

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**TESIS**

**Aplicación de modelos digitales con sensores (SRTM, ALOS  
PALSAR , ASTERDEM, para el mapeo cartográfico en la  
Exploración Geológica Minera**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero Geólogo**

**Autor: Bach. Rogelio Franklin AYALA POMA**

**Asesor: Ing. Eder Guido ROBLES MORALES**

**Cerro de Pasco – Perú - 2020**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**TESIS**

**Aplicación de modelos digitales con sensores SRTM, ALOS PALSAR,  
ASTERDEM), para el mapeo cartográfico en la Exploración Geológica  
Minera**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Dr. Favio Máximo MENA OSORIO**  
**PRESIDENTE**

---

**Mg. Reynaldo MEJIA CACERES**  
**MIEMBRO**

---

**Mg. Vidal Víctor CALSINA COLQUI**  
**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme la vida y por todo aquello que puso en mis manos.

A mi Esposa Erika Milla Zevallos e hijos Erick y Patrick, quienes son la razón del esfuerzo de mi vida y carrera profesional.

A mis padres Edgar y Luzmila, por su apoyo incondicional en la parte moral y económica además de sus sabios consejos para llegar a ser un profesional.

## **RECONOCIMIENTO**

A la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión (UNDAC) por la oportunidad de poder realizar mis estudios de pre grado.

Al Ing. Fabio Mena Osorio, por su dirección en el proceso de este trabajo y sus valiosos aportes con las imágenes de sensores de SRTM, ALOS PASAR y ASTER DEM tanto en cuestiones teóricas como técnicas para la culminación de esta investigación.

Al Ing. Eder Guido Robles Morales, por su asesoría para la realización de esta tesis.

A la Dra. Edith Luz Zevallos Arias por toda su ayuda y desinteresada colaboración, además de la certeza de sus comentarios a fin de mejorar mi trabajo de tesis.

A mis hermanos Jonathan, Enrique y Estefany quienes jamás titubearon en brindarme su ayuda, consejos, apoyo incondicional y cariño.

## RESUMEN

En este trabajo se hace uso de algunas técnicas de Geomática para documentar el mapeo cartográfico en la Exploración Geológica Minera.

Los principales insumos para este análisis fueron las imágenes los Modelos Digitales de Elevación (MDE) SRTM ALOS PALSAR y ASTER.

El área de estudio se localiza en la parte Septentrional de la Cordillera Oriental, extendiéndose también a las estribaciones orientales de la Cordillera Occidental; todo ello comprendido dentro de las coordenadas geográficas siguientes: Latitud Sur 10°00' a 11°30' Longitud Oeste 76°00' a 76°30'76

La extracción de lineamientos obtenidos mediante el módulo Línea del pro las imágenes del RADAR, *el Modelo Digital de Elevación ALOS PALSAR* resultó conveniente para obtener los lineamientos estructurales generales y detallados, necesarios para generar un realce morfológico y estructural en la zona.

**Palabras claves:** Modelos digitales, sensores, lineamientos, mapeo cartográfico, exploración.

## **ABSTRACT**

In this work, some Geomatics techniques are used to document the cartographic mapping in the Mining Geological Exploration.

The main inputs for this analysis were the SRTM ALOS PALSAR and ASTER Digital Elevation Models (MDE) images.

The study area is located in the Northern part of the Eastern Cordillera, also extending to the eastern foothills of the Western Cordillera; all within the following geographical coordinates: South Latitude  $10^{\circ} 00'$  at  $11^{\circ} 30'$  West Longitude  $76^{\circ} 00'$  at  $^{\circ} 30'76$

The extraction of guidelines obtained through the Line of the RADAR images module, the ALOS PALSAR Digital Elevation Model was convenient to obtain the general and detailed structural guidelines necessary to generate a morphological and structural enhancement in the area.

**Keywords:** Digital models, sensors, guidelines, cartographic mapping, exploration.

## INTRODUCCIÓN

En el cuadrángulo de Cerro de Pasco 22 -k, se indica que los dominios tectonoestratigráficos son cinco: Occidental, Central, Suroccidental, Nororiental y Oriental. Las rocas que comprenden este cuadrángulo son las más antiguas: el Paleozoico está conformado por areniscas y pizarras del Grupo Cabanillas; el Triásico Inferior está conformado por areniscas y lutitas negras del medio fluvial, de la parte inferior del Grupo Ambo. Se describen diversas unidades y su conformación, entre las que destacan el Grupo Mitu, el Grupo Pucará, Grupo Tarma, Grupo Copacabana y Grupo Goyllarizquisga. Se describe la Formación Chayllacatana formada por sedimentación volcano-sedimentaria del Albiano. Se destaca que, sobre rocas mesozoicas, se encuentra la Formación Pocobamba. Las rocas ígneas intrusivas se encuentran divididas en seis eventos: el Carbonífero (granitos de textura fanerítica); el Eoceno compuesto por manifestaciones sub-volcánicas; el Oligoceno conformado por las zonas de Atacocha-Milpo, La Quinoa, Mariac y hasta Carhuamayo. El estudio metalogenético diferencia cinco grandes épocas, las cuales se han relacionado con zonas vecinas para ocho franjas metalogenéticas regionales, las cuales se proyectan fuera del área de estudio. Se detallan las franjas, entre las que se menciona, las franjas de oro (Au) en rocas sedimentarias; las franjas de pórfidos de Cobre, Molibdeno y zinc (Cu-Mo-Zn); depósitos relacionados con intrusivos; depósitos polimetálicos, asociados a diatremas volcánicas; y depósitos polimetálicos, asociado a intrusiones sub-volcánicas.

La mayoría de los trabajos realizados en la zona de estudio han utilizado técnicas convencionales de campo para el registro de datos litológicos y estructurales. Sin embargo, en la actualidad, el uso de herramientas de la Geomática como las imágenes satelitales, los Sistemas de Información Geográfica y el manejo de bases de datos, han facilitado la extracción de información geológica y estructural de zonas extensas o de difícil acceso.

Al respecto, se ha observado que las imágenes de radar son particularmente útiles para identificar rasgos lineales considerando la geometría de observación y la direccionalidad del haz de energía. De igual manera, se ha demostrado que el análisis basado en Modelos Digitales de Elevación (MDE), permiten la identificación de estructuras a gran escala, la estimación del volumen de diferentes unidades litológicas, la extracción de información sobre la superficie de las fallas y las características de la tectónica de una región.



## INDICE

<b>DEDICATORIA</b>	
<b>RECONOCIMIENTO</b>	
<b>RESUMEN</b>	
<b>ABSTRACT</b>	
<b>INTRODUCCION</b>	

### CAPITULO I

#### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema .....	- 1 -
1.2. Delimitación de la investigación .....	- 3 -
1.3. Formulación del problema .....	- 3 -
1.3.1. Problema general .....	- 3 -
1.3.2. Problemas específicos.....	- 3 -
1.4. Formulación de Objetivos .....	- 4 -
1.4.1. Objetivo General .....	- 4 -
1.4.2. Objetivos Específicos .....	- 4 -
1.5. Justificación de la investigación .....	- 4 -
1.6. Limitaciones de la investigación.....	- 5 -

### CAPITULO II

#### MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio .....	- 6 -
2.2. Base teóricas - científicas.....	- 9 -
2.2.1. Estratigrafía de la zona de estudio.....	- 9 -
2.2.2. Imágenes satelitales .....	43
2.2.3. Mapeos Geológicos .....	45
2.2.4. Definición sensores de teledetección .....	46
2.2.5. Analogías de sensores.....	49
2.2.6. Tecnología de sensores.....	50
2.2.7. Sistema de Clasificación de sensores .....	51
2.2.8. Modelos digitales: .....	59
2.3. Definición de términos básicos .....	64
2.4. Formulación de Hipótesis .....	67
2.4.1. Hipótesis General.....	67

2.4.3.	Hipótesis específica.....	67
2.5.	Identificación de variables.....	67
2.5.1.	Variables independientes.....	67
2.5.2.	Variable dependiente.....	67
2.5.3.	Variables intervinientes.....	67
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores.....	68

### **CAPITULO III**

#### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

3.1.	Tipo de Investigación.....	69
3.2.	Métodos de investigación.....	69
3.2.1.	Etapa de campo.....	70
A.	Delimitación del área de influencia.....	70
3.2.2.	Etapa de gabinete.....	70
A.	Recopilación bibliográfica.....	70
3.3.	Diseño de Investigación.....	71
3.4.	Población y Muestra.....	72
3.4.1.	Población.....	72
3.4.2.	Muestra.....	72
3.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	72
3.6.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	72
3.7.	Tratamiento estadístico.....	73
3.9.	Orientación ética.....	74

### **CAPITULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

4.1.	Descripción del trabajo de campo.....	75
4.1.1.	Ubicación y Accesibilidad.....	75
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	77
4.3.	Prueba de Hipótesis.....	91
4.4.	Discusión de resultados.....	93

#### **CONCLUSIONES**

#### **RECOMENDACIONES**

#### **BIBLIOGRAFÍA**

#### **ANEXOS**

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1:</b> Columnas estratigráficas en los diferentes dominios tecto - estratigráficos del cuadrángulo de Cerro de Paco 22-k.....	12
<b>FIGURA 2:</b> Plano de Ubicación y Accesibilidad de la zona de trabajo .....	76
<b>FIGURA 3:</b> RESOLUCIÓN DE LAS IMAGENES TOMADAS POR LOS TRES MODELOS DIGITALES .....	79

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Características de ALOS PALSAR .....	62
<b>Tabla 2:</b> Definición de los niveles de procesamiento para productos ALOS PALSAR .....	62
<b>Tabla 3:</b> Características y Especificaciones del sensor SRTM .....	80
<b>Tabla 4:</b> Características y especificaciones del Sensor ASTER DEM .....	82
<b>Tabla 5:</b> Características y especificaciones del sensor ALOS PALSAR.....	84

## INDICE DE PLANOS

<b>PLANO 1:</b> DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO .....	77
<b>PLANO 2:</b> LINEAMIENTOS ESTRUCTURALES - SRTM.....	81
<b>PLANO 3:</b> LINEAMIENTOS ESTRUCTURALES - ASTER DEM .....	83
<b>PLANO 4:</b> LINEAMIENTOS ESTRUCTURALES - ALOS PALSAR .....	86
<b>PLANO 5:</b> ESPECIFICACIONES DE LINEAMIENTOS ESTRUCTURALES - ALOS PALSAR.....	87
<b>PLANO 6:</b> FALLAS REGIONALES - ALOS PALSAR.....	88
<b>PLANO 7:</b> MINAS DEL CUADRÁNGULO 22-K CERRO DE PASCO - ALOS PALSAR.....	89

## **CAPITULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

El área de estudio comprendió el cuadrángulo de Cerro de Pasco 22-K el cual se localiza entre las altiplanicies interandinas de la parte Central del Perú, entre la cordillera occidental y la cordillera oriental que abarca un área de estudio aproximada de 3000 km<sup>2</sup>, se ubica entre las coordenadas geográficas latitud 10°30' a 11°00' Sur y longitud de 76°00' a 76°30' Oeste , comprendida por cinco dominios tectonoestratigraficos, siendo estas occidental, central, sur occidental, Nororiental y oriental en ella se determina que estas corresponden a las rocas más antiguas del cuadrángulo de Cerro de Pasco. El ámbito de estudio comprende rocas que pertenecen a diferentes periodos y edades en la que destacan, el

paleozoico conformado por areniscas y pizarras del grupo canillas; triásico inferior conformado por areniscas y lutitas negras del medio fluvial, del grupo ambo, además destacan diversas unidades del grupo Mitú, Pucara, Tarma, Copacabana y Goyllarisquizga (INGEMMET, 2011).

Los modelos digitales con sensores permiten obtener información de altitud en cualquier punto de un área específica, propiedad que la diferencia de un conjunto de datos de elevación. Los MDE pueden ser representados en formato regular o irregular; (Hengl y Reuter 2009). Los Modelos Digitales de Elevación (MDE) en un Sistema de Información Geográfica (SIG) permite conocer la proyección geográfica y el sistema de referencia para determinar la altitud, ya que puede estar a un elipsoide (altura sobre el elipsoide) o a un geoide (altura sobre el nivel del mar). A vez, los MDE pueden representar la vegetación, los edificios y otras características culturales, o únicamente el terreno subyacente. (Maune *et al.*2001).

Actualmente, es posible descargar sin costo a través de Internet MDE que cubren casi la totalidad de la superficie terrestre, siendo el SRTM-C el más difundido. Este se trata de un raster en coordenadas geográficas, con la altitud referida al geoide, en el que cada píxel representa 3 arcos de segundo en el terreno (aproximadamente 90 metros). La teledetección espacial es una importante fuente de datos para derivar MDE. Por ejemplo, el SRTM-C fue producido con datos radar banda C adquiridos desde un trasbordador espacial durante la misión SRTM, del inglés Shuttle Radar Topography Mission (Rabus *et al.* 2003). Además de adquirir datos banda C, la misión adquirió datos banda X, pero en franjas cuatro veces más angostas, ocasionando vacíos de información entre orbitas adyacentes.

Con estos datos fue derivado el modelo SRTM-X (© DLR 2010), que cubre la Tierra en forma discontinua con resolución espacial de 1 arco de segundo (aproximadamente 30 metros). Recientemente ha comenzado a distribuirse sin costo. El ASTER GDEM (del inglés Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model) también fue derivado de datos provenientes de teledetección espacial (óptica, en vez de radar) y a partir de junio de 2009, puede descargarse sin costo a través de Internet; cubre casi la totalidad. (Rabus *et al.* 2003).

## **1.2. Delimitación de la investigación**

El presente estudio es importante porque nos permitió el uso de algunas técnicas de Geomática como son las imágenes de Modelos Digitales de Elevación (MDE) SRTM ALOS PALSAR y ASTER para documentar el mapeo cartográfico en la Exploración Geológica Minera.

## **1.3. Formulación del problema**

### **1.3.1. Problema general**

¿Cuál de los modelos digitales de ALOS PÁLSAR, ASTER DEM y SRTM permite obtener mayor información para mapeo estructural en la exploración geológica minera?

### **1.3.2. Problemas específicos**

¿Cuál es el área de influencia para la información de mapeos cartográficos estructurales en la exploración geológica minera?

- ¿Cuál es el nivel de escala de modelos digitales con sensores adecuados para un mapeo cartográfico estructural en la exploración geológica?

- ¿Cuál es la utilidad de los modelos digitales con sensores en la exploración geológica minera?
- ¿Cuál de los modelos digitales permite la mejor interpretación visual de lineamientos geológicos del área de estudio?

#### **1.4. Formulación de Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo General**

Aplicar modelos digitales con sensores para información de mapeo superficial en la exploración geológica minera.

##### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Delimitar el área de influencia para la información de mapeos cartográficos estructurales en la exploración geológica minera.
- Definir el nivel de escala adecuado de modelos digitales con sensores para información de mapeos cartográficos estructurales en la exploración geológica minera
- Obtener un mapa de lineamientos estructurales geológicos mineros a partir de modelos digitales con sensores
- Comparar los modelos digitales con sensores para la interpretación visual de lineamientos geológicos del área de estudio.

#### **1.5. Justificación de la investigación**

El desarrollo de la mayoría de los países se basa en el aprovechamiento sostenible de sus recursos naturales, garantizando su explotación actual sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras, conforme lo estipula la Comisión de Bruntland, para lo cual es necesario llevar a cabo

estudios que complementen la información actualmente disponible, a través de los recursos geológicos, estos estudios se han llevado a cabo en muchos países con el objetivo de realizar explotaciones de minerales e hidrocarburos. (Nielsen, 2007).

El presente trabajo de investigación se justifica por que permitió identificar rasgos estructurales para la mineralización mediante el aprovechamiento de la tecnología a través de la aplicación de modelos digitales con sensores (SRTM, ALOS PALSAR, ASTERDEM), para el mapeo cartográfico en la exploración geológica minera de puntos relevantes en la Región Pasco, con la finalidad de contar con información disponible, para aumentar el conocimiento de sus recursos geológicos, su valorización y sus beneficios.

#### **1.6. Limitaciones de la investigación**

**A nivel económico y social:** Los resultados del presente estudio solo se aplica para el área trabajada, sirviendo como fuente de información estudios similares.

Una limitación relevante durante el desarrollo del trabajo fueron los costos elevados de las imágenes satelitales.



## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

Burgos (2012), en la investigación “La interferometría SAR en la modelación hidráulica, reporta que las utilizaciones de modelos digitales de elevación de mayor resolución espacial están disponibles, sin costo, a través de Internet. A partir de datos del sensor ALOS-PRISM, el software Geomática PCI con el módulo Ortho Engine ALOS, que permite extraer MDE de diez metros de resolución espacial. Los mejores resultados se obtienen combinando los tres pares estereoscópicos que ofrece el sensor (Nadir-atrás, Nadir-frente y atrás-frente) mediante la opción denominada Highest score.

Cango (2017), en su tesis de pregrado (UTPL), “Evaluación de modelos digitales de elevación usando LiDAR e imágenes satelitales” en el presente trabajo de investigación, se ha generado Modelos Digitales de Elevación (MDE) a partir de

datos LiDAR y se han comparado con otras fuentes que proporcionan MDE. Las fuentes son satelitales (ALOS PALSAR, ASTER, SRTM), de alcance global y de libre distribución. Para lo cual se realizó un análisis comparativo en función a las características que describen los parámetros morfométricos de una cuenca hidrográfica, con diferentes resoluciones de los MDE.

Se aplicó el análisis multifractal Sand – box a las redes de drenaje, para evaluar los efectos de la resolución de los MDE sobre las fuentes que proporcionan los mismos. De acuerdo a los resultados obtenidos, el uso de altas resoluciones en MDE se ajustan a las características del terreno proporcionando redes de drenaje precisas. El análisis multifractal resulta ser una herramienta idónea para el estudio de la precisión con que las redes de drenaje son generadas a partir del algoritmo, además tiene la ventaja que sus parámetros son independientes de la escala de estudio. Pudiendo concluir que los MDE de mayor resolución (LIDAR Y ALOS PALSAR) permiten generar una mejor red de drenaje en base al umbral de acumulación del 1% para zonas montañosas (Área de estudio). Se muestra que SRTM también es válido para las resoluciones de 50 m y 75 m. De acuerdo a la investigación se concluye que si no se dispone de MDE de alta resolución (como LIDAR). Se puede utilizar MDE de fuentes satelitales como ALOS PALSAR Y SRTM, los mismos que generan características morfométricas más adecuadas respecto a su resolución original de 12.5m y 30 m respectivamente. En cuanto a la generación de redes de drenaje para uso en estudios hidrológicos o estudios afines, un MDE con resolución espacial de hasta 30 m, permite representar los cauces en forma adecuada, para zonas montañosas.

En general, un MDE con resolución mayor conlleva a un gasto elevado de adquisición. Pero representa de mejor manera la superficie y los segmentos de los ríos. De igual manera se debe considerar el uso o las variables que se necesiten extraer de los MDE, los mismos son determinantes al momento de elegir la fuente de datos de elevación y su resolución.

Correa (2012), en su tesis de post grado (UNAL), "Método para la caracterización de las formas del terreno en zonas de montaña utilizando modelos digitales de elevación, caso: Departamento del Cauca" desarrolló un método para diferenciar, delimitar, caracterizar y representar cartográficamente las formas del terreno en zonas de montaña. Se evaluaron los DEMs SRTM de resoluciones espaciales aproximadas de 31 m y 92 m, y el DEM-ASTER de 31 m de resolución, éste último en el área de estudio mostró datos locales erróneos por lo que el análisis de exactitud vertical con enfoque geo estadístico, comparación con curvas de nivel a 1:25000 y 1:10000 y puntos de control GPS indicó que el DEM-SRTM de 31 m, era el que mejor cumplía la tolerancia máxima de exactitud vertical. Se analizaron criterios y metodologías con sus algoritmos para extraer automáticamente las formas del terreno, desde la obtención de elementos básicos del terreno, el análisis del elemento en el contexto paisajístico, superposición de parámetros mediante álgebra de mapas y clasificación no supervisada mediante agrupación k-means; algunos implementados en software propietario y otros en software libre. Se calcularon parámetros del terreno locales y regionales, y se analizaron sus distribuciones de manera univariada y multivariada, ésta última permitió seleccionar un conjunto de ellos con la menor redundancia para implementar un método de clasificación no supervisada. La clasificación no supervisada implementada en

una zona centro oriental del departamento del Cauca, Colombia, permitió encontrar 12 clases de formas del terreno a partir de parámetros como el índice de convergencia, el índice topográfico de humedad, la profundidad de los valles, la insolación solar y la elevación misma, con un coeficiente de similaridad kappa máxima de 39%, valor bajo pero con un potencial alto para continuar con investigaciones adicionales, de acuerdo con resultados cualitativos encontrados al compararlos con el globo virtual Google earth y con la leyenda geomorfológica del mapa de suelos oficial para el área de estudio.

Se ratificó que el DEM-SRTM de resolución espacial aproximada de 30 m tiene una gran potencialidad para delimitar las formas del terreno en zonas de montaña desde el punto de vista morfométrico, en razón a: su exactitud vertical para generar productos cartográficos a escala semidetallada de acuerdo con estándares internacionales y a la obtención de parámetros del terreno que muestran estabilidad y variabilidad respecto a la rugosidad del terreno.

## **2.2. Base teóricas - científicas**

### **2.2.1. Estratigrafía de la zona de estudio**

El marco estratigráfico del Cuadrángulo de Cerro de Pasco (22-k) fue realizado mediante observaciones de campo, donde se ha determinado la variabilidad litológica, espesores y relaciones de contacto. Las unidades estratigráficas varían de un lugar a otro, por ello se han determinado 5 dominios estratigráficos controlados por fallas regionales (Fig. 1). En líneas generales, la estratigrafía de Cerro de Pasco se puede resumir en 9 grandes ciclos: Precámbrico, Paleozoico inferior, Paleozoico superior, Pérmico superior-jurásico inferior, Jurásico superior-Cretácico inferior, Cretácico medio-superior, Paleógeno, Neógeno y Cuaternario.

### **2.2.1.1. PRECÁMBRICO**

#### **Complejo Metamórfico del Marañón: Neoproterozoico-Carbonífero**

**Definición y relaciones estratigráficas.** Fue estudiado por Steinmann (1929), quien asumió una edad arcaica para este. Luego Mégard (1978) y Dalmayrac (1977) realizaron estudios en el centro del Perú y le atribuyeron una edad precámbrica. En la parte nororiental de la hoja 22-k, I, existen afloramientos de rocas metamórficas correspondientes al macizo de Chupan-Huasi (Mégard, 1978), y en el extremo norte de la hoja 22-k, II, afloran rocas metamórficas que corresponden a la Serie Metamórfica de Yanahuanca (Dalmayrac, 1977).

En toda la zona de estudio, las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón son las más antiguas, y están infra yaciendo en discordancia angular por rocas de los grupos Ambo (Carbonífero), Mitú (Permo-Triásico) y Pucará (Triásico superior-jurásico inferior); asimismo, están afectadas por intrusivos graníticos (Carbonífero al Triásico).

