

# Structural control and placement of mineralizing fluids in the El Gigante deposit, Llacuabamba – Pataz annex – 2023

*Abstract- The purpose of this research work was to determine the Structural Control and Location of Mineralizing Fluids in the El Gigante Deposit; For this, the main geological structures that control mineralization within the deposit must be identified. The methodology of the present study consists of describing, analyzing, deducing and explaining the detailed structural characteristics of faults, fractures and vein-faults found in the study area and their relationship with mineralization. The entire deposit is highly fractured, where the inverse dextral fault called Huinchus with orientation N35°W /77°E was identified, the same one that exercises the main structural control, with the best veins and greatest mineralization found near said structure and in the veins that have the NW - SE direction, which are located at the limit of the intrusive and the Chota formation; The main structure in question has generated a marked NNW to NW fracturing pattern recognized at the local and district level. The pre-existing faulting and fracturing zones within the intrusive have acted as channels for the circulation of hydrothermal fluids, generating veins of gold, quartz and pyrite.*

*Key words: Structural control, mineralizing fluids, faults, veins.*

# Control estructural y emplazamiento de fluidos mineralizantes en el yacimiento el Gigante, anexo Llacuabamba – Pataz - 2023”

*Resumen- El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar el Control Estructural y Emplazamiento de Fluidos Mineralizantes en el Yacimiento El Gigante; para esto se debe identificar las principales estructuras geológicas que controlan la mineralización dentro del depósito. La metodología del presente estudio consiste en describir, analizar, deducir y explicar las características estructurales a detalle de fallas, fracturas y veta- falla que se encuentran en el área de estudio y su relación con mineralización. Todo el yacimiento se encuentra altamente fracturado, donde se identificó a la falla inverso dextral llamada Huinchus de orientación N35°W /77°E, la misma que ejerce el principal control estructural, encontrándose las mejores vetas y mayor mineralización cerca a dicha estructura y en las vetas que tienen la dirección NW - SE, la cual está ubicada en el límite del intrusivo y la formación Chota; la estructura principal en mención ha generado un marcado patrón de fracturamiento NNW a NW reconocido a nivel local y distrital. Las zonas de fallamiento y fracturamiento pre-existentes dentro del intrusivo, han actuado como canales para la circulación de fluidos hidrotermales, generando vetas de oro, cuarzo y pirita.*

*Palabras Claves: Control estructural, fluidos mineralizantes, fallas, vetas.*

## I. INTRODUCCIÓN

A nivel Mundial los estudios que existen de análisis de las estructuras que controlan la mineralización, son de bastante importancia para tener un entendimiento del emplazamiento mineral en estructuras como fallas y fracturas predefinidas que son importantes para conocer las alteraciones hipógenas predominantes, ya que está ligado a una cierta temperatura de solución mineralizante y ubicada en áreas mineralizadas que sumado al control estructural forman una valiosísima herramienta de exploración [1]. Los estudios que

mencionan observaciones estructurales a detalle hacen mención que muchos yacimientos minerales están formados dentro de áreas tectónicamente activas. En consecuencia no es de sorprender que la amplia mayoría de los yacimientos minerales estén afectados o controlados por una gran cantidad de estructuras geológicas [2].

En el sur del Perú los geólogos se basan en especulaciones para suponer la presencia de estructuras favorables para la mineralización, ya que no hay estudios a detalle de las estructuras geológicas regionales. [3]. Como por ejemplo en los yacimientos localizados en el Batolito de Pataz, donde el marcado control estructural mediante la interpretación de fallas permite realizar una buena exploración del yacimiento [4].

Por otro lado el control estructural del norte del Perú generalmente ha sido estudiado por zonas locales y existen muy pocas investigaciones que hayan tratado de hacer una correlación espacial y temporal de todos estos tipos de estructuras. La principal característica asignada a estos corredores estructurales es que controlan la disposición espacial de los depósitos minerales, pero no hay estudios que presenten investigaciones a detalle de las estructuras geológicas presentes en los distintos departamentos del Perú, [5].

El problema radica en la falta de una adecuada base de observaciones estructurales que permitan el emplazamiento de mineralización y observaciones que se realicen de acuerdo a criterios objetivos; así mismo se debe dar importancia a la determinación de la geometría, cinemática y orientación de los esfuerzos que controlan el emplazamiento del mineral. El estudio estructural es un tema muy significativo en la industria minera, ya que existen muchas deficiencias en diversos proyectos mineros [6]. Asimismo el control litológico tiene gran relevancia para explotar eficientemente los yacimientos, por ejemplo en la empresa Poderosa S.A. se sabe que la roca granodiorita es la que presenta las condiciones fisicoquímicas para la reacción con los

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

fluidos mineralizantes y su posterior deposición en trampas estructurales [7].

Así mismo el control estructural está dado por medio de fallas y fracturas, la mineralización que conforma el yacimiento “El Gigante”. Las soluciones hidrotermales circularon a través de las fracturas pre existentes dentro del Batolito, el cual permite que las aberturas formen posteriormente vetas, produciéndose un conjunto de fenómenos físico químico, intercambiando o tomando iones de Au presentes en la roca para finalmente ser depositadas en las fracturas [8].

