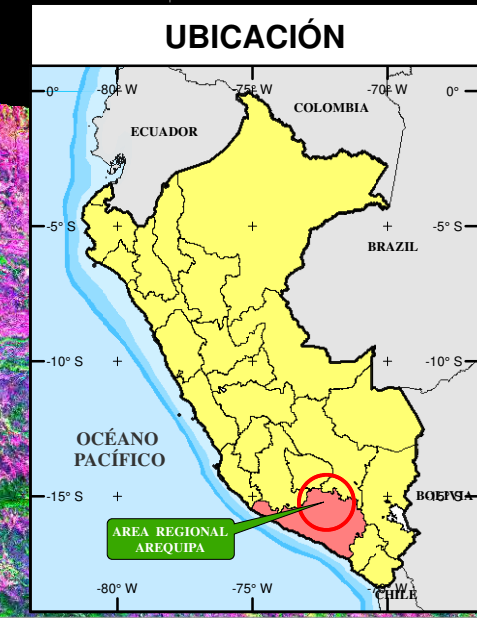
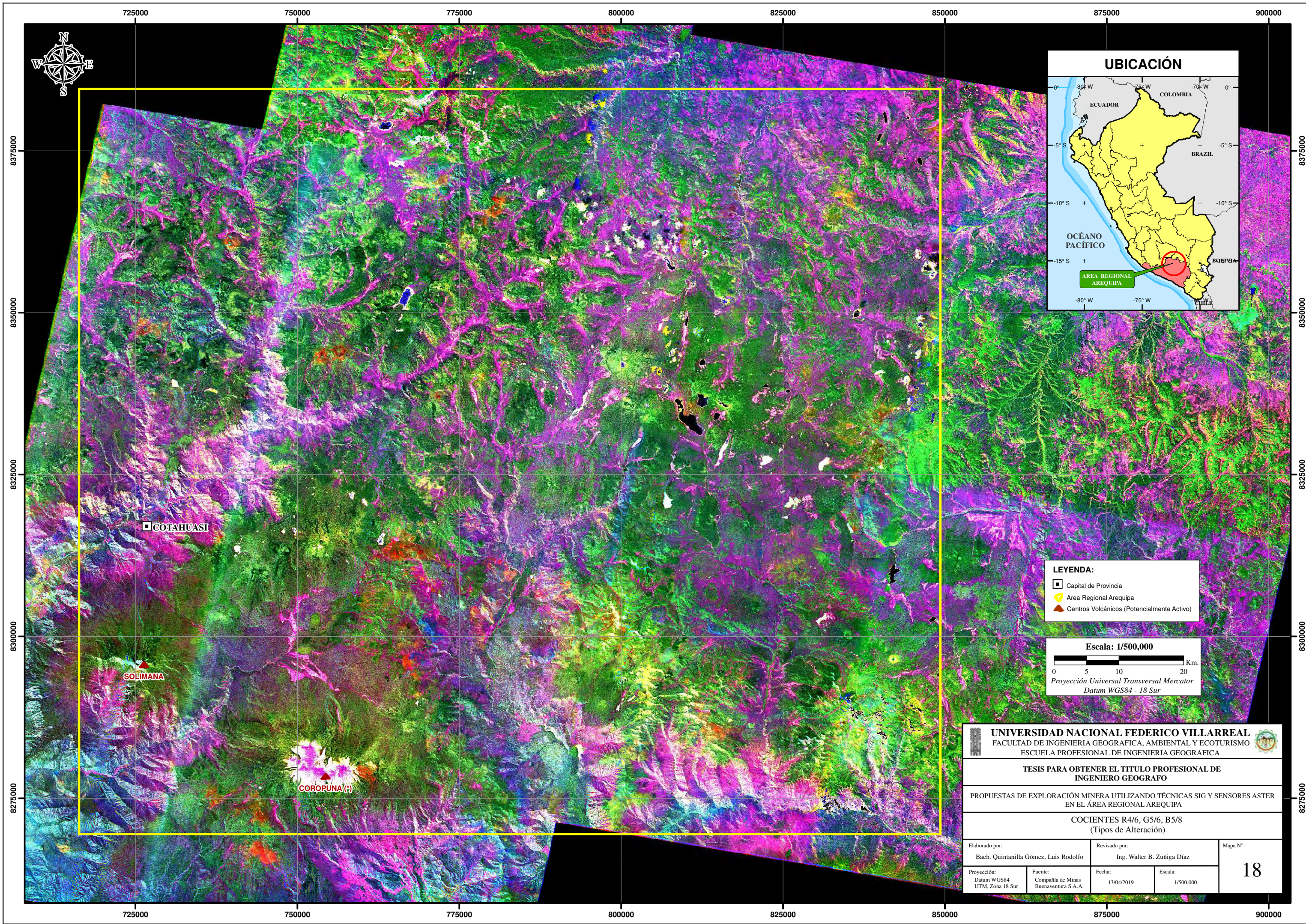
UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOGRAFICA			
TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOGrafo			
PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA			
COCIENTES R2/1, G4/1, B4/3 (Anomalías de Óxidos)			
Elaborado por: Bach. Quintanilla Gómez, Luis Rodolfo	Revisado por: Ing. Walter B. Zuñiga Díaz	Mapa N°:	
Proyección: Datum WGS84 UTM, Zona 18 Sur	Fuente: Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.	Fecha: 13/04/2019	Escala: 1/500,000



- LEYENDA:**
- Capital de Provincia
 - ⬡ Área Regional Arequipa
 - ▲ Centros Volcánicos (Potencialmente Activo)



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOGRAFICA			
TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOGrafo			
PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA			
COCIENTES R4/5, G4/6, B4/7 (Anomalías de Alteración Hidrotermal)			
Elaborado por: Bach. Quintanilla Gómez, Luis Rodolfo		Revisado por: Ing. Walter B. Zuñiga Díaz	
Proyección: Datum WGS84 UTM, Zona 18 Sur		Fuente: Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.	
Fecha: 13/04/2019		Escala: 1/500,000	
			17



COTAHUASI

SOLIMANA

COROPUNA (?)

