



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



**CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE LAS VETAS
AURÍFERAS DE LA MINA ORIÓN EN CHALA-AREQUIPA**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. ROMAO RAUL FLORES ORTEGA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

A mis padres Pedro y Juana por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que incluye este. Me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos. Gracias madre y padre.

Romao Raul Flores Ortega



AGRADECIMIENTOS

Expreso mi reconocimiento a la U.E.A. Orión de la empresa Analytica S.A.C por todas las atenciones e información brindada en esta investigación.

Al Ing. Bernardo Alvarez Calderón, por todo el apoyo durante el estudio del yacimiento, pre y post resultados.

Al Ing. Abad Yabar Calamullo superintendente corporativo de geología, por todo el apoyo y estímulo incesante.

A mi asesor, MS.c. Roger Gonzales Aliaga, por haberme orientado en todos los momentos que necesité sus consejos, durante la escritura de la tesis.

A mi familia, amigos y futuros colegas que me ayudaron de una manera desinteresada, gracias infinitas por toda su ayuda y buena voluntad.

A mi alma mater, la Universidad Nacional del Altiplano que junto a los docentes forjaron mis primeros conocimientos sobre la Ingeniería Geológica, y con el cual me desplazo en la vida profesional, gracias infinitas.

Romao Raul Flores Ortega



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 13

ABSTRACT..... 14

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO..... 15

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 16

1.3. HIPÓTESIS 16

1.4. OBJETIVO GENERAL 17

1.4.1. Objetivo principal 17

1.4.2. Objetivos específicos 17

1.5. ANTECEDENTES 17

1.6. JUSTIFICACIÓN 19

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. LA GEOQUÍMICA Y SUS PRINCIPIOS ESTADÍSTICOS 21

2.1.1. Exploración geoquímica 21

2.1.2. Agrupación geoquímica de elementos 22

2.1.3. Ambiente geoquímico 22

2.1.4. Dispersión geoquímica 23

2.1.5. Movilidad de los elementos 23

2.1.6. Asociación de elementos 23

2.1.7. Distribución geoquímica 26



2.2.	MUESTREO GEOQUÍMICO	26
2.2.1.	Importancia del muestreo geoquímico.....	27
2.2.2.	Metodología de toma de muestra.....	28
2.2.3.	Métodos de muestreo	28
2.3.	PARÁMETROS ESTADÍSTICOS.....	29
2.3.1.	Medidas de tendencia central.....	29
2.3.2.	Medidas de dispersión	30
2.3.3.	Medidas de localización.....	32
2.3.4.	Coeficientes de la forma de distribución	32
2.3.5.	Diagramas estadísticos.....	34
2.3.6.	Censuramiento de datos geoquímicos.....	36
2.3.7.	Test de normalidad Kolmogorov-Smirnov	36
2.4.	PARÁMETROS GEOQUÍMICOS	37
2.4.1.	Fondo geoquímico o <i>background</i>	37
2.4.2.	Umbral geoquímico o <i>thershold</i>	37
2.4.3.	Anomalías Geoquímicas	38
2.4.4.	Ventajas del análisis estadístico	38
2.4.5.	Limitaciones del análisis estadístico.....	38
2.5.	GEOLOGÍA REGIONAL DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	39
2.5.1.	Mesozoico	39
2.5.2.	Cenozoico	40
2.5.3.	Unidades cuaternarias	42

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	MATERIALES Y EQUIPOS DE ESTUDIO	44
3.2.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	45
3.2.1.	Gabinete inicial	45
3.2.2.	Etapa de campo	46
3.2.3.	Etapa de laboratorio	47



3.2.4. Etapa final de gabinete.....	47
-------------------------------------	----

CAPITULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1. UBICACIÓN	49
4.2. ACCESIBILIDAD.....	49
4.3. GEOLOGÍA LOCAL	51

CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. DETERMINACIÓN DE LA ASOCIACIÓN DE ELEMENTOS QUÍMICOS CON ORO, EN SUPERFICIE Y PROFUNDIDAD.....	57
5.1.1. Características geológicas de las vetas.....	57
5.1.2. Análisis estadístico y geoquímico de muestras superficiales.....	65
5.1.3. Análisis geoquímico y estadístico de muestras en profundidad.....	70
5.2. COMPARACIÓN DE ELEMENTOS QUÍMICOS ASOCIADOS AL ORO EN SUPERFICIE Y EN PROFUNDIDAD MEDIANTE TRATAMIENTO ESTADÍSTICO UNIVARIAL Y MULTIVARIAL.....	72
5.2.1. Análisis estadístico univariado y espacial	72
5.2.2. Análisis estadístico multivariado.....	94
5.3. DISCUSIÓN.....	96
VI. CONCLUSIONES.....	97
VII. RECOMENDACIONES	98
VIII. REFERENCIAS	99
ANEXOS.....	102

Área: Geología de Minas.

Línea: Caracterización Geoquímica.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 12 de marzo 2021.



ÍNDICE DE TABLAS

N°	Descripción	Pág.
Tabla 1:	Afinidad de elementos de las fases principales que componen la Tierra.	22
Tabla 2:	Elementos con afinidad geoquímica y elementos guías asociados, usados en exploración de depósitos.....	25
Tabla 3:	Elementos indicadores y exploradores de algunos tipos de depósitos.	26
Tabla 4:	Muestras de la prospección Geoquímica.....	27
Tabla 5:	Rangos de coeficiente de correlación.....	34
Tabla 6:	Criterios para censuramiento de datos geoquímicos.....	36
Tabla 7:	Coordenadas centrales de la Mina Orión.....	49
Tabla 8:	Concesiones mineras que circunscriben la zona de trabajo.....	49
Tabla 9:	Accesibilidad a la zona de trabajo.....	49
Tabla 10:	Distribución de muestras en sobre estructuras mineralizadas.....	60
Tabla 11:	Estructuras mineralizadas evaluadas en superficie y profundidad.....	60
Tabla 12:	Límites de detección por elemento químico.....	65
Tabla 13:	Prueba de normalidad Kolmogorov – Smirnov.....	67
Tabla 14:	Parámetros estadísticos descriptivos de muestras superficiales.....	68
Tabla 15:	Correlaciones de Pearson de LN Au y 31 elementos químicos.....	69
Tabla 16:	Parámetros estadísticos descriptivos de muestras en profundidad.....	70
Tabla 17:	Correlaciones de Pearson de LN Au y 31 elementos químicos.....	71



ÍNDICE DE FIGURAS

N°	Descripción	Pág.
Figura 1:	Muestreo estadístico y muestreo de minerales. Alfaro (2002).	28
Figura 2:	Grafico que representa una distribución estadística normal.	32
Figura 3:	Mapa geológico regional y ubicación de la Mina Orión.....	43
Figura 4:	Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	50
Figura 5:	Monzonita de la Superunidad Linga.	51
Figura 6:	Andesita porfirítica y andesita afanítica de la Formación Guaneros.	52
Figura 7:	Veta Dauphine Rb N38°W Bz 63°NE ancho 0.90m con OxFe como hematita 3%, magnetita.	54
Figura 8:	Imagen satelital y vetas de la zona de estudio (USGS y USDA).....	55
Figura 9:	Mapa geológico local de la zona de estudio.	56
Figura 10:	Veta Corilazo (superior izquierda), veta Francia Luz (superior derecha), veta Bonanza (inferior izquierda) y veta Laura (inferior derecha).....	61
Figura 11:	Veta Cristina (superior izquierda), veta Chinchilico (superior derecha), veta Españolita (inferior izquierda) y veta Estephany (inferior derecha).....	62
Figura 12:	Mapa de estructuras mineralizadas de la zona de investigación.....	63
Figura 13:	Mapa de muestreo geoquímico superficial.	64
Figura 14:	Gráficos de Au, As, Cu y Fe para comprobar normalidad de datos.	66
Figura 15:	Histogramas del Au en superficie y profundidad.	72
Figura 16:	Diagrama de cajas del Au en superficie y profundidad.	72
Figura 17:	Concentraciones geoquímicas del Au en superficie y en profundidad.	73



