



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Geológica

“ESTUDIO ESTRUCTURAL 3D PARA  
IDENTIFICAR LOS CONTROLES DE LA  
MINERALIZACIÓN EN EL YACIMIENTO  
EPITERMAL DE ALTA SULFURACIÓN QUECHER  
MAIN”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERA GEÓLOGO

Autor:

Zambrano Valdivia, Emily Geraldine

Asesor:

Mg. Ing. Miguel Ricardo Portilla Castañeda

Cajamarca - Perú

2020

## DEDICATORIA

A mis hermanas, Steffany y Guadalupe, por todo su amor.  
A mi sobrina Emma, una razón más para ser mejor.

*Emily.*

## AGRADECIMIENTO

- A mis padres, por todo su apoyo incondicional y por permitirme trazar mi camino.
- A la Empresa Minera Yanacocha S.R.L y a todo el equipo de geólogos, por brindarme toda la información necesaria y sobre todo por su apoyo, consejos y enseñanzas compartidas.
- A mi asesor Mg. Ricardo Portilla, por toda su orientación y consejos en la elaboración de la tesis.
- Al ing. Víctor Rivasplata, por su apoyo desinteresado y sobre todo por las enseñanzas impartidas a lo largo de estos años.
- A la Universidad Privada del Norte, y a todos los docentes por todos los conocimientos brindados.
- A mi amiga Merly Morales, por todo su apoyo moral y su compañía en cada amanecida al momento del desarrollo de la tesis.

*Emily.*

## TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>6</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>16</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS.....</b>	<b>35</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>55</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>60</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>62</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Parte de la data estructural recopilada .....	22
Tabla 2 Valor porcentual estándar .....	31
Tabla 3 Vértices del área de estudio – WGS84 .....	33
Tabla 4 Acceso al Proyecto Minero Quecher Main.....	33

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<i>Pág.</i>
Figura 1 Inserción de data estructural.....	23
Figura 2 Tabla independiente de datos estructurales.....	23
Figura 3 Data estructural en escena.....	24
Figura 4 Data estructural de fallas en Falsilla de Schmidt.....	25
Figura 5 Inserción de sondajes.....	25
Figura 6 Tablas independientes de Collar (1), Survey (2) y Assays (3).....	26
Figura 7 Sondajes con información de leyes en escena.....	27
Figura 8 Crear nuevo interpolante.....	28
Figura 9 Parámetros iniciales de interpolación.....	28
Figura 10 Parámetros de interpolación final.....	29
Figura 11 Interpolante de leyes en escena.....	30
Figura 12 Interpolante de Total Sílice, Total Clay y Total Alunita en escena.....	32
Figura 13 Modelo Geológico 3D en escena.....	32
Figura 14 Secuencia de Andesita Inferior (LA).....	35
Figura 15 A) Afloramiento de Andesita Superior (UphA), con alteración Silícea.....	37
Figura 16 Afloramiento en complejo de brecha.....	38
Figura 17 Brecha Hidrotermal.....	39
Figura 18 Lineamientos y tendencias de imagen satelital.....	41
Figura 19 Análisis de data estructural en Falsilla de Schmidt.....	42
Figura 20 Interpolación de valores de Au – Vista al NO.....	43
Figura 21 Interpolación de Valores de Ag – Vista al NO.....	44
Figura 22 Interpolación de valores de As – Vista al NO.....	45
Figura 23 Interpolación de valores de Cu – Vista al NO.....	46
Figura 24 Interpolación de valores de Cu – Vista al NE.....	47
Figura 25 Interpolación de valores de Au – vista al NE.....	48
Figura 26 Interpolante de Alteración – Vista al NO.....	49

Figura 27 Interpolación de Alteración – Vista al NE .....	50
Figura 28 Control estructural Litológico – Vista al NO.....	51
Figura 29 Control Estructural Litológico – Vista al NE .....	52
Figura 30 Sistema de fallas modeladas NOSE.....	53
Figura 31 Sistema de fallas modeladas NESO.....	54
Figura 32 Modelo Estructural 3D del proyecto.....	54

## RESUMEN

El objetivo principal de la investigación fue Determinar el aporte del estudio estructural 3D en la identificación de los controles de la mineralización del yacimiento Epitermal de Alta Sulfuración Quecher Main, el estudio se realizó en base a 433 Muestras de Core, cada uno con data geoquímica y de XRD (Difracción de rayos X), incluyendo 69 datos estructurales antiguos; analizando e interpretando lineamientos en imágenes satelitales y haciendo uso del software Leapfrog para el procesamiento de la información, tales como la proyección estereográfica de la data estructural en una Falsilla de Schmidt y la interpolación de la data geoquímica y de alteración hidrotermal. Las estructuras con tendencias NOSE controlan el emplazamiento de los cuerpos intrusivos, como es el caso de la BxH, identificando así que el primer control es el contacto de la Andesita Inferior (LA) con el cuerpo de brecha hidrotermal (BxH). Y como segundo control, el alineamiento NE de la mineralización económica. Además, la fábrica estructural NESO, la concentración de leyes altas de Cu y Au está controlada por un sistema fallas conceptuales conjugadas (FC4 y FC5) formando un típico sistema de Anderson. La brecha hidrotermal (BxH) contiene la mineralización económica de Au, por tal motivo, las estructuras con tendencia NO están controlando el emplazamiento de los cuerpos intrusivos y las de tendencia NE son planos conjugados que controlan netamente la mineralización.

**Palabras clave:** Control estructural, control de la mineralización, yacimiento Epitermal de alta sulfuración.



## ABSTRACT

The main object of the investigation was to determine the contribution of the 3D structural study in the identification of mineralization's controls of the Quecher Main High Sulfidation Epithermal deposit, this study was carried out about 433 Core samples, each one with geochemical data and XRD (X-Ray Diffraction), including 69 old structural data; analyzing and interpreting guidelines on satellite images and making use of Leapfrog for information processing, such as the stereographic projection of structural data in a Schmidt's projection and interpolation of geochemical and hydrothermal alteration data. The structures with NWSE tendencies, control the location of the intrusive bodies such as BxH, therefore can identify the first control which is the contact of the Lower Andesite (LA) with hydrothermal breccia body (BxH). And as a second control, NE guideline of the economic mineralization. In addition, the structural factory NESW, the concentration of high Cu and Au grades are controlled by a conjugate conceptual fault system (FC4 and FC5) forming a typical Anderson system. The hydrothermal breccia (BxH) contains the economic mineralization of Au, for this reason, structures with NW tendency are controlling the location of the intrusive bodies and NE tendency are conjugated planes which control just the mineralization.

**Key words:** Structural control, mineralization control, High Sulfidation Epithermal deposit.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

El Perú es un gran potencial minero que a lo largo de los siglos se ha ido explotando. En la región Cajamarca, desde la década de los 90`s Yanacocha dio inicio a sus operaciones y desde entonces se la ha catalogado como uno de los principales productores de oro en el mundo, que cuenta con varios distritos mineros como Quecher Main, Yanacocha Verde, La Quinoa, entre otros. Para mantener la continuidad de producción de oro es necesario seguir realizando estudios que nos permitan conocer mejor cada depósito.

“Geología estructural es el estudio tridimensional de los procesos y productos de deformación de rocas sedimentarias, magmáticas y metamórficas. El objetivo principal de la geología estructural es utilizar las mediciones tectónicas de la anisotropía de la roca para descubrir información sobre la historia de la deformación de la roca y comprender el campo de tensión regional”. (Verner, 2014)

“La geología estructural es importante en la exploración y producción de minerales de formas diferentes: La ubicación y distribución de la roca mineralizada está relacionada con la estructura y la tectónica, tales como, los procesos de control tectónico relacionados con la formación de rocas huésped, las estructuras que controlan el flujo de fluido hidrotermal durante la mineralización y la deformación posterior a la mineralización que puede afectar la ubicación y geometría de los depósitos de mineral. Además, se utilizan métodos estructurales para definir la forma tridimensional, la disposición y la estructura interna de las unidades de roca que pueden albergar y/ u ocultar la mineralización” (Nelson, 2011, p.4).

Los controles estructurales en los sistemas HS pueden incluir zonas de fallas y fracturas de extensión relacionadas, cúpulas volcánicas y márgenes de diatremas, y estratos permeables, que pueden tener zonas controladas de sílice masiva que actúan como acuitardos para atrapar fluidos hidrotermales (Nelson, 2011, p.59).

El control de los grandes cuerpos mineralizados es complejo donde varias causas de dilatación suelen estar presentes. Diferentes aspectos del control estructural pueden dominar diferentes partes del mismo yacimiento, puede volverse interrelacionado, o puede interpretarse que cambia con el tiempo a medida que se desarrolla un yacimiento. (Peters, 2010, p.33)

En la actualidad se ha implementado los estudios estructurales tridimensionales usando un software de modelamiento que nos brinda un enfoque más completo para identificar estructuras y tendencias que controlan la mineralización. El modelado implícito es la formación rápida y automatizada de superficies y estructuras tales como pendientes, fallas y alteraciones directamente a partir de datos geológicos. (Seequent, 2019)

“La proyección estereográfica es una herramienta esencial para los geólogos, permite que los datos de orientación 3-D sean a la vez representados y manipulados. Proporciona una manera gráfica de desplegar los datos recopilados que es esencial para el reconocimiento e interpretación de modelos de orientación preferente” (Lisle y Lesión, 2004)

El software Leapfrog fue pionero en el método de modelado implícito en geología, además, acelera significativamente el proceso de modelado y permite que los modelos se actualicen automáticamente a medida que se ajustan los datos. Uno de los métodos más usados para interpolar datos son las Interpolación con Funciones de Base Radial. (Escuela de Geología Profesional, 2018)

“Las funciones de base radial corresponden a un grupo diverso de métodos de interpolación de datos. En términos de capacidad para ajustar un dato y producir una superficie suave el método multicuadrático (Multiquadric) es considerado por muchos como el mejor. Se puede introducir un factor de suavizado en todos los métodos para producir una superficie más lisa”. (Ferreira, 2005, p.33)

Los RBF son una forma natural de interpolar datos dispersos, particularmente cuando los puntos de datos no se encuentran en una cuadrícula regular y cuando la densidad de muestreo varía. Esta es la razón por la cual las interpolaciones RBF son ideales para los datos de perforación. (Seequent, 2019)

Es fundamental entender los controles estructurales para la comprensión de los emplazamientos de fluidos mineralizantes, pues las estructuras geológicas desarrollan un papel como canales en el transporte y precipitación de minerales. El control estructural en el área de Caracolí y Camperucho - Colombia, es definido por fallas inversas con componente de rumbo generando movimientos sinestrales, producto de esfuerzos de cizalla simple con las siguientes componentes:  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$  en direcciones NNE y SEE respectivamente. (Zuluaga, Torrenegra y Lascarro, 2019, p. 85).

En el depósito Pierina - Ancash, las estructuras principales tienen una tendencia NNO, ONO y NE. La alteración y mineralización en el depósito es típica de un sistema de alta sulfuración hospedado en rocas volcánicas. La mayoría de los minerales están hospedados en la vuggy sílica con alunita residual. Alrededor de la alteración vuggy sílica se encuentra una zona de alunita con menos pirofilita y dikita. Esta alteración, también hospeda minerales, pero generalmente en menor grado que la vuggy sílica. (Villarreal y Rodríguez, 2009, p. 61)

Para Mamani (2016), el “Análisis Estructural de la veta el Cofreparatia – Provincia de Lampa, departamento de Puno, las proyecciones estereográficas determinaron que

existen movimientos casi horizontales en un inicio de la formación de la falla y a medida que hubo desplazamiento fue adquiriendo más ángulo en sentido vertical, determinándose que está compuesto por una falla conjugada de tipo Dextral – Normal que es producto de esfuerzos transcurrentes, provocado por tensiones tangenciales”.

Para Herrera (2014), en el “Estudio geológico de los controles de mineralización de la Veta Vilma en la Mina Garrosa, Carhuaz – Perú, el modelo estructural de la zona de estudio corresponde a un movimiento de fallas sinestrales con inflexiones de apertura en direcciones NW – SE e inflexiones de cierre en direcciones N – S, estas inflexiones coinciden con lineamientos regionales, lo cual indica que existió un control preferencial de emplazamiento de la mineralización por fracturas y fallas pre mineral abiertas que siguen estas direcciones”.

Para Carpio (2017), en el “Estudio del control geológico estructural de Mineralización y Correlación de Flujos Hidrotermales en Veta Mercedes Unidad Minera San Juan de Chorunga, las estructuras mineralizadas mesotermales de Veta Mercedes son producto de deformaciones en rocas de comportamiento frágil y las analizaron por los métodos de Riedel, Ramsay y Anderson con los cuales determinaron que el relleno de vetas está asociado a estructuras de cizallamiento sinistral con una componente normal que luego fue cambiando a estructuras transcurrentes”.

Quispe (2015), en el “depósito de alta sulfuración Ciénega Norte, Hualgayoc – Cajamarca, desde el punto de vista litológico la mineralización se encuentra controlada por estructuras de brecha hidrotermal, tobas de cristales y de cenizas asociados a los óxidos de hierro como goethita, jarosita y hematita. El control estructural de la mineralización está determinado por tres sistemas de fracturamiento principal; N75°E, N65°W y N30°W”.

Para Díaz (2008), el “Proyecto Aurífero Quecher, muestra una buena correlación geoquímica de Au con Cu, Ag, Mo y Ba; así como una correlación inversa con Hg, As; Sb que son típicos elementos de un Sistema de alta sulfuración, por lo tanto, Quecher es un sistema epitermal con la presencia de elementos que indican mayor temperatura y profundidad en el sistema (probablemente una zona en transición a tipo pórfido Au-Cu)”.

Aliaga (2016), en el “Depósito Epitermal de Au Quecher Main, existe un corredor estructural NE que se muestra como un juego de fallas paralelas entre sí, las cuales se encuentran controlando el emplazamiento de los cuerpos de brecha y la presencia de Au, las estructuras Quecher, Elsa, Scarlet son principalmente asociados al control de Au de alta ley y son continuas por más de 500m (evidenciado en superficie y sondajes)”.

El proyecto Quecher Main, es un Yacimiento Epitermal de Alta sulfuración que está iniciando su operación minera, por lo tanto, es indispensable contar con nuevas técnicas que faciliten y amplíen el conocimiento geológico del proyecto y poder así contar con mayor información que podría ayudar a definirlo mejor. Este depósito no cuenta con un modelo en 3-D sólido que defina tendencias netamente estructurales que controlan tanto la mineralización como la alteración hidrotermal. Por tal motivo, en el presente estudio se realizará un estudio estructural en 3-D, basado en la información estructural proporcionada por el área de geología y por el análisis tipo RBF (Por sus siglas en inglés Radial Basic Function) para identificar los controles de la mineralización en el yacimiento epitermal de alta sulfuración Quecher Main, que nos ayudará a interpretar de una manera más clara la geología estructural existentes.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuáles son los controles de mineralización del Yacimiento epitermal de alta sulfuración Quecher Main al realizar un estudio estructural 3D?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Identificar los controles de mineralización del Yacimiento epitermal de alta sulfuración Quecher Main.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Analizar los lineamientos y tendencias en imagen satelital antigua.
- Analizar la data estructural de mapeo superficial antiguo.
- Definir fábricas estructurales de la concentración de leyes altas de minerales de Au, Ag, Cu y As, Alteración Hidrotermal y Contactos litológicos.
- Establecer el orden de fallas que controlan la mineralización y la alteración Hidrotermal.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

Mediante el estudio estructural 3D se identificará los controles de mineralización, permitiendo mejorar la interpretación de tendencias que controlan el Yacimiento epitermal de alta sulfuración Quecher Main.

## **CAPÍTULO II. METODOLOGÍA**

### **2.1. Tipo de investigación**

El diseño de la investigación es no experimental, pues no se manipulará las variables que se presentan. Según el propósito, es aplicada, ya que se basa en recoger información de la realidad para comprender algunas teorías y no se pretende aplicar nuevos conceptos. Los datos han sido recopilados en un tiempo único, por tal motivo se le considera de sección transversal. De nivel correlacional - causal, pues se describen relaciones entre variables en un momento determinado o en función de la relación causa-efecto; y enfoque cuantitativo, ya que la población usada son datos medibles y cuantificables. (Hernández, Fernández y Baptista, 2006, p.158)

### **2.2. Población y muestra**

#### **2.2.1. Población**

- Las rocas volcánicas (incluye sus productos de alteración y deformación) del yacimiento Quecher Main

#### **2.2.2. Muestra**

- (433) Muestras de Core y (69) datos estructurales del Yacimiento Quecher Main.