Por otro lado para interpretar el mecanismo de depositación de los rellenos de las vetas se debe considerar varios aspectos tanto de la formación de las vetas como de las fallas. En sistemas de fallas transcurrentes la precipitación y concentración de minerales hidrotermales ocurre en vetas que se localizan en zonas estructurales favorables tales como son segmentaciones de fallas, ramificaciones de fallas, ‘jogs’ dilatacionales y estructuras tipo dúplex [9].

El estudio tuvo como objetivo formular un modelo que integre geología, mineralogía, cronología y geoquímica del yacimiento “El Gigante” y que permita mejorar el entendimiento de los procesos de formación del yacimiento. En el programa de exploración 2013-2014 los resultados más importantes es el descubrimiento de un nuevo sistema de vetas (N30° E / 40° NW) que están al borde NE del Batolito, el cual está en contacto con el Complejo Marañón con una estimación promedio de recursos y reservas minerales de 242,000 Oz Au [10].

Al hablar de Control Estructural nos referiremos a las estructuras que generalmente son fallas y fracturas, y que forman un control importante debido a que a lo largo de ellas circularon y/o se depositaron las soluciones de mineral, en la mayoría de los casos actúan como trampas para la depositación de soluciones mineralizantes, [11]. Dentro de este contexto donde el control estructural es el que predomina y ejerce mayor condición en el emplazamiento de la mineralización está determinada por un conjunto de fallas de origen inicialmente inverso, por consiguiente las reactivaciones longitudinales posteriores han generado una geometría tipo rosario y son complementadas con los ramales dando la forma de un “huso estructural” [12].

Las rocas favorables para la mineralización están abordadas por el control litológico, tal es el caso de las rocas favorables para la formación de estructuras ampliamente mineralizadas que son las granodioritas y granitos. Por otro lado las microdioritas y dioritas que

son muy favorables para el control mineralógico presentan minerales que sirven como guía durante las exploraciones [12]. En Poderosa S.A. el cuarzo blanco a gris y la pirita de textura fina deleznable son el principal control de la zona económica, también se tiene zonas de bonanza compuesto de sulfuros masivos como galena y esfalerita pertenecientes al último y más rico evento de mineralización, [13].

Respecto a fluidos mineralizantes y soluciones hidrotermales se sabe que los depósitos de minerales metálicos son acumulaciones o concentraciones naturales de uno o más elementos químicos en lugares favorables y receptivos de la corteza terrestre Para comprender los aspectos geológicos de los depósitos minerales se debe estudiar la naturaleza y la génesis de los procesos que contribuyen a la acumulación de una o más sustancias en cantidades y concentraciones tales de resultar económicamente explotables [14].

Esta problemática se basa en la necesidad de conocer el control estructural y emplazamiento de fluidos mineralizantes en el yacimiento “El Gigante” y definir los principales sistemas estructurales presentes. Asimismo la relación del control estructural con las vetas aurífera son de gran importancia en la exploración minera y están en constante desarrollo, por lo que es necesario y de gran importancia realizar una adecuada toma de datos estructurales que permitan estimar los desplazamientos netos generados por las fallas. Ya que, en el yacimiento mencionado los mineros artesanales carecen de información sobre el control estructural presente en la zona y por lo cual tienden a hacer una explotación por intuición o conocimiento empírico, sin tener un conocimiento técnico del control estructural y mineralización.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Etapa de gabinete (Pre campo)

En esta etapa se recolectó y revisó estudios anteriores relacionados al yacimiento El Gigante y al tema de investigación, a partir de diferentes fuentes y bases de datos como Scopus, Ebsco, google académico, entre otros. En la cual se analizó algunos artículos e informes a fin de obtener algunos antecedentes. La revisión de información geológica se hizo de manera local y de manera regional mediante un mapa geológico del cuadrángulo de Tayabamba (escala 1:100000), un mapa geológico del área de estudio (escala 1:5000), un mapa topográfico satelital del área de estudio (escala 1:8000) y de cada zona (escala 1:5000), procesando imágenes de SASPlanet y de Geographics ArcGis afin

de identificar las estructuras principales, lineamientos y afloramientos del yacimiento

## B. Etapa de campo

El trabajo se inició con estrategias bien definidas para la toma de datos geológicos estructurales con un plan de trabajo de varios días con el reconocimiento de la topografía y geología de la zona de estudio, así mismo el trabajo de campo consistió en la captura de datos en afloramientos con la toma de datos de orientación estructural y la caracterización mineralógica y petrográfica. Por otro lado se realizó el cartografiado geológico y estructural mediante la representación de fallas y vetas-fallas en un mapa base, teniendo en cuenta los indicadores cinemáticos confiables y los datos fueron recolectados según la regla de la mano derecha, los mismos que corresponden a azimut y manteo del plano de falla y el sentido de movimiento. Finalmente se realizó la toma de fotografías de las zonas de interés dentro del yacimiento “El Gigante”

## C. Trabajo en gabinete (Post campo)

Con toda la información recolectada en esta etapa se realizó el procesamiento de datos obtenidos en campo con la digitalización de los planos (geológico, de alteraciones y estructural) y construcción de perfiles geológicos usando el programa ArcGis v10.5. Así mismo se determinó las orientaciones y análisis de esfuerzos tectónicos mediante el programa Faultkin v8.1.1. Finalmente se realizó la interpretación de análisis y redacción de resultados obtenidos. Cabe mencionar que con los softwares mencionados se representó los resultados para una mejor comprensión de la geología estructural, alteraciones y mineralización del yacimiento El Gigante.

