

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



T E S I S

**Caracterización Geológica y Geoquímica en el proyecto cuprífero La Toñi para
determinar la exploración y su potencial económico, San Juan de Yacán, Pasco**

2023

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autor:

Bach. Frank Gean Paul BERNARDO BULLÓN

Asesor:

Dr. José Fermín HINOJOSA DE LA SOTA

Cerro de Pasco - Perú – 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



T E S I S

**Caracterización Geológica y Geoquímica en el proyecto cuprífero La Toñi para
determinar la exploración y su potencial económico, San Juan de Yacán, Pasco
2023.**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Luis Arturo LAZO PAGAN

PRESIDENTE

Mg. Javier LOPEZ ALVARADO

MIEMBRO

Mg. Vidal Víctor CALSINA COLQUI

MIEMBRO



**Universidad Nacional Daniel Alcides
Carrión Facultad de Ingeniería
Unidad de Investigación**

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 109-2024-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

Caracterización Geológica y Geoquímica en el proyecto cuprífero La Toñi para determinar la exploración y su potencial económico, San Juan de Yacán, Pasco 2023.

Apellidos y nombres de los tesistas:

Bach. BERNARDO BULLÓN Frank Gean Paul

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. HINOJOSA DE LA SOTA José Fermín

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Geológica

Índice de Similitud

23 %

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 17 de abril del 2024



Firmado digitalmente por MEJIA
CACERES Reynaldo FAU
20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 23.05.2024 08:14:36 -05:00

DEDICATORIA

La presente investigación va dedicado a mi familia, por su constante apoyo, amor y sacrificio incondicional a lo largo de mi carrera, además dedico esta investigación a todas aquellas personas perseverantes que trabajan arduamente para lograr sus objetivos, que se inspiran y automotivan para superar sus miedos.

“Pensar no supera el miedo, actuar si”

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por haberme brindado el apoyo incondicional y el motor que impulsa a alcanzar mis objetivos en mi carrera profesional y de toda mi vida como ser humano, asimismo agradecer a mi asesor de investigación por su orientación y conocimiento en el área y a todas las personas que participaron en mi investigación, sin su contribución, sugerencias y críticas este trabajo no habría sido posible.

Gracias.

RESUMEN

El proyecto minero La Toñi es un yacimiento mineral de tipo pórfido de cobre localizado a 5 km al noreste del centro poblado de San Juan de Yacán, en el distrito de Paucar, provincia de Daniel Alcides Carrión - Pasco, a una altitud de 4200 m.s.n.m. El depósito es relativamente pequeño y está situado en una región geológicamente favorable para la formación de este tipo de yacimientos. La zona se caracteriza por la presencia de rocas intrusivas como dioritas, rocas sedimentarias como areniscas y rocas metamórficas como lutitas-filitas, junto con estructuras geológicas favorables con un marcado control estructural debido a diferentes fases tectónicas, con una tendencia dominante de NW-SE y NE-SW. La mineralización del yacimiento minero de La Toñi se compone principalmente de minerales de cobre como calcopirita, bornita y ocurrencias de pirrotita y molibdenita. Asimismo, se encuentran otros minerales de interés económico, como plomo y zinc, y en proporciones menores plata. La presencia de alteración hidrotermal es un parámetro importante para la formación de estos depósitos. En el caso del Proyecto La Toñi, este proceso ha modificado las rocas mientras los fluidos circulaban a través de la permeabilidad primaria o secundaria, dependiendo del tipo de roca y estructura, generando una intensa zona de alteración cloritizada de aproximadamente 1 km². Además de una alteración potásica y fílica, que ha facilitado la liberación de minerales metálicos de cobre y oro.

Desde el punto de vista geoquímico, el depósito de La Toñi muestra altas concentraciones de elementos relacionados con la mineralización de cobre, oro, plomo y zinc con plata, estaño e indio. Estas concentraciones indican un potencial atractivo para la exploración Minera.

Palabras clave: Yacimiento mineral, pórfido de cobre, rocas intrusivas, control estructural y geoquímica.

ABSTRACT

The mining project La Toñi is a porphyric copper mineral reservoir located 5 km northeast of the town center of San Juan de Yacán, in the district of Paucar, province of Daniel Alcides Carrión - Pasco, at an altitude of 4200 meters above sea level. The deposit is relatively small and is located in a geologically propitious region for the formation of this type of reservoir. The area is characterized by the presence of intrusive rocks like diorites, sedimentary rocks such as sandstones and metamorphic rocks such as lutites-filites, along with favorable geological structures with marked structural control due to different tectonic phases, with a dominant trend of NW-SE and NE-SW. The mineralization of the La Toñi mining site consists mainly of copper minerals such as Calcopirite, Bornite and occurrences of Pirrotite and Molybdenite. There are also other minerals of economic interest, such as lead and zinc, and in smaller proportions silver. The presence of hydrothermal alteration is an important parameter for the formation of these deposits. In the case of the La Toñi Project, this process has modified rocks as fluids circulated through primary or secondary permeability, depending on the type of rock and structure, generating an intense chlorinated alteration area of approximately 1 km². In addition to a potassium and phyllic alteration, it has facilitated the release of metal minerals of Copper and Gold.

From a geochemical point of view, the La Toñi reservoir shows high concentrations of elements related to the mineralization of copper, such as gold, lead and zinc with silver, tin and indium. These concentrations indicate an attractive potential for mining Exploration.

Keywords: mineral deposit. Porphyry copper, intrusive rocks, structural control and geochemistry.

INTRODUCCIÓN

El descubrimiento de un nuevo depósito de cobre en el departamento de Pasco, en la sierra central del Perú, es un acontecimiento emocionante y prometedor. Pasco, conocido por ser una región rica en recursos minerales, ha sido históricamente un importante centro de actividad minera en el país.

Este proyecto de descubrimiento de un depósito de cobre tiene el potencial de generar un impacto significativo en la economía de la región y del país en su conjunto. La minería del cobre es una industria vital para el desarrollo económico, ya que el cobre es un metal ampliamente utilizado en la fabricación de productos e infraestructuras clave.

El proyecto La Toñi se encuentra ubicado dentro del corredor estructural de la falla regional Vinchos - Rondoni donde se han emplazado depósitos tipo pórfido y polimetálicos, presenta 2 principales tipos de mineralización:

- Mineralización tipo pórfido de cobre y molibdeno, donde presenta un control estructural de apertura tipo Jog, control estructural que fue conducto del emplazamiento e intrusión de las rocas de composición Diorítica tipo I y II de textura porfirítica, estas dioritas presentan una alteración fílica y propilítica con evidencias de venillas de tipo A y tipo B
- Mineralización polimetálica tipo mantos de plomo, zinc, plata, indio y estaño. La mineralización se encuentra restringido a un control litológico y estructural, principalmente se ha emplazado a la secuencia de lutitas y filitas que son cortados por intrusivos de composición diorítica con textura porfirítica generando mantos mineralizados de galena, esfalerita, argentita y calcopirita.

La detección de datos atípicos o valores anómalos y el comportamiento inusual

de algunos datos es una tarea fundamental del análisis estadístico de datos geoquímicos. Se utilizarán criterios para buscar valores atípicos: Los valores máximos permitidos se establecerán mediante el uso de Gráficos Estadísticos para cada variable (se utilizará la Prueba de Grubbs para valores atípicos, gráficos de probabilidad, gráficos de dispersión). El tratamiento que se dará a las muestras que tengan valores atípicos aislados y que no constituyan una población de datos es el de 'cortes Estadísticos', reemplazando el valor alto errático por este valor calculado.

La investigación contribuye al desarrollo de técnicas eficientes para la prospección geoquímica, conviene destacar que el estudio de los factores de enriquecimiento en el análisis geoquímico de La Toñi permitirá identificar y evaluar la presencia de concentración de cobre en una determinada área a un nivel de potencial de yacimiento mineral, haciendo una comparación de la concentración de los elementos obtenidos en campo con respecto al promedio de la corteza terrestre. Así mismo se llega una correlación de Pearson (grado de asociación entre elementos) para identificar zonas anómalas para la exploración de cobre en el depósito mineral.

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

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

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio.....	1
-----------------------------------	---

2.2. Bases teóricas – científicas	6
2.3. Definición de términos básico.....	19
2.4. Formulación de hipótesis.....	21
2.4.1. Hipótesis general.....	21
2.4.2. Hipótesis específico.....	21
2.5. Identificación de variables	22
2.6. Definición Operacional de variables e indicadores	23

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación.....	24
3.2. Nivel de Investigación	24
3.3. Métodos de Investigación.....	24
3.4. Diseño de investigación	24
3.5. Población y muestra.....	25
3.6. Técnicas e Instrumentos de recolección de Datos	25
3.7. Técnicas de procesamiento y Análisis de Datos.....	26
3.8. Tratamiento estadístico	26
3.9. Orientación ética y filosófica y epistémica	26

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo.....	28
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados	55

4.3. Prueba de hipótesis.....	80
4.4. Discusión de resultados	81

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

FOTOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Grafica de un entorno de subducción y formación de un pórfido.	10
Figura N° 2: Distribución espacial y temporal de los pórfidos.....	11
Figura N° 3: Estilos de los centros magmáticos que hospedan pórfidos	12
Figura N° 4: Tipo de venillas en los pórfidos	14
Figura N° 5: Sistema porfirítico con las alteraciones hidrotermales características y depósitos relacionados.	18
Figura N° 6: Plano de ubicación del proyecto La Toñi.....	29
Figura N° 7: Mapa Geomorfológico e Hidrográfico del proyecto La toñi	32
Figura N° 8: Columna Estratigráfica del Cuadrángulo de Ambo (21-k).....	41
Figura N° 9: Esquema que muestra los dos tipos de subducción en el Perú.....	44
Figura N° 10: Mapa Metalogenético y geológico 500k del área de estudio	46
Figura N° 11: Análisis fractal.....	52
Figura N° 12: Modelo de esfuerzos.....	53
Figura N° 13: Gráfica de probabilidad de las variables de Au, Ag, As, Bi, Cu y Fe para una distribución normal.....	58
Figura N° 14: Gráficos de Probabilidad de las variables de In, K, Mo, Pb, Re y S para una distribución normal.....	59
Figura N° 15: Gráficos de Probabilidad de las variables de Sb, Sn y Zn para una distribución normal.....	60
Figura N° 16: Gráficos de Probabilidad, de las variables de Au, Ag, As, Bi, Cu y Fe para una distribución Lognormal.....	61
Figura N° 17: Gráficos de Probabilidad, de las variables de In, K, Mo, Pb, Re y S para una distribución Lognormal.....	62
Figura N° 18: Gráficos de Probabilidad, de las variables de Sb, Sn y Zn para una distribución Lognormal.....	63
Figura N° 19: Prueba de valores atípicos para: Au, Ag, Bi, Cu, Mo, y Pb valores con transformación logarítmica.....	64

Figura N° 20:Prueba de valores atípicos para: Zn, As, Fe, In, K y Re valores con transformación logarítmica.....	65
Figura N° 21:Prueba de valores atípicos para: S, Sb y Sn con valores con transformación logarítmica.....	66
Figura N° 22:Diagrama de dispersión y análisis multivariable para el Au vs Cu.	67
Figura N° 23:Diagrama de dispersión y análisis multivariable para el Cu vs Bi.	68
Figura N° 24:Diagrama de dispersión y análisis multivariable para el Pb vs Ag.	69
Figura N° 25:Diagrama de dispersión y análisis multivariable para la Ag vs Pb.	70
Figura N° 26:Diagrama de dispersión y análisis multivariable para el Pb vs Zn.	71
Figura N° 27:Diagrama de dispersión y análisis multivariable para la Ag vs Pb.	72
Figura N° 28:Diagrama de dispersión y análisis multivariable para el Pb vs Sn.	73
Figura N° 29:Diagrama de dispersión y análisis multivariable para el Zn vs In.....	74
Figura N° 30:Diagrama de factor de enriquecimiento en el proyecto La Toñi.....	77
Figura N° 31:Presencia de minerales menas de cobre, Bornita y Calcopirita – Proyecto la Toñi.....	82
Figura N° 32:Muestra de Alteración fílica	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1:Operacionalización de variables.....	23
Tabla N° 2:Accesos al Proyecto La Toñi.	29
Tabla N° 3:Tabla de respuesta analítica de los límites de detección de cada elemento.	56
Tabla N° 4:Tabla de elementos que pertenecen a las asociaciones calcófilos y pathfinder.....	57
Tabla N° 5:Factor de enriquecimiento, valor promedio de los elementos en el Proyecto La Toñi y la corteza terrestre.....	76
Tabla N° 6:Rango de anomalías geoquímicas	78
Tabla N° 7:Background y Anomalías geoquímicas del depósito mineral proyecto La Toñi.....	78
Tabla N° 8:Indicador de rangos de correlación Pearson	79
Tabla N° 9:Cuadro de correlación de Pearson del proyecto La toñi.	79
Tabla N° 10:Cuadro de nivel de enriquecimiento de elementos químicos del proyecto La Toñi.....	84

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y Determinación del Problema

El Perú es un país de antigua tradición minera, particularmente en cobre, zinc, plata, plomo, hierro, oro, molibdeno y estaño, con un potencial minero significativo en cobre con un 15% de reservas a nivel mundial. La Cordillera de los Andes que es columna vertebral del país, posee un gran potencial geológico y constituye la principal fuente de los recursos minerales.

Estos datos evidencian que el Perú es un sector estratégico para el desarrollo de minería y de descubrimiento de nuevos proyectos mineros, siendo importante para impulsar la economía, empleo y desarrollo en el país.

El país cuenta con una gran cartera de depósitos minerales, muchos de los cuales no han sido completamente explorados, enfrentando algunos desafíos como: accesos en áreas remotas, financiamiento, conflictos sociales y ambientales, etc. A pesar de estos desafíos la investigación de depósitos minerales en el Perú ayuda a comprender mejor los procesos geológicos y metalogenéticos que los generan.

La región Pasco ubicado en la sierra central del Perú ha sido caracterizado por ser una región con alta influencia minera, así mismo se viene descubriendo

nuevos proyectos mineros de cobre. Actualmente existen muchos proyectos mineros explorando anomalías de cobre en diseminado.

“Los pórfidos de cobre son grandes depósitos de minerales, pero a la vez es muy disperso, de baja ley y alto tonelaje. Están genéticamente relacionados con intrusiones ígneas epizonales, generalmente félsicas y comúnmente porfiríticas. Se caracterizan por eventos intrusivos múltiples, enjambre de diques, brechas intrusivas y diques de cantos, donde la roca caja puede ser de cualquier tipo. Ambas pueden estar intensamente fracturadas. La mineralización y la alteración forman amplias zonas con cambios laterales. La alteración supergénica puede producir una estratificación con sombreros de hierro y zonas de enriquecimientos secundario críticas para la economía de la explotación” (Panteleyev, 1995,83-92).

La investigación en pórfidos es importante debido a su potencial económico y su papel en la comprensión de los procesos geológicos y metalogénicos.

El presente proyecto tiene como finalidad abrir una ventana al mundo de la exploración geológica y descubrir un potencial económico dentro del Centro Poblado San Juan de Yacán, debido a los aspectos geológicos evidenciados en la zona donde se ha testimoniado algunas estructuras geológicas interesantes y presencia de minerales económicos metálicos, aspectos que no han sido explorados en detalle con anterioridad, que darían paso a un descubrimiento de un depósito mineral de tipo pórfido. El proyecto La Toñi se inclina a un depósito de cobre de pequeña a mediana minería, la presencia de ciertas características geológicas, mineralógicas y de alteración en la zona norte de San Juan de Yacán dan indicio de que pueda existir un depósito mineral de Tipo pórfido de cobre, un

tipo de depósito que es atractivo para la exploración geológica hoy en día.

1.2. Delimitación de la investigación

Este trabajo de investigación está delimitado según:

- **Territorial.**

La investigación se realiza en el centro poblado San Juan de Yacán, Distrito de Paucar, provincia Daniel Alcides Carrión, región Pasco a unos 3600 m.s.n.m. con una densidad poblacional de 200 habitantes aproximadamente. Las coordenadas de ubicación obtenidas son 10°23'41" S y 76°26'29" W en formato DMS (grados, minutos, segundos).

- **Temporal.**

La propuesta investigativa se desarrolla durante los meses de enero hasta agosto del 2023, puesto que se considera un periodo de tiempo adecuado para resolver los objetivos propuestos.

- **Social.**

Con el desarrollo de esta investigación, se podrá evaluar si el Centro poblado posee un depósito mineral y así convertirse en una zona prospectable para el rubro minero.

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema General

- ¿Cuáles son las características geológicas y geoquímica del proyecto cuprífero La Toñi – San Juan de Yacán, para determinar la exploración y el potencial económico?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la distribución espacial de los minerales y qué relación existe entre la litología y la mineralización de cobre en el depósito mineral del proyecto La Toñi – San Juan de Yacán?
- ¿Cómo se encuentran las concentraciones y asociaciones geoquímicas de cobre en el proyecto minero La Toñi – San Juan de Yacán?
- ¿Cuáles son las implicancias del factor de enriquecimiento de la corteza terrestre en el proyecto la Toñi?

1.4. Formulación de Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Caracterizar la geología y geoquímica el depósito de mineral en el proyecto La Toñi – San Juan de Yacán para determinar la exploración geológica y potencial económico.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar la distribución y relación del mineral de cobre en las distintas litologías comprendidas en el depósito mineral en estudio.
- Analizar concentraciones de cobre y establecer intervalos de anomalías geoquímicas para la exploración geológica en el depósito de mineral en el proyecto La Toñi – San Juan Yacán.
- Determinar en qué medida se encuentra la concentración enriquecida de los elementos químicos en el proyecto La Toñi con respecto a la abundancia promedio de la corteza terrestre.

1.5. Justificación de la investigación

Las primeras fases de una actividad minera es la exploración geológica, por

lo tanto, el motivo e importancia de esta investigación es identificar una nueva zona de depósito mineral, ya que el Centro poblado San Juan de Yacán presenta evidencias geológicas y mineralógicas atractivas para la presencia de un depósito mineral tipo pórfido. El descubrimiento de un nuevo depósito de cobre representa la oportunidad de impulsar el desarrollo económico, generar empleo y atraer inversiones al centro poblado. Además de contribuir al descubrimiento de nuevos targets de exploración y prospección de depósitos minerales en el Perú.

El descubrimiento de un nuevo yacimiento de cobre puede aumentar la oferta de este metal y satisfacer la creciente demanda que se viene dando en los últimos años, además de generar importantes beneficios a la región,

Este trabajo de investigación fomentará a que empresas de gran, mediana o pequeña minería tengan en la mira a la provincia Daniel Alcides Carrión como una región de alto potencial geológico prospectivo, poniendo en marcha programas de exploración, cartografiado y cateo, lo cual generaría nuevos descubrimientos y mejor entendimiento de la geología regional y local de esta provincia. Ya que la información publicada por INGEMMET es muy genérico para tener un soporte claro y objetivo para la realización de una exploración geológica.

San Juan de Yacán es un pequeño centro poblado con una densidad poblacional de 200 personas aproximadamente, donde en los últimos años ha existido migración hacia otras provincias y distritos por la búsqueda de mejores estándares de calidad de vida y educación.

1.6. Limitaciones de la investigación

Debido a los altos costos de perforación se limita determinar con exactitud o veracidad el recurso mineral presente en el proyecto.

La falta de recursos económicos implica el límite de la capacidad de

realizar un muestreo exhaustivo o de utilizar técnicas analíticas avanzadas.

Las condiciones climáticas y accesibilidad a áreas remotas limitan la recolección de muestras y obtención de datos geológicos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Antecedentes internacionales

Mario Eduardo Saez (2009) realizó una tesis titulada “Caracterización Estructural y Geotécnica de los niveles superiores de la Mina Este del Yacimiento Los Pelambres” en la universidad de Chile, menciona que “El Yacimiento Los Pelambres es un yacimiento de tipo pórfido cuprífero adakítico, cuya mineralización corresponde principalmente a sulfuros de cobre, con porcentajes bajos de molibdeno y valores subordinados de oro y plata. El yacimiento se emplaza en un cuerpo intrusivo diorítico a granodiorítico, que pertenece a la Unidad Infiernillo, datada en 13 a 18 Ma (Mioceno).”

Daniel Humberto Cáceres Vegas (2008) realizó una tesis titulada “Exploración geológica y geoquímica del prospecto de cobre Texas, cordillera de Domeyko, II región, Chile”. Menciona que: “Las rocas del prospecto Texas presentan diferentes tipos de alteración hidrotermal, encontrándose rocas paleozoicas con alteración potásica y propilítica, además de rocas cretácicas con

alteración propilítica, argílica intermedia y argílica avanzada. Se realizó un muestreo geoquímico de superficie para determinar los valores umbrales exploratorios en la zona e identificar si existen valores anómalos en cuanto a contenido de elementos. El análisis se hizo para aquellos elementos que pueden considerarse como guía en la exploración por pórfido cuprífero: Cu, Mo, Pb, Zn y As.”

Dino Carmelo Manco Jaraba (2019) realizó una investigación titulada “Prospección y caracterización del yacimiento de cobre, en la vereda Los Cueros, Villanueva, departamento de La Guajira-Colombia” redacta que: “Las concentraciones de cobre exploradas en la Serranía del Perijá, se enmarcan dentro de los yacimientos estratos confinados, generalmente asociados a rocas sedimentarias y volcanogénicas, se han realizado estudios para determinar las manifestaciones, ubicarlas y asociarlas con otros afloramientos, sin tener en cuenta su composición, concentración y demás métodos para cualificar geológicamente. El objeto de esta investigación es evaluar concentraciones de cobre, minerales asociados y morfología de las mineralizaciones. La metodología empleada para esta investigación consistió en la toma de nueve (9) muestras, entre roca huésped, zona de contacto entre roca huésped y zona mineralizada, mediante rocas fragmentadas (Rock chips); de las cuales a ocho (8) muestras se le realizaron análisis geoquímicos mediante la técnica de Absorción atómica (AAS) y la muestra restante análisis petrográficos. A partir de los análisis, se obtuvieron resultados interesantes de concentraciones de cobre, oscilando entre 1,07% a 12,72%. Dichos porcentajes permitieron concluir que las concentraciones son muy buenas y seguramente sí se desarrollan adecuados estudios de exploración y evaluación geológica más detallada, podrían llegar a convertirse en proyectos de

gran interés económico”

2.1.2. Antecedentes nacionales

Arturo Moretti Jiménez (2008) realizó una tesis titulada “Caracterización genética del sistema Pórfido de Cu Pucacorrall Norte” investiga que “Mediante los estudios geoquímicos de las muestras tomadas se determinó zonas anómalas en Cu, Mo, Au, Pb y Zn que en su mayoría, están asociadas con el Pórfido Dacítico Temprano, los pórfidos interminerales y a las zonas con alteración fílica y potásica, en algunos casos a las estructuras mineralizadas de cuarzo-especularita turmalina y cuarzo-calcopirita-goethita. Mediante análisis matemáticos-estadísticos y utilizando un diagrama de frecuencias versus frecuencias acumulativas”

Jordan Manchego Mamani (2016) realizó una tesis titulada “Caracterización geológica-geoquímica y alteración hidrotermal del prospecto Pinco Pinco, pórfido de Cu (Mo)” redacta que “El Prospecto exploratorio Pinco Pinco es reconocido como un Pórfido Cu-Mo por las características superficiales y verticales observadas en los trabajos exploratorios; las evidencias geológicas resaltantes que permitieron reconocer este pórfido fueron las Cuarcitas y Areniscas cuarzosas pertenecientes al Grupo Yura que actuaron como roca hospedante y que presentan un intenso fracturamiento local, relleno de fluidos hidrotermales mineralizados con sulfuros primarios como Pirita y Calcopirita, seguido por un enriquecimiento de Silicatos y Carbonatos de Cobre como Crisocola y Malaquita asociados a Hematita y Jarosita producto de la lixiviación, este enriquecimiento se presenta principalmente en las fracturas de las Cuarcitas; los trabajos de mapeo geológico y muestreo geoquímico superficial permitieron reconocer los diversos cuerpos intrusivos Dioríticos pertenecientes a la Superunidad Yarabamba y al

Pórfido Dacita que es el principal evento mineralizador y generador de la alteración hidrotermal del sistema Pinco Pinco. además de elementos como el Zn, Pb y Mn que son elementos vectorizadores que aplicaron perfectamente en el sistema Pinco Pinco, ya que definieron las zonas externas, intermedias y centrales del Pórfido.”

Hugo Rivera Mantilla (1979) realizo un artículo titulado “Prospección geoquímica regional por Cu-Mo en el departamento de Tacna” donde redacta “ Las muestras fueron agrupadas en poblaciones de acuerdo al tipo de roca subyacente en las cuencas de drenaje para reducir la distribución multi-nodal debida a las diferencias litológicas que pueden impedir la detección de valores anómalos. Mediante las curvas de frecuencias acumuladas por Cu-Mo se determinaron los parámetros geoquímicos: background, threshold y anomalías. El estudio de campo y el tratamiento estadístico de los datos geoquímicos dieron como resultado el reconocer cinco áreas anómalas tales como Challaviento-Soroche, Cerro Colorado, Huaylillas, Chispaya y Pistala-Ispinguine cuyos estudios más detallados han confirmado su importancia geológico- minera”

2.1.3. Antecedentes regionales

Gisela Cobeñas Benites (2008) realizo una investigación titulada “Cinturones metalogénicos cenozoicos en Pasco y Huánuco: tipos de yacimientos y Naturaleza geoquímica de los magmas asociados” y tiene como objetivo de este estudio es establecer la naturaleza general del magmatismo en cada uno de los tres cinturones metalogénicos de la región de estudio en Pasco-Huánuco en términos de composición litogeoquímica y petrográfica. Además, redacta que “Los cinturones metalogénicos se habrían generado en orden cronológico durante (i) el Eoceno superior, entre 39 y 35 Ma (cinturón Quicay-Pacoyán), (ii) el Oligoceno,

entre 29-26 Ma (cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos) y (iii) el Mioceno Medio, entre 15 y 10 Ma (cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca). Todos los tipos de depósitos hidrotermales reconocidos en estos tres cinturones mineralizados pertenecen a la familia general de los yacimientos relacionados a los pórfidos de Cu (“porphyry-related deposits”) los cuales son comunes en márgenes activas de subducción o zonas de arco e incluye principalmente: (a) mineralización epitermal de alta sulfuración de Au-(Ag) (cinturón Quicay-Pacoyán y cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca), (b) mineralización epitermal de alta sulfuración de Zn-Pb-Cu-(Ag-Au) (cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca), (c) mineralización epitermal de baja sulfuración de Zn-Pb-Cu-(Ag-Au) (cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos) y (d) depósitos de Zn-Pb-Cu-(Ag-Au) relacionados a skarn además de ocurrencias de pórfidos de $Cu \pm Mo \pm Au \pm W$ (cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos).”

Victor Apomayta Choque (2018) realizo una tesis titulada “Evaluar los controles de mineralización del pórfido CU–AU proyecto Quicay II, Cerro de Pasco – Perú” redacta que “El proyecto Quicay II se encuentra ubicado en la Cordillera Central de los Andes Peruanos, en el Departamento de Cerro de Pasco, Provincia de Pasco, Distrito de Simón Bolívar. Este proyecto tiene como objetivo principal determinar los controles de mineralización del pórfido de Cu-Au del proyecto Quicay II, además de determinar, el comportamiento litológico de las rocas intrusivas hipabisales (subvolcánicas), la paragénesis del depósito del pórfido de Cu-Au y analizar e interpretar los resultados de los sondajes diamantinos con respecto a la geoquímica de Cu – Au. Los métodos utilizados para este proyecto fueron: descriptivo, interpretativo y analítico, realizando la descripción de la litología, alteración, geología estructural, mineralización y estudios petrográficos de los sondajes diamantinos para su interpretación de los

controles mineralógicos del pórfido de Cu-Au con sus respectivos análisis geoquímicos.”

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Parámetros Geológicos

Corresponde a la estratigrafía donde la edad o sucesión de algunas épocas geológicas pueden ser más propicias para la formación de depósitos, Composición mineralógica y química de la roca, estructuras geológicas que proporcionan vías de transporte para los fluidos hidrotermales, procesos Tectónicos como la subducción de placas donde pueden generar las temperaturas y presiones adecuadas para la mineralización.

2.2.2. Deposito mineral

Es una acumulación de minerales en la corteza terrestre donde logra obtener un valor económico y puede ser extraído de manera rentable. Estos depósitos minerales pueden contener diferentes tipos de minerales, ya sea depósitos metálicos que es de interés para la industria minera, y los depósitos no metálicos que rigen en un ámbito industrial ornamental, al final estos recursos naturales son utilizados en diversos sectores como industrias metalúrgicas, construcción, tecnología etc.

2.2.3. Pórfidos de Cobre

Los depósitos del tipo pórfido comprenden yacimientos de gran volumen de mineralización primaria de sulfuros de cobre-ferro y fierro, en general hospedados y directamente asociados a cuerpos intrusivos porfíricos, pero en ningún caso estrictamente restringidos a roca intrusiva. Estos depósitos están asociados a arcos magmáticos de márgenes continentales y a magmatismo calcoalcalino de composición intermedia. La roca huésped es típicamente granodiorita,

cuarzo-monzonita y pórfido andesítico, asociado a sistemas intrusivos multifacéticos y comúnmente relacionado con etapas tardías de la evolución magmática.