Figura 18: Histogramas del Ag en superficie y profundidad.	74
Figura 19: Diagrama de cajas del Ag en superficie y profundidad.	74
Figura 20: Concentraciones geoquímicas del Ag en superficie y en profundidad.	75
Figura 21: Histograma y diagrama de burbujas del Bi en superficie y profundidad.	76
Figura 22: Diagrama de cajas del Bi en superficie y profundidad.	76
Figura 23: Concentraciones geoquímicas del Bi en superficie y en profundidad.	77
Figura 24: Histograma y diagrama de burbujas del Cr en superficie y profundidad. ...	78
Figura 25: Diagrama de cajas del Cr en superficie y profundidad.	78
Figura 26: Concentraciones geoquímicas del Cr en superficie y en profundidad.	79
Figura 27: Histograma y diagrama de burbujas del S en superficie y profundidad.	80
Figura 28: Diagrama de cajas del S en superficie y profundidad.	80
Figura 29: Concentraciones geoquímicas de superficie y profundidad.	81
Figura 30: Histograma y diagrama de burbujas del Fe en superficie y profundidad. ...	82
Figura 31: Diagrama de cajas del Fe en superficie y profundidad.	82
Figura 32: Concentraciones geoquímicas del Fe en superficie y en profundidad.	83
Figura 33: Histograma y diagrama de burbujas del Cu en superficie y profundidad. ...	84
Figura 34: Diagrama de cajas del Cu en superficie y profundidad.	84
Figura 35: Concentraciones geoquímicas del Cu en superficie y en profundidad.	85
Figura 36: Histograma y diagrama de burbujas del As en superficie y profundidad. ...	86
Figura 37: Diagrama de cajas del As en superficie y profundidad.	86
Figura 38: Concentraciones geoquímicas del As en superficie y en profundidad.	87



Figura 39: Histograma y diagrama de burbujas del Sb en superficie y profundidad. ...	88
Figura 40: Diagrama de cajas del Sb en superficie y profundidad.....	88
Figura 41: Concentraciones geoquímicas del Sb en superficie y en profundidad.....	89
Figura 42: Histograma y diagrama de burbujas del Zn en superficie y profundidad. ...	90
Figura 43: Diagrama de cajas del Zn en superficie y profundidad.....	90
Figura 44: Concentraciones geoquímicas del Zn en superficie y en profundidad.....	91
Figura 45: Histograma y diagrama de burbujas del V en superficie y profundidad.....	92
Figura 46: Diagrama de cajas del V en superficie y profundidad.	92
Figura 47: Concentraciones geoquímicas del V en superficie y en profundidad.	93
Figura 48: Diagrama de burbujas y contornos de Ag-Cu-Au.....	94
Figura 49: Diagrama de burbujas y contornos de Cu-Zn-Au.	94
Figura 50: Diagrama de burbujas y contorno As-Ag-Au.	95
Figura 51: Diagrama de burbujas y contorno Zn-Ag-Au.	95



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

SIGLAS

AMS	: Analytica Mineral Services S.A.C
EPP	: Equipo de protección personal
FIGIM.	: Facultad de Ingeniería Geológica y Metalúrgica
INGEMMET	: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico
LID	: Límite Inferior de Detección
LSD	: Límite Superior de Detección
MEB	: Microscopia Electrónico Barrido
LN	: Logaritmo natural
UEA	: Unidad Económica Administrativa

UNIDADES DE MEDIDA

cm	: Centímetro
m	: Metros
Km	: Kilometro
m.s.n.m.	: Metros sobre el nivel del mar
gr/t	: Gramos por tonelada
ppm	: Partes por millón
%	: Porcentaje

SÍMBOLOS DE ELEMENTOS QUÍMICOS

Al	: Aluminio
As	: Arsénico
Au	: Oro
Ba	: Bario
Be	: Berilio
Bi	: Bismuto
Cd	: Cadmio
Co	: Cobalto
Cr	: Cromo
Fe	: Hierro
Ga	: Galio
K	: Potasio
La	: Lantano
Mg	: Magnesio
Mn	: Manganeso
Mo	: Molibdeno
Na	: Sodio
Nb	: Niobio
Ni	: Níquel
P	: Fosforo
Pb	: Plomo
S	: Azufre
Sb	: Antimonio
Sc	: Escandio



Sn	:	Estaño
Sr	:	Estroncio
Ti	:	Titanio
Tl	:	Talio
V	:	Vanadio
W	:	Tungsteno
Y	:	Itrio
Zn	:	Zinc
Zr	:	Zirconio



RESUMEN

La Mina Orión se ubica en el distrito de Atiquipa y Yauca, provincia de Caraveli, en el Departamento de Arequipa. Esta mina se caracteriza por presentar mineralización de Oro en vetas de tipo rosario con orientación predominante Nor Oeste - Sur Este, las cuales pueden alcanzar hasta los 400m de longitud y profundizar 100m; sus espesores van desde los pocos centímetros hasta 1.5m. El objetivo de esta investigación fue caracterizar 24 estructuras mineralizadas en superficie y profundidad, con 140 muestras, aplicando metodologías estadísticas relacionadas a la geoquímica. Los resultados para muestras superficiales fueron correlación moderada y baja de Bi, Ag, Fe, As, V, P, Mo, Cu, Ti y W, con el Au. En profundidad tenemos alta, moderada y baja correlación del Au con los siguientes elementos Ag, Bi, Cr, S, Cu, Sb, Pb y As. Según la comparación de anomalías en superficie y profundidad se obtuvo incremento de umbrales de Au (15.80 a 26.96ppm); Ag (5.73 a 13.95ppm); As (306.13-547.19ppm); Bi (16.01-36.47ppm); Cr (72.54-209.44ppm); Cu (15.25-28.62ppm); Fe (18.20-18.60ppm); S (7.64-15.08ppm) y Sb (23.95-24.70ppm). Los decrementos de umbrales fueron con Mo (38.34-27.05ppm); P (4.49-3.19ppm); Pb (11.76-15.27ppm); Ti (5.43-4.85ppm); V (212.50-137.53ppm) y W (23.36-17.61ppm). La evaluación multivariar en muestras de las poblaciones de superficie y profundidad mostró una relación de Ag, Cu, Zn y Fe para el incremento de Au. Las correlaciones de muestras superficiales pueden ser utilizadas en nuevos sectores de prospección y exploración cerca de la zona de estudio, las cuales deben tener geología similar.

Palabras Clave: Correlación, geoquímica, umbral, vetas.



ABSTRACT

The Orión Mine is located in the district of Atiquipa and Yauca, province of Caraveli, in the Department of Arequipa. This mine is characterized by presenting Gold mineralization in rosary-type veins with a predominantly North West - South East orientation, which can reach up to 400m and deepen 100m; its thicknesses range from a few centimeters to 1.5m. The objective of this research was to characteristics 24 mineralized structures on surface and depth, with 140 samples, applying statistical methodologies related to geochemistry. The results for surface samples were moderate and low correlation of Bi Ag, Fe, As, V, P, Mo, Cu, Ti and W, with Au. In depth we have high, moderate and low correlation of Au with the following elements Ag, Bi, Cr, S, Cu, Sb, Pb and As. According to the comparison of anomalies in surface and depth, an increase in Au thresholds was obtained (15.80 to 26.96ppm); Ag (5.73 to 13.95ppm); As (306.13-547.19ppm); Bi (16.01-36.47ppm); Cr (72.54-209.44ppm); Cu (15.25-28.62ppm); Fe (18.20-18.60ppm); S (7.64-15.08ppm) and Sb (23.95-24.70ppm). The threshold decreases were with Mo (38.34-27.05ppm); P (4.49-3.19ppm); Pb (11.76-15.27ppm); Ti (5.43-4.85ppm); V (212.50-137.53ppm) and W (23.36-17.61ppm). The multivariial evaluation in samples of the surface and depth populations showed a relationship of Ag, Cu, Zn and Fe for the increase of Au. These results can be used in new exploration sectors in the study area and in areas with similar geology; therefore U.E.A. Orion becomes a deposit with a geochemistry of Ag, Cu, Zn and Fe in relation to Au, as evidenced by its multivariial evaluation in surface and depth samples.