**Litología y ambiente sedimentario.** De acuerdo a sus características litológicas, el Complejo Metamórfico del Marañón, dentro del área del Cuadrángulo de Cerro de Pasco, está dividido en dos unidades informales. La primera está compuesta por filitas de color verde con micas y foliación notoria, presentando además algunas intercalaciones de niveles más gruesos compuestos por metasedimentos; en ocasiones, esta unidad no presenta mucho metamorfismo y puede ser confundida con unidades más recientes. La segunda unidad presenta también filitas con algunas intercalaciones de esquistos de cuarzo mica (moscovita) y metavolcánicos;

además, disoluciones de cuarzo a manera de vetas y estructuras de creanulación que afectan a la foliación principal.

**Edad y Correlación.** El Complejo Metamórfico del Marañón siempre fue asignado al Precámbrico; sin embargo, en la región de Huánuco-Yanahuanca, Cardona (2006) ha determinado edades entre 620 y 310 Ma. Las edades más antiguas son de 613 Ma, y corresponden al Ortogneis de Huánuco, el cual fue intruido y metamorfozido por granitos del Ordovícico inferior. Posteriormente, se depositaron dos secuencias volcanosedimentarias. La primera fue depositada y metamorfozada entre 450 y 420 Ma; y la segunda se depositó después de 320 Ma, y se metamorfozó en 310 M

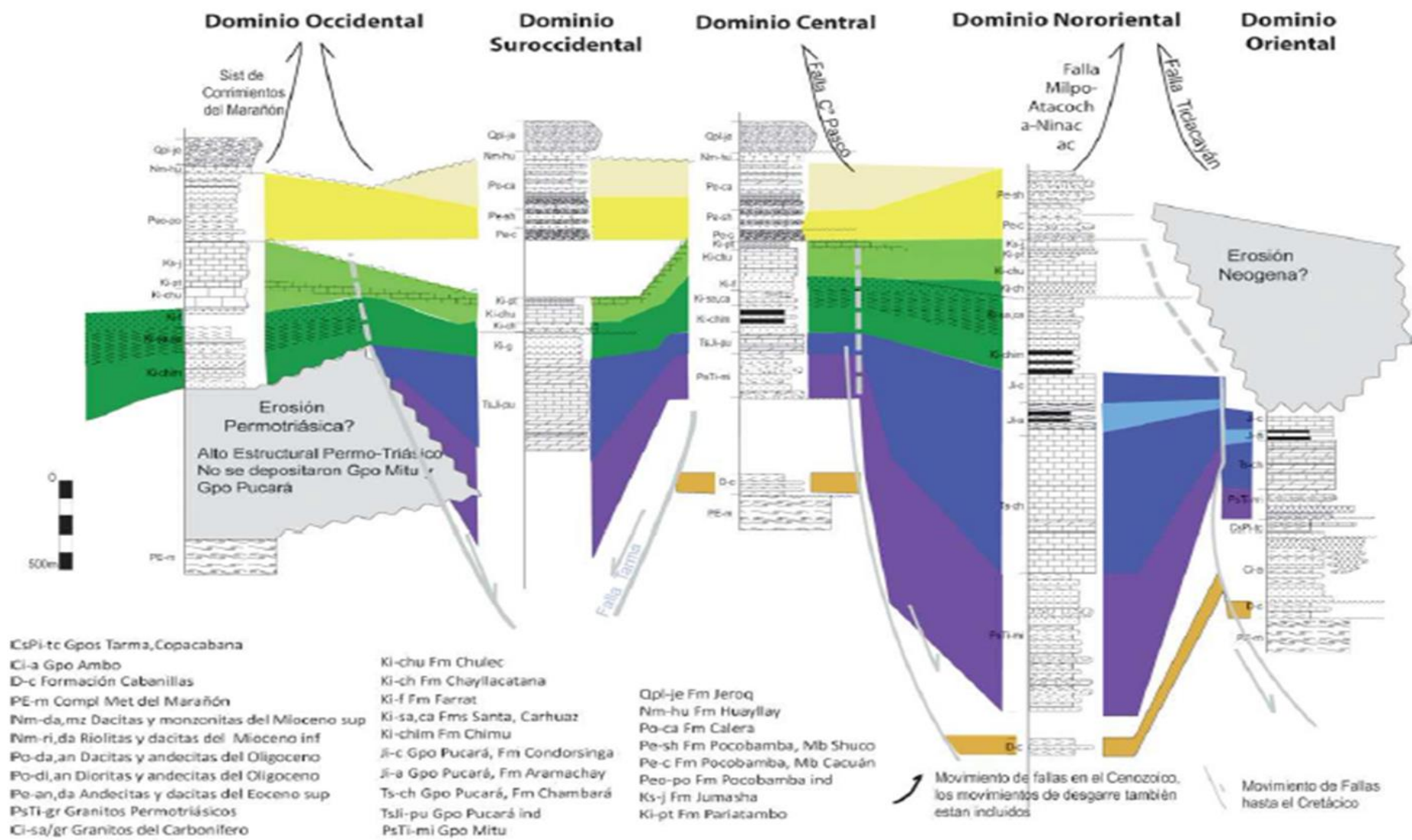


FIGURA 1: Columnas estratigráficas en los diferentes dominios tecto - estratigráficos del cuadrángulo de Cerro de Paco 22-k

### **2.2.1.2. PALEOZOICO INFERIOR**

#### **Grupo Cabanillas: Devónico**

***Definición y relaciones estratigráficas.*** Mc Laughlin (1924), en la mina Excélsior, ubicada al sur de la mina Cerro de Pasco, definió como Formación Excélsior a una secuencia de lutitas negras pizarrosas con intercalaciones de areniscas cuarzosas. En ese sentido, en el presente estudio se prefiere asignar el nombre de Grupo Cabanillas y, de esta manera, uniformizar los nombres con sus contemporáneos del sur del Perú (Newell, 1949), en donde sí se encuentran mejores afloramientos y estudios más detallados.

***Litología y ambiente sedimentario.*** Litológicamente el Grupo Cabanillas de Cerro de Pasco está compuesto por lutitas pizarrosas negras (en ocasiones micáceas) con intercalaciones de areniscas cuarzosas en estratos menores a 10 cm. La base de la secuencia no aflora y el techo está sobreyacido en discordancia erosional directamente por el Grupo Mitú (Pérmico superior- Triásico inferior) o el Grupo Pucará (Triásico superior- jurásico inferior). En el río Tingo, se observa que las areniscas son más abundantes hacia el techo, determinando una secuencia grano creciente.

***Edad y correlación.*** Dentro de la región estudiada no se han encontrado fósiles, pero al sur de la zona de estudio, entre Tarma y Concepción, la Formación Concepción contiene braquiópodos del Devónico (Harrison, 1940 y 1943) y huellas de trilobites (Paredes, 1972), que en conjunto abarcan el Devónico Inferior a medio. Por su similitud litológica atribuimos que el Grupo Cabanillas de Cerro de Pasco corresponde a la secuencia de la Formación Concepción que a su vez es equivalente al Grupo Cabanillas del sur del Perú.



En estudios anteriores se ha correlacionado al Grupo Cabanillas de Cerro de Pasco con lutitas negras que se encuentran en el valle de Yanahuanca, donde Steinmann (1929) encontró braquiópodos y los atribuyó al Devónico. Posteriormente Boit (1960) citado por Benavides, 2011 reportó braquiópodos y crinoideos de la misma edad. En consecuencia, estas secuencias no se pueden correlacionar con las lutitas de reglón de Cerro de Pasco, sino que corresponden al Grupo Ambo del Misisipiano.

### **2.2.1.3. PALEOZOICO SUPERIOR**

Los afloramientos del Paleozoico superior afloran principalmente en el sector sureste de la zona de estudio (hojas 22-k, II y 22-k, I). A la espera de estudios paleontológicos, así como geocronológicos que determinen la edad de las unidades estratigráficas, se propone lo siguiente:

#### **Grupo Ambo: Misisipiano**

***Definición y relaciones estratigráficas.*** Newell et al. (1953) definió al Grupo Ambo al norte de la zona de estudio; en donde está compuesto por una secuencia de lutitas negras, areniscas y conglomerados, que representan diferentes medios sedimentarios. En la zona de estudio, el Grupo Ambo aflora en el sector sureste. En el núcleo del anticlinal de Carhuamayo, infrayace en discordancia angular al Grupo Mitú (Pérmico superior-Triásico Inferior). Entre la hacienda Huanca y la mina Shalipayco (Cuadrángulo de Ulcumayo 22-I), se atribuye al Grupo Ambo una franja de Ignimbritas rosadas con fiames de dirección NO-SE; al norte de la hacienda Huanca, las Ignimbritas se encuentra en discordancia angular debajo de una secuencia calcárea, con fósiles del Pérmico Inferior a medio, atribuida a los grupos Tarma-

Copacabana, y al noreste de la mina Shalipayco se encuentran en discordancia angular directamente debajo del Grupo Mitú (Pérmico inferior-Triásico inferior).

**Litología y ambiente sedimentario.** El Grupo Ambo, en el anticlinal de Carhuamayo, está compuesto por estratos menores a 3 m de arenisca gruesa con laminación oblicua y base conglomerádica, Intercalados con estratos delgados menores a 20 cm de arenisca media a fina con laminación horizontal; en conjunto, forman secuencias elementales de 7m de espesor, típicas de ríos entrenzados. Al techo de la secuencia se Intercalan conglomerados con estratos verdes de areniscas micáceas y limos con madrigueras de gusanos (Thalassinoides), que Indican un ambiente de llanura de Inundación. Las areniscas verdes fueron separadas del Grupo Ambo y caligrafiadas por Mégard (1978) y Quispesivana (1996), como el Grupo Tarma; sin embargo, no existe una discordancia o discontinuidad, sino que el paso es progresivo; por lo tanto, se le atribuye la misma secuencia del Grupo Ambo y se coincide con el mapa de Cobbing (Inédito; en Maeda, 1981).

**Edad.** Mégard (1978), al Igual que en Ambo (Dalmayrac, 1977; Zapata et al., 2004), encontró restos de Lepidodendron, Rhacopteris, Eremopteris y Sphenopteris, que indican el Misisipiano.

Las secuencias volcánicas atribuidas en este estudio al Grupo Ambo (Incluidas por otros autores dentro del Grupo Mitú) se encuentran en discordancia angular bajo una secuencia de calizas y areniscas de color verde con restos de Linoproductus cora D'ORBIGNY, Kochiproductus sp.,

Polypora mímica CHRONIC, Polypora spysa CHRONIC, los cuales indican el Pérmico inferior a medio.

En conclusión, las evidencias de un volcanismo Misisipiano y la fauna que se encuentra sobre las secuencias ignimbríticas de la hacienda Huanca sugieren que la secuencia ignimbrítica que se encuentra desde Huanca hasta el noreste de Shalipayco (Cuadrángulo de Ulcumayo) tenga una edad carbonífera, y probablemente sea del Misisipiano.

### **Grupos Tarma-Copacabana: Pensilvaniano- Pérmico inferior**

**Definición y relaciones estratigráficas.** Fue definido en la localidad homónima, por Dunbar & Newell (1946). Allí la litología está compuesta por areniscas lutitas y calizas, que corresponden a una secuencia marina-continental de 300 m de espesor, la cual puede cambiar rápidamente de un lado a otro. En el Cuadrángulo de Cerro de Pasco (22-k), la unidad que engloba a los grupos Tarma-Copacabana, solo aflora cerca a la hacienda Huanca, en donde sobreyace en discordancia angular a una secuencia volcánica atribuida al Grupo Ambo (Misisipiano) e infrayace de igual forma a las areniscas rojas y conglomerados del Grupo Mitú (Pérmico superior-Triásico inferior).

**Litología y ambiente sedimentario.** Al norte de la hacienda Huanca, en el cerro Pumahuayin, los grupos Tarma- Copacabana tienen 350 m de espesor y pueden ser dividido en tres secuencias: Inferior, media y superior.

La secuencia Inferior tiene 100 m de espesor; está compuesta por una intercalación de lutitas negras y areniscas cuarzosas y calcarenitas con laminación oblicua. En el medio de la secuencia Inferior, se encuentran estratos de calizas bioclásticas que pueden llegar hasta 2 m de espesor. La

secuencia media tiene 140 m de espesor; está compuesta por aglomerados con clastos de toba que pueden llegar hasta 1 m de diámetro y están intercalados con calizas, lutitas y areniscas cuarzosas conglomeradas. Finalmente, la secuencia superior tiene 110 m de espesor; está compuesta por areniscas finas a medias feldespáticas con matriz limosa de color gris amarillento. Hacia el techo de la secuencia se encuentran algunas intercalaciones de areniscas rojas finas, que marcan el paso al Grupo Mitú.

#### **2.2.1.4. PÉRMICO SUPERIOR - JURÁSICO INFERIOR**

El Pérmico superior-jurásico inferior está conformado por los grupos Mitú y Pucará. Estas secuencias se encuentran discordantemente sobre el Carbonífero o directamente sobre el Paleozoico Inferior. A partir del Pérmico superior, las rocas sedimentarias de Cerro de Pasco están diferenciadas en dos grandes dominios estratigráficos, separados por la falla Cerro de Pasco: estos dominios a su vez pueden ser divididos en otros más pequeños: Occidental, Central, Suroccidental, Nororiental y Oriental.

#### **Grupo Mitú: Pérmico superior-Triásico inferior**

***Definición y relaciones estratigráficas.*** En la hoja de Ambo (21-k), Me Laughlin (1924) definió como Grupo Mitú a unas secuencias detríticas de color rojo que aflora en la localidad de Mitú, próxima a Chacayán. En el cuadrángulo de Cerro de Pasco, la base del Grupo Mitú aflora en la hacienda Huanca, sobreyaciendo en discordancia angular a los grupos Tarma-Copacabana (Pensilvaniano-Pérmico inferior) y/o al Grupo Ambo (Misisipiano). Al oeste de Colquijirca, el Grupo Mitú sobreyace en discordancia angular a las lutitas pizarrosas del Grupo Cabanillas

(Devónico). La parte superior, por lo general, infrayace concordantemente al Grupo Pucará (Triásico superior-jurásico inferior).

Los espesores del Grupo Mitú varían bruscamente de un lado a otro de las fallas principales (Jenks, 1951; Ángeles, 1999; Cobbing et al., 2006). El mayor espesor se encuentra entre las fallas Milpo- Atacocha-Ninacaca y Cerro de Pasco, y sobrepasa los 2000; y el menor, al norte de San Miguel de Chuchis, solo tiene 50 m.

***Litología y ambiente sedimentario.*** El Grupo Mitú está compuesto principalmente por areniscas rojas y conglomerados con clastos subredondeados a angulosos de naturaleza volcánica, sedimentaria y metamórfica; estos están envueltos en una matriz de arenisca roja. Dentro de la secuencia sedimentaria se encuentran Intercalaciones de lavas grises con menos de 50 m de espesor.

En el Dominio Oriental, en la quebrada Chuyroc, al sur de Carhuamayo, el Grupo Mitú está compuesto por dos secuencias. La secuencia Inferior tiene 250 m de espesor y está compuesta por conglomerados con clastos de naturaleza volcánica, subredondeados a subangulosos; y tiene diámetro mayor de 30 cm. Dentro de la secuencia Inferior están Intercalados dos niveles de lava gris menores a 20 m de espesor. La secuencia superior tiene 170 m de espesor y está compuesta por areniscas rojas gruesas con matriz limolítica e Intercalaciones de lentes conglomerádicos. La sedimentación del Grupo Mitú en este sector empieza con abanicos aluviales provenientes del este, simultáneos a una actividad volcánica que depositó lavas de traquitas y basaltos calcoalcalinos hasta alcalinos; luego se pasa a ríos distales y

proximales. En general, representan una retrogradaron de abanicos aluviales.

Igualmente, en el Dominio Oriental, al noreste de la hacienda Huanca, el Grupo Mitú está compuesto por areniscas rojas y conglomerados agrupados en dos secuencias. La secuencia Inferior es grano decreciente, empieza con 60 m de areniscas con base conglomerádica y erosiva, dispuestas en secuencias elementales granodecrecientes de 10 m de espesor que representan ríos proximales; luego se tienen cerca de 300 m de areniscas finas a medias, de color rojo con laminación oblicua y matriz limosas (grauvacas), dispuestas en secuencias elementales granodecrecientes de 6 a 9 m. La secuencia superior es granodecreciente; está compuesta por conglomerados polimícticos con clastos subredondeados principalmente de naturaleza volcánica y en menor proporción de areniscas, calizas y cuarcitas. Están dispuestos en secuencias elementales granos decrecientes de 5 a 10 m de espesor. El techo de la secuencia no aflora, pero los pequeños afloramientos Indican que se encuentran areniscas finas y una lava o dique volcánico de composición básica. En general, el medio sedimentario Indica que en este sector el Grupo Mitú se ha depositado en dos ciclos sedimentarios: el primero corresponde a ríos proximales que pasan a ríos distales con llanura de Inundación, y el segundo corresponde a abanicos aluviales que pasan a un ambiente fluvial.

En el Dominio Nororiental, en el río Tingo, el Grupo Mitú es más areniscoso, con intercalaciones de lutitas rojas y algunas lavas andesíticas; representa una secuencia granodecreciente con presencia de sistemas fluviales.

En el Dominio Central, al norte de San Miguel de Chuchis, el Grupo Mitú se encuentra sobre el complejo metamórfico del Marañón; está conformado por areniscas con clastos aislados angulosos de 2 cm de diámetro, constituyendo una brecha sedimentaria que infrayace al Grupo Pucará (Triásico superior- jurásico inferior). Al oeste de Colquijirca, está compuesto en la base por conglomerados de color gris con clastos redondeados a subangulosos de cuarcita y cuarzo blanco, de hasta 20 cm de diámetro; la parte superior está compuesta por areniscas rojas con lentes de conglomerados de origen fluvial.

**Edad.** Al Grupo Mitú, por sobreyacer al Grupo Tarma del Pérmico Inferior (norte de la hacienda Huanca) e infrayacer al Grupo Pucará del Triásico superior al Jurásico Inferior, se le puede asignar una edad comprendida entre el Pérmico superior y el Triásico Inferior; sin embargo, la parte Inferior puede alcanzar el Pérmico medio.

#### **Grupo Pucará: Triásico superior-jurásico inferior**

Me Laughlin (1924) definió el Grupo Pucará en las cercanías del Goyllarisquizga. Luego de varios estudios realizados por otros autores, Mégard (1968) subdividió al Grupo Pucará en las formaciones Chambará, Aramachay y Condorsinga.

El Grupo Pucará es una de las unidades estratigráficas más importantes en el centro del Perú, ya sea como metalotecto litológico para el emplazamiento de mineralización polimetálica en yacimientos metasomáticos de contacto o del tipo Mississippi Valley, como roca generadora de petróleo o como canteras de sustancias no metálicas.

## **Formación Chambará: Noriano-Reatiano**

***Definición y relaciones estratigráficas.*** Mégard (1968), en el región de Huancayo, nombró a las calizas Inferiores del Grupo Pucará como Formación Chambará. En la zona de estudio, la Formación Chambará aflora al este de la falla Cerro de Pasco (Dominios Nororiental y Oriental), extendiéndose desde sur del Carhuamayo hasta el norte de Tingo. La Formación Chambará, por lo general, se encuentra concordantemente sobre las secuencias terrígenas continentales del Grupo Mitú o discordantemente sobre los volcánicos del Grupo Ambo, y por debajo de las secuencias calcáreas y pelíticas de la Formación Aramachay.

El espesor de la secuencia varía de un lado a otro, tal es así que, en el Dominio Oriental, al este de Carhuamayo, puede alcanzar hasta 750 m; en cambio, en el Dominio Nororiental, entre las fallas Cerro de Pasco y Milpo Atacocha, puede sobrepasar 1 200 m.

***Litología y ambiente de sedimentación.*** En el Dominio Oriental, al noreste de Carhuamayo, en el camino a la mina Shalipayco, la Formación Chambará está compuesta por dolomitas y calizas wackestone a mudstone, con niveles fosilíferos de crinoideos, bivalvos, gasterópodos, ostrácodos y braquiópodos. En algunos niveles, las calizas tienen laminación cruzada. Al techo presentan algas, ooilitos y chert; corresponden a un medio tidal a intertidal, con zonas de barrera. La evolución sedimentaria de la base al techo indica una plataforma carbonatada somera que al tope se hace más profunda pasando a una plataforma abierta (Rosas & Fontboté, 1995). En el Dominio Nororiental, en la carretera Cerro de Pasco-Milpo, la Formación Chambará está compuesta por una potente secuencia de calizas mudstone



y wackestone en estratos que pueden llegar 1 m de espesor, con niveles de calizas rudstone fosilíferas, con gasterópodos y pellets.. Las calizas de la Formación Chambará constituyen la roca encajonante en las minas Cerro de Pasco, San Gregorio, Pilar, Milpo y Atacocha.

**Edad.** Dentro de la Formación Chambará, se han encontrado crinoideos, bivalvos, gasterópodos, ostrácodos y braquiópodos. En el cerro Escalón, a 50 m sobre el contacto con el Grupo Mitú, se han encontrado los gasterópodos *Paracerithium sp.*, *Coelostylina cf. C. cilindrata* HAAS, *Rhabdocolpus subulatus* HAAS, que indican un rango desde el Noriano al Oxfordiano; sin embargo, a 70 m del dicho contacto, se ha encontrado el gasterópodo *Andangularia aff. A. subarmatae* (JAWORSKI), que indica el Noriano-Rhaetiano. Además, se han reportado mucha fauna característica del Noriano (Jenks, 1951; Quispesivana, 1996), y por infrayacer a la Formación Aramachay del Hetangiano-Sinemuriano, se considera a la Formación Chambará de la misma edad que en el centro del Perú (Mégard, 1978; Mégard et al., 1996), es decir, Noriano-Rhaetiano.

#### **Formación Aramachay: Hetangiano - Sinemuriano**

**Definición y relaciones estratigráficas.** Mégard (1968) definió la Formación Aramachay en el Cuadrángulo de Huancayo (25-n), al suroeste del pueblo del mismo nombre. En la zona de estudio, aflora al este de la falla Cerro de Pasco (Dominio Oriental y Dominio Nororiental) y al oeste del lago Junín (Dominio Suroccidental), cerca de la hacienda Diesmo Viejo. La Formación Aramachay sobreyace en forma concordante a la Formación Chambará e infrayace de igual forma a la Formación Condorsinga.

**Litología y ambiente de sedimentación.** Litológicamente se diferencian 3 dominios claramente marcados. El primero se encuentra en el Dominio Oriental, al este de la falla Ticlacayán y al noreste de Carhuamayo; tiene menos de 50 m de espesor y está conformada por pequeños estratos de lutitas negras bituminosas con ammonites, las cuales están Intercaladas con calizas de color gris oscuro con olor fétido.