Este tipo de depósito representan un modo repetido y evidente de escape de fluido hidrotermal a partir de estas grandes intrusiones en la corteza. Las tres más importantes materias primas, por su valor a nivel mundial, en estos depósitos son Cu, Mo y Au. Ellos son la fuente mundial principal de Cu (> 65% de la producción) y Mo (>95% de la producción) y cuentan con proporciones significativas de Au, además de Ag y Re como subproductos. Los pórfidos son depósitos grandes de entre 1 Mt y 10 Gt de roca con alteración pervasiva y con venillas, en donde la mena esta uniformemente diseminada con leyes relativamente bajas. Las leyes son comúnmente menores de 1% de Cu en los pórfidos de cobre, y de aproximadamente 0.1% de Mo en un pórfido de molibdeno. Estos depósitos son subdivididos en base a su contenido metálico (Cu-Mo-Au), aunque la mayoría tiene concentraciones promedio por encima de las de la corteza de los tres metales, y las composiciones de la mena forman un espectro entre los miembros finales en lugar de claros grupos de tipos. (Caro A).

2.2.4. Principales características comunes de los pórfidos

- La mineralización en los pórfidos esta hospedada en muchos diferentes tipos de rocas, pero está centrada en y temporalmente relacionada a una intrusión de pequeño volumen, mayormente de composición intermedia a félsica (52-77 wt% de SiO₂). Pueden ser múltiples fases de intrusiones menores en el depósito o en las rocas circundantes. Al menos una de estas intrusiones tiene una característica textura porfirítica.

- Los grandes cuerpos mineralizados están en el centro de incluso volúmenes más grandes de rocas hidrotermalmente alteradas (>10 km³). En toda la mena y gran parte de la roca alterada circundante, la pirita está presente hasta en un pequeño porcentaje de la roca como un mineral predominante. El sistema hidrotermal ha añadido así una gran cantidad de sulfuro a las rocas corticales, además de metales de mena.
- La mena y rocas circundantes están caracterizadas por venas y venillas cercanamente espaciadas entre las cuales la roca está intensamente alterada. Hay comúnmente múltiples generaciones de venas. Estas venas marcan el camino del fluido hidrotermal. El flujo del fluido hidrotermal va a lo largo de una densa red de pequeñas fracturas a través de grandes volúmenes de roca. (Abarcia C, 2010)
- Los minerales de mena se presentan tanto en venillas como diseminados en la roca alterada. Los minerales de mena importantes son los sulfuros de Cu y Cu-Fe (calcopirita, bornita, calcosita) y de Mo (molibdenita), Au nativo, y minerales oxidados de W (schelita, wolframita) y de Sn (casiterita). (Lowell & Guibert, 1970)
- Las intrusiones menores, relacionadas a plutones y rocas volcánicas son calco-alcalinas a alcalinas. El contenido metálico de la mena está algo relacionado a la configuración tectónica y a las características composicionales del complejo intrusivo hospedante, aunque hay una superposición considerable de composiciones de rocas ígneas en depósitos con diferentes metales.

2.2.5. Distribución tectónica, espacial y temporal de los pórfidos

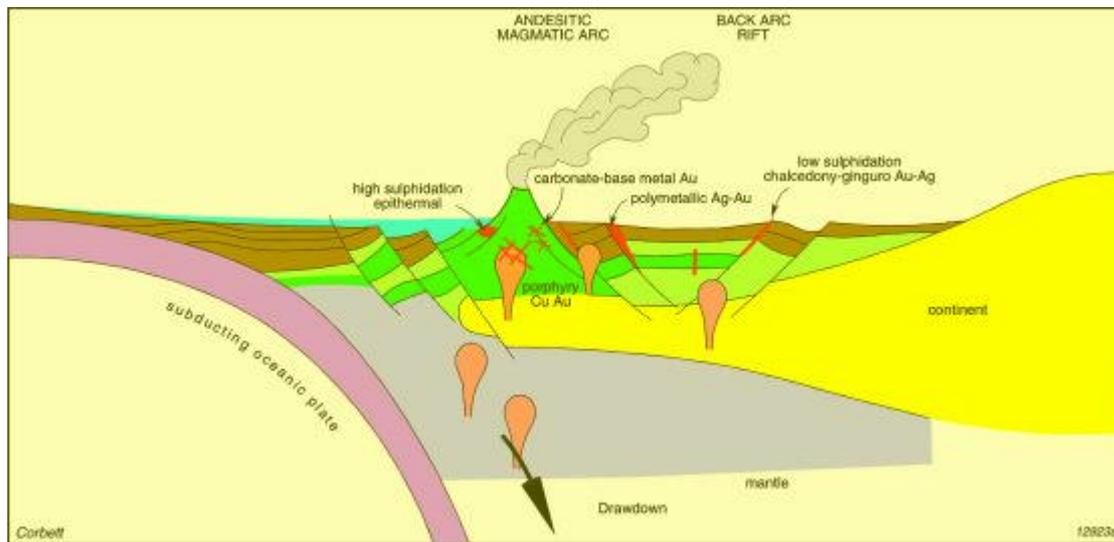
Casi todos los pórfidos se forman en arcos volcánicos, tanto en arcos

continentales (ej. la Cordillera del oeste de Norteamérica y Sudamérica) como en arcos de islas intra-oceánicos (ej. el arco del “Pacífico Suroeste” de Papua Nueva Guinea, Islas Salomon, etc.). Los depósitos pueden crearse durante la subducción activa o justo después de que la subducción se haya detenido, lo que se conoce como postsubducción en el arco. En el caso de los Andes, por ejemplo, un cinturón de 10 – 20 km de extensión de pórfidos de edad Eoceno – Oligoceno ocurre a lo largo de aproximadamente 3000 km de longitud con respecto al rumbo paralelo al margen continental desde el centro de Chile hasta el norte de Perú. Unos pocos pórfidos, por ejemplo, los pórfidos de Mo asociados a magmas graníticos altos en sílice se forman en áreas de magmatismo más disperso en las regiones de tras-arco, como fue el caso durante el cenozoico temprano en el interior del oeste de los EE.UU. El rifting de tras-arco intra-continental puede haber sido un proceso tectónico crítico para la formación de algunos de los pórfidos en esta configuración. Raramente, pequeños pórfidos se forman en entornos tectónicos contrastantes tales como en el rift continental Paleozoico del graben de Oslo.

La mayoría de los pórfidos son relativamente jóvenes (< 75 Ma). Los pórfidos extremadamente jóvenes incluyen Ok Tedi en Papua Nueva Guinea y FSE en Filipinas, ambos formados hace aproximadamente 1.2 Ma en arcos volcánicos actualmente activos. Los pórfidos más antiguos se formaron en arcos a lo largo de los límites de placa actualmente activos (ej. el circumpacífico) o a lo largo de límites de placa inactivos (ej. el collage orogénico de Asia central de Kazajstán y las islas inmediatamente adyacentes). (Almonacid T. 2007)

Figura N° 1:

Grafica de un entorno de subducción y formación de un pórfido.

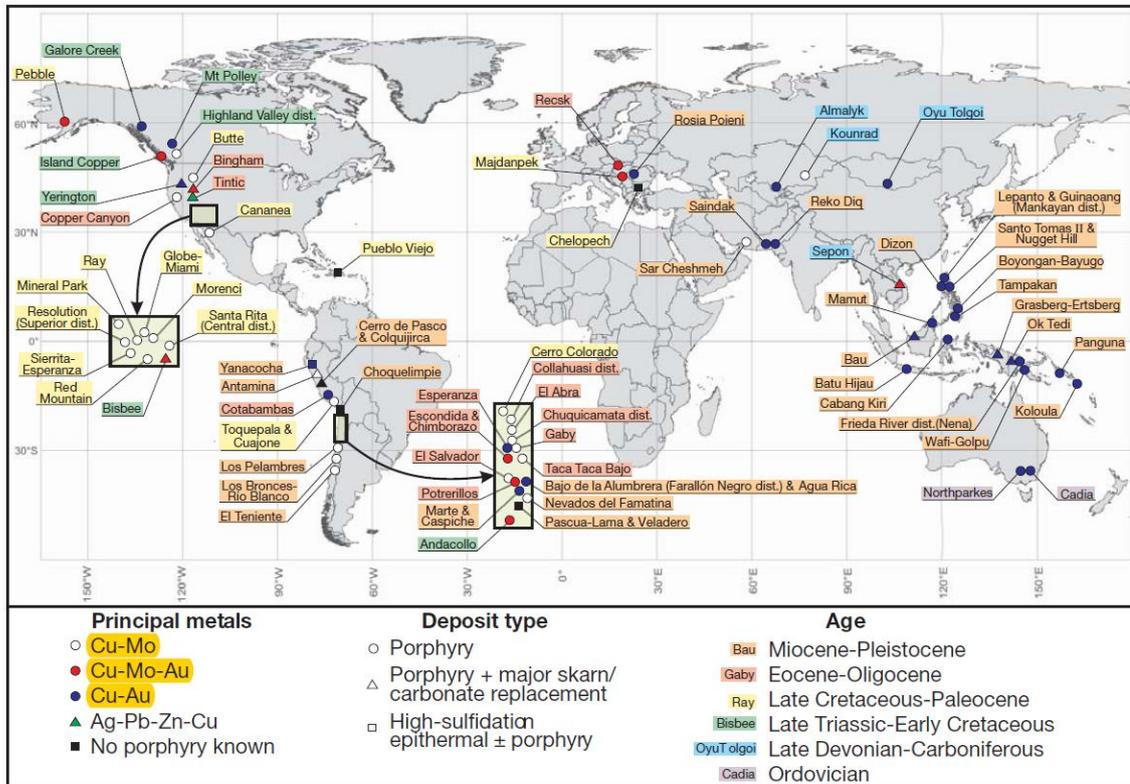


Nota. Esta figura muestra la configuración de diferentes yacimientos minerales relacionados con el pórfido en relación con un entorno tectónico de zona de subducción Fuente: Greg Corbett (2009).

En esta parte de la corteza terrestre tal como los Andes que han tenido una larga historia de subducción episódica, se presentan cinturones sub-paralelos de diferentes edades, cada uno correspondiente a la posición del arco magmático de esa edad. En muchos cinturones hay a menudo clústeres elongados o irregulares de depósitos formados en unos pocos millones de años. Estos clústeres son interpretados como formados encima de un único gran plutón de tamaño batolítico de larga vida, similar a los que están actualmente activos en los arcos volcánicos de los Andes, por ejemplo. Este estilo de clustering es mejor desarrollado en arcos continentales de larga vida en los que los grandes batolitos se desarrollan en la corteza media, tal como en los Andes y en el suroeste de los EE.UU. las grandes intrusiones de tamaño batolítico no son reconocidas debajo de los pórfidos en las cadenas de islas tales como las del Océano Pacífico suroeste, y el clustering de depósitos ya sea en edad o tiempo no se ha reconocido en estos ambientes.

Figura N° 2:

Distribución espacial y temporal de los pórfidos



Nota. Esta figura muestra la distribución espacial y temporal de los pórfidos en el mundo con respecto al elemento metálico principal y su edad correspondiente.

Fuente: Sillitoe (2010).

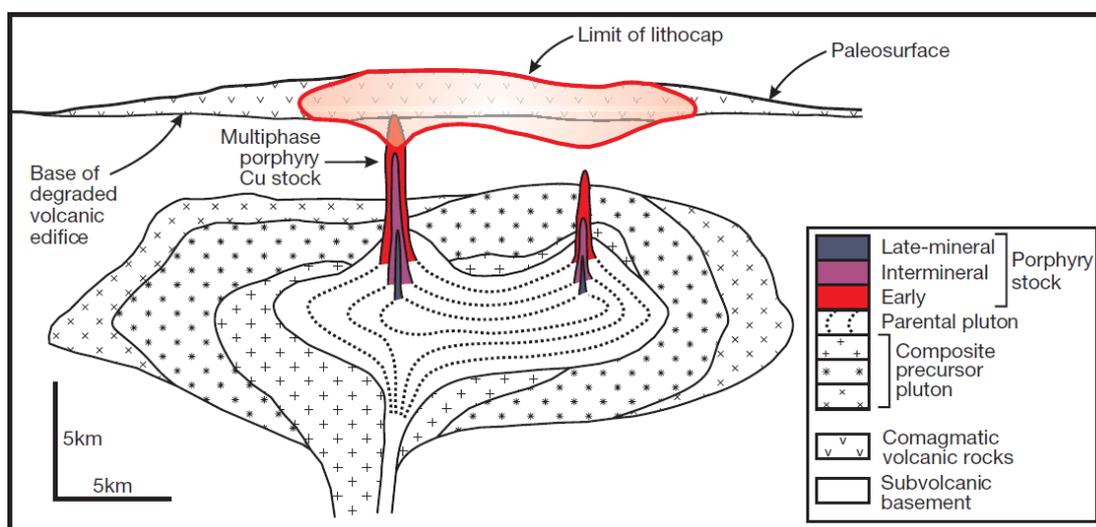
2.2.6. Estilos de los centros magmáticos que hospedan pórfidos

Los centros magmáticos en los que ocurren los pórfidos cubren áreas de unos pocos kilómetros y son típicamente marcadas por múltiples facies principalmente de pequeñas intrusiones, stocks de hasta 1-2 km de diámetro, intrusiones de diques irregulares, e intrusiones con forma de dedos sub-verticales que pueden estar en un espacio tan reducido de aproximadamente 20 m. estas intrusiones pueden ser divididas en pre-mineralización, sin-mineralización (intra-mineral), y post-mineralización, basado en las relaciones de corte de las venillas y la intensidad de la alteración hidrotermal en las intrusiones. En intrusiones datadas

radiométricamente, se ha confirmado que todas en se han formado en periodos de tiempo de como máximo unos pocos millones de años, consecuentemente, durante la vida útil del centro magmático. Ellos son petrogenéticamente relacionados, aunque pueden variar a veces tanto en química como en textura.

Figura N° 3:

Estilos de los centros magmáticos que hospedan pórfidos



Nota: Esta figura ilustra los depósitos de pórfidos se forman a través de una combinación de procesos magmáticos. Hidrotermales que tienen lugar durante millones de años. Fuente: Sillitoe (2010).

2.2.7. Minerales de mena en los pórfidos

Los minerales están en todos los casos diseminados como granos de tamaño milimétrico a submilimétrico en la roca alterada y en venillas a través del pórfido. Los minerales de cobre más importantes son la calcopirita y bornita, y más raramente la calcosina. Cuando la calcopirita y la bornita están presentes, el cuerpo mineralizado está zonado con la abundancia más grande de bornita a mayor profundidad. El oro está presente como inclusiones pequeñas de oro nativo con calcopirita o bornita y en solución sólida en bornita. La molibdenita es la única

mena primaria de molibdeno.

2.2.8. Venillas y estructuras del flujo de fluido hidrotermal

La mayoría de la mena y roca alterada circundante tiene un denso stockwork de múltiples generaciones de fracturas rellenadas, venillas y venas de amplios centímetros. Las venas de más de unos pocos centímetros son raras en los pórfidos. En los stockworks con una densa red de venillas hasta entre 10 y 20% del volumen de la roca puede estar formado de venas. Las venas son desarrolladas a través de la mena y la roca alterada circundante, aunque los núcleos de muchos escudos mineralizados tienen mucha menos densidad de venas.

Hay múltiples generaciones de venas que se cortan entre sí en el depósito. La mineralogía de las diferentes generaciones de venillas y su evolución temporal ha sido determinada por un número de depósitos principales. Aunque las secuencias y mineralogía de las venillas son diferentes en detalle, una consistente secuencia de tres tipos genéticos puede ser reconocidas en las zonas de mena de muchos depósitos. Las secuencias en muchos pórfidos de Cu son, por ejemplo:

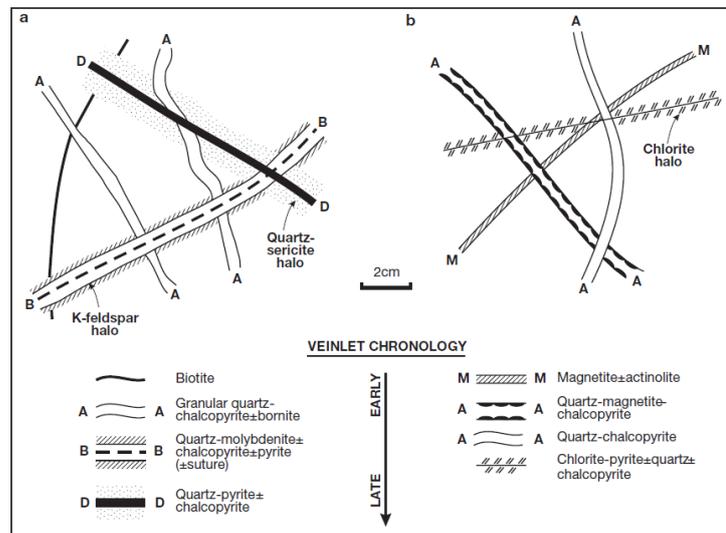
Venillas tempranas (ej., Tipo EB = early biotite), que son delgadas y a menudo tenues, con biotita junto con, en algunos casos, magnetita recubriendo la venilla.

Fase principal de venillas con predominio de cuarzo (venillas tipo A y B), a menudo con textura granular, que contienen calcopirita diseminada.

Fase tardía generalizada (venillas tipo D), que son venillas de cuarzo-pirita ± calcopirita con halo de sericita, o de clorita-pirita con halo de clorita.

Figura N° 4:

Tipo de venillas en los pórfidos



Nota. Esta figura ilustra cronológica, forma y mineralización de las venillas presentes en los pórfidos. Fuente Sillitoe (2010)

La ley de la mena se correlaciona con la densidad y abundancia de las venillas con predominio de cuarzo A y B.

Las venas forman stockworks o una red venas paralelas y tienen en la mayoría de los casos un buzamiento comúnmente moderado a abrupto. La textura desarrollada a nivel distrital y local en las cúpulas del plutón debajo de los pórfidos y también en intrusiones tipo stock es la "textura de solidificación unidireccional" (UST). Esta tiene bandas irregulares repetidas con cúspides y bulbosas de generalmente de minerales graníticos de grano grueso a pegmatítico con terminaciones euhedrales donde los granos crecen hacia abajo dentro del fundido o fluido. Estas texturas son interpretadas como el registro del crecimiento mineral en concentraciones de fluido hidrotermal que se ha colectado en el techo de un cuerpo de magma en cristalización.

Las brechas pipes están presentes en algunos depósitos. Ellas pueden

abarcar parte de la mena e incluye en la matriz los mismos minerales precipitados hidrotermalmente que en las venas. Otras brechas pipes son no mineralizadas. Las brechas pipes son característicamente sub verticales. La forma cónica invertida de algunas brechas pipe sugiere que se formaron de una manera similar a las diatremas en las kimberlitas, durante la expulsión de magma o fluidos a la superficie. Otras son brechas de colapso que no se extendieron a la superficie y en las cuales los clastos han caído en un espacio vacío de manera similar a las cuevas kársticas rellenas con clastos del techo. Los espacios vacíos en un sistema magmático se pueden haber desarrollado en zonas donde el magma o espacios rellenos de fluidos han sido desocupados en profundidad.

2.2.9. Alteración hidrotermal

Las rocas con alteración hidrotermal es un componente característico de los pórfidos. Es pervasiva en las zonas de mena y en las rocas adyacentes, suprayacentes e infrayacentes, en algunos casos extendiéndose kilómetros más allá del límite del cuerpo mineralizado. Hay múltiples ensambles de minerales de alteración característicos tanto en las intrusiones como en las rocas circundantes que se formaron a diferente temperatura y como resultado de la migración de diferentes fluidos.

Hasta seis tipos de alteración son reconocidos en base a la presencia de uno o, en la mayoría de los casos, combinaciones de minerales específicos y característicos, y se presentan de manera repetida en y alrededor del pórfido en las zonas de alteración en las cuales una facie es la dominante. Las zonas son cada una desarrollada, en general, concéntricamente alrededor y encima de la intrusión porfirítica y el cuerpo mineralizado. En muchos depósitos, los ensambles de alteración de baja temperatura parcialmente se superponen a los ensambles de

alta temperatura.

Alteración potásica. Estas facies están ubicadas y son características de la zona de mena y de niveles más profundos de la mayoría de los depósitos, especialmente del núcleo estéril debajo y en el interior de un escudo mineralizado.

Los minerales esenciales de la alteración potásica son el cuarzo y feldespatos-K o biotita o ambos. Estos minerales son en muchos casos parte del ensamble primario de la roca, especialmente de rocas félsicas, sin embargo, la alteración potásica es reconocida en donde una proporción significativa de feldespato-K o biotita ha reemplazado a la plagioclasa primaria y minerales máficos de, por ejemplo, la intrusión hospedante. Otros minerales de ganga de alteración pueden incluir clorita, albita, sericita, magnetita, anhidrita y pirita. Una alta concentración de magnetita es una característica de la zona alteración potásica en el núcleo del escudo mineralizado de muchos depósitos.

Alteración calco-sódica. Esta alteración ocurre en la periferia de algunos depósitos hasta los límites de profundidad inferiores de la zona de mena. Los minerales esenciales son albita/oligoclasa, actinolita y magnetita. Las facies generalmente carecen de pirita y es casi nunca un huésped de la mena. Es considerada un resultado de la infiltración de agua salina a temperatura de aproximadamente 450 °C.

Alteración filica. Esta facie de alteración, comúnmente se formó relativamente tarde en el desarrollo del sistema hidrotermal y a menudo se sobrepone a las zonas de alteración potásica y de clorita-sericita, especialmente las partes superior y periférica de estas zonas. La etapa tardía de esta alteración es registrada por ejemplo por los halos sericíticos en las venillas de cuarzo-pirita tipo D, que cortan a las rocas con alteración potásica y a las venillas tipo A y B

asociadas con la alteración potásica.

Los minerales esenciales son cuarzo, sericita y pirita. Estos minerales crecen sobre la textura de la roca más temprana de manera que la roca con alteración fílica aparece blanqueada y a menudo casi sin textura en muestras de mano. Otros minerales de ganga pueden incluir feldespatos potásico, caolinita, calcita, biotita, rutilo, anhidrita, topacio y turmalina.

Alteración clorita-sericita. Estas facies de alteración cubren la zona de mena en algunos depósitos, aunque puede incluir mena también. Tiene un color verde pálido característico. Además de clorita y sericita (o illita) otros minerales incluyen hematita, pirita y, en algunos casos, esmectitas. Se forman a partir de fluidos similares y a temperaturas similares a la alteración fílica, pero de acidez ligeramente inferior.

Alteración argílica. Esta puede ser desarrollada localmente a niveles relativamente someros del sistema hidrotermal encima y en la periferia de la zona fílica. Los minerales esenciales son arcillas (montmorillonita, caolinita). Otros minerales son la biotita, illita, clorita, pirofilita, diásporo, alunita, sulfuros, cuarzo y andalucita.

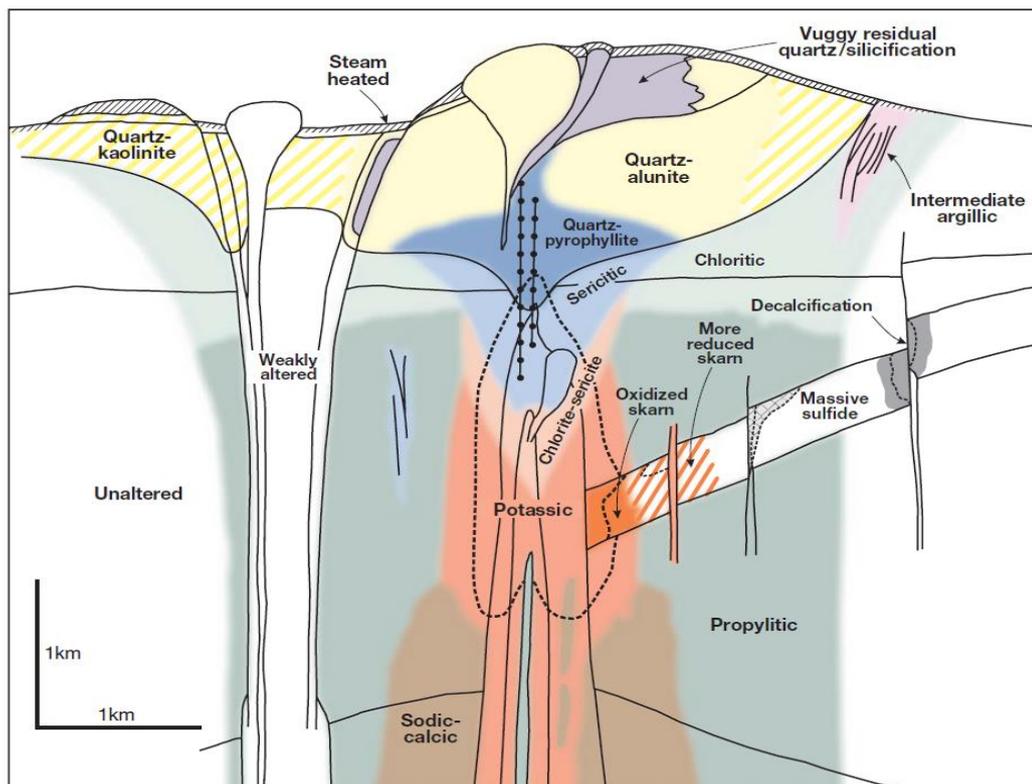
La alteración argílica es el resultado de un intenso metasomatismo de baja temperatura (100-300 °C) en la que los minerales de arcilla son producidos como resultado de la lixiviación ácida de los feldespatos y silicatos máficos.

Alteración propilítica. La alteración propilítica es muy presente y extensivamente desarrollada alrededor de la mayoría de los pórfidos, y puede extenderse hasta varios kilómetros desde el depósito con intensidad de desarrollo progresivamente decreciente lejos del cuerpo mineralizado. Los ensambles de alteración propilítica se parecen mucho a los de las facies metamórficas de

esquistos verdes. Los minerales esenciales son epidota, clorita y calcita. La pirita es normalmente presente. Otros minerales incluyen óxidos de hierro, sericita y apatito.

Figura N° 5:

Sistema porfirítico con las alteraciones hidrotermales características y depósitos relacionados.



Nota. La figura ilustra el zonamiento de las alteraciones hidrotermales que actúan en un sistema de pórfidos, así como la relación con otros depósitos que implican el desarrollo del pórfido. Fuente Sillitoe (2010).

2.2.10. Mineralización tipo Manto

La mineralización tipo mantos se refiere a la formación de depósitos minerales que se presentan en forma de capas horizontales o mantos en la corteza terrestre. Estos mantos suelen estar compuestos por minerales metálicos, como el cobre, plomo, zinc, estaño o hierro.

La formación de estos depósitos se produce a través de procesos

geológicos específicos, como la sedimentación de minerales en ambientes marinos o lacustres, la deposición de minerales en capas horizontales durante la formación de rocas sedimentarias, o la concentración de minerales en soluciones acuosas que se infiltran en rocas permeables.

2.3. Definición de términos básico

- **Anomalías geoquímicas:** es una variación de la distribución geoquímica normal correspondiente a un área o a un ambiente geoquímico. Una anomalía se expresa por medio de números, que se puede separar de un grupo más amplio de números constituyendo el fondo geoquímico. Para ser detectada una anomalía tiene que desviar claramente de este fondo.
- **Arenisca:** son rocas sedimentarias detríticas que contienen al menos el 50% de granos del tamaño de arena (0.063mm a 2mm), su textura es variable desde bien sorteada a con sorteo pobre, mineralógicamente se compone de cuarzo y feldespatos en conjunto con fragmentos de cualquier tipo de roca.
- **Background:** es un rango normal o general de concentración de uno o más elementos en un área determinada.
- **Bofedales:** Un bofedal es un humedal de altura y se considera una pradera nativa poco extensa con permanente humedad. Los vegetales o plantas que habitan el bofedal reciben el nombre de vegetales hidrofíticos.
- **Correlación:** En probabilidad y estadística, la correlación indica la fuerza y la dirección de una relación lineal y la proporcionalidad entre dos variables estadísticas
- **Deformación:** Se refiere al movimiento de un cuerpo de un estado a otro. La traslación, se compone por la rotación, la traslación y la deformación interna. Hasta que el cuerpo se descompone y llegue a un punto crítico de ruptura.

- **Diorita:** La diorita es una roca ígnea intrusiva o plutónica que se origina por la cristalización lenta del magma bajo la corteza, su composición química es intermedia, es decir que tiene entre el 52% al 63% de sílice (SiO₂), mineralógicamente se compone de anfíbol, piroxeno, plagioclasas y muy poco cuarzo y feldespato potásico.
- **Esfuerzo:** Es toda fuerza que aplica presión sobre un plano de superficie, esto indica la relación entre la fuerza aplicada y la superficie en la cual se aplica.
- **Estriación:** son indicadores que permiten determinar la dirección del desplazamiento de un plano tectónico.
- **Factor de Enriquecimiento:** Es la cantidad de veces que un elemento se concentra, a partir de un valor de fondo que sería el valor medio de la corteza terrestre del elemento elegido.
- **Fallas:** Es una Fractura que ha ejercido un movimiento relativo, asimismo estos movimientos fueron generados por las fuerzas que provocan el desplazamiento de las placas tectónicas.
- **Fallas transcurrentes o de rumbo:** Son aquellas fallas que poseen un movimiento horizontal de sus bloques adyacentes. Existen dos tipos: Dextrales y sinextrales.
- **Filita:** es una roca metamórfica que es representante de metamorfismo regional de grado bajo a medio (facies de esquistos verdes), que se forma por el metamorfismo de sedimentos pelíticos (ricos en arcilla y materia orgánica) y se la reconoce por tener un tamaño de grano mayor al de la pizarra.
- **Fractales:** es un objeto geométrico en el q se repite el mismo patrón a diferentes escalas.
- **Lutita:** es una roca sedimentaria clástica o detrítica formada principalmente

por granos que tienen un tamaño menor a 0.002mm (arcillas) dispuestos en una textura laminada, mineralógicamente está compuesta de minerales arcillosos y micáceos como caolinita, clorita, montmorillonita, moscovita, illita, además, cuarzo, feldespatos y óxidos de hierro.