Keywords: *Correlation, geochemistry, threshold, veins.*



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO

La mina Orión ubicado en el cuadrángulo de Chala (32-ñ) en Arequipa tiene una extensa área de trabajos mineros y concesiones que no están exploradas, por lo que se hizo necesario hacer un estudio sobre las vetas allí existentes, esto con el objeto de determinar las características geoquímicas de la ocurrencia de Au en dichas estructuras. Las informaciones existentes en el área de estudio son muy escasos, los cuales lo hicieron empresas privadas y entidades del estado que tienen que ver con la actividad minera en nuestro país.

El trabajo de investigación geoquímica que se realizó sobre las estructuras mineralizadas y parte de roca caja en la mina Orión, sirvió para mejorar el conocimiento del potencial geológico económico, además se pudo obtener información para solucionar problemas de continuidad de la mineralización en profundidad y por ende incrementar las reservas de la mina. Asimismo, este estudio complementó los aspectos litológicos y geológico estructurales, los cuales aportan información sobre el entendimiento de la mineralización en la zona de estudio, para que estas puedan ser comparadas y relacionadas con otras áreas que tiene la empresa en concesión y que también circunscriben la mina.

Este trabajo busca complementar los estudios ya existentes de la zona de estudio, en el cual se incluye una interpretación más detallada de la geoquímica, tomando datos multielementales (35 elementos + Au). Esta información servirá para los aspectos no vistos en la documentación existente (informes y tesis) e incrementará el conocimiento sobre el comportamiento de los elementos químicos en este tipo de yacimientos, además esto puede ser utilizado por la comunidad universitaria y científica a nivel nacional.

La orientación de las vetas más importantes de la Mina Orión se encuentra en el intervalo de $N40^{\circ}-60^{\circ}W$ con buzamientos que están entre $40^{\circ}-80^{\circ} NE$; estas estructuras conforman clavos mineralizados con irregular ocurrencia de Au, por ejemplo, las estimaciones económicas hechas en el 2015 alcanzaron 14,047.00 TM con una ley de 10.26 gr Au/T, los recursos obtenidos son 24,066.00 TM con una ley de 8.12 gr Au/T.



La Mina Orión desde 1960 hasta la fecha, tiene un estimado de producción que alcanza unas 50,000 onzas de Au, en la década de los 90 según bibliografía del INGEMMET, esta producía 108 Kg de Au, la cual estaba a cargo de mineros informales. En la actualidad se explotan 75 tm/día con 10 gr/tm en promedio (Santos, 2009).

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actividad minera se tiene tres grandes procesos como son: la exploración, explotación y cierre de mina; en estos tres procesos la geoquímica juega un papel determinante, para la resolución de problemas de índole geológico, el cual repercute en los aspectos económicos de la mina. Los problemas de zonas a explorar para el incremento de reserva y vida de la mina, son temas importantes a tratar en la unidad minera; y con esta investigación se plantea resolver incógnitas sobre el acompañamiento geoquímico del Au con elementos químicos como Plata (Ag), Cobre (Cu), Arsénico (As) y otros *Pathfinders* en vetas mineralizadas, para luego ser comparadas, geológica y estadísticamente; esto servirá para la identificación de anomalías geoquímicas en nuevas zonas a explorar (concesiones aledañas de propiedad de la mina) con geología y geoquímica similar, tanto en superficie como en interior mina.

Identificación del problema: No se tiene un estudio geoquímico del lugar que nos permita determinar y correlacionar las características geoquímicas superficiales y de interior mina, para lo cual se toma en cuenta 24 estructuras mineralizadas en la Mina Orión.

Valoración del problema: La importancia de las características geoquímicas radica en su factibilidad económica y comparativa, permitiendo tomar mejores decisiones para un mejor direccionamiento en futuras labores de exploración y desarrollo dentro de la U.E.A. Orión, así también para nuevos sectores con similar geología y geoquímica.

Formulación del problema: ¿Qué características geoquímicas superficiales y en profundidad tienen las estructuras mineralizadas, en la Mina Orión?

1.3. HIPÓTESIS

El tratamiento estadístico de leyes y datos geoquímicos multielementales junto a la información geológica permitirá hallar las características geoquímicas de las estructuras



vetiformes mineralizadas y ayudan a identificar, comparar y correlacionar estructuras mineralizadas con geología similar con o sin contenido de Au.

1.4. OBJETIVO GENERAL

1.4.1. Objetivo principal

Caracterizar los elementos químicos en superficie y en profundidad de las estructuras mineralizadas con Oro, que ocurren en la Mina Orión, mediante el muestreo y tratamiento estadístico multielemental de sus vetas auríferas con lo cual se extenderá la vida de la mina y buscar nuevas zonas de exploración.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la asociación de elementos químicos que acompañan al Au en estructuras mineralizadas de superficie y profundidad.
- Comparar los elementos químicos asociados al Au en superficie y en profundidad mediante tratamiento estadístico univariado y multivariado.

1.5. ANTECEDENTES

En la zona de trabajo se hicieron varios estudios, los cuales en la mayoría de casos no tocan el tema geoquímico, pero ayudan a la comprensión de la geología que es parte fundamental para la interpretación geoquímica; así, estos estudios serán descritos en los siguientes párrafos por orden de publicación:

Chara (2017) en su tesis, Geología económica del yacimiento minero aurífero Mina Orión, Chala-Arequipa, tuvo como objetivo determinar las características litológicas, mineralógicas, estructurales y geoquímicas, para establecer la distribución espacial de las áreas mineralizadas en la concesión; en este estudio llega a la conclusión que este yacimiento, es parte de la familia de vetas auríferas mesotermales de la franja costera del batolito de la costa, los cuales están relacionados con intrusivos del cretácico superior, para las condiciones de exploración y explotación. Indica también que para la parte geoquímica se recolectaron un total de 673 muestras superficiales para análisis geoquímico multielemental, empleando el método de muestreo por canales en las vetas identificadas y que algunas de estas estructuras actualmente no vienen siendo tomadas como interés económico.



Aranda (2015) en su trabajo Evaluación geomecánica para el diseño de una labor de exploración, al sistema de vetas de la Mina Orión Chala Arequipa, tuvo como objetivo hacer una descripción y análisis de las condiciones geo-mecánicas del macizo rocoso para el desarrollo de una labor de exploración y llegar a explotar el sistema de vetas de la mina Orión, se plantea como conclusión una labor independiente a las vetas para su explotación. En su caracterización del yacimiento, indica que la mineralización está dividida en dos sectores, uno secundario de óxidos - mixtos de hierro (hematita, jarosita y goethita) de entre 200 a 400 metros de profundidad y otra de sulfuros primarios con ensamble de pirita, calcopirita, magnetita y covelita. Formando el depósito tipo stockwork y vetas meso-termales con potencia 0.2 a 1 m cortados por diques ande-síticos.

Santos (2009) en su tesis, Controles geológicos estructurales de la mineralización aurífera en el sistema de vetas de la mina Orión, Chala – Arequipa, tuvo como objetivo analizar la geología estructural y su relación con la mineralización en vetas; llegó a determinar cuatro fases de deformación relacionadas a procesos tectónicos desde la orogenia Mochica y todo el ciclo andino. Indica también que las estructuras mineralizadas forman concentraciones o “clavos” irregulares con mineralización económica de 0.3 a 1.5 m de ancho y de 50 a 100 m de profundidades conocidas hasta ahora que se alinean en “rosario” hasta 400 m de longitud, a veces en estructura sigmoidal. La mineralización está conformada por un intenso relleno de cuarzo – sericita, pirita, pirrotita, calcopirita, covelita y magnetita con concentraciones de Au, la parte superficial muestra un ensamble de hematita – goethita – jarosita. El oro se encuentra relacionado genéticamente a las fases finales de los intrusivos de la súper unidad Tiabaya.