# III. RESULTADOS

## A. Ubicación

El yacimiento “El Gigante”, se ubica en el anexo de Llacuabamba, distrito de Parcoy, provincia de Patáz y departamento de La Libertad

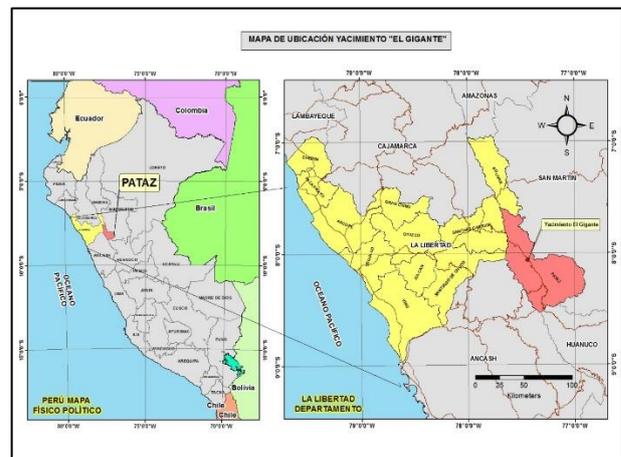


Figura 1: Mapa de ubicación de la zona de estudio.

## B. Accesibilidad

A las áreas de estudio se encuentra viajando desde Trujillo hasta Llacuabamba recorriendo una distancia de 368 km aproximadamente por carretera afirmada en mal estado empleando un promedio de 11 horas. Desde allí a la zona de estudio se puede acceder caminando y mediante camioneta, bus, entre otros. El tiempo estimado para llegar a la zona es de 2 horas de caminata y 45 minutos en camioneta.

## C. Zonas estudiadas

En la tabla 1 se muestran las seis zonas que fueron motivo de estudio.

## D. Geología de la zona

### Rocas Metamórficas

Las principales rocas metamórficas de la zona de estudio están representadas por el Complejo Marañón (Precámbrico), el cual está constituido por pizarras oscuras y filitas grises, intercaladas con pequeñas capas de esquistos cloritizados y metavolcánicos, se hallan expuestas al NE del Batolito de Patáz, encontrándose afectadas por fallamientos, plegamientos y/o varios eventos de metamorfismo regional y de contacto, encontrándose varias estructuras auríferas que presentan características similares a las asociadas al fallamiento en el intrusivo.

### Rocas Sedimentarias

Afloran al SW del Batolito de Patáz, conformadas por la secuencia sedimentaria del Paleozoico y Mesozoico, y conforman una secuencia volcano sedimentaria areniscas, limolitas, conglomerados, tobas riolíticas y brechas – aglomerados de riolitas y dacitas y calizas. Entre las que destacan la Formación Contaya

(Ordovícico) que son los sedimentos más antiguos que sobreyacen a las rocas del Complejo Marañón; corresponden a intercalaciones de lutitas negras con areniscas grises y el Grupo Ambo (Carbonífero) que se caracteriza por contener sedimentos epicontinentales con molasas, areniscas, presencia de lavas almohadilladas y sills gabroicos. El grupo Mitu (Pérmico Tardío – Triásico Temprano) presenta secuencias molásicas continentales y niveles conglomerádicos, caracterizadas por su tonalidad rojiza a violáce, en tanto el Grupo Pucará (Jurásico Superior) que consta de una secuencia mayormente carbonatada.

### Rocas Intrusivas – Batolito de Pataz

El Batolito de Pataz es la unidad litológica más importante por el control que ejerce sobre toda la mineralización aurífera del distrito minero de Parcoy. Se puede considerar a la facie granodiorita – granito como la más favorable para la precipitación de soluciones mineralizantes, en la cual ocurrió el emplazamiento del mayor número de vetas mineralizadas, las que en la actualidad se hallan en explotación. Por otro lado, se considera a la facie microdiorita diorita como poco favorables para la formación de estructuras mineralizadas, encontrándose vetas delgadas, ramaleadas (Stockwork) y discontinuas.

### Rocas Volcánicas

Corresponden a lavas porfiríticas de composición dacítica y andesítica, sin embargo, en algunos sectores se han encontrado flujos brechoides y aglomerados volcánicos. En el área de estudio se presentan como una cobertura remanente paralela al lineamiento NW del batolito de Pataz.

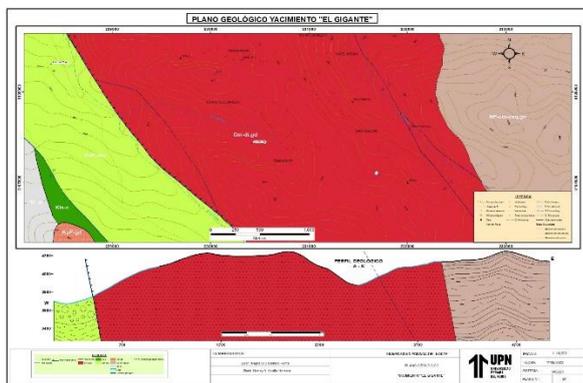


Figura 2: Plano geológico de la zona de Estudio

## E. Geología Estructural

El yacimiento El Gigante está inserto en el Batolito de Pataz, el cual está fuertemente fracturado debido a los múltiples eventos tectónicos. A nivel distrital el

rasgo estructural más importante que se puede resaltar es la Falla Huinchus, de desplazamiento inverso dextral con orientación N35°W/77°E. De manera general los rasgos más resaltantes que se observan son: fallamientos, fracturamientos en rocas intrusivas, y plegamientos de rocas metamórficas y sedimentarias de las formaciones en contacto con dicho yacimiento..