- **Metalotecto:** Todo dominio espacial que, por su litología, propiedades físicas, quimismo, etc.; o por su relación con otra causa (edad, clima, etc.) pueda albergar la formación de una concentración mineral.
- **Pathfinder:** es un elemento guía o un elemento asociado a un depósito mineral, pero que es más fácil de ser detectado que un elemento blanco principal.
- **Potencial Explorativo:** El potencial minero es uno de los parámetros fundamentales para la inversión en el sector de la minería, es la perspectiva con la que el inversionista tomará decisiones de acuerdo con el conocimiento inicial del prospecto propuesto por el geólogo de Exploraciones; es decir es la posibilidad que tiene la ocurrencia mineralizada de albergar una determinada cantidad de mineral de acuerdo con su contexto geológico.
- **Stockwork.** Conjunto o set de venillas dispuestas en forma de enrejado.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

- Las características geológicas y geoquímicas en el proyecto La Toñi definen zonas favorables con potencial económico para su exploración.

2.4.2. Hipótesis específico

- En el proyecto la Toñi la distribución espacial de minerales de cobre se encuentran relacionados a litologías favorables.

- Las concentraciones y asociaciones geoquímicas en el proyecto La Toñi tienen minerales de composición cuprífera como bornita y calcopirita.
- Un alto factor de enriquecimiento con respecto al promedio de la corteza terrestre podría implicar que existe una mayor concentración de ciertos minerales.

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variables Independientes

- Caracterización geológica y geoquímica.

2.5.2. Variables dependientes

- Potencial económico y su exploración minera.

2.5.3. Variables intervinientes

- Distribución espacial.
- Litología.
- Asociación geoquímica.
- Factor de enriquecimiento.

2.6. Definición Operacional de variables e indicadores

Tabla N° 1:

Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
<p><u>Variable independiente</u></p> <p>Caracterización geológica y geoquímica.</p>	<p>Descripción detallada de las características geológicas e identificación de tipo de litología, mineralización y concentración de elementos químicos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Descripción y análisis de la composición de la litología, aspectos con la formación y evolución de la roca. - Análisis y cuantificación de los componentes químicos presentes en la roca. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tectónica - Litología - Estructuras - Mineralización - Asociaciones químicas 	<ul style="list-style-type: none"> - Composición - Edad - Formación - Facie 	<ul style="list-style-type: none"> • Mapeo • Geológico • Muestras
<p><u>Variable dependientes</u></p> <p>Potencial económico y su exploración minera.</p>	<p>Capacidad de un depósito mineral para generar beneficios económicos significativos.</p>	<p>Evaluación cuantitativa de los recursos minerales presentes en un yacimiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Tonelaje - Geometría 	<ul style="list-style-type: none"> - Ley de mineral 	<ul style="list-style-type: none"> • Geofísica • Sondajes • Muestreo

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

Esta investigación desarrollada está basada en 4 tipos: Exploratorio, Correlacional, Descriptivo e Interpretativo.

3.2. Nivel de Investigación

Esta investigación es de nivel analítico debido a que se caracterizara el tipo de depósito según sus asociaciones geoquímicas, mineralógicas y petrográficas.

3.3. Métodos de Investigación

Se emprendió un enfoque descriptivo, Analítico e interpretativo con la finalidad de determinar y caracterizar la geología, sus ocurrencias mineralógicas y distribución del depósito mineral y determinar una posible zona de prospección en el distrito. La investigación se llevó a cabo en tres etapas, a saber, recopilación de información, trabajo de campo y trabajo interpretativo.

3.4. Diseño de investigación

Exploratorio: Se recolecta datos de campo de los traves recorridos en la zona de interés prospectivo.

Descriptivo: El objetivo de este informe es arrojar luz sobre diversas perspectivas y proyectos que se están explorando actualmente en el campo de estudio.

Interpretativo: El resultado de este planteamiento será un diseño excepcional una zona o targets para progresar al siguiente nivel de exploración.

Analítico: El resultado del análisis de las muestras de roca vectorizara la concentración de cobre (anomalías) para la determinación de un depósito mineral económico.

Correlativo: enfocaría en establecer posibles relaciones significativas entre las diferentes variables geoquímicas presentes en el depósito.

3.5. Población y muestra.

3.5.1. Población

La población consistió en 341 muestras de roca que fueron recolectadas utilizando el método de muestreo por canales.

3.5.2. Muestras

El tamaño de la muestra es el mismo tamaño de la población, lo que significa que las 341 muestras que conforman la población han sido tratadas y analizadas.

3.6. Técnicas e Instrumentos de recolección de Datos

3.6.1. Técnicas de recolección de datos

- Revisión documental: búsqueda de información geológica en el área de estudio (Metalogenia, Litología, Alteración, mineralización y Estructuras geológicas).
- Observación de campo: Datos de campo mediante mapeo y muestreo geológico.

- Técnicas de muestreo.

3.6.2. Instrumentos para la obtención de datos

- Plano topográfico.
- Mapeo Geológico, Alteración y Estructuras.
- Estándares de extracción de muestras.
- Tablas de Registro de muestras.

3.7. Técnicas de procesamiento y Análisis de Datos

En primer lugar, se solicitó la autorización pertinente del presidente de la comunidad San Juan de Yacan, una vez otorgada el permiso, se inició con recorridos (travers) de reconocimiento de terreno en la zona de estudio, así mismo se utilizó las técnicas clásicas de mapeo geológico superficial e interpretación geológica y estructural.

Las actividades de muestreo se realizaron mediante el método de canales y rock chip en el área de estudio, luego se enviaron al laboratorio para sus respectivos análisis

3.8. Tratamiento estadístico

El tratamiento estadístico de los datos se realizó en los siguientes softwares:

- Microsoft Excel 365
- Minitab 20
- IOGAS

3.9. Orientación ética y filosófica y epistémica

En el desarrollo de esta tesis se ha prestado una atención cuidadosa a la ética de investigación, incluyendo el respeto a la empresa y comunidad, con la garantía de la justicia y la integridad en la recopilación y presentación de los datos.

Se obtuvo el consentimiento informado de todos los participantes (empresa y comunidad) sobre el propósito del estudio. Se ha mantenido la confidencialidad de los participantes al asegurar que la información recogida se almacena de forma segura y la accesibilidad para el equipo de investigación.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. Ubicación

Geográficamente, el Proyecto La Toñi se encuentra en la región sierra central del Perú, al noroeste del distrito de Paucar, aproximadamente con una altura promedio de 4,200 m.s.n.m. se encuentra dentro de la Franja de epitermales de Au-Ag del Eoceno y depósitos polimetálicos del Eoceno Oligoceno-Mioceno (Fig. 10), una de las más complejas por la presencia de diversos depósitos metálicos.

La coordenada UTM WGS 84 zona 18S; referencial del punto central del área del Proyecto es la siguiente:

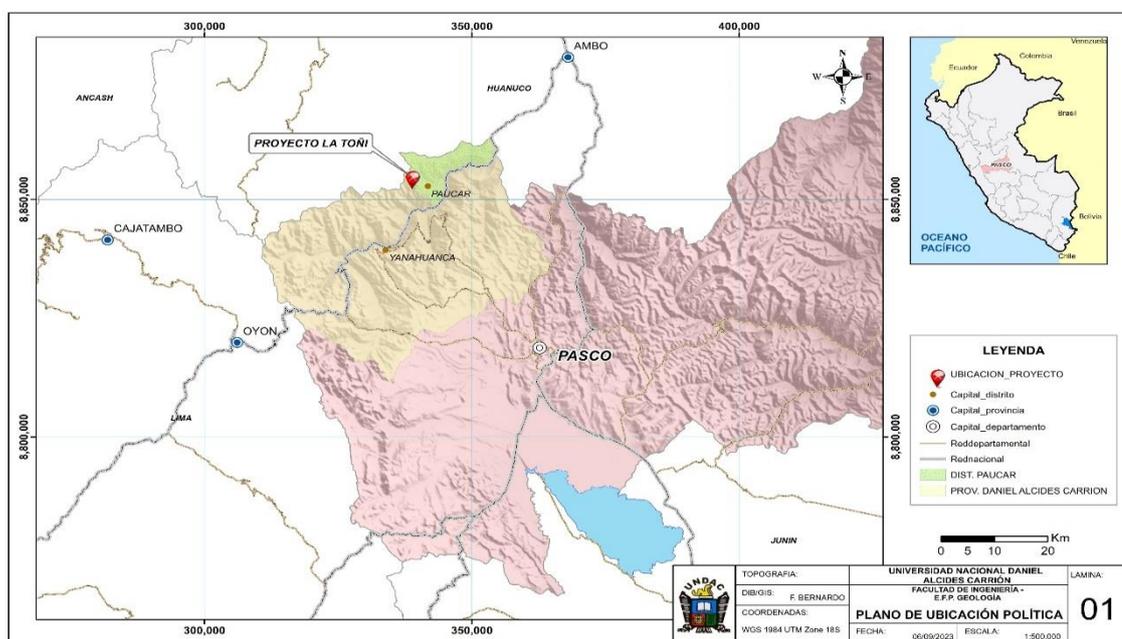
Este (m): 339030.44 Norte (m): 8854612.12 Altitud:4267.00 m.s.n.m.

El proyecto La Toñi está ubicado a 5 Km. al noroeste del poblado de Yacán, entre los límites de las áreas que pertenecen a las Comunidades Campesinas de Yacán y Paucar, Distrito de Paucar, Provincia de Daniel Alcides Carrión, Región Pasco; perteneciente al Cuadrángulo de Ambo hoja 21-k, está protegido por las concesiones: Arcadea y La Toñi que hacen un total de 1,200

hectáreas.

Figura N° 6:

Plano de ubicación del proyecto La Toñi.



Nota. La figura muestra la ubicación política del proyecto La toñi donde indica los límites provinciales y distritales, el mapa incluye puntos de interés como capitales de provincia y distritos.

4.1.2. Accesibilidad

Tabla N° 2:

Accesos al Proyecto La Toñi.

RUTA A

Vía terrestre	Tipo	Distancia (Km)	Tiempo (Hrs)
Lima – Oyon	Carretera Asfaltada	233	04:30
Oyon - Yanahuanca	Carretera Asfaltada	81	02:20
Yanahuanca - Paucar	Carretera Asfaltada	25	00:40
Paucar - Proyecto La toñi	Camino de herradura	3	00:50
Total		342	08:20

RUTA B

Vía terrestre	Tipo	Distancia (Km)	Tiempo (Hrs)
Lima - Cerro de Pasco	Carretera Asfaltada	254	05:40
Cerro de Pasco - Yanahuanca	Carretera Asfaltada	64	01:20
Yanahuanca - Paucar	Carretera Afirmada	25	00:40
Paucar - Proyecto La toñi	Caminos de herradura	3	00:50
Total		346	08:30

Nota. Los cuadros muestran las rutas de llegada al proyecto La toñi, que contiene información necesaria de distancias y tiempo de recorrido.

4.1.3. Clima

Existen dos ciclos climáticos claramente diferenciados, los cuales se desarrollan a lo largo del año y constan de:

- Ocho meses presenta un clima tropical húmedo con ligeras precipitaciones fluviales correspondientes al verano austral, comprendidos entre los meses de abril a noviembre.
- Cuatro meses presenta un clima frígido con fuertes ventiscas frías y ocasionales lluvias y nevadas que ocurren en periodos de lunación, comprendidos entre los meses de diciembre a marzo.

La temperatura en la estación de verano varía de 7° a 20° C y en invierno de -2°C a 14°C, la velocidad de los vientos alcanza los 12 Km/h en el mes de mayo. Dependiendo de la época del año, la temperatura suele variar de acuerdo con la estación.

4.1.4. Geomorfología

Las montañas en la provincia de Daniel A. Carrión se consideran relieves con una altura superior a 300 m con respecto al punto de referencia local, los cuales se consideran productos de la deformación de las cumbres y estribaciones.

Efectos de la erosión y otros eventos de diversa naturaleza (levantamiento, glaciación, etc.). En un contexto general, consisten en lineamientos alargados compuestos por rocas metamórficas, intrusivas, volcánicas y sedimentarias, con meteorización y erosión superficial de moderada a fuerte. Dentro del proyecto La Toñi se encuentran las siguientes subunidades:

- **Relieve montañoso en rocas metamórficas (RM-rm)**

Corresponde a los antiguos sistemas montañosos expuestos en la parte central de la provincia de Daniel Alcides Carrión Litológicamente corresponden al complejo Marañón y al grupo Excelsior. Son pendientes de moderadas a pronunciadas con cimas redondeadas y alargadas. Presentan pendientes de moderadas a pronunciadas con picos redondeados y alargados. Se encuentran altamente erosionados y asociados a procesos de cascadas, deslizamientos de tierra, erosión de cárcavas y huaycos. Su altura alcanza los 4000 m.s.n.m. Forman laderas hacia las márgenes del río Chuapihuaranga.

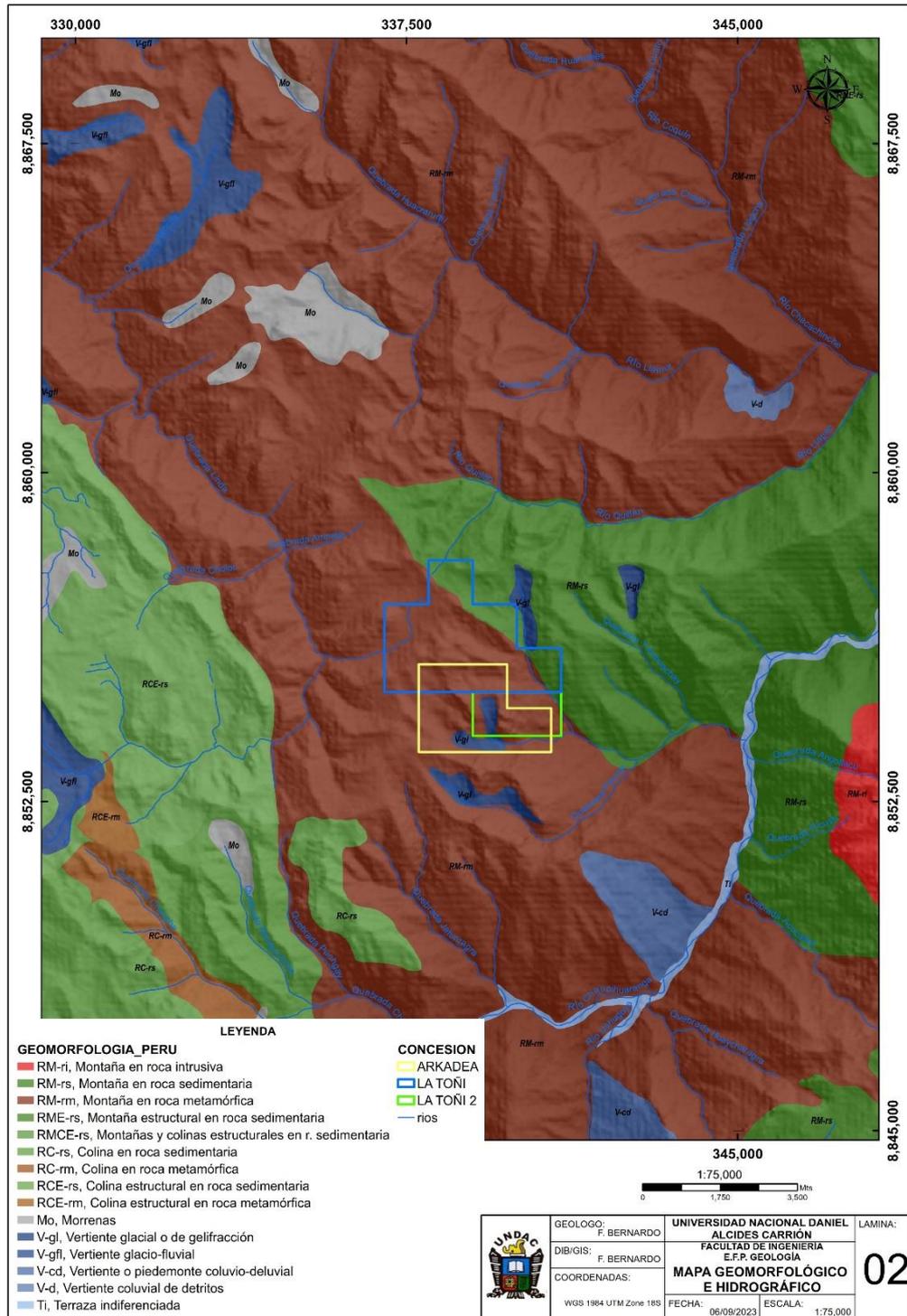
- **Relieve montañoso en rocas sedimentarias (RM-rs)**

Corresponde a afloramientos de rocas sedimentarias que han sufrido procesos tectónicos y erosivos, compuestos por rocas del tipo conglomerado, areniscas, lutitas, lutitas, calizas y cuarcitas de edad Cretácica. Presentan laderas de pendiente media y fuerte.

La pendiente de los terrenos en la zona es moderadamente abrupto y accidentado con grandes escarpados y pendientes de orden de 10 a 40°. Presentan pendientes con amplia distribución de montañas, asimismo conformando las laderas superiores que limitan los márgenes del río Chaupihuaranga.

Figura N° 7:

Mapa Geomorfológico e Hidrográfico del proyecto La toñi



Nota. La figura representa las características físicas y geomorfológicas de la superficie terrestre, detalla la posición y distribución de diferentes landforms como montañas, valles, vertientes, colinas y entre otros.

4.1.5. Vegetación y Flora.

La vegetación es copiosa en los valles glaciares predominando el Ichu y pastos rastreros de la zona que permiten la crianza de equinos, auquénidos y vacunos, con puntuales áreas cubiertas por bosques de Queñual y puntualmente áreas de cultivo temporal de tubérculos (papa, olluco, oca).

4.1.6. Geología Regional

El entorno geológico regional perteneciente al proyecto La Toñi involucra diferentes ambientes metamórficos y posterior formación de rocas sedimentarias dentro dominio tectónico del altiplano central Yauli – Cerro de Pasco del Neoproterozoico al Cretácico inferior. En algunos sectores de vertientes glacial o gelifracción. generada durante el Cuaternario.

La serie sedimentaria de edad Triásica - Jurásica media está compuesta en la parte inferior por rocas químicas sedimentarias tales como las calizas y rocas detríticas tales como los conglomerados. Las rocas químicas en el área están representadas por las formaciones Chambara, Aramachay y Condorsinga del grupo Pucara, las rocas detríticas están representadas por las formaciones del grupo Mitu.

La parte superior de edad Cretácica inferior consiste en una secuencia de rocas areniscas cuarcitas a ortocuarcitas de grano medio a grueso, así mismo presentan algo de lutitas y margas grises. Las rocas clásticas en el área están representadas por las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat.

El grupo Pucara es el metalotecto más importante en la región, la misma que se expone ampliamente como una potente secuencia sedimentaria entre las minas principales de la Región

Estas formaciones en los alrededores están intruidas por rocas ígneas de composición diorítica, tonalítica, granodiorítica y monzonita.

Estructuralmente el área comprende un marcado control estructural dominado por intenso plegamiento que caracteriza los afloramientos sedimentarios – metamórficos. Además del intenso fracturamiento – fallamiento producto de las fases tectónicas, el fallamiento en la región se ajusta a un trend dominante de NW-SW y NE-SW.

4.1.6.1. Rocas Sedimentarias y Metamórficas

- **Grupo Goyllar (Cretácico Inferior)**

Litológicamente tenemos a la formación Chimú en el techo del Grupo Goyllar constituida por areniscas cuarcíticas a ortocuarcitas, de grano medio a grueso, compactadas en bancos medianos, bastante resistentes a la erosión se presentan como crestas conspicuas y abruptas; en partes se observa estratificación cruzada, a veces muy fracturada. Esporádicamente se presentan intercalaciones de lutitas grises con lutitas bituminosas con horizontes de carbón antracítico de 1 a 5 mt. de potencia.

La formación Santa constituida por afloramientos calcáreos con intercalaciones de lutitas y margas consiste en calizas gris azulinas a oscuras, finamente estratificadas, con ciertos horizontes de caliza arcillosa y margas; ocasionalmente se presentan nódulos de chert con fragmentos de conchas. El espesor de esta formación se estima en menos de 40 m.

La formación Carhuaz está constituida por arenisca gris verdosa a blanquecina con intercalaciones de lutita gris, limolita y arenisca marrón de grano fino a medio en capas

delgadas; a veces capas delgadas de caliza y marga.

Formación Farrat constituida por areniscas, cuarcitas y lutitas. Presenta areniscas cuarcíticas blanquecinas, en capas medianas a gruesas y esporádicamente capas delgadas de lutitas gris oscuras a gruesas.

- **Grupo Pucara (Triásico - Jurásico medio)**

Litológicamente tenemos a la Formación Chambara en el techo del grupo Pucara caracterizado por constituir una secuencia relativamente monótona de calizas masivas, color gris azulino a superficie intemperizada color amarillo cremoso. Se distinguen nódulos de chert de formas irregulares o lentes paralelos a la estratificación.

La formación Aramachay se caracteriza por presentar calizas tabulares del orden menor de 15 cm, de color gris oscuro a bituminoso con niveles margosos y polícticos negros con abundante material orgánico con la presencia de fósiles que caracterizan a esta unidad. El grosor es variable de un lugar a otro, pero se estima en 50 m.

La formación Condorsinga constituida por calizas grises en capas delgadas, ligeramente masivas bien estratificado con ciertas intercalaciones de calizas dolomíticas.

- **Grupo Mitú (Pérmico Superior – Triásico Inferior)**

Es una serie detrítica de color rojo que consiste en la base de conglomerados polimícticos subangulosos cementados por una matriz areniscosa de grano fino de color rojo ladrillo, con

estratos delgados de lutitas gris a rojizas con clara estratificación laminar. Los fragmentos son de esquistos, cuarcitas, micaesquistos, y una pequeña proporción de calizas de aproximadamente 45 m de potencia. En la parte media, se observa una alternancia de areniscas rojo ladrillo en conglomerados polimícticos, en estratos medios a gruesos con estratificación cruzada a sesgada con niveles de areniscas finas, se estima 60 m de espesor; al tope conglomerado, areniscas de color rojo ladrillo a púrpura. Presenta pseudo estratificación sesgada, el conglomerado con clastos subangulosos a subredondeados, esquistos, cuarcitas, y calizas, con matriz arenosa rojiza, se considera un espesor de 40 m, se caracteriza por presentar suelos muy rojizos.

- **Grupo Ambo (Neocomiano superior – Aptiano)**

Constituidos en la base por un conglomerado basal que se reporta en discordancia angular sobre el Complejo Marañón o Paleozoico inferior. El conglomerado está constituido por elementos bien redondeados a sub angulosos de cuarcitas, areniscas, esquistos y micaesquistos, concentrado por una matriz de arenisca feldespática y micácea; el espesor varía de 0.50 a 150 m. seguida de areniscas gris marrón a verdes, con intercalaciones de lutitas gris oscuras a bituminosas, esporádicamente se presentan capas de carbón de 30 a 50 cm. En la parte media se tienen areniscas finas en estratos medios a gruesos, compactos de color gris bruno, que por

intemperismo se disgrega en “bolas” a manera de nódulos, se intercalan areniscas de grano medio con lutitas negras a gris verdosas bastante fracturadas. Hacia el tope se encuentran areniscas gris claras con lutitas gris oscuras a bituminosas con plantas.

- **Complejo Metamórfico Marañón (Neoproterozoico)**

Se observen principalmente en los cuadrángulos de Ambo y Cerro de Pasco. Sus afloramientos a manera de bloques son controlados por fallas regionales de dirección NO-SE, caracterizadas en las áreas de Paucar (occidental) y del río Huallaga (oriental) habiéndose diferenciado en ellas dos tipos de rocas metamórficas:

Gneis constituido por gneis bandeados, con cristales de cuarzo, feldespato y micas de textura bandeda, compactos; presentan morfología abrupta, conspicua y relieve accidentado; ocupando las partes altas. Esquistos se desarrollaron en ambos flancos de la Cordillera Oriental, (áreas de Paucar y río Huallaga). En el área de Paucar, San Pedro de Pillao, Tapuc y Tangor se observa una serie de esquistos que contienen cuarzo-moscovita, de textura granoblástica, siendo las micas entre 50 y 70%, y el cuarzo 20-30%. Los accesorios se presentan como cloritas, feldespatos, anfíboles subhedrales - anhedrales, que ocurren a modo de granoblastos, en agregados densos, disseminados e intersticiales. Se observa numerosas fases de plegamiento,

con abundante venilla y lentes de cuarzo probablemente productos de la segregación del metamorfismo regional de bajo grado. Esta área está limitada por afloramientos del Grupo Ambo hacia el Este y Mitú hacia el Sur. El bloque tiene continuación hacia el cuadrángulo de Yanahuanca, el color es gris azulado con abundantes vetas de cuarzo lenticular que destaca por su coloración y menor resistencia, los que tentativamente se considera como formados a partir de una secuencia filítica. Hacia el tope, próximo al contacto con el Grupo Mitú entre Chacayán y Tapuc (Ambo) se observa niveles delgados de filitas y pizarras esquistosas de color gris marrón a gris oscuro, con esquistos algo sericíticos y lentes de cuarzo.

4.1.6.2. Rocas intrusivas

- **Batolito de Huánuco**

Al Oeste y Noroeste de Ambo afloran rocas plutónicas de composición diorítica a tonalítica y granodiorítica que intruyen a los esquistos del Complejo del Marañón, y a la vez a sedimentos de los grupos Ambo y Pucará; las rocas básicas son de color gris, holocristalino, inequigranular. Se ubican en ambos bloques de la falla regional (Ulcumayo - Chaulán) en los alrededores de Rondoni, en una muestra tomada en el caserío de Shauyounintu próximo a Caina (Ambo). Se observa una textura granular relíctica con abundantes piroxenos y anfíboles en 65%, plagioclasas 20%, cuarzo

menor de 5%, clorita - epidota 5%, los máficos están epidotizados, uralitizados y cloritizados y las plagioclasas se alteran a sericita.

Las rocas ácidas tonalita y granodiorita emplazadas próximas al empalme de los cuadrángulos Ambo - Huánuco; se caracteriza por su composición y textura hipidiomórfica granular con minerales de plagioclasas, cuarzo, biotita y hornblenda inequigranular. Por intemperismo, se disgrega formando suelos arenosos, intruyen a esquistos del Complejo Marañón y sedimentos del Paleozoico.

- **Macizo de San Rafael**

Es un cuerpo plutónico granítico que se ubica en la parte alta Oriental del cuadrángulo de Ambo, constituido principalmente por granito a monzogranito, gris claro a oscuro, de grano grueso, fenocristales de plagioclasa que pueden llegar de 1 a 2 cm. de bordes redondeados y algo fracturados, presencia de biotitas oscuras y anfíboles alargados, bastante epidotizados y cloritizados. En una muestra tomada en Tecte (Ambo), al microscopio es un granito de texturas gráfica residual a mirmequítica. Su mineralogía es variable en porcentaje, así el feldespato potásico está presente en 45 a 50 %, cuarzo 25 a 30 %, plagioclasa 10 a 15 % y micas (muscovita, biotita), sericita, limonita y opacos como accesorios; se nota fenos de feldespato potásico y cuarzos muy desarrollados 5 mm. a

1.5cm., con cierto bandeamiento.

- **Andesitas – Dacitas Paltagaicho**

Se ubica entre los empalmes de los cuadrángulos de Ambo y Cerro de Pasco de aproximadamente 2 km, en sección delgada presenta textura porfírica; la plagioclasa se presenta como fenocristales y en matriz en 80%, hornblenda 8%, biotita 8%, clorita, sericita, opacos, epidota, calcita, muscovita en 4%, se observa trazas de zircón; algunos anfíboles (hornblenda) se presenta como fenocristales.