Loaysa, et. al (2008) en el boletín Mineralización y explotación minera artesanal en la costa sur media del Perú, el cual fue hecho para adicionar información en la actividad minera a pequeña escala y una de las conclusiones fue que los depósitos enmarcados en estos sectores están relacionado a vetas cuarzo-oro, las cuales provienen de fuentes magmáticas. Indican también que hay seis estructuras mineralizadas que se emplazan en una superficie de 2km, la principal es la veta Francia con rumbo N54°O, buzamiento 76°NE y potencia variable entre 0.50 y 1.50m otras vetas son Francia Alta, Ana María, Bonanza, Orión y Ana María 2. La zona de oxidación alcanza una profundidad hasta de 100 m y presenta hematita secundaria, crisocola, limonita, oro nativo residual (primario)



y minerales hipógenos parcialmente oxidados. Se observan inclusiones de oro nativo en la limonita y hematita supérgena.

Acosta et al (2006) en la, Memoria sobre la geología económica de la Región Arequipa, propone este documento como parte de un medio de consulta con la integración de base de datos actualizados para los gobernantes e inversionistas interesados. En este documento que circunscribe la zona de estudio y menciona que la profundización de estas vetas es lo más interesante, hacia Nazca-Palpa regularmente tienen entre 100 y 200 m. más hacia el sur, en Chala, y Orión las vetas alcanzan 400 m de profundidad. Sin embargo, no hay estudios específicos de detalle que vinculen la mineralización a las superunidades, salvo en Mina Orión. Además, en algunos casos, estas vetas forman parte de un distrito minero y, al menos en el caso de Mina Orión, el centro del mismo es un pórfido de Cu no económico. En el Cretáceo superior los depósitos más importantes son el Au mesotermal entre Palpa y Nazca (Saramarca y Huarangillo) y más al sur en Chala, Orión y Caravelí las vetas de Ishihuinca, Calpa, Posco, San Juan de Chorunga.

Olchanski (1980) a través del instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) publican la Geología de los cuadrángulos de Jaqui, Coracora, Chala y Chaparra, Boletín N° 34. Este documento caracteriza geológicamente y de manera regional la zona de estudio e indica que, dentro de los depósitos de valor económico, ha sido el oro el que mayores beneficios ha brindado a la provincia de Caravelí. Los yacimientos se trabajaron en gran escala hace dos décadas, tales como las minas de Calpa, La Capitana, El Convento, San Juan y Santa Rosa, los que tuvieron un gran auge. En la actualidad la mina María Auxiliadora, situada en la quebrada de La María (cuadrángulo de Chala) es la única del área de estudio que es explotada por oro.

1.6. JUSTIFICACIÓN

El principal motivo de esta tesis es realizar un estudio geoquímico de la mina, para tener una visión más amplia del tipo de yacimiento y correlación de elementos químicos que existen en superficie y profundidad. El resultado de las investigaciones en cuanto respecta a la geoquímica del yacimiento aurífero Orión, contribuirá en el desarrollo de las actividades mineras de la empresa Analytica Mineral Services S.A.C. Además, estos resultados podrán ser utilizados para futuras actividades de exploración en áreas circundantes (concesiones aledañas a la mina) o con geología similar. También serán



expuestos en su debida oportunidad en las actividades académicas de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. LA GEOQUÍMICA Y SUS PRINCIPIOS ESTADÍSTICOS

La geoquímica es la ciencia que utiliza las herramientas y los principios de la química y de la geología para explicar los mecanismos detrás de los principales sistemas geológicos como la corteza terrestre y sus océanos. El reino de la geoquímica se ha extendido más allá de la Tierra, abarcando todo el sistema solar y ha hecho importantes contribuciones a la comprensión de una serie de procesos que incluyen la convección del manto, la formación de planetas y los orígenes del granito y del basalto (Francis A. 2007)

Estudia la composición y dinámica de los elementos químicos en la Tierra, determinando su abundancia absoluta y relativa y su distribución. También estudia la migración de esos elementos entre las diferentes geósferas, litósfera, hidrósfera, atmósfera y biósfera, utilizando como principales evidencias las transformaciones de las rocas y de los minerales que componen la corteza terrestre, con el propósito de establecer leyes sobre las que se base su distribución. (Francis A. 2007)

2.1.1. Exploración geoquímica

La exploración geoquímica utiliza las características químicas de los elementos naturales en las proximidades de un depósito mineral normalmente diferente a aquellos constituyentes similares. Estas diferencias son detectadas por mediciones sistemáticas de la concentración individual o grupos de elementos, compuestos y/o propiedades químicas de un material que naturalmente ocurren. El material seleccionado para el análisis dependerá del ambiente local, pero podría incluir rocas, gossan, suelos, sedimentos de arroyos, sedimentos glaciales, aguas superficiales, aguas subterráneas, vegetación o gas de suelo. (Hartman, 1987).

Aunque los programas de exploración geoquímica involucran muchos de los principios básicos de la ciencia geoquímica, ellos abarcan un rango más amplio de necesidades y actividades prácticas que debe tenerse en cuenta. Un programa geoquímico propiamente dicho comprende varias fases sucesivas e interdependientes como: Diseño, planeamiento, cada uno de ellos es totalmente dependiente de los precedentes. Los problemas en uno

afectarán negativamente a todas las fases siguientes, cada fase es esencial y todas deben de tener algo grado de cuidado y atención (Lloyd et al, 1998).

2.1.2. Agrupación geoquímica de elementos

Goldschmidt (1937) compiló los datos sobre la distribución de los elementos químicos en materias naturales y artificiales, reconoció asociaciones elementales según la clase de material y formalizó el concepto de afinidad de los elementos químicos de las fases fundamentales que componen la Tierra.

Tabla 1: Afinidad de elementos de las fases principales que componen la Tierra.

Fase Siderófila Fe, Ni, Co, Ru, Rh, Pd, Re, Os, Ir, Pt, Au, Ge, Sn, Sb, (Pb), C, (As), P, Mo, W, (Nb), Ta, Se, Te, Cu, Ga.	Son aquellos que no combinan cuando están en estado metálico y son ricos en electrones libres. Elementos asociados de preferencia con el hierro metálico.
Fase Calcófila (O), S, Se, Te, Fe, Cr, (Ni), (Co), Cu, Zn, Cd, Pb, Sn, Ge, Mo, As, Sb, Bi, Ag, (Au), Hg, Ru, (Pt), (Rh), Ga, In, Tl, (Pd)	Son aquellos que tienden a formar enlaces covalentes y frecuentemente se unen al azufre en los sulfuros. Elementos que prefieren asociarse al azufre.
Fase Litófila O, (S), (P), (H), (C), Si, Ti, Zr, Hf, Th, Li, Na, K, Rb, Cs, F, Cl, Br, I, B, Al, (Ga), Sc, Y, TR (La-Lu), Be, Mg, Ca, Sr, Ba, (Fe), V, Cr, Mn, Nb, Ta, W, U, (Ti), (Ge), (Zn), (N)	Son aquellos que tienden a formar enlaces iónicos por lo general en los silicatos. Elementos asociados de preferencia al oxígeno y que, por consiguiente, forman parte de los silicatos.

Fuente: (Vásquez, 2009).

2.1.3. Ambiente geoquímico

Las variables que condicionan la dispersión de los iones metálicos en un ambiente geoquímico son: la presión, la temperatura y la disponibilidad de los elementos químicos en la naturaleza, los cuales determinan que las fases químicas sean estables en cualquier circunstancia (Rivera 2007); es así que el ambiente geoquímico puede dividirse en:

Ambiente geoquímico primario

Está caracterizado por condiciones de confinamiento (profundidad), altas presiones y temperaturas, circulación restringida de fluidos y bajo contenido de oxígeno libre. Este ambiente está preservado en las rocas ígneas, metamórficas o de origen hidrotermal que ahora están expuestas en la superficie.