En el Dominio Nororiental, entre las fallas Cerro de Pasco y Milpo- Atacocha, se ha considerado como Formación Aramachay a una secuencia que sobrepasa los 400 m de espesor y está conformada por calizas mudstone con estratificación ondulada, y lutitas negras en estratos pequeños.

En el Dominio Suroccidental, al sur de la hacienda Diesmo Viejo, la Formación Aramachay está compuesta por areniscas limosas amarillentas en estratos menores de 30 cm con presencia de ammonites.

**Edad.** La Formación Aramachay es la unidad más fosilífera del Grupo Pucará. En el centro del Perú, dentro de la Formación Aramachay, se ha encontrado fauna que está en el rango del Rehatiano Superior a Sinemuriano (Mégard, 1978; Rosas & Fontboté, 1995; Cobbing et al., 1996). En el Dominio Suroccidental, al sur de la hacienda Diesmo Viejo, se han encontrado, en un mismo estrato, *Amioceras ceratitoides* QUENSTEDT (Sinemuriano) y *Arietites ceratitoides* QUENSTEDT (Rehatiano-Sinemuriano).

En el Dominio Nororiental, en la quebrada Chicrín, se han encontrado *Angulaticeras aff. A. Ventricosum* SOWERBY (Hettangianomedio-Sinemuriano superior), *Epophioceras aff. A. Carinatum* (Sinemuriano

superior) y *Vermiceras cf. V. Spiritissimum* QUENSTEDT (Hettangiano medio-Sinemuriano superior).

Teniendo como base los ammonites, se concluye que, en la zona de Cerro de Pasco, la Formación Aramachay está comprendida entre el Rehatiano superior-Sinemuriano, e Incluso puede abarcar el Pliensbachiano Inferior.

### **Formación Condorsinga: Pliensbachiano - Bajociano**

***Definición y relaciones estratigráficas.*** La Formación Condorsinga aflora en la parte oriental del Cuadrángulo de Cerro de Pasco, es decir, al este de la falla Cerro de Pasco (Dominio Oriental y Dominio Nororiental). Sobreyace siempre a la Formación Aramachay, e infrayace al Grupo Goyllarisquizga.

***Litología y ambiente de sedimentación.*** En el Dominio Oriental, al este de Carhuamayo, la Formación Condorsinga está compuesta por calizas fosilíferas con algunas dolomitas y está en contacto por medio de fallas Inversas con la Formación Chambará. En el Dominio Suroccidental, al oeste del lago Junín, la Formación Condorsinga está compuesta por estratos menores a 50 cm de calizas grises, marrones con Intercalaciones de algunas lutitas y areniscas verdes con clastos de cuarzo. Estructuralmente, en este sector, la Formación Condorsinga está afectada por pliegues que podrían ser sin sedimentarlos. En el Dominio Nororiental, al este de Cerro de Pasco, la Formación Condorsinga está compuesta por calizas oscuras con chert y algunas calizas nodulosas.

***Edad.*** A pesar del gran número de fauna encontrada dentro de la Formación Condorsinga, no se han encontrado fósiles diagnósticos. La parte superior de la Formación Condorsinga es asumida hasta el Toarciano o Bajociano como lo sugiere Mégard (1978).

#### **4.1.2.5. JURÁSICO SUPERIOR - CRETÁCICO INFERIOR**

Sobre las calizas del Grupo Pucará, se encuentran en aparente concordancia secuencias detríticas del Grupo Goyllarisquizga. Esta unidad marca una pausa en la sedimentación marina, ya que sobre estas secuencias se encuentran en forma progresiva secuencias calcáreas del Cretácico medio-superior.

#### **Grupo Goyllarisquizga: Jurásico superior- Cretácico inferior**

Definido por Jenks (1951) como Formación «Areniscas Goyllarisquizga Jatunhuasi», Wilson (1963) lo elevó a la categoría de grupo, incluyendo a toda la serie clástica y calcárea que aflora en la cuenca Cretácica Occidental del centro y norte andino del Perú.

En la Cordillera Occidental, el Grupo Goyllarisquizga está conformado por las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat. En la zona de estudio, se han determinado 3 formaciones que, de acuerdo a sus similitudes litológicas con el Grupo Goyllarisquizga de la Cordillera Occidental, se les ha denominado formaciones Chimú, Santa-Carhuaz y Farrat. En el Dominio Central, afloran las tres formaciones; y en el Dominio Nororiental, solo las 2 primeras.

#### **Formación Chimú: Jurásico superior-Cretácico inferior**

***Definición y relaciones estratigráficas.*** Fue definida por Benavides (1956), en la localidad de Baños, departamento de La Libertad. En la zona de estudio, solo aflora ampliamente en el Dominio Nororiental, exactamente en los sinclinales de Paraíso y Chaucana; en el Dominio Central, solo aflora en la parte más septentrional; en el Dominio Suroccidental, aflora

discretamente al oeste del lago Junín; y en el Dominio Occidental, aflora en contacto fallado sobre la Formación Chúlec.

El espesor de la Formación Chimú puede sobrepasar los 150 m. El contacto Inferior aparentemente es concordante o en leve discordancia con el Grupo Pucará, mientras que, al techo, el contacto es progresivo con las formaciones Santa-Carhuaz.

**Litología y ambiente de sedimentación:** La parte Inferior de la Formación Chimú está compuesta por areniscas gruesas a conglomerádicas con Intercalaciones de conglomerados con clastos subredondeados de cuarcita, y niveles de carbón que fueron explotados en las localidades de Goyllarisquizga y Yaucancho.

**Edad.** En la zona de estudio no se han encontrado fósiles dentro de la Formación Chimú. Sin embargo, en la Cordillera Occidental, reportó *Weishela peruviana*, *Thuites leptocladoides* y *Otogamites peruvianus* y Reyes (1980), *Berrisella* y *Aspidoceras*. De acuerdo a la posición estratigráfica, generalmente se le asigna al Cretácico inferior, pero puede llegar hasta el Tithoniano.

#### **Formaciones Santa-Carhuaz: Valanginiano-Berraminano**

**Definición y relaciones estratigráficas.** Benavides (1956) definió como Formación Santa a una secuencia calcárea que se encuentran en el río Santa y, como Formación Carhuaz a una secuencia de areniscas rojas que se encuentran en los alrededores del pueblo de Carhuaz. En el cuadrángulo de Cerro de Pasco, las formaciones Santa y Carhuaz se han agrupado, debido a que la continuidad de la Formación Santa no es notoria, y solo aparecen niveles calcáreos en algunos afloramientos. El cartografiado de la

Formación Santa se reserva para un trabajo de mayor detalle, porque no aflora en toda la zona de estudio; cartografiarla a la escala 1/50 000 Induciría a errores.

Las formaciones Santa-Carhuaz afloran ampliamente en la zona de estudio. En el Dominio Suroccidental, tienen 150 m de espesor, sobreyacen a la Formación Chimú e infrayacen a la Formación Farrat. En el Dominio Central, pueden llegar a tener 150 m de espesor, y sobreyacen concordante y progresivamente a la Formación Chimú, e infrayacen en igual forma a la Formación Farrat. Finalmente, en el Dominio Nororiental, al este de la zona de estudio, alcanzan los 300 m de espesor, sobreyacen concordantemente a la Formación Chimú, e infrayacen a la Formación Farrat o en discordancia a la Formación Chayllacatana y/o a la Formación Chúlec del Albiano Inferior.

***Litología y ambiente de sedimentación.*** Las formaciones Santa-Carhuaz están compuestas por areniscas rojas con laminación cruzada intercalada con lutitas y limos masivos. Calizas y calcarenitas se encuentran intercaladas a manera de lentes y en diferentes posiciones de la columna estratigráfica. Al oeste del lago Junín, la base está compuesta por areniscas cuarzosas blancas y verdosas, de grano fino a medio intercaladas con lutitas grises y calizas arenosas amarillentas. El techo está compuesto por areniscas cuarzosas de grano medio intercaladas con lutitas rojas. El medio de sedimentación de las formaciones Santa-Carhuaz corresponde a un sistema fluvial con intervenciones de mareas, las cuales han dejado niveles calcáreos.

***Edad.*** En la zona de estudio, no se han encontrado fósiles; a pesar de ello, Benavides (1956) atribuye a la Formación Santa una edad valanginiana, y a

la Formación Carhuaz una edad Valanginiano superior-Aptiano. En la zona de estudio, en el contacto entre las formaciones Santa-Carhuaz y Farrat, se ha encontrado el gasterópodo *Paraglauconia cf. P.* que se encuentra en la Formación Santa de la región de Huaraz (Benavides, 1956).

### **Formación Farrat: Berraminano-Albiano inferior**

**Definición y relaciones estratigráficas.** Fue descrita por Stappenbeck (1929), en la hacienda Farrat, departamento de Cajamarca. En la zona de estudio, aflora principalmente en el Domino Central, en la laguna Verdecocha, en donde alcanza cerca de 180 m de espesor y sobreyace progresivamente con las formaciones Santa-Carhuaz, e infrayace en Igual forma a las calizas de la Formación Chúlec. En la parte noreste, en el Dominio Nororiental (hoja 22-k, I), la Formación Farrat aflora parcialmente o puede estar erosionada totalmente.

**Litología y ambiente de sedimentación.** La Formación Farrat es una secuencia de areniscas cuarzosas blanco amarillentas con intercalaciones de limos y areniscas calcáreas con restos de plantas al techo (cartografiada en otros estudios como la Formación Pariahuanca). La Formación Farrat se ha depositado en un ambiente de ríos distales cercanos a la playa, la cual fue Invasión progresivamente por el mar de la Formación Chúlec.

**Edad.** En la zona de estudio, en la base del Formación Farrat, dentro de las secuencias de areniscas y limos calcáreos, se han encontrado los gasterópodos *Paraglauconia cf. P.* que se encuentra en la Formación Santa de la región de Huaraz (Benavides, 1956), acompañado de *Strombifonvis V. SCHLOTHEIM* y bivalvos indiferenciados. Esto Indica que la secuencia de

areniscas de la Formación Farrat en la zona de estudio puede abarcar desde el Barremiano hasta el Albiano Inferior.

#### **2.2.1.6. CRETÁCICO MEDIO - SUPERIOR**

Luego de la sedimentación continental del Grupo Goyllarisquizga se encuentra una secuencia volcánico-sedimentaria de la Formación Chayllacatana, del Cretácico medio a superior, seguida de secuencias carbonatadas de origen marino, pertenecientes a las formaciones Chulee, Pariatambo y Jumasha.

#### **Formación Chayllacatana: Albiano inferior**

***Definición y relaciones estratigráficas.*** Fue estudiada por primera vez por Me Laughlin (1924); luego por Steinmann (1930), quien la denominó como Formación Andina; Yates et al. (1951) la denominan volcánicos Chayllacatana. Posteriormente, Mégard (1968) reconoce a esta unidad y Romero et al. (2004) presentan las primeras interpretaciones durante el Albiano inferior del Perú central. En el antiguo mapa del Cuadrángulo de Cerro de Pasco, la Formación Chayllacatana fue cartografiada como parte del Grupo Goyllarisquizga o como sill de basalto (Quispesivana, 1996).

La Formación Chayllacatana en el Dominio Nororiental, entre Milpo, Atacocha, Paraíso, Ticlacayán y el cerro Parará, tiene 130 m de espesor y sobryace discordantemente al Grupo Goyllarisquizga o directamente al Grupo Pucará. En el Dominio Suroccidental, al oeste del lago Junín, la Formación Chayllacatana tiene 150 m de espesor, sobryace concordantemente al Grupo Goyllarisquizga e infrayace en igual forma a la Formación Chulee.



***Litología y ambiente de sedimentación.*** En el Dominio Central, en el caserío de Cochamarca (quebrada Jarachuco), la empresa RTZ Mining and Exploration realizó tres perforaciones diamantinas que atravesaron una secuencia volcano-sedimentaria a la cual le denominaron como Grupo Mitú. Sin embargo, el estudio realizado por Cueva (2008) en los mismos testigos de perforación Indica que bajo la pampa de Bombón se encuentra la Formación Chayllacatana constituida por dos miembros: miembro A sedimentario y miembro B volcánico.

El Sondaje BBD-003-95 está ubicado en la quebrada Jarachuco, en las coordenadas UTM: N 8797046, E 356646; y ha atravesado 300.8 m. En este sondaje, se han Identificado los miembros A y B de la Formación Chayllacatana. El miembro A tiene 78.8 m de espesor; la base está conformada por conglomerados con clastos de volcánicos, subangulosos a subredondeados de 3 cm de diámetro y matriz limosa, intercalados con areniscas y lutitas; forman elementos arquitecturales SB y FF. La parte media y superior están conformados por areniscas finas con limolitas y esporádicos conglomerados con clastos subangulosos a subredondeados de 2 cm de diámetro, envueltos en una matriz limosa; forman los elementos arquitecturales SB y FF. El análisis de elementos arquitecturales del miembro A Indica que el medio sedimentario corresponde a un sistema de ríos entrelazados con llanuras de inundación (Cueva, 2008).

El miembro B tiene 153.37 m de espesor. Está compuesto por lavas basálticas de coloración gris verdosa a gris verdosa oscura, muy fracturadas, textura porfirítica. Macroscópicamente, estas lavas son de color verde de textura porfirítica con cristales de plagioclasa, tienen espacios

vacíos o vacuolas de 1.1 cm de diámetro y fracturas de 2 a 3 cm de ancho; ambas están rellenas con calcita, calcedonia, clorita (cloritización) y vidrio volcánico.

De acuerdo a la descripción microscópica, se trata de un basalto de textura porfírica con fenocristales subhedrales de plagioclasa alterada a arcilla, envueltos en una matriz de microlitos de plagioclasa. Mediante el análisis de espectrograma, los picos más altos indican el mayor contenido de minerales en porcentaje, como son albita (27.83%), cuarzo (7.94%), calcita (12.33%), montmorillonita (10.65%), dolomía (10.50%), magnetita (4.57%) y otros (36.58%). La geoquímica de elementos mayores en muestras tomadas por Cueva (2008) y analizadas en el diagrama T. A. S., según Middiemost (1994), indican que los niveles volcánicos corresponden a basaltos y basaltos de olivino. La composición modal de la roca; según el diagrama Le Bas (1996) pertenece a la serie alcalina.

Las lavas de la Formación Chayllacatana son basaltos alcalinos intracontinentales, originados por la fusión parcial del manto subcontinental enriquecido. Su emplazamiento se produjo bajo un régimen tectónico distensivo y no muestra ninguna huella de un régimen de subducción (Soler, 1989).

En el Dominio Nororiental, Romero et al. (2005) realizaron dos columnas estratigráficas. La primera fue levantada en el sinclinal de Paraíso; empieza con limolitas y lutitas rojas seguidas de areniscas rojas, las cuales pasan a basaltos de olivino fuertemente meteorizados intercalados con secuencias delgadas de areniscas menores a 2 m de espesor. La segunda columna, levantada en el anticlinal de Ticlacayán muestra en la parte inferior una

Intercalación de areniscas y limolitas rojas, en cuya parte media se intercala un banco de arenisca cuarzosa blanca. En la parte superior, se encuentran basaltos de olivino con estructuras de almohadilla (pillow).

**Edad.** Al sureste de la zona de estudio, Noble et al. (2001) dataron un basalto por el método Ar40/Ar39 en  $109 \pm 1.6$  Ma, lo cual indica el Albiano. Este nivel volcánico pertenece a la parte superior de la Formación Chayllacatana y, por estar infrayaciendo a la Formación Chulee (Albiano), se le asigna la edad de Albiano Inferior.

### **Formación Chúlec: Albiano**

**Definición y relaciones estratigráficas.** Fue estudiado inicialmente por Me Laughlin (1924), en la región central del Perú. La denominó como miembro Inferior de las calizas Machay. Luego, Benavides (1956) la elevó a la categoría de Formación Chúlec. En el cuadrángulo de Cerro de Pasco, la Formación Chúlec aflora en el Dominio Occidental, en la parte noroeste de la hoja 22-k, IV; tiene 300 m de espesor y sobreyace de manera progresiva al Grupo Goyllarisquizga e infrayace concordantemente a la Formación Pariatambo.

En el Dominio Nororiental, en el sinclinal de Milpo-Atacocha y Paraíso, se encuentra concordantemente sobre la Formación Chayllacatana, y puede llegar a los 200 m de espesor. Al este de La Quinua y Pariamarca, sobreyace en discordancia a la Formación Chayllacatana, a la Formación Santa-Carhuaz o directamente al Grupo Pucará, e infrayace a la Formación Pariatambo.

En el Dominio Suroccidental, cerca al poblado de Huaygagam, solo afloran 30 m de calizas; sobreyace en forma concordante a la Formación

Chayllacatana e infrayace en contacto discordante angular a la Formación Huayllay.

***Litología y ambiente de sedimentación.*** La litología está compuesta principalmente por calizas. Tanto en los dominios Occidental, Central y Nororiental, la Formación Chúlec puede ser dividida en dos miembros: Inferior y superior.

### **Formación Pariatambo**

***Definición y relaciones estratigráficas.*** Esta formación fue inicialmente descrita por Me Laughiin (1924), como miembro superior de la Formación Machay; posteriormente, Benavides (1956) la elevó a la categoría de formación. Su nombre proviene del paraje de Pariatambo cerca del poblado de La Oroya, en el departamento de Junín.

En los dominios Occidental y Nororiental, la Formación Pariatambo sobreyace de manera progresiva a la Formación Chulee y en Igual circunstancia infrayace a la Formación Jumasha.

***Litología y ambiente de sedimentación.*** En el Dominio Nororiental, entre Milpo, Atacocha, Paraíso y los alrededores de Pariamarca, sobre la Formación Chulec y debajo de la Formación Jumasha, se ha caligrafiado como Formación Pariatambo una secuencia compuesta de lutitas y areniscas rojas con Intercalaciones de lavas basálticas y conglomerados. En total, esta secuencia puede llegar a medir 50 m de espesor (Johnson, 1955). En el Dominio Suroccidental, al sur de la hacienda Diesmo Viejo, se tiene una secuencia de calizas que en edad corresponden a la Formación Pariatambo, pero por cuestiones de litología y calidad de afloramientos ha sido Incluida dentro de la Formación Chúlec.

En el Dominio Occidental, en la carretera Cerro de Pasco- Yanahuanca, la Formación Pariatambo tiene entre 40 y 60 m de espesor. Está compuesta por calizas oscuras en estratos de 40 cm y lutitas negras en estratos que pueden llegar hasta 70 cm. El ambiente sedimentario corresponde a una plataforma carbonatada profunda.

### **Formación Jumasha: Albiano superior- Turoniano**

**Definición y relaciones estratigráficas.** Descrita inicialmente por Me Laughlin (1924) en el caserío de Jumasha y en la laguna Punrún. Aflora en el Dominio Occidental alcanzando 150 m de espesor; sobreyace concordantemente a la Formación Pariatambo e infrayace en discordancia angular la Formación Pocobamba. Al norte de la laguna Punrún, se encuentra la proyección de los afloramientos del Cuadrángulo de Oyón (22-j), que salen por medio de una falla Inversa convergente al este. En el Dominio Nororiental, en el núcleo del sinclinal de Milpo-Atacocha y Paraíso, las calizas de la Formación Jumasha están replegadas sobreyaciendo a las secuencias volcano-sedimentaria de la Formación Pariatambo y tienen 250 m de espesor.

**Litología y ambiente de sedimentación.** En el Dominio Occidental, la parte inferior de la Formación Jumasha está compuesta por limoarcillitas negras intercaladas con delgados estratos de calizas grises, que hacia la parte superior pasan a calizas grises en estratos delgados a medianos; la parte media está compuesta por calizas grises en estratos gruesos de 8 m de espesor. Finalmente, la parte superior está compuesta por calizas en estratos delgados tabulares intercalados con delgados estratos de limoarcillitas grises.

En el Dominio Nororiental, en Paríamarca, la Formación Jumasha está compuesta por Intercalaciones de calizas y lutitas verdosas, mientras que en el sinclinal de Milpo-Atacocha está compuesta por calizas grises deslizadas.

La sedimentación de la Formación Jumasha corresponde a una plataforma poco profunda en la base y más somera al techo.

**Edad.** No se han encontrado fósiles. Por sobreyacer a la Formación Pariatambo del Albiano medio, se asume una edad Albiano superior-Turoniano, al igual que en el centro del Perú y en la Cordillera Occidental.

#### **2.2.1.7. PALEÓGENO**

Luego de la sedimentación marina del Cretácico medio-superior, se encuentran en discordancia angular las secuencias continentales terciarias, las cuales han sido emplazadas en un régimen tectónico compresivo.

#### **Formación Pocobamba: Eoceno inferior**

**Definición y relaciones estratigráficas.** Esta unidad sedimentaria fue mencionada por Me Laughlin (1924); luego, Jenks (1951) la asume como Formación Casapalca y la divide en tres miembros: miembro inferior, conglomerado Shuco y miembro Calera; posteriormente, Cobbing et al. (1996) siguen la nomenclatura de Jenks. Todos los autores mencionados realizaron sus estudios entre Colquijirca y Cerro de Pasco, hasta que Cueva (2008) y Cueva et al. (2008) realizaron estudios de la Formación Pocobamba entre Huayllay y la laguna Punrún, en el extremo sureste del cuadrángulo de Cerro de Pasco (hoja 22-k, III).

En Cerro de Pasco, la Formación Pocobamba puede alcanzar 300 m de espesor, y descansa en discordancia angular sobre las calizas del Grupo Pucará; y localmente, sobre el Grupo Mitú.

En la zona de Huayllay-laguna Punrún, Cueva (2008) y Cueva et al. (2008) dividieron a los sedimentos cenozoicos en 5 secuencias: A, B, C, D y E, y realizaron las correlaciones estratigráficas con la zona de Cerro de Pasco-Colquijirca. Pensamos que las secuencias A y B pueden ser equivalentes al miembro Cacuán; y la secuencia C, al miembro Shuco; en tanto que las secuencias D y E son equivalentes a la Formación Calera.

Entre La Quinoa y Ticlacayán, en la margen derecha del río Huallaga, se encuentran afloramientos de la Formación Pocobamba con más de 1000 m de espesor, sobreyaciendo en discordancia angular a la Formación Chúlec. En este lugar, se ha determinado dos secuencias que pueden corresponder a los miembros Cacuán y Shuco de la zona de Colquijirca- Goyllarisquizga. Finalmente, al norte de Ninacaca existen unos afloramientos atribuidos a la Formación Pocobamba, los cuales están en contacto fallado con las calizas del Grupo Pucará.

Al oeste de Quicay, en la carretera Cerro de Pasco-Uchucchacua, Rodríguez (2003) denominó a una secuencia pelítica de color rojo, con intercalaciones conglomerádicas con clastos de cuarcitas y calizas como Formación Llacsacocha, debido a la similitud que existe con la secuencia de la laguna Llacsacocha en el cuadrángulo de Ondores (Jacay, 1994). Sin embargo, ahora por las comparaciones realizadas con el estudio de Cueva (2008), estas secuencias corresponden a la Formación Pocobamba.