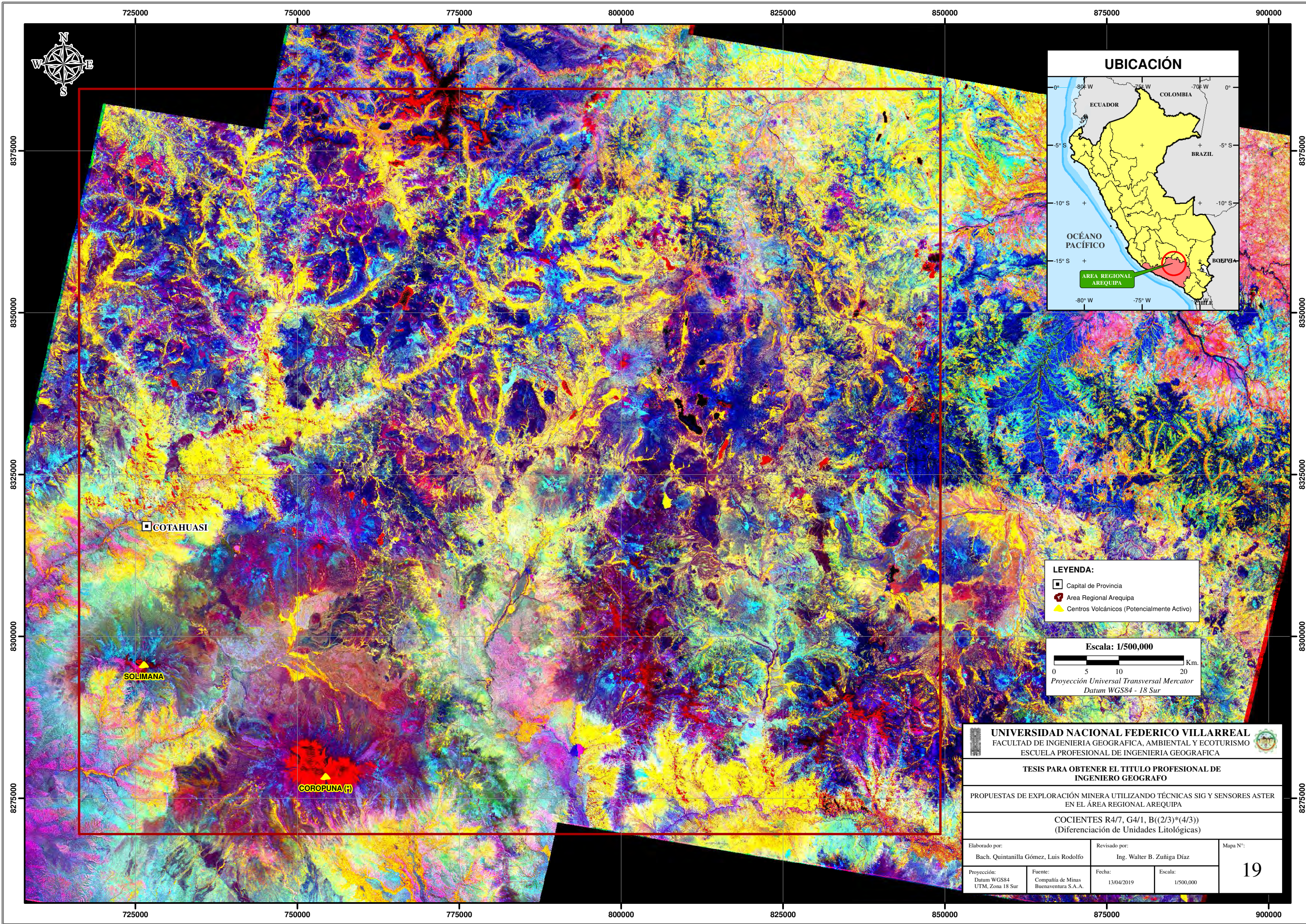
LEYENDA:

- Capital de Provincia
- ⬡ Area Regional Arequipa
- ▲ Centros Volcánicos (Potencialmente Activo)

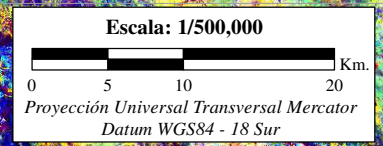
Escala: 1/500,000

Proyección Universal Transversal Mercator
Datum WGS84 - 18 Sur

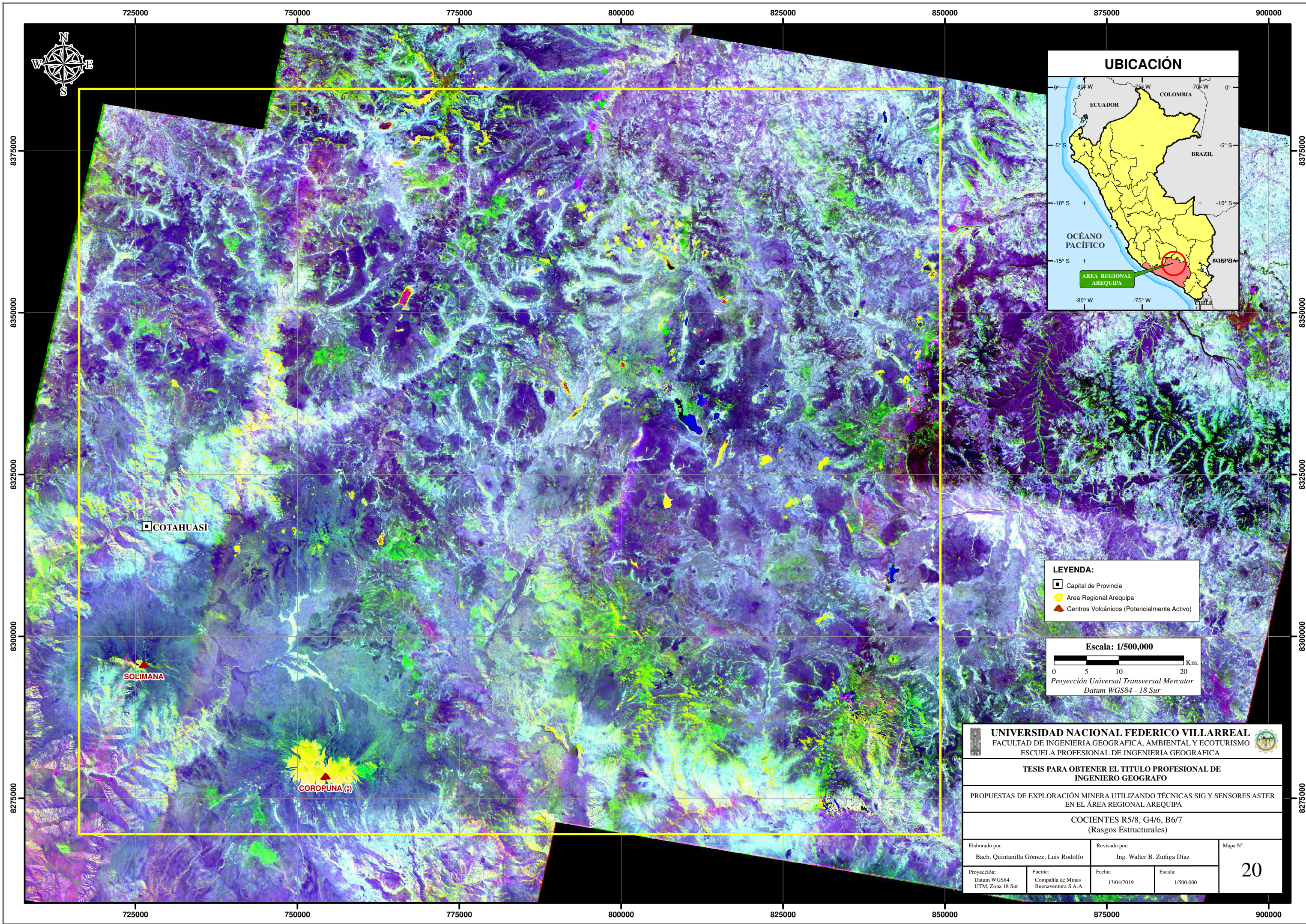
UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOGRAFICA			
TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOGrafo			
PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA			
COCIENTES R4/6, G5/6, B5/8 (Tipos de Alteración)			
Elaborado por: Bach. Quintanilla Gómez, Luis Rodolfo	Revisado por: Ing. Walter B. Zuñiga Díaz	Mapa N°:	
Proyección: Datum WGS84 UTM, Zona 18 Sur	Fuente: Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.	Fecha: 13/04/2019	Escala: 1/500,000
			18



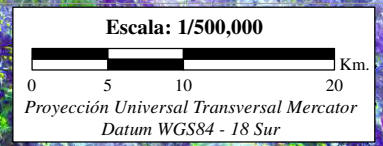
- LEYENDA:**
- Capital de Provincia
 - Area Regional Arequipa
 - ▲ Centros Volcánicos (Potencialmente Activo)