### **2.3. Materiales, instrumentos y métodos**

#### **Materiales**

#### **Campo**

- Lupa
- Rayador
- Libreta de campo
- Protactor



- Brújula
- Cámara Fotográfica
- Bolsa de muestreo

### **Gabinete**

- Laptop
- Impresora a colores
- Materiales de oficina
- Microsoft Office
- Software de Modelamiento 3D LeapFrog

### **Instrumentos**

- Ficha de Observación de datos estructurales
- Cuaderno de Campo
- Imágenes satelitales
- Mapa topográfico del Yacimiento
- Planos geológicos y litológicos del Yacimiento
- Planos de alteraciones Hidrotermales

## **2.4. Procedimiento**

### **2.4.1. Etapa de gabinete Pre-campo**

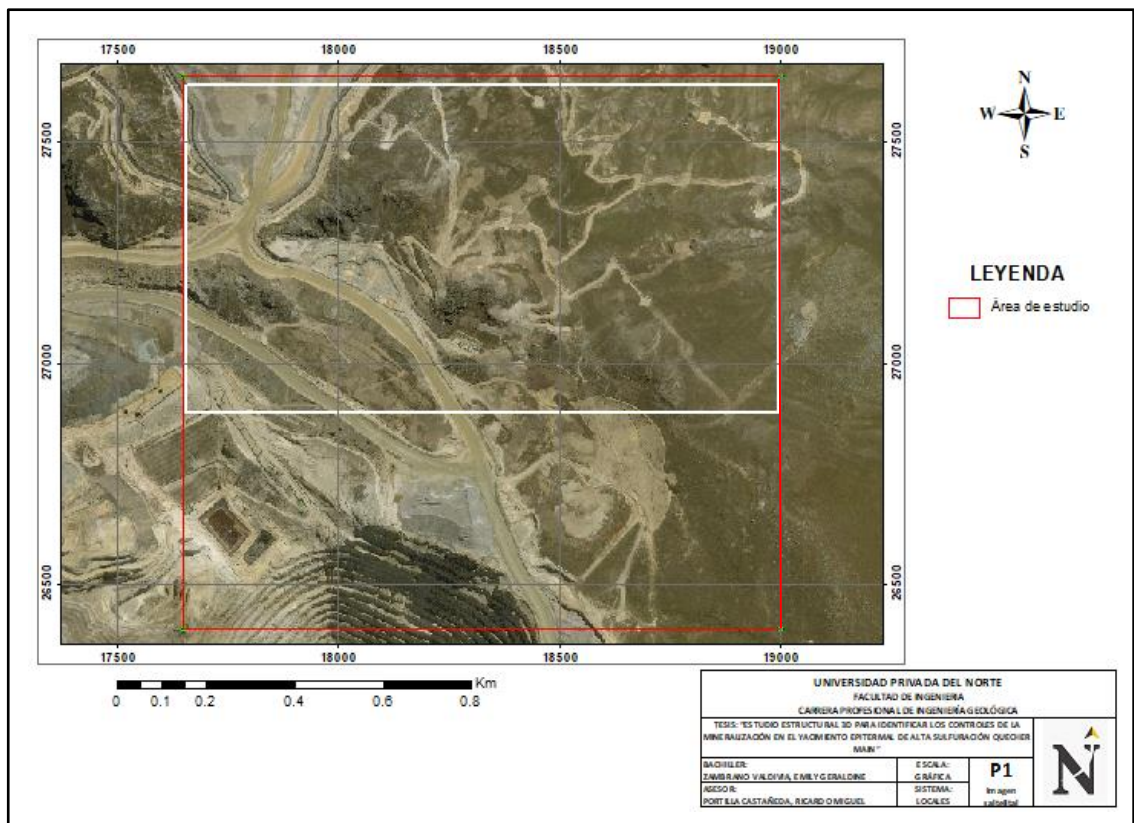
#### **2.4.1.1. Recopilación y revisión de la información bibliográfica: Geológicos, estudios previos.**

Se recopiló toda la información existente con respecto al Yacimiento Minero Yanacocha, investigaciones y estudios previos de los diferentes frentes de trabajo. Seleccionando la información se identificó una zona en concreto que, por estar en los inicios de minado, era necesario y muy importante la

complementación de un nuevo estudio. El estudio se realizará en el Tajo Quecher Main, que a partir de la información geológica y mineralógica elaboraremos el modelo estructural 3D.

#### 2.4.1.2. Análisis e interpretación de imágenes satelitales antiguas.

Haciendo uso de la plataforma del servidor Google Earth, se pudo adquirir una imagen satelital antigua correspondiente al año 2017 para poder realizar un análisis de lineamientos de las diferentes fábricas estructurales de afloramientos rocosos que aún existían para ese entonces.



Plano 1 Imagen Satelital del área de estudio. (Ver Anexo 1) Fuente: Propia (2019), imagen: Google Earth.

## 2.4.2. Trabajo de Campo

### 2.4.2.1. Recolección de muestras para ensayos de XRD

Como empresa, MYSRL tiene un procedimiento estándar interno y por temas de confidencialidad no detallaremos mucho. Se tiene que tener en claro que

la recolección de las muestras para XRD se toman después de haber culminado el logueo y tener marcado cada contacto.

Para el análisis de XRD se envía 50gr. de pulpa, y como procedimiento se envían compósitos de pulpa de cada 10m. Las muestras para análisis comúnmente, en teoría, son cada 2m, significa que en 10m bajo esa teoría se obtienen 5 muestras de 2m cada una y por lo tanto cada muestra tiene que pesar 10gr. (Pilco, 2015).

Sin embargo, no siempre se cumple por las placas de contacto geológico, tal es un caso en que se empieza de los 0m hasta los 9.50m, como el tramo geológico es de 0 a 9.50 y los compósitos suelen ser de 10m, no se cumpliría lo establecido teóricamente, pero es válido un compósito de 9.50 y más aún porque coincide con el tramo separado por el geólogo, en ese caso se tiene que calcular el proporcional a tomar de cada muestra para que sumadas las 5 muestras nos dé un total de 50gr. Veamos

Datos:

Longitud del tramo: 9.50m

Numero de muestras: 4 muestras de 2m cada una y 1 muestra de 1.50m

Peso total de pulpas: 50g

Peso de cada muestra:  $k$

Procedimiento:

$$2k + 2k + 2k + 2k + 1.5k = 50gr$$

$$9.5k = 50gr$$

$$k = 5.2632gr$$

Entonces:  $2(5.2632) = 10.526 gr$

$$1.5(5.2632) = 7.895gr$$

Por lo tanto: las 4 muestras de 2m tendrían que pesar 10.526gr y la muestra de 1.5m pesaría 7.895gr.

Los técnicos en muestreo de la empresa son los encargados de pulverizar las muestras y almacenarlas para luego enviar a laboratorio en grupos de cantidades indistintas y realicen su respectivo análisis. Los resultados suelen llegar entre 3 a más semanas y se las va recopilando en un archivo Excel. Se recopiló un aproximado de 4308 datos de un total de 433 taladros.

#### **2.4.2.2. Recolección de leyes geoquímicas de Au, Cu, Ag y As**

Este procedimiento se enfoca en el inicio del proceso de muestreo, preparación y envío. Existen 3 tipos de muestras: muestras regulares, duplicadas y de referencia standard.

- Muestras regulares: hacen referencia a las muestras normales seleccionadas cada dos metros y no se combinan o compositan con alguna otra muestra en el proceso de preparación.
- Muestras duplicadas: muestras usadas como control de calidad, para verificar la precisión de los análisis de sus respectivas muestras originales. Pueden ser, Field\_Split (duplicado de campo), Prep (duplicado de preparación), Pulp (Duplicado de pulpa)
- Muestras de referencia standard: usadas también como control de calidad para medir la exactitud de los análisis realizados e identificar las posibilidades de contaminación del proceso de preparación de muestras, en el caso de Yanacocha son usadas dos tipos de muestras blancas, Blanco de Chancado (B) y Blanco de Pulverizado (P)

El geólogo es el encargado del ingreso de la información de cada intervalo de muestreo (por lo general de 2 m cada uno) de su taladro logueado en una aplicación exclusiva para esa información, en la que se ingresarán los 3 tipos de muestras. Se debe tener en cuenta que los controles se los puede ubicar al azar o considerando cambios en las muestras. La cantidad de controles min requerida en la empresa es de aproximadamente entre 7 – 10% (7 -10 muestras de control en 100 muestras), es decir, se necesita insertar un control cada 14 muestras (28 – 30 metros). (Pilco, 2015)

Por lo general se hacen envíos de más de 50 muestras o 100 metros aproximadamente, cada geólogo tiene que deducir la cantidad de muestras y controles a enviar. Pues al culminar con la inserción de muestras se solicitan códigos de muestras (DS´s) en el sistema de bases de datos para que puedan ser enviadas a la fase de preparación y envío. Los resultados tardan en llegar aproximadamente 2 semanas. Se recopiló 65535 datos geoquímicos de un total de 420 taladros, conteniendo leyes de Au, Cu, Ag y As.

#### **2.4.2.3. Recolección de data estructural**

Esta información se divide en dos grupos, uno donde se va a coleccionar información de estructuras de intervalos de zonas de fallas y/o intervalo de intensidades de fracturamiento (Core), y el segundo grupo va a ser medidas puntuales de estructuras. Para el caso de la recolección de data estructural en campo, mayormente se va a coleccionar las medidas puntuales de estructuras.

Todas las estructuras medibles deben ser registradas y enfatizar en aquellas que parecen ser de ayuda para determinar la historia geológica.

En el caso de tener bien identificada la superficie de falla, se tiene que coleccionar la siguiente información:

- Coordenadas Locales
- Azimut (Regla de la mano derecha)
- Buzamiento
- Relleno de la falla (Brecha, gouge)
- Calidad de la falla (pobre, moderada o buena)

Cabe indicar que la data estructural recopilada (69 datos) y con la que se trabajó es data de mapeos antiguos, datos que fueron tomados en afloramientos rocosos antes de que empezara el minado.

Tabla 1 *Parte de la data estructural recopilada*

Este	Norte	Elevation	Dip	Dip_Az imut	Struc_T ype	F_R ake	F_Sen	F_Fill	F_Q	Comments
17901.57	27285.16	4107.362	70	23	Fault	90	Normal			
17852.57	27126.16	4063.671	87	354	Fault	70				
18515.57	27232.16	4095.171	40	173	Fault	0		Gouge		Fallas de bajo angulo //s
17852.57	27132.16	4067.837	82	138	Fault	80			G: good	Espejo de falla

Fuente: Minera Yanacocha S.R.L (2018)

### 2.4.3. Trabajo de gabinete post-campo

#### 2.4.3.1. Análisis e Interpretación de la información en Software LeapFrog Geo 4.0

##### 2.4.3.1.1. Tratamiento y análisis de la información de mapeo estructural superficial existente usando la falsilla de Schmidt

Para el tratamiento e interpretación de la información se hizo uso del Software LeapFrog Geo 4.0.

Los datos estructurales de las superficies de contacto se podrán importar de una serie de archivos. En la carpeta *Structural Data* (Datos estructurales) se deberá seleccionar la opción *Import Structural Data* (Importar Datos Estructurales) (Leapfrog geo, 2013, p.79). (Figura 1) Ahí seleccionaremos el archivo .csv que contiene la data estructural antigua de los afloramientos rocosos que existían antes de sus inicios de minado, la que se abrirá en una tabla en la que se irá filtrando y seleccionando la información. (Figura 2).

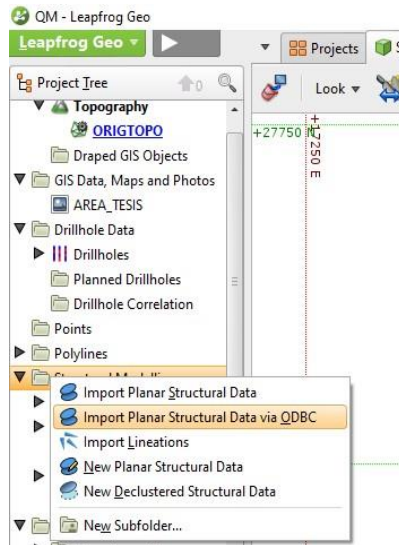
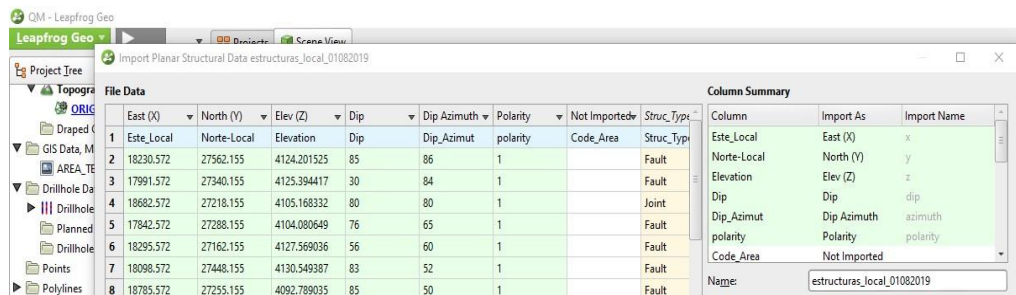


Figura 2 Inserción de data estructural. Fuente: Propia (2020)



File Data	East (X)	North (Y)	Elev (Z)	Dip	Dip Azimuth	Polarity	Not Imported	Struct_Type
1	Este_Local	Norte-Local	Elevation	Dip	Dip_Azimuth	polarity	Code_Area	Struct_Type
2	18230.572	27562.155	4124.201525	85	86	1		Fault
3	17991.572	27340.155	4125.394417	30	84	1		Fault
4	18682.572	27218.155	4105.168332	80	80	1		Joint
5	17842.572	27288.155	4104.080649	76	65	1		Fault
6	18295.572	27162.155	4127.569036	56	60	1		Fault
7	18098.572	27448.155	4130.549387	83	52	1		Fault
8	18785.572	27255.155	4092.789035	85	50	1		Fault

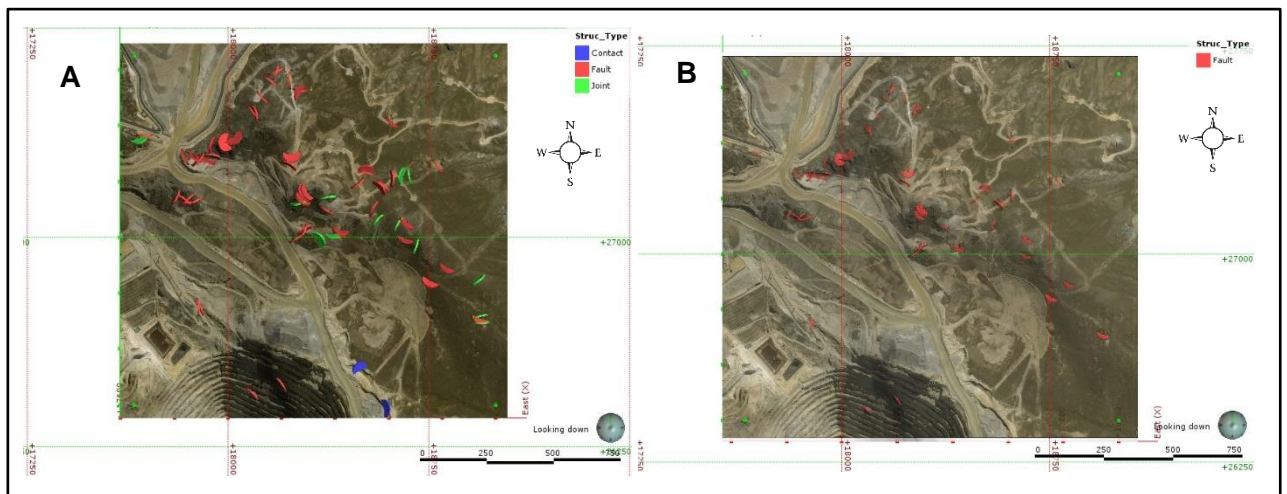
Column	Import As	Import Name
Este_Local	East (X)	x
Norte-Local	North (Y)	y
Elevation	Elev (Z)	z
Dip	Dip	dip
Dip_Azimuth	Dip Azimuth	azimuth
polarity	Polarity	polarity
Code_Area	Not Imported	

Name: estructuras\_local\_01082019

Figura 1 Tabla independiente de datos estructurales. Fuente: Propia (2020)

Luego, se añade la topografía a la escena, y se filtran todos aquellos datos estructurales que no usaremos (Figura3), quedándose así solo con los datos de fallas.

Existe una herramienta muy práctica en Leapfrog Geo 4.0, que nos proporciona la capacidad de interpretar datos estructurales a través de una proyección estereográfica. Por tal motivo, se ploteó todos los datos estructurales de fallas en una Falsilla de Schmidt que nos ayudará a corroborar la existencia de fábricas estructurales encontradas gracias a las imágenes satelitales interpretadas anteriormente. (Figura 4)



*Figura 3* Data estructural en escena.

A) Data estructural de Contactos, Fallas y diaclasas. B) Data estructural filtrada. Fuente: Propia (2020)



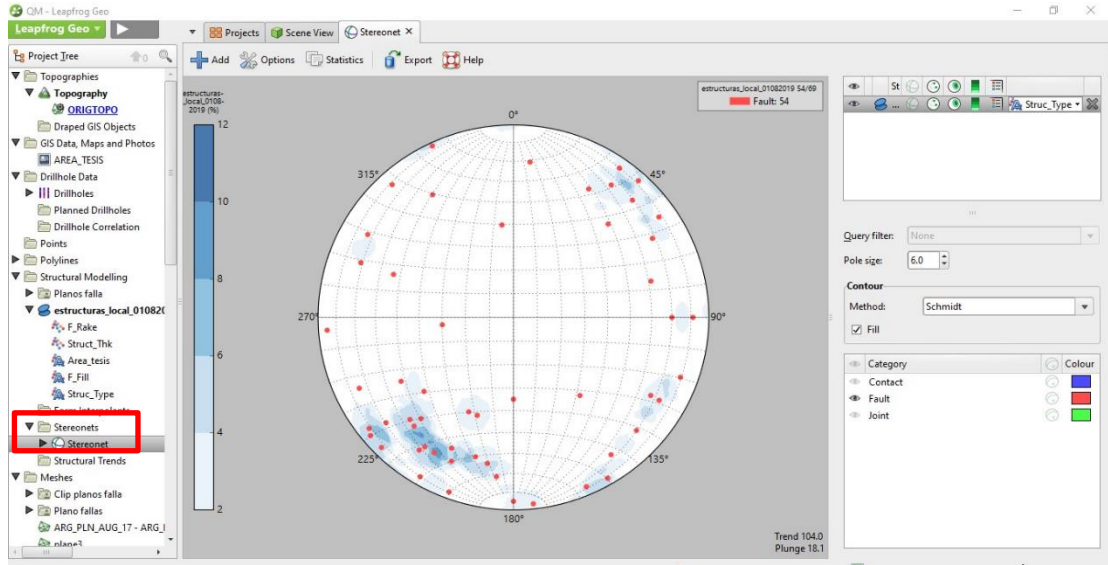


Figura 4 Data estructural de fallas en Falsilla de Schmidt. Fuente: Propia (2020)

#### 2.4.3.1.2. Interpretación de data estructural que controla la mineralización de leyes altas de Au, Ag, Cu y As.

Para el software Leapfrog Geo, la base de datos requiere archivos en formatos .csv y tablas independientes. Para importar los sondajes con la data geoquímica abrimos la carpeta Drillhole Data (Datos de sondeo) y seleccionamos la opción Import Drillholes (Importar Sondeos). (Leapfrog geo, 2013, p.18). (Figura 5). Bastará tener en una sola carpeta las tablas independientes de Collar, Survey y Assays, para que, al momento de seleccionar el archivo del collar, el software automáticamente adjunte los .csv de survey y assays.

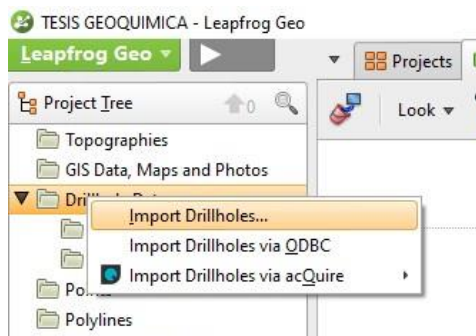


Figura 5 Inserción de sondajes. Fuente: Propia (2020).