***Litología y ambiente de sedimentación.*** La Formación Pocobamba ha sido dividida en dos miembros cartografiables: Cacuan y Shuco (Ángeles, 1999).

El miembro Cacuan está compuesto a la base por conglomerados con clastos subangulosos a subredondeados de diferente composición, predominando su composición según los aportes y la proximidad de afloramientos preexistentes. En efecto, en los alrededores de Cerro de Pasco, los clastos son de caliza del Grupo Pucará y areniscas de los grupos Mitu y Goyllarisquizga; mientras que en la zona de Huayllay-Laguna Punrún los clastos son principalmente de cuarcitas con algunas calizas. Ángeles (1999), en Colquijirca-Cerro de Pasco, determinó que la base del miembro Cacuan está formada por secuencias granocrecientes de 10 a 25 m de espesor compuestas por lutitas, areniscas con laminación en artesa y conglomerados con clastos subredondeados e imbricados. En la zona de Huayllay, Cueva (2008) indica que los conglomerados del miembro Cacuan están intercalados con areniscas cuarzosas con laminación oblicua y limonitas, que forman secuencias granodecrescentes de 10 a 25 m.

En Cerro de Pasco, hacia la parte media y al tope, se encuentran calizas lagunares blanquecinos y grises con presencia de sílex y chert (Ángeles, 1999); mientras que en Huayllay-laguna Punrún, las calizas se intercalan con conglomerados. Al este de La Quinoa, el miembro Cacuan está compuesto por areniscas y lutitas rojas con presencia esporádica de conglomerados; por lo general, toda su litología es de color rojo.

La dirección de aportes para el miembro Cacuan por lo general es al suroeste o sur (Ángeles, 1999; Cueva, 2008; Cueva et al., 2008). Hacia la



parte superior, la dirección de aportes en la zona de Huayllay-Laguna Punrún es al noreste (Cueva, 2008).

**Edad.** Al noroeste de Colquijirca y al norte de Cerro de Pasco (Chichuraquina), Noble & Vidal (no publicado, en Noble et al., 2005) realizaron dataciones radiométricas en niveles volcánicos Intercalados con secuencias conglomerádicas que indican edades de 39.2 y 41 Ma, respectivamente. Estas dataciones pueden corresponder al miembro Shuco, ya que la base de la Formación Calera está datada en 36 y 37 Ma (Noble et al., 1999).

### **Formación Calera: Eoceno superior-Oligoceno**

**Definición y relaciones estratigráficas.** Me Laughlin (1924) le llamó caliza Calera. Me Kinsty (Jenks, 1951) le asigna la categoría de formación; recategorizada por Jenks (1951) como miembro Calera de la Formación Pocobamba. La Formación Calera sobreyace a la Formación Pocobamba en leve discordancia angular. Sus mejores afloramientos están en la mina Colquijirca y constituye la roca huésped para la mineralización. Igualmente, se encuentra en la zona de Huayllay-laguna Punrún (Cueva, 2008).

**Litología y ambiente de sedimentación.** La Formación Calera, en la parte Oriental del Dominio Central, dividida en tres miembros (Ángeles, 1999); y en la zona de Huayllay-laguna Punrún en dos miembros (Cueva, 2008).

El miembro Inferior (64 m) en la localidad de Calera (cerca a Cerro de Pasco) está compuesto por conglomerados con clastos angulosos provenientes del Grupo Pucará, Intercalados con limos, lutitas y delgados niveles de tobas riolíticas. El miembro Inferior de la Formación Calera es la

roca huésped de la «brecha mineralizada», en el flanco norte del yacimiento de alta sulfuración de Marcapunta (Sarmiento, 2004).

El miembro inferior entre Huayllay-laguna Punrún (402 m) está compuesto en la base por conglomerados con clastos volcánicos subangulosos a subredondeados con diámetro mayor de 15 cm, Intercalados con areniscas de grano medio a grueso. Hacia el techo, se encuentran intercalaciones de areniscas de grano medio y lutitas con niveles de calizas. Las paleocorrientes de clastos Imbricados indican que el sentido de aporte fue al suroeste.

El miembro medio es las facies más conocidas de la Formación Calera, de acuerdo a las columnas de Jenks (1951). En la localidad de Calera, alcanza 55 m de espesor; a la base es casi enteramente calcárea, con abundancia de sílex con gasterópodos, bivalvos y madrigueras; y al techo están presentes calizas margosas e Intercalaciones de lutitas gris verdosas, probablemente derivadas de piroclastos. En Colquijirca, el miembro medio tiene un espesor entre 50 a más de 200 m, y es la roca huésped de los «Mantos Mineralizados», trabajados en minería subterránea por cobre arsenical (Sarmiento, 2004).

El miembro superior parece existir al sur de la laguna Cuchis Grande, bajo un terreno casi totalmente cubierto por acarreos glaciares y fluvio-glaciares (Ángeles, 1999). Su mejor exposición se halla en Colquijirca. Se compone de delgadas alternancias de lutitas, limolitas, areniscas, dolomías margosas, dolomías, cherty además abundante contenido de materia orgánica. La sedimentación del miembro inferior de la Formación Calera es Interpretada como una retrogradaron de un sistema fluvial entrelazado, que provenía del

noreste, erosionando un relieve volcánico activo y un relieve originado por la falla Cerro de Pasco. Luego se pasa, en el miembro medio, a un ambiente lacustrino con Intervención de un ambiente volcánico.

**Edad.** Dentro de la Formación Calera, se han encontrado Planórbideo *Drepanotrema* sp., al que no se consideró una edad precisa (Jenks, 1951). También se han reportado carofitas que probablemente correspondan a *Actochara mitella* (atribuida al Cretácico superior-Cenozoico inferior). Estos restos fósiles no son diagnósticos para determinar la edad de la Formación Calera.

Noble et al. (1999) realizaron la primera datación radiométrica en biotita de una delgada toba ácida, ubicada en la base de la Formación Calera. Una de las dataciones se realizó al noroeste de Colquijirca, e Indica 39.2 Ma; y la otra, al norte de Cerro de Pasco, e indica 41 Ma. En consecuencia, la sedimentación de la Formación Calera empezó aproximadamente en el Eoceno superior, y probablemente se extendido hasta el Oligoceno.

#### **2.2.1.8. NEÓGENO**

##### **Formación Huayllay: Mioceno superior-Plioceno**

**Definición y relaciones estratigráficas.** La Formación Huayllay aflora en los alrededores del poblado de Huayllay, sobreyaciendo en discordancia angular a la Formación Pocobamba (Paleoceno- Eoceno medio) y al Grupo Pucará (Triásico superior-jurásico inferior).

**Litología y ambiente de sedimentación.** Se trata de ignimbritas de color blanco. La descripción microscópica Indica que se trata de un flujo de líticos y pómez de color gris amarillento y textura porfírica, con presencia de plagioclasa (65%), cuarzo (20%), biotita (10%) y fragmentos Líticos

polimícticos (5%). Esta composición es típica de un flujo dacítico con textura fluidal y matriz vítrea.

**Edad.** Las ignimbritas de la Formación Huayllay fueron datadas por el método K-Ar en  $6.2 \pm 0.2$  Ma (Cobbing et al., 1996) y en  $5.2 \pm 0.20$  Ma (Farrar & Noble, 1976). Estas dataciones ubican a las ignimbritas de la Formación Huayllay en el Mioceno superior al Plioceno.

### **Formación Jeroc: Plioceno**

**Definición y relaciones estratigráficas.** Mégard (1978) la consideró como sedimentos cuaternarios no deformados, y Quispesivana (1996) la cartografió como parte de la Formación Casapalca. En el presente estudio se ha cartografiado como Formación Jeroc a una secuencia conglomerádica que no está deformada y se encuentra al noroeste de la planicie del lago Junín.

Estratigráficamente sobreyace en discordancia a la Formación Pocobamba y a cuerpos intrusivos de composición dacita- andesítica, que se encuentran en la planicie del lago Junín.

**Litología y ambiente de sedimentación.** La Formación Jeroc está compuesta por gravas o conglomerados poco diagenizados con clastos subredondeados de calizas y volcánicos envueltos en una matriz areno-conglomerádica.

Estas gravas corresponden a un relleno de abanicos aluviales distales y río proximales que provenían del oeste. Actualmente, forman las terrazas fluviales de la cuenca hidrográfica del lago Junín.

**Edad.** Debido a que en la matriz de los conglomerados se encuentra material tobáceo erosionado de las tobas de la Formación Huayllay

(Mioceno superior-Plioceno), se asume que la edad de la Formación Jeroc es Plioceno.

### **2.2.1.9. DEPÓSITOS CUATERNARIOS**

#### **Depósitos morrénicos**

Estos depósitos son productos de la última glaciación y se ubican sobre los 4100 msnm, a manera de lomas con cresta morrénica bien definida. Están constituidos por bloques y gravas en una matriz areno-limosa, pobremente clasificada, a veces leve pseudoestratificación como testigo de fusiones estacionales durante el periodo glaciario.

#### **Depósitos aluviales**

Son depósitos inconsolidados que han sido acumulados por la combinación de procesos aluviales y fluviales. Están ubicados principalmente en las desembocaduras de las quebradas, especialmente de las que forman la red hidrográfica del lago Junín. Litológicamente, están compuestos por gravas, arenas y limos.

#### **Depósitos lacustre-aluviales**

Son depósitos que se encuentran en las orillas de las lagunas de la zona de estudio y se interdigitan con los depósitos aluviales. Están compuestos por limos y material orgánico con intercalaciones de gravas.

#### **Depósitos coluviales**

Se encuentran en la base de las laderas de los cerros. Son depósitos mal clasificados con clastos angulosos con bastante matriz areno-limosa y no presentan estratificación.

## **Depósitos antrópicos**

Son depósitos ocasionados por el hombre. Principalmente, se refiere a zonas de relaves y botaderos de las minas de la región.

Se encuentran cerca de fuentes termales ubicadas en las trazas de las fallas regionales, principalmente en el sistema Atacocha- Milpo-Ninacaca. Están compuestas por carbonato de calcio emplazado en capas.

### **2.2.2. Imágenes satelitales**

Toledo, 2008 [en línea] manifiesta que; una imagen satelital es una matriz digital de puntos capturada por un sensor montado a bordo de un satélite que órbita alrededor de la tierra. A medida que el satélite avanza en su órbita, barre la superficie con un conjunto de detectores que registran la energía reflejada. Las imágenes satelitales se encuentran en formato raster, el cual consiste en una matriz de miles de píxeles en donde cada pixel tiene un valor digital o de reflectancia.

En percepción remota, una imagen es elaborada mediante una matriz rectangular de valores del flujo de radiación electromagnética que corresponden a píxeles individuales.

El flujo de radiación electromagnética es proporcionado por la luz del sol, por lo que cada valor de pixel representa la medida de radiación electromagnética reflejada desde una pequeña área de la superficie de la tierra según la resolución de la imagen. La radiación reflejada contiene información acerca de:

- La naturaleza del material de la superficie de la tierra presente en al área del píxel.

- La posición topográfica del área del píxel, cuando existe referencia geográfica.
- El estado de la atmosfera a través de la cual la Radiación Electromagnética ha pasado.

Existen tres tipos principales de imágenes, que son obtenidas por medio de diferentes sensores (Chuvienco, 2013 en línea):

1. **Imagen Pancromática:** Es una imagen formada por una sola banda espectral. Para los sensores pancromáticos más modernos, esta única banda suele abarcar desde la parte visible al infrarrojo cercano del espectro. Los datos pancromáticos se representan por medio de imágenes en tonos de grises (blanco y negro).
2. **Imagen MultiEspectral:** Es un arreglo de imágenes satelitales adquiridas simultáneamente donde cada una de las imágenes registra un intervalo diferente de longitud de onda del espectro electromagnético. Estas se captan mediante un sensor digital que mide la reflectancia en muchas bandas. Por ejemplo, un conjunto de detectores puede medir energía roja reflejada dentro de la parte visible del espectro mientras que otro conjunto mide la energía del infrarrojo cercano. Es posible incluso que dos series de sensores midan la energía en dos partes diferentes de la misma longitud de onda. Estos distintos valores de reflectancia se combinan para crear imágenes de color. Los satélites de PR multiespectrales de hoy en día miden la reflectancia simultáneamente en un número de bandas distintas que pueden ir de tres a catorce.

**3. Imagen Hiperespectral:** Es una imagen formada por datos adquiridos a partir de un sensor espectral que mide la reflectancia en muchas bandas de rangos cortos de longitud de onda. La teoría en que se apoya la detección hiperespectral es que la medida de la reflectancia en numerosas franjas estrechas del espectro permite detectar características y diferencias muy sutiles entre los rasgos de la superficie, especialmente en lo que se refiere a vegetación, suelo y rocas.

### **2.2.3. Mapeos Geológicos**

El mapeo geológico es fundamental en cualquier proyecto de exploración. Una exploración eficaz requiere una comprensión profunda de los controles litológicos y estructurales de la mineralización. Estos conocimientos deben obtenerse a través del mapeo geológico en las etapas iniciales de un programa de exploración.

El mapeo es una herramienta de exploración rentable y un proceso generador de proyectos que entrega beneficios tangibles para todos los programas de exploración. Un buen mapa geológico no sólo sirve para orientar un programa de exploración, sino que también comunica claramente el potencial económico de un proyecto a los actores. (Rodríguez 2006 – en línea).

#### **Etapas de un proyecto de mapeo geológico:**

- Estudio de antecedentes.
- Análisis de fotos aéreas.
- Estratigrafía.
- Topografía en detalle



- Definición de unidades del mapeo.
- Mapeo estructural en terreno:
  - Mapeo estructural
  - Verificación con fotos aéreas y/o imágenes satelitales de alta resolución espacial
    - Dibujo del mapa.
    - Confección de perfiles.
    - Informe con descripción detallada.

Los mapas geológicos tienen una base topográfica (tal vez simplificada). Como informaciones topográficas importantes, se incorporan infraestructura (caminos, ferrocarriles), ríos, pueblos y curvas de nivel con cotas. No se traspasan tipo de vegetación, símbolos especiales topográficos. La base topográfica normalmente tiene solamente un color (negro o café).

#### **2.2.4. Definición sensores de teledetección**

Peguero (2012) los clasifica de la siguiente manera:

Los sensores de Teledetección son instrumentos que transforman la radiación electromagnética en información perceptible y analizable.

Tipos de sensores

Se pueden distinguir dos tipos básicos de sensores:

- **Captadores pasivos:** detectan la radiación electromagnética emitida o reflejada de fuentes naturales.

- **Captadores activos:** poseen fuentes internas que generan artificialmente la radiación (radar).

También podemos clasificar los sensores en:

- **No generadores de imágenes:** Trabajan en una sola longitud de onda y entre ellos se encuentran el altímetro y el magnetómetro.
- **Generadores de imágenes:** Operan en varias bandas, barriendo por franjas perpendiculares al desplazamiento del satélite.

### A. Sensores pasivos

Existe una amplia gama de ellos: sistemas fotográficos, radiómetros multi y hiperespectrales, espectrómetros de imagen.

Un radiómetro, es un sistema óptico-electrónico, que descompone la radiación recibida en varias longitudes de onda (bandas). Cada una de estas bandas se envía a un conjunto de detectores sensibles a esa región del espectro que la amplifican y la convierten en señal eléctrica y por un proceso de conversión analógico-digital, en un valor numérico conocido como Nivel Digital (ND).

Muchos sensores pasivos tienen sensibilidad multiespectral, lo cual significa que recogen simultáneamente datos de diferentes bandas espectrales. Las mediciones sobre diferentes zonas del espectro electromagnético, aportan una amplia información sobre distintos aspectos del medio ambiente. Por ejemplo, la radiación ultravioleta se utiliza para monitorizar los niveles de ozono en las

capas altas de la atmósfera. Las bandas visibles e infrarrojas permiten determinar la salud de la cubierta vegetal (cultivos, bosques). Los captadores sensibles a la radiación infrarroja térmica sirven para determinar la temperatura del suelo, de las nubes, y de la superficie de los mares.

## **B. Captadores activos**

Entre los sensores activos, distinguimos el radar y el lidar. (Chuvienco, 2016; citado por Cango, 2017)

El radar trabaja en una banda del espectro comprendida entre 1 mm y 1 m. Se basa en el principio de que las microondas artificiales enviadas en una dirección determinada chocan con los objetos y son dispersadas. La energía dispersada se recibe, se amplifica y se analiza para determinar la localización y las propiedades de los objetos. Puesto que puede medirse también el tiempo que tarda un pulso de radiación en ir y volver, puede conocerse la distancia recorrida y generar así modelos digitales de elevaciones. El radar es insustituible en zonas con cobertura nubosa persistente, debido a su capacidad para atravesar las capas nubosas.

El uso de longitudes de onda mayores, que no se encuentran en los espectros solares o terrestres, implica la necesidad de utilizar sensores activos, es decir aquellos que generan su propio flujo de radiación.

Su mayor ventaja es que debido a su elevada longitud de onda (muy superior al tamaño de las gotas de agua en la atmósfera) no resulta absorbida por esta, además al ser un haz artificial puede manipularse la forma en que se emite para, así, obtener el máximo de información. Las señales de radar se usan, entre otras aplicaciones, para el seguimiento de la retracción de los casquetes polares, como indicador del calentamiento global.

Ejemplos: El radar transportado por el satélite canadiense Radarsat y los satélites de la serie ERS de la Agencia Espacial Europea (ESA).

El LiDAR (*Light Detection And Ranging*) es un captador activo, análogo al radar, pero con tecnología láser. Se utiliza para topografía de precisión desde aviones.

#### **2.2.5. Analogías de sensores**

Goncalvez (2014) menciona que; Un sensor analógico es aquel que, como salida, emite una señal comprendida por un campo de valores instantáneos que varían en el tiempo, y son proporcionales a los efectos que se están midiendo; por ejemplo, un termómetro es un dispositivo analógico. La temperatura se mide en grados que pueden tener, en cualquier momento determinado, diferentes valores que son proporcionales a su indicador, o a su "salida" en caso de un dispositivo electrónico.

### **2.2.6. Tecnología de sensores**

Peguero (2012) manifiesta que la siempre creciente automatización de los complejos sistemas de producción, necesita la utilización de componentes que sean capaces de adquirir y transmitir información relacionada con el proceso de producción.

Los Sensores cumplen con estos requerimientos, y por ello se han convertido en los últimos años en componentes cada vez más importantes en la tecnología de medición y en la de control en bucle cerrado y abierto.

Los Sensores proporcionan la información al control en forma de variables individuales del proceso. Las variables de estado del proceso son, por ejemplo, variables físicas como temperatura, presión, fuerza, longitud, ángulo de giro, nivel, caudal, etc.

Hay sensores para la mayoría de estas variables físicas, que reaccionan con cada una de ellas y transfieren las correspondientes señales. Un sensor tiene las siguientes características:

Un sensor es un convertidor, que convierte una variable física (por ejemplo, temperatura, distancia, presión) en otra variable diferente, más fácil de evaluar (generalmente una señal eléctrica).

De este modo, otras expresiones adicionales a los Sensores son:

Codificadores (encoders), efectores, convertidores, detectores, transductores, iniciadores.

Incluso un simple final de carrera puede considerarse como un sensor. Dentro de un proceso controlado, los sensores representan los "perceptores" que supervisan un proceso, indicando los errores, recogiendo los estados y transmitiendo esta información a los demás componentes del proceso.

Un sensor no necesariamente tiene que generar una señal eléctrica. (Por ejemplo: Los finales de carrera neumáticos, producen una señal de salida neumática, en términos de cambio de presión).

Los sensores son dispositivos que pueden funcionar tanto por medio de contacto físico (por ejemplo, finales de carrera, sensores de fuerza), como sin contacto físico, (por ejemplo, barreras fotoeléctricas, barreras de aire, detectores de infrarrojos, sensores de reflexión ultrasónicos, sensores magnéticos, etc.)

Dentro de un proceso controlado, los sensores representan los "perceptores" que supervisan un proceso, indicando los errores, recogiendo los estados y transmitiendo esta información a los demás componentes del proceso.

### **2.2.7. Sistema de Clasificación de sensores**

Existe diversidad de sistemas de clasificación de sensores remotos. Los criterios empleados, en ningún caso, son excluyentes; esto significa que cualquier sensor estudiado, podrá ser incluido en todos los sistemas de clasificación. En general, los criterios aplicados en el presente sistema de clasificación, es el siguiente:

- Según Banda del espectro electromagnético de operación.
- Según Fuente emisora de energía.
- Según Información registrada.
- Según Mecanismos utilizados para captar la información.
- Según Tecnología utilizada para captar la información.
- Según Ubicación espacial de la fuente emisora y receptora.
- Según Otros criterios.

#### **2.2.7.1. Clasificación de sensores en función de la BANDA ESPECTRAL**

Peguero (2012) menciona que el criterio se basa en establecer el empleo de las bandas espectrales en percepción remota. Así, los sensores se clasifican en los siguientes grupos.

##### **2.2.7.1.1. Sensores que operan en la banda ultravioleta**

Esta banda incluye longitudes de onda comprendidas entre 0,004 - 0,400micrómetros (um). El empleo de esta banda de percepción remota, especialmente en relación con recursos naturales es limitado.

Se divide generalmente en cuatro regiones, de las cuales sólo las dos primeras son empleadas en percepción remota, pues las longitudes de onda de las otras dos, no atraviesan la atmósfera.

- UV Cercano 0,400 - 0,315 um. Utilizado en Percepción Remota.
- UV Medio 0,315 - 0,280 um. Utilizado en Percepción Remota.
- UV Lejano 0,280 - 0,010 um.
- UV Vacío 0,010 - 0,004 um.

Se denomina ultravioleta fotográfico a la región comprendida entre 0,3 y 0,4 micrómetros, ya que esta región es captada por emulsiones fotográficas.

#### **2.2.7.1.2. Sensores que operan en la banda visible**

Esta banda incluye longitudes de onda comprendidas entre 0,400 a 0,700 micrómetros (um). Corresponde a la banda del espectro más utilizada en percepción remota por ser hasta la fecha la más conocida y estudiada. Se han desarrollado, para esta banda, un gran número de sensores.

#### **2.2.7.1.3. Sensores que operan en la banda infrarroja**

Esta banda incluye longitudes de onda comprendidas entre 0,700 a 14,0 um. Es la banda del espectro comprendida entre la banda visible y la región de microondas. Su longitud de onda se extiende de 0,7 micrómetros hasta 1,0 milímetros, y en general se divide en tres bandas;



- IR Cercano; 0,7 - 1,3  $\mu\text{m}$ ; Cámaras fotográfica, y Barredor óptico -mecánico.
- IR Medio; 1,3 - 3,0  $\mu\text{m}$ ; Barredores óptico-mecánico.
- IR Lejano o Termal; 3,0 - 14,0  $\mu\text{m}$  (IR Termal); Radiómetros.