### Fallas

Es importante considerar que las rocas intrusivas del Batolito de Pataz se hallan fuertemente fracturadas, debido a ello existen algunos rasgos estructurales más importantes, por ende, se reconocen tres tendencias principales de fallas:

Las tendencias NNW-SSE, en este grupo están las fallas con orientación subparalela a las vetas cuyos manteos oscilan entre 20 y 70°NE. Así mismo tendencias NWW-SEE, a este sistema pertenecen aquellas zonas de falla NW, las cuales poseen una disposición N40°W/73-80°NE. Por otro lado, las tendencias EW, para el caso de este sistema podemos indicar que, el rumbo y manteo de este sistema varía entre N89°E–N83W/67°SE-88°NE

### Vetas

En la zona de estudio, a las vetas las podríamos clasificar como: vetas de extensión, extensión oblicua y veta-falla. Se observan claros indicios que sitúan la formación de vetas en el nivel de transición entre la deformación frágil y dúctil; las vetas se caracterizan o se destacan por su elevado contenido de metales base sulfuro (10-50% vol.) y la homogeneidad vertical y lateral de su paragénesis sobre el cinturón metalogenético entero, no hay diferencia de ley o de composición del relleno en sentido vertical, las leyes, proporción de ganga y sulfuros son generalmente iguales. Las vetas fueron abiertas preferentemente a lo largo de planos con manteo al E. Se observa mayormente una forma lenticular con desarrollo de lazos sigmoides y bandas de cuarzo gris y parches de pirita, arsenopirita, trazos de galena y marmatita.

El yacimiento El Gigante está relacionado en su mayoría a vetas que presentan una mineralización de cuarzo blanco craquelado - pirita - arsenopirita - marmatita - galena - calcopirita, con una textura masiva y bandeada, ostenta valores de 50 – 200 g/t Au y en algunos casos llegando a picos de hasta 2000 g/t Au. También presenta un sistema nuevo de mineralización con un control estructural atípico que contiene mineralización de Au constituida principalmente por

cuarzo y sulfuros primarios, en orden de abundancia tenemos cuarzo blanco / gris – arsenopirita – pirita –

galena, textura brechada con clastos de cuarzo – alteración sericitica en matriz de sulfuros

### Clavos mineralizados

El desarrollo de clavos mineralizados es típico en yacimientos orogénicos. En general, cambios en el rumbo y manteo a lo largo de las fallas principales producen la formación de clavos mineralizados en zonas de codos dilatacionales (jogs), colas de caballo (horsetails) y dúplex o lazos cimoides.

### F. Análisis Cinemático

Para realizar el análisis cinemático de las diferentes estructuras presentes en el yacimiento, se realizó la toma de datos en campo en la cual se consideró todas aquellas estructuras que presentaban evidencias geológicas confiables y adecuadas; ya que estas son esenciales para entender el comportamiento cinemático de las estructuras. Con este análisis se obtuvo las direcciones de las fallas y vetas-fallas y sentido de movimiento en las estructuras altamente fracturadas.

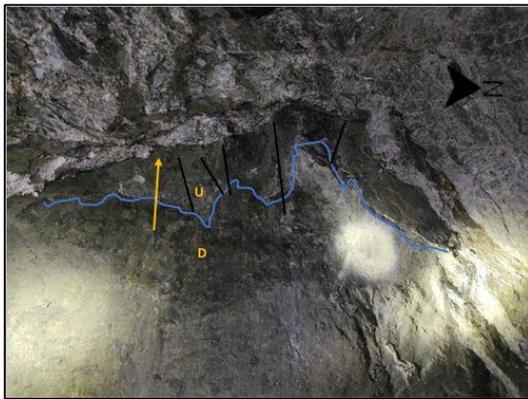


Figura 3: fallas evidenciando los agentes cinemáticos y el sentido de movimiento



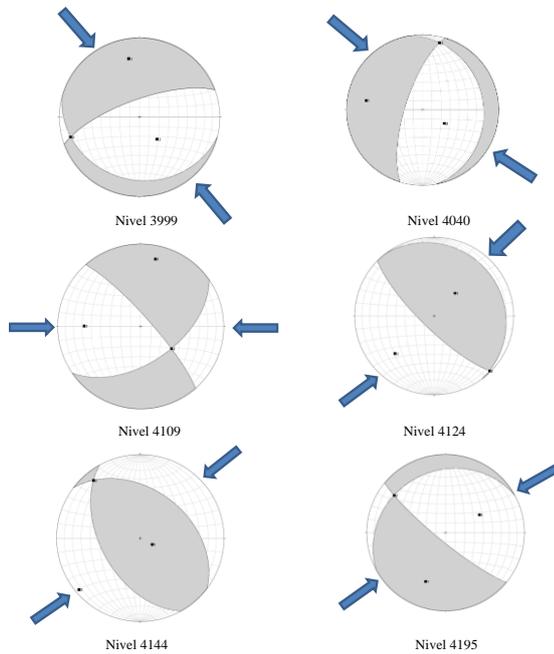
Figura 4: Falla Normal Sinistral y desplazamiento.