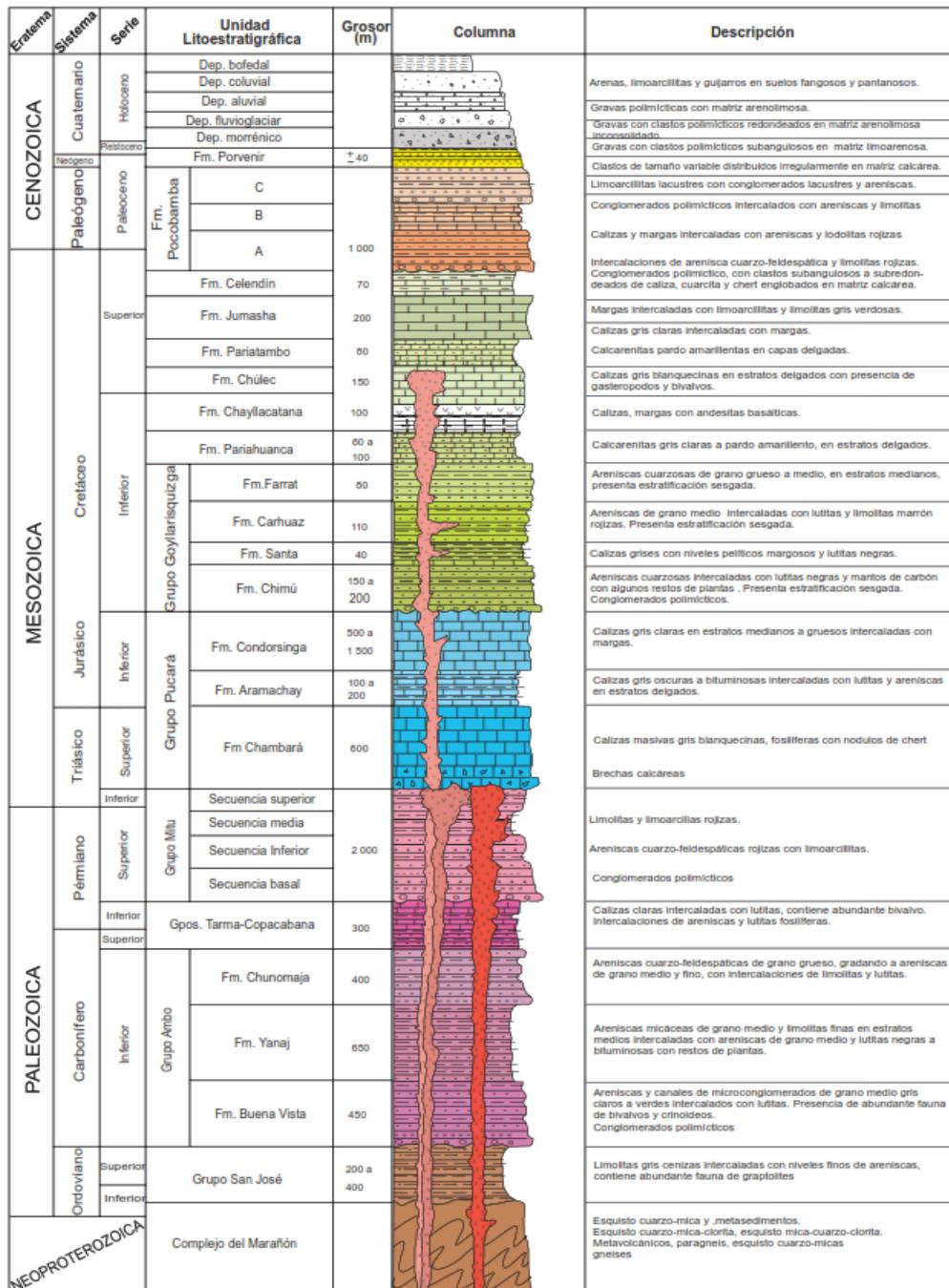
4.1.6.3. Depósitos Cuaternarios

- **Coluviales.**

Los depósitos Coluviales se encuentran al pie de las escarpas, laderas prominentes como material de escombros constituidos por bloques de gravas, guijarros con clastos subangulosos a angulosos y matriz arenolimososa que no han sufrido transporte y se producen por la acción degradante de los fenómenos de geodinámica externa sobre la superficie de la roca y se acumulan por efectos principalmente gravitatorios.

Figura N° 8:

Columna Estratigráfica del Cuadrángulo de Ambo (21-k)



Nota. La figura describe la ubicación vertical de las unidades de roca en el cuadrángulo de ambo (21-k) Columna Estratigráfica del Cuadrángulo de Ambo (21-k. esta herramienta es fundamental para comprender la historia geológica de una región. fuente Ingemmet.

4.1.6.4. Tectónica y evolución Orogénica

La evolución Orogénica en Perú está relacionada con la subducción de las placas de Nazca y sudamericana, generando una serie de procesos geológicos que han dado lugar a la formación de la Cordillera de los Andes, donde involucra también a la región Pasco.

El proyecto de investigación se sitúa en la parte central entre las Cordilleras occidental y central, a partir de rocas Mesozoicas superpuestas a rocas Neoproterozoicas y Paleozoicas, además ha sido sometida a efectos compresivos antes de la mineralización y a efectos extensivos durante la mineralización.

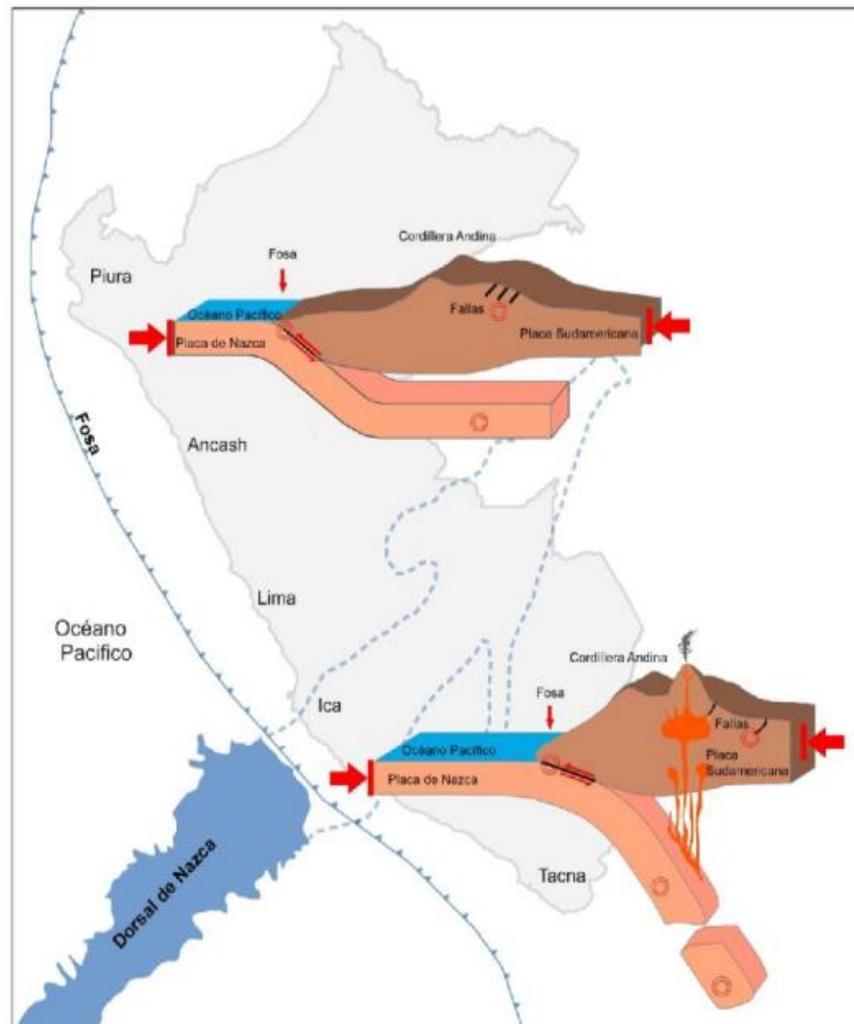
El contexto tectónico que controló la distribución espacial y temporal de los depósitos tipo de pórfido Cu y epitermales de Au a lo largo de los Andes, son 1) Los actuales lineamientos estructurales, estos pudieron ser fallas activas en el pasado que alinearon centros volcánicos, y permitieron el controlaron el paso de los fluidos mineralizantes; 2) Los sistemas de fallamientos transtensivos y transpresivos de alto ángulo con dirección preferencial N-S, E-O y NNE dextrales y normales, exceptuando algunos yacimientos sinestrales normales y de bajo ángulo, se desarrollan en los yacimientos epitermales y pórfidos de cobre. 3) La edad del emplazamiento del magmatismo fértil Paleógeno Superior-Neógeno, el cual genera un ambiente geológico favorable, en volcánicos, intrusivos, basamento sedimentario cretácico y los pulsos subsecuentes en la conformación de los

Batolitos como el de Abancay, y al borde centros volcánicos dómiales donde principalmente se han desarrollado este tipo transición de yacimientos hidrotermales (Luis Quispe Rentería, Alonso Marchena Campos, Jorge Acosta Ale, 2022,120).

La mineralización acontece precisamente en el emplazamiento de los intrusivos de tipo stocks, dique y sills que mineralizaron a la secuencia de lutitas intercaladas con areniscas. Los fluidos aprovecharon las zonas dilatadas formando estructuras mineralizadas tipo mantos y como efecto del relajamiento y la apertura de la zona dilata se emplazó la mineralización tipo pórfido.

Figura N° 9:

Esquema que muestra los dos tipos de subducción en el Perú



Nota. La figura se distinguen dos tipos de subducción en el Perú, en las regiones norte y centro, se presenta una subducción subhorizontal, mientras que en la del sur se observa una subducción normal. Fuente: IGP Hernando Tavera.

4.1.6.5. Metalogenia en la región

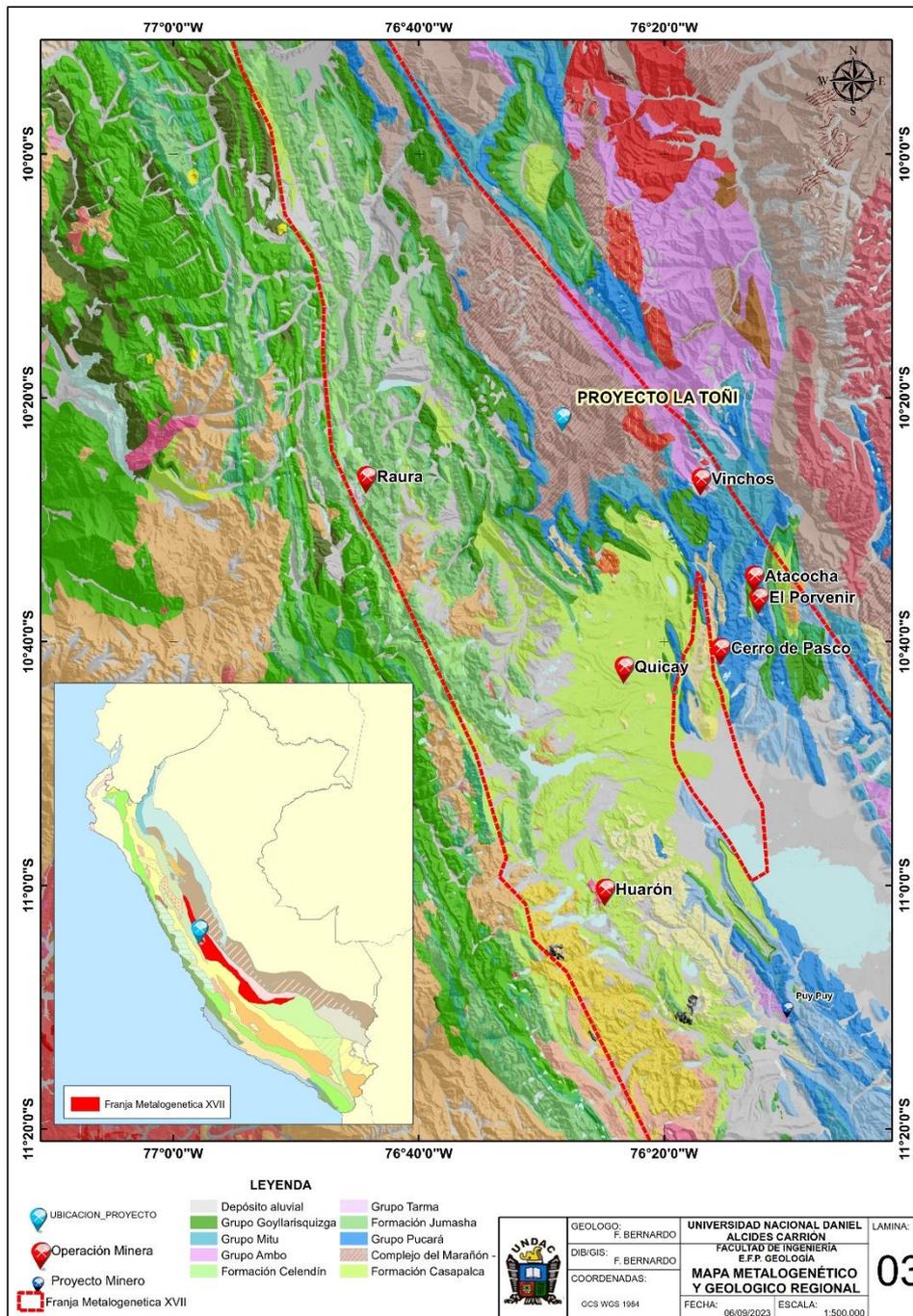
- **XVII. Franja epitermales de Au-Ag del Eoceno y depósitos polimetálicos de Eoceno-Oligoceno-Mioceno.**

Una franja con un nivel alto de complejidad, en consecuencia, a la diversidad de depósitos metálicos como

Pórfidos de Cu-Mo, Skarns Pb-Zn-Cu, Epitermales Au-Ag y polimetálicos Pb-Zn (Ag) en estrecha relación de intrusiones. Esta franja se ubica en la Cordillera Occidental del Perú central (ver figura. 10), los depósitos fueron relacionados con tres eventos magmáticos, registrados en los periodos 39-33Ma (Eoceno), 31-25 Ma (Oligoceno) y 20-10 Ma (Mioceno), cuya distribución espacial y temporal está controlada por reactivaciones de las fallas NO-SE y N-S de los sistemas La Oroya-Huancavelica y Cerro de Pasco-Ayacucho. El depósito más antiguo conocido hasta la fecha es el epitermal de Quicay con una edad de mineralización en el rango de 37 y 25 Ma (Noble y McKee, 1999). Relacionado con la actividad magmática del Oligoceno, Manifestada entre dioritas y granodioritas, se tienen depósitos tipo pórfido de Cu-Mo, como Pariajirca y Skarns de Pb-Zn-Cu, en el contacto con secuencias carbonatadas del Triásico superior-Jurásico inferior del Grupo Pucará, como los depósitos de Pb-Zn-Cu, como Mechcan y otras. Según reportes de edades radiométricas K/Ar de Soler y Bonhome (1988), La época metalogenética para los depósitos de Pb-Zn-Cu se encontraría entre 29 y 26 Ma.

Figura N° 10:

Mapa Metalogénico y geológico 500k del área de estudio



Nota. Los mapas metalogénicos son zonas en la exploración minera para identificar y delimitar áreas con potencial de mineralización, mientras que los mapas geológicos representan detalles de la geología en determinada área, ambas herramientas son fundamentales para la exploración geológica. Fuente: Ingemmet

4.1.7. Geología Local

4.1.7.1. Rocas Sedimentarias - metamórficas

- **Areniscas**

Afloran muy localmente en el segmento sur este de la zona de estudio, en los alrededores del Cerro Huancamachay, ocurren como afloramientos irregulares relictos que probablemente puedan pertenecer al grupo Ambo, presentan una morfología no tan abrupta formando pequeños cerros y lomas, la zona presenta extensa cobertura cuaternaria que no muestra más afloramientos. Se identifican por su granulometría fina y por su coloración predominantemente beige, a gris y gris verdoso.

- **Cuarcitas**

Se presentan en el área de estudio muy puntualmente en la cumbre del cerro Huancamachay formando escarpas pronunciadas y abruptas, suprayace a Lutitas y Filitas, probablemente pertenezcan al grupo Ambo por comparación litológica. Son de coloración blanquecina de grano fino, de textura sacariode, matriz silícea, se presentan bastante silicificadas, no presenta clara estratificación.

- **Filitas – Lutitas - areniscas**

Afloran muy extensamente en toda el área de estudio, se presentan muy plegados y fallados, formando escarpas pronunciadas y abruptas. En partes podemos observarlos como costras que cubren a las rocas intrusivas, por su

litología podrían ser rocas del complejo Marañón, presentan secuencias de Lutitas de grano fino de coloración marrón oscuro a negro y gris verdosas, en capas de 3 a 20 centímetros de potencia con intercalaciones variables de Filitas negras y grises, en partes todavía relictos de pizarras esquistosas de coloración gris azulado, en contacto con las rocas intrusivas presentan en partes costras de sílice blanca producto de un intenso vetilleo de cuarzo, y una débil o casi nula alteración por metasomatismo, puntualmente en el centro de la zona de estudios en el cerro Chaupijirca presentan intercalación de secuencias de areniscas.

4.1.7.2. Rocas Intrusivas

- **Diorita I**

Afloran en la parte central de la zona de estudio y se encuentra puntualmente cubiertas por afloramientos discontinuos de filitas y lutitas del complejo metamórfico Marañón y cubierta en gran parte por depósitos cuaternarios recientes. Corresponde a una ventana litológico-estructural que configura el extremo sur segmentado del Batolito de Huánuco que se extiende en la parte céntrica y de sur a norte en la hoja de Ambo 21 K.

Constituyen un afloramiento rocoso macizo y compacto con fuerte fallamiento y fracturamiento en múltiples direcciones, con una morfología de afloramientos redondeados no tan abruptos, caracterizados por su coloración predominantemente melanocrata. Macroscópicamente es una roca equigranular de

textura afanítica de grano fino, de coloración gris verdosa compuesta predominantemente por cristales subhedrales a euhedrales de Plagioclasa Blanca de 60 a 70%, finos granos grises e irregulares de Cuarzo intersticial de 2 a 3%, con accesorios de Biotita y Hornblenda de 3 a 7% y Magnetita finamente diseminada de 1 a 3%, esencialmente alteradas de moderada a fuerte propilitización y cloritización de sus componentes ferromagnesianos. Gradan casi imperceptiblemente de Dioritas a Tonalitas diferenciadas simplemente por el aumento inusitado de Cuarzo para la Diorita, correspondiendo entonces a un proceso continuo de diferenciación magmática que acontece en el mismo intrusivo.

- **Diorita II**

Corresponde a un conjunto de afloramientos continuo ampliamente distribuido en el centro y norte de la zona de estudio, parcialmente cubiertas por afloramientos discontinuos de Filitas y Lutitas del complejo metamórfico Marañón y cubierta en gran parte por depósitos cuaternarios recientes. Es una roca de textura porfírica de grano medio, de coloración blanco-grisácea a verduzca con predominio de fenocristales y asociaciones cristalinas obliteradas y alteradas con cristales subhedrales a euhedrales de Plagioclasa 40-70 %, Biotita de 2 - 5 %, Hornblenda de 5 – 10 %, Cuarzo en cristales 2 a 3 % puntualmente, contenidos en una matriz

cristalina de grano fino de Plagioclasa con Clorita finamente diseminada de 1-3 % y Magnetita diseminada de 1-3 %. Presenta una fuerte cloritización de los ferromagnesianos, es una roca bastante cloritizada que se asemeja en composición a la Diorita I, pero con diferencias en alteración y textura.

- **Tonalita Porfirítica**

Corresponden a afloramientos muy puntuales que se presenta en el segmento este de la zona de estudio, cubierta en partes con una capa de alteración argílica de la misma roca, macroscópicamente corresponde a una roca de textura porfirítica de grano medio a grueso, de color gris con tonos marrones claro, bastante obliterada por alteración fílica, presenta fenocristales euhedrales a subhedrales de Plagioclasa de 30 a 50% en algunos casos alterados a sericita, Cuarzo de 2 a 7%, Biotita de 1 a 2%, y contenidos en una matriz afanítica de Plagioclasa y sílice.

- **Depósitos Coluviales y Glaciares**

Presentan picos y altos geomorfológicos con depósitos coluviales compuestos por bloques de rocas que ocupan las laderas y lechos de los valles glaciares y lomas que corresponden a depósitos de morrena glaciar y fluvio - glaciar; compuestos por bloques, guijarros y gravas subredondeadas englobadas en una matriz limo-arcillosa y limo-gravosa responsables de la presencia de lomos ondulantes y lagunas – bofedales que abundan en el área.

4.1.8. Geología Estructural

Existe un marcado control estructural dominado por un intenso plegamiento que caracteriza los afloramientos sedimentarios – metamórficos, además de un intenso fracturamiento - fallamiento producto de las diferentes fases tectónicas desde el proterozoico, teniendo en cuenta que tenemos rocas antiguas del complejo metamórfico Marañón y del grupo Ambo; los cuales se ajustan al trend dominante NW-SE y NE-SW. La actividad magmática tuvo lugar en varios pulsos y aparentemente controlada por fallas mayores andinas como las fallas Chaulán-Rondoni, Milpo-Atacocha, Longreras, Pariajirca y otras fallas adyacentes. Estos emplazamientos aprovecharon las zonas de debilidad de apertura tectónica.

Se ha efectuado un análisis estructural con la técnica McCoss en campo, con la finalidad de obtener un modelo estructural del control de mineralización con respecto al sistema regional de esfuerzo que presenta la zona de estudio.

El análisis fractal realizado en la zona de investigación ha revelado la presencia de dos etapas de fallamiento extensivo. Sin embargo, la evidencia de múltiples etapas de vulcanismo y la posterior relajación de las fallas de rumbo andino, sugieren la posibilidad de más etapas de fallamiento. Existen diversos indicios a escala distrital de reactivación tectónica, que afectan a cada etapa de fallamiento normal generada durante cada pulso tectónico, lo que complica la identificación de la edad relativa de las fallas y dificulta la interpretación estructural.

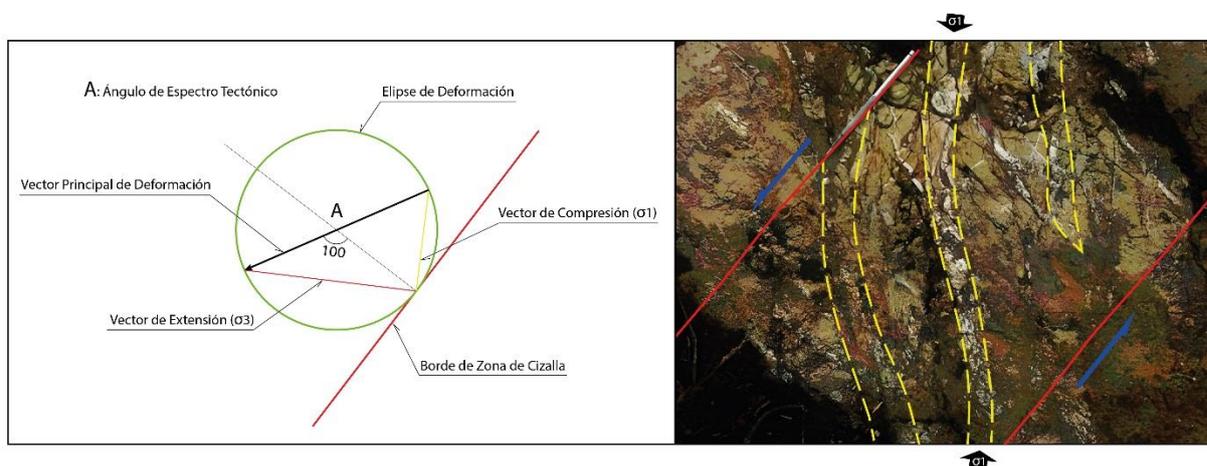
El análisis estructural se basa en el principio de escala invariante, propio de la geometría fractal. Los objetos fractales tienen la misma geometría a diferentes escalas, y un sistema de fractales (vetillas) tiene la útil característica de la autosimilitud, que permite inferir la existencia de estructuras mayores a partir de

estructuras de menor escala y viceversa. La regularidad persiste y es repetitiva. El análisis fractal ha dado como resultado el siguiente marco estructural.

Se tomó 20 datos fractales dando como resultado el Angulo $A=100$, con un ambiente tectónico extensivo, asimismo confirma la presencia de un gran volumen de pórfido en profundidad. Las estructuras mineralizadas de tipo manto se localizan en zonas dextrales, que forman zonas dilatadas cuando se inflexionan hacia la derecha, similares a las características observadas a lo largo de las vetillas. Según la extensión regional obtenida, las direcciones EW y NW son direcciones de apertura tectónica. Las estructuras mineralizadas de tipo manto y pórfido tienen principalmente una dirección NW andina, que es favorable para la aparición de grandes yacimientos.

Figura N° 11:

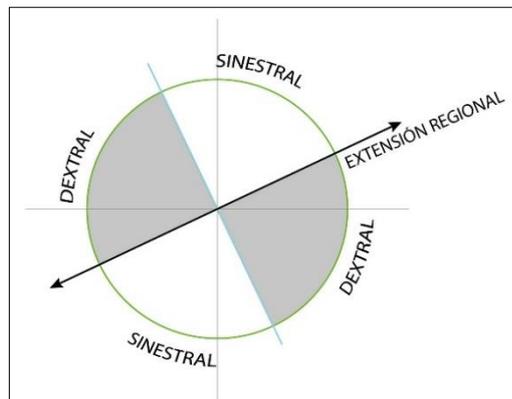
Análisis fractal



Nota. El resultado del Angulo espectro Tectónico $A=100$, indica una zona de esfuerzo extensivo.

Figura N° 12:

Modelo de esfuerzos.



Nota. Modelo regional de esfuerzos en el proyecto La Toñi, resultado de régimen extensivo

4.1.9. Alteración

La observación superficial de las diferentes unidades rocosas nos presenta un dominio de filitas - lutitas con una débil diseminación de Pirita y traza de Calcopirita muy puntualmente en las Lutitas, un intenso vetilleo de Cuarzo hialino y gris intruyendo a la Diorita I y Diorita II formando costras en el contacto con las Filitas – Lutitas, generando puntualmente fuerte silicificación provocado posiblemente por la roca intrusiva, localmente en el centro de la zona de estudios se presentan secuencias de areniscas mineralizadas con ocurrencias y diseminación de esfalerita, galena, argentita, calcopirita y pirita, puntualmente se puede observar zonas con exudación de sulfatos de hierro (melanterita).

La Diorita I presenta una moderada alteración clorítica con venillas de Clorita y cloritización de los minerales ferromagnesianos, moderada alteración propilítica con venillas de epidota y ensamble clásico de Epidota - Clorita – Pirita, con diseminación puntual y trazas de Calcopirita – bornita – Magnetita y

ocurrencias puntuales de Pirita, Calcopirita y Pirrotita. Puntualmente hospedan vetas y vetillas con orientaciones predominantes al NWW-SEE, constituidas por cuarzo de 1 a 20 cm. de potencia, el cuarzo se encuentra asociado a la pirita diseminada, trazas de calcopirita, además de mineralización puntual de Esfalerita, Galena y Galena Argentífera, en tramos se encuentran atacados con gran intensidad de oxidación con presencia de Limonita – Jarosita – Goethita y Hematita.

La Diorita II se encuentra fuertemente cloritizada, se evidencia una alteración fuertemente cloritizada de los minerales ferromagnesianos, una mineralización constituida por diseminación y venillas de Pirita con trazas de Calcopirita. También presenta una débil propilitización con algunas venillas y cristales de Epidota.

La Tonalita porfírica presenta alteración fílica con su ensamble característico de Cuarzo – Sericita, con una mineralización fuerte de diseminación de pirita con trazas de calcopirita - bornita, puntualmente venillas tipo D con halo sericítico, puntualmente hospeda vetas y vetillas de cuarzo de 1 a 20 cm con mineralización de Pirita – calcopirita – Argentita – Galena, e intensa oxidación con Jarosita – Limonita – Hematita – Goethita.

4.1.10. Geoquímica

Se han extraído 341 muestras representativas de afloramientos de roca en zonas de mayor incidencia de alteración y mineralización. Se extrajeron esquirlas de rocas menores de una pulgada en paneles, y en canales muestra cada metro. Se remitieron a los laboratorios CERTIMIN S.A. para ser analizados por 53 elementos

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Tratamientos de los datos ausentes

El total de variables a analizar son 53, de los cuales 1 no se consideraron por no presentar valores geoquímicos (Ta), reduciendo el número de variables a 52.

4.2.2. Evaluación del límite de detección

El análisis exploratorio de datos en el Proyecto La Toñi, continua con la eliminación de las variables que poseen baja respuesta analítica, aquellos que tienen más del 80% de los datos con valores inferiores al límite de detección (Tabla 03). El total de variables son 52 y el número de variables con más del 80% sin respuesta analítica, corresponden a 3 elementos químicos (B, Be, Hg), que serán eliminados de los subsiguientes análisis estadísticos.

Tabla N° 3:

Tabla de respuesta analítica de los límites de detección de cada elemento.

VARIABLE	UND	LMD	CONTEO	% MUESTRAS <LMD	VARIABLE	UND	LMD	CONTEO	% MUESTRAS <LMD
Au	ppm	<0.005	130	38.1%	Mo	ppm	<0.05	0	0.0%
Ag	ppm	<0.1	7	2.1%	Na	%	<0.01	111	32.6%
Al	%	<0.01	0	0.0%	Nb	ppm	<0.2	230	67.4%
As	ppm	<0.1	0	0.0%	Ni	ppm	<0.1	0	0.0%
B	ppm	<10	332	97.4%	P	%	<0.01	27	7.9%
Ba	ppm	<1	3	0.9%	Pb	ppm	<0.5	0	0.0%
Be	ppm	<0.5	285	83.6%	Re	ppm	<0.001	66	19.4%
Bi	ppm	<0.01	0	0.0%	Rb	ppm	<0.1	43	12.6%
Ca	%	<0.01	44	12.9%	S	%	<0.01	5	1.5%
Cd	ppm	<0.05	9	2.6%	Sb	ppm	<0.05	0	0.0%
Ce	ppm	<0.1	40	11.7%	Sc	ppm	<0.5	10	2.9%
Co	ppm	<0.15	0	0.0%	Se	ppm	<0.2	40	11.7%
Cr	ppm	<1	0	0.0%	Sn	ppm	<0.3	4	1.2%
Cu	ppm	<0.5	0	0.0%	Sr	ppm	<0.5	9	2.6%
Cs	ppm	<0.08	41	12.0%	Tb	ppm	<0.1	73	21.4%
Fe	%	<0.01	0	0.0%	Te	ppm	<0.01	65	19.1%
Ga	ppm	<0.09	0	0.0%	Th	ppm	<0.05	67	19.6%
Hg	ppm	<1	294	86.2%	Ti	%	<0.01	71	20.8%
Ge	ppm	<0.1	40	11.7%	Tl	ppm	<0.05	45	13.2%
Hf	ppm	<0.08	148	43.4%	U	ppm	<0.05	227	66.6%
In	ppm	<0.1	198	58.1%	V	ppm	<2	6	1.8%
K	%	<0.01	16	4.7%	W	ppm	<0.1	0	0.0%
La	ppm	<0.1	0	0.0%	Y	ppm	<0.1	0	0.0%
Li	ppm	<0.1	40	11.7%	Yb	ppm	<0.1	45	13.2%
Mg	%	<0.01	6	1.8%	Zn	ppm	<0.5	0	0.0%
Mn	ppm	<2	0	0.0%	Zr	ppm	<0.5	45	13.2%

Nota. Porcentaje de respuesta analítica. En rojo las variables eliminadas del estudio debido al alto porcentaje de límites de detección en la población de cada elemento.