Los radiómetros operan en la banda infrarroja lejana o termal y en la banda de microondas. Se basa en la propiedad de esta banda, que la emisión de energía es detectada en forma de calor. La presencia de nube, lluvia, nieve, bruma, afectan la percepción, por lo que se exigen condiciones atmosféricas muy especiales. La utilización del infrarrojo se enmarca dentro de las ventanas atmosféricas previstas para esta región en el espectro.

#### **2.2.7.1.4. Sensores que operan en la banda de frecuencia extremadamente alta (EHF)**

Esta banda incluye longitudes de onda comprendidas entre 0,1 a 1,0 cm y frecuencias correspondientes al rango 30 a 300 GHz. Es una zona de transición ubicada entre las bandas de radiación infrarroja y de microondas. En esta zona se produce la absorción de la Radiación Electro-Magnética (REM) por parte del vapor de agua y del oxígeno, situación que limita su utilidad. Sin embargo, se han desarrollado algunos

sensores que emplean las citadas frecuencias extremadamente alta. Los sensores que operan en esta banda son:

- Algunos sistemas de radar y algunos radiómetros

#### **2.2.7.1.5. Sensores que operan en la banda de frecuencia súper alta (microondas)**

Esta banda incluye longitudes de onda comprendidas entre 0,3 a 330 cm. La frecuencia es súper alta. Por encima de los 13 GHz, la señal electromagnética es fuertemente atenuada por efecto de la absorción y dispersión producida por el vapor de agua, el oxígeno y la lluvia que se encuentran en la atmósfera. Es necesario utilizar las ventanas de transmisión disponibles para 35, 90, 140 y 225 GHz. Los instrumentos y equipos disponibles para esta banda de frecuencia súper alta son numerosos y muy avanzados. Operan tanto de día como de noche.

#### **2.2.7.1.6. Sensores que operan en la banda de frecuencia ultra alta (UHF)**

Esta banda abarca frecuencias comprendidas entre 300 MHz a 33 GHz. La lluvia y vapor de agua existente en la atmósfera, afectan muy poco a esta banda. Por tal razón, se han desarrollado sensores

casi independientes de las condiciones atmosféricas.

Además, pueden operar tanto de día como de noche.

Los sensores más utilizados son los radiómetros.

#### **2.2.7.1.7. Sensores que operan en frecuencias baja, media y alta (LF, MF, HF)**

Esta banda incluye frecuencias comprendidas entre 30 KHz a 30 MHz. Su uso ha sido tradicionalmente en el campo de las comunicaciones. Su empleo en percepción remota para recursos naturales es muy limitado, a pesar de que sus propiedades de propagación son muy conocidas.

#### **2.2.7.2. Clasificación de sensores en función de los mecanismos para captar información**

En un sentido muy amplio, y según los mecanismos para captar información, los sensores se clasifican en los siguientes grupos:

##### **2.2.7.2.1. Sensor fotográfico**

Es aquel sensor que se encuentra compuesto por cámara y película. En este grupo de sensores se concentra los diferentes tipos de cámaras y de películas, y se caracterizan porque todos operan bajo

el mismo principio. Las cámaras fotográficas utilizadas son:

- Cámara métrica
- Cámara panorámica
- Cámara multi-banda (multi-espectral).

#### **2.2.7.2.2. Sensor electro-óptico formador de imagen**

Este tipo de sensor, en base a los sistemas utilizados para captar información, es clasificado en tres grandes grupos:

- 1) Sensor de cuadro o formato; Es un sensor autosuficiente, dado que no necesita movimiento de barrido para captar imágenes de un área. El primer sensor de este tipo, fue el sistema de televisión, a partir del cual se desarrollan los sensores de vidicón. Se emplea pantalla foto sensitiva con un haz electrónico de barrido, que se coloca en el foco del sistema óptico gran angular.

Ej. Un sistema de este tipo fue usado en los programas LANDSAT 1 a 3 (RBV).

2) Barredor estático “pushbroom” o de arreglo lineal; También denominados Barredor no oscilante. Es un sensor que posee movimiento de barrido para captar imágenes de un área. Barre en una sola dirección por medio de lecturas electrónicas y requiere de un sistema auxiliar de movimiento o inclinación para barrer en el otro sentido. Para el desplazamiento sobre áreas relativamente grandes, necesita de una fuente externa para desplazarse en otro sentido. Este tipo de desplazamiento es proporcionado por la plataforma.

Ej. Un sistema de este tipo fue usado en los programas SPOT y MAPSAT.

3) Barredor mecánico; Es un sensor que posee movimiento de barrido para captar imágenes de un área.

Consta de una amplia variedad de sistemas de barrido, que pueden ser doble o sencillo. Barre de derecha a izquierda y requiere una fuente externa para desplazarse en otro sentido. Normalmente, esta última forma de movimiento, lo proporciona la plataforma portadora. Este tipo de barredor, ha sido ampliamente utilizado en estudios de

Recursos Naturales. Es transportado tanto por plataforma aérea como por plataforma espacial.

## **2.2.8. Modelos digitales:**

### **2.2.8.1. SRTM (30 metros – 1 arc/segundo)**

Los datos de elevación digital SRTM, producidos originalmente por la NASA, son un gran avance en el mapeo digital del mundo y proporcionan un gran avance en la accesibilidad de datos de elevación de alta calidad para grandes porciones de los trópicos y otras áreas del mundo en desarrollo. Los datos de elevación digital SRTM proporcionados en este sitio se han procesado para llenar los vacíos de datos y facilitar su uso por parte de un amplio grupo de usuarios potenciales. Estos datos se proporcionan en un esfuerzo por promover el uso de la ciencia geoespacial y las aplicaciones para el desarrollo sostenible y la conservación de recursos en el mundo en desarrollo. Los modelos digitales de elevación (DEM) para todo el mundo, que cubren todos los países del mundo, están disponibles para descargar en este sitio. Los SRTM de 30 m DEM tienen una resolución de 30 m en el ecuador y se proporcionan en mosaicos de mosaicos de 5 grados x 5 grados para facilitar su descarga y uso. Todos se producen a partir de un conjunto de datos sin fisuras para permitir el mosaico fácil. Están disponibles en formato ArcInfo ASCII y GeoTiff para facilitar su uso en una variedad de aplicaciones de procesamiento de imágenes y SIG. (Rodríguez *et al.*, 2005).

### **Características:**

- Consistió en 176 orbitas alrededor de la tierra en 11 días.
- Adquirió Digital Elevation Model (DEM) para todo el terreno entre la latitud 60°N y 56°S, 80% de la masa total de la superficie de la tierra.
- Útil para mapear terreno peligroso
- Calcula:
  - Pendiente y aspecto
  - Área de captación
  - Altitud de la cubierta del bosque
- Modelos:
  - Escorrentía
  - Redes de corrientes
  - Deslizamientos

### **Productos de datos de SRTM v3**

- Tamaño del píxel: 1 segundo de arco (~ 30 metros), 3 segundos de arco (~ 90 metros).
- Coordenadas geográficas: latitud geográfica y longitud.

- Formato de salida: DEMS: HGT, entero de 16 bits con signo, en unidades de vertical.
- Los metros. Número: NUM.
- Referencia geoidal: WGS84 / EGM96.
- Valores de DN especiales: N / A - Sin vacíos en V 3
- Cobertura: 60 ° N a 56 ° S latitud U.S. y territorios áfrica.

#### **2.2.8.2. ALOS PALSAR (12.5 metros):**

El satélite ALOS (satélite avanzado de observación de la tierra) de la agencia espacial japonesa (JAXA), cuenta con 3 sensores abordo, uno de mapeo estéreo de alta resolución (PRISM), radiómetro de espectro visible e infrarrojo (AVNIR-2) y radar de apertura sintética en banda L (PALSAR). PALSAR es un instrumento polarimétrico que puede operar en modo fine-beam con polarización cuádruple, doble y simple y modo ScanSAR con polarización simple. La frecuencia central que se utiliza para el modo Scan SAR es de 14 MHz. (Mitchel *et.al.*, 2012; citado por Cango, 2017).



**Tabla 1:** Características de ALOS PALSAR

Características	FBS	FBD	Direct downlink	ScanSAR	Polametric
Polarización	HH,VV	HH+HV,VV+VH	HH,VV	HH,VV	HH+VV+HV+VH
Ángulo incidente	8- 60 deg	8-60 deg	8-60 deg	18-43 deg	8-30 deg
Resolución en el alcance	7-44 m	14-88 m	14-88 m	100 m (multi look)	24-89 m
Resolución en el acimut	10 m(2 looks) 20 m(4 looks)			100 m	10m (2 looks) 20m (4 looks)
Ancho de barrido	40 – 70 km	40 – 70 km	40 – 70 km	250 -350 km	20 – 65 km

JAXA (Aerospace Exploration Agency) ofrece distintos niveles de procesamiento para sus productos, desde niveles con datos más crudos, hasta niveles mayormente calibrados.

**Tabla 2:** Definición de los niveles de procesamiento para productos ALOS PALSAR

Nivel	Definición
<b>1.0</b>	Los datos del área de 1 escena son extraídos de los datos recibidos. El tipo de dato es 8 bit. El número de archivos SAR es el mismo que el número de polarizaciones y modos polarimétricos. Los datos en modo ScanSAR no se dividen en escaneos individuales.
<b>1.1</b>	Los procesos de la comprensión en el alcance y en el azimut ya se realizaron. Los datos están en formato complejo en coordenadas del Slant Range. La historia de la fase está incluida.
<b>1.5</b>	Después de que la comprensión en el alcance y el azimut fueron realizadas. Las correcciones radiométricas y geométricas fueron generadas de acuerdo a las proyecciones de mapa. El espaciado de pixel puede ser seleccionado para el modo fino.

### **2.2.8.3 ASTER DEM (30 metros)**

El instrumento conocido como Radiómetro Espacial Avanzado de Reflectancia y Emisión Térmica (ASTER) está situado a bordo del satélite TERRA, lanzado en diciembre de 1999 como parte del Sistema de Observación Terrestre de la NASA (EOS). Los DEMs ASTER son generados usando bandas 3N (vista nadir) y 3B (vista atrás) de una imagen de Nivel 1-A ASTER, adquirido por el sensor del Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR). El DEM resultante tiene una resolución de 30 m en el ecuador. La exactitud horizontal y vertical es de 30 m. Usando puntos de control geodésico (GCP), la exactitud vertical puede mejorar a 7 m (Fujisada *et al.*, 2005).

El sensor ASTER DEM no solo nos provee de modelos digitales de terreno, aunque estos últimos son los que le han dado mayor promoción, también produce imágenes de alta resolución de la superficie de la tierra en 14 bandas (14 regiones específicas del espectro electromagnético), desde el rango del espectro visible hasta el infrarrojo termal.

La resolución de las imágenes de satélite va desde los 90 metros a los 15 metros

Los datos del ASTER son utilizados para crear mapas detallados de la temperatura de la superficie de la tierra, emisividad, reflectancia y elevación (MDE).

## **Especificaciones técnicas ASTER DEM**

- Formato de salida: GeoTiff 16 bits
- Georeferencia: coordenadas geográficas, elipsoide WGS84
- Referencia vertical: geoide EGM96
- Resolución espacial: 30 metros
- Cobertura: 83 Grados Norte ~ 83 Grados Sur
- Dimensiones de las escenas: 3601 pixeles por 3601 pixeles, 108,03 km por 108,03 km
- Exactitud: La exactitud de los modelos oscila según la web oficial entre los 7 y 14 metros.

### **2.3. Definición de términos básicos**

- **Cuadrángulo:** Se aplica a figuras geométricas que tiene cuatro ángulos que puede ser homogéneos o aplicado a un polígono de distintas formas que cumple con estas cualidades o características que todos tiene dos vértices y dos diagonales que forman 360 ° grados.
- **Cartografía:** Es una rama de la geografía que se encarga de figurar espacios terrestres en mapas o esferas, se ocupa de agrupar y analizar medidas y datos de regiones de la tierra, para representarlas gráficamente a distintas dimensiones lineales.
- **Exploración geológica:** Es búsqueda de un depósito mineral, utilizando una serie de proceso e indicadores geológicos que sirven

para localizar un lugar en la superficie de la tierra que tenga posibilidad de contener un yacimiento mineral.

- **Estratigrafía:** Es una rama de la Geología que trata del estudio e interpretación, así como de la identificación, descripción y secuencia tanto vertical como horizontal de las rocas estratificadas; también se encarga de la cartografía y correlación de estas unidades de roca, determinando el orden y el momento de los eventos en un tiempo geológico determinado, en la historia de la Tierra.
- **Geomorfología:** Es la ciencia que estudia las formas de la corteza terrestre. Con este nombre se suele designar la ciencia que estudia el origen y la evolución de la tierra firme emergida, pero puede estudiar también los fondos marinos.
- **LiDAR:** Light Detection and Ranging (Detección de luz y rango).
- **Modelo satelital:** Los modelos satelitales pueden definirse como unos repetidores radioeléctricos ubicados en el espacio, que reciben señales generadas en la tierra, las amplifican y las vuelven a enviar a la tierra, ya sea al mismo punto donde se originó la señal u otro punto distinto.
- **Mapeo:** Consiste en mostrar gráficamente, mediante símbolos y diagramas, sobre un plano topográfico de los accidentes geológicos que afloran en la superficie terrestre. Las diferentes rocas o formaciones geológicas y sus edades se representan mediante una trama de colores que las identifican.

- **Análisis multifractal:** Se usa para caracterizar sistemas dinámicos, procesos o construcciones geométricas, asignándoles una función llamada o espectro multifractal de singularidad.
- **Perfil:** Un perfil o corte geológico puede definirse como una sección vertical o perfil interpretativo de la geología superficial, para cuya realización se utilizan los datos obtenidos en el terreno.
- **Pendiente:** Es un declive del terreno y la inclinación, respecto a la horizontal, de una vertiente.
- **Regolito:** Es el término general usado para designar la capa de materiales no consolidados, alterados, como fragmentos de roca, granos minerales y todos los otros depósitos superficiales, que descansa sobre roca sólida inalterada.
- **Sensor:** Es todo aquello que tiene una propiedad sensible a una magnitud del medio, y al variar esta magnitud también varía con cierta intensidad la propiedad, es decir, manifiesta la presencia de dicha magnitud, y también su medida
- **SIG:** Sistema de Información Geográfica.
- **Teledetección:** Es la adquisición de información a pequeña o gran escala de un objeto o fenómeno, ya sea usando instrumentos de grabación o instrumentos de escaneo en tiempo real inalámbricos o que no están en contacto directo con el objeto (como por ejemplo aviones, satélites, astronave, boyas o barcos).
- **Yacimiento:** Es el lugar donde se hallan naturalmente las rocas, minerales, gases o fósiles.

## **2.4. Formulación de Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis General**

Los modelos digitales; SRTM, ALOS PALSAR Y ASTERDEM permiten obtener óptimas informaciones base para mapeos superficiales en la exploración geológica mineral.

### **2.4.3. Hipótesis específica**

- ❖ Los modelos digitales; SRTM, ALOS PALSAR Y ASTERDEM con sensores permiten delimitar el área de influencia para el mapeo cartográfico en la exploración geológica minera.
- ❖ Los modelos digitales con sensores presentan diferentes rangos de escalas en el mapeo de exploración geológica minera.
- ❖ Los modelos digitales con sensores permiten obtener mapas de lineamientos cartográficos geológicos mineros.
- ❖ Los tres modelos digitales con sensores presentan diferentes datos de interpretación visual de lineamientos geológicos mineros.

## **2.5. Identificación de variables**

### **2.5.1. Variables independientes**

- Los modelos digitales

### **2.5.2. Variable dependiente**

- Información de mapeos estructurales

### **2.5.3. Variables intervinientes**

- Clima

## **2.6. Definición operacional de variables e indicadores**

En el desarrollo de la investigación para los tres modelos digitales con sensores (SRTM, ALOS PALSAR Y ASTER DEM) se definieron las siguientes variables: a) Área de influencia, b) Rangos de escala, c) Lineamientos cartográficos y d) Lineamientos geológicos, para los cuales se evaluarán los indicadores: métodos topográficos terrestres, cartas geológicas, fotogrametría, interferometría y radar.

## CAPITULO III

### METODOLOGIA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación es aplicada, porque la aplicación de los modelos digitales nos permitirá obtener la amplificación de los puntos donde se originó la señal y plasmarlo en el plano a través de estructuras numéricas de datos representados por la distribución espacial de diversas variables; por lo que pertenece a una investigación aplicada según John W. Best, 1983...” *este tipo de investigación está enfocada en la solución de un problema más que sobre la formulación de teorías”.*

#### 3.2. Métodos de investigación

Se aplicó el método comparativo que consiste en la resolución y precisión de imágenes satelitales obtenidas por los tres modelos digitales (SRTM, ALOS PALSAR, ASTERDEM).



### **3.2.1. Etapa de campo**

#### **A. Delimitación del área de influencia**

Se usó la carta geológica el cual es la representación gráfica de los rasgos geológicos en el cual se delimitó con coordenadas UTM de la zona a ser explorada: 878 4000 y 360 000.

#### **B. Definición del nivel de escala**

Se definirá de acuerdo a criterios técnicos que se adoptaran para conducir el recojo de información. (la escala 1: 100 000 se definió por estándar de la cuadrícula y mayor visibilidad a trabajar)

### **3.2.2. Etapa de gabinete**

#### **A. Recopilación bibliográfica**

Se realizó la revisión, análisis y síntesis de información bibliográfica. Así como: publicaciones, artículos y boletines de congresos; simposios y foros de INGEMMET.

#### **B. Descarga de imágenes satelitales**

Se realizó la descarga de las imágenes satelitales SRTM, ALOS PALSAR y ASTER DEM y estas fueron procesadas mediante el software ArcGis 10.3

#### **C. Obtención del mapa de lineamientos**

Los lineamientos y estándares del cuadrángulo de Cerro de Pasco a escala 1:50 000 serán el resultado del taller de trabajo "Análisis del documento: Mapa Geológico de 1:50 000, lineamientos y estándares". Para el desarrollo de esta

investigación se usó la escala 1: 100 000, por ser la escala estándar en los modelos digitales.

#### **D. Análisis de fotos aéreas**

Se realizará el análisis de las fotos aéreas obteniéndose los siguientes datos:

- Estratigrafía.
- Topografía en detalle
- Definición de unidades del mapeo.
- Mapeo en terreno:
  - Mapeo estructural
  - Verificación con fotos aéreas
  - Levantamiento estructural
  - Dibujo del mapa.
  - Confección de perfiles.

#### **E. Comparación de los modelos digitales**

Los sensores SRTM, ALOS PALSAR y ASTERDEM aplicados para la interpretación visual de lineamientos geológicos del área de estudio nos permitirán realizar las diversas respuestas a nuestra investigación como la resolución y exactitud de la imagen satelital del cuadrángulo de Cerro de Pasco 22-k.

### **3.3. Diseño de Investigación**

El diseño tipo de investigación es correlacional.

### 3.4. Población y Muestra

#### 3.4.1. Población

Está constituido por un espacio geográfico representativo de la Carta Geológica.

#### 3.4.2. Muestra

Estará representada por los modelos de elevación SRTM, ALOS PALSAR y ASTER DEM que cubre Cerro de Pasco 22-k.

### 3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Variables	Indicadores	Técnicas	Instrumentos
Área de influencia.	Métodos topográficos terrestres	-Láser aerotransportado o satelital	-GPS -Lidar terrestre
Rangos de escala	Cartas geológicas	-Geología del cuadrángulo de Cerro de Pasco 22- k en escala 1: 100 000	-Software ArcGis.
Lineamientos cartográficos	fotogrametría, interferometría, radar	Planos topográficos del cuadrángulo de Pasco en su escala 1:100 000	-Software ArcGis.
Lineamientos geológicos	fotogrametría, interferometría, radar	Geología del cuadrángulo de Cerro de Pasco 22-k en escala 1: 100 000	-Software ArcGis.

### 3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

La parte esencial en el proyecto de investigación, es la que corresponde a la informática, sus características y el desempeño que debe tener para lograr procesar las grandes cantidades de datos que generamos al utilizar sensores como: SRTM, ALOS PALSAR ASTER, software ARCGIS 10.3 planos topográficos y geológicos del cuadrángulo Cerro de Pasco 22 K.

La informática en una computadora de altas prestaciones destinado para trabajo técnico o científico, los componentes para servidores e investigación del área de trabajo alcanzan nuevos niveles de rendimiento informático, al tiempo que ofrecen fiabilidad, compatibilidad, escalabilidad y multiproceso para cual se procedió a la instalación de software ARCGIS 10.3 para elaborar mapas y optar una información geográfica a partir de fotos satelitales con sensores como: SRTM, ALOS PALSAR Y ASTER. Además, se eligió utilizar cartas Topográficos y Geológicos del cuadrángulo de CERRO DE PASCO 22 – K en un formato físico y digital Jpg que permiten la ubicación e interpretación rápida de un sector de interés a ser investigado.

### **3.7. Tratamiento estadístico**

Los modelos con sensores: SRTM, ALOS PALSAR Y ASTER DEM y técnicas e instrumentos para la recopilación de datos no son susceptibles de ser tratados estadísticamente para concretar sus distribuciones y parámetros específicos y orientación. su tratamiento debe ser diferente ya que se utiliza un método de investigación descriptivo.

### **3.8. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación**

Al elaborar las técnicas de instrumentación apropiados, se desarrolló pruebas de investigación para llegar a conclusiones favorables y validar el contenido trabajado a través de la metodología de investigación que requirió nuestra área estudiada, La muestra utilizada para la evaluación de la confiabilidad interna se trabajó con los 3 sensores; SRTM, ALOS

PALSAR Y ASTER DEM, que nos permitió una clara y conclusa investigación, para comprobar la comprensión de los objetivos y el funcionamiento. La consistencia interna se determinó a través de elaboración de mapas cartográficos de la zona de CERRO DE PASCO. Los expertos valoran satisfactoriamente el lanzamiento de los sensores en sus diversos modelos ya que estos son aprovechables para la investigación en industria de exploraciones geológicas mineras y diversas ramas en el cual se requiere en su ámbito.

### **3.9. Orientación ética**

En el desarrollo de la investigación se ha procedido a cumplir con los protocolos establecidos por el Software ArcGis para el procesamiento de las imágenes satelitales de los tres modelos SRTM, ALOS PALSAR Y ASTER DEM.

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSION**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

##### **4.1.1. Ubicación y Accesibilidad**

El área de estudio está ubicada en la parte Septentrional de la Cordillera Oriental, extendiéndose también a las estribaciones orientales de la Cordillera Occidental; todo ello comprendido dentro de las coordenadas geográficas siguientes:

Latitud Sur            10°00' a 11°30'

Longitud Oeste        76°00' a 76°30'

Las principales vías de acceso al área de estudio son las siguientes:

- Lima – La Oroya – Cerro de Pasco (carretera asfaltada).

- Lima – Canta – Huayllay – Cerro de Pasco (carretera asfaltada y afirmada).