La tabla de collar contiene el Este, Norte y Elevación; nombre de sondaje (ID) y profundidad. Con estos campos, Leapfrog trazará la información en 3D. La tabla del Survey presentará los campos de las lecturas realizadas por el equipo de inspección de fondo de pozo. Para cada lectura habrá campos de azimuth e inclinación en las diferentes profundidades. Por último, la tabla de Assays contendrá información geoquímica en determinados intervalos (From – To) a lo largo de cada sondaje de Au, Ag, Cu y As. Es en ese orden en que se filtrará y seleccionará la información necesaria. (Figura 6 y 7)

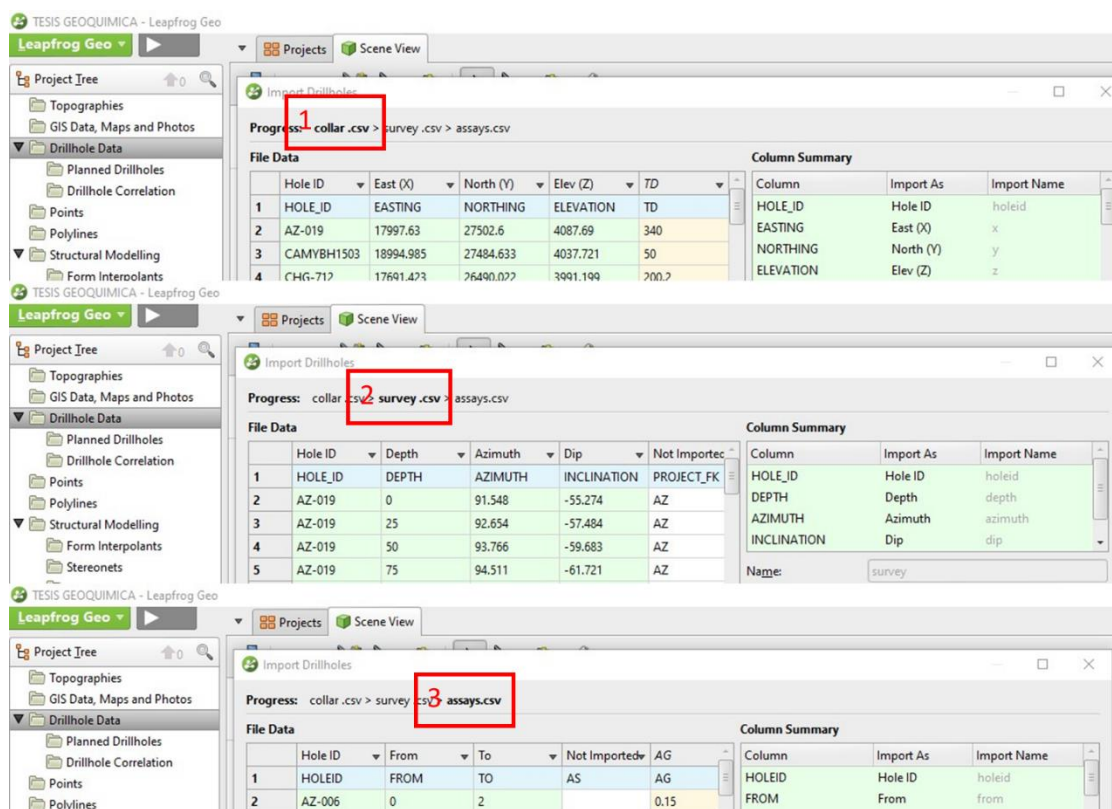


Figura 6 Tablas independientes de Collar (1), Survey (2) y Assays (3). Fuente: Propia (2020).

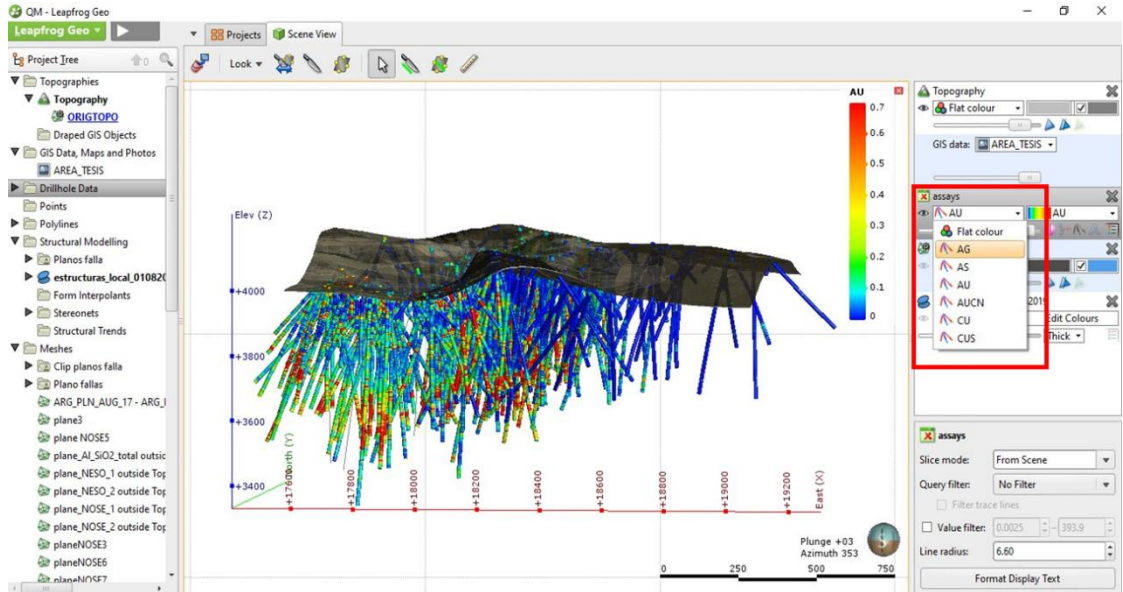


Figura 7 Sondajes con información de leyes en escena. Fuente: Propia (2020).

Para modelar los datos geoquímicos usaremos el método de Interpolación RBF, pues es el que mejor se ajusta en los sondajes. En la carpeta **Interpolants** (Interpoladores), seleccionaremos la opción **New Interpolant** (Nuevo interpolante). (Figura 8)

Se irá generando una interpolación para cada uno de los 4 elementos que se interpretarán (Au, Ag, Cu y As), asimismo, se irá seleccionando diferentes parámetros que luego tendrán que ser cambiados, tal es el caso del Boundary (Perímetro) que tiene que sobrepasar la distancia de los sondajes, para que pueda abarcar la mayor información posible.

La resolución de la superficie puede variar, a menor valor mejor será la resolución. Una regla muy importante es activar la opción Adaptive, para poder cambiar luego varios parámetros. (Figura 9)

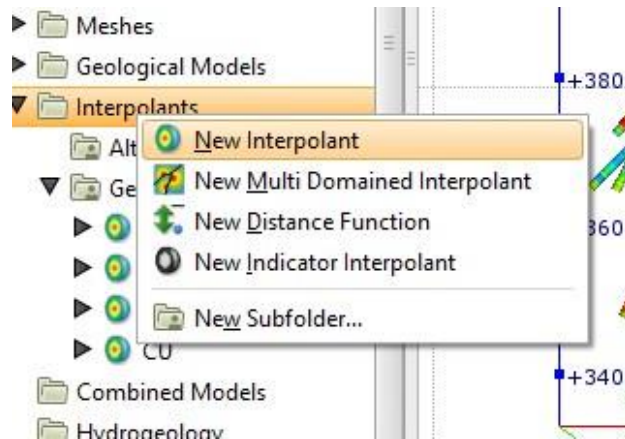


Figura 8 Crear nuevo interpolante. Fuente: Propia (2020).

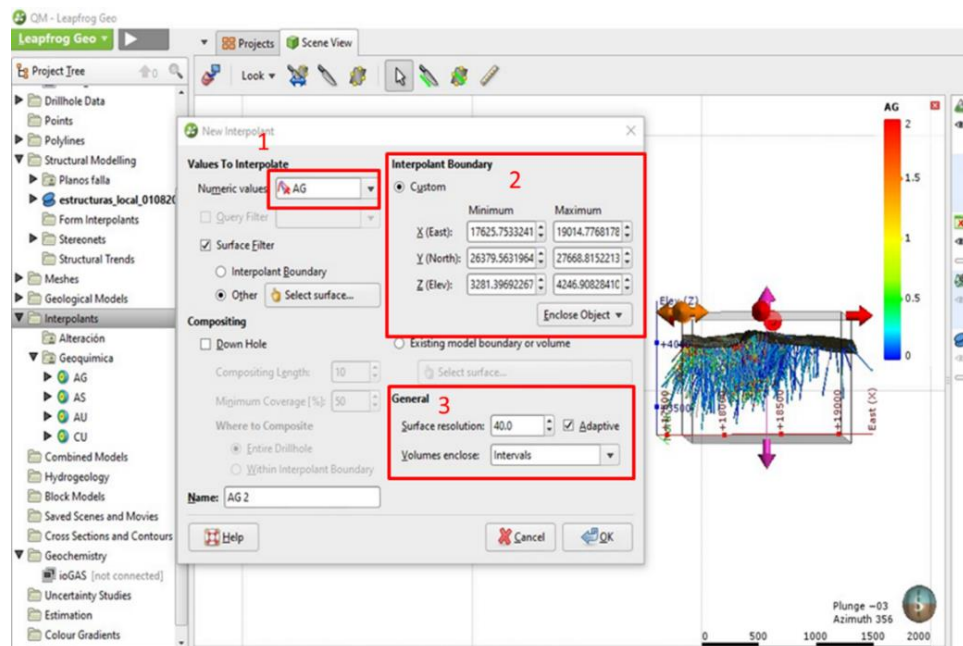


Figura 9 Parámetros iniciales de interpolación. Fuente: Propia (2020).

Al ir generando cada interpolante, se tiene que tener en cuenta que se debe ir cambiando cada parámetro, pero dentro de cada interpolación ya creada. Se recomienda el uso de un interpolador Esferoidal, además, usaremos un Sill de 0.1 y un rango base de 400 y con Drift (desviación) cosntante. Estas

opciones se eligieron después de realizar varias pruebas para determinar el mejor rango que queremos dar a los cuerpos mineralógicos.

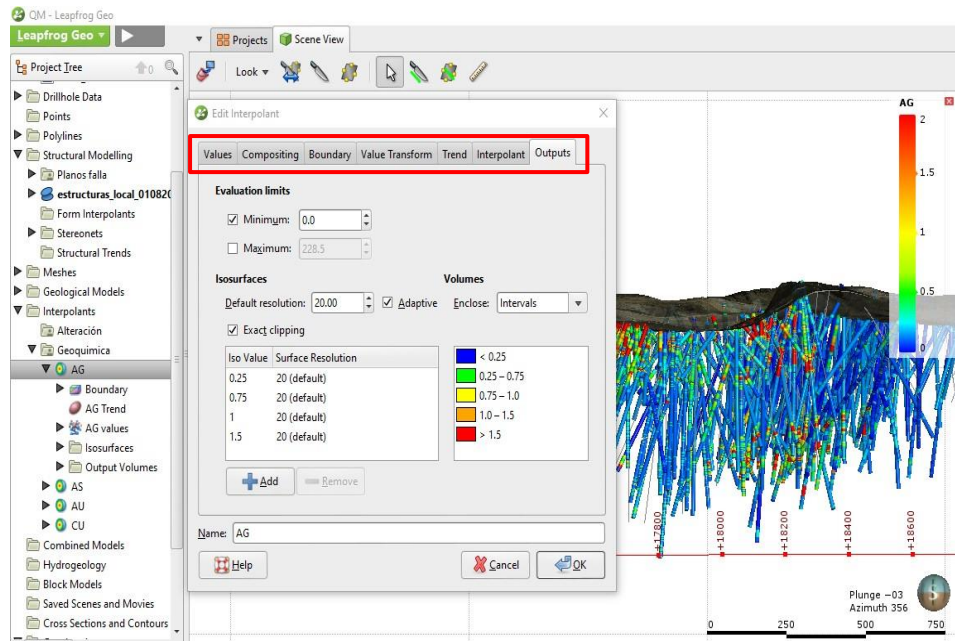


Figura 10 Parámetros de interpolación final. Fuente: Propia (2020).

Al tener generado las interpolaciones para cada uno de los elementos (Au, Ag, Cu y As), y con la ayuda de los datos estructurales se irán definiendo zonas de control estructural (Figura 11)

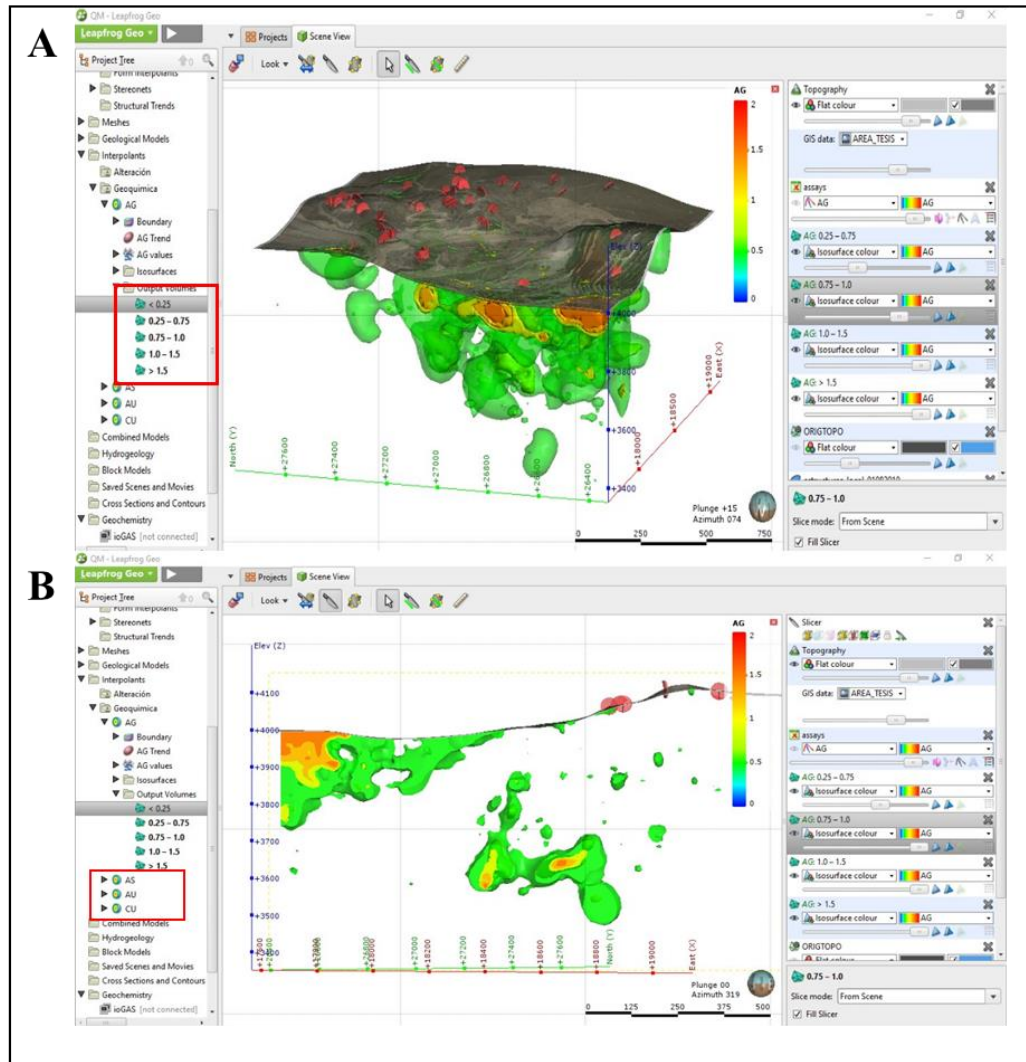


Figura 11 Interpolante de leyes en escena.

A) Vista isométrica del interpolante. B) Interpolante vista en sección al NO. Fuente: Propia (2020).

### 2.4.3.1.3. Interpretación estructural que controla la alteración Hidrotermal y litología.

Del mismo modo que se interpola la data de leyes de Au, Ag, Cu y As se procederá a realizar la interpolación de la alteración hidrotermal usando la data XRD ya previamente validada. Sin embargo, aquí trabajaremos solamente con 3 grandes grupos principales, Total Silica, Total Clay y Total Alunita. Considerando los valores porcentuales ya estandarizados por la empresa. (Tabla 2)

Tabla 2 *Valor porcentual estándar*

Total Sílica	Total Clay	Total Alunita
%QTZ_N	%CLAY_N	%ALN_N
≥ 80	≥ 30	≥ 15

Fuente: Minera Yanacocha S.R.L (2018)

Siendo:

**Total Sílica** =  $\sum$  [Qtz + Crs + Tri]; Qtz (Quartz); Crs (Cristobalite) y Tri (Tridimite)

**Total Alunita** =  $\sum$  [Al]; Al (Alunita)

**Total Clay** =  $\sum$  [Pyroph + Ser/ill + Kaol + Smec]; Pyroph (Pyrophyllite), Ser/ill (Sericite/Illite), Kaol (Kaolinite), Smec (Smectite)

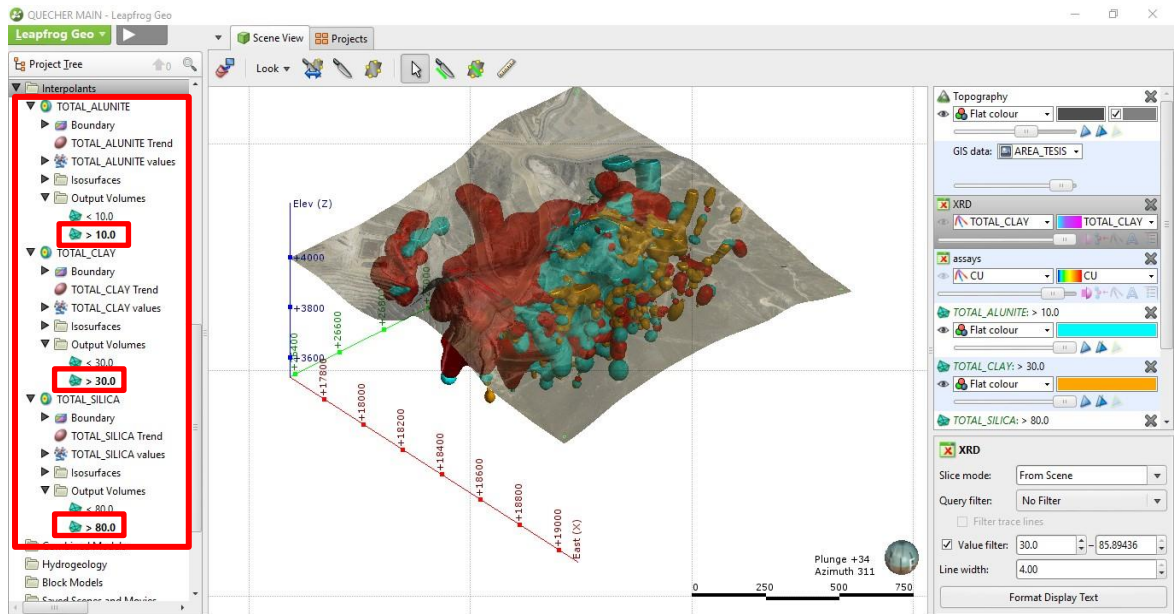


Figura 12 Interpolante de Total Sílice, Total Clay y Total Alunita en escena. Fuente: Propia (2020).