En el caso de las zonas de falla se procesaron 27 datos con indicadores cinemáticos confiables (escalones y estrías). El procesamiento se realizó separando datos obtenidos en distintos niveles del yacimiento.

Tabla1. Orientación de plano de Falla e indicadores cinemáticos

ESTACIÓN	PLANO FALLA			
	AZ	BZ	Rake	Movimiento
Mina Jhony Torres – Huacrachuco (Nivel 4040)	N355°	88°NE	83°	inverso dextral
Mina Lenin Crespín - Pomachay (nivel 4144)	N335°	51°NE	127°	normal dextral
	N335°	76°NE	65°	inversa dextral
	N256°	84°NW	105°	normal sinistral
	N325°	81°NE	62	inversa dextral
	N350°	58°NE	81	inversa dextral
	N323°	86°NE	85	normal sinistral
	N349°	76°NE	106	inversa sinistral
	N170°	72°SW	93	inversa sinistral
	N165°	71°SW	88	inversa dextral
Mina Modesto Castañeda - Yanaracra (nivel 4124)	N85°	74° SE	82°	normal sinistral
	N95°	71°SW	75	normal sinistral
	N85°	65°SE	78	inversa dextral
	N103°	70°SW	67	inverso dextral
	N156°	80°SW	87	inversa dextral
	N125°	35°SW	79	inversa sinistral
	N291°	35°NW	56	normal sinistral
	N279°	69°NE	63	normal sinistral
Mina Alex Domínguez - Yanaracra (Nivel 4195)	N29°	79°SE	136°	normal dextral
	N355°	87°NE	98°	inverso sinistral
	N355°	52°NE	58°	normal sinistral
	N117°	85°SW	61	normal sinistral
	N64°	56°SE	79	inversa sinistral
Mina Jans Monzon – Huacrachuco (nivel 3999)	N250°	72°NW	102°	normal dextral
Mina Jorgue Falen- Pomachay (nivel 4109)	N155°	60°SW	86	inversa dextral
	N142°	61°SW	67	normal sinistral
	N315°	75°NE	55	normal sinistral

A continuación, se muestra el ploteo estereográfico con las soluciones a la cinemática de las Fallas en los distintos sectores del Yacimiento El Gigante. En blanco los cuadrantes de acortamiento y en plomo los cuadrantes de estiramiento



**Figura 5:** Análisis cinemático y dirección de Paleoesfuerzos de distintos niveles de la labor.

Los ejes de acortamiento y estiramiento de las zonas de falla del nivel 3999 y 4040 se encuentran en los mismos cuadrantes, la dirección de acortamiento promedio es N133° y estiramiento N315°, con cinemática normal dextral. Con la misma tendencia las zonas de falla de los niveles 4109 y 4124 (normal sinistral) forman una familia con un eje de acortamiento de N249° y estiramiento de N 27° y finalmente con diferente tendencia, las zonas de falla del nivel 4144 (inverso dextral ) y nivel 4195 (inverso sinistral ) tienen un eje de acortamiento promedio de N58° y estiramiento N190°

**Tabla 2.** Orientación de los esfuerzos de compresión y extensión

Estación	Acortamiento		Estiramiento	
	Trend (°)	Plunge (°)	Trend (°)	Plunge (°)
Mina Jans Monzon –Huacrachuco (nivel 3999)	N142	61	N349	26
Mina Jhony Torres – Huacrachuco (Nivel 4040)	N123	63	N280	25
Mina Jorgue Falen- Pomachay (nivel 4109)	N271	32	N12	17
Mina Modesto Castañeda - Yanaracra (nivel 4124)	N226	32	N41	58
Mina Lenin Crespin - Pomachay (nivel 4144)	N55	6	N177	80
Mina Alex Domínguez - Yanaracra (Nivel 4195)	N61	49	N202	33

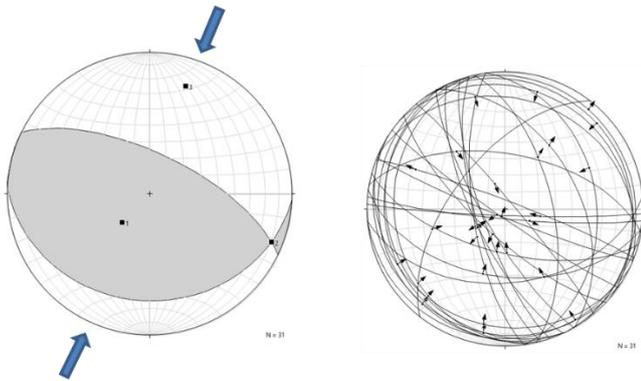
Al analizar los plots estereográfico de cada zona de falla es importante resaltar que la zona de Falla del nivel 4144 (Pomachay) y el nivel 4124 (Yanaracra) pese a tener tendencias paralelas no exhiben todos sus ejes de acortamiento y estiramiento en los mismos cuadrantes lo cual indicaría que al momento de desarrollarse ambas estructuras los campos de esfuerzos eran distintos lo cual tiene sustento si analizamos el contexto tectónico distrital. La Zona de falla nivel 4144 - Pomachay (inverso dextral) también conocida como la zona Huinchus, probablemente se desarrolló durante la fase tectónica Eohercínica, cuya manifestación se plasma con la formación de la Fosa del Marañón de orientación NW mientras que la zona de falla del nivel 4124 pudo haberse originado por la acción de eventos de deformación pre-mineral con dirección de estiramiento N41°.