En estas rutas existe una buena red vial que permiten llegar a los centros poblados de importancia, sin embargo, las carreteras a la zona de interés geológico principalmente las partes altas de la Cordillera Occidental y Oriental, son bastantes reducidas; por lo que se ha utilizado caminos de herradura.

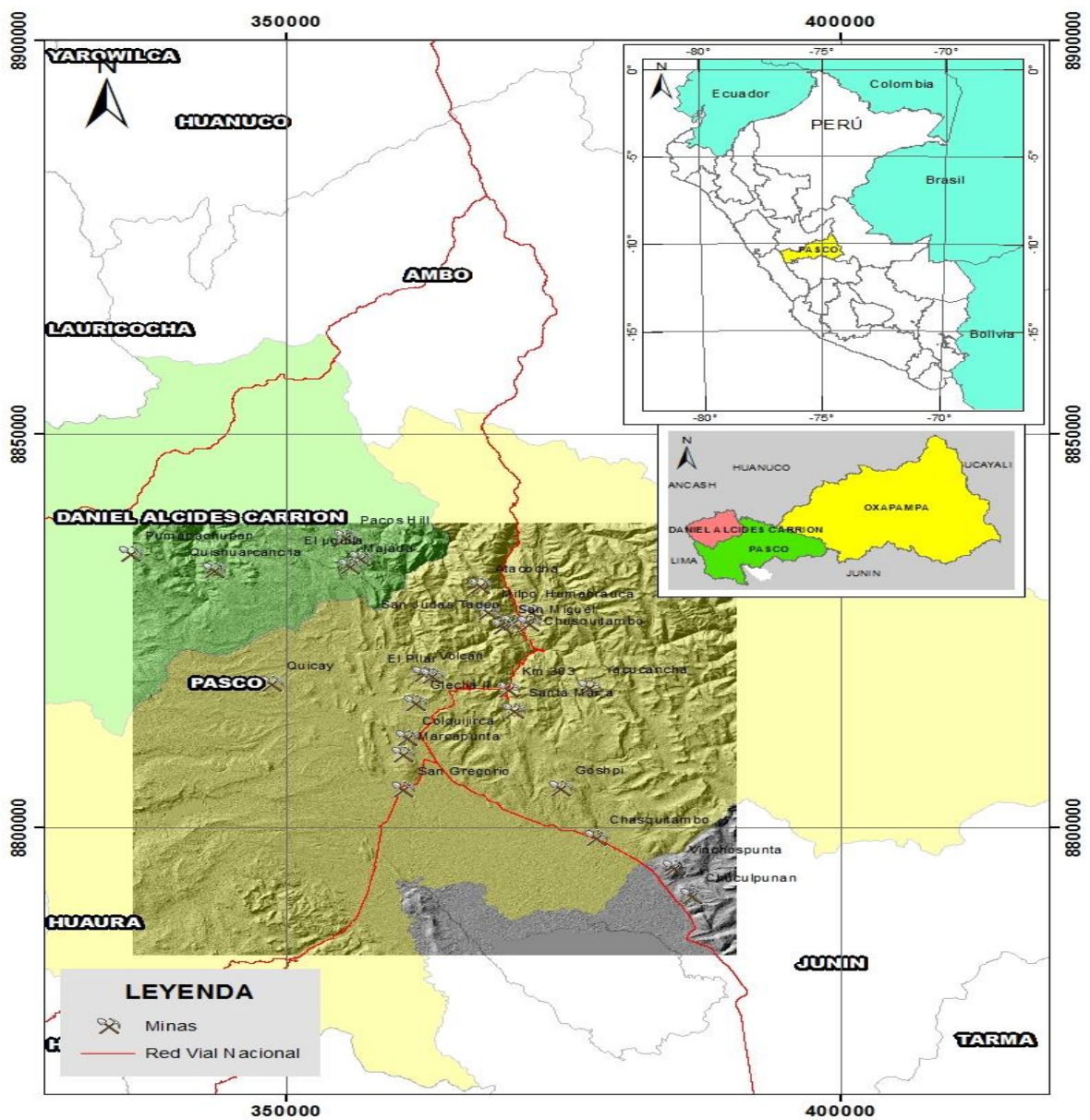


FIGURA 2: Plano de Ubicación y Accesibilidad de la zona de trabajo

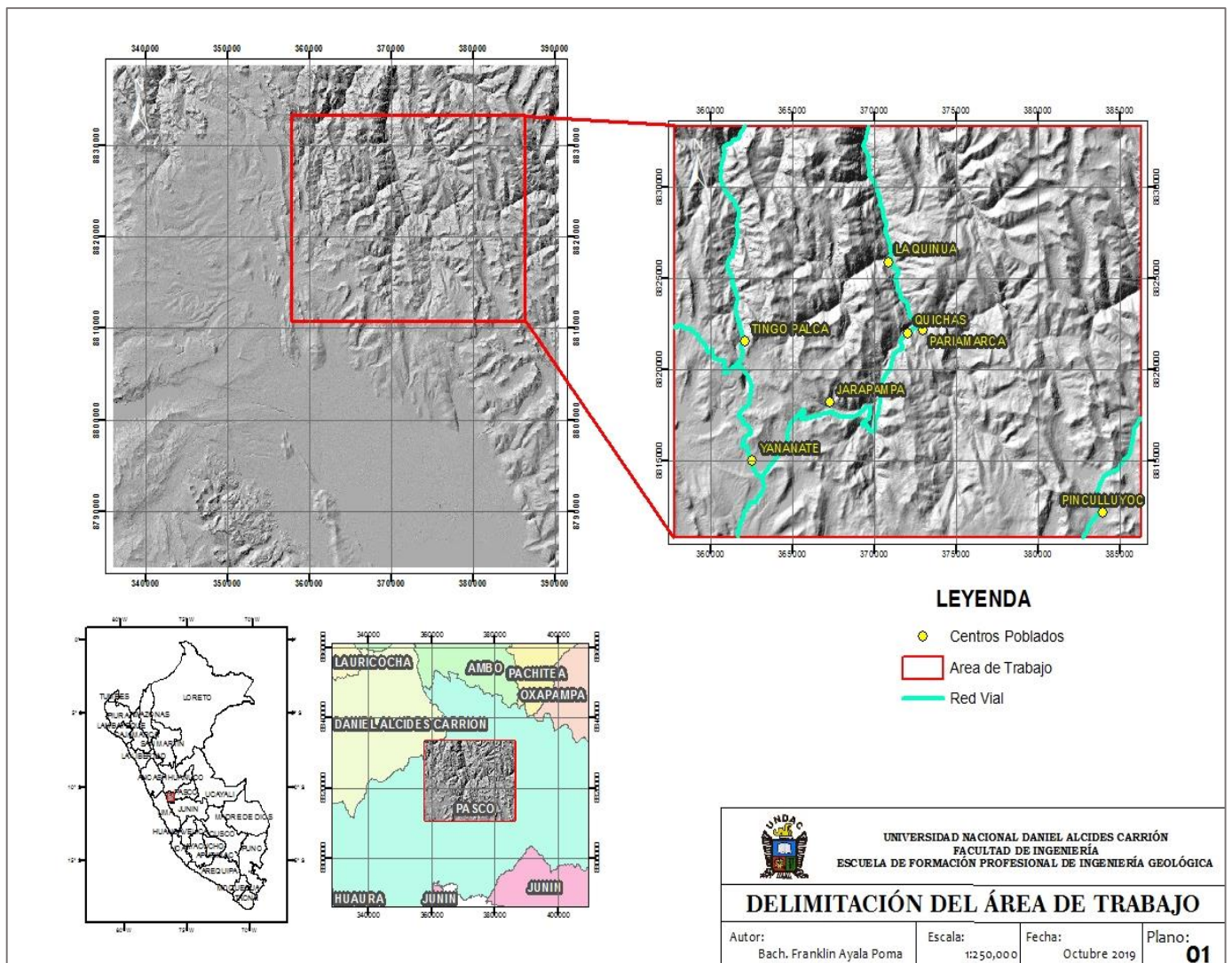
## 4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

### 4.2.1. Resultados de la delimitación del área de influencia.

El cuadrángulo 22-k Cerro de Pasco, fue el que se seleccionó para realizar el estudio con la aplicación de software ARCGIS 10.5, ENVI 5.3 Y SNAP 6.0.

El área de trabajo en la que se identificó los lineamientos estructurales y la escala en la que se realizó los mapeos cartográficos para la exploración geológica minera en las coordenadas UTM 881 500 00 – 883 000 00 y 360 000 – 385 000.

#### PLANO 1: DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

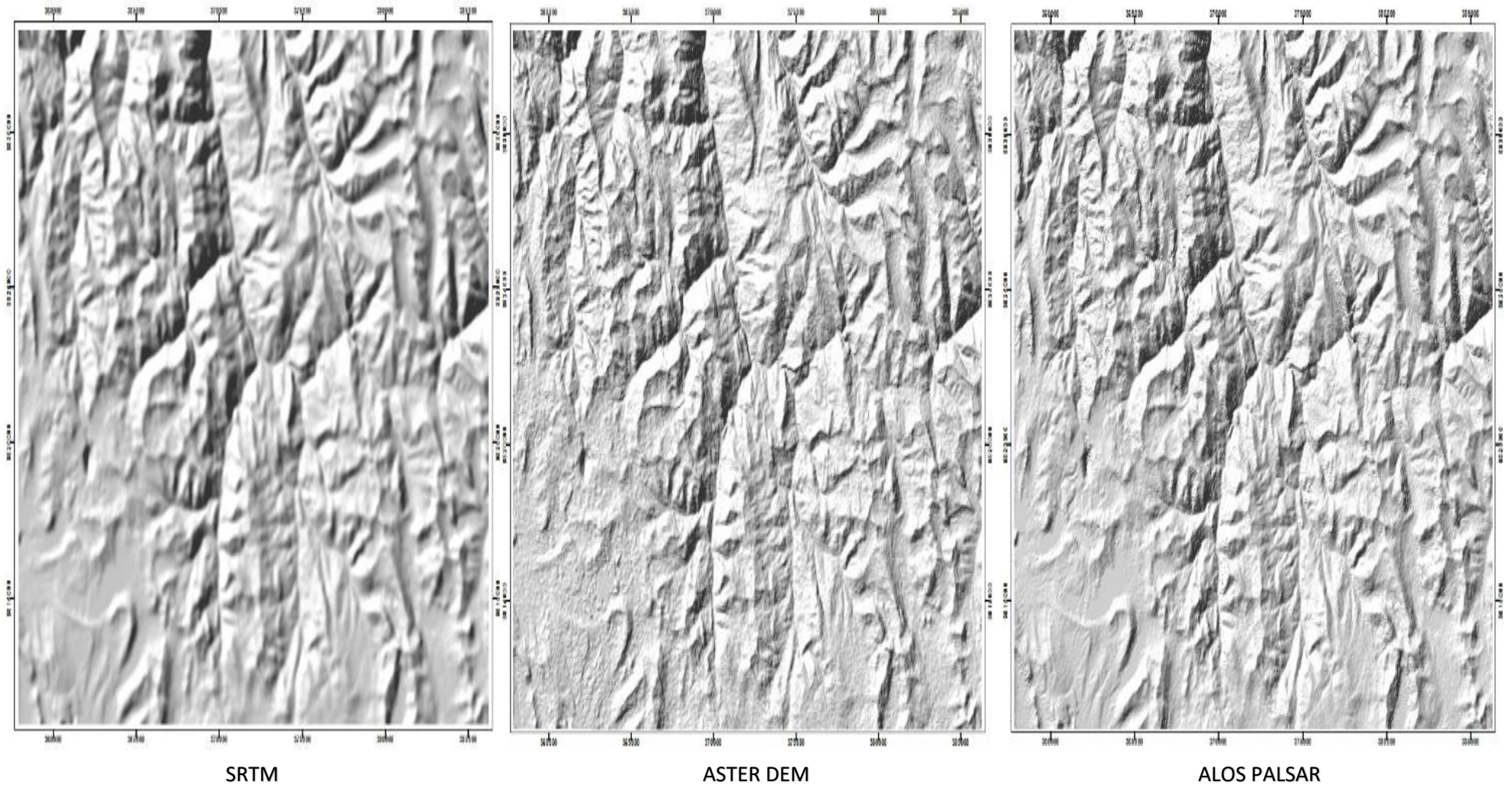




#### **4.2.2. Comparación visual de resolución de los modelos digitales.**

Tomadas las imágenes satelitales del área de estudio (Cuadrángulo de Cerro de Pasco 22-k) por los tres modelos digitales SRTM, ASTER DEM Y ALOS PALSAR, se realizó la comparación de la resolución de imágenes obtenidas por dichos modelos, llegando a una conclusión de acuerdo a los parámetros realizado en gabinete. En la figura n°3 se observa los resultados obtenidos por dichos modelos digitales, resaltando entre estos por su nivel de resolución la imagen del modelo digital ALOS PALSAR.

**FIGURA 3:RESOLUCIÓN DE LAS IMAGENES TOMADAS POR LOS TRES MODELOS DIGITALES**



#### 4.2.2.1. SRTM

**Tabla 3:** Características y Especificaciones del sensor SRTM

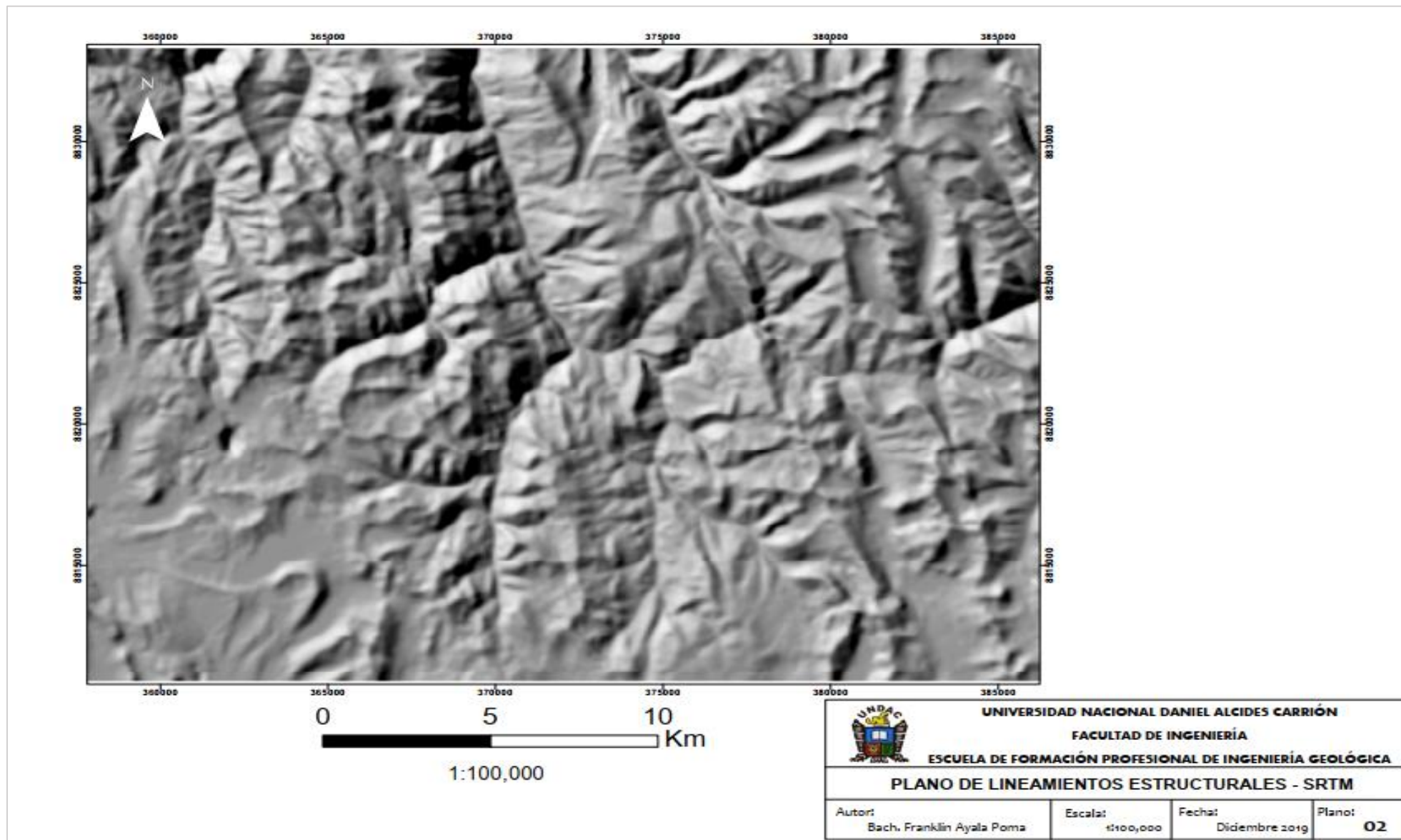
Características	Especificaciones
Resolución	1 arc/seg 30 m. 3 arc/seg 90 m.
Resolución Espacial	5° x 5°
Calcula	pendiente y aspecto, área de captación y altitud de cubierta de bosque
Tamaño del Pixel	1seg/arc. (30m) y 3 seg/arc. (90m)
Formato de salida	16 bits
Referencia	WGS84 / EGM96
Cobertura	60°N – 56°S latitud

#### Descripción:

En las características del SRTM se observa una resolución de 1 arc/seg 30 m y 3 arc/seg 90 m, en el mapeo de la superficie terrestre opta desde 60° de latitud Norte y los 56° de latitud Sur. Las posiciones horizontales están referidas al sistema WGS84 y la posición vertical está referida al modelo gravitacional EGM96, La versión 4.1 del SRTM de 3" de resolución espacial se distribuye en mosaicos de 5° x 5° que contienen 6001 x 6001 celdas con valores de alturas. Con un formato de salida de 16 bits la cual indica su calidad de archivo.

En el plano N°2, se observa la deficiencia de la imagen de la zona estudiada de espacios morfológicos, cuencas hidrográficas y factores litológicos.

**PLANO 2: LINEAMIENTOS ESTRUCTURALES - SRTM**



#### 4.2.2.2. ASTER DEM

**Tabla 4:** Características y especificaciones del Sensor ASTER DEM

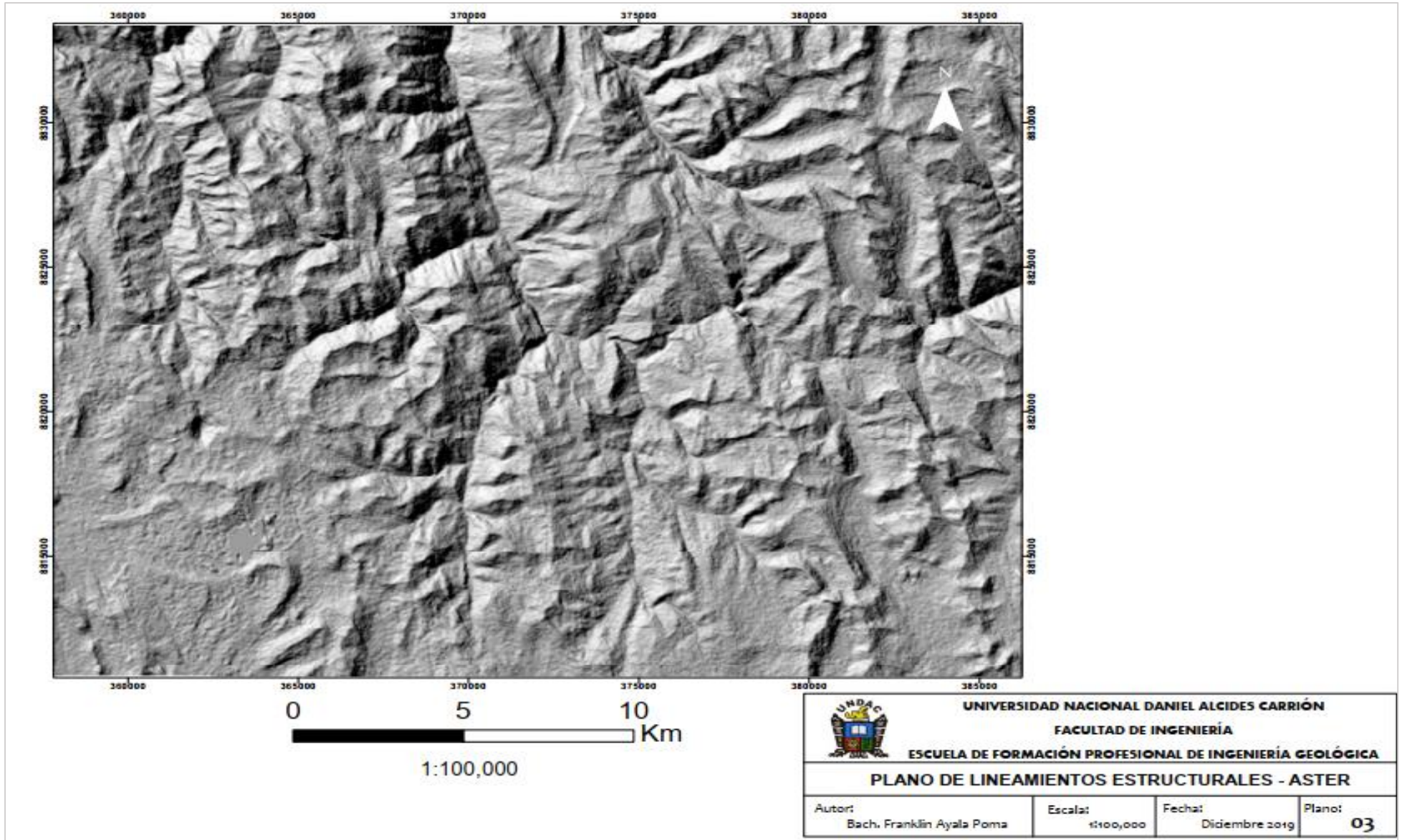
Características	Especificaciones
Resolución	30 m.
Bandas	3N y 3B
Resolución de imagen	90 a 15 m.
Formato de salida	16 bits
Cobertura	83° N y 83° S

#### Descripción:

Las características de este sensor se presentan en la Tabla 4 en la que se observa que la resolución es de 30 m que no permite realizar un cartografiado adecuado, son generados usando bandas entre 3N y 3B (N=vista nadir, B=vista atrás) generando imágenes de alta resolución de la superficie de la tierra, la resolución de imágenes de satélites va desde los 90 m. a 15 m. brindando claridad de las imágenes satelitales, el formato de salida 16 bits almacenando mayor tonalidades de colores, esta cobertura se presenta de los 83° N y 83° S de latitud norte y latitud Sur.