En el caso de la información litológica, se hizo uso del modelo geológico existente del año 2017 y propio de la empresa, por lo que solo se cargaron al software Leapfrog Geo los archivos en formato dxf de cada litología.

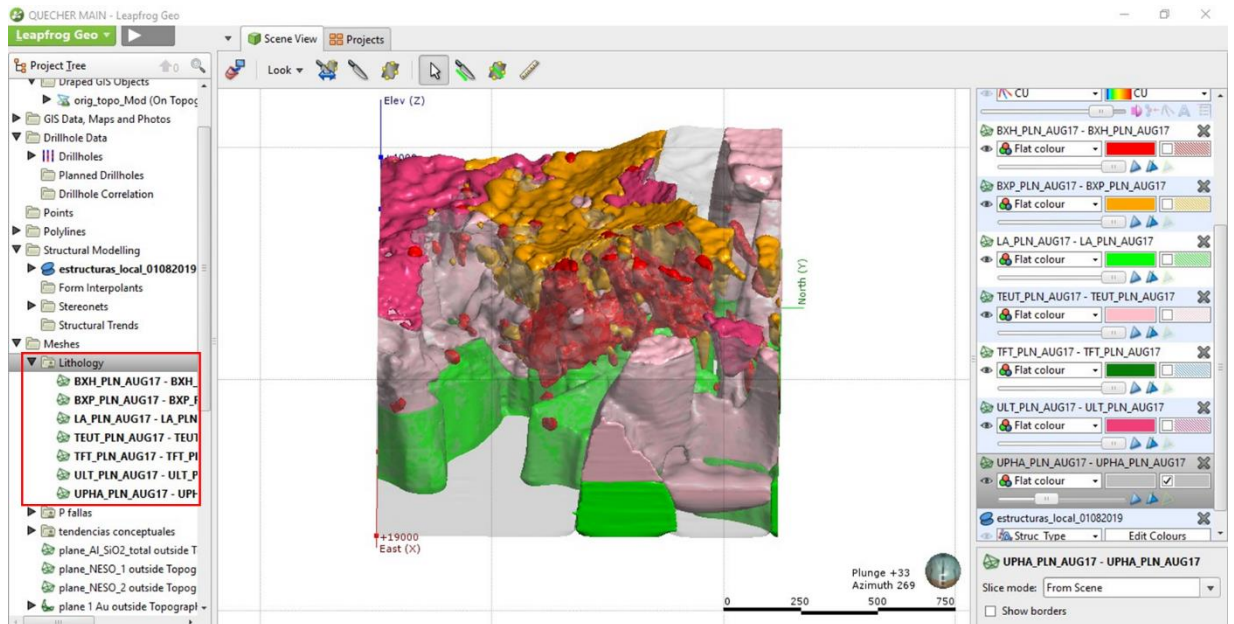


Figura 13 Modelo Geológico 3D en escena. Fuente: Propia (2020).



## 2.5. Aspectos Generales

### 2.5.1. Ubicación

Geográficamente el depósito Epitermal de Alta Sulfuración Quecher Main se encuentra ubicado en la zona E del distrito minero Yanacocha, aprox. 45 km al NE de la ciudad de Cajamarca-Perú. (Plano 02) Entre las cotas 3700 a 4200 m.s.n.m.

Tabla 3 *Vértices del área de estudio – WGS84*

VÉRTICE	ESTE	NORTE
1	777398.428	9227277.85
2	778748.428	9227277.85
3	778748.428	9226027.85
4	777398.428	9226027.85

Fuente: Minera Yanacocha S.R.L (2018)

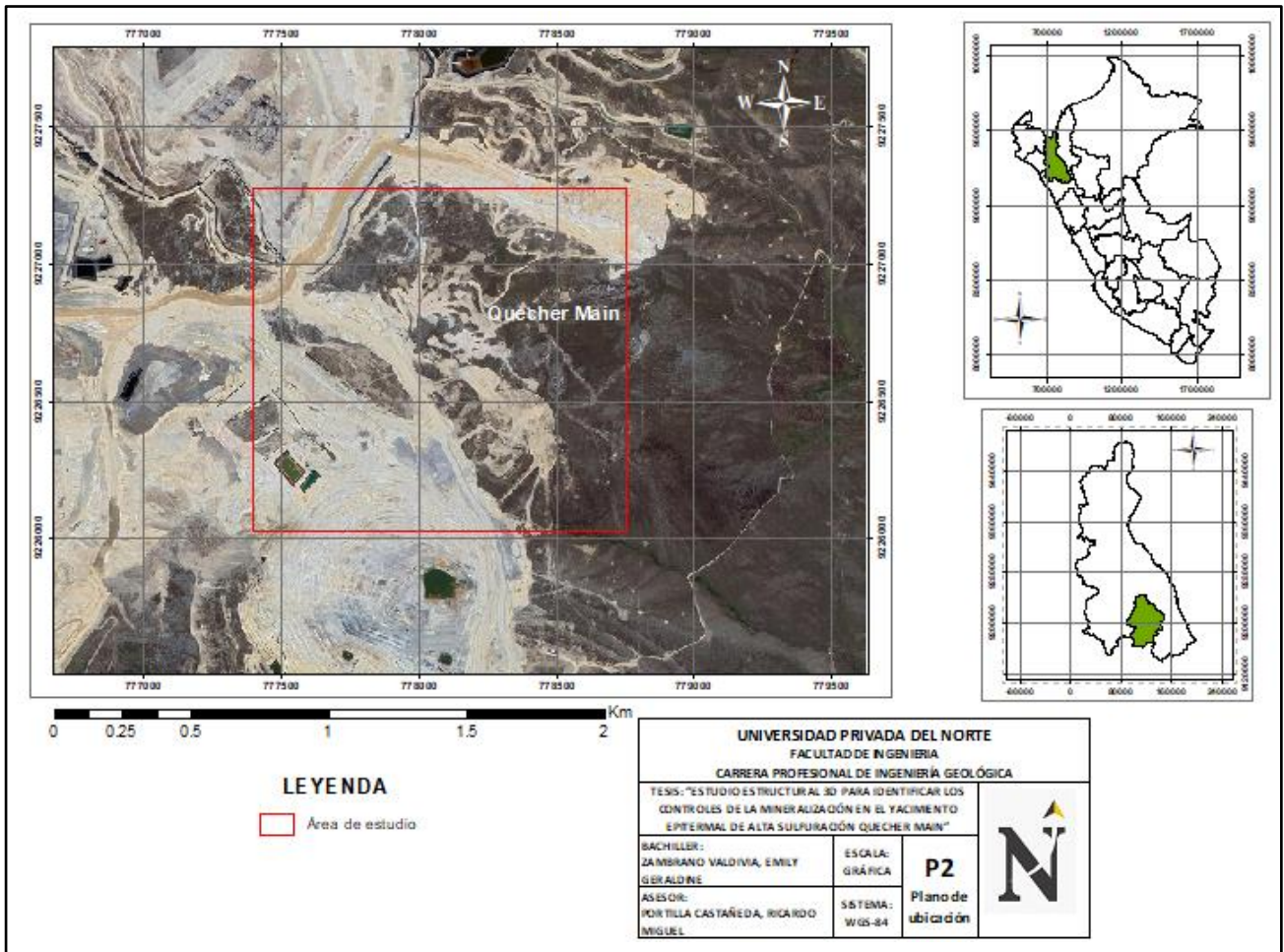
### 2.5.2. Accesibilidad

El acceso a la zona de estudio, desde la provincia de Cajamarca son aproximadamente 55 km en un tiempo promedio de 1 h 40 min.

Tabla 4 *Acceso al Proyecto Minero Quecher Main*

Ruta terrestre	Distancia (Km.)	Tiempo (hr.)	Vía	Condiciones técnicas
Cajamarca – MYSRL (Campamento km 37)	37	1.10	Asfaltado	Buena
MYSRL (campamento km37) -Zona de estudio	18	0.30	Accesos afirmados	Buena

Fuente: Propia (2018)



Plano 2 Plano de ubicación de área de estudio (Ver Anexo 2) Fuente: Propia (2019), imagen: Google earth.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Geología Local

Se distinguen 3 eventos mayores

#### 3.1.1. Secuencias Volcánicas

##### 3.1.1.1. Andesita inferior (LA)

Unidad más antigua de la secuencia, caracterizada por presentar secuencias de textura porfídica de composición andesítica con niveles fragmentales (niveles de “auto brecha”). No está expuesta en la superficie, pero se encuentra a los 3680 m de elevación.



*Figura 14* Secuencia de Andesita Inferior (LA).  
Fuente: Aliaga, M. (2016).

##### 3.1.1.2. Toba Fina (Tft)

Secuencia menos desarrollada del depósito con potencias de hasta máx. 20 m.  
Se caracteriza por presentar más ceniza que lapilli (Toba CL) y está asociada con niveles lacustrinos.

### **3.1.1.3. Toba Eutaxítica (Teut)**

Unidad con mayor desarrollo en el área, con potencia en promedio de 300m, generalmente en la parte sur del proyecto, el contacto con la Toba lítica Ult, se encuentra a 3935 metros de altitud. Caracterizada por presentar textura fina con presencia de esporádicos líticos silicificados. Además, la mineralización de Au está alojada dentro de esta unidad cerca de cuerpos de brechas freáticas e hidrotermales.

### **3.1.1.4. Toba Lítica Superior (Ult)**

Unidad superior de la secuencia volcánica. Se caracteriza por ser una toba lítica cristalina con matriz fina y fragmentos pre-alterados (heterolíticos y silicificados). Ubicada por encima de los 3945m de elevación en la parte sur del proyecto. Presenta una anomalía de Au de moderada a débil.

## **3.1.2. Cuerpos subvolcánicos**

Unidad intrusiva de cuerpos de composición andesítica, con una tendencia favorable NO.

### **3.1.2.1. Andesita Superior (UphA)**

Unidad con mayor desarrollo y predomina en parte este del proyecto. Caracterizada por ser una roca de composición andesítica con textura porfídica de grano medio en el que predominan cristales de plagioclasas, feldspatos y esporádicos ojos de cuarzo. En varios sectores hay presencia de vetillas de cuarzo, pirita y alunita con mineralización de Au.



*Figura 15 A) Afloramiento de Andesita Superior (UphA), con alteración Silíceá. Fuente: Aliaga, M. (2016).*

### **3.1.3. Complejo de Brechas**

Cuerpo de brechas de componentes freáticos e hidrotermales con tendencia NE asociada a la falla distrital Belén. La base de este complejo de brechas se forma en el contacto de las unidades volcánicas del Teut y La. En la parte sur se intersecta con estructuras de tendencia NO, por lo que el cuerpo se presenta en ambas direcciones NO y NE.

#### **3.1.3.1. Brecha Freática (BXP)**

Presenta una matriz fina rica en cristales, con fragmentos líticos silicificados. En la parte norte en contacto con la unidad intrusiva se forman zonas con presencia de líticos de composición porfírica que cambia gradualmente hasta la unidad intrusiva. Se encuentra coronando las brechas hidrotermales, además es el cuerpo con mayor dominio en el complejo. El contenido de Au es de moderado a bajo, a niveles más profundos hay presencia de azufre nativo (S<sup>0</sup>) y Pirita.

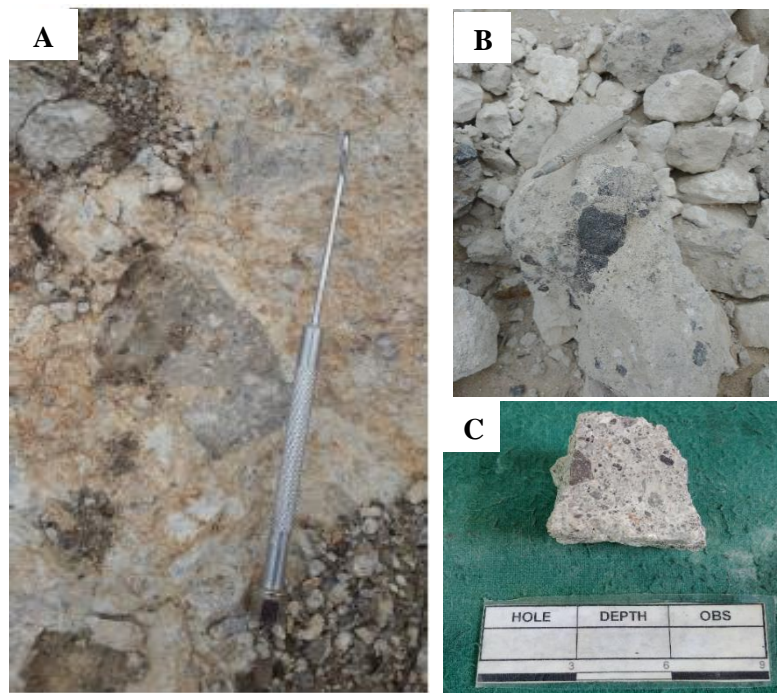
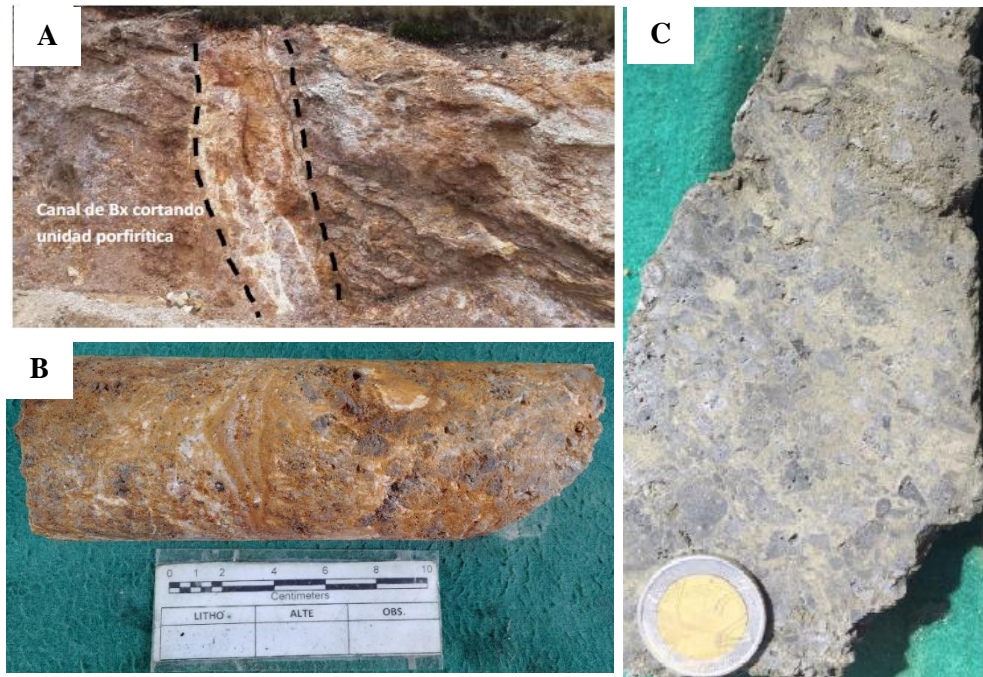


Figura 16 Afloramiento en complejo de brecha.