Ambiente geoquímico secundario

Es el ambiente de la meteorización, erosión, transporte y sedimentación en la superficie de la Tierra y de la formación de suelos caracterizado por las bajas temperaturas y presiones casi constantes, circulación libre de fluidos y la presencia abundante de agua, oxígeno libre y existencia de otros gases en la atmósfera resultantes de la contaminación.

2.1.4. Dispersión geoquímica

Dispersión primaria. Está caracterizada por factores con altas presiones y temperaturas cuyos productos quedan preservados en rocas ígneas y metamórficas, en algunos casos en la actividad hidrotermal.

Dispersión secundaria. Son las condiciones prevalecientes en la superficie terrestre el cual consiste en bajas temperatura y presiones, los productos de este tipo de dispersión pueden alcanzar grandes distancias del punto de origen.

2.1.5. Movilidad de los elementos

La movilidad es la facilidad con la cual el elemento se puede mover en cualquier ambiente. La movilidad depende de dos factores de la fase móvil: Mecánicas, que entiende como la viscosidad de los magmas y soluciones, tamaño, forma y densidad del agua; y las Químicas que se da como la variación de las condiciones del ambiente (temperatura y presión), Rivera (2007).

La dispersión geoquímica se produce siempre, gracias a la existencia de un agente movilizador o de transporte, como soluciones acuosas, agentes “volátiles” y otros, que encuentran la posibilidad de tomar la “carga” de un “ambiente de movilización”, transportarla espacialmente hasta un “ambiente de dispersión” donde por alguna causa de carácter físico y/o físico - química, deposita total o parcialmente parte de la “carga” movilizadora (Zapana, 2012).

2.1.6. Asociación de elementos

Generalmente el principal constituyente de un mineral son los elementos químicos, estos tienden a asociarse por factores químicos endógenos; pero ya en superficie estos también se asocian de acuerdo a factores geológicos, como, por ejemplo: el cobre puede estar



presente en suelos, rocas y sedimentos; entonces este elemento está condicionado a un elemento indicador.

Algunos pares o grupos de elementos consistentemente muestran una estrecha asociación indiferente al ambiente en el cual ellos ocurren. En muchos casos, esto es debido a que el elemento menos abundante sustituye libremente en la red del cristal formado por el elemento más abundante. El conocimiento de las asociaciones geoquímicas lleva al concepto de elementos indicadores o *Pathfinder* (Sacsi, 2016).

- Elemento indicador (*Target*).
- Elemento explorador (*Pathfinder*).

Estos elementos se usan como guías indicadores en la búsqueda de yacimientos metálicos cubiertos, los cuales pueden ser detectados más fácilmente por elementos que se asocian al elemento buscado.

También es posible que los elementos *Pathfinder* se dispersen más lejos del yacimiento que los elementos principales. Los elementos *Pathfinder* pueden ser los componentes principales o los componentes accesorios y que pueden ocurrir en la ganga y/o en la mena.

Algunos elementos tienden a ocurrir juntos en ciertas condiciones. Esta tendencia resulta como una manifestación de movilidad de un elemento relativo similar. La movilidad de un elemento puede variar en función de los cambios del ambiente, de modo que, existen asociaciones geoquímicas que corresponden a un ambiente particular.

Podemos distinguir:

- Elementos que muestran asociaciones características en cualquier condición geológica.
- Elementos que son característicos de rocas ígneas particulares, de rocas sedimentarias y ciertas menas.
- Elementos que pueden viajar juntos durante los procesos ígneos y metamórficos, pero que pueden separarse durante el ciclo de meteorización. Este último normalmente ocurre en ambientes superficiales.

Tabla 2: Elementos con afinidad geoquímica y elementos guías asociados, usados en exploración de depósitos.

Categoría de depósito	Componentes mayores	Elementos asociados
Depósitos Magmáticos		
Depósitos de Cromita (Bushveld)	Cr	Ni, Fe, Mg
Magnetita en Estratos (Bushveld)	Fe	V, Ti, P
Sulfuros de Cu-Ni inmiscibles	Cu, Ni, S	PGE, Co, As, Au
Óxidos de Fe-Ti inmiscibles (Lago Allard)	Fe, Ti	P
PGE-Ni-Cu en intrusiones estratificadas	PGE, Ni, Cu	Sr, Co, S
Carbonatitas con Nb-Ta (Oka)	Nb, Ta	Na, Zr, P
Pegmatitas con REE	Be, Li, Cs, Rb	B, U, Th, REE
Depósitos Hidrotermales:		
Pórfidos Cupríferos (Bingham)	Cu, S	Mo, Au, Ag, Cu, Zn
Pórfidos Molibdeníferos (Clímax)	Mo, S	W, Sn, F, Cu
Skarn con Magnetita (Iron Springs)	Fe	Cu, Co, S
Skarn con Cu (Yerington)	Cu, Fe, S	Au, Ag
Skarn con Pb-Zn (Hanover)	Pb, Zn, S	Cu, Co
Skarn con W, Sn y Mo (Bishop)	W, Mo, Sn	F, S, Cu, Be, Bi
Venas con metales base	Pb, Zn, Cu, S	Ag, Au, As, Sb, Mn
Greisens con Sn – W	Sn, W	Cu, Mo, Bi, Li, F, B
Venas con Sulfuros de Sn	Sn, S	Cu, Pb, Zn, Ag, Sb
Venas con Co, Ni y Ag (Cobalt)	Co, Ni, Ag, S	As, Sb, Bi, U
Metales Preciosos Epitermales	Au, Ag	Sb, As, Hg, S, Cu
Metales Preciosos en rocas sedimentarias (Carlin)	Ag, Ag	As, Sb, Hg, W
Venas con Au (Archaen)	Au	As, Sb, W
Mercurio	Hg, S	Sb, As
Venas Con U en Granitos	U	Mo, Pb, F
Uranio asociado a Disconformidades	U	Ni, Se, Au, Pd, As
Cobre en Basaltos (Tipo Lago Superior)	Cu	Ag, As, S
Sulfuros Masivos con Cu asociados a Vulcanitas	Cu, S	Zn, Au
Sulfuros Masivos con Zn-Cu-Pb asociado a Vulcanitas	Zn, Pb, Cu, S	Ag, Ba, Au, As
Formaciones de Fe con Au – As	Au, As, S	Sb
Valle del Misisipi con Pb-Zn	Zn, Pb, S	Ba, F, Cd, Cu, Ni
Uranio en Areniscas	F	Ba, Pb, Zn
Cobre en Capas Rojas	U	Se, Mo, V, Cu, Pb
Valle del Misisipi con Fluorita	Cu, S	Ag, Pb
Depósitos Tipos Sedimentarios:		
Cobre en Arcillas (Kuperschiefer)	Cu, S	Ag, Zn, Pb, Cd, Ni
Cobre en Areniscas	Cu, S	Ag, Co, Ni
Uranio en Calcáreos	U	V

Fuente: (Rose, A.W., Hawkes, H.E. and Webb, J.S., 1979 en Hurtado, 2002).

Tabla 3: Elementos indicadores y exploradores de algunos tipos de depósitos.

Asociación De Menas	Elemento Indicador	Elemento Explorador
Pórfido cuprífero	Cu, Mo	Zn, Au, Re, Ag, As, F
Depósitos complejos de sulfuros	Zn, Cu, Ag, Au	Hg, As, S (en forma de SO ₄), Sb, Se, Cd, Ba, F, Bi
Vetas de metales preciosos	Au, Ag	As, Sb, Te, Mn, Hg, I, F, Bi, Co, Se, Ti
Depósitos del tipo "Skarn"	Mo, Zn, Cu	B, Au, Ag, Fe, Be
Uranio en areniscas	U	Se, Mo, V, Rn, He, Cu, Pb
Uranio en vetas	U	Cu, Bi, As, Co, Mo, Ni, Pb, F
Cuerpos ultramáficos de Oro	Pt, Cr, Ni	Cu, Co, Pd
Vetas de fluorita	F	Y, Zn, Rb, Hg, Ba

Fuente: Modificado de (Hurtado, 2002).