El sensor Aster nos indica en las imágenes lanzadas con resolución nominal de 30 m en planimetría, siendo el sucesor del sensor SRTM con la diferencia fundamental de su Modelo Digital de Elevación que este se genera a partir de la estereoscopia de las bandas 3N Nadir y 3B Back logrando un Modelo Digital de Elevación relativo (sin puntos de control) y un Modelo Digital de Elevación absoluto con puntos de control. Además de la alta resolución de imágenes generadas los errores se visualizan en las pendientes verticales de una zona estudiada. (ver plano n°3)

**PLANO 3: LINEAMIENTOS ESTRUCTURALES - ASTER DEM**



### 4.2.2.3. ALOS PALSAR

*Tabla 5: Características y especificaciones del sensor ALOS PALSAR*

Características	Especificaciones
Resolución	12.5 m.
Imágenes Palsar	3 niveles de procesamiento
Resolución Radiométrica	16 bits.
Instrumento Polarimétrico	Polarización cuádruple, doble y simple

#### **Descripción:**

Las características de este sensor se presentan en la Tabla 4, en la que se observa que la resolución es de 12.5 m que permite realizar un cartografiado adecuado, procesando 3 niveles de imágenes Palsar (1.0-Imagen Cruda, 1.1-Datos comprimidos o 1.5-Imagen expandida), la Resolución radiométrica haciendo referencia al número de niveles digitales utilizados para describir los datos recogidos por el sensor. En general, cuando mayor es el número de niveles mayor es el detalle con que se podrá describir dicha información.

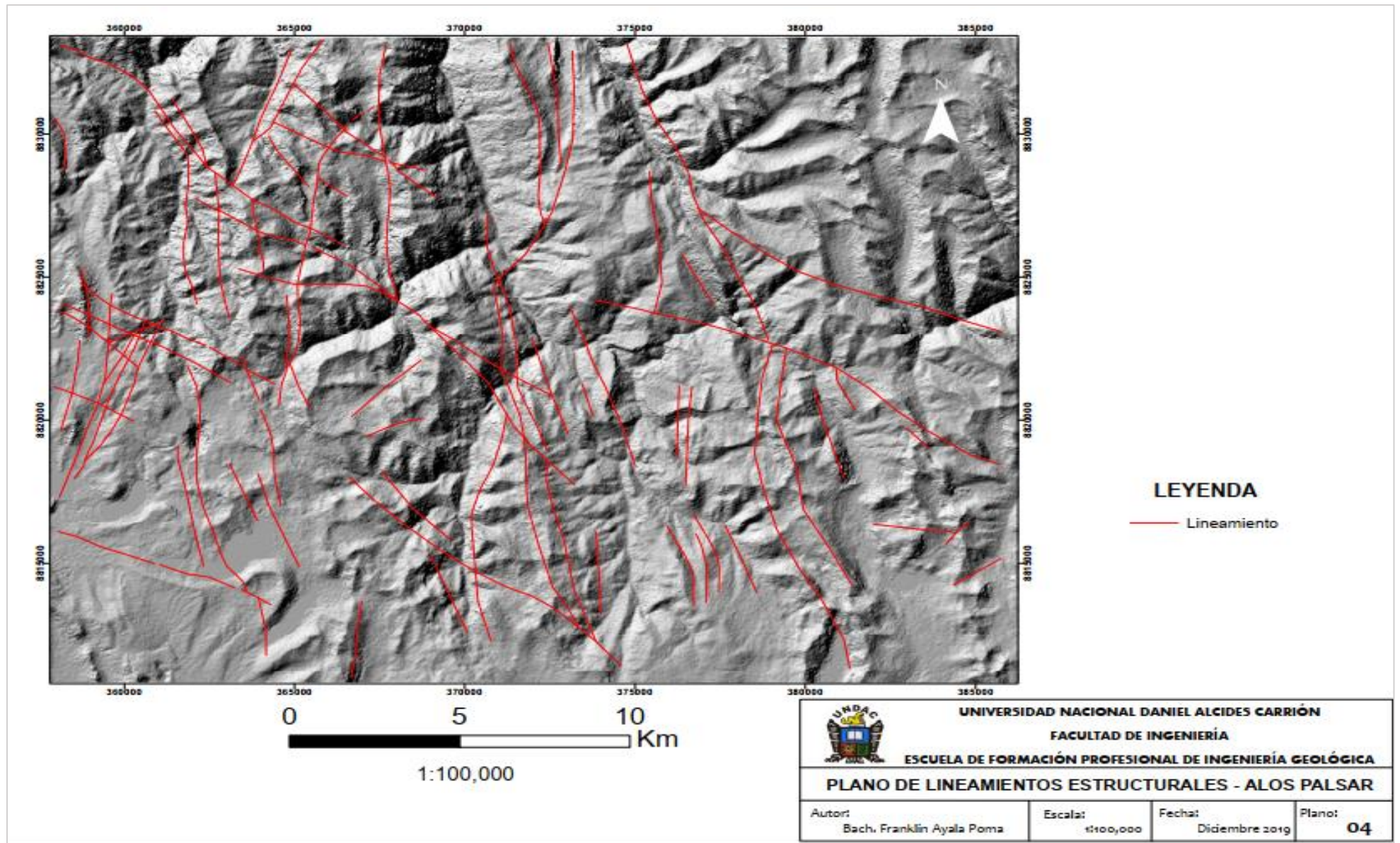
#### **INTERPRETACION DEL PLANO DE PENDIENTE, SU RELACION CON LINEACION Y FALLAS REGIONALES SEGÚN MODELO DIGITAL ALOS PALSAR:**

Luego del proceso realizado a partir del plano de pendiente clasificado en 5 rangos, en las cuales se distingue áreas de mayor pendiente en los rangos que van de 25° a 45° y de 45° a más, estarían relacionado a ESCARPAS, que es

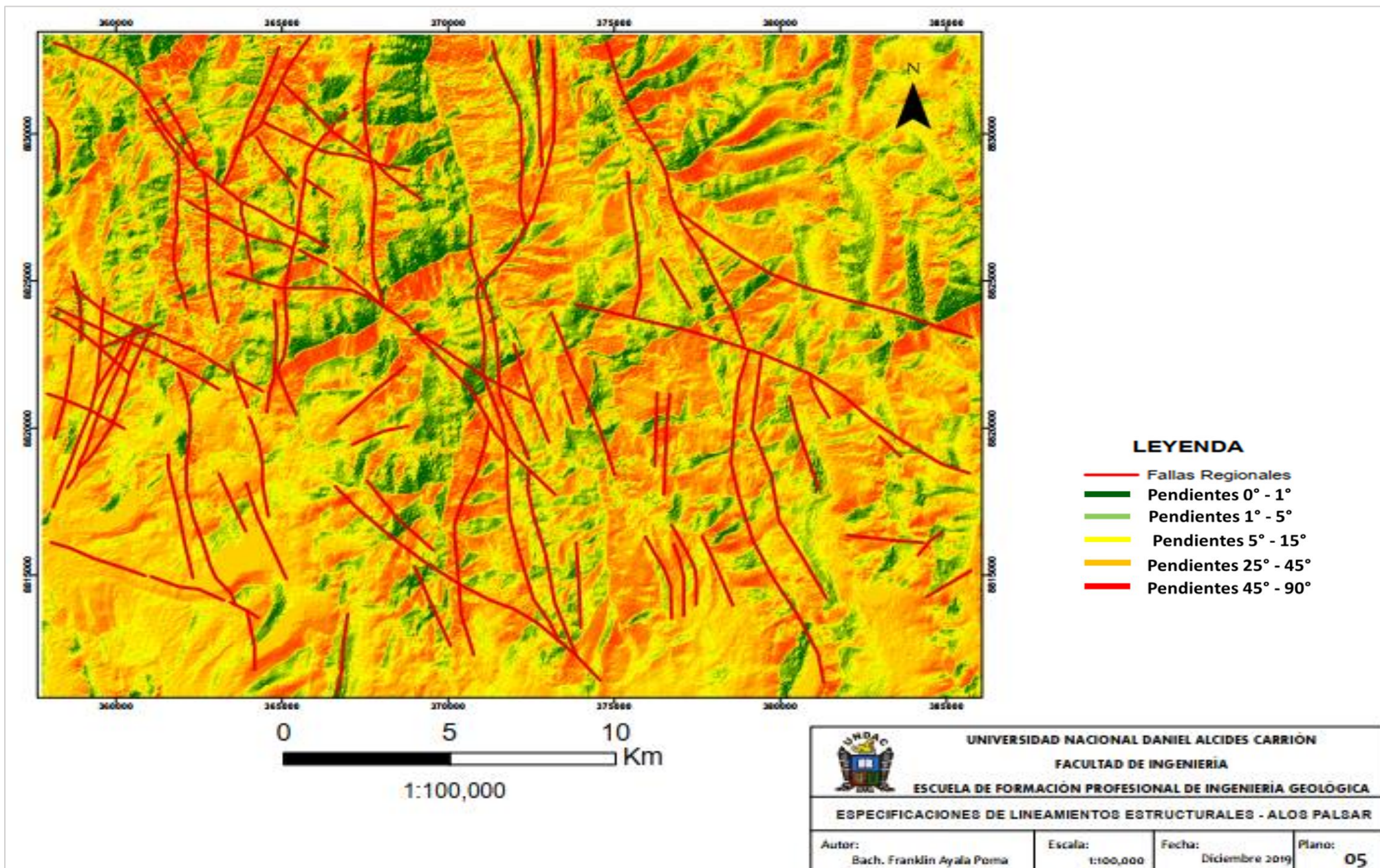
uno de los rangos evidénciales de la existencia de fallas geológicas en otros casos pueden estar relacionados a reptación de suelo. Ver planos N° 4, 5 y 6.



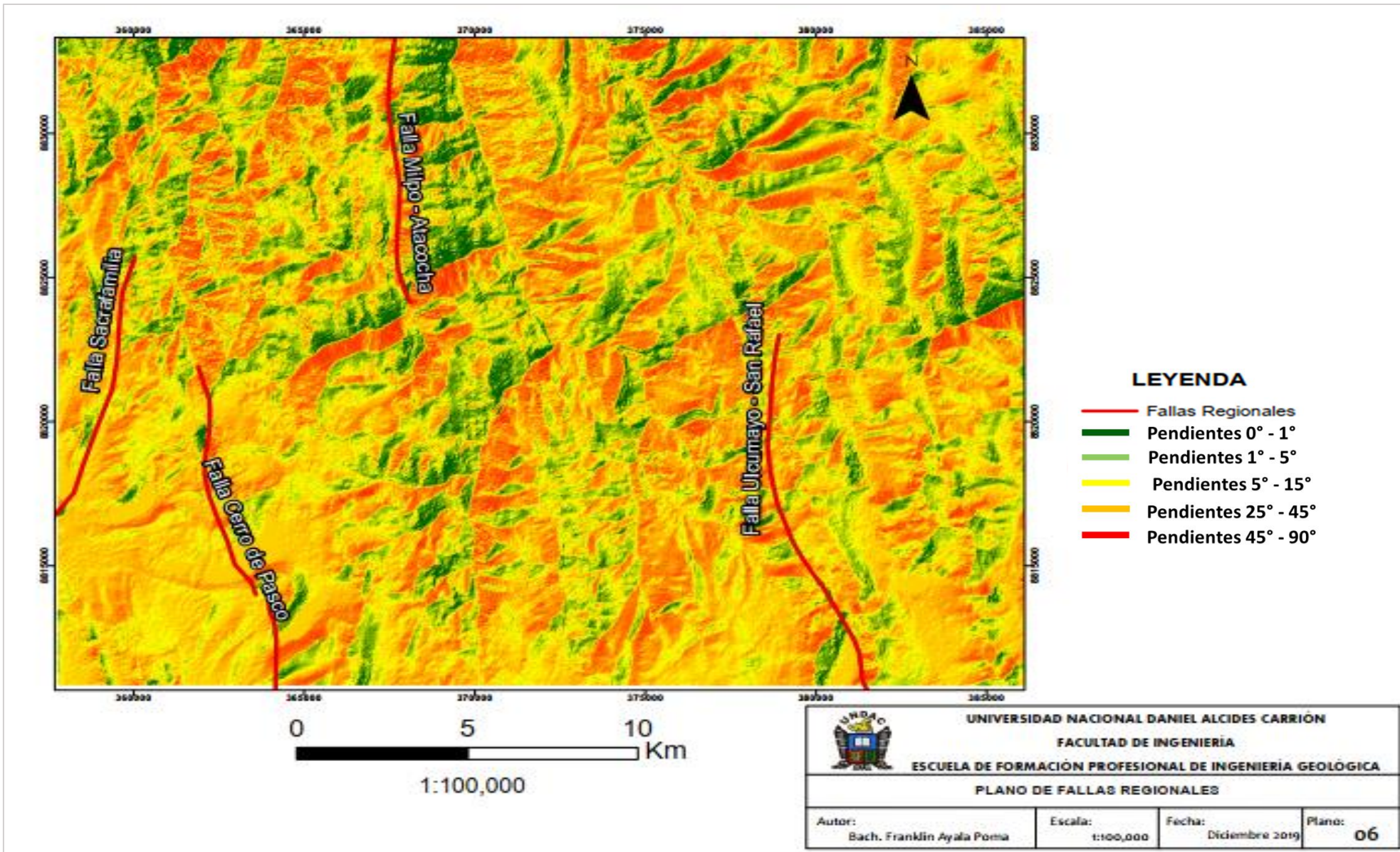
**PLANO 4: LINEAMIENTOS ESTRUCTURALES - ALOS PALSAR**



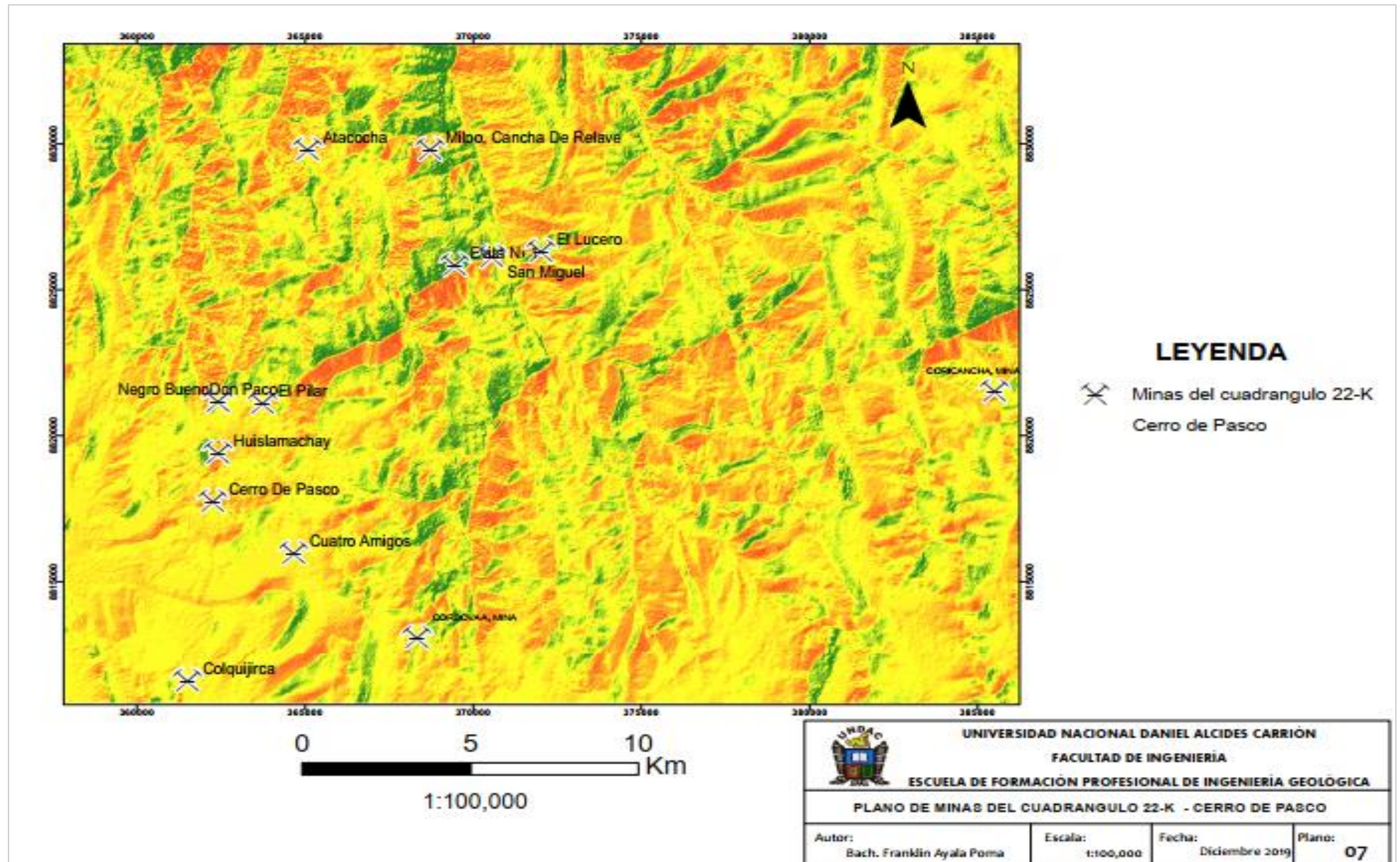
**PLANO 5:ESPECIFICACIONES DE LINEAMIENTOS ESTRUCTURALES - ALOS PALSAR**



**PLANO 6: FALLAS REGIONALES - A LOS PALSAR**



**PLANO 7: MINAS DEL CUADRÁNGULO 22-K CERRO DE PASCO - ALOS PALSAR**



#### **4.2.3. Aplicación de imágenes de SRTM, ALOS PALSAR Y ASTER DEM para el mapeo cartográfico.**

Los modelos digitales SRTM, ALOS PALSAR Y ASTER DEM, ocupan un papel principal en las elaboraciones de trabajos relacionados a las ciencias de la tierra. Usualmente las imágenes SRTM, Alos Palsar y Aster DEM se emplean en el análisis cartográfico.

Con la aplicación de los modelos mencionados anteriormente obtuvimos lineamientos estructurales, siendo la de mejor resolución el modelo digital Alos Palsar; por las mejores características presentadas en comparación a las otros dos.

Desarrollando el trabajo con el sensor ALOS PASAR se muestra los lineamientos estructurales (Fig. 8) describiendo los eventos y sucesos geológicos que ha ocurrido en la zona el Cuadrángulo de CERRO DE PASCO 22 – K.

### **4.3. Prueba de Hipótesis**

La siguiente prueba para las hipótesis de la investigación se realizó mediante la comparación de los resultados frente a cada hipótesis planteada.

#### **4.3.1. Hipótesis General frente a resultados.**

- Los modelos digitales permiten obtener óptimas informaciones base para mapeos superficiales en la exploración geológica mineral.

Conforme a las tablas y gráficos mostrados anteriormente, los resultados afirman la hipótesis general. Debido a que los tres modelos digitales SRTM, ALOS PALSAR Y ASTER DEM, permitieron obtener imágenes satélites del área en estudio (Cuadrángulo de Cerro de Pasco 22-k). Por lo tanto, la hipótesis planteada se acepta.

#### **4.3.2. Hipótesis específica 1 frente a resultados.**

- Los modelos digitales con sensores permiten delimitar el área de influencia para el mapeo cartográfico en la exploración geológica minera.

Conforme a los gráficos mostrados, los resultados afirman la hipótesis específica 1. Debido a que los tres modelos digitales SRTM, ALOS PALSAR Y ASTER DEM muestran la delimitación del área de estudio (Cuadrángulo de Cerro de Pasco 22-k) en contraste con los planos topográficos y geológicos en formatos JPGP. Por lo tanto, debido a que se obtuvieron los resultados óptimos con los tres modelos propuestos, la hipótesis específica 1 planteada se acepta.

#### **4.3.3. Hipótesis específica 2 frente a resultados.**

- Los modelos digitales con sensores presentan diferentes rangos de escalas en el mapeo de exploración geológica minera.

Conforme a los gráficos mostrados anteriormente, los resultados obtenidos en la investigación afirman la hipótesis específica 2. Debido a que de los diferentes rangos de escala gráficos que presentan los modelos digitales para esta investigación se utilizó la escala 1: 5 000. Por lo tanto, la hipótesis planteada se acepta.

#### **4.3.4. Hipótesis específica 3 frente a resultados.**

- Los modelos digitales con sensores permiten obtener mapas de lineamientos cartográficos geológicos mineros.

Los gráficos obtenidos con los sensores SRTM, ALOS PALSAR Y ASTER DEM, nos permitieron realizar lineamientos geológicos de la morfología de la zona en estudio (Cuadrángulo de Cerro de Pasco 22 – k) los resultados obtenidos en la investigación afirman la hipótesis específica 3. Por lo tanto, la hipótesis planteada se acepta.

#### **4.3.5. Hipótesis específica 4 frente a resultados.**

- Los tres modelos digitales con sensores presentan diferentes datos de interpretación visual de lineamientos geológicos mineros.

Conforme a los gráficos mostrados anteriormente, los resultados obtenidos en la investigación afirman la hipótesis específica 4. Debido a que los tres modelos digitales presentaron diferentes calidades de visibilidad de la morfología de la zona en estudio (Cuadrángulo de Cerro

de Pasco 22 – k) Por lo tanto, la hipótesis específica 4 planteada se acepta.

#### **4.4. Discusión de resultados**

Los tres modelos digitales con sensores nos han permitido definir el área de influencia para el mapeo cartográfico en la exploración geológica minera, siendo el mapeo una herramienta de exploración que entrega beneficios tangibles para todos los programas de exploración. Un buen mapa geológico no sólo sirve para orientar un programa de exploración, sino que también comunica claramente el potencial económico de un proyecto a los actores. (Rodríguez 2006 – en línea).

Los diferentes rangos de escala con sensores nos han permitido obtener mapas de lineamientos cartográficos geológicos mineros, a su vez estos tres modelos digitales presentaron diferentes calidades de visibilidad de la morfología de la zona en estudio. Las imágenes ASTER y SRTM no presentan diferencias significativas con respecto a las variables de forma, relieve y drenaje calculados. Asimismo, Burgos (2012), en la investigación “La interferometría SAR en la modelación hidráulica, reporta que las utilidades de modelos digitales de elevación de mayor resolución espacial a partir de datos del sensor ALOS-PRISM, el software Geomática PCI con el módulo Ortho Engine ALOS, permite extraer MDE de diez metros de resolución espacial. Los mejores resultados se obtienen combinando los tres pares estereoscópicos que ofrece el sensor (Nadir-atrás, Nadir-frente y atrás-frente) mediante la opción denominada Highest score.



Con la aplicación de los modelos SRTM, ALOS PALSAR y ASTER DEM obtuvimos lineamientos estructurales, siendo la de mejor resolución el modelo digital ALOS PALSAR; por las mejores características presentadas en comparación a las otros dos, el sensor ALOS PASAR muestra los mejores lineamientos estructurales describiendo los eventos y sucesos geológicos que ha ocurrido en la zona del Cuadrángulo de CERRO DE PASCO 22 – K.