- A) Textura clásica de la brecha freática con fragmentos de composición andesítica pre-alterado.  
B) y C) Afloramiento de cuerpo de brecha con presencia de líticos silicificados. Fuente: Propia (2019)

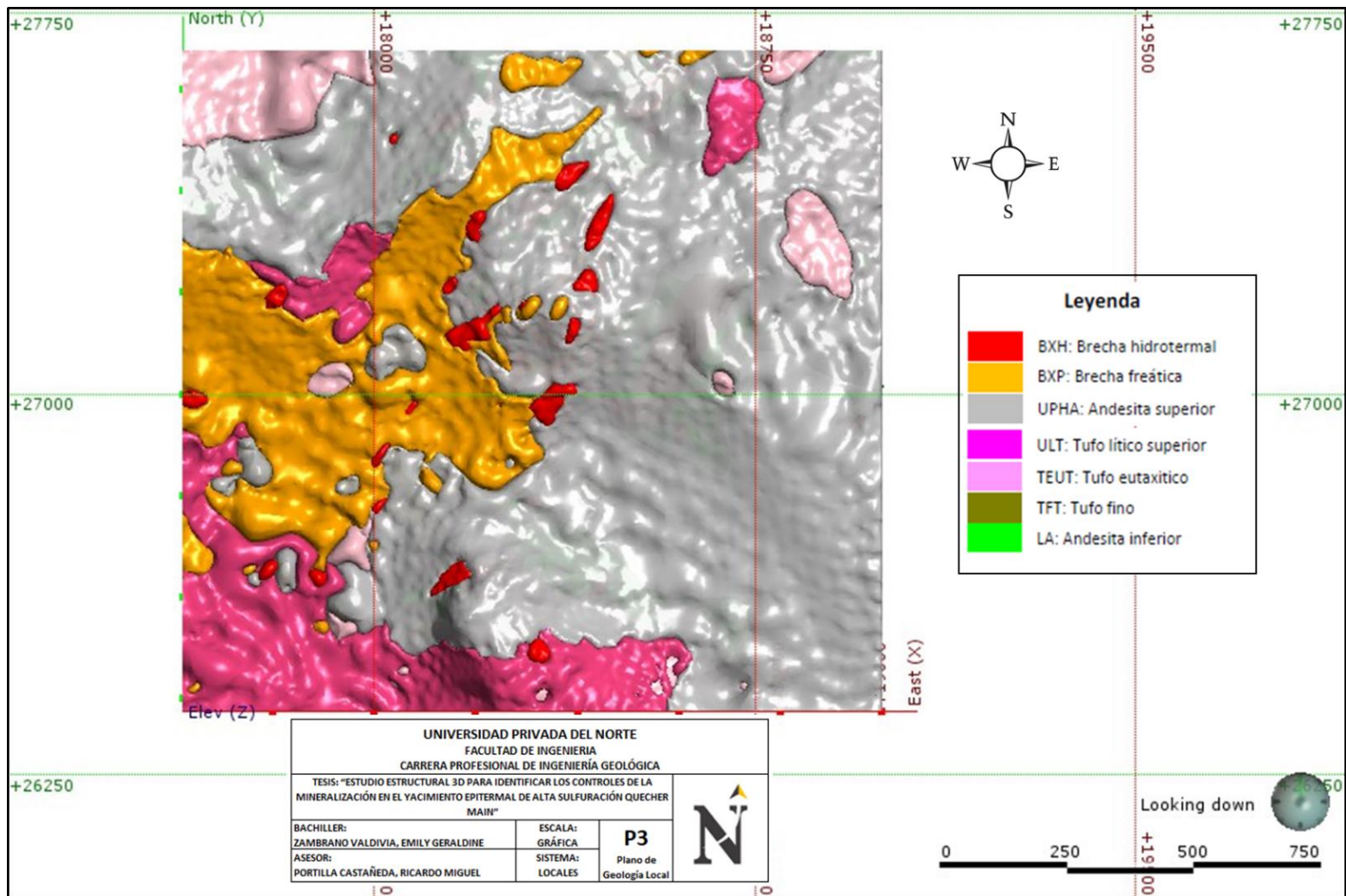
### 3.1.3.2. Brecha Hidrotermal (BXH)

Unidad con un fuerte control estructural NE. Corta a todas las unidades previas. Se caracteriza por presentar una matriz de diferentes composiciones, una rica en óxidos (goethita), matriz rica en sulfuros (Pirita > enargita > covellina), matriz de alunita, matriz de sílice (gris y crema); con presencia de fragmentos alterados. Presenta una mayor correlación con el Au, siendo así la principal guía de exploración del proyecto.



*Figura 17 Brecha Hidrotermal.*

- A) Canal de Brecha Hidrotermal cortando a unidad porfirítica. B) Brecha Hidrotermal con matriz rica en óxidos (Goethita) cortando los fragmentos silicificados. C) Brecha Hidrotermal con matriz de sulfuros (Pirita), con presencia de venillas de cuarzo crema. Fuente: Aliaga, M. (2016).



Plano 3 Plano Geológico del área de estudio (Ver Anexo 3) Fuente: Propia (2020).



### 3.2. Análisis de lineamientos y tendencias de imagen satelital antigua:

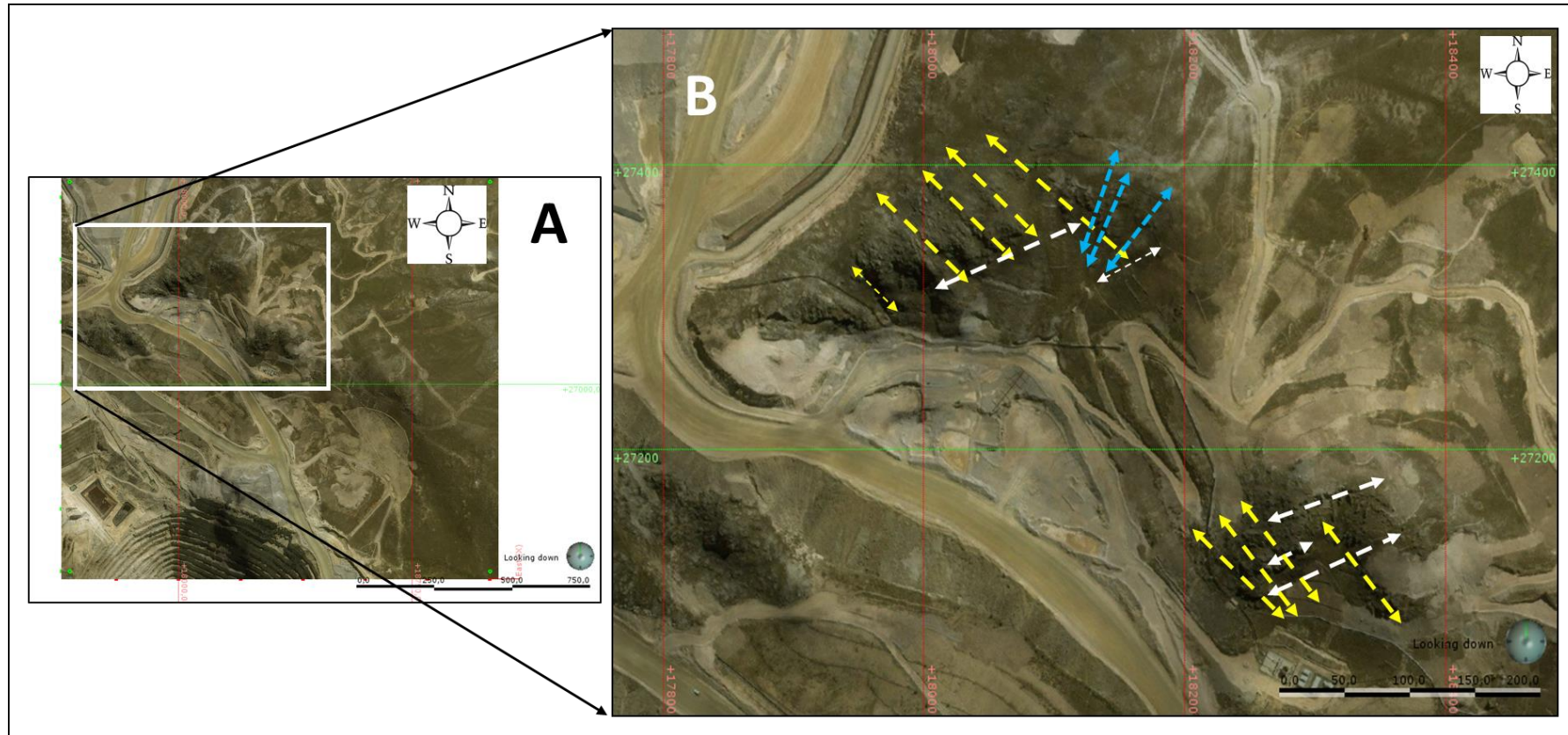


Figura 18 Lineamientos y tendencias de imagen satelital. Fuente: Propia (2019), imagen: Google Earth

- A) Vista de planta con la imagen satelital extraída de la plataforma del Google Earth, mostrando un recuadro del color blanco que representa al área de la tesis.
- B) Detalle del área de investigación. Las flechas de color blanco discontinuo y azul discontinuo evidencian fábricas estructurales de tendencias ENE-SOS Y NE-SO, respectivamente. Las flechas discontinuas de color amarillo muestran otra fábrica estructural con tendencia NO-SE.
- Fuente: Elaboración propia

### 3.3. Análisis e Interpretación de la información en Software LeapFrog Geo 4.0

#### 3.3.1. Tratamiento y análisis de la información de mapeo estructural superficial existente usando la falsilla de Schmidt

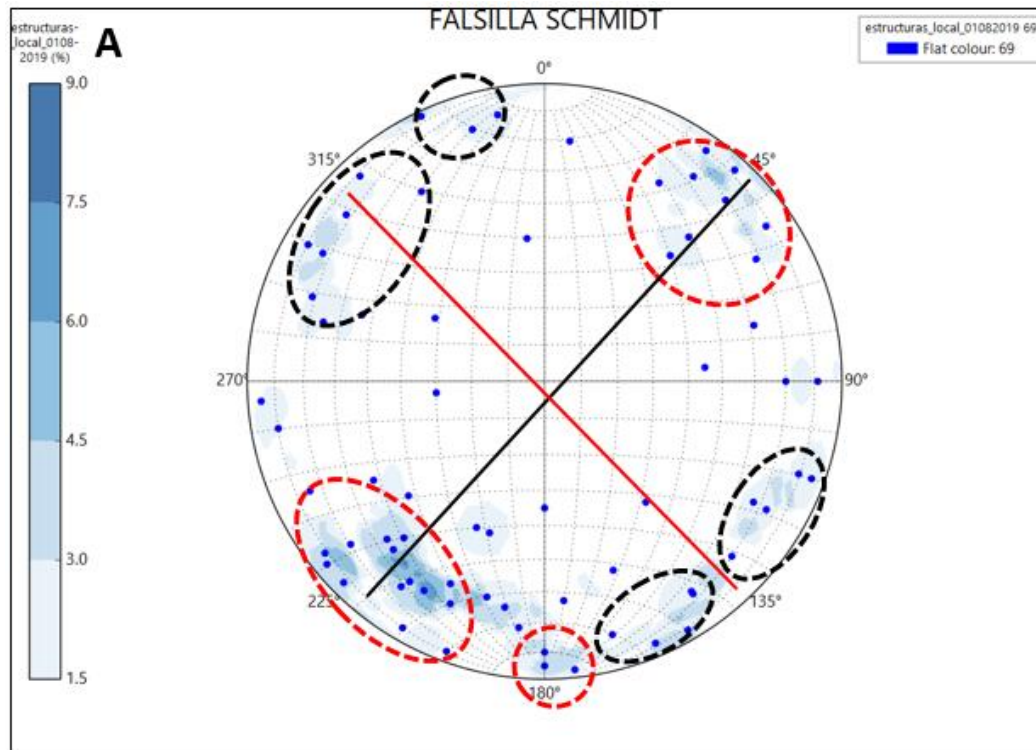


Figura 19 Análisis de data estructural en Falsilla de Schmidt.

- A) La data estructural de mapeo en superficie se logra corroborar la existencia de las dos fábricas estructurales una con tendencia NE-SO Y NO-SE. El Trend NE y NO, corresponden a estructuras distritales asociadas principalmente a dos fallas, Yanacocha – Chaquicocha (NO) y Belén (NE). La falla Yanacocha – Chaquicocha es una falla distrital asociada al tectonismo andino, que limita la mineralización del depósito Quecher Main y Chaquicocha.  
Fuente: Propia (2020)

### 3.3.2. Análisis de las interpolaciones de la data estructural que controla la mineralización de leyes altas de Au, Ag, As y Cu.

#### 3.3.2.1. Control Estructural NO

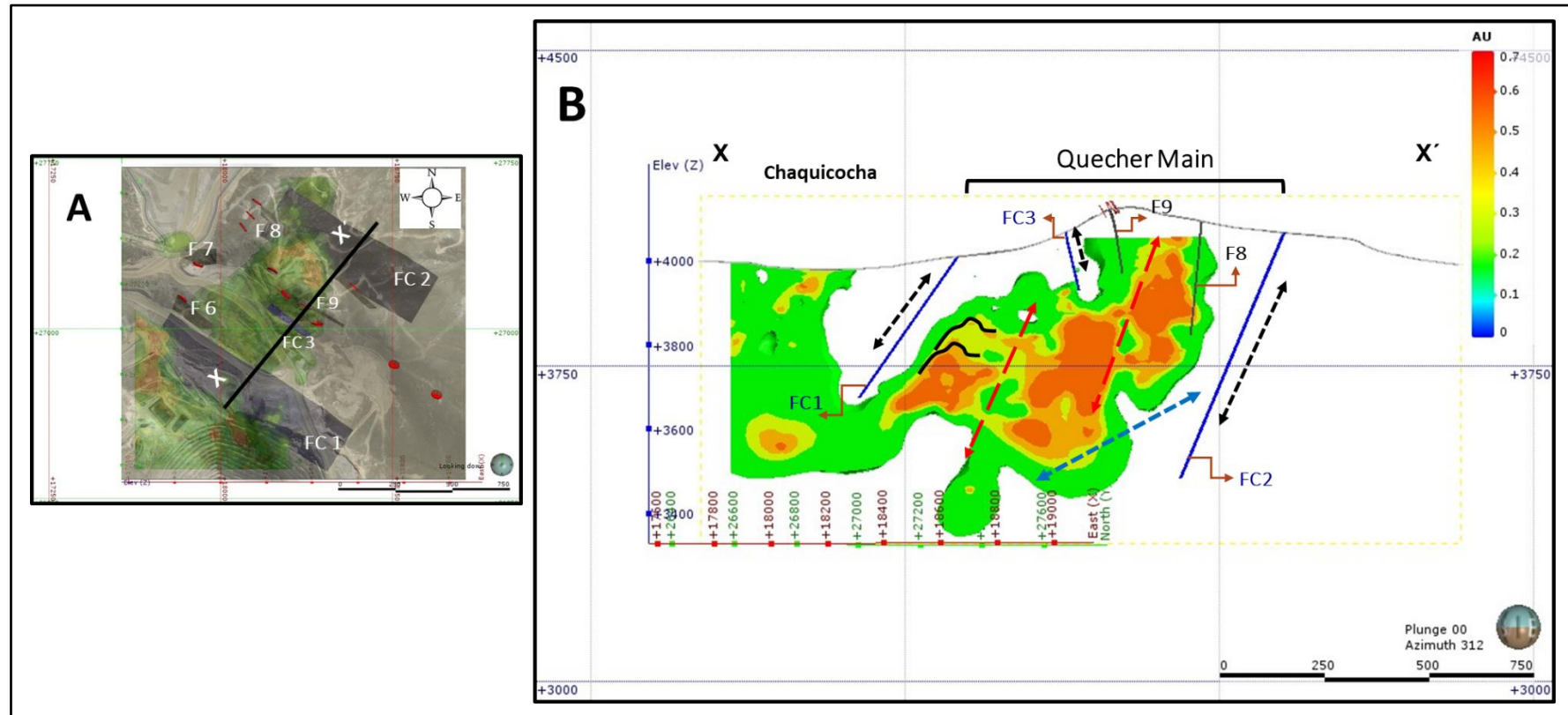


Figura 20 Interpolación de valores de Au – Vista al NO.

- A) Vista de planta con la ortofoto en transparencia mostrando la línea de sección X-X' y los planos de fallas conceptuales (FC) y Fallas de mapeo superficial (F).
- B) Sección X-X' con vista al NO mostrando la interpolación de los valores de Au, note la flecha de color azul discontinuo con un plunge de 15° aproximadamente hacia el SO. Las flechas de color negro discontinuo evidencian un vacío de las leyes de oro, área en el cual se han trazado planos conceptuales (FC1, FC2 y FC3) que definen una zona de control estructural y los planos de falla de mapeo superficial (F9 y F8) que evidencian la existencia de ésta tendencia. Cabe mencionar que esta tendencia y en las leyes de Au tienen una similitud de las fábricas estructurales identificadas en la figura 18. Además, existen pliegues de arrastre de cinemática inversa interpretadas en función a la mineralización (Líneas continuas de color negro), además las flechas discontinuas de color rojo muestran una misma familia de estructuras, que están controlando el desplazamiento en bloques hacia abajo, siendo probablemente un control postmineral de las zonas de alta ley de Au. Fuente: Propia (2020).

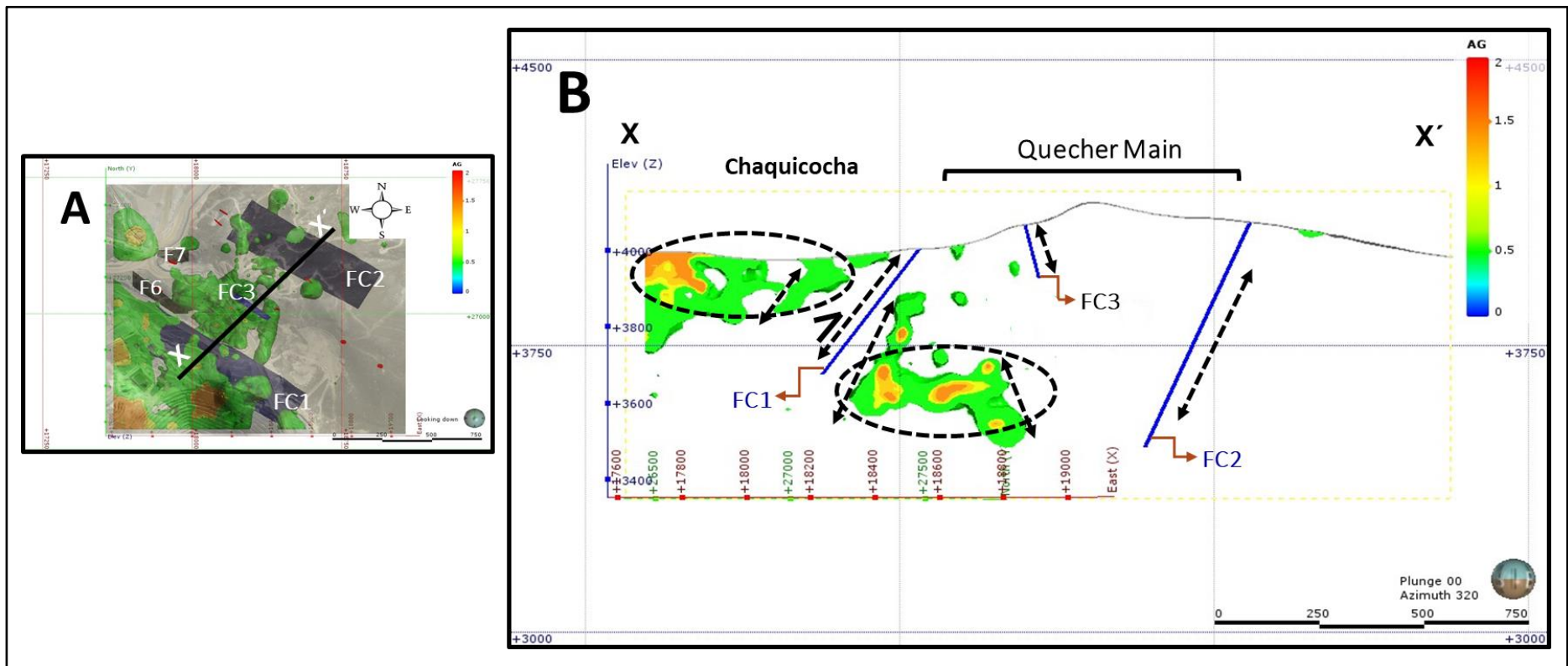


Figura 21 Interpolación de Valores de Ag – Vista al NO.