4.2.3. Identificación y tratamiento de muestras outliers

La detección de datos outliers o valores anómalos y el comportamiento inusual de algunos datos, es una tarea fundamental del análisis estadístico de datos geoquímicos.

Se usarán dos criterios para la búsqueda de los outliers:

- Se establecerán valores máximos permitidos mediante el uso de Gráficos Estadísticos para cada variable (Se usará la Prueba de Grubbs para valores atípicos, gráficos de probabilidades y gráficos de dispersión).
- Utilizando las estadísticas básicas se evaluarán los valores máximos de

cada variable en relación con el parámetro de la media \bar{X} más 3.5 desviaciones estándares

Los valores que superen uno o ambos parámetros se revisaran en la base de datos para identificar si existen muestras en donde los valores outliers se repitan y, si constituyen una población de datos.

El tratamiento que se dará a las muestras que posean valores outliers aislados y que no constituyan una población de datos es el del “Cortes Estadísticos”, reemplazando el valor de alto errático por este valor calculado.

Para orientar la exploración de la concentración de cobre en este depósito, se utilizarán las asociaciones de calcófilos, que son elementos con afinidad para formar menas de cobre, y los elementos "pathfinder", estos últimos son elementos exploratorios que, aunque quizás no sean económicamente tan relevantes, gracias a sus características de movilidad, análisis y límites de detección bajos, nos permiten guiar la exploración de la concentración de cobre en un análisis geoquímico. Por estas razones, se analizarán solamente las variables de Au, Ag, As, Bi, Cu, Fe, In, K, Mo, Pb, Re, S, Sb, Sn y Zn para este tipo de depósito.

Tabla N° 4:

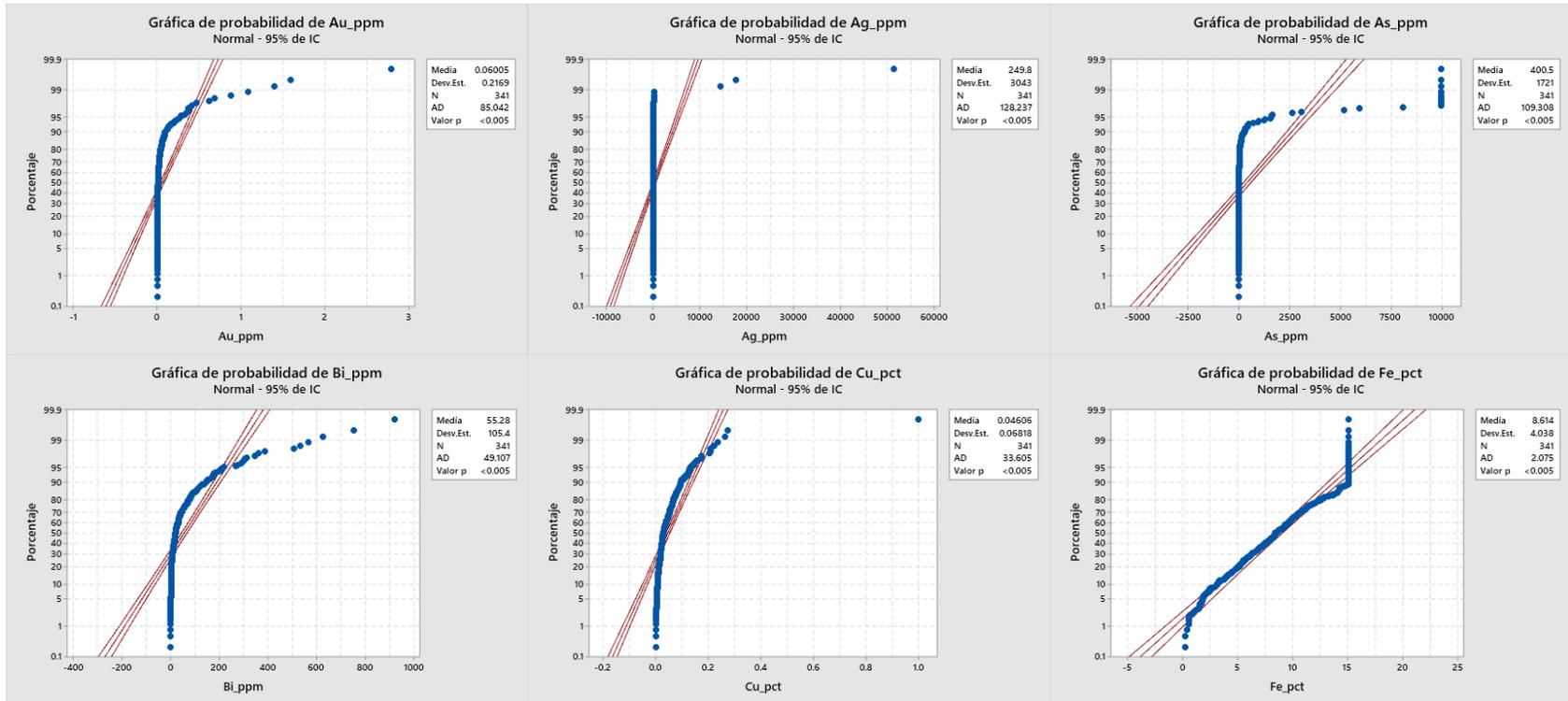
Tabla de elementos que pertenecen a las asociaciones calcófilos y pathfinder

PÓRFIDOS DE COBRE	ELEMENTOS QUÍMICOS																
Asociaciones calcófilas	Zn	Pb	Fe	Re	Ag	Au	Hg	Cd	In	Se	Te	As	Sb	Bi	Ni	Co	Mo
Pathfinder	Mo	Au	Ag	Re	As	Pb	Zn	K	S								

Nota. Asociaciones calcófilas vs elementos “Pathfinder” para la exploración geoquímica de pórfidos de cobre en proyecto La toñi.

Figura N° 13:

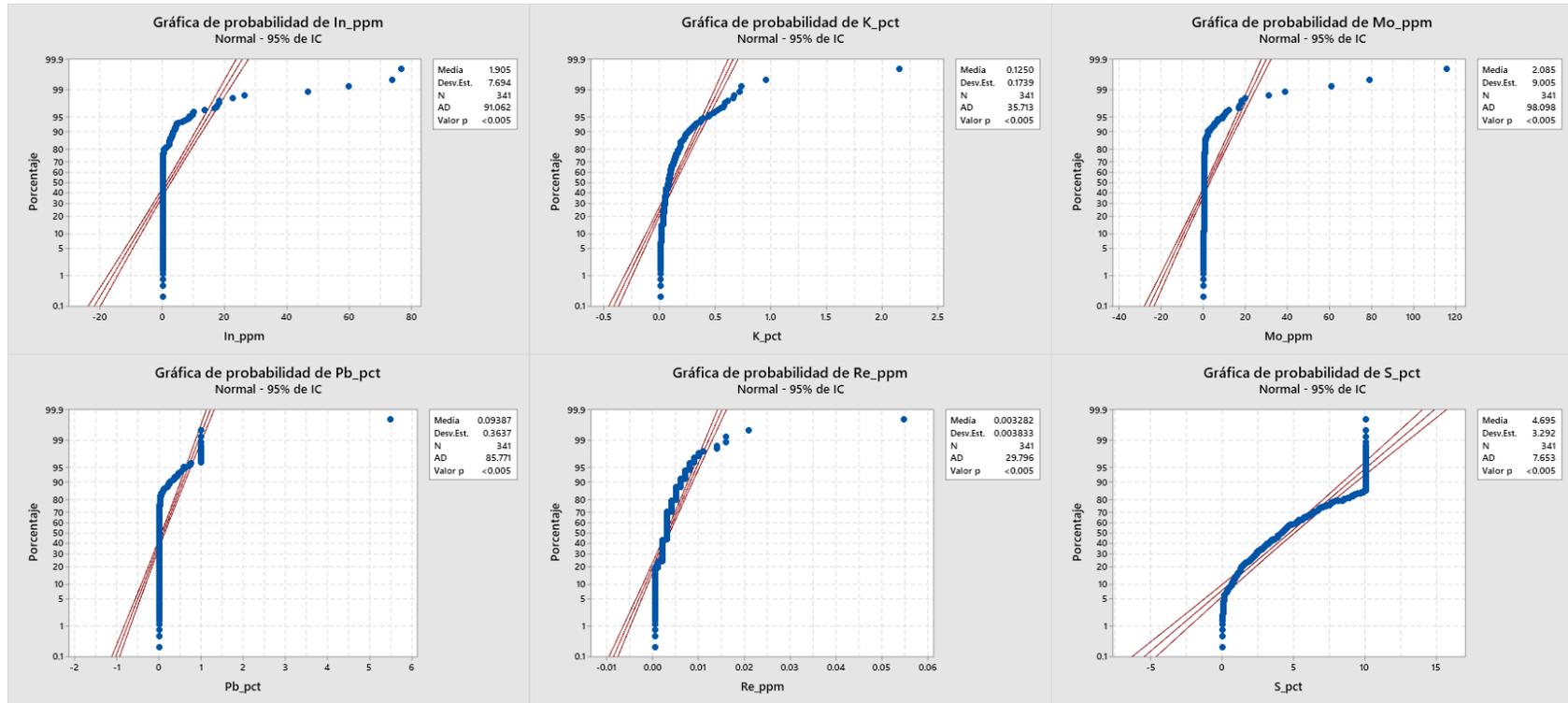
Gráfica de probabilidad de las variables de Au, Ag, As, Bi, Cu y Fe para una distribución normal



Nota. La figura muestra la distribución normal de las variables Au, Ag, As, Bi, Cu y Fe. Esto demuestra que Cu y Fe se ajustan a la línea de normalidad. Mientras que las curvas de Au, Ag, As y Bi no se acercan a la línea normal.

Figura N° 14:

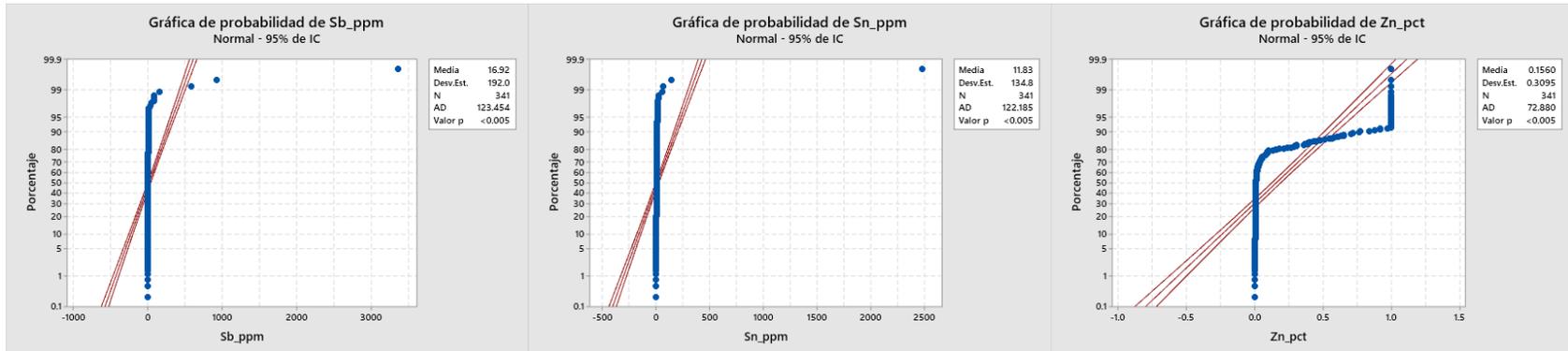
Gráficos de Probabilidad de las variables de In, K, Mo, Pb, Re y S para una distribución normal



Nota. La figura muestra la distribución normal de las variables In, K, Mo, Pb, Re y S. Esto demuestra que K, Re, y S se ajustan a la línea de normalidad. Mientras que las curvas de In, Mo y Pb no se acercan a la línea normal.

Figura N° 15:

Gráficos de Probabilidad de las variables de Sb, Sn y Zn para una distribución normal

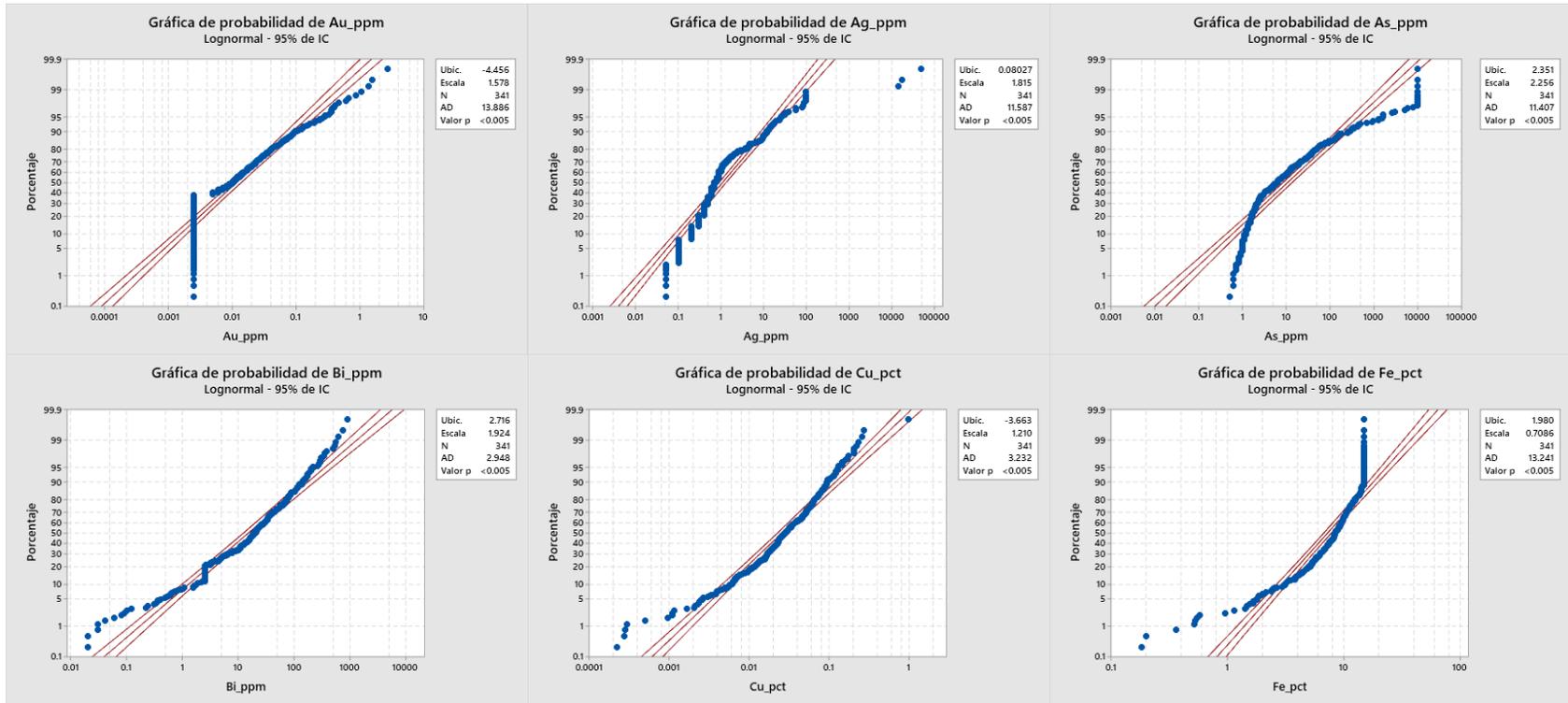


Nota: La figura muestra la distribución normal de las variables *Sb*, *Sn* y *Zn*. Esto demuestra que no se acercan a la línea normal.

En estadística de datos, es común encontrarse con variables que no siguen una distribución normal, lo que puede complicar el análisis y la interpretación de los datos. Una forma de resolver este problema es aplicar una transformación a los datos utilizando el logaritmo natural. Los valores de una variable se comprimen mediante esta transformación, lo que reduce la asimetría en la distribución de datos y conduce a una distribución más cercana a la normalidad. Al aplicar esta transformación a las variables Au, Ag, As, Bi, Cu, Fe, In, K, Mo, Pb, Re, S, Sb, Sn y Zn, encontraremos una mejora en la normalidad de la distribución de datos, lo que facilita el análisis estadístico y la interpretación de los resultados.

Figura N° 16:

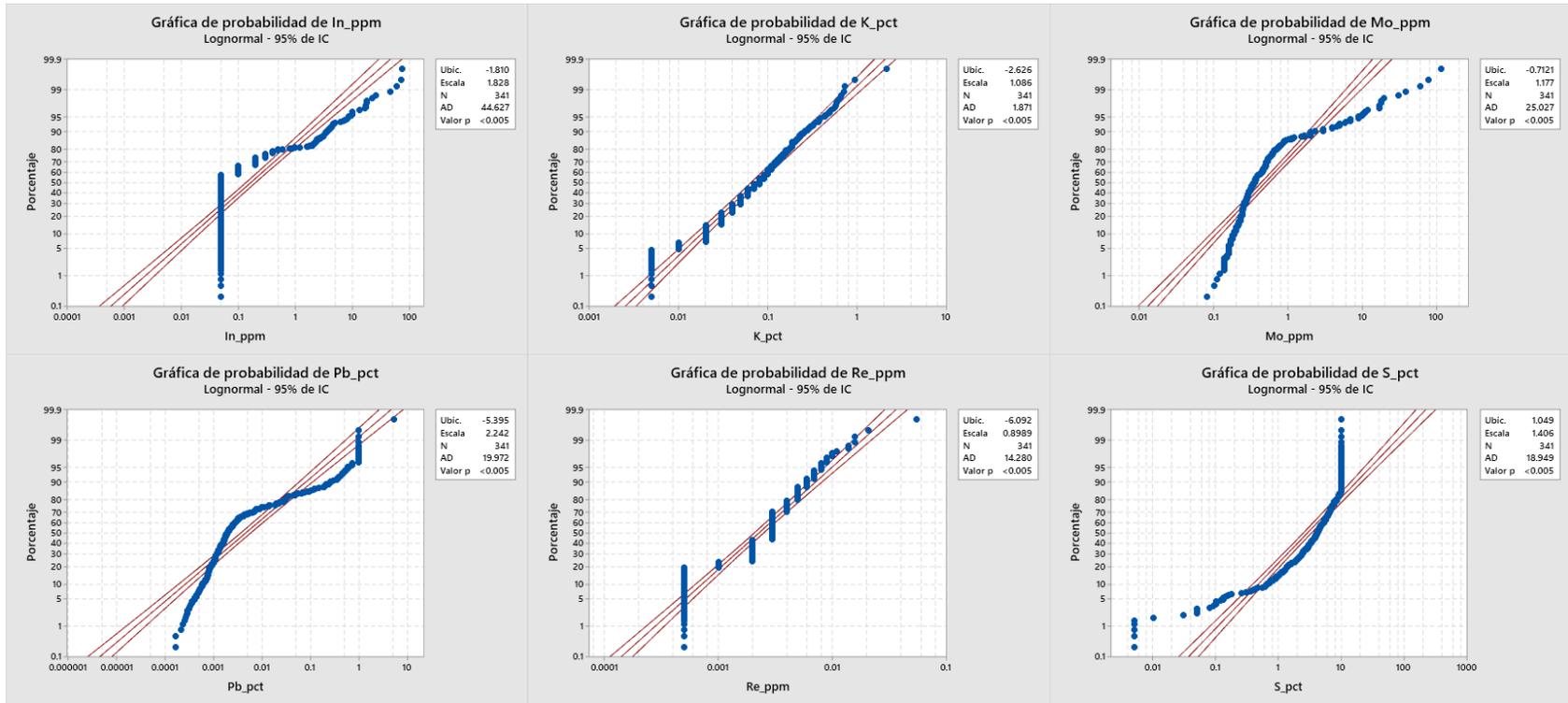
Gráficos de Probabilidad, de las variables de Au, Ag, As, Bi, Cu y Fe para una distribución Lognormal



Nota. La figura muestra los gráficos de Probabilidad de las variables de Au, Ag, As, Bi, Cu y Fe se ajustan a la línea de normalidad.

Figura N° 17:

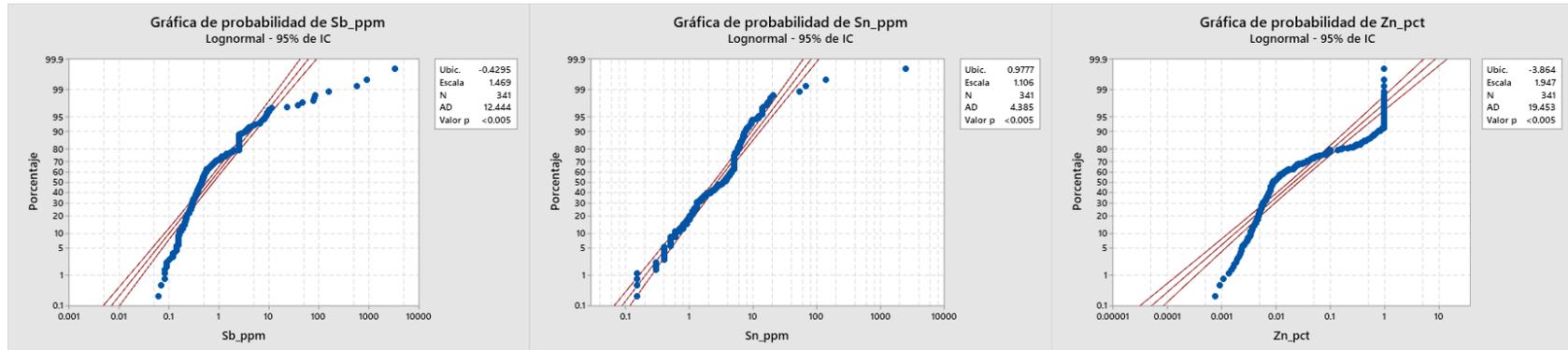
Gráficos de Probabilidad, de las variables de In, K, Mo, Pb, Re y S para una distribución Lognormal.



Nota. La figura muestra los gráficos de Probabilidad, de las variables de In, K, Mo, Pb, Re y S se ajustan a la línea de normalidad.

Figura N° 18:

Gráficos de Probabilidad, de las variables de Sb, Sn y Zn para una distribución Lognormal.

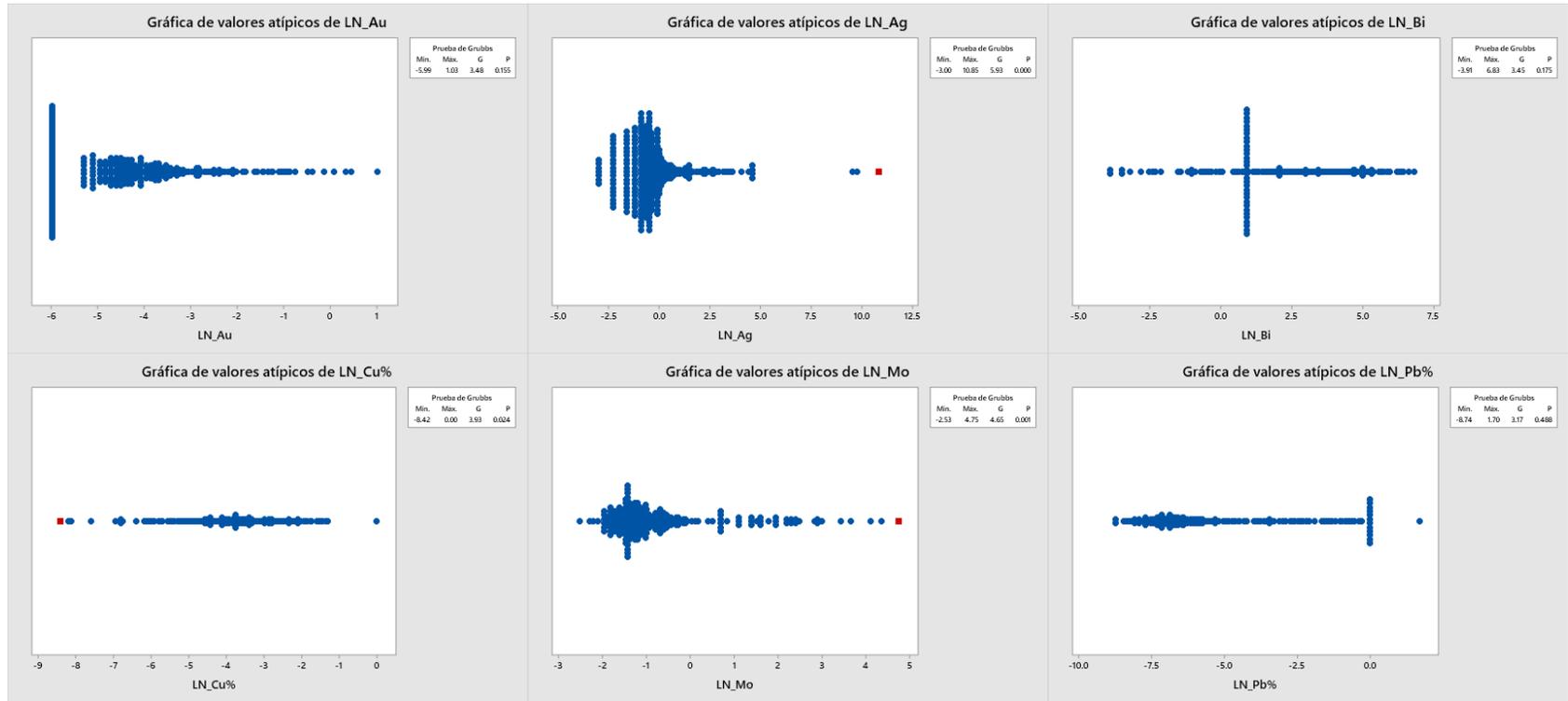


Nota: La figura muestra los gráficos de Probabilidad, de las variables de Sb, Sn y Zn se ajustan a la línea de normalidad.

De acuerdo con los gráficos QQ plot se observa que las variables: Au, Ag, As, Bi, Cu, Fe, In, K, Mo, Pb, Re, S, Sb, Sn y Zn presentan una curva muy cercana a la línea de normalidad cuando se encuentran en una distribución log normal; por lo tanto, estos elementos presentan una distribución log normal. Los outliers o valores anómalos se identificarán teniendo en cuenta dos principios: Primero, un valor outlier o anómalo debe ser un dato puntual, por lo tanto, no debe significar una población de datos. Segundo, se realizará la detección de muestras con valores anómalos de modo multivariante, pese a que esto implique conservar valores puntuales anómalos en la base de datos Para la búsqueda de estos valores anómalos se usará la Prueba de Grubbs en los valores de estas variables en transformación logarítmica.

Figura N° 19:

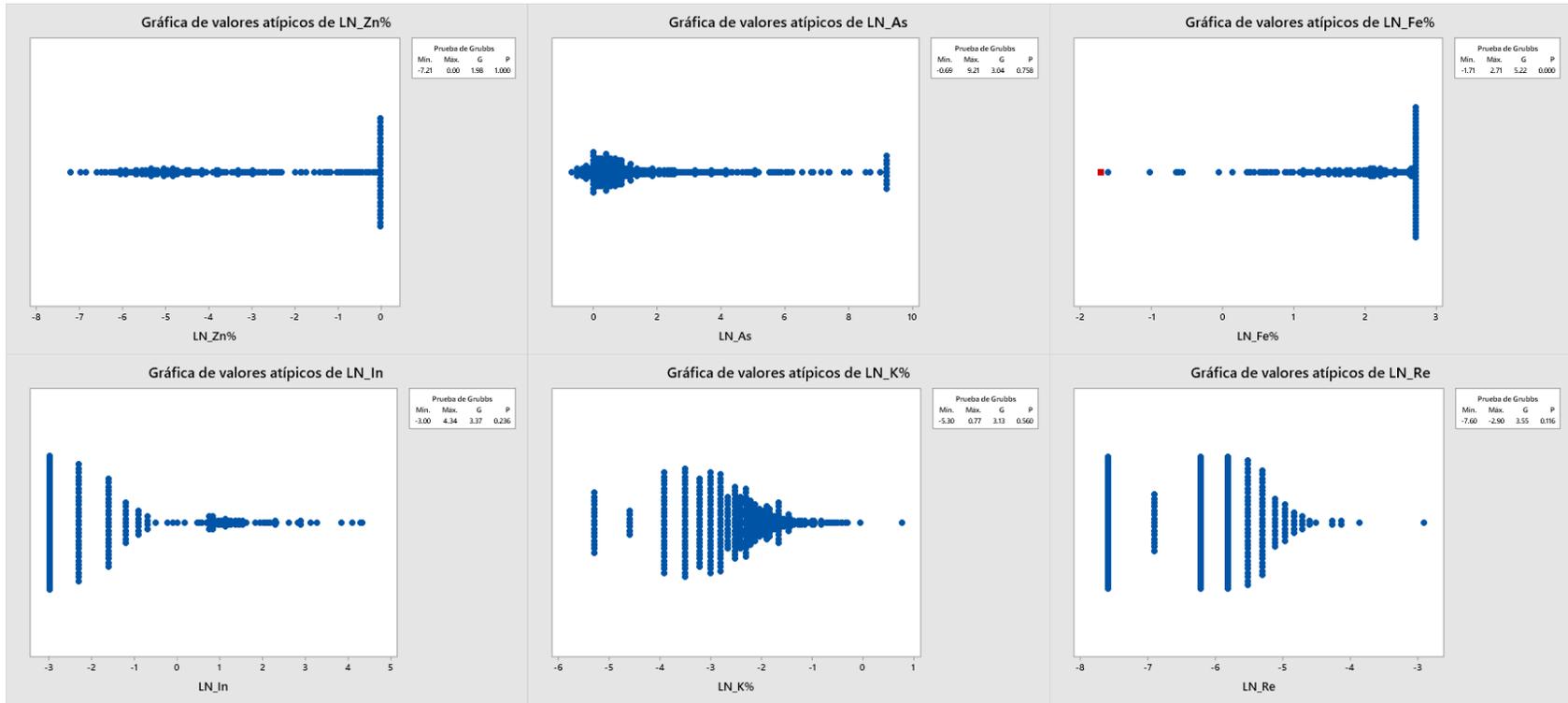
Prueba de valores atípicos para: Au, Ag, Bi, Cu, Mo, y Pb valores con transformación logarítmica.