El SRTM con resolución de 1 arc/seg 30 m y 3 arc/seg 90 m, en el mapeo de la superficie terrestre opta desde 60° de latitud Norte y los 56° de latitud Sur, la versión 4.1 del SRTM de 3" de resolución espacial se distribuye en mosaicos de 5° x 5° que contienen 6001 x 6001 celdas con valores de alturas. Con un formato de salida de 16 bits la cual indica su calidad de archivo. El modelo digital ASTER su resolución es de 30 m, no permite realizar un cartografiado adecuado, usando bandas entre 3N y 3B (N=vista nadir, B=vista atrás) generando imágenes de alta resolución de la superficie de la tierra, la resolución de imágenes de satélites va desde los 90 m. a 15 m. brindando claridad de las imágenes satelitales, el formato de salida 16 bits almacenando mayores tonalidades de colores, esta cobertura se presenta de los 83° N y 83° S de latitud norte y latitud Sur.

El modelo digital ALOS PALSAR, con la resolución de 12.5 m permite realizar un cartografiado adecuado, procesando 3 niveles de imágenes Pasar (1.0-Imagen Cruda, 1.1-Datos comprimidos o 1.5-Imagen expandida), la Resolución radiométrica haciendo referencia al número

de niveles digitales utilizados para describir los datos recogidos por el sensor.

Así mismo Cango (2017), al evaluar modelos digitales de elevación usando LiDAR y comparando con otras fuentes que proporcionan MDE. Las fuentes son satelitales (ALOS PALSAR, ASTER, SRTM), de alcance global y de libre distribución. Para lo cual se realizó un análisis comparativo en función a las características que describen los parámetros morfométricos de una cuenca hidrográfica, con diferentes resoluciones de los MDE, manifestando que el que el uso de altas resoluciones en MDE se ajustan a las características del terreno proporcionando redes de drenaje precisas, concluye que los MDE de mayor resolución (LIDAR Y ALOS PALSAR) permiten generar una mejor red de drenaje en base al umbral de acumulación del 1% para zonas montañosas (Área de estudio).

Correa (2012), manifiesta que el modelo DEMs y SRTM de resolución espacial aproximada de 30 m tiene una gran potencialidad para delimitar las formas del terreno en zonas de montaña desde el punto de vista morfométrico, en razón a su exactitud vertical para generar productos cartográficos a escala semidetallada de acuerdo con estándares internacionales y a la obtención de parámetros del terreno que muestran estabilidad y variabilidad respecto a la rugosidad del terreno.

## CONCLUSIONES

1. El área de influencia está comprendida en la parte Septentrional de la Cordillera Oriental, extendiéndose también a las estribaciones orientales de la Cordillera Occidental; todo ello comprendido dentro de las coordenadas geográficas siguientes: Latitud Sur 10°00' a 11°30 'Longitud Oeste 76°00' a °30'76.
2. Al dibujar mapas dentro del marco de datos de investigación, pudimos visualizar el mapa en diferentes escalas en el cual se obtuvo que realizar la elección de utilizar la escala de 1:100 000 para descripción e interpretación geológica del área investigada.
3. Usualmente las imágenes SRTM, ALOS PALSAR y ASTER DEM se emplean en el análisis cartográfico. Obtendremos lineamientos estructurales con modelo digital ALOS PALSAR por tener buenos parámetros satelitales en el cual presentan coeficientes de alta resolución óptima.
4. Comparando los tres sensores SRTM, ALOS PALSAR, ASTER, los resultados indican que las imágenes ASTER y SRTM no presentan diferencias en la resolución de sus imágenes, relieve morfológico de la estructura geológica. Sin embargo, se debe considerar un error adicional en los estudios Geológico Minero que dependan de esas variables. Del mismo modo, será de responsabilidad del investigador o profesional a

utilizar estos criterios en estudios de morfometría de cuencas hidrográficas de cada supera estos déficits de los sensores SRTM, ALOS PALSAR.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar herramientas de ayuda para complementar la ubicación exacta del área de influencia en cual se va a desarrollar y describir los eventos Geológicos ha ocurrido en la zona comprendida como Cerro De Pasco ubicada en la parte Septentrional de la Cordillera Oriental, extendiéndose también a las estribaciones orientales de la Cordillera Occidental; todo ello comprendido dentro de las coordenadas geográficas siguientes: Latitud Sur 10°00' a 11°30 'Longitud Oeste 76°00' a °30'76.
2. En un marco de investigación se dibuja los datos en escalas convenientes para visualizar el mapa es entonces se eligió y recomienda la escala de 1;100 000 para la descripción morfológica y litológica de zona.
3. Usualmente las imágenes SRTM, ALOS PALSAR y ASTER DEM se explayan en el análisis cartográfico. Obtendremos lineamientos estructurales con modelo digital ALOS PALSAR por tener buenos parámetros satelitales en el cual presentan coeficientes de alta resolución óptima.
4. Seguir investigaciones en esta línea de estudio, para tener un banco de información de referencia regional que nos ayuda en el mapeo cartográfico de exploración Geológica futuras A nivel Nacional.

## BIBLIOGRAFIA

- BENAVIDES, V. 1956. "Cretaceous System in Northern Perú". In: Bull. Amer. Mus. Nat. Hist.108, p. 252-494.
- BENAVIDES, V. 2011. "Las investigaciones sobre la paleontología peruana". BOLETÍN "El Zarcillo" museo de historia natural universidad Ricardo Palma. Edición Especial AÑO 4 / N° 4 diciembre, 2011. Lima- Perú.
- BEST W. John. 1983." Como investigar en educación". Traducido por Gonzalo Gonzalvo Mainar. Edición 9, ilustrada. 512 páginas.
- BURGOS, V. (2012). "Evaluación de ASTER GDEM y SRTM-C/X para modelación hidráulica de la rotura de presa El Carrizal, Mendoza. IFRH 2012" IFRH - Instituto Nacional del Agua.
- CANGO, L. 2017 "Evaluación de Modelos Digitales de Elevación usando datos LiDAR e imágenes satelitales". Tesis de pregrado UTPDL. Área técnica. Loja – Ecuador.
- CHUVIECO, Emilio. 2013. "Teledetección y ecología del paisaje". [en línea]. Empleo de imágenes satelitales para medir la estructura del paisaje. <http://www.dspace.uah.es>
- CORREA, N. 2012 "Método para la Caracterización de las Formas del Terreno en Zonas de Montaña Utilizando Modelos Digitales de Elevación. Caso: Departamento Del Cauca". Tesis de pos grado Magister en Geomecánica. UNAL. Facultad de Agronomía. Departamento de Agronomía. Bogotá – Colombia.

- DALMAYRAC, B., J.R. Lancelot, and A. Leyreloup. 1977. "Two billion- year granulites in the late precambrian metamorphic basement along the southern Peruvian Coast, Science".198, 49-50.
- DUNBAR, C. O. y Newell, N.D. (1946). Marine early Permian of the Central Andes and its fusuline Faunas. Amer. Jour. Ofsci., V 244, P. 377-402 y 457-491.
- FUJISADA, H., Bailey, G.B., Kelly, G.G., Hara, S., Abrams, M.J., 2005. ASTER DEM performance. IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing 43, 2707–2714.
- GONCALVEZ, E. 2014 "Sensores y Transmisores Analógicos". Seminario: Instrumentación y Control Industrial. Universidad del Oriente. Facultad Ingeniería de Sistemas. Maturín – Venezuela.
- HARRISON, J.V.1943. "Geology of the Central Andes in part of the province of Junín, Perú (Final Report)" .Bol. de la Soc. Geológ. Del Perú, T. XVI.Lima.
- HENGL, T., Reuter, H.I. (eds) 2008. Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science, vol. 33, Elsevier, 772 pp.
- INGEMMETT, (2011). Boletín A-144. Cuadrángulo de Cerro de Pasco 22-K. Lima Perú.
- JENKS, W.F.1951. "Triassic to Tertiary Stratigraphy Near Cerro de Pasco, Perú". Bull.Geol.Soc.Am., Vol, N°2. P. 203-220.
- Mc LAUGHLIN, D.M. 1924. "Notas sobre la Geología y Fisiografía de los Andes Peruanos en los departamentos de Junín y Lima". Informaciones y Memor. De la Soc. de Ing. Del Perú. Lima.

- MÉGARD, F. 1968-"Geología del cuadrángulo de Huancayo". Bol.Serv.Geol.Min., 18, mapa ·Y pl.h.-t. Lima, 123 p.
- MÉGARD, F.1977. "Etude geologique des Andes du Perou Central, Mem.Orstom, 86, Paris.
- MÉGARD, F. 1978. "Estudio geológico de los Andes del Perú Central". Boletín Instituto geológico Minero y Metalúrgico. 8, 227p.
- MAUNE, T.A. & Black, E.W. 2001. DEM user requirements. In: MAUNE, T.A. (Ed). Digital elevation model technologies and applications. Editora Bethesda, MD, p. 449-473.
- NEWELL, N.D., Chronic, B.I., Roberts, T.G.1949. "Upper Paleozoic of Perú". The University Service Burcau. Columbia University.
- NIELSEN, S. N. (2007): "¿Qué tiene la teoría moderna del ecosistema para ofrecer a limpiadores? ¿Producción, ecología industrial y sociedad?". Las opiniones de un ecologista. Revista de Producción más limpia.Vol. 15, Issue 17.
- PAREDES J.- 1972. "Etude géologique de la feuille de Jauja au 1:100,000 (Andes du Pérou Central). Tesis 3° cycle, Un. Sci. Tech.Languedoc, Mont pellier 1 mapa h-t. 79 p.
- PEGUERO, C. 2012. "Guía Metodológica y Didáctica". Principios de Introducción a la Percepción Remota Mediante el Uso de Sensores Aplicación y Usos de la Teledetección. Proyecto SAMBA (INPROHUELVA).
- QUISPESIVANA, L. 1996. "Geología del Cuadrángulo de Huánuco". INGEMMET.Bol.75, Serie A.



- RABUS, B., Eineder, M., Roth, A., Bamler, R., 2003. The shuttle radar topography mission e - A new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *Photogrammetric Remote Sensing* 57, 241 – 262.
- RODRIGUEZ, E., Morris, C.S., Belz, J.E., Chapin, E.C., Rtin, J.M., Daffer, W., Hensley, S., 2005. An Assessment of the SRTM Topographic Products. Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA, 143 pp.
- RODRIGUEZ.2005. [en línea].  
<http://www.medellin.unal.edu.co/~rrodriguez/geologia/mapeo.htm>.
- ROMERO, D. Sanchez,A. Martinez, W.Cervantes, G.Cruz, M. Sanchez. 2005. “An Aborted Riff Process of Apitan – Albain Age in Central Perú, and its Significance for the Geodynamics”: *Boletin de 6th international Symposium on Andean Geodynamics*.Pp. 616 – 619.
- ROMERO, D. 2007. “La cuenca Cretácica-Paleocena del Perú Central”: Un metalotecto para la exploración de SMV, Ejemplo: La Mina Santa Teresa. Tesis MSc. Universidad Politécnica de Madrid – Alfa-Desir. Pgs. 99.
- SOLER, P. 1989. “Petrography and Geochemistry of lower Cretaceous. Alkali Basalts. From the High Plateaus of Central Peru and Their Tectonic significance”. *2b Geol.Pabont.Teil* 1, (5/6): 1053-1064; Stuttgart.
- STAPPENBECK R., 1929. “Geologie des Chicamatales in Nordperu und seiner Anthracitlagerstätten”. *Geol. Paleont. Abhandl. (N.F.)*. Bd. 16, Helf.
- STEINMANN, G. 1929. “Geologie Von Perú, Heidelberg”. (traducción castellana 1930 – Geología del Perú, Heidelberg).

- TOLEDO, Francisco. Imágenes Satelitales [en línea]. Aula TI. Julio 2008 <http://www.aulati.net/tag/imagen-de-satelite>.
- WILSON J.J.1963. "Cretaceous Stratigraphy of Central Andes Of Perú. Bull". American Association of Petroleum Geologists., Vol. 47, p. 1-34.
- YATES, R., Kent, D., Fernández Concha, J., (1951). Geology of the Huancavelica quicksilver district, Peru- U. S. Geological Survey Bulletin 975-A, 45 pp.

# ANEXOS

## Ficha para recolección de datos

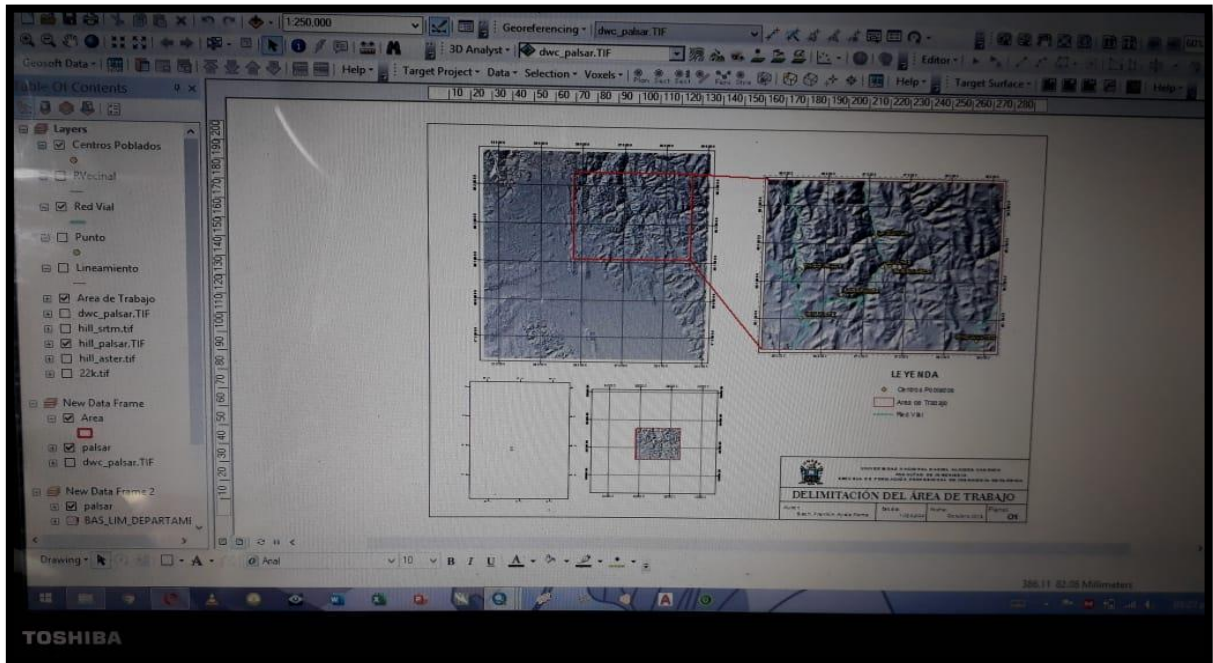
<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Instrumentos</b>
Área de influencia.			
Rangos de escala			
Lineamientos cartográficos			
Lineamientos geológicos			

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

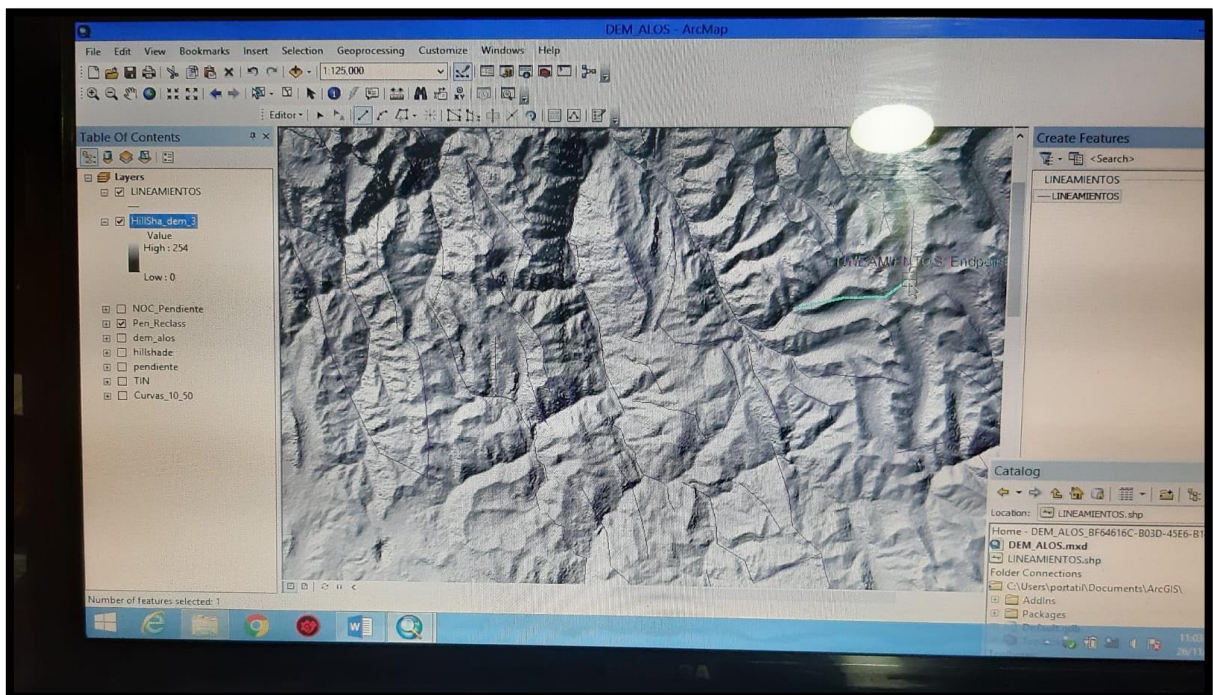
### APLICACIÓN DE MODELOS DIGITALES CON SENSORES (SRTM, ALOS PALSAR, ASTERDEM), PARA INFORMACION DE MAPEO CARTOGRAFICO EN LA EXPLORACIÓN GEOLOGICA MINERA

PROBLEMA	MARCO TEORICO	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES
¿Cuál de los modelos digitales de SRTM, ALOS PALSAR y ASTER DEM permite obtener mayor información para mapeo superficial en la exploración geológica minera?	Modelos digitales Mapeo cartográfico Sensores - SRTM (30) - Alos Palsar (15) - Asterdem (30) Exploración geológica minera	Aplicar modelos digitales con sensores para información de mapeo estructural en la exploración geológica minera	Los modelos digitales permiten obtener óptimas informaciones de mapeos superficiales en la exploración geológica mineral	VI Los modelos digitales  VD Información de mapeos estructurales	Sensores óptimos Resolución Alcance Error Geomorfología Yacimientos minerales Hidrografía
¿Cuál es el área de influencia para la información de mapeos cartográficos estructurales en la exploración geológica minera?  ¿Cuál es el nivel de escala de modelos digitales con sensores adecuados para información de mapeo cartográfico estructurales en la exploración geológica?  ¿Cuál es la utilidad de los modelos digitales con sensores en la exploración geológica minera?  ¿Cuál de los modelos digitales permite la interpretación visual de lineamientos geológicos del área de estudio?		Delimitar el área de influencia para la información de mapeos cartográficos estructurales en la exploración geológica minera  Definir el nivel de escala adecuado de modelos digitales con sensores para información de mapeos cartográficos estructurales en la exploración geológica minera.  Obtener un mapa de lineamientos estructurales geológicos mineros a partir de modelos digitales con sensores  Comparar los modelos digitales con sensores para la interpretación visual de lineamientos geológicos del área de estudio.	El área de influencia está delimitada por coordenadas UTM comprendidas en la cuadrícula 22 K para la información de mapeo cartográfico en la exploración geológica minera  Los modelos digitales con sensores presentan diferentes rangos de escalas en el mapeo de exploración geológica minera  Los modelos digitales con sensores permiten obtener mapas de lineamientos estructurales geológicos mineros  Los tres modelos digitales con sensores presentan diferentes datos de interpretación visual de lineamientos geológicos mineros		

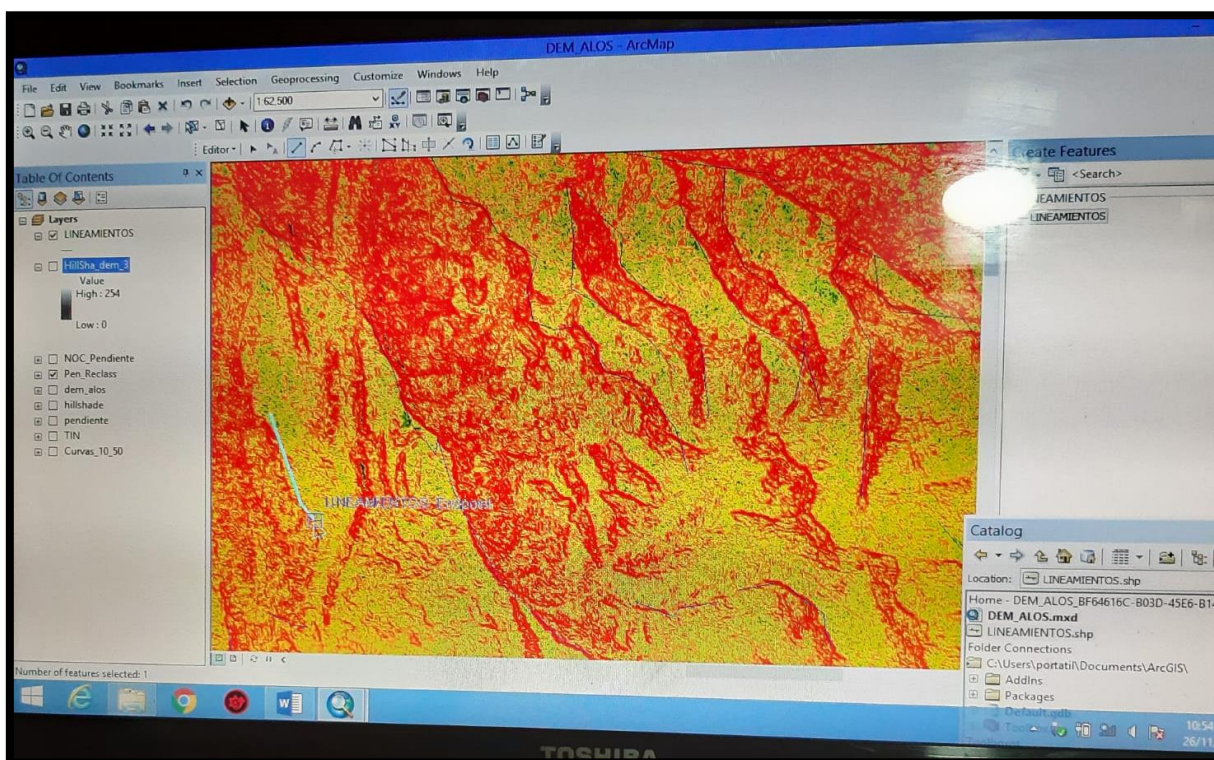
## Delimitación del área de trabajo en el Software Arc Gis.



## Determinación de lineamientos estructurales - ALOS PALSAR en Software Arc Gis



## Especificación de lineamientos estructurales - ALOS PALSAR en Software Arc Gis



## Fallas Regionales del cuadrángulo de Pasco 22-k - ALOS PALSAR en Software Arc Gis