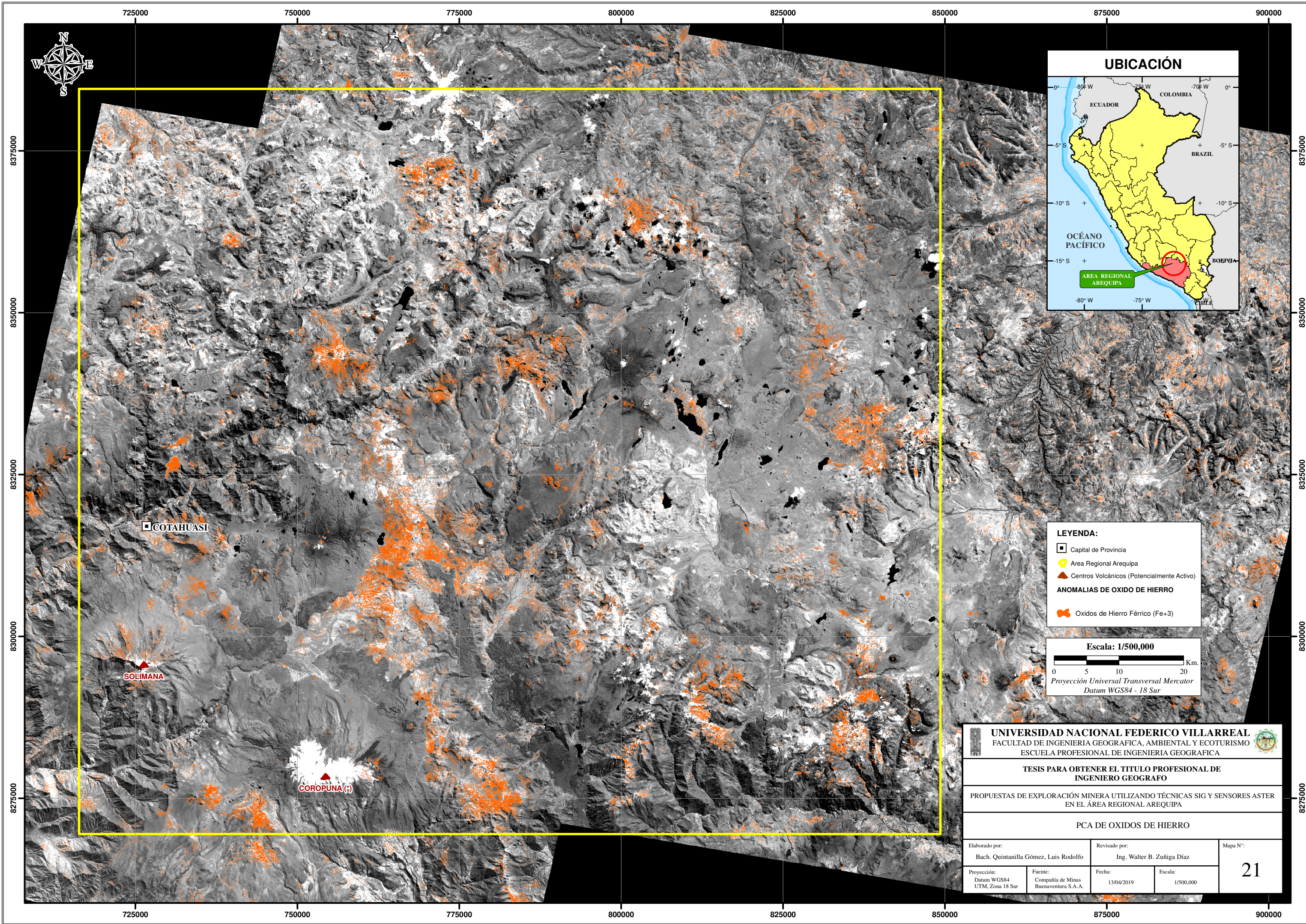
UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOGRAFICA			
TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOGRAFO			
PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA			
COCIENTES R4/7, G4/1, B((2/3)*(4/3)) (Diferenciación de Unidades Litológicas)			
Elaborado por: Bach. Quintanilla Gómez, Luis Rodolfo	Revisado por: Ing. Walter B. Zuñiga Díaz	Mapa N°: 19	
Proyección: Datum WGS84 UTM, Zona 18 Sur	Fuente: Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.	Fecha: 13/04/2019	Escala: 1/500,000



- LEYENDA:**
- Capital de Provincia
 - Área Regional Arequipa
 - ▲ Centros Volcánicos (Potencialmente Activo)



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOGRAFICA				
TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOGrafo				
PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA				
COCIENTES R5/8, G4/6, B6/7 (Rasgos Estructurales)				
Elaborado por:		Revisado por:		Mapa N°:
Bach. Quintanilla Gómez, Luis Rodolfo		Ing. Walter B. Zuñiga Díaz		20
Proyección:	Fuente:	Fecha:	Escala:	
Datum WGS84 UTM, Zona 18 Sur	Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.	13/04/2019	1/500,000	



LEYENDA:

- Capital de Provincia
- 📍 Area Regional Arequipa
- ▲ Centros Volcánicos (Potencialmente Activo)

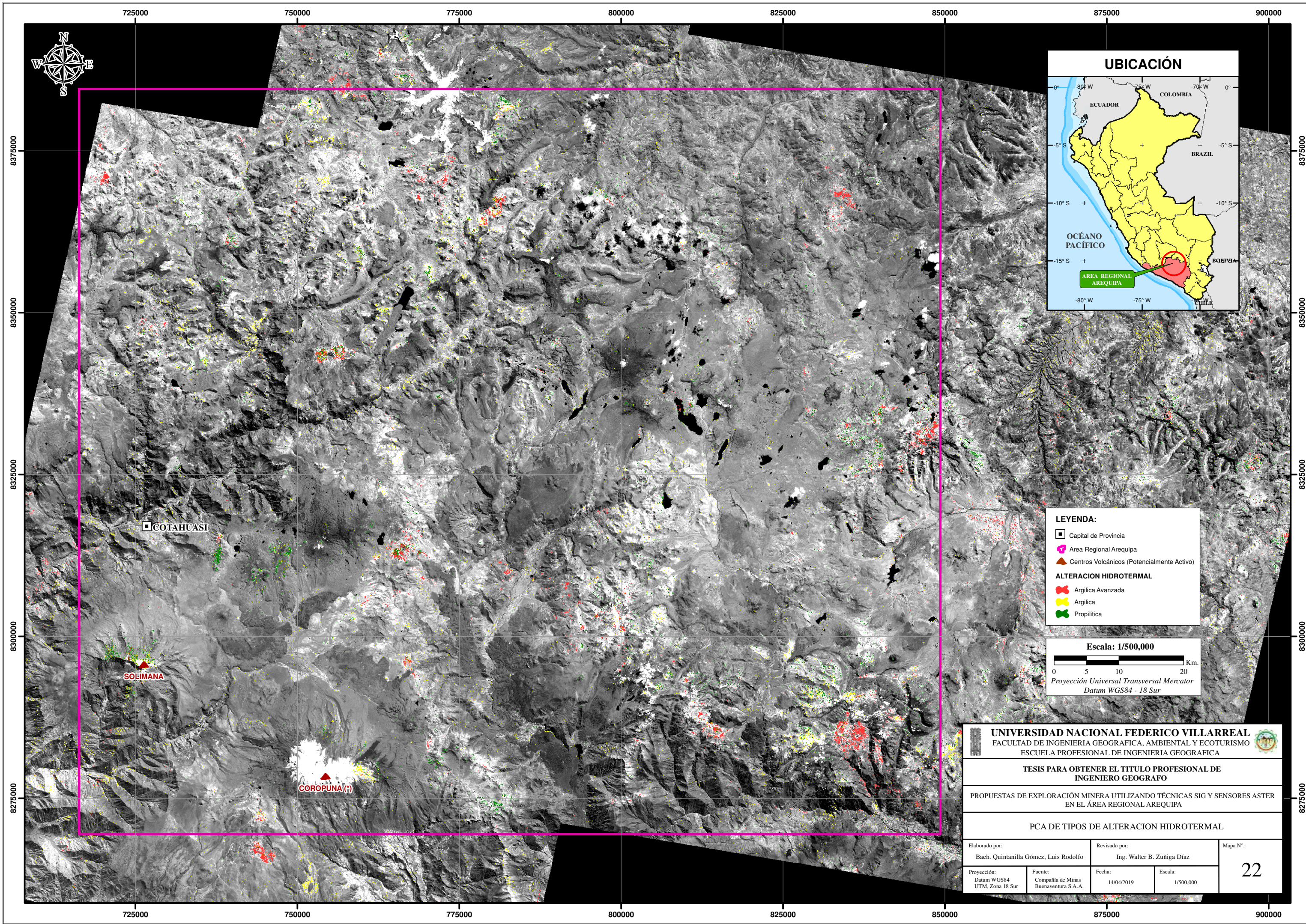
ANOMALIAS DE OXIDO DE HIERRO

- Oxidos de Hierro Férrico (Fe+3)