2.1.7. Distribución geoquímica

Ciertas rocas tienen elementos característicos o tienen una concentración típica de un elemento. Esto significa que debe existir una relación entre la geología y la dispersión de los elementos de modo que podemos deducir la distribución de los elementos químicos en las unidades geológicas. A esta distribución se le puede considerar como topografía o relieve geoquímico, demostrado por isoclinas de distribución geoquímica, las cuales nos indicarán donde hay mayor abundancia de un elemento sobre la superficie estudiada luego de realizar el análisis estadístico y la prospección geoquímica de la zona (Cueva, 2017).

2.2. MUESTREO GEOQUÍMICO

En geoquímica aplicada se analizan muestras para identificar elementos, isótopos o compuestos útiles en la búsqueda de yacimientos minerales (sea de metales, de no metales o de hidrocarburos). Cada muestra es única en cuanto a la información que proporciona, además de los datos geoquímicos de la zona que representa y por su facilidad para coleccionarla, transportarla y prepararla para su análisis en el laboratorio (Blanco, 1984)

Influyen en la selección de muestras los objetivos del proyecto, sean estos de reconocimiento (estudio regional), de seguimiento o de detalle (estudio local), y la clase de mineralización que se busca, posible tamaño, forma geométrica y orientación espacial.

El procesamiento de datos geoquímicos mediante una estadística básica va a complementar y terminar de indicar las desviaciones generalmente positivas. Estos procedimientos estadísticos deben servir sólo de guía en la evaluación científica junto con las estimaciones visuales de mapas geoquímicos. Y por supuesto, de importancia

fundamental es el conocimiento de la geología y la mineralización en la zona de exploración, no solamente proveniente de estudios ya hechos sino también de las observaciones y descripciones en el campo realizadas por el geólogo geoquímico a cargo del muestreo (Blanco, 1984).

Con el propósito de remarcar la importancia de esta operación, a veces soslayada involuntariamente, el presente trabajo hace perseverancia, en la obligatoriedad de elegir un sistema de muestreo que cumpla con los requisitos mínimos de exactitud, rapidez y bajo costo, de tal modo que la relación de muestreo - análisis - interpretación, que necesariamente debe existir en un trabajo de prospección geoquímica, sea la que conduzca a conclusiones lógicas y confiables, partiendo de los resultados analíticos y de los datos de la geología de campo correspondientes al material natural que se ha usado como muestra. Además, se describe en forma resumida un sistema rígido de muestreo, aplicado actualmente con mucho éxito y finalmente, se detalla el tratamiento posterior de las muestras (Blanco, 1984).

Tabla 4: Muestras de la prospección Geoquímica.

Geoquímica	Tipo de muestra
DISPERSIÓN PRIMARIA	Roca madre fresca. Roca madre alterada Minerales separados de la roca. Mena Minerales separados de la mena. Fluidos ocultos en los minerales de la roca madre o de la mena.

Fuente: Modificado de (Hurtado, 2002).

2.2.1. Importancia del muestreo geoquímico

Casi todas las decisiones que se hacen respecto de un proyecto minero, desde la exploración hasta el cierre de la mina, están basadas en valores obtenidos de material muestreado. Estas decisiones significan millones de dólares en cualquiera de las etapas del proceso minero (Pierre, 1999).

Muestra, es una parte o porción extraída de un conjunto por métodos que permiten considerarla como representativa del mismo. Muestreo: Es la acción de recoger muestras representativas de la calidad o condiciones medias de un todo o la técnica empleada en esta selección o la selección de una pequeña parte estadísticamente determinada para inferir el valor de una o varias características del conjunto (Rojas, 2021)

Población o lote: Es el conjunto completo de observaciones que deseamos estudiar. El muestreo estadístico es diferente del muestreo de minerales. En el muestreo estadístico la población está compuesta por objetos de igual peso y en el muestreo por minerales el lote está compuesto de objetos de diferentes pesos (Alfaro, 2002).

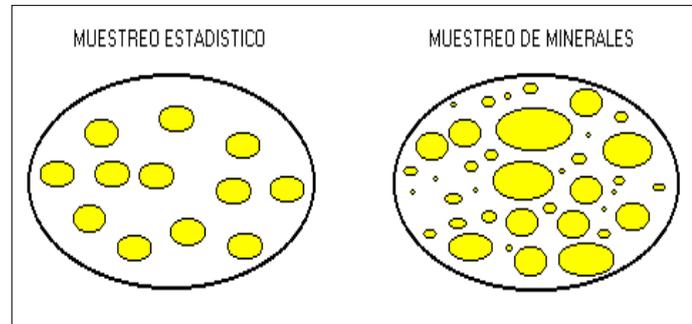


Figura 1: Muestreo estadístico y muestreo de minerales. Alfaro (2002).

2.2.2. Metodología de toma de muestra

Para plasmar bien la definición inicial del muestreo, se debe cumplir que el muestreo debe ser equiprobable. En el caso de los minerales, el muestreo de un lote compuesto de “n” fragmentos es equiprobable, cuando todas las combinaciones de “n” fragmentos tienen la misma probabilidad de ser elegidos para la constitución de la muestra. Así la teoría moderna del muestreo de minerales, indica que cuando la condición de equiprobabilidad no se cumple, se tiene más bien un ejemplar de una muestra (Pierre, 1999).

2.2.3. Métodos de muestreo

Este muestreo se hace siguiendo las pautas determinadas por dos clases generales, que están de acuerdo al modelo diseñado empleado. Según Zapana (2012) se conocen diversas técnicas o métodos para la toma de muestras, cada una de ellas debe adecuarse a las características geológicas y al tipo de investigación, los muestreos utilizados en el presente trabajo de prospección geoquímica son los siguientes:

Muestreo por canales. - Es un proceso aplicativo generalmente en el desmuestre de estructuras mineralizadas, consiste en realizar sobre la parte expuesta del mineral una canaleta de ancho y profundidad constante, del cual se obtiene el material o muestra en una cantidad proporcional al área de la misma, de tal manera que todos los fragmentos removidos durante la apertura del canal caigan sobre la “cuna”, utilizando para ello comba y cincel. Los canales deben ubicarse transversalmente y/o perpendicularmente al



buzamiento de las estructuras mineralizadas y de los estratos, tratando de tomar la dirección de la máxima variación de mineralización. Las dimensiones del canal, respecto al largo, ancho y profundidad depende del tipo de material, dureza y sobre todo de la potencia y variabilidad de la mineralización (Zapana, 2012).

Muestreo por puntos. - Consiste en la selección de un gran número de muestras de mineral, roca útil (muestras parciales), distribuidas por el centro o por ángulos de una red de cordel tendida sobre el afloramiento, poseyendo las mallas de dicha red, formas y medidas diversas. Es decir, consiste en recoger una serie de fragmentos de roca o mineral expuestos en la superficie, utilizando mallas de forma cuadrada, rómbica o rectangular, con el objeto de tomar los fragmentos en los puntos de intersección de las mismas (Rivera, 2007).

Los fragmentos muestreados deben tener aproximadamente el mismo peso, de modo que se puede tomar siempre el mismo volumen de los diferentes puntos elegidos según el tipo de malla. Los fragmentos tomados según ese proceso se reúnen para tomar una muestra única. Por tanto, el número de puntos en una muestra determinada dependerá sobre todo del grado de uniformidad de la mineralización. Este método es utilizado en casos de yacimientos minerales que presentan una distribución homogénea de la mineralización, para el caso de prospección geoquímica el muestreo es aplicable en rocas y alteraciones que no presentan venillas y tengan sus componentes minerales uniformes (Chara, 2017).