Nota: Prueba de valores atípicos identifica visualmente un valor atípico en los datos. Si existe un valor atípico, el software Minitab lo representa en la gráfica como un cuadro rojo.

Figura N° 20:

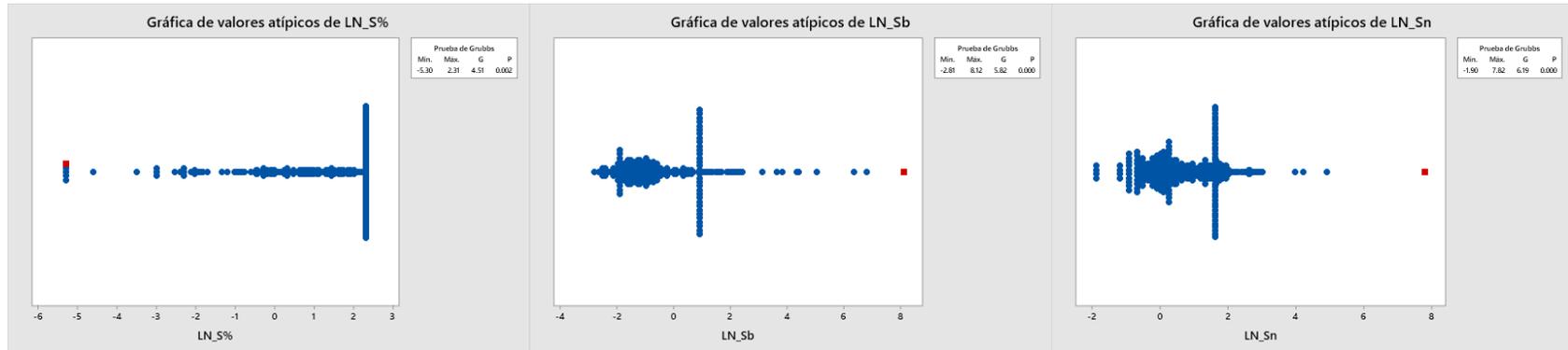
Prueba de valores atípicos para: Zn, As, Fe, In, K y Re valores con transformación logarítmica.



Nota: Prueba de valores atípicos identifica visualmente un valor atípico en los datos. Si existe un valor atípico, el software Minitab lo representa en la gráfica como un cuadro rojo.

Figura N° 21:

Prueba de valores atípicos para: S, Sb y Sn con valores con transformación logarítmica.

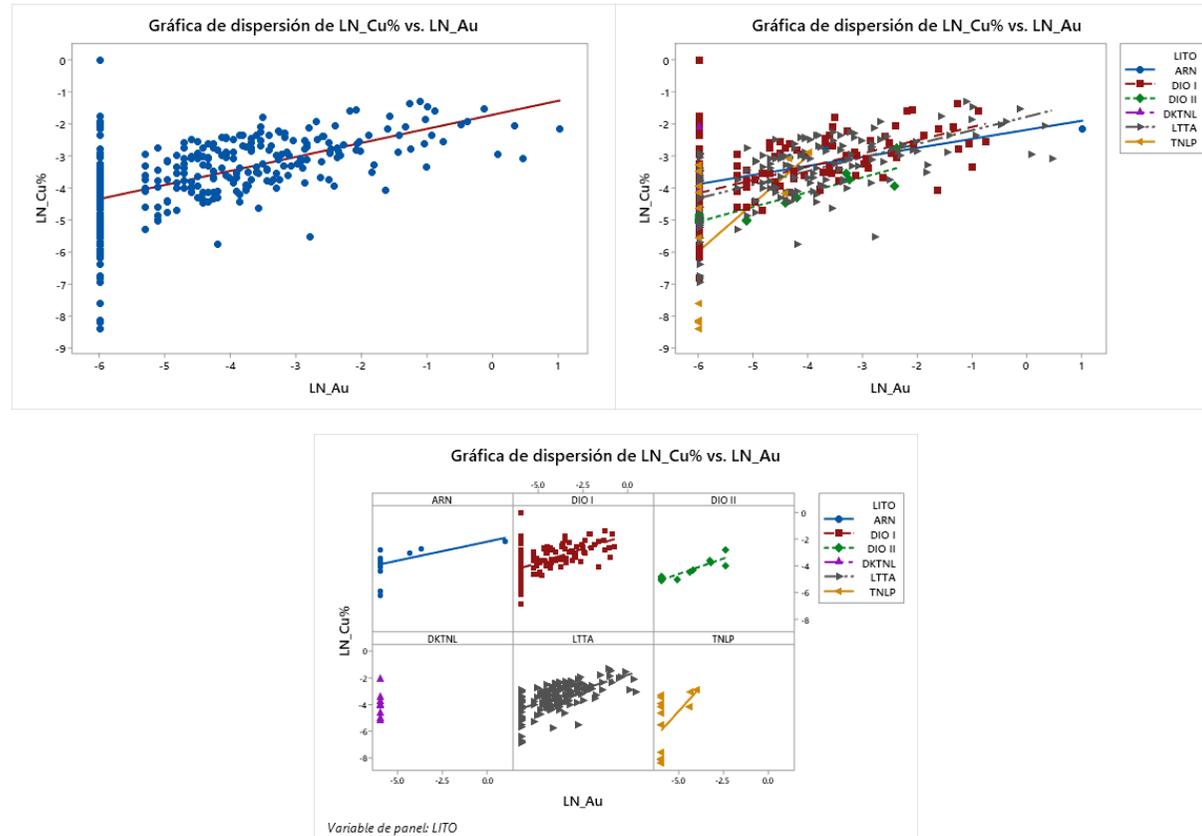


Nota. Prueba de valores atípicos identifica visualmente un valor atípico en los datos. Si existe un valor atípico, el software Minitab lo representa en la gráfica como un cuadro rojo.

En geoquímica, los diagramas de dispersión son una herramienta visual poderosa para analizar las relaciones entre varios elementos en un depósito mineral. Por otro lado, el análisis multivariable permite analizar simultáneamente múltiples variables geoquímicas, utilizando el método de Clúster analysis que permite resumir información de variables en grupos. Ambos análisis muestran la concentración de dos o más elementos en una muestra y muestran patrones, tendencias o correlaciones entre sí, esta información es útil para identificar asociaciones geoquímicas significativas. Se aplicaron diagramas de dispersión y análisis multivariable para explorar y comprender la variabilidad, tendencia o correlaciones geoquímica en el depósito cuprífero de La toñi.

Figura N° 22:

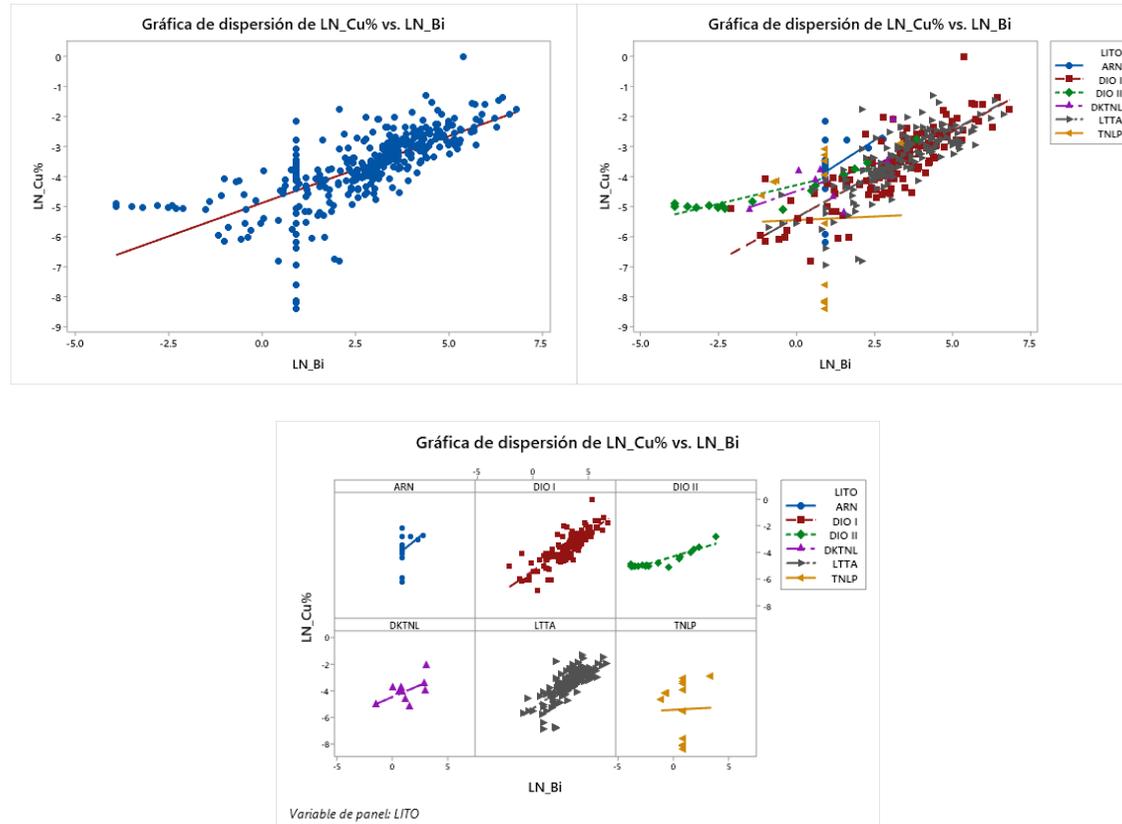
Diagrama de dispersión y análisis multivariable para el Au vs Cu.



Nota. La figura muestra una correlación positiva entre las variables Au y Cu así también una zona de mayor concentración en las rocas diorita I y lutitas.

Figura N° 23:

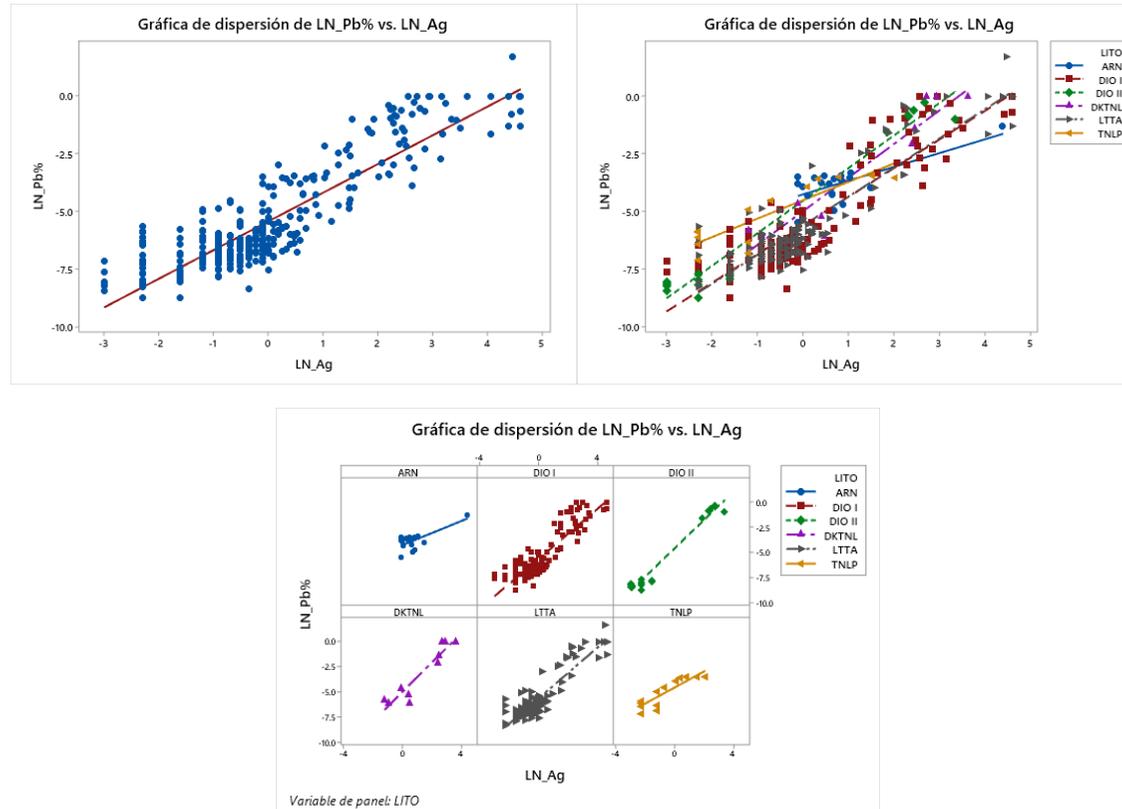
Diagrama de dispersión y análisis multivariable para el Cu vs Bi.



Nota. La figura muestra una correlación positiva entre las variables Cu y Bi así también una zona de mayor concentración en las rocas diorita I y lutitas.

Figura N° 24:

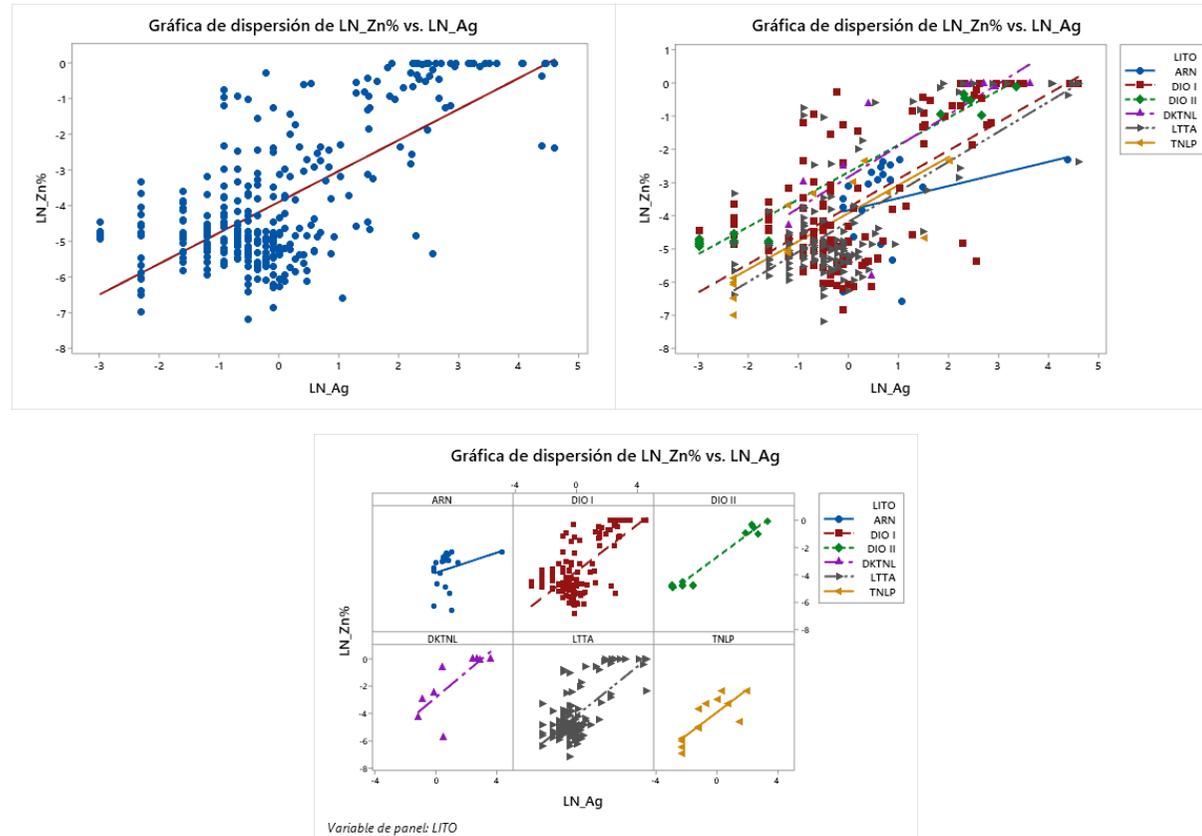
Diagrama de dispersión y análisis multivariable para el Pb vs Ag.



Nota. La figura muestra una correlación positiva entre las variables Pb y Ag así también una zona de mayor concentración en las rocas diorita I y lutitas.

Figura N° 25:

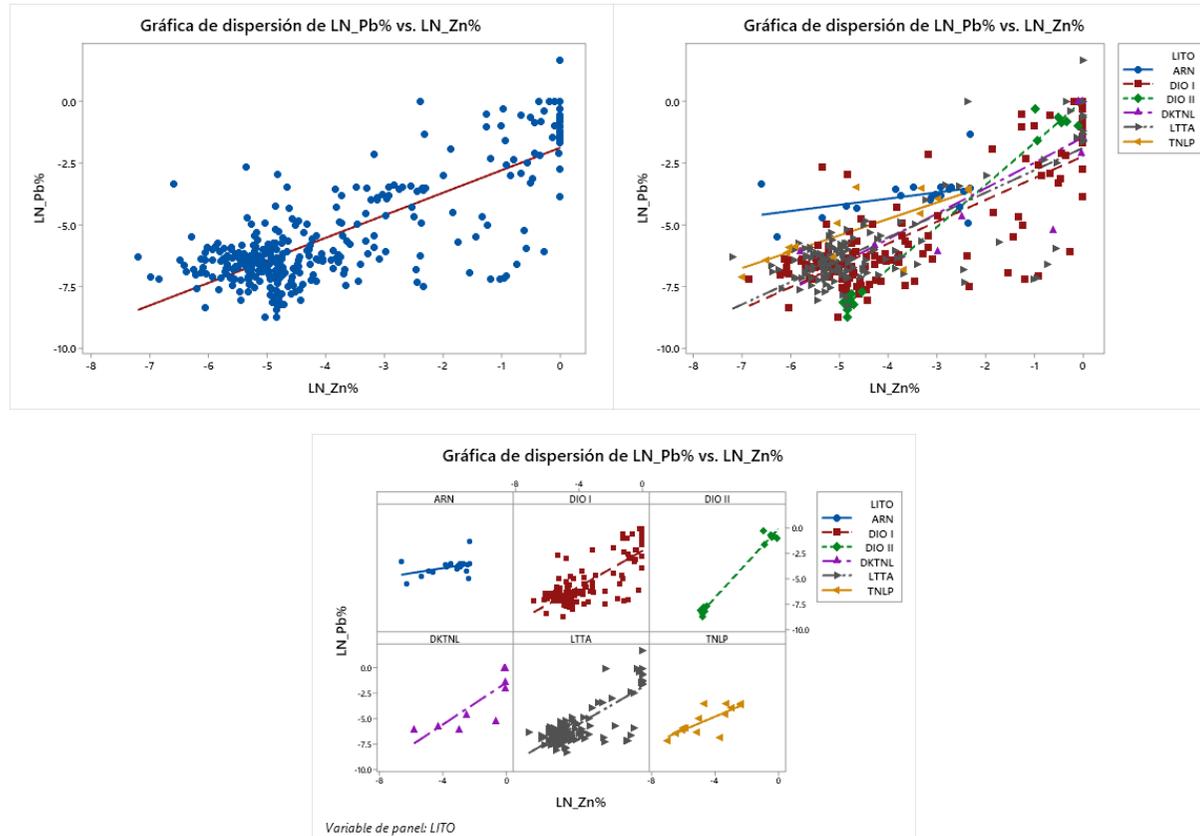
Diagrama de dispersión y análisis multivariable para la Ag vs Pb.



Nota. La figura muestra una correlación positiva entre las variables Zn y Ag así también una zona de mayor concentración en las rocas diorita I y lutitas.

Figura N° 26:

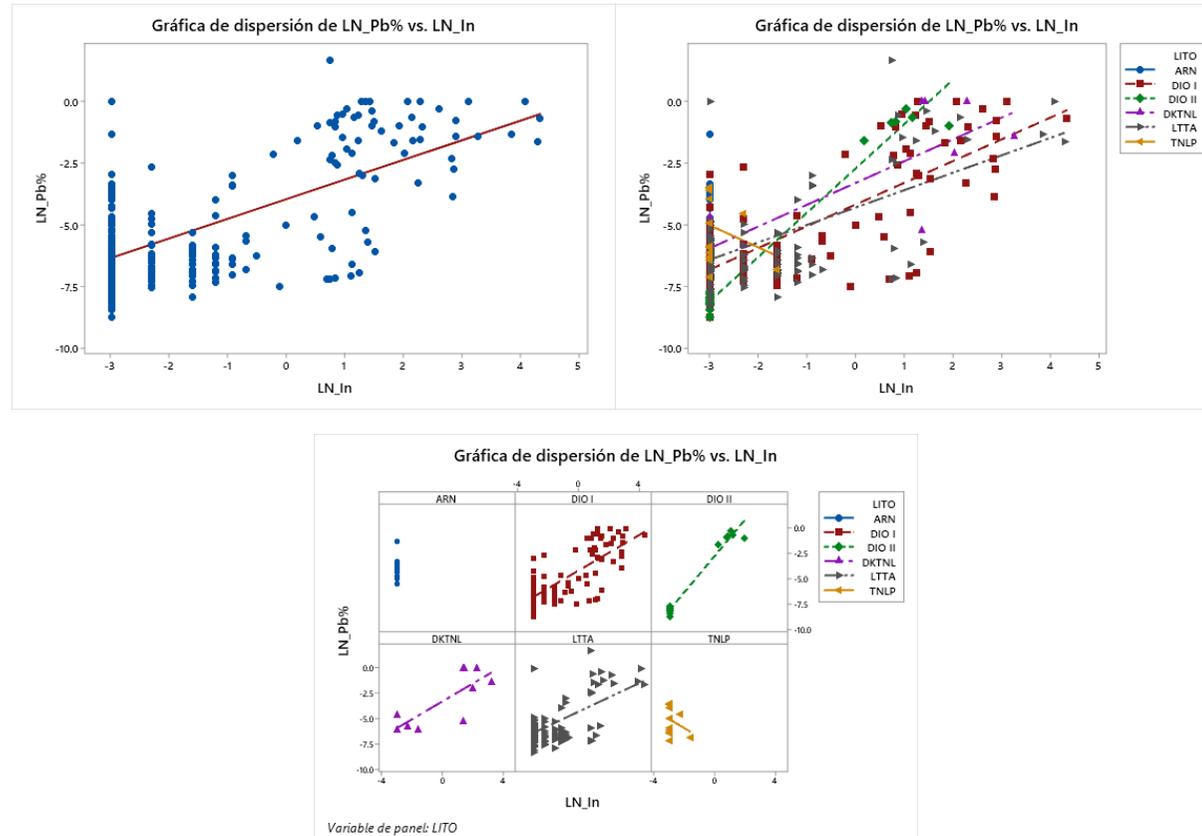
Diagrama de dispersión y análisis multivariable para el Pb vs Zn.



Nota. La figura muestra una correlación positiva entre las variables Pb y Zn así también una zona de mayor concentración en las rocas diorita I y lutitas.

Figura N° 27:

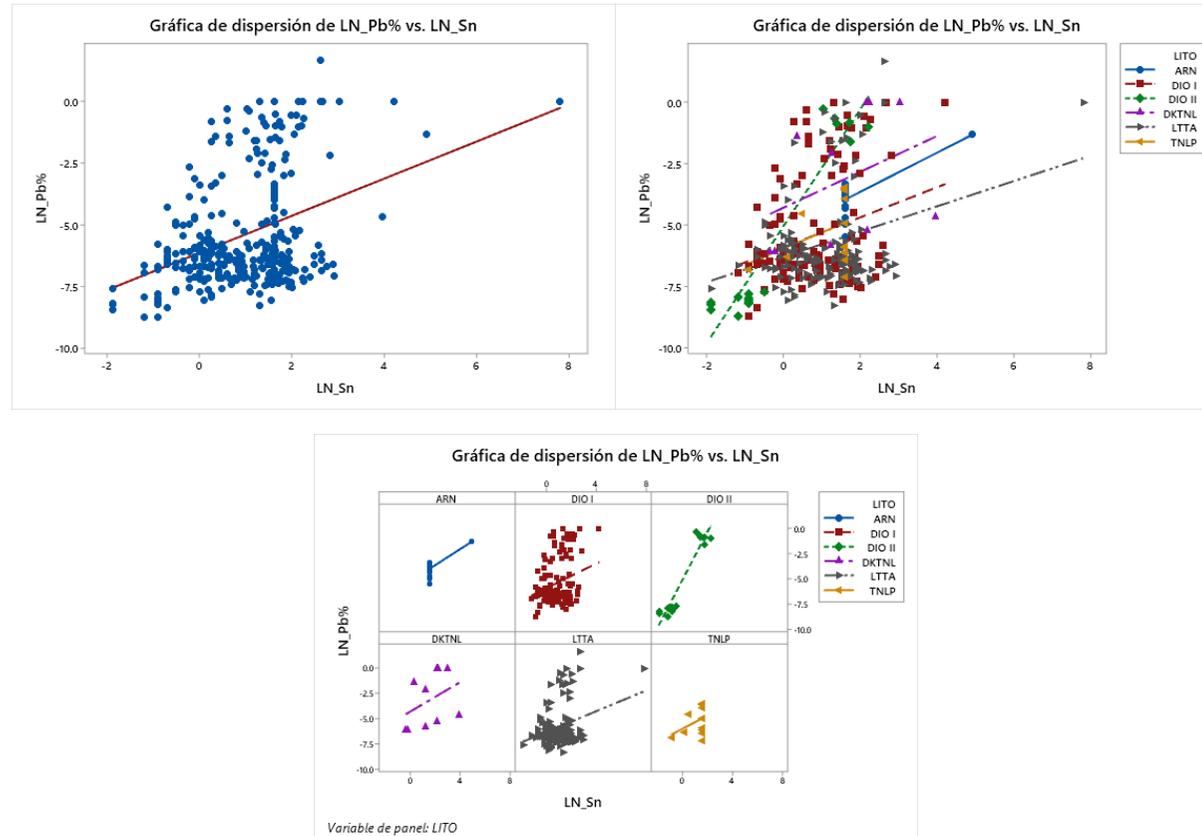
Diagrama de dispersión y análisis multivariable para la Ag vs Pb.



Nota. La figura muestra una correlación positiva pero muy dispersa entre las variables Pb y Zn así también una zona de mayor concentración en las rocas diorita I y lutitas.

Figura N° 28:

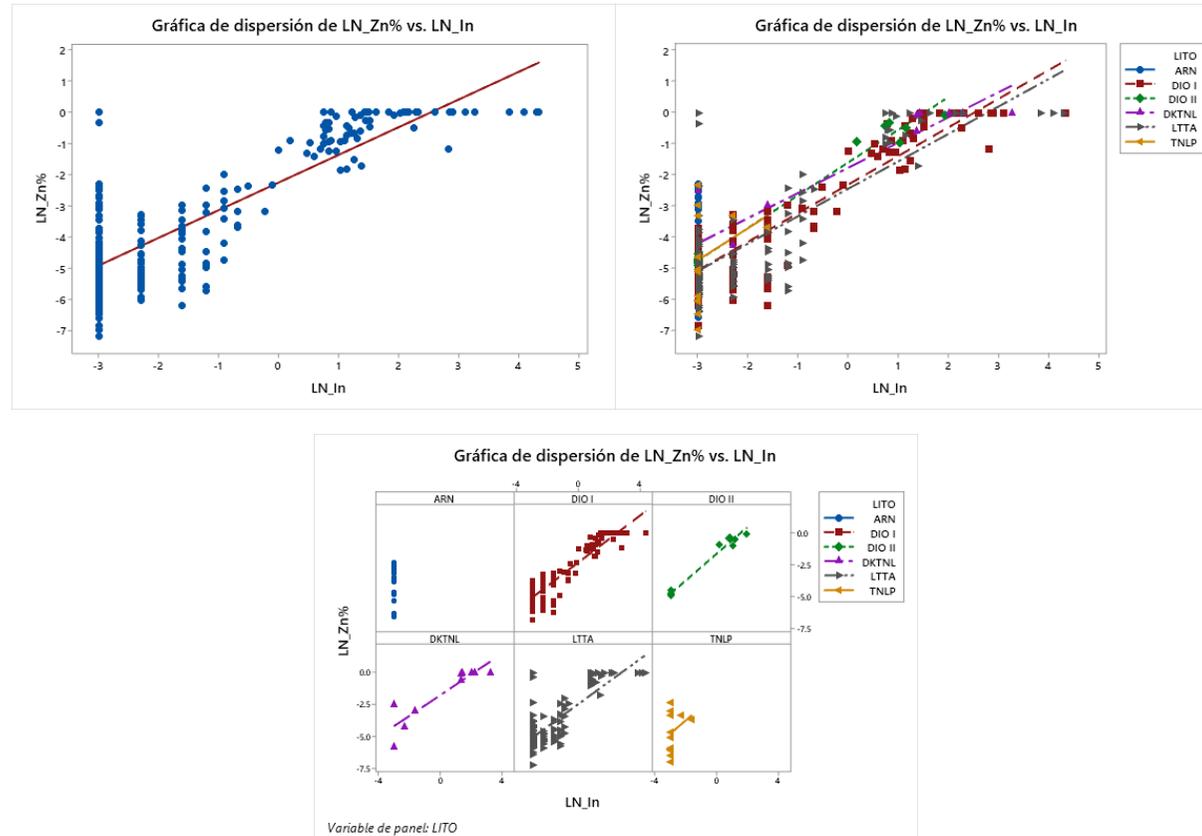
Diagrama de dispersión y análisis multivariable para el Pb vs Sn.