Escala: 1/500,000

Proyección Universal Transversal Mercator
Datum WGS84 - 18 Sur

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOGRAFICA			
TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOGrafo			
PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA			
PCA DE OXIDOS DE HIERRO			
Elaborado por: Bach. Quintanilla Gómez, Luis Rodolfo	Revisado por: Ing. Walter B. Zuñiga Díaz	Mapa N°: 21	
Proyección: Datum WGS84 UTM, Zona 18 Sur	Fuente: Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.	Fecha: 13/04/2019	Escala: 1/500,000



LEYENDA:

- Capital de Provincia
- ⬢ Area Regional Arequipa
- ▲ Centros Volcánicos (Potencialmente Activo)

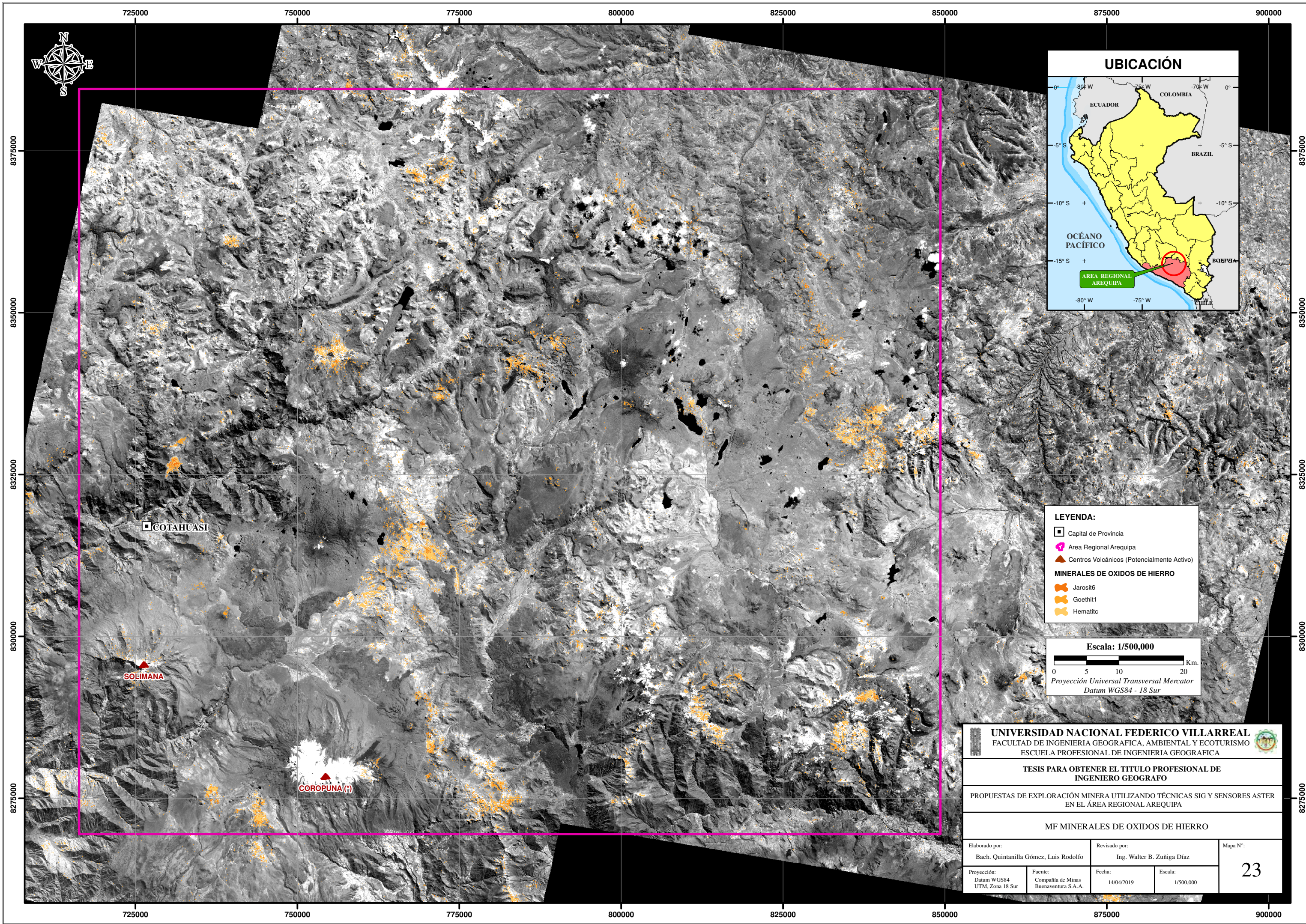
ALTERACION HIDROTHERMAL

- Argilica Avanzada
- Argilica
- Propilítica

Escala: 1/500,000

Proyección Universal Transversal Mercator
Datum WGS84 - 18 Sur

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOGRAFICA			
TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOGrafo			
PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA			
PCA DE TIPOS DE ALTERACION HIDROTHERMAL			
Elaborado por: Bach. Quintanilla Gómez, Luis Rodolfo	Revisado por: Ing. Walter B. Zuñiga Díaz	Mapa N°: 22	
Proyección: Datum WGS84 UTM, Zona 18 Sur	Fuente: Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.	Fecha: 14/04/2019	Escala: 1/500,000



LEYENDA:

- Capital de Provincia
- 📍 Area Regional Arequipa
- ▲ Centros Volcánicos (Potencialmente Activo)