**A)** Vista de planta con la ortofoto en transparencia mostrando la línea de sección X-X' y los planos de fallas conceptuales (FC) y Fallas de mapeo superficial (F).  
**B)** Sección X'-X con vista NO mostrando la interpolación de los valores de Ag, En la que se vuelven a observar los dos vacíos señalados con flechas discontinuas negras que controlan la mineralización, en las que se volvieron a plantear planos conceptuales (FC1, FC2 y FC3) que estarían definiendo una zona de control estructural, indicando una buena correlación con el Au, además, la mayor concentración de Ag está en Chaquicocha (más a la superficie) y en el caso de Quecher se concentra a mayor profundidad. Indicando que el plano se habría comportado con una cinemática inversa. Fuente: Propia (2020).

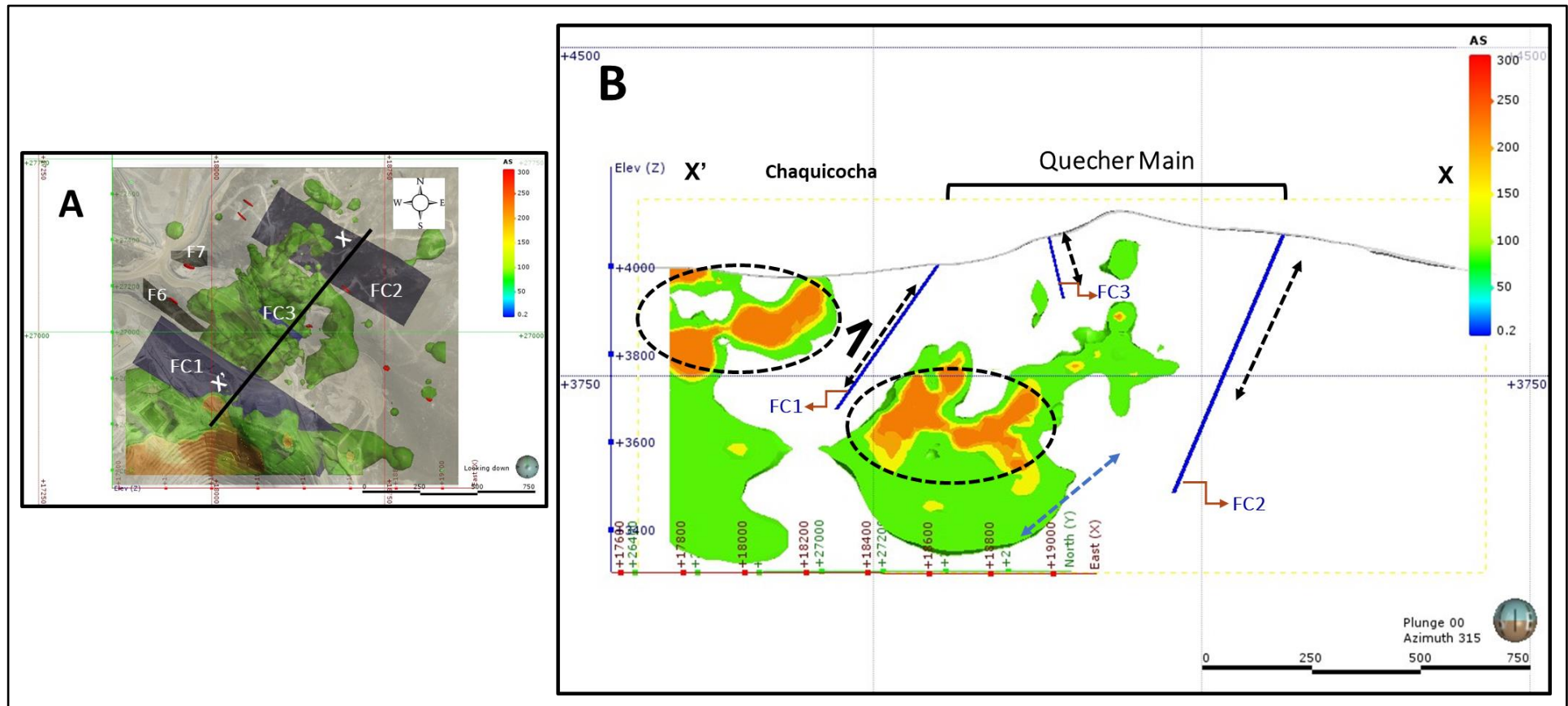


Figura 22 Interpolación de valores de As – Vista al NO.

A) Vista de planta con la ortofoto en transparencia mostrando la línea de sección X'-X y los planos de fallas conceptuales (FC) y Fallas de mapeo superficial (F).  
 B) Sección X'-X con vista al NO mostrando la interpolación de los valores de As, note la flecha de color azul discontinuo con un plunge de 15° aproximadamente hacia el SO. La distribución de As al igual que la Ag muestra una mayor concentración en el tajo Chaquicocha, en cambio en Quecher Main se concentra a mayor profundidad, consolidando aún más el comportamiento inverso del plano propuesto (FC1), siguiendo la tendencia NO. Fuente: Propia (2020).

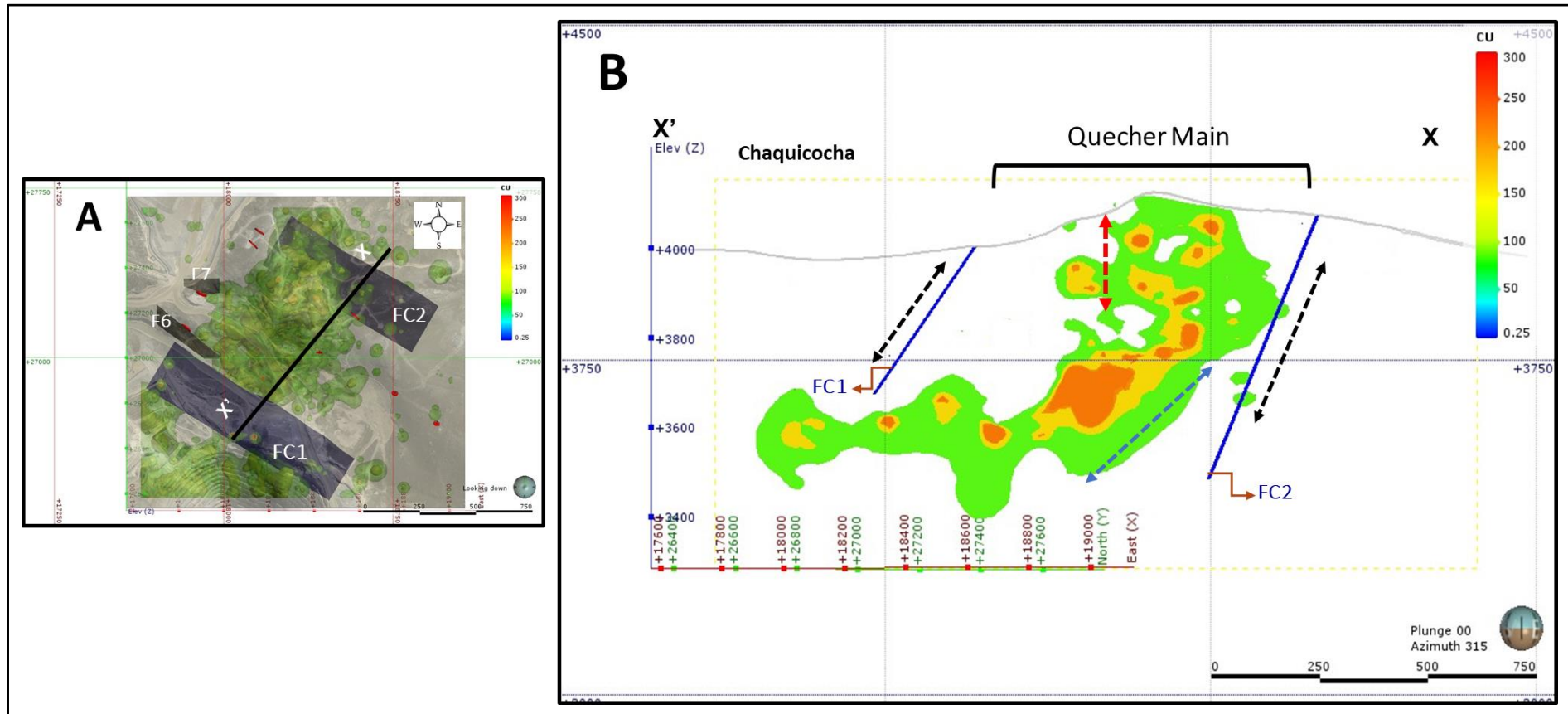


Figura 23 Interpolación de valores de Cu – Vista al NO.

A) Vista de planta con la ortofoto en transparencia mostrando la línea de sección X-X' y los planos de fallas conceptuales (FC) y Fallas de mapeo superficial (F).  
 B) Sección X'-X con vista al NO mostrando la interpolación de los valores de Cu, note la flecha de color azul discontinuo con el mismo plunge de 15° aproximadamente hacia el SO. La distribución de Cu presenta un comportamiento casi similar al ser As, pues se presenta en las zonas profundas del proyecto. Sin embargo, se sigue encontrando un vacío de las leyes de Cu, la misma en que se ha trazado un plano conceptual (FC2) e incluso se ha trazado otra flecha discontinua de color rojo en que se restringe la mineralización de Cu. Fuente: Propia (2020).

### 3.3.2.2. Control Estructural NE

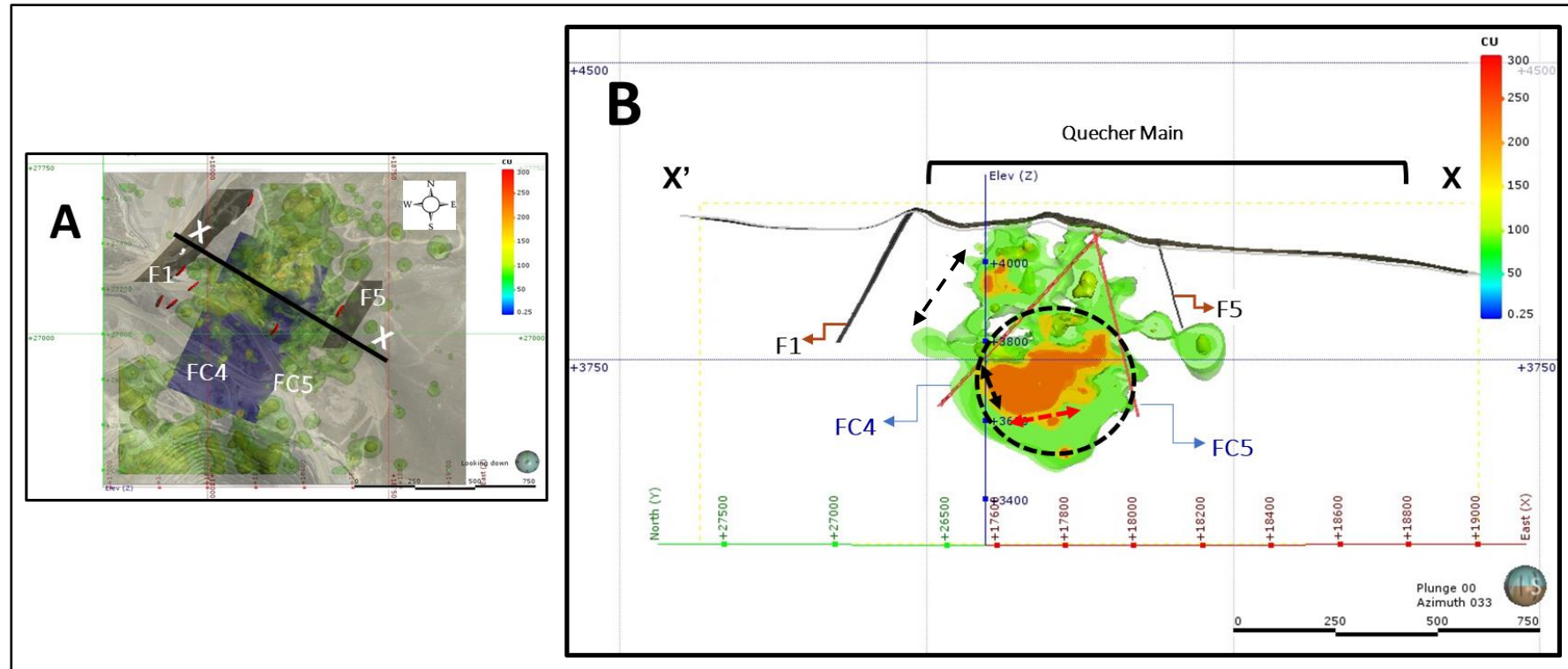


Figura 24 Interpolación de valores de Cu – Vista al NE.

**A)** Vista de planta con la ortofoto en transparencia mostrando la línea de sección X-X' y los planos de fallas conceptuales (FC) y Fallas de mapeo superficial (F).  
**B)** Sección X'-X con vista al NE mostrando la interpolación de los valores de Cu se logra diferenciar que la mayor concentración de mineralización de Cu está controlada en el piso por un sistema de fallas conjugadas con tendencia NE modeladas de color gris (F1 y F5), formando un típico sistema de Anderson, la misma en la que se ha trazado dos planos conceptuales de color rojo (FC4 y FC5) paralelas a estas dos fallas existentes. Fuente: Propia (2020).

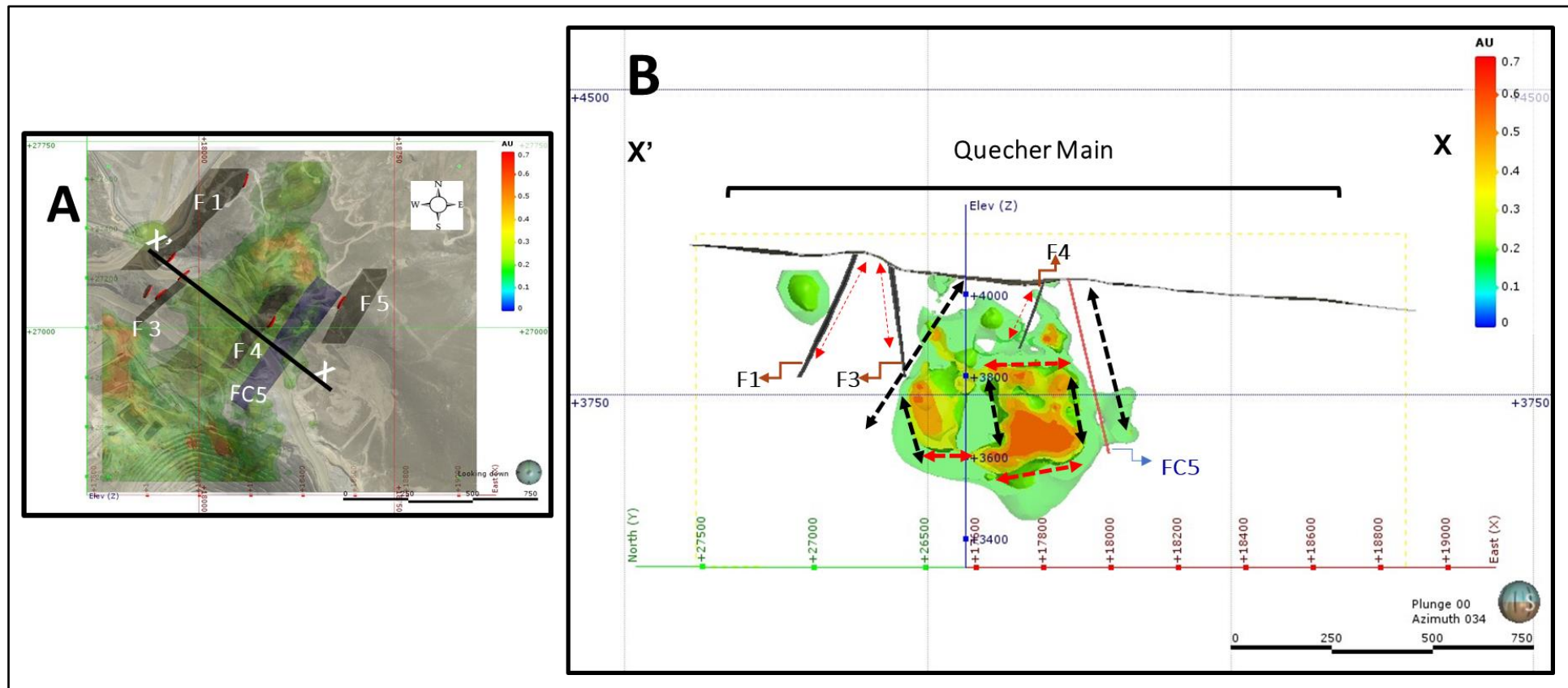


Figura 25 Interpolación de valores de Au – vista al NE.

**A)** Vista de planta con la ortofoto en transparencia mostrando la línea de sección X-X' y los planos de fallas conceptuales (FC) y Fallas de mapeo superficial (F).  
**B)** Sección X'- X con vista al NE mostrando la interpolación de los valores de Au, nótese que sigue existiendo la misma fábrica, pero con la diferencia que la concentración de las leyes altas se encuentran más en superficie. Además, existen planos de fallas (F1, F3 y F4), como muestran las flechas rojas delgadas, las cuales, restringen la mineralización de Au, las flechas rojas más gruesas, restringen las leyes altas de Au igual que las flechas de color negro que muestran el claro alineamiento NE de la mineralización. Fuente: Propia (2020).