La mayor cantidad de Fallas tienen una dirección NW –SE, por lo cual se puede deducir que se formaron durante la orogenia de los andes de la cordillera oriental del norte (insitu del yacimiento EL Gigante) ya que estas estructuras coinciden con las estructuras presentes en dicha geoforma. Además, se puede deducir que estas fallas son las que controlan la mineralización de dicho yacimiento ya que se logró corroborar en campo, que algunos mineros que han seguido fallas con dirección NW – SE o viciversa, han logrado llegar a vetas económicamente rentables. Una de las estructuras más representativas dentro de la zona de estudio es la veta - falla, que es común encontrarlas mineralizadas en las labores de explotación actuales



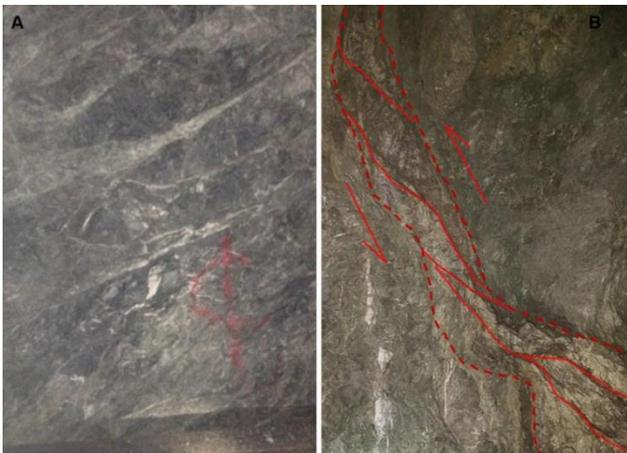
**Figura 6:** Vista de Perspectiva de la veta principal

Se realizó el plot estereográfico que concentra los 31 datos confiables de vetas-fallas, revela una cinemática inversa dextral con eje de acortamiento subhorizontal de orientación N22°/16° y eje de estiramiento N229°/71°.



**Figura 7:** Plot estereográfico de los datos y distribución de los planos para todos los datos de vetas- fallas.

Al analizar las veta-falla se desprende que existe una familia compuesta por: Yanaracra, pomachay y San Carlos, asimismo tenemos una segunda familia compuesta por: Intermedio, Huacrachuco y Pomachay. En tanto, en las otras vetas no se observa coincidencia en la ubicación de los ejes, esto podría explicarse por las variaciones en los regímenes de deformación que genera variaciones en el azimut y buzamiento de los ejes de acortamiento y estiramiento.



**Figura 8:** a) Vetas de cuarzo de y estructuras en-echelon. b) Jog extensional, cizallamiento y fracturamiento

Coincidente con la cinemática evidenciada por los plots estereográficos, de la examinación de la morfología de las vetas en los planos de los niveles productivos se desprende que presentan inflexiones en el rumbo, tanto a la izquierda como a la derecha. En áreas dilatacionales, donde las vetas presentan patrones segmentados complejos y retorcidos, podrían aparecer pequeños pull-apart abiertos sinistralmente, donde se pueden localizar clavos mineralizados muy ricos. De acuerdo a estas relaciones geométricas, estas pequeñas pull-aparts se desarrollaron durante los movimientos sinistralmente a lo largo de las zonas de fallas dirección EW. Las vetas en San Carlos exhiben un rumbo NNW y

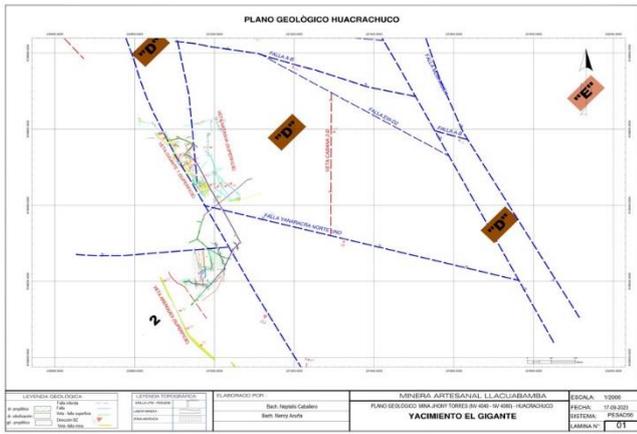
desarrolla inflexiones al NE generando un arreglo sigmoidal los cuales se pueden interpretar como indicadores de desplazamiento inverso dextral durante la apertura de la veta.



**Figura 9:** Diversas estructuras en las vetas del Yacimiento El Gigante. Estas incluyen bandas de pirita – cuarzo - marmatita (A, B y E), lentes (D) y cizallamiento (C)

En algunos lugares las vetas con orientación NW tienen mineral de mejor calidad y/o forman cuerpos más anchos como consecuencia del componente dextral de las fallas NNW. En tanto, en las zonas con ángulo de manto bajo, las vetas son más anchas y/o tienen leyes más altas (San Carlos) producto del componente dominante del movimiento inverso en las fallas principal. Las intersecciones de falla, generalmente, son zonas de aumento de la fracturación y permeabilidad por lo que pueden contener mena de mejor calidad..