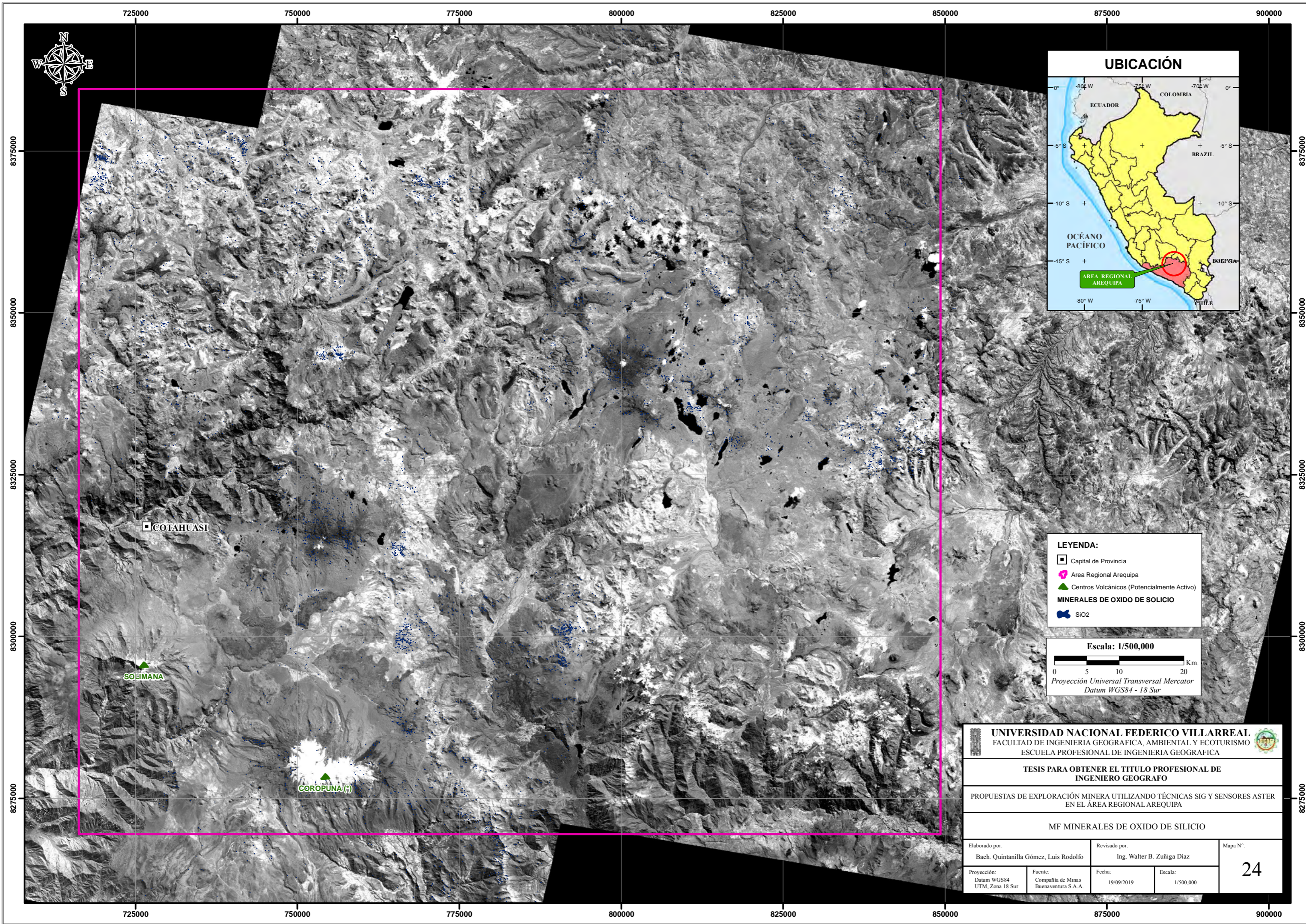
MINERALES DE OXIDOS DE HIERRO

- 🟠 Jarosit6
- 🟡 Goethit1
- 🟠 Hematitic

Escala: 1/500,000

Proyección Universal Transversal Mercator
Datum WGS84 - 18 Sur

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOGRAFICA			
TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOGrafo			
PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA			
MF MINERALES DE OXIDOS DE HIERRO			
Elaborado por: Bach. Quintanilla Gómez, Luis Rodolfo	Revisado por: Ing. Walter B. Zuñiga Díaz	Mapa N°: 23	
Proyección: Datum WGS84 UTM, Zona 18 Sur	Fuente: Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.	Fecha: 14/04/2019	Escala: 1/500,000



LEYENDA:

- Capital de Provincia
- 📍 Area Regional Arequipa
- ▲ Centros Volcánicos (Potencialmente Activo)

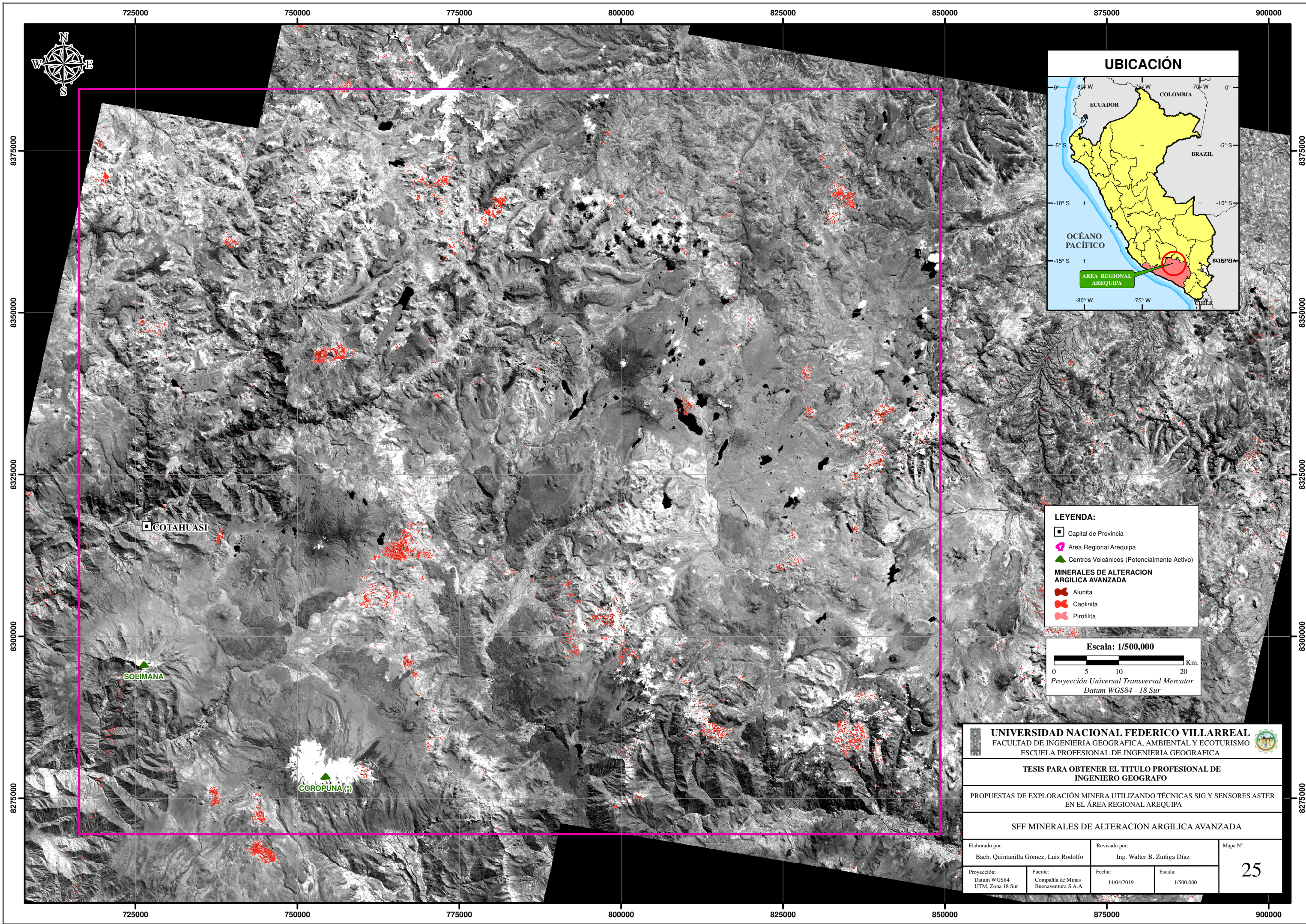
MINERALES DE OXIDO DE SILICIO

- SiO₂

Escala: 1/500,000

Proyección Universal Transversal Mercator
Datum WGS84 - 18 Sur

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOGRAFICA			
TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOGRAFO			
PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA			
MF MINERALES DE OXIDO DE SILICIO			
Elaborado por: Bach. Quintanilla Gómez, Luis Rodolfo		Revisado por: Ing. Walter B. Zuñiga Díaz	
Proyección: Datum WGS84 UTM, Zona 18 Sur		Fecha: 19/09/2019	
Fuente: Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.		Escala: 1/500,000	
			24



LEYENDA:

- Capital de Provincia
- Area Regional Arequipa
- ▲ Centros Volcánicos (Potencialmente Activo)