### 3.3.3. Interpretación estructural que controla la Alteración Hidrotermal y litología.

#### 3.3.3.1. Alteración Hidrotermal

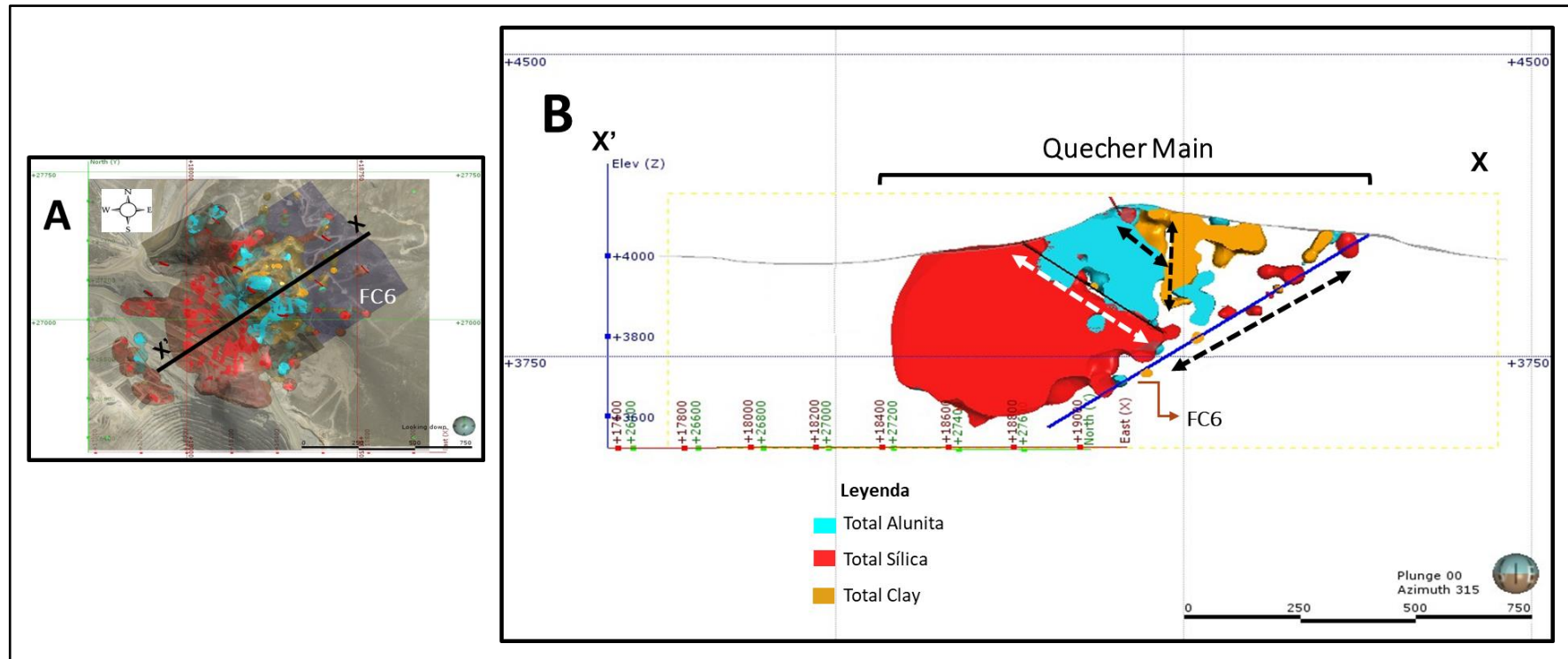


Figura 26 Interpolante de Alteración – Vista al NO.

A) Vista de planta con la ortofoto en transparencia mostrando la línea de sección X-X' y los planos de fallas conceptuales (FC) y Fallas de mapeo superficial (F).  
 B) Sección X'-X con vista al NO mostrando la interpolación de los valores de Total Sílica, Total Alunite y Total Clay, la flecha de color blanco discontinua con un plunge apróx de 30° hacia el NE, evidencia un claro contacto duro entre ambas interpolaciones que controla el piso de la alteración de Silice y se trazó una flecha discontinua de color negro que presenta el mismo plunge hacia el NE en el contacto de Total Alunite con Total Clay y otra vertical que va restringiendo la alteración Total Clay. Además, la flecha discontinua de color negro en el cual se ha trazado un plano conceptual en sentido contrario (SO) que va dejando un arrastre de Total Sílica y Total Clay, donde la estructura probablemente canalizó fluidos con alteración. Fuente: Propia (2020).

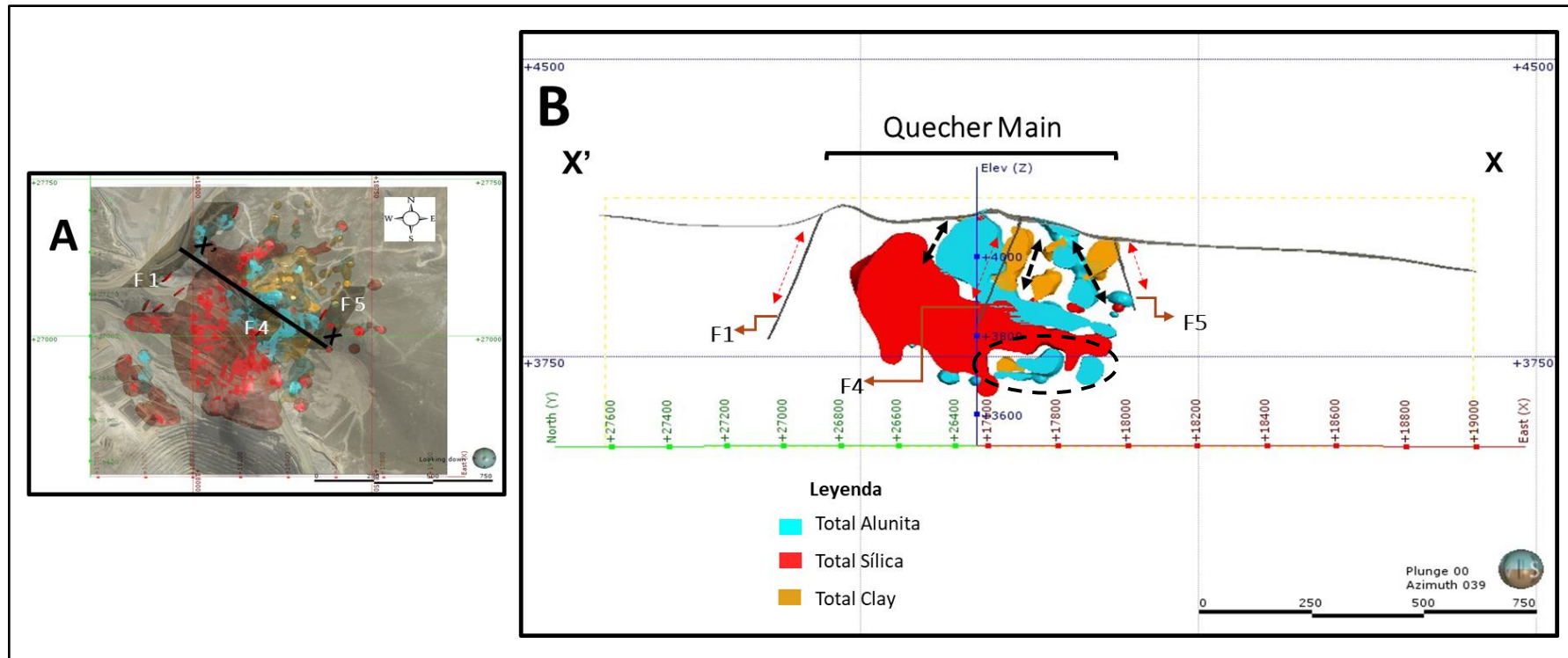


Figura 27 Interpolación de Alteración – Vista al NE.

**A)** Vista de planta con la ortofoto en transparencia mostrando la línea de sección X-X' y los planos de Fallas de mapeo superficial (F).

**B)** Sección X'-X con vista al NE mostrando la interpolación de los valores de Total Sílica y Total Alunita, las flechas discontinuas de color rojo (F1 y F5), son evidencia de la existencia de fallas conjugadas mapeadas en superficie con tendencia NE, restringiendo del mismo modo toda la alteración (flechas discontinuas negras) y la Falla 4 (F4) evidencia un claro contacto entre la alteración Total Alunita y Total Clay. Nótese la línea punteada rodeando el interpolante de Total Alunita a mayor profundidad, indicando una mayor temperatura, donde probablemente sea una zona de transición a un yacimiento tipo Pórfido de Cu-Au.

Fuente: Propia (2020).

### 3.3.3.2. Litología

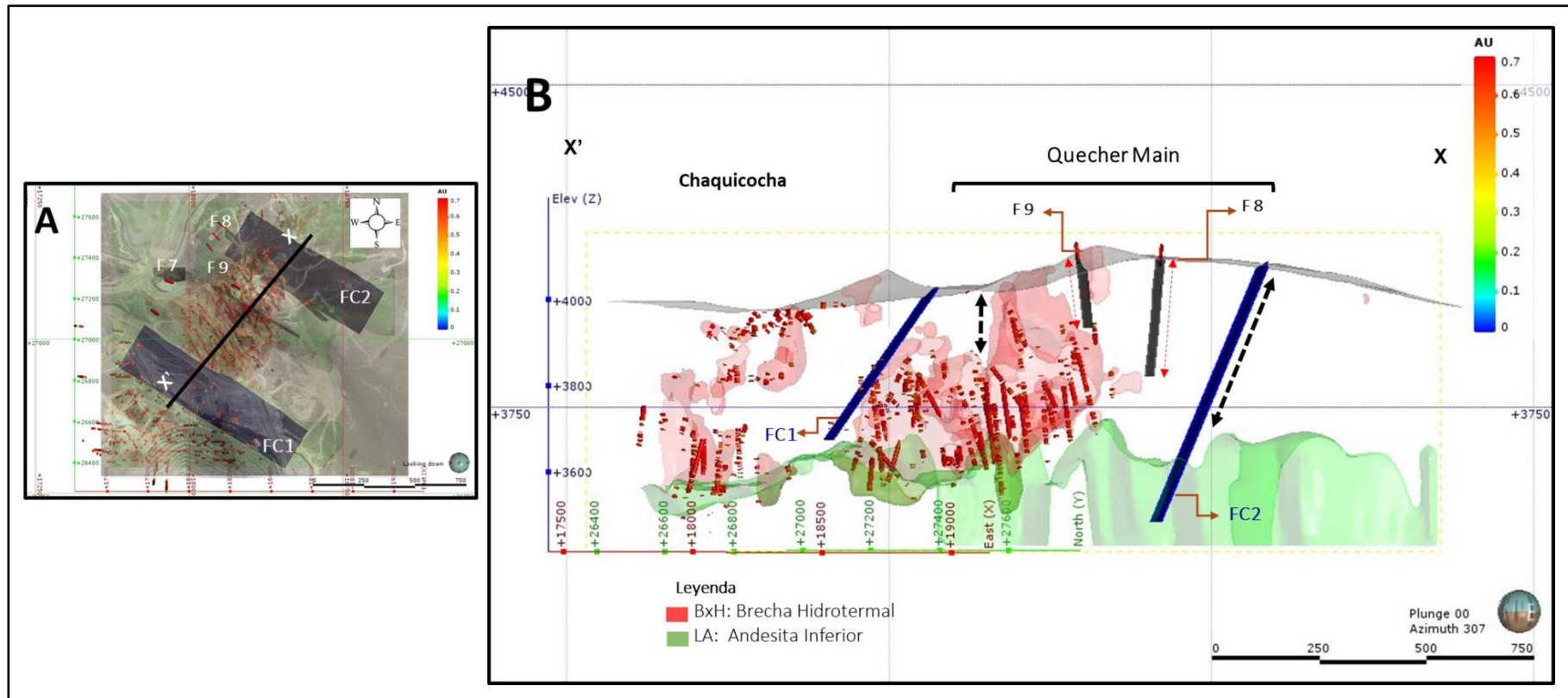


Figura 28 Control estructural Litológico – Vista al NO.

**A)** Vista de planta con la ortofoto en transparencia mostrando la línea de sección X-X' y los planos de fallas conceptuales (FC) y Fallas de mapeo superficial (F).  
**B)** Sección X'-X con vista al NO, mostrando una sección de la Brecha Hidrotermal (BxH) existente junto con los valores altos de Au, mostrando que la BxH contiene la mineralización económica de Au. Al realizar el ploteo de la data estructural de los mapeos antiguos, se logra comprobar que las estructuras con tendencia NO están controlando el emplazamiento de cuerpos intrusivos de Bx. Este contacto litológico existente de la Andesita Inferior (LA) con la Brecha hidrotermal (BxH) muestra un claro control asociado a la mineralización. Fuente: Propia (2020).

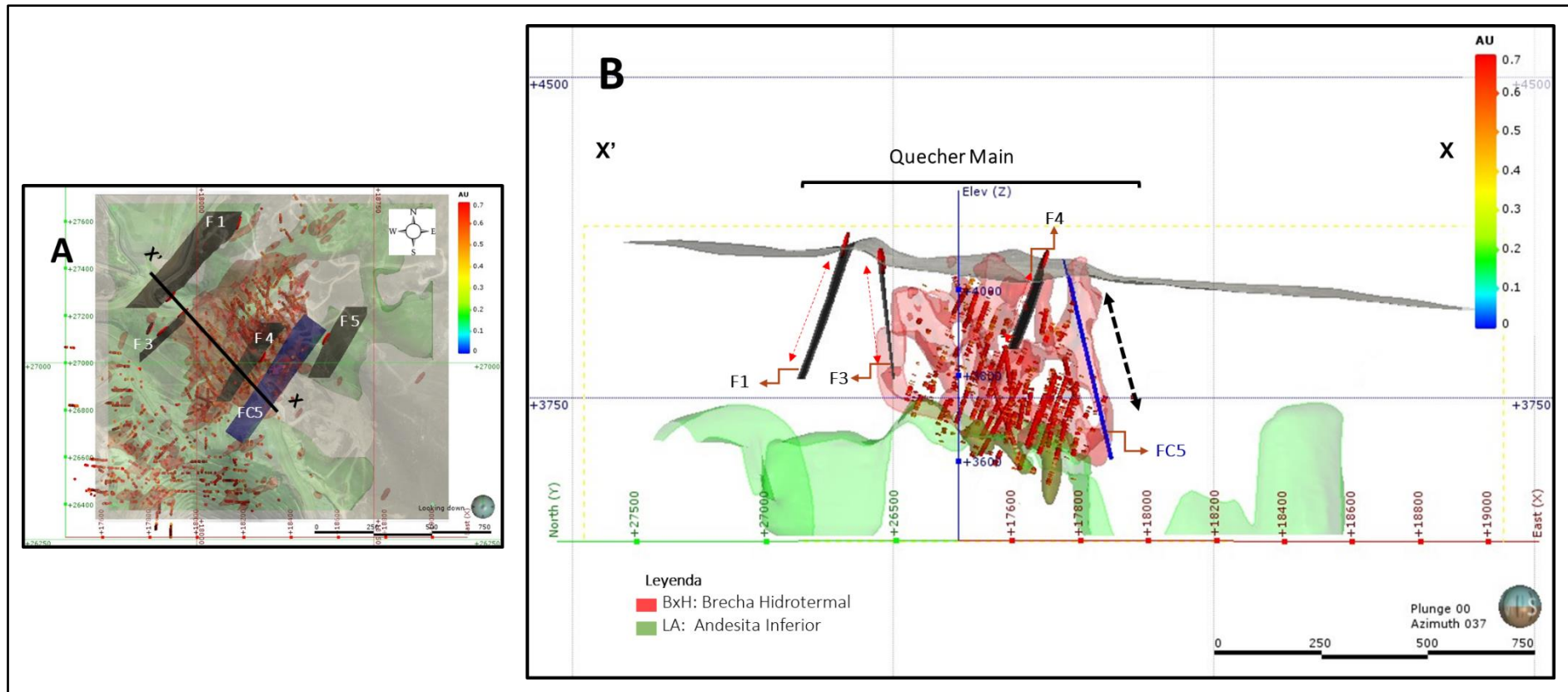
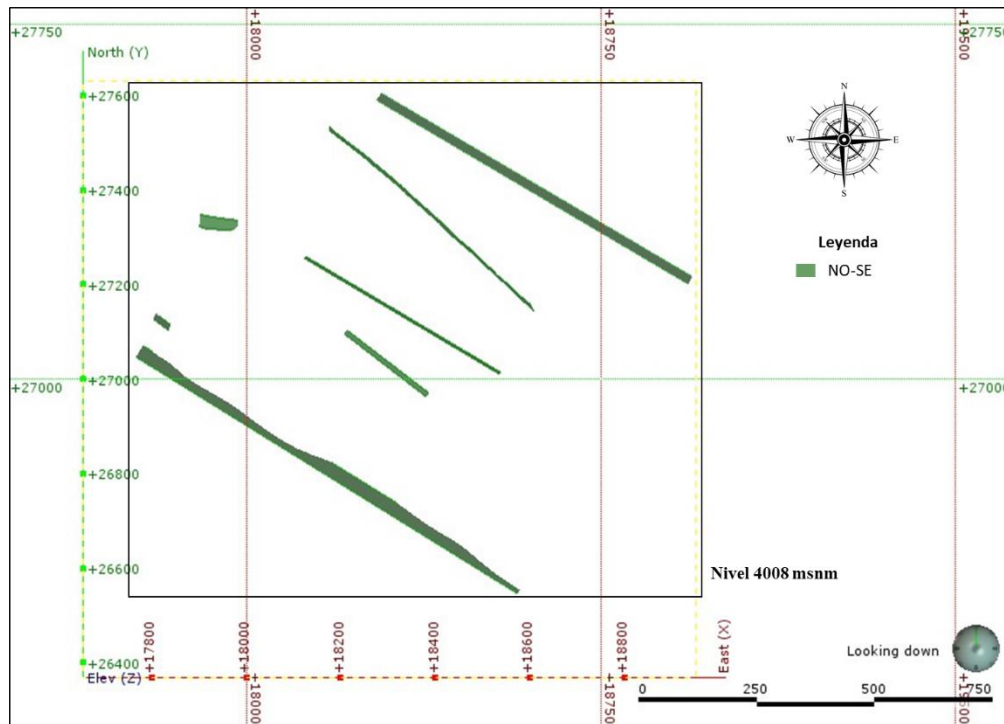


Figura 29 Control Estructural Litológico – Vista al NE.