Los diques constituyen una importante herramienta de exploración. Se observó que algunas vetas son paralelas o subparalelas a los diques, algunos de estos son syn – mineral a post – mineral y están deformados. En general, pueden proporcionar información genética interesante. Las fallas tienen distinto comportamiento dependiendo de la geología de la roca de caja, normalmente cambian rumbo y/o manto al fracturar litologías mecánicamente distintas, esto puede llevar a generar espacios estructurales y vetas más anchas.



**Figura 10:** Plano representativo de estructuras a nivel superficial y subterráneo Huacrachuco.

### Mineralogía del yacimiento

La mineralización especialmente de oro ocurre presumiblemente durante un período de alzamiento tectónico en el margen convergente, contemporáneo o después de la inyección de diques microdioríticos. Como se ha inferido desde la homogeneidad de la paragénesis. La zona de estudio a nivel de yacimiento tiene una asociación metálica de Au, Ag, As, Fe, Pb, Zn,  $\pm$ Cu,  $\pm$ Sb,  $\pm$ (Bi-Te-W) con más de dos estadios de deposición de menas ricas en sulfuros. La mineralogía no es muy compleja, en orden de abundancia se tiene, cuarzo blanco/gris – pirita – arsenopirita – marmatita – galena – calcopirita; siendo la pirita – marmatita – galena una de las asociaciones mineralógicas de mayores concentraciones de oro.

El desarrollo de vetas se dio preferencialmente en granodioritas, claramente muestran la influencia de la competencia de la roca caja. En la zona de estudio encontramos vetas orogénicas de oro y cuarzo formado por el relleno de fracturas y zonas de cizalle. La mineralización se emplaza principalmente en granodioritas y dioritas, y, en menor porcentaje, en granitos. Corresponde, principalmente, a pirita aurífera asociada a arsenopirita, galena, marmatita-esfalerita, en menor abundancia. Entre los minerales de ganga destacan el cuarzo lechoso, calcita, caolín y calcopirita.

Las vetas orogénicas del Yacimiento El Gigante, a pesar de las diferencias en la orientación, los estilos de mineralización descritos son considerados como sincrónicos, ya que ellos presentan homogeneidad en las características mineralógicas.



**Figura 11:** Veta con presencia de sulfuros y oro nativo en cuarzo lechoso.

La mineralización en la zona de estudio es variable acorde a la zona donde se ubican las labores, respecto a San Carlos y Pomachay que son las zonas de influencia del control estructural (Falla Huinchus), presenta una variada serie de fallas y fracturas ideales para la precipitación de fluidos ricos en pirita aurífera y oro nativo, éste se halla asociado a vetas de cuarzo lechoso. Mientras que, pasa las otras zonas como Nivel 5, Las Torres, Nivel Intermedio, la presencia de pirita aurífera se encuentra en menor porcentaje, se tiene vetas más angostas y poco extensas, teniendo presencia de óxidos de cobre en algunas labores.

**Tabla 3.** Resultado del análisis mediante el método Newmont (Mina San Carlos – Mina Las Torres).

N°	Tipo Muestra	Pesos (g)	Au g/tm	Au oz/tc	
1	Geoquímicos	Peso Total	207.22	Malla: 140	
		Peso+	7.43	1653.57	48.23
		Peso -	199.79	69.96	2.04
		Resultados Newmont		126.74	3.7
		Peso Total	207.22	Malla: 140	
2	Geoquímicos	Peso+	7.43	1235.30	32.15
		Peso -	199.79	45.88	1.2
		Resultados Newmont		110.20	2.0
		Peso Total	207.22	Malla: 140	
		Peso+	7.43	1235.30	32.15

La clave para entender la existencia de estas vetas auríferas orogénicas involucra la definición de las condiciones tectónicas que permitieron la acumulación de fluidos sobre-presionados a valores cercanos a la presión litostática y su intermitente liberación. El nivel de sobre presión puede ser acumulado dependiendo del ambiente tectónico, el estado de stress localizado, y la inherente arquitectura frágil. La mineralización ocurre en la base de la zona sismogénica en la corteza superior, la cual, en áreas de fuerte liberación de fluidos, actúa como una tapa elástica bajo stress que mantiene sobre presionados los fluidos hidrotermales derivados,

posiblemente, de la deshidratación metamórfica en profundidad. En estos ambientes las vetas auríferas están hospedadas en redes de fallas – fracturas que involucra dilatación y cizalle extensional interrelacionados con fallas de bajo desplazamiento. Estos se forman en un rango de regímenes tectónicos extensivamente desarrollados en ambientes compresional - transpresional. Existen dos mecanismos principales en la interacción dinámica falla-fluido: falla válvula y bomba de succión, ambos estudiados en sistemas de vetas oro cuarzo hospedadas en zonas de fallas rocas calizas de cada una de las empresas caleras.

#### IV. DISCUSIÓN

En el yacimiento El Gigante se identificó como control estructural principal a la falla Huinchus que tiene una orientación NW – SE, así mismo en las labores se encontraron registros de fallas que siguen el mismo patrón, las cuales están relacionadas con la mineralización en vetas, de esta manera se acepta la hipótesis: el control estructural que permitió el emplazamiento de la mineralización está controlado por las fallas de orientación NW – SE. En general, podemos indicar que las fallas controlan las vetas auríferas en la zona de dos maneras: la primera donde estas ocurren espacialmente en zonas de falla importantes o en la conjunción de ellas, y la segunda que se da en la mayoría de los casos, además constituyen el límite de mineralización al producir una interrupción abrupta de ella.