Nota. La figura muestra una correlación positiva entre las variables Pb y Sn así también una zona de mayor concentración en las rocas diorita I y lutitas.

Figura N° 29:

Diagrama de dispersión y análisis multivariable para el Zn vs In.



Nota. La figura muestra una correlación positiva entre las variables Zn y In así también una zona de mayor concentración en las rocas diorita I y lutitas.

4.2.4. Factor de Enriquecimiento

Este factor permite determinar en qué medida se enriqueció determinado elemento en el yacimiento, debido a los procesos de mineralización de estructuras, se ha determinado el factor de enriquecimiento (FE) teniendo como referencia los valores presentes en la corteza terrestre.

$$FE = \frac{X}{X_{cort}}$$

Dónde:

X: Valor promedio del elemento

X_{cort}: Concentración de dicho elemento en la corteza continental. (Se utilizan los datos estadísticos de las tablas de muestreo global que se encuentran en la bibliografía Geoquímica.)

Se definen los siguientes rangos de enriquecimiento:

FE>100: Elemento fuertemente enriquecido.

50 <FE <100: Elemento moderadamente enriquecido.

FE<50: Elemento débilmente enriquecido

El factor de enriquecimiento en un pórfido de cobre se refiere a la concentración y distribución de minerales de cobre. Un total de 341 muestras previamente procesadas fueron analizadas en busca de 49 elementos químicos para realizar análisis de factores de enriquecimiento en el depósito del proyecto La Toni, el propósito de este análisis es determinar el número de concentraciones de un elemento a partir del valor de fondo, que es el valor medio de la corteza terrestre del elemento elegido.

Estos promedios de la corteza terrestre son calculados por Levinson A. su

investigación se centra en el análisis de factores de enriquecimiento de yacimientos minerales, lo que le permite identificar áreas con alto potencial de yacimientos minerales.

En este análisis la distribución de la ley es normal, se calcula el promedio de los valores muestrales de cada elemento y mediante las operaciones matemáticas presentadas anteriormente se obtiene el factor de enriquecimiento de un elemento en particular.

Tabla N° 5:

Factor de enriquecimiento, valor promedio de los elementos en el Proyecto La Toñi y la corteza terrestre.

Elemento	Unidad	Concentracion Promedio		F.E.	Elemento	Unidad	Concentracion Promedio		F.E.
		Proy. La Toñi X	*Corteza Terrestre Xcort				Proy. La Toñi X	*Corteza Terrestre Xcort	
Au	PPM	0.060	0.004	15.013	Nb	PPM	0.203	20.000	0.010
Ag	PPM	4.927	0.070	70.383	Ni	PPM	47.992	75.000	0.640
Al	PORC	2.690	-	-	P	PORC	0.047	-	-
As	PPM	400.500	1.800	222.500	Pb	PPM	938.659	12.500	75.093
Ba	PPM	34.257	425.000	0.081	Re	PPM	0.003	0.001	6.563
Bi	PPM	55.277	0.170	325.159	Rb	PPM	12.702	90.000	0.141
Ca	PORC	0.806	-	-	S	PORC	4.695	-	-
Cd	PPM	29.451	0.200	147.256	Sb	PPM	16.922	0.200	84.611
Ce	PPM	4.494	60.000	0.075	Sc	PPM	12.254	16.000	0.766
Co	PPM	42.056	25.000	1.682	Se	PPM	1.267	0.050	25.349
Cr	PPM	114.399	100.000	1.144	Sn	PPM	11.831	2.000	5.916
Cu	PPM	460.572	55.000	8.374	Sr	PPM	20.498	375.000	0.055
Cs	PPM	7.419	3.000	2.473	Tb	PPM	0.261	0.900	0.290
Fe	PORC	8.614	-	-	Te	PPM	0.439	0.001	439.012
Ga	PPM	11.065	15.000	0.738	Th	PPM	0.790	10.000	0.079
Ge	PPM	3.555	1.500	2.370	Ti	PORC	0.180	-	-
Hf	PPM	0.182	3.000	0.061	Tl	PPM	0.356	0.450	0.792
In	PPM	1.905	0.100	19.047	U	PPM	0.092	2.700	0.034
K	PPM	0.125	0.000	312.537	V	PPM	181.827	135.000	1.347
La	PPM	2.577	30.000	0.086	W	PPM	28.142	1.500	18.761
Li	PPM	22.413	20.000	1.121	Y	PPM	9.178	30.000	0.306
Mg	PORC	2.140	-	-	Yb	PPM	0.838	3.000	0.279
Mn	PPM	596.361	950.000	0.628	Zn	PPM	1559.640	70.000	22.281
Mo	PPM	2.085	1.500	1.390	Zr	PPM	3.476	165.000	0.021
Na	PORC	0.113	-	-					

Nota. La tabla muestra una gama de colores: color rojo las variables con enriquecimiento fuerte, color amarillo las variables con enriquecimiento moderado y color Verde con enriquecimiento débil.

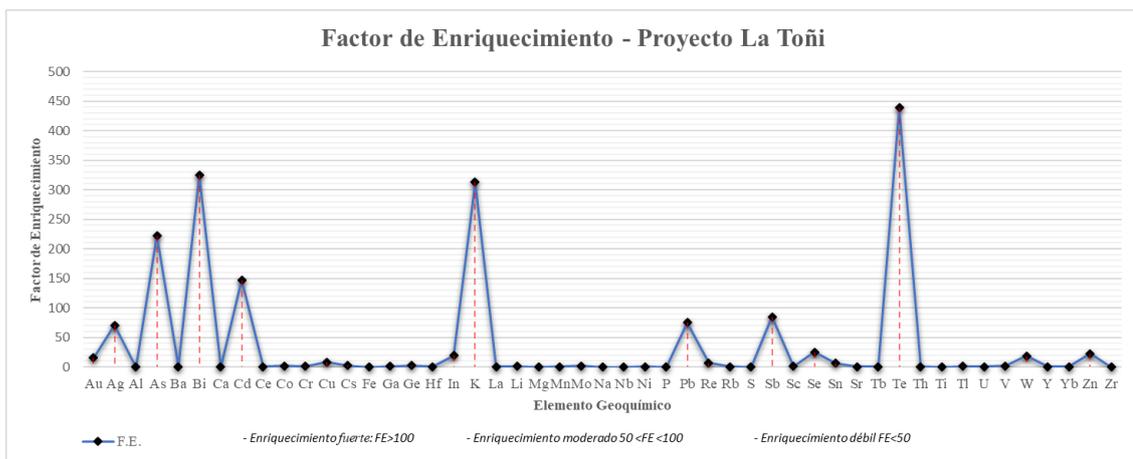
*Para realizar la tabla 5 y la figura 30, los valores promedio de Abundancia de los elementos en la Corteza Terrestre fueron tomados de:

- ✓ Levinson A. A., 1974 Introduction to Exploration Geochemistry
- ✓ Field Geologists' Manual, Third Revised Edition, 1995. Mongraph No. 9, p54-55
- ✓ The Australian Institute of Mining and Metallurgy, Victoria, Australia

NOTA: se coloca “-“ en la fila de F.E. para los elementos cuya concentración media en la corteza es desconocida y, por tanto, no se ha podido calcular el F.E.

Figura N° 30:

Diagrama de factor de enriquecimiento en el proyecto La Toñi



Nota. La figura muestra las variables versus los niveles de factor de enriquecimiento en el proyecto la toñi

4.2.5. Background y Threshold

Con las 15 variables aptas se calculó el Valor del Background y Threshold para definir los indicadores anómalos en el proyecto La Toñi.

Tabla N° 6:*Rango de anomalías geoquímicas*

Indicador	Anomalia Geoquimica
	Anamolia Muy Fuerte
	Anomalia Fuerte
	Anomalia Moderada
	AnomaliaBaja
	Background

Nota. La tabla muestra la gama de colores que indican el nivel de anomalía geoquímica.

Tabla N° 7:*Background y Anomalías geoquímicas del depósito mineral proyecto La Toñi*

Variable	Unidad	Background	Anomalia Baja	Anomalia Moderada	Anomalia Fuerte	Anamolia Muy Fuerte
Au	PPM	< 0.031	0.109	0.384	1.352	> 1.352
Ag	PPM	< 1.800	3.818	8.100	17.184	> 17.184
Cu	PORC	< 0.058	0.117	0.235	0.471	> 0.471
Mo	PPM	< 0.580	0.902	1.402	2.179	> 2.179
Pb	PORC	< 0.014	0.050	0.180	0.654	> 0.654
Zn	PORC	< 0.066	0.235	0.839	2.992	> 2.992
As	PPM	< 32.298	134.963	563.969	2356.658	> 2356.658
Bi	PPM	< 56.940	202.653	721.260	2567.018	> 2567.018
Fe	PORC	< 11.406	16.306	23.313	33.33	> 33.330
In	PPM	< 0.300	0.735	1.800	4.409	> 4.409
K	PORC	< 0.15	0.290	0.563	1.089	> 1.089
Re	PPM	< 0.004	0.006	0.008	0.011	> 0.011
S	PORC	< 7.215	13.913	26.832	51.746	> 51.746
Sb	PPM	< 1.350	3.047	6.878	15.527	> 15.527
Sn	PPM	< 5.050	10.358	21.249	43.589	> 43.589

Nota. Rangos de anomalía geoquímica según su media y desviación estándar de cada variable.

4.2.6. Coeficiente de Correlación

El Coeficiente de Correlación se utiliza para determinar el grado de asociación entre elementos. Las 14 variables analizadas tienen distribuciones similares a la log-normal, por lo que se utilizarán estadísticas y pruebas no

paramétricas.

Para establecer la relación entre un par de variables o dos grupos de valores, se empleó el coeficiente de correlación de Pearson, que es una medida estadística que se utiliza para determinar si existe una relación lineal entre dos variables continuas puede oscilar entre $-1 < 0 < +1$. En este caso, las variables serían la presencia o ausencia de cobre y la presencia o ausencia de ciertos minerales o características en las rocas presentes en el proyecto actual.

“Un valor 0 significa una distribución al azar sin ninguna relación entre los factores que están siendo comparados, mientras que +1 indica una relación directa y -1 indica una relación perfectamente inversa entre los factores comparados.” (Rivera, M. 2001).

Tabla N° 8:

Indicador de rangos de correlación Pearson

Indicador	Rango	Correlacion
	> 0.90	Muy buena
	0.75 - 0.90	Buena
	0.50 - 0.75	Moderada
	0.25 - 0.50	Debil
	< 0.25	Muy mala

Tabla N° 9:

Cuadro de correlación de Pearson del proyecto La toñi.

	Au	Bi	Ag	Cu	Mo	Pb	Zn	As	Fe	In	K	Re	S	Sb
Ag	0.18													
Bi	0.54	0.25												
Cu	0.57	0.27	0.71											
Mo	-0.17	0.17	-0.25	-0.04										
Pb	-0.08	0.85	0.00	0.00	0.21									
Zn	-0.15	0.67	-0.13	-0.09	0.05	0.79								
As	0.14	0.54	-0.03	0.07	0.21	0.55	0.52							
Fe	0.47	0.15	0.58	0.74	-0.46	-0.06	0.01	-0.03						
In	-0.01	0.56	0.08	0.06	-0.18	0.65	0.83	0.36	0.22					
K	0.04	0.10	0.11	0.11	0.23	0.13	-0.01	0.00	-0.12	-0.06				
Re	0.19	-0.20	0.34	0.34	-0.44	-0.33	-0.21	-0.28	0.57	-0.05	-0.11			
S	0.51	0.35	0.74	0.82	-0.13	0.12	0.08	0.03	0.74	0.19	0.17	0.33		
Sb	0.00	0.70	-0.02	0.00	0.43	0.71	0.43	0.54	-0.23	0.25	0.15	-0.40	-0.01	
Sn	0.10	0.42	0.09	0.00	0.18	0.37	0.27	0.21	-0.05	0.25	0.00	-0.21	0.12	0.42

Nota. La tabla muestra una gama de colores, Indicando el color rojo una correlación de variables buena, amarillo una correlación de variables moderada, color verde una correlación de variables débil.

4.3. Prueba de hipótesis

La prueba de hipótesis se basa principalmente en dar a conocer el potencial exploratorio que existe en dicha área.

Mediante un mapeo geológico en la zona de estudio se identificará las variaciones significativas en la textura de los intrusivos de composición intermedias en diferentes áreas de la zona de estudio.

La presencia de fallas geológicas está asociada con la localización de zonas de apertura para el emplazamiento de intrusivos en la zona de estudio.

El análisis químico de muestras en roca expresa una distribución de elementos anómalos en Cu - Mo - Au - Zn - Pb - Ag - In - Sn, resaltando puntuales tenores anómalos de Zn - Pb - Ag - Au en los mantos de Lutitas - Filitas - areniscas y localmente en la Diorita I presenta valores anómalos en Cu, y puntualmente se tienen valores anómalos de Mo en la tonalita porfírica relacionada.

Las muestras muestran altos niveles de Cu en la Diorita I con alteración propilítica, y una tendencia hacia la Tonalita porfídica con fuerte alteración cuarzo-sericita, todo ello estrechamente relacionado con los sistemas porfídicos. El análisis de Mo indica una anomalía moderada en Tonalita porfídica con alteración cuarzo-sericita y una tendencia hacia el oeste, también vinculada a sistemas porfídicos. El análisis de dispersión de Au muestra valores muy puntuales, probablemente relacionados con vetas, mientras que el análisis de dispersión de Ag indica valores puntuales, probablemente también relacionados con vetas con

una pequeña tendencia que podría estar asociada a mantos polimetálicos. El análisis de dispersión del Pb indica valores puntuales estrechamente relacionados con mantos polimetálicos, al igual que el análisis de dispersión del Zn. El análisis de dispersión del As muestra valores puntuales que podrían estar relacionados con posibles vetas y una dispersión moderada hacia el este, posiblemente vinculada al pórfido. Por último, el análisis de dispersión de Sb muestra valores relacionados con vetas.

4.4. Discusión de resultados

Los resultados revelan que el proyecto la Toñi posee un potencial atractivo hacia la exploración geológica, así mismo los análisis mineralógicos muestran la presencia de calcopirita y bornita como los principales minerales de cobre en el pórfido estudiado. Además, se identificaron minerales accesorios como pirita y trazas de magnetita, la mineralogía de la zona estudiada mostro una variedad de minerales secundarios, como goethitas, hematitas y jarositas.

Los resultados de análisis de Factor de enriquecimiento implican significativamente, debido al fuerte enriquecimiento en elementos calcófilos y pathfinder (As, Bi, Te, Cd, K) proporcionando información crucial sobre la concentración de estos elementos y su impacto para la caracterización del depósito mineral.

Figura N° 31:

Presencia de minerales menas de cobre, Bornita y Calcopirita – Proyecto la Toñi



Nota, La figura muestra las menas en cobre, presencia de parches y puntos de bornita y calcopirita asociadas a óxidos y cuarzo hialino.

El análisis de los minerales de alteración mostro una presencia significativa de sericita, clorita y pirita. Estos minerales indican la presencia de fluidos hidrotermales ricos en elementos como hierro, potasio y magnesio, los cuales pueden haber influido en la formación y distribución de los minerales de cobre. Comprender la relación entre la alteración hidrotermal y la mineralogía del pórfido es esencial para determinar la calidad y el potencial significativo de un depósito.

Figura N° 32:

Muestra de Alteración fílica



Nota. La figura muestra una tonalita con alteración fílica, minerales de alteración como sericita cuarzo y pirita.

Los resultados del análisis de factor de enriquecimiento indican débil concentración de cobre en la zona de estudio (8.37 FE) sin embargo elementos calcófilos y pathfinder como el Bi (325.16 FE), Cd (147.26 FE), As (222.50 FE), K (312.53) y Te (439.01 FE) proporcionaron altos niveles de factor de enriquecimiento, al igual que elementos como el Sb (84.6 FE) dieron resultado un nivel de factor de enriquecimiento moderado, esta información es crucial para evaluar la concentración de mineral de cobre en profundidad y así mismo de tener en cuenta otros elementos como Pb Zn y Ag, donde podría tener un impacto significativo para la viabilidad económica del proyecto La Toñi.

Tabla N° 10:

Cuadro de nivel de enriquecimiento de elementos químicos del proyecto La Toñi

	FUERTE	MODERADO	BAJO	
ASOCIACIÓN CALCÓFILA	As	Ag	Au	Re
	Bi	Pb	Cu	Zn
	Cd	Sb	In	Se
	Te		Mo	
PATHFINDER	As	Ag	Au	Zn
	K	Pb	Mo	Re

Nota. La tabla muestra el nivel de enriquecimiento de los elementos Calcófilos y elementos pathfinder en el proyecto la toñi.

CONCLUSIONES

- Las características geológicas en el proyecto la toñi, responde a la presencia de intrusivos de composición intermedia (Diorita I y II), zonas de apertura entre las direcciones EW y NW (régimen de extensión regional), mineralización menas de cobre (bornita y calcopirita), interacción de fluidos hidrotermales (Alteración fílica, propilítica-cloritización, argílica). Aspectos que corresponderían a un depósito de tipo pórfido.
- La mineralización de cobre (bornita y calcopirita) se distribuye a lo largo de la roca intrusiva de diorita I y refleja las concentraciones de cobre más altas en esta litología según diagramas de dispersión multivariable.
- El análisis geoquímico superficial nos indica que en el proyecto La Toñi se tiene un factor de enriquecimiento débil en: Au, Zn, Cu, Mo; sin embargo, se ve un enriquecimiento moderado de Ag y Pb.
- Se observa en el análisis de factor de enriquecimiento de Cobre presenta un débil enriquecimiento, sin embargo, existe un fuerte enriquecimiento en las variables de As, Bi, Cd, Te, K y Sb. Estas últimas pertenecen al grupo de asociaciones calcófilas y pathfinder que son guía para una exploración de concentración de cobre, por lo tanto, se cree tener un aumento de anomalías de cobre a profundidad.
- Se observa que el Cu tiene una buena correlación con el Bi, Fe, Re, S, Ag y Au. La distribución geoquímica confirma claramente la existencia de una mineralización de tipo pórfido a través de distintos elementos indicadores.
- Las concentraciones anómalas de Zn, Pb, Ag y Au se encuentran en los mantos de Lutita-Filita-Arenita, mientras que la Diorita I presenta valores anómalos de Cu. El comportamiento geoquímico de elementos indicadores como Cu, Mo, Pb, Zn y Ag en el pórfido de Toñi muestra que el Cu y el Mo son menos móviles y están más

cerca del pórfido mineralizante, mientras que el Pb y el Zn son más móviles y presentan concentraciones más elevadas en las zonas periféricas. Se han registrado altas concentraciones de plata tanto en las zonas de mineralización distales como en las hipogénicas.

RECOMENDACIONES

- Para lograr determinar la presencia de sulfuros diseminados, se recomienda realizar una campaña de geofísica por el método de polarización inducida (IP) y para detectar la presencia de magnetita hidrotermal y cuerpos de sulfuros, se recomienda el método de Magnetometría.
- Se recomienda realizar el estudio de secciones Petro-minerográficas para determinar las asociaciones de mineral económico.
- Se recomienda realizar datación a los intrusivos y rocas caja para determinar la edad de emplazamiento de la mineralización del proyecto La Toñi
- Se recomienda continuar con muestreos sistemáticos en malla abarcando los intrusivos y estructuras del proyecto.
- Se recomienda realizar una campaña de perforación, programas de sondajes con orientación hacia las litologías Diorita y lutitas, debido a que presenta una mayor concentración de Cobre e identificar la presencia de recursos minerales en profundidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arocutipa E. (2020) Modelo de exploración pórfido de Cu en proyecto Alto Rio, Inca de Oro – III Región – Chile.
- Acosta J. et al. (2009) - Memoria Mapa Metalogenético del Perú 2009. INGEMMET. Dirección de Recursos Minerales y Energéticos. Programa de metalogénia.
- Acosta J. (2014) Perspectivas de la dotación de cobre en el Perú dentro de 10 años.
- Cobeñas Benites, G. R. (2008). Cinturones metalogénicos cenozoicos en Pasco y Huánuco: Tipos de yacimientos y naturaleza geoquímica de los magmas asociados.
- Corbett G. (2009) Anatomy of porphyry-related Au-Cu-Ag-Mo mineralised systems: Some exploration implications -An ustralian Institute of geoscientists North Queensland Exploration Conference.
- Daniela Villela O. & Jorge Cantallopts A. (2016) Franjas metalogeneticas de los andes centrales: blancos clave para la exploración minera.
- Juvenal E. (2015) Caracterización geoquímica y mineralógica de Alteraciones hidrotermales en pórfido cuprífero Escondida. [Tesis de titulación]. Universidad de Chile
- Luque G. (2012) Evaluación de Peligros Geológicos en la Provincia Daniel A. Carrión.
- Maydagán L. (2012) Alteraciones, mineralizaciones y geoquímica del pórfido de Cu (Au-Mo) y de las vetas epitermales de Au (Ag-Cu) en el distrito altar. [Tesis doctoral]. Universidad Nacional del Sur
- Arturo M. (2008) Caracterización genética del sistema Pórfido de Cu Pucacorrall Norte.

- Ortega O. (2017) Metodología para el análisis prospectivo y de exploración por minerales económicos. [Informe de experiencia profesional]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Panteleyev, A. (1995) Porphyry Cu^{+/-}-Mo^{+/-}-Au, in Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles, Volume 1 - Metallics and Coal, Lefebure, D.V. and Ray, G.E., Editors, British Columbia Ministry of Energy of Employment and Investment.
- Quispe L. (2021) características metalogénicas de las franjas XVII, XX y XXI de la cordillera occidental entre los paralelos 10° y 12°.
- Quispe L. (2022) características metalogénicas de los sistemas de mineralización tipo pórfidos- epitermales y yacimientos relacionados, ubicados en la cordillera occidental del Perú.
- Rascón-Heimpel, M.A., Valencia-Moreno, M., Ochoa-Landín, L., Calmus, T. (2012) Geología y geoquímica del pórfido cuprífero Los Alisos, distrito minero de La Caridad, Sonora, México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 29, núm. 2, p. 355-383.
- Sillitoe R. (2010) Porphyry Copper Systems
- Mantilla R. (1979). Prospección geoquímica regional por Cu-Mo en el departamento de Tacna.
- Rose, H. E. Hawkes & J. S. Webb (1979). Geochemistry in Mineral Exploration. Second edition.
- Tavera H. (2020) Análisis y Evaluación de los patrones de sismicidad y escenarios sísmicos en el borde occidental del Perú.
- Levinson A. A. (1974) Introduction to Exploration Geochemistry
Field Geologists' Manual, Third Revised Edition. (1995) Mongraph No. 9, p54-55

The Australian Institute of Mining and Metallurgy, Victoria, Australia

ANEXOS

ESTACION	ESTE	NORTE	COTA	AZ	BZ	ROCK	DESCRIPCIÓN
70	341226	885252	3868			MUESTR	
71	341758	8856268	4069	137	40	FILITA	
72	341000	8856982	4217	70	50	FILITA	PRESENTA EPIDOTAS Y OXIDO DE HIERRO EN PATINAS
75	338259	8856452	4324			FILITA	VENILLAS DE CUARZO HIALINO Y ÓXIDOS DE HIERRO
76	338263	8856407	4330	135	40	FILITA	
77	338312	8856259	4354			FILITA	
78	338275	8856230	4361			FOTO	12548
79	338234	8856183	4376			DIORITA PORF	
80	338218	8856138	4398			DIORITA PORF	VENILLAS DE CUARZO BLANCO Y HIALINO
81	338305	8856120	4377	195	75	DIORITA	PARCHES DE PIRITA ALTERACIÓN SOLIDIFICACIÓN MODERADA
82	338578	8855724	4387			STR OXIDO	PIRITA FINA DIS 3%
83	338613	8855737	4397			DIORITA PORF	FEOX EN PATINAS
84	338860	8855743	4280			DIORITA	ALTERACIÓN PROPILITICA
85	338888	8855653	4259			DIORITA	ALTERACIÓN PROPILITICA
86	338916	8855593	4248	190	50	CONTACTO?	FILITA E INTRUSIVO
87	338882	8855385	4219	200	40	FILITA	VENILLAS DE CUARZO
88	338849	8855352	4214	285	70	FILITA?	FOTO GOPRO COD ISAC
89	338910	8855217	4193			FALLA	
90	338948	8854871	4268			DIORITA	SILIFICACION FUERTE
91	338929	8854850	4277	50	54	DK TONALITICO	
92	339196	8854562	4182			STR OXIDO	FEOX REF Y PATINAS
93	339200	8854529	4179			DIORITA	TEXTURA BRECHADA
94	339274	8854470	4166			STR OXIDO	VENILLAS DE QZ
95	339223	8854386	4145			LUTITA?	PIRITA FINA EN PARCHES Y CPY EN DIS
96	339199	8854363	4135	205	35	STR OXIDO	VENILLAS DE CUARZO HIALINO Y PIRITA
97	339143	8853717	4063			FILITA	
98	340055	8853825	3886	120	40	ARENISCA	GRANO MEDIO A GRUESO
						FILITA ESQUISTO	

Tabla de Registro de mapeo geológico superficial



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



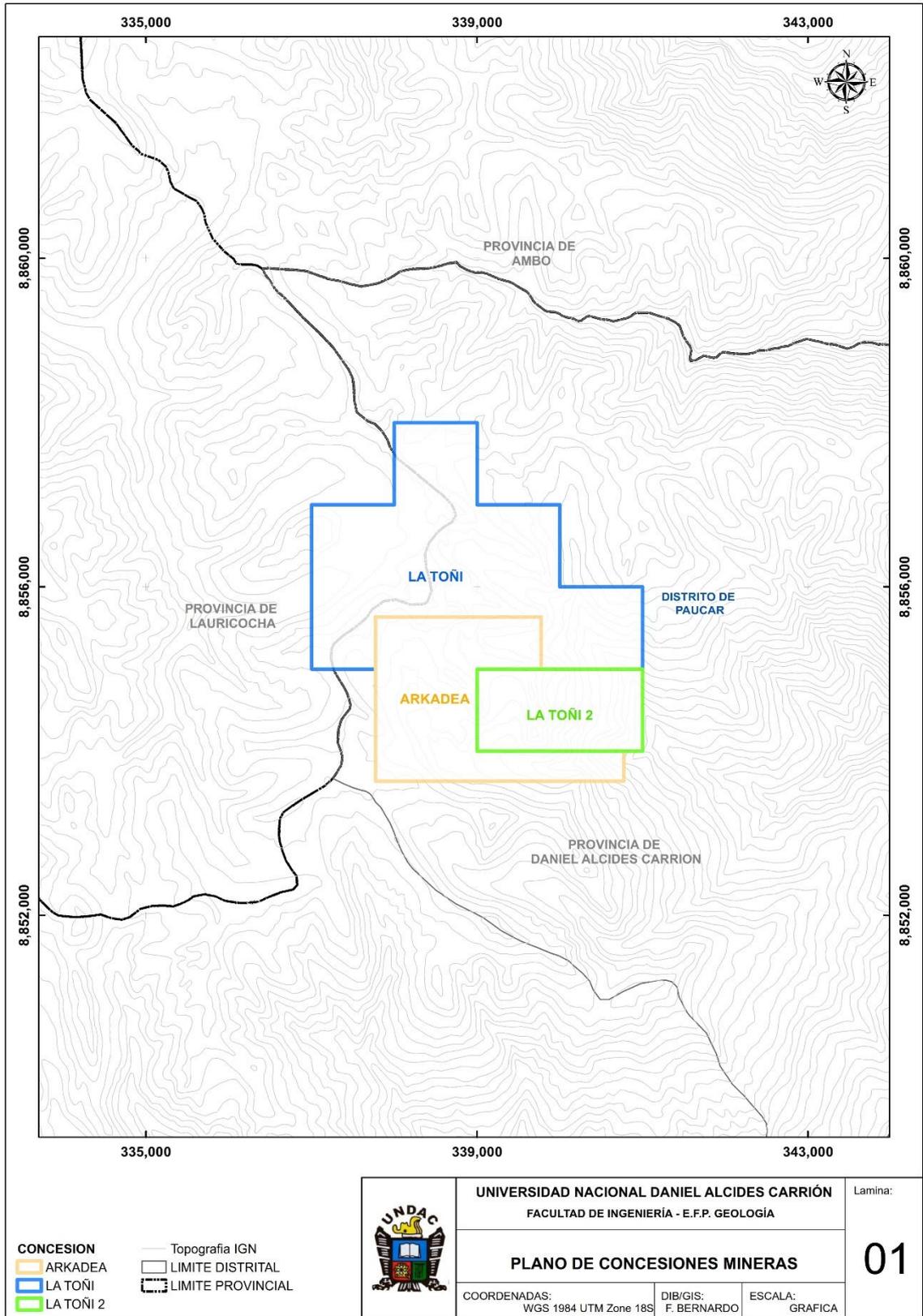
INFORME DE ENSAYO
N° AG00125.R17
21-ago-2017