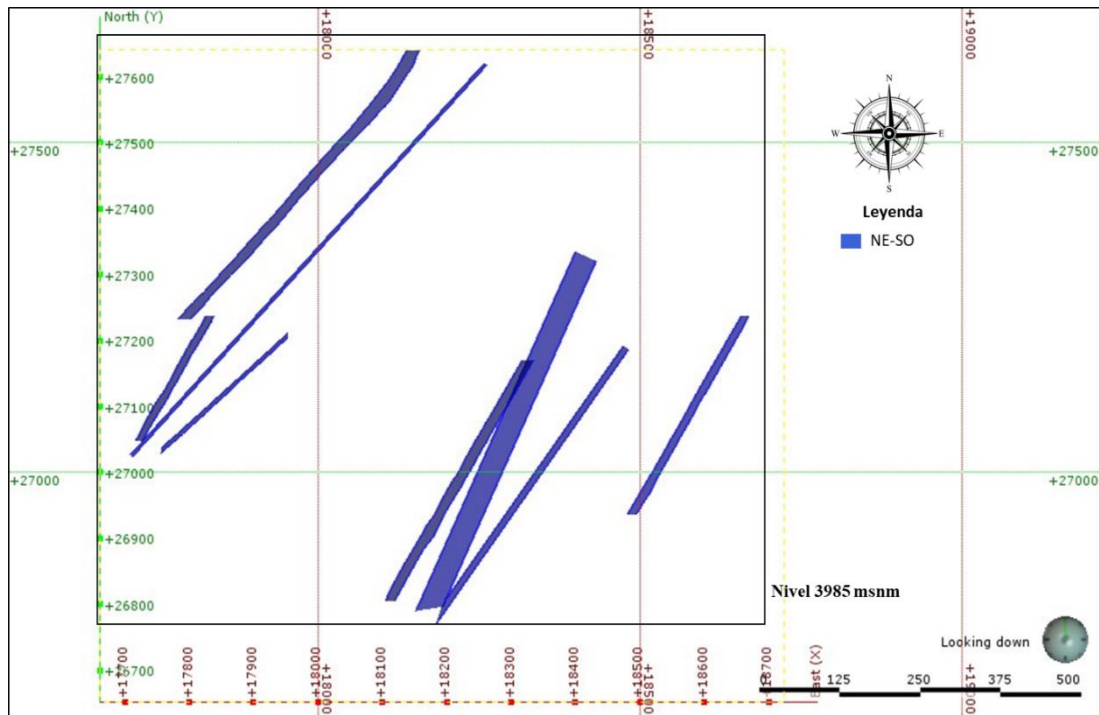
**A)** Vista de planta con la ortofoto en transparencia mostrando la línea de sección X-X' y los planos de fallas conceptuales (FC) y Fallas de mapeo superficial (F).  
**B)** Sección X'-X con vista al NE, mostrando una sección de la Brecha Hidrotermal (BxH). Al realizar el ploteo de la data estructural de los mapeos antiguos (F1, F3 y F4) y modelando los planos conceptuales (FC5), en donde se observan las leyes altas de Au contenidas en la BxH, y donde los planos conjugados controlan la mineralización con un alineamiento NE. Fuente: Propia (2020).

### 3.4. Análisis del orden de fallas que controlan la mineralización y la alteración Hidrotermal en el Modelo Estructural 3D

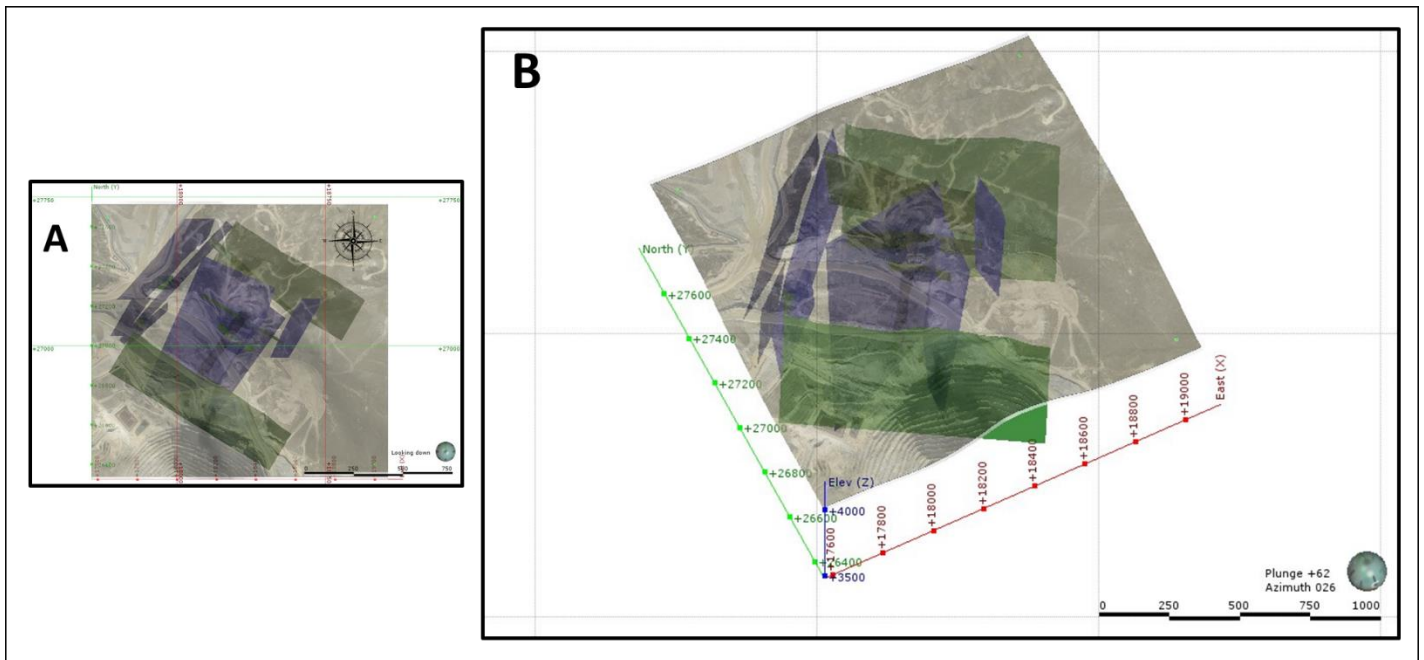
Al realizar cada una de las secciones se interpreta que las fallas de primer orden sería el corredor estructural de mayor extensión NOSE (FC1 y FC2), que está controlando el techo y el piso de la BxH, es decir, controlando el emplazamiento de cuerpos intrusivos de Bx, junto a la mineralización de leyes altas de Au, donde dichas estructuras probablemente post minerales, afectaron estos intrusivos, permitiendo que los fluidos aprovechen conductos, zonas de debilidad y permeabilidad, además de zonas de intersección entre estructuras. Las fallas de segundo orden, vendrían a ser los planos conjugados que controlan el flujo de la mineralización NESO (FC4 y FC5), restringiendo del mismo modo toda la alteración, como un sistema tipo Riedel. Las fallas de tercer orden (FC3, F8, F9), son estructuras más pequeñas y verticales que evidencian zonas de contacto litológico y de alteración.



*Figura 30* Sistema de fallas modeladas NOSE. Vista en planta del nivel 4008 m.s.n.m., mostrando los sistemas de fallas NOSE modeladas dentro del proyecto Quecher Main. Fuente: Propia (2020)



*Figura 31* Sistema de fallas modeladas NESO. Vista en planta del nivel 3985 m.s.n.m., mostrando los sistemas de fallas NESO modeladas dentro del proyecto Quecher Main. Fuente: Propia (2020).



*Figura 32* Modelo Estructural 3D del proyecto. A) Vista en planta del modelo estructural 3D. B) Vista isométrica mirando al NE mostrando los sistemas de fallas NOSE y NESO modeladas dentro del proyecto Quecher Main. Fuente: Propia (2020)

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

A partir de todas las interpretaciones realizadas, se acepta la hipótesis general, afirmando que mediante el estudio estructural 3D se identificaron los controles sobre la mineralización que nos ha permitido mejorar la interpretación de tendencias que controlan el yacimiento Epitermal de Alta Sulfuración Quecher Main.

Los resultados se relacionan con lo que menciona Lisle y Lesión., (2004), que indican que, la proyección estereográfica es una herramienta esencial para los geólogos, permite que los datos de orientación 3-D sean a la vez representados y manipulados. Proporciona una manera gráfica de desplegar los datos recopilados que es esencial para el reconocimiento e interpretación de modelos de orientación preferente, en el estudio se realizó esta proyección haciendo uso de las herramientas de interpolación en el software Leapfrog que nos permitió visualizar mejor y llegar así al mismo resultado.

Asimismo, los resultados concuerdan con lo que fundamenta Nelson et al., (2011) que indica que la geología estructural es importante en la exploración y producción de minerales, pues las estructuras que controlan el flujo de fluido hidrotermal durante la mineralización y la deformación posterior a la mineralización puede afectar la ubicación y geometría de los depósitos de mineral. Las estructuras que controlan el flujo hidrotermal mineralizado en el proyecto Quecher, afecta el emplazamiento del mismo. Incluso menciona que se utilizan métodos estructurales para definir la forma tridimensional, la disposición y la estructura interna de las unidades de roca que pueden albergar y/ u ocultar la mineralización, en este estudio se utilizó un software que nos permitió comprobar y modelar algunas estructuras en 3D y poder tener una mejor visualización del emplazamiento mineralógico.

Por otro lado, Villarreal y Rodríguez (2009), en un informe del INGEMMET, exponen que en el depósito Pierina ubicado en Ancash, las estructuras principales tienen una tendencia NNO, ONO y NE. La alteración y mineralización en el depósito es típica de un sistema de alta sulfuración hospedado en rocas volcánicas. Guardando mucha relación con el depósito Quecher Main, pues se tratan de un depósito epitermal de alta sulfuración, hospedado en roca volcánica, donde las estructurales principales tienen tendencia NO y NE, debido a la tectonismo andino.

Además, Quispe et al., (2015), realizó un estudio en depósito Ciénega Norte, Hualgayoc – Cajamarca, donde determinó que desde el punto de vista litológico la mineralización se encuentra controlada por estructuras de brecha hidrotermal. Y que el control estructural de la mineralización está determinado por tres sistemas de fracturamiento principal; N75°E, N65°W y N30°W”. Esto guarda relación con los estudios en el depósito Quecher Main, pues se identificaron controles mineralógicos litológicos y dos fábricas estructurales principales con tendencia NOSE y NESO.

Durante la investigación, se logró identificar dos corredores principales uno NOSE y otro NESO, donde el sistema estructural NE controla el emplazamiento de los cuerpos intrusivos de Bx y las leyes económicas de Au. Estos resultados se relacionan con lo expuesto por Aliaga et al., (2016), que afirma que en el depósito Epitermal de Au Quecher Main, existe un corredor estructural NE que se muestra como un juego de fallas paralelas entre sí, las cuales se encuentran controlando el emplazamiento de los cuerpos de brecha y la presencia de Au.

Del mismo modo, se relaciona con lo expuesto por Díaz et al., (2008), quien afirma que en el Proyecto Aurífero Quecher, existe una buena correlación geoquímica de Au con Cu, Ag, Mo y Ba; así como una correlación inversa con Hg, As; Sb que son típicos elementos de un Sistema de alta sulfuración, por lo tanto, Quecher es un



sistema epitermal con la presencia de elementos que indican mayor temperatura y profundidad en el sistema (probablemente una zona en transición a tipo pórfido Au-Cu). Esto tiene mucha semejanza con lo que se obtuvo, pues la mineralización existente y los ensambles de alteración hidrotermal son típicos de un sistema de alta sulfuración y se evidencia que a mayor profundidad existe una zona de Total Alunita, que está indicando una mayor temperatura, donde probablemente sea una zona de transición a un yacimiento tipo Pórfido de Cu-Au.

Las limitaciones que se tuvo fue el acceso limitado a la información, pues por tratarse de una empresa minera privada existe información muy confidencial, además los permisos para subir a mina fueron restringidos. Por otro lado, el inicio de la pandemia, no permitió que continuara con las visitas previstas para poder realizar un mapeo de estructuras en el tajo, limitándonos a tener una información más actual y exacta.

Por lo tanto, se recomienda realizar un mapeo estructural más a detalle de las paredes del tajo y además un logueo de estructuras de los taladros orientados, para tener una información más exacta del proyecto. Los datos estructurales deben contener parámetros como: tipo de estructura, ancho de estructura, tipo de relleno, zona de daño, persistencia y resistencia de relleno. Se recomienda también un estudio de la evolución tectónica del área.

## 4.2 Conclusiones

Se logró determinar/identificar fábricas estructurales principales que controlan tanto la mineralización como la alteración hidrotermal, llegando a la conclusión que las estructuras con tendencias NOSE controlan el emplazamiento de los cuerpos mineralizados/alterados, como es el caso de la brecha hidrotermal (Bxh), identificando así que el primer control es el contacto de la Andesita Inferior (LA) con el cuerpo de Bxh. Y como segundo control, el alineamiento NE de la mineralización económica. Además, que las estructuras NO son controles post minerales.

Se analizó los lineamientos y tendencias en imagen satelital antigua, concluyendo que se evidencian fábricas estructurales principales de tendencias ENE-SOS Y NE-SO, y otra fábrica estructural con tendencia NO-SE.

Se analizó la data estructural de mapeo superficial antiguo, en la que se logra corroborar la existencia de las dos fábricas estructurales una con tendencia NE-SO Y NO-SE. Además, el trend NE y NO, corresponden a estructuras distritales asociadas principalmente a dos fallas, Yanacocha – Chaquicocha (NO) y Belén (NE).

Con respecto a las fábricas estructurales de la concentración de leyes altas de minerales, en la fábrica estructural NOSE, la mayor concentración de Ag se encuentra más a la superficie en Chaquicocha y en el caso de Quecher se concentra en niveles más profundos, indicando la existencia de una falla conceptual (FC1) con una cinemática inversa. Además, tanto el Au,Cu y Ag,

muestran una buena correlación. En cuanto a la fábrica estructural NESO, la concentración de leyes altas de Cu y Au está controlada por un sistema fallas conceptuales conjugadas (FC4 y FC5) formando un típico sistema andersoniano.

En cuanto a alteración hidrotermal, existen fallas conjugadas (F1 y F2) que restringen toda la alteración, además existe alteración de Total alunita a profundidad que nos indica una probable zona de transición a un yacimiento tipo Pórfido de Au-Cu. La sección con vista al NO muestra que la brecha hidrotermal (BxH) contiene la mineralización económica de Au, corroborando que las estructuras con tendencia NO están controlando el emplazamiento de los cuerpos intrusivos y las estructuras con tendencia NE son planos conjugados que controlan netamente la mineralización.

Se estableció que las fallas de primer orden sería el corredor estructural de mayor extensión NOSE (FC1 y FC2), que está controlando el techo y el piso de la BxH. Las fallas de segundo orden, vendrían a ser los planos conjugados que controlan el flujo de la mineralización NESO (FC4 y FC5). Y las fallas de tercer orden (FC3, F8, F9), son estructuras de menor extensión y verticales que evidencian zonas de contacto litológico y de alteración.

## REFERENCIAS

- Hernández, R.; Fernández, C. & Baptista. (2006). *Metodología de la Investigación*, México D.F. p.158
- Diaz, E. (2008). *Geología del Proyecto Aurífero Quecher, Distrito Minero Yanacocha, Cajamarca – Perú*
- Aliaga, M. (2016). *Alteración Hidrotermal Asociado con el Depósito Epitermal de Au: “Quecher Main”, Cajamarca – Perú.*
- Quispe, J. (2015). *Determinación de los Controles de Mineralización del Depósito de Alta Sulfuración Ciénaga Norte, Hualgayoc - Cajamarca.*
- Villarreal, E. & Rodríguez, I. (2009). *Informe Geoeconómico de la Región Ancash - INGEMMET, Lima - Perú*
- Mamani, P. (2016). *Estudio geológico y análisis estructural de la veta El Cofreparatia - Provincia de Lampa, Departamento de Puno.*
- Herrera, O. (2014). *Geología y Controles de Mineralización en la Veta Vilma de la Mina Garrosa (Carhuaz, Perú) Minera Santa Lucia S.A..Huaraz.*
- Carpio, D. (2017). *Control Geológico Estructural de Mineralización y Correlación de Flujos Hidrotermales en Veta Mercedes Unidad Minera San Juan de Chorunga Condesuyos – Arequipa*
- Verner, K. (2014). *The Mapping of Geological Structures, Czech Republic*
- Peters, S. (2001). *Use of Structural Geology in Exploration for and Mining of Sedimentary Rock-Hosted Au Deposits, United States.*
- Nelson, E. (2011). *Structural Geology in Mineral Exploration, Colorado School of mines.* p. 4
- Nelson, E. (2011). *Structural Geology in Mineral Exploration, Colorado School of mines.* p. 59
- Zuluaga, A.; Torrenegra, W. & Lascarro, F. (2019). *Control Estructural de las Mineralizaciones de Barita y Cobre en los Corregimientos de Caracolí y Camperucho, Cesar, Colombia.* Boletín de Geología.
- Implicit Modelling.* Recuperado el 21 de Enero de 2019, de <https://www.seequent.com/community/academic-research/implicit-modelling/>

*Rapid visualisation and modelling of geological data.* Recuperado el 21 de Enero de 2019, de  
<https://www.seequent.com/rapid-visualisation-and-modelling-of-geological-data-transformational-lessons-at-mmg/>

Lisle, R. & Leyshon, P. (2004). *Técnicas de Proyección Estereográfica para Geólogos e Ingenieros Civiles*,  
New York

*Leapfrog – El poder de modelar implícitamente.* Recuperado el 10 de Octubre de 2018, de  
<https://www.icog.es/cursos/index.php/leapfrog-el-poder-de-modelar-implicitamente/>

Ferreira, A. (2005). *Técnicas de Interpolación Espacial Utilizadas en la Evaluación de Reservas Geológicas*,  
Chile. P.33

Pilco, R. (2015). *Geologic Data Quality Control and Audit Guideline*, Cajamarca

Pilco, R. (2015). *Guía de Control y Aseguramiento de la Calidad – Ensayos Geoquímicos*, Cajamarca.

Committee of Nomenclature Codes. (2012), *New Code Standar for Geological Units, Manual 2012-V1.0*,  
Cajamarca

Saderholm, & E. Moore, S. (2002). *Yanacocha District Stratigraphic Summary*, Cajamarca

Aranz, Geo Limited. (2013). *Leapfrog Geo Fundamentos*, New Zealand. p.79

Aranz, Geo Limited. (2013). *Leapfrog Geo Fundamentos*, New Zealand. p.18

## ANEXOS

ANEXO n.º 1. Imagen Satelital del área de estudio.

ANEXO n.º 2. Plano de ubicación de área de estudio

ANEXO n.º 3. Plano Geológico del área de estudio