El mayor porcentaje de fallas encontradas en la zona de estudio corresponden a una dirección NW –SE, siendo éstas las que controlan la mineralización del yacimiento, lográndose corroborar en campo que las zonas con vetas económicamente rentables han seguido este patrón y encontrándose vetas de pirita aurífera diseminada con presencia de oro nativo y cuarzo lechoso.

#### V. CONCLUSIONES

El control estructural en la zona de estudio está determinado por la falla inverso-dextral llamada Huinchus que presenta una dirección NW – SE, la cual genera un marcado patrón de fracturamiento NNW a NW reconocido a nivel local y distrital. Las zonas de fallamiento y fracturamiento pre-existentes dentro del intrusivo, han actuado como canales para la circulación

de fluidos hidrotermales, controlando así la mineralización orogénica.

Las fallas controlan a las vetas del yacimiento El Gigante, de dos maneras: la primera, las vetas ocurren en una zona de falla y paralelas a las mismas y la segunda, las fallas son el límite de las vetas, cuando las rompen o desplazan abruptamente. Mediante el cartografiado geológico superficial y subterráneo se determinó que el yacimiento El Gigante está compuesto por rocas del Batolito de Pataz (granodiorita – diorita), las cuales se hallan fuertemente fracturadas debido a los múltiples eventos tectónicos, encontrándose fuertemente falladas, con presencia de mineralogía económicamente rentable como pirita aurífera, arsenopirita – marmatita – galena – calcopirita, predominando las alteraciones argílica, propilitica, oxidación, sericitización, silicificación.

Las estructuras principales que controlan el emplazamiento de la mineralización presenta una cinemática inversa dextral en la mayoría de zonas estudiadas, considerando que los esfuerzos de extensión fueron la clave para el emplazamiento de mineralización rica en oro. geológicos y análisis de laboratorio previos son fundamentales para determinar la viabilidad de la explotación de este recurso no metálico.

#### REFERENCIAS

- [1] Camino, M. (Mayo de 2017). *El Gigante, un Yacimiento Orogénico de Carácter Mundial, Antecedentes Geológicos y Resultados de la Exploración. Obtenido de Instituto de Ingenieros de Minas del Perú: <http://www.mineriaonline.com.pe/tecnico-cientifico/el-gigante-un-yacimiento-orogenico-de-caracter-mundial-antecedentes-geologicos-y-resultados-de-exploracion>*
- [2] Coba, R. (2017). *modelo geométrico y características estructurales del sistema de vetas de alto ángulo al norte del batolito de Pataz mina poderosa, la Libertad - Perú. Cajamarca.*
- [3] Falen, J. (2016). *Rentabilidad en la Recuperación de Puentes y Pilares por el Método de Explotación de Circado en la Minería Artesanal de la Comunidad Campesina de Llacuabamba – Parcoy – Patáz – La Libertad* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo.

- [4] Grande, S. (2018). *Yacimientos Minerales Metálicos*.
- [5] Herrera, v. (2016). *Modelo Estructural y Consideraciones Metalogenéticas del Yacimiento El Gigante, Provincia de la Libertad, Perú*.
- [6] Olivares, V., Cembrano, J., Arancibia, G., Reyes, N., Herrera, V., & Faulkner, D. (2010). *Significado tectónico y migración de fluidos hidrotermales en una red de fallas y vetas de un Dúplex de rumbo: un ejemplo del Sistema de Falla de Atacama*. *Andean Geology*, P. 473-497.
- [7] Quispe, A. (2019). *Caracterización Geológica Para Seleccionar el Método de Explotación de la Veta Esperanza en la Mina Aguada – Carabayllo Lima* ( Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Altiplano, Puno.
- [8] Rivera, e. a. (2008). *Control Estructural, Producción y Reservas en las Franjas Metalogenéticas del Norte del Perú (Región de Cajamarca)*.
- [9] Rivera, M. (2011). *Sistema de Fallas Iquipi-Clavelinas: Zona de Transición Cortical e Implicancias Para el Emplazamiento de Depósitos Minerales*. Sociedad Geológica del Perú SGP, 38.
- [10] Rivera, R., & Santisteban, A. (2008). *Control Estructural, Producción y Reservas en las Franjas Metalogenéticas del Norte del Perú* (Región de Cajamarca). INGEMMET, Cajamarca.
- [11] Sánchez, R. (2013). *Empleo del Método de Minado por Tajeos Largos en la Recuperación de Mineral Aurífero en Marsa, Veta Valeria*. Huancayo.
- [12] SRK. (2016). *Geología Estructural*. Obtenido de SRK Consulting: <https://www.srk.com/es/servicios/geologia-estructural>
- [13] SRK. (2020). *Análisis Estructural y de Alteraciones*. Obtenido de SRK Consulting: <https://www.latam.srk.com/es/analisis-estructural-y-de-alteraciones-0>
- [14] Tapia, M. (2008). *Formulación de un Modelo Geológico-Estructural, en el Sistema de Vetas de la Franja Oeste del Yacimiento Minero de Parcoy, Consorcio Minero Horizonte* (Tesis de Pregrado). Universidad Mayor de San Marcos, Lima.