2.3. PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

2.3.1. Medidas de tendencia central

La medida de tendencia central, parámetro de tendencia central o medida de centralización es un número situado hacia el centro de la distribución de los valores de una serie de observaciones (medidas), computado para resumir la información. Cuando se hace referencia únicamente a la posición de estos parámetros dentro de la distribución, independientemente de que esté más o menos centrada, se habla de estas medidas como medidas de posición. En este caso se incluyen también los cantiles entre estas medidas. (Spiegel, 1975)

Media Aritmética

Es la medida más popular de la tendencia central, es lo que se llama un promedio y los que los estadísticos denominan aritmética o solamente media. "la media de (n) números, es la suma de los mismos dividida entre (N)"

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + \dots + x_n}{N}$$

Media Geométrica

Es la raíz de N-ésima del producto de los datos.

$$MG = \sqrt[N]{X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_N}$$

Mediana

La mediana es una colección de datos ordenados en orden de magnitud, es el valor medio o la media aritmética de los dos valores medios.

- Si N es **impar**, la mediana es el valor que está al medio, es decir:

$$Mediana(X) = X_{\frac{N+1}{2}}$$

- Si N es **par**, la mediana es la media de los dos valores del centro, $N/2$ y $N/2+1$:

$$Mediana(X) = Media(X_{\frac{N}{2}}, X_{\frac{N}{2}+1}) = \frac{X_{\frac{N}{2}} + X_{\frac{N}{2}+1}}{2}$$

2.3.2. Medidas de dispersión

En estadística, las medidas de dispersión (también llamadas variabilidad, dispersión o propagación) es el grado en que una distribución se estira o exprime. Ejemplos comunes de medidas de dispersión estadística son la varianza, la desviación estándar y el rango intercuartil (Rivera, 2007).

Las medidas de dispersión se contrastan con la ubicación o la tendencia central, y juntas son las propiedades más utilizadas de las distribuciones.

Rango

El rango o amplitud (A_m), de un conjunto de datos es el valor mayor (V_{max}) menos el valor mínimo (V_{min}):

$$A_m = V_{max} - V_{min}$$

El intervalo de una clase es la amplitud dividida entre el número de clases.

$$\text{INTERVALO} = (V_{max} - V_{min}) / N^{\circ} \text{ clases}$$

Varianza

La varianza de un conjunto de datos viene a ser el cuadrado de la desviación estándar.

La varianza viene a ser otra medida de dispersión, la que define como el promedio o media de los cuadrados de las desviaciones de las medias respecto a su media.

$$S_X^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{x})^2}{N - 1}$$

siendo (X_1, X_2, \dots, X_N) un conjunto de datos y \bar{x} la media

Desviación estándar

Es la más confiable de las medidas de dispersión, también se le conoce como la desviación típica.

Es el parámetro más crítico necesario para establecer los valores del Background, las variaciones locales y regionales (Threshold) y las posibles y probables anomalías en una serie de valores de concentración geoquímica, la cual puede ser calculada por la ecuación (Rivera, 2007):

$$S_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \text{Media}(X))^2}{N - 1}}$$

siendo (X_1, X_2, \dots, X_N) un conjunto de datos

Donde, S es la desviación estándar, X es el valor de cada medida, $\text{Media}(X)$ es la media o promedio y N es el número de observaciones.

De acuerdo a la estadística clásica en una distribución normal sucede lo siguiente:

- 68.27% de la población tendría valores entre $(x-s)$ y $(x+s)$.
- 95.45% de la población tendría valores entre $(x-2s)$ y $(x+2s)$.
- 99.73% de la población tendría valores entre $(x-3s)$ y $(x+3s)$.
- 99.99% de la población tendría valores entre $(x-4s)$ y $(x+4s)$.

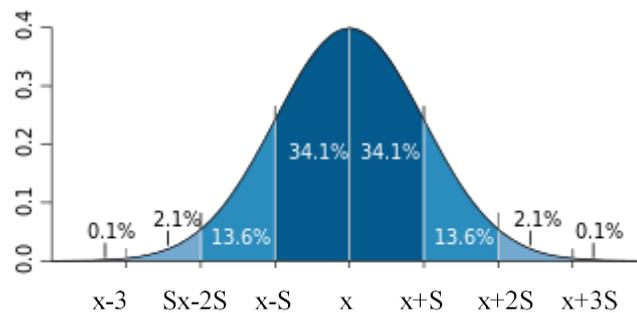


Figura 2: Gráfico que representa una distribución estadística normal.

Esto quiere decir que, en una media geoquímica de una población de 1000 muestras, 682 muestras tendrán teóricamente valores de concentración geoquímica entre el promedio más o menos una desviación estándar, puesto que en geoquímica estamos interesados en los valores positivos, 159 valores tendrán valores mayores que $x+2s$ y una sola muestra tendrá teóricamente un valor mayor que $x+3s$ (Cueva, 2017). En prospección geoquímica es más común seleccionar como *Background* el valor que corresponde a \bar{X} y como límite de las fluctuaciones local y regional (*threshold*) la cifra que corresponde a $x+2s$ (propuesta por Lepeltier) y los valores que exceden de este límite pueden ser considerados como anomalía geoquímica (Cueva, 2017).

2.3.3. Medidas de localización

Las medidas de localización dividen la distribución en partes iguales, sirven para clasificar a un individuo o elemento dentro de una determinada población o muestra.

2.3.4. Coeficientes de la forma de distribución

Coeficiente de variación

Una forma de evaluar si la desviación estándar es grande o pequeña es al compararla con la media.

$$C.V. = \frac{\sigma}{\bar{X}}$$

Además, es una regla práctica para conocer la normalidad de la distribución del elemento, entonces una población puede considerarse como Gaussiana si el coeficiente de variación es inferior a 0.5 en caso contrario indicará un carácter log normal.

Coefficiente de correlación de Pearson (r)

La correlación de Pearson se calcula en cada población a escala logarítmica, con el fin de determinar la relación que existe entre par de elementos, esto considerando en la interpretación los que muestran rasgos fuertes a muy fuertes.

Es calculado por la formula.

$$r = \frac{n \cdot \sum x_i \cdot y_i - \sum x_i \cdot \sum y_i}{\sqrt{[n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2] \cdot [n \cdot \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}}$$

El valor de r estará siempre entre -1 y 1

- 1 indica una correlación positiva perfecta
- 0 indica ninguna correlación
- -1 indica una correlación negativo perfecto

Se demuestra que el coeficiente de correlación cumple.

- Si existe una relación lineal exacta entre ambas variables y todos los puntos están en la línea $y=a+bx$ (recta de regresión), el coeficiente de correlación es igual a 1 (si $b>0$) o -1 (si $b<0$).
- Si no existe relación lineal exacta $-1<r<1$, el cual representa el grado de asociación.
- Si $r=0$, cuando no hay ninguna correlación lineal entre x e y

Cuando calculamos r con una base de datos, podemos obtener una fuerte correlación positiva o negativa meramente por casualidad, aunque en realidad no existe relación alguna entre las dos variables que consideramos (Fernández, 2017). Para los análisis geoquímicos se tiene que tener en cuenta las características geológicas y tomar a r como un indicador de afinidad. Los rangos de los coeficientes de correlación son arbitrarios y normalmente responden a criterios empíricos basados en experiencias de los geólogos en trabajos con datos geoquímicos, pero tomando en cuenta el tipo de yacimiento (ver tabla 5).

Tabla 5: Rangos de coeficiente de correlación.

Rangos de coeficiente de correlación.

0 – 0.25	Muy mala correlación
0.25 – 0.50	Mala correlación
0.50– 0.75	Regular
0.75 – 0.9	Buena correlación
>0.9	Muy buena correlación

2.3.5. Diagramas estadísticos

Histogramas

En estadística, un histograma es una representación gráfica de una variable en forma de barras, donde la superficie de cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados. Sirven para obtener una "primera vista" general, o panorama, de la distribución de la población, o de la muestra, respecto a una característica, cuantitativa y continua (como la longitud o el peso). De esta manera ofrece una visión de grupo permitiendo observar una preferencia, o tendencia, por parte de la muestra o población por ubicarse hacia una determinada región de valores dentro del espectro de valores posibles (sean infinitos o no) que pueda adquirir la característica. Así pues, podemos evidenciar comportamientos, observar el grado de homogeneidad, acuerdo o concisión entre los valores de todas las partes que componen la población o la muestra, o, en contraposición, poder observar el grado de variabilidad, y por ende, la dispersión de todos los valores que toman las partes, también es posible no evidenciar ninguna tendencia y obtener que cada miembro de la población toma por su lado y adquiere un valor de la característica aleatoriamente sin mostrar ninguna preferencia o tendencia, entre otras cosas (García, 2021).