MINERALES DE ALTERACION ARGILICA AVANZADA

- Alunita
- Caolinita
- Pirofilita

Escala: 1/500,000

Proyección Universal Transversal Mercator
Datum WGS84 - 18 Sur

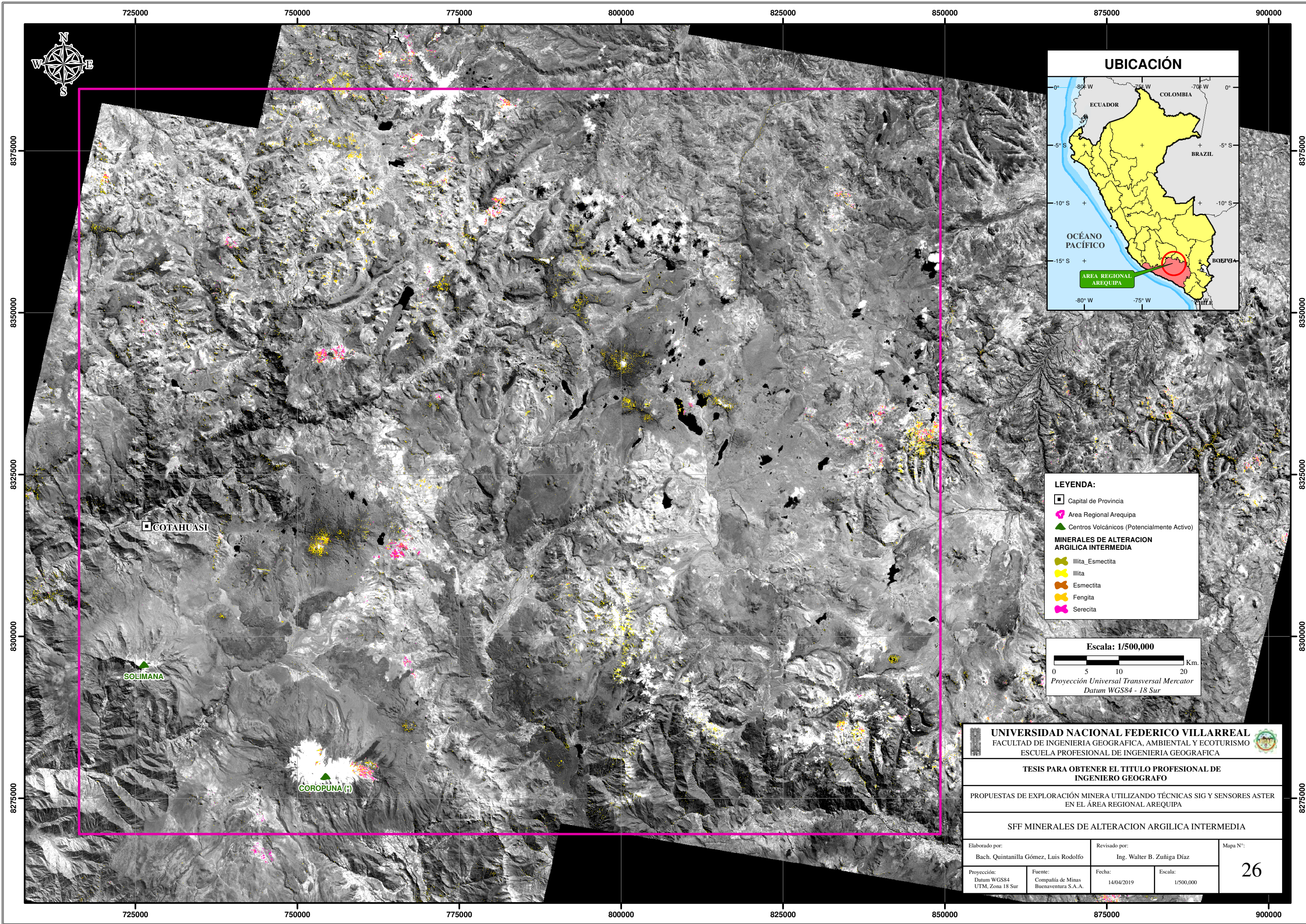
UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOGRAFICA

TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOGrafo

PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA

SFF MINERALES DE ALTERACION ARGILICA AVANZADA

Elaborado por: Bach. Quintanilla Gómez, Luis Rodolfo	Revisado por: Ing. Walter B. Zuñiga Díaz	Mapa N°: 25
Proyección: Datum WGS84 UTM, Zona 18 Sur	Fuente: Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.	Fecha: 14/04/2019
		Escala: 1/500,000



LEYENDA:

- Capital de Provincia
- Area Regional Arequipa
- ▲ Centros Volcánicos (Potencialmente Activo)

MINERALES DE ALTERACION ARGILICA INTERMEDIA

- Illita_Esmectita
- Illita
- Esmeclita
- Fengita
- Serecita

Escala: 1/500,000

Proyección Universal Transversal Mercator
Datum WGS84 - 18 Sur

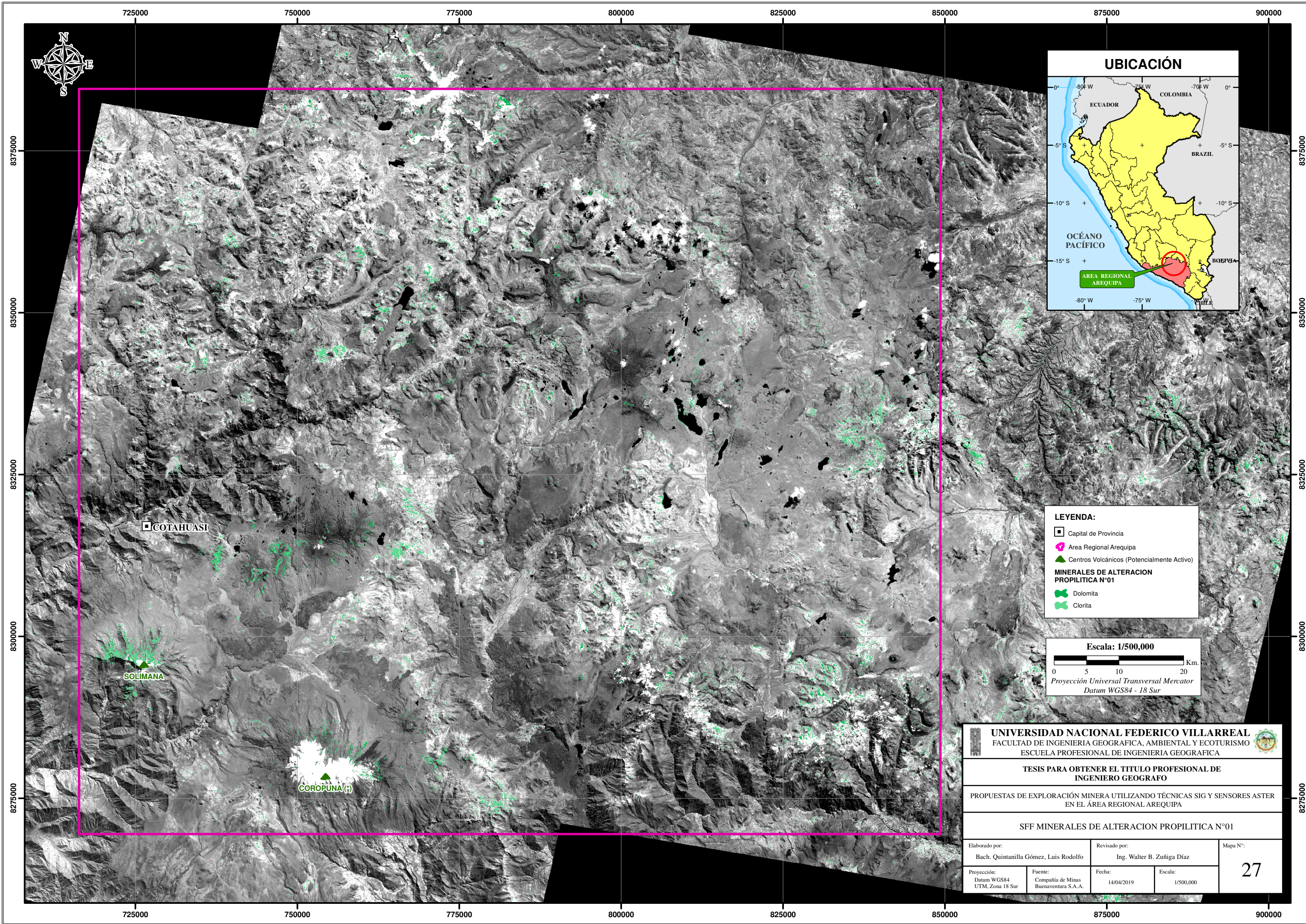
UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOGRAFICA

TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOGrafo

PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA

SFF MINERALES DE ALTERACION ARGILICA INTERMEDIA

Elaborado por: Bach. Quintanilla Gómez, Luis Rodolfo	Revisado por: Ing. Walter B. Zuñiga Díaz	Mapa N°: 26
Proyección: Datum WGS84 UTM, Zona 18 Sur	Fuente: Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.	Fecha: 14/04/2019
		Escala: 1/500,000



LEYENDA:

- Capital de Provincia
- Área Regional Arequipa
- ▲ Centros Volcánicos (Potencialmente Activo)

MINERALES DE ALTERACION PROPILITICA N°01

- Dolomita
- Clorita

Escala: 1/500,000

Proyección Universal Transversal Mercator
Datum WGS84 - 18 Sur

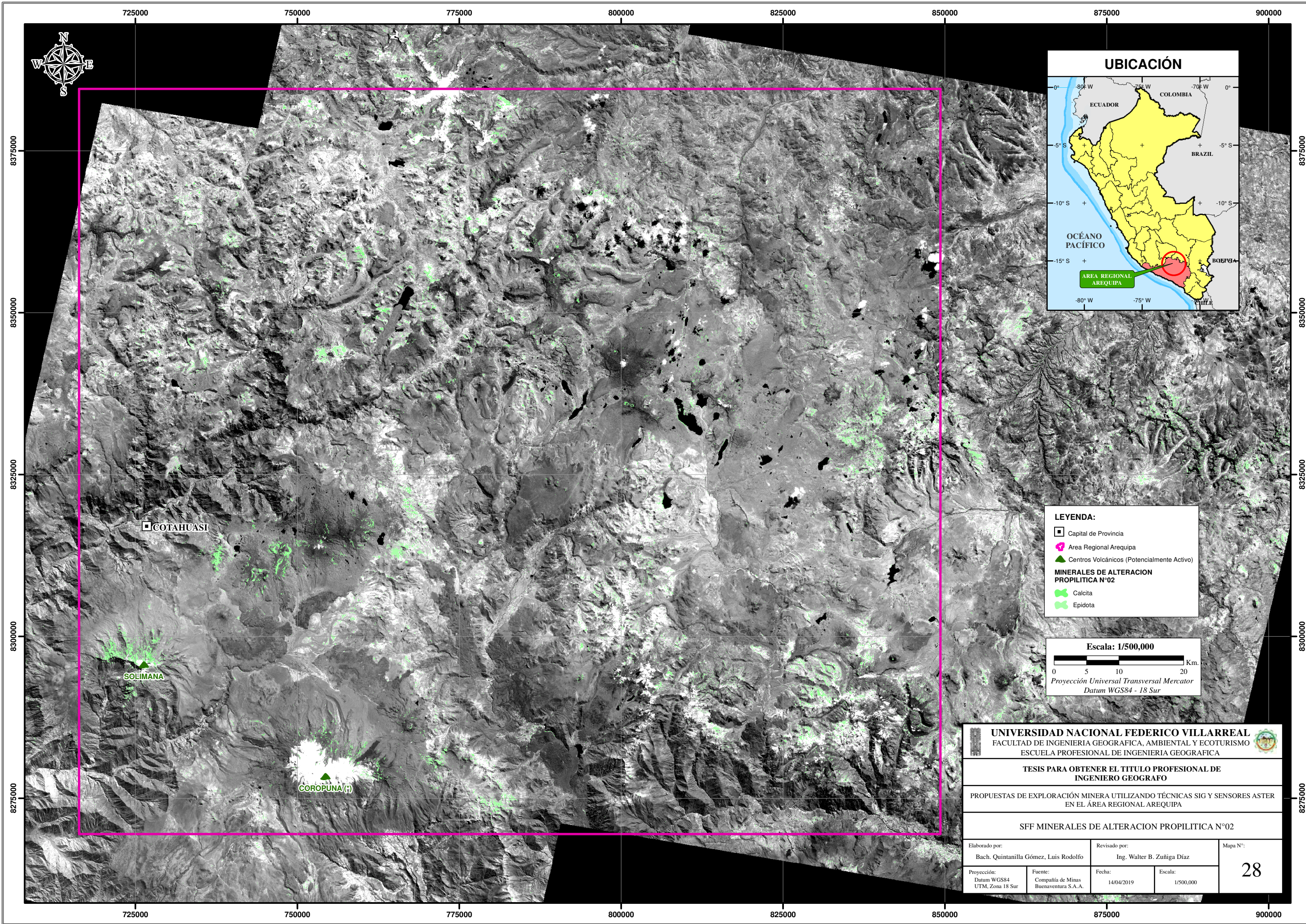
UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOGRAFICA

TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOGrafo

PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA

SFF MINERALES DE ALTERACION PROPILITICA N°01

Elaborado por: Bach. Quintanilla Gómez, Luis Rodolfo	Revisado por: Ing. Walter B. Zuñiga Díaz	Mapa N°: 27
Proyección: Datum WGS84 UTM, Zona 18 Sur	Fuente: Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.	Fecha: 14/04/2019
		Escala: 1/500,000



LEYENDA:

- Capital de Provincia
- Area Regional Arequipa
- ▲ Centros Volcánicos (Potencialmente Activo)

MINERALES DE ALTERACION PROPILITICA N°02

- Calcita
- Epidota

Escala: 1/500,000

Proyección Universal Transversal Mercator
Datum WGS84 - 18 Sur

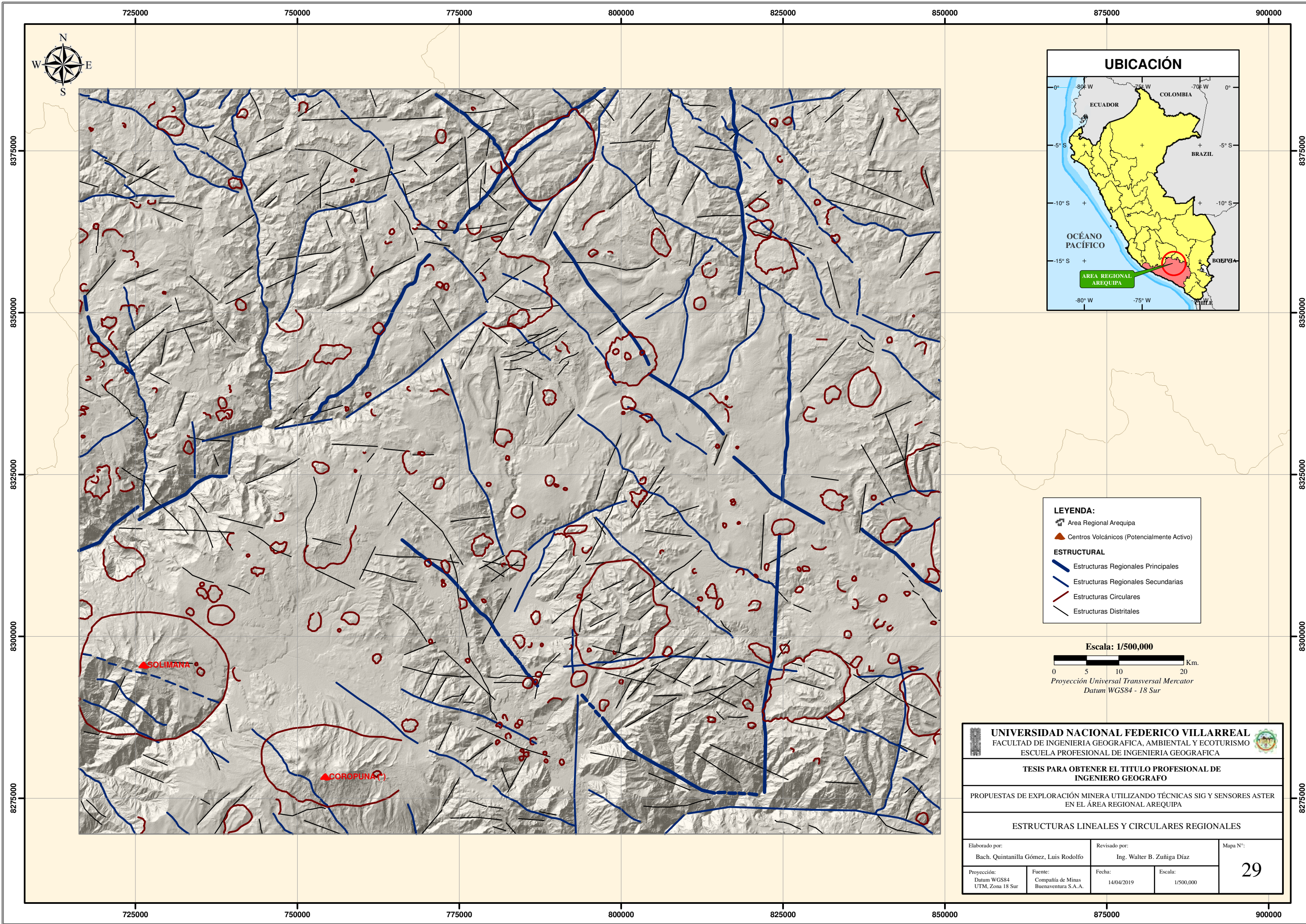
UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOGRAFICA

TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOGrafo

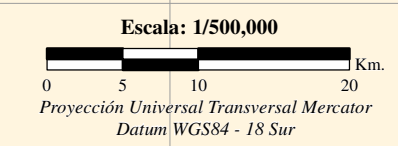
PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA

SFF MINERALES DE ALTERACION PROPILITICA N°02

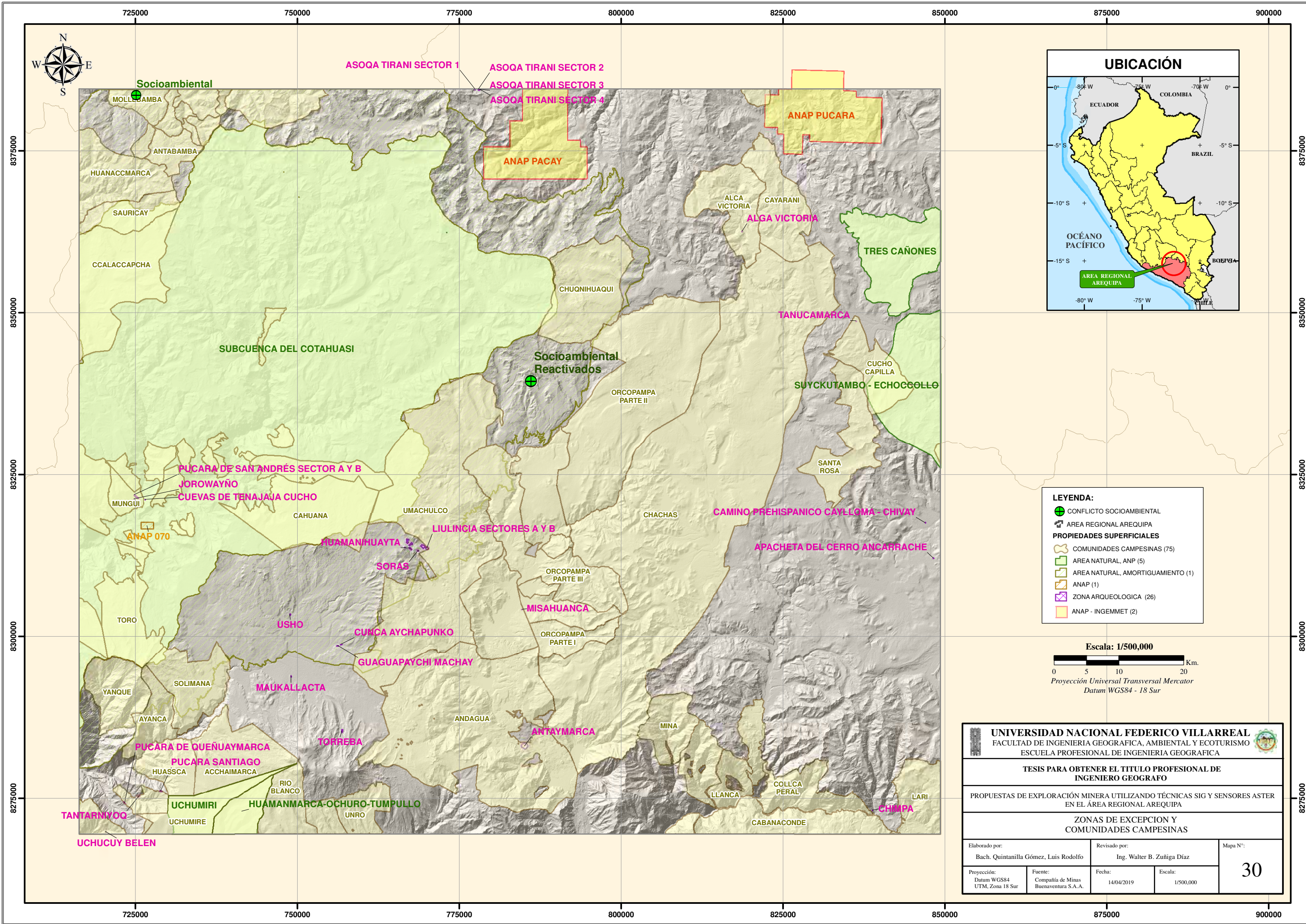
Elaborado por: Bach. Quintanilla Gómez, Luis Rodolfo	Revisado por: Ing. Walter B. Zuñiga Díaz	Mapa N°: 28
Proyección: Datum WGS84 UTM, Zona 18 Sur	Fuente: Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.	Fecha: 14/04/2019
Escala: 1/500,000		



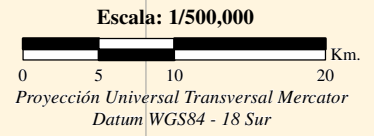
- LEYENDA:**
- Area Regional Arequipa
 - Centros Volcánicos (Potencialmente Activo)
- ESTRUCTURAL**
- Estructuras Regionales Principales
 - Estructuras Regionales Secundarias
 - Estructuras Circulares
 - Estructuras Distritales



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOGRAFICA				
TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOGrafo				
PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA				
ESTRUCTURAS LINEALES Y CIRCULARES REGIONALES				
Elaborado por: Bach. Quintanilla Gómez, Luis Rodolfo		Revisado por: Ing. Walter B. Zuñiga Díaz		Mapa N°:
Proyección: Datum WGS84 UTM, Zona 18 Sur		Fuente: Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.	Fecha: 14/04/2019	Escala: 1/500,000
				29



- LEYENDA:**
- CONFLICTO SOCIOAMBIENTAL
 - AREA REGIONAL AREQUIPA
 - PROPIEDADES SUPERFICIALES**
 - COMUNIDADES CAMPESINAS (75)
 - AREA NATURAL, ANP (5)
 - AREA NATURAL, AMORTIGUAMIENTO (1)
 - ANAP (1)
 - ZONA ARQUEOLOGICA (26)
 - ANAP - INGEMMET (2)



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOGRAFICA			
TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOGRAFO			
PROPUESTAS DE EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO TÉCNICAS SIG Y SENSORES ASTER EN EL ÁREA REGIONAL AREQUIPA			
ZONAS DE EXCEPCION Y COMUNIDADES CAMPESINAS			
Elaborado por:	Revisado por:	Mapa N°:	
Bach. Quintanilla Gómez, Luis Rodolfo	Ing. Walter B. Zuñiga Díaz	30	
Proyección:	Fuente:	Fecha:	Escala:
Datum WGS84 UTM, Zona 18 Sur	Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.	14/04/2019	1/500,000