Muestras	Elementos														
	Codigo de Servicio	G0587	G0076	G0587	G0587	G0587	G0587								
N°	Unidad	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm								
Limite Inferior	0.01	2	0.05	0.01	0.2	0.1	0.01	0.5	0.01	0.001	50	0.1	0.01	0.05	
Limite Superior	15	10000	10000	15	1000	10000	15	10000	30	10000	10	10000	10	10000	
1	TON-251	2.04	817	0.34	<0.01	<0.2	48.8	0.03	4289	--	<0.001	7.7	4.50	5.36	3.2
2	TON-252	4.37	1558	0.24	<0.01	<0.2	92.9	0.04	2065	--	0.002	7.0	5.41	2.40	7.1
3	TON-253	1.06	473	0.66	<0.01	<0.2	79.2	0.03	3730	--	0.003	8.6	>10	3.76	2.1
4	TON-254	2.82	1095	0.23	<0.01	<0.2	50.1	0.06	7588	--	<0.001	8.3	3.77	4.49	11.2
5	TON-255	2.32	983	0.32	<0.01	<0.2	57.7	0.05	5389	--	<0.001	8.0	3.47	3.75	10.4
6	TON-256	3.41	1558	0.24	<0.01	<0.2	49.2	0.04	4421	--	<0.001	6.9	3.32	3.88	12.6
7	TON-257	3.01	1156	0.72	<0.01	<0.2	47.4	0.03	5277	--	0.003	4.5	9.18	3.36	8.7
8	TON-258	3.55	1495	0.51	<0.01	<0.2	45.2	0.04	2158	--	0.003	8.2	7.58	1.35	10.9
9	TON-259	4.84	1558	0.24	<0.01	<0.2	41.5	0.04	2390	--	0.003	4.8	4.72	1.83	13.8
10	TON-260	5.33	2310	0.24	<0.01	<0.2	42.6	0.06	6668	--	0.002	4.3	3.86	3.69	19.0
11	TON-261	4.94	1856	0.26	<0.01	<0.2	42.9	0.06	3038	--	0.002	3.6	6.16	1.35	16.3
12	TON-262	4.08	1347	0.28	<0.01	<0.2	39.8	0.05	841	--	0.003	7.1	4.24	0.46	12.0
13	TON-263	3.84	1488	0.29	0.04	<0.2	44.5	0.07	950	--	0.003	8.3	4.30	0.99	22.3
14	TON-264	3.15	1340	0.26	0.10	<0.2	38.8	0.05	497	--	0.005	1.7	0.80	0.47	19.2
15	TON-265	0.01	13	0.37	<0.01	<0.2	38.9	<0.01	199	--	<0.001	5.5	>10	7.01	<0.5
16	TON-266	0.31	58	0.29	0.01	<0.2	1.4	<0.01	3.8	--	<0.001	0.6	0.06	<0.05	0.8
17	TON-267	0.02	16	0.44	<0.01	<0.2	51.8	<0.01	337	--	0.001	4.1	>10	6.88	<0.5
18	TON-268	0.02	23	0.65	<0.01	0.3	46.9	<0.01	331	--	<0.001	4.0	>10	11.29	<0.5
19	TON-269	3.83	983	0.27	<0.01	<0.2	65.2	0.05	3993	--	0.002	9.0	6.37	1.54	8.1
20	TON-270	3.45	1078	0.32	<0.01	<0.2	59.6	0.04	2110	--	0.002	10.0	5.12	0.77	8.4
21	TON-271	3.32	1114	0.25	0.02	<0.2	84.7	0.04	3589	--	0.003	12.4	7.71	1.40	10.9
22	TON-272	3.94	1073	0.23	0.06	<0.2	58.2	0.05	1221	--	0.003	10.8	4.10	0.42	14.1
23	TON-273	3.03	770	0.25	0.06	<0.2	53.9	0.07	24.5	--	0.003	11.5	2.93	0.22	19.9
24	TON-274	2.79	432	0.24	0.10	<0.2	42.1	0.07	42.8	--	<0.001	8.0	3.39	0.21	19.4
25	TON-275	3.12	498	0.20	0.05	<0.2	43.8	0.07	38.9	--	0.003	14.8	3.74	0.23	20.7
26	TON-276	3.17	463	0.29	0.13	<0.2	54.2	0.10	26.0	--	0.006	16.7	3.68	0.15	20.0

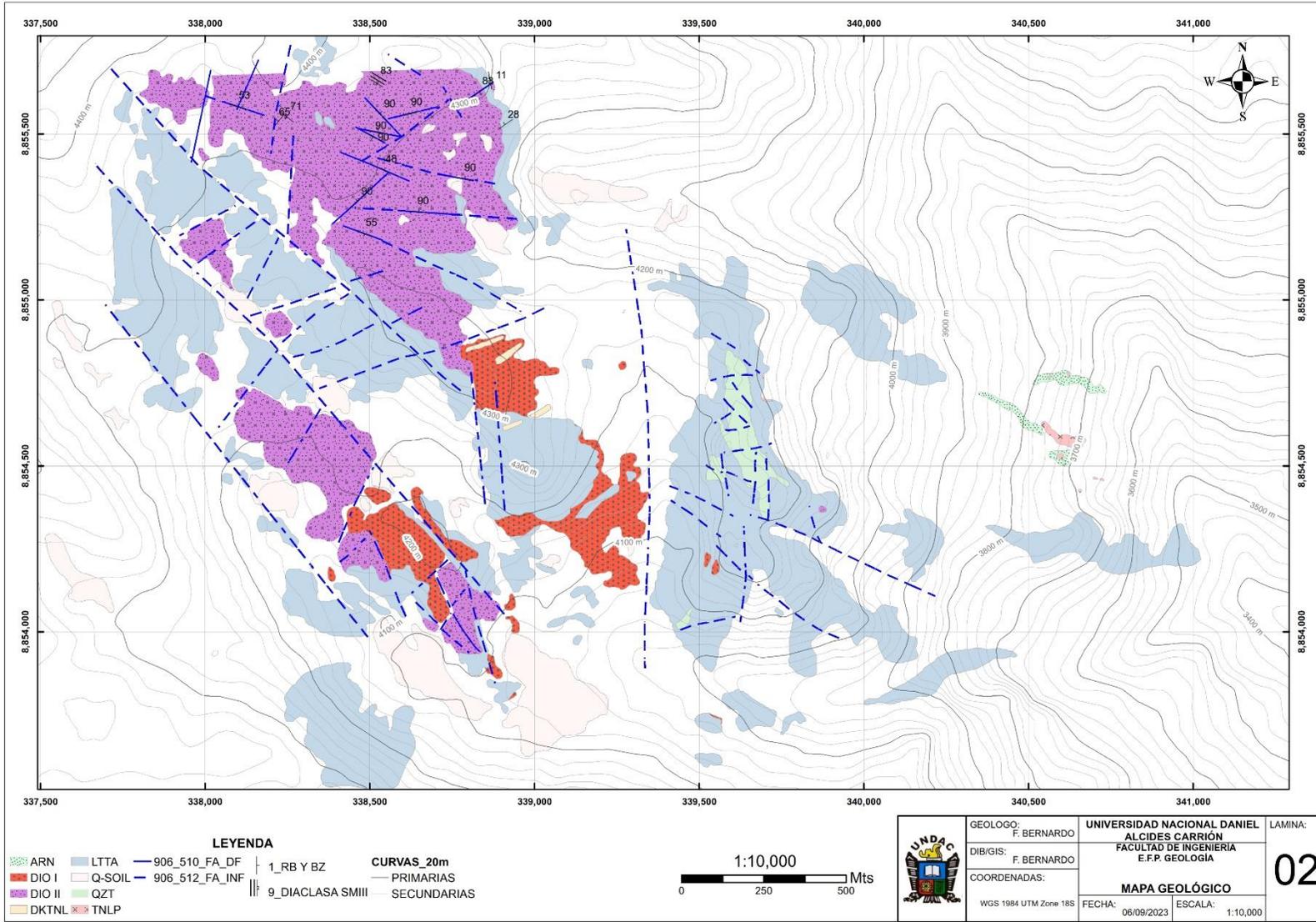
CERTIMIN S.A. Av. Las Vegas 845 - San Juan de Miraflores Telf: (51-1) 205-5656, e-mail: certimin@certimin.pe

Resultado de análisis de muestras, laboratorio Certimin.

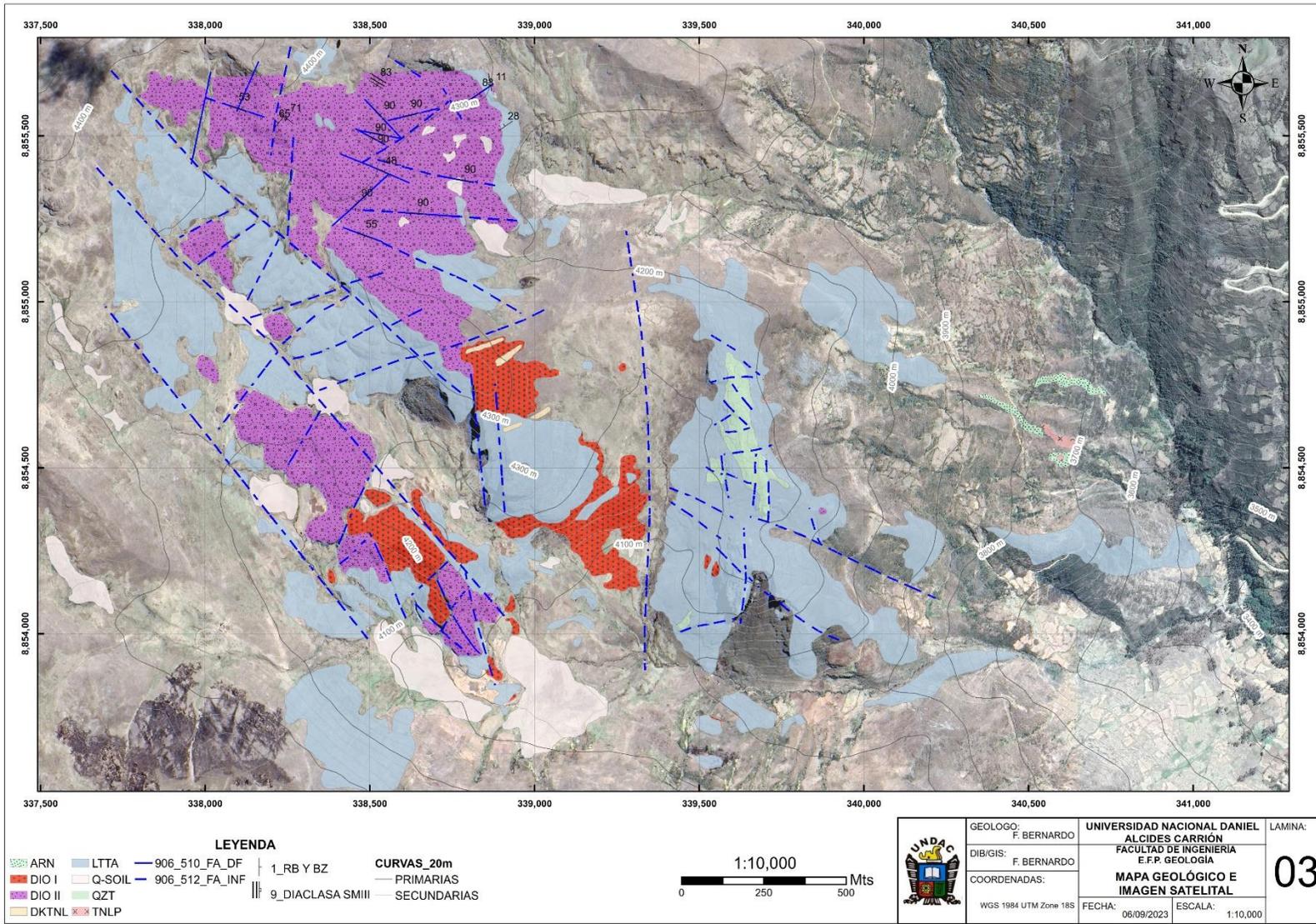
- MAPAS



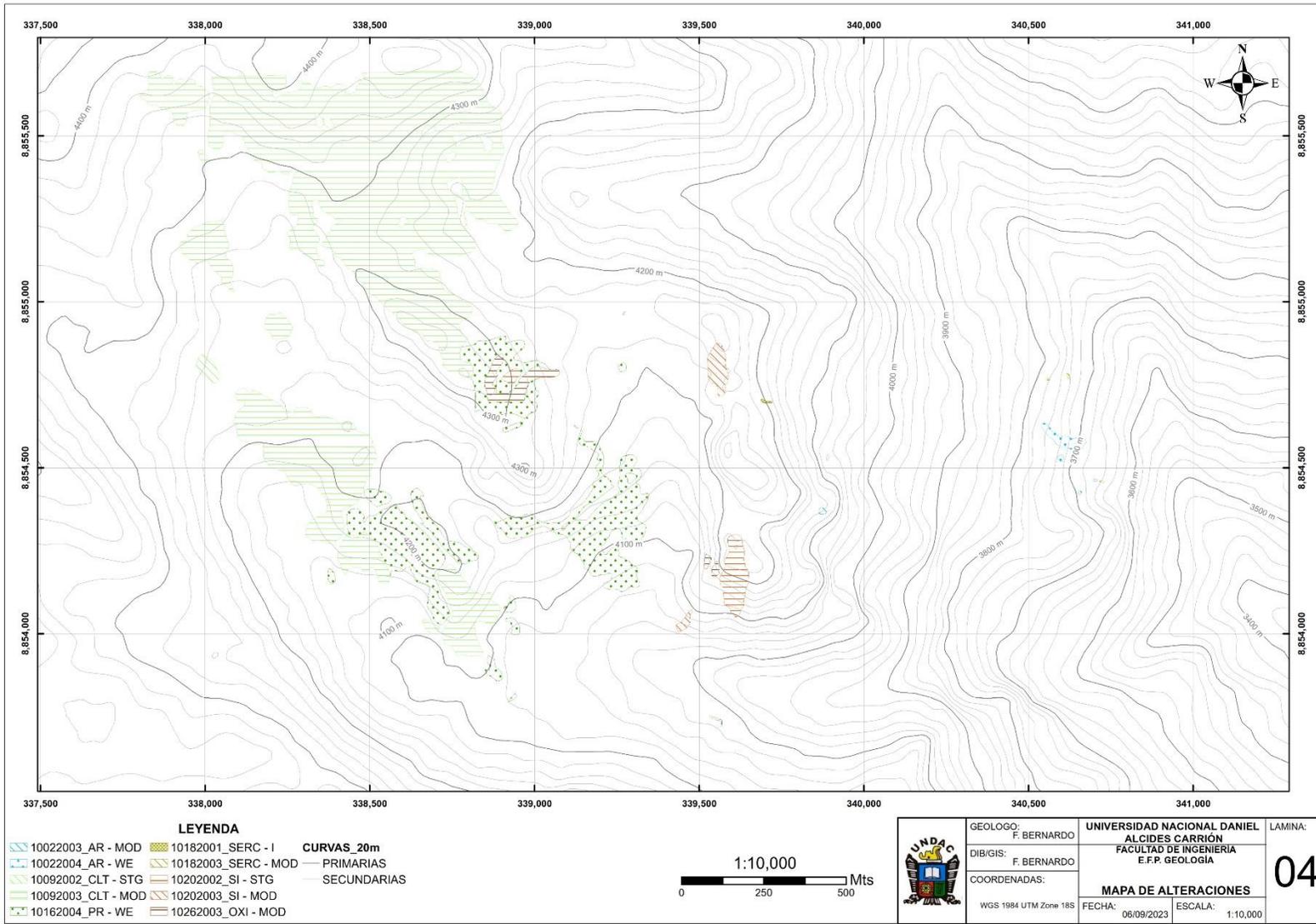
Lamina 01. Concesiones mineras del proyecto La Toñi.



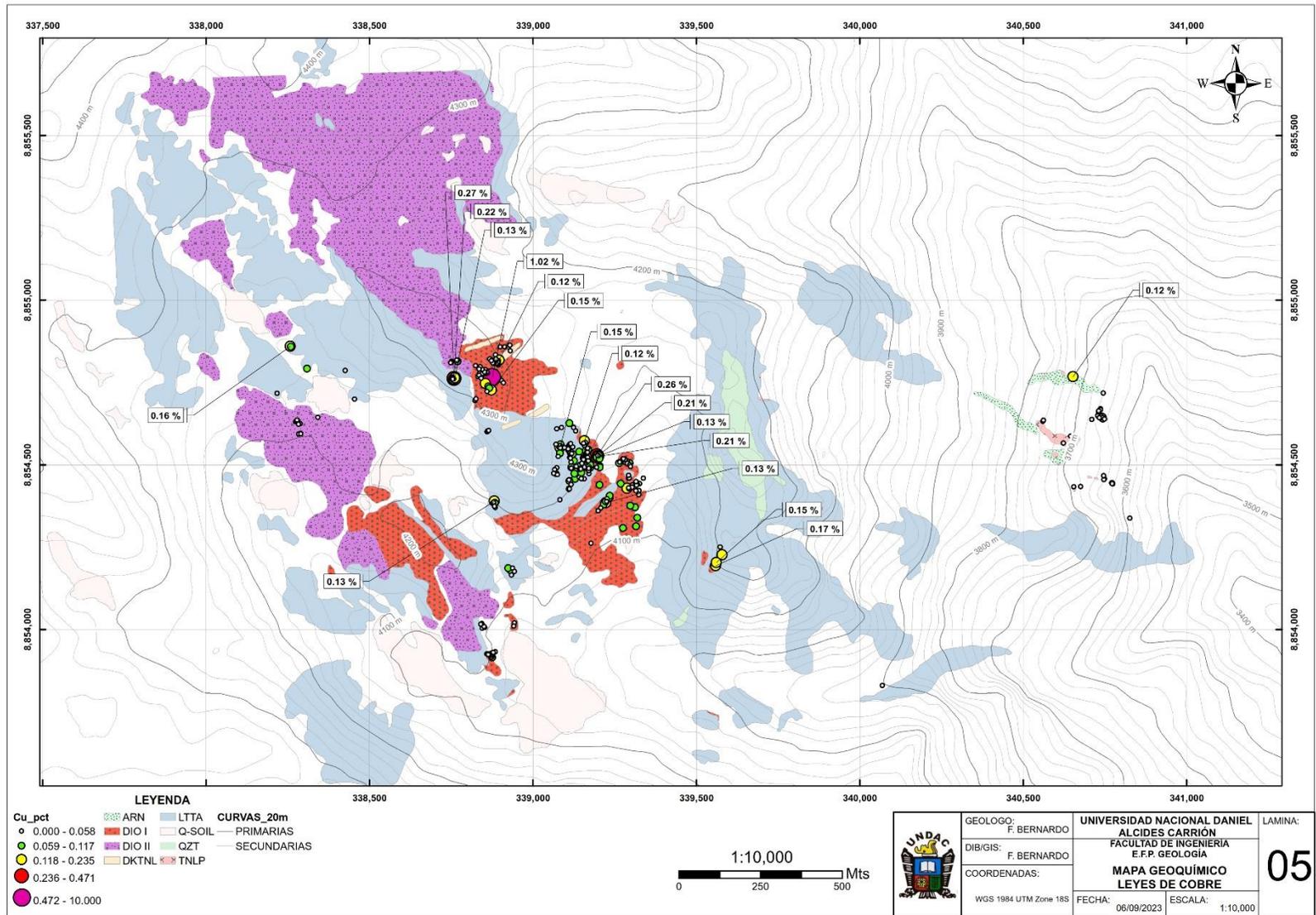
Lamina 02. Mapa geológico del proyecto la Toñi escala 1:10000



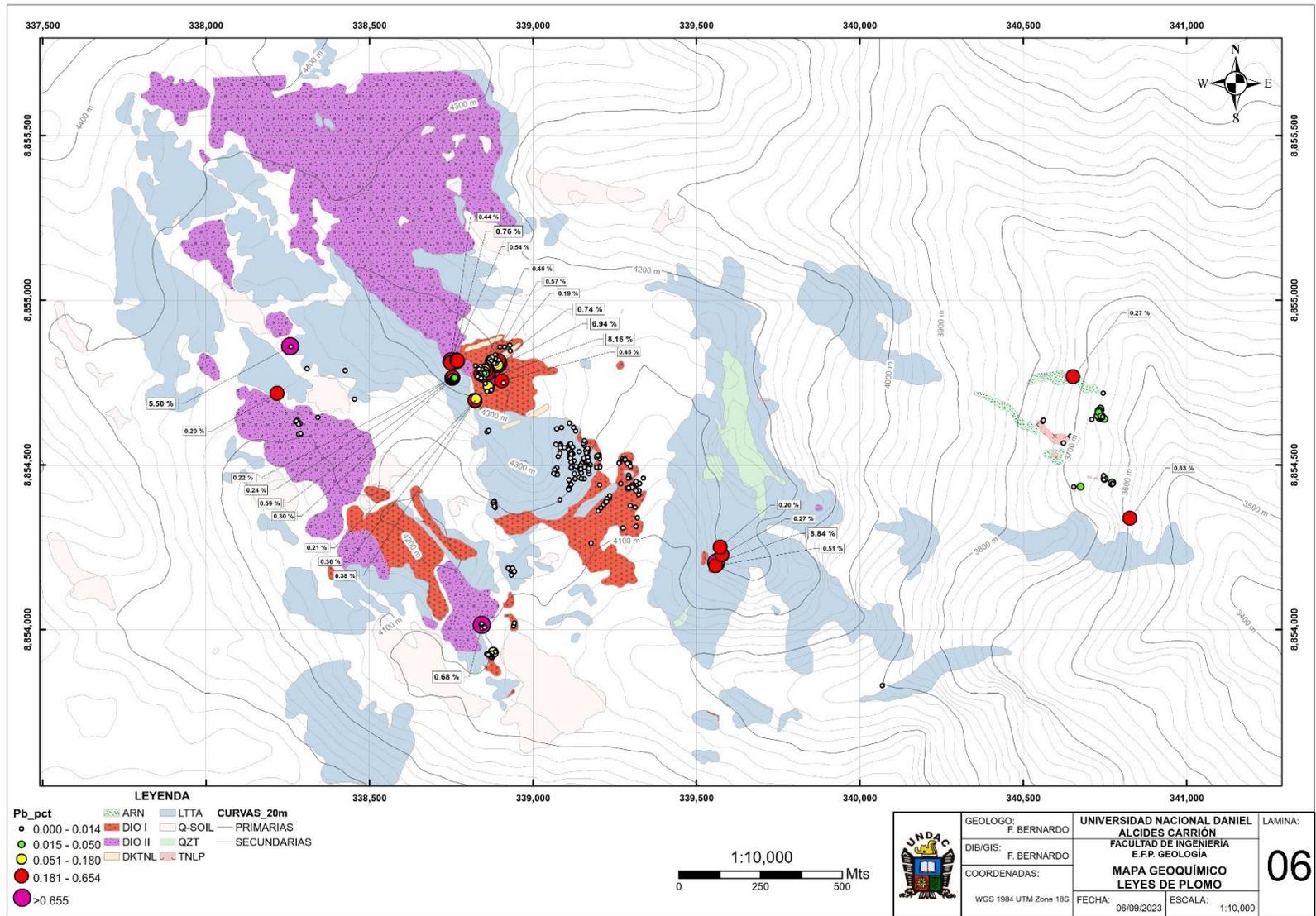
Lamina 03. Mapa geológico e imagen satelital Sast planet del proyecto la Toñi escala 1:10000



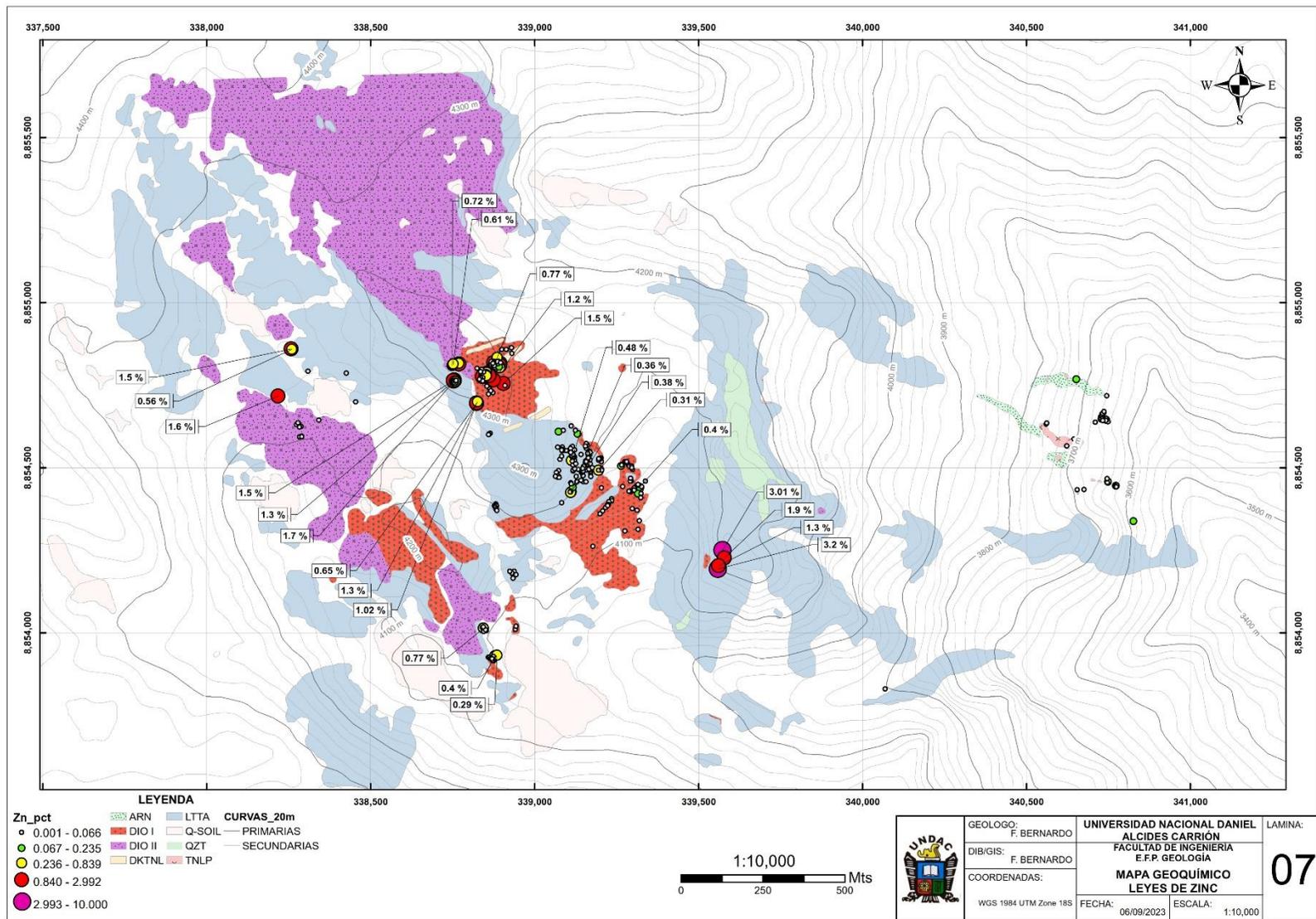
Lamina 04. Mapa de alteraciones del proyecto la Toñi escala 1:10000



Lamina 05. Mapa geoquímico con leyes de Cobre del proyecto la Toñi escala 1:10000



Lamina 06. Mapa geoquímico con leyes de Plomo del proyecto la Toñi escala 1:10000



Lamina 07. Mapa geoquímico con leyes de Zinc del proyecto la Toñi escala 1:10000

FOTOS



Foto 01 Afloramiento de Diorita II, vista hacia el SUR, fotografía tomada por el autor.



Foto 02 Afloramiento de Lutita-Filita, vista hacia el Este, fotografía tomada por el autor.



Foto 03 Afloramiento de Tonalita porfirítica. fotografía tomada por el autor.



Foto 04 Alteración Cuarzo-Sericita en Tonalita porfirítica. fotografía tomada por el autor.



Foto 05 Venillas de Cuarzo tipo A y B, fotografía tomada por el autor.



Foto 06 Alteración Fílica y débil Argilización, fotografía tomada por el autor.



*Foto 07 Diorita II con parches de pirita y alteración silicificación moderada,
fotografía tomada por el autor.*



Foto 08 Diorita I con alteración propilítica, fotografía tomada por el autor.



*Foto 09 zona de falla en zona de estudio con orientación de 285° e Inclinación de 70°,
fotografía tomada por el autor.*



Foto 10 Tesista en zona de estudio.