Boxplot (Diagrama de Cajas)

También conocido como diagrama de caja y bigote o boxplot. Es un método estandarizado para representar gráficamente una serie de datos numéricos a través de sus cuartiles. De esta manera, el diagrama de caja muestra a simple vista la mediana del cual parten los cuartiles de los datos, pudiendo también representar los valores atípicos o anómalos de un conjunto de datos. (Montes, 2021)

Diagrama de contornos

Este gráfico se utiliza para observar cómo se relacionan los valores de respuesta ajustados con dos variables continuas, este diagrama proporciona una vista bidimensional en la que todos los puntos que tienen la misma respuesta se conectan para producir líneas de contorno de las respuestas constantes (Walker, 1971). Las gráficas de contorno se utilizan para establecer valores de respuesta y condiciones operativas deseables en una variable.

Una gráfica de contorno contiene los elementos siguientes:

- Predictores en los ejes X y Y.
- Líneas de contorno que conectan puntos que tienen el mismo valor de respuesta ajustada.
- Bandas de contorno de color que representan intervalos de los valores de respuesta ajustada.

El tipo de valores ajustados de respuesta depende del tipo de variable de respuesta del modelo. Una gráfica de contorno puede incluir solo dos variables continuas o más; si un modelo tiene más de dos variables continuas, entonces se mantiene constantes cada una de las variables. Por lo tanto, estas gráficas son válidas solo para niveles fijos de las variables adicionales. Si cambia los niveles fijos, también cambian los contornos, a veces, de manera drástica (Walker, 1971).

Diagrama de burbujas

Al igual que un diagrama de dispersión, los gráficos de burbujas utilizan un sistema de coordenadas cartesianas para trazar puntos a lo largo de una cuadrícula donde los ejes X e Y son variables separadas. Sin embargo, a diferencia de un gráfico de dispersión, a cada punto se le asigna una etiqueta o una categoría. Cada punto trazado representa entonces una tercera variable por el área de su círculo. El tiempo se puede mostrar ya sea por tenerlo como variable en uno de los ejes o por animar las variables de datos que cambian con el tiempo. Los gráficos de burbujas se utilizan normalmente para comparar y mostrar relaciones entre círculos etiquetados/categorizados, mediante el uso de posicionamiento y dimensiones. El cuadro general de los gráficos de burbujas puede utilizarse para analizar patrones/correlaciones. Las categorías, por su parte pueden ser presentadas por diferentes tamaños en el gráfico (Abad & Huapaya, 2009).

2.3.6. Censuramiento de datos geoquímicos.

Los datos geoquímicos son entregados por los laboratorios con límites de detección inferior (LDI) y límites de detección superior o máximo (LDS), muchas veces en los resultados de los análisis geoquímicos los valores están por debajo del límite de detección mínimo lo cual impide el tratamiento estadístico. Para esto Quintanilla (2017) propone una relación entre el número o tamaño muestra (<50 o >50) por la proporción de datos censurados que van en los siguientes intervalos, de < 50%, 50-80% y > 80, los cuales pueden ser tratados estadísticamente, de acuerdo a la tabla 06.

Tabla 6: Criterios para censuramiento de datos geoquímicos.

		Tamaño de muestra			
		< 50		>50	
Proporción datos censurados	<50%	Múltiples LD	KM	Múltiples LD	KM
			Turnbull		Turnbull
		Único LD	rRos	Único LD	rRos
			rMLE		rMLE
	50-80%	rRos		MLE	
		rMLE			
>80%	Proporción de observaciones no censuradas		Estimaciones de los percentiles situados por encima del % casos censurados		

Fuente: (Quintanilla B., 2017).

Donde:

LD = límite de detección.

Son métodos estadísticos para reemplazamiento de LID

KM = Kaplan-Meyer o Turnbull

MLE = máxima verosimilitud

rROS, *robust Regression on Order Statistics*

2.3.7. Test de normalidad Kolmogorov-Smirnov

Es la prueba estadística adecuada para testar la normalidad de una muestra si el número de datos es grande ($n > 30$), aunque se puede usar tanto para muestras grandes como pequeñas. También se puede usar para testar otras distribuciones como la Binomial o de Poisson. Es un test muy conservador que se aplica a variables continuas; aquí se



comprueba el nivel de significación, si es menor que 0.05 la distribución no es normal, si es mayor que 0.05 la distribución es normal. La prueba de Kolmogorov Smirnov por convención se ha asumido que se use cuando se tienen más de 50 valores (Droppelmann, 2018).

2.4. PARÁMETROS GEOQUÍMICOS

Un problema básico en cuanto a la prospección geoquímica es el determinar los parámetros geoquímicos que establecen los rangos de *background* y *Threshold*. La ausencia de detalles en el análisis de datos conlleva a forzar el resultado, como lo que ocurre en el procesamiento de datos de Ag, Sb y W que se caracterizan por tener una gran cantidad de datos por debajo del límite de detección, considerados como datos probables, (Rivera, 2007)

2.4.1. Fondo geoquímico o *background*

Se denomina así a la concentración normal de un elemento en un material terrestre. El contenido de fondo de un elemento particular es sujeto a variaciones, según la constitución de la roca u otro material terrestre en el que el elemento ocurre.

Esta concentración no es estable por eso es lógico considerara el valor de fondo como un valor medio (que puede estar dentro de un promedio, media aritmética, media geométrica, media ponderada, etc.) y no como un valor ponderado.

2.4.2. Umbral geoquímico o *thershold*

Es un parámetro geoquímico que está en función de la concentración normal más dos veces la cantidad por las que se desvían los valores de su contenido de fondo.

Desde el punto de vista nominal, sea el caso de una normal o log normal, el 95% de los valores individuales caen entre el *background* más dos veces la desviación estándar, es decir que solamente el 2.5% de la población excede el límite superior ($X+2S$), este límite superior está tomado convencionalmente como un nivel umbral (*Threshold*), encima del cual cualquier valor es considerado anómalo (Rivera, 2007).



2.4.3. Anomalías Geoquímicas

Una anomalía es una desviación con respecto al contenido normal, de modo que una anomalía geoquímica es una desviación de los valores geoquímicos que son normales para una región. Un yacimiento de minerales es una anomalía geoquímica, entonces también se puede clasificar desde el punto de vista cualitativo (Fernández 2017)

2.4.4. Ventajas del análisis estadístico

Las principales ventajas que muestra un trabajo de muestreo geoquímico mediante un análisis estadístico, son:

- El soslayado de efectos de errores casuales (muestreo y analíticos).
- La posibilidad de establecer leyes de distribución adaptables a las diversas poblaciones de datos.
- La reducción de inmensas poblaciones a sus parámetros esenciales (de tendencia central y de desviación) que los caracterizan completamente.
- La presentación y comparación de muchos grupos de datos, cualquiera sea su importancia, de manera gráfica o sintética.
- La creación de una base objetiva para la definición de anomalías (cálculo del "Umbral" para un nivel dado de probabilidad).
- El descubrimiento de rasgos sutiles que podrían escapar a las interpretaciones ordinarias.
- La estandarización de la presentación de datos.

2.4.5. Limitaciones del análisis estadístico

El tratamiento estadístico, de datos geoquímicos no debe ser aplicado ciegamente y los resultados finales deben ser siempre examinados crítica y conjuntamente con el fondo y características geológicas. Cualquier grupo de datos es susceptible a su tratamiento estadístico y es responsabilidad del intérprete evaluar la calidad de las premisas (muestras geológicas más análisis químicos), a fin de valorar correctamente la calidad y la confiabilidad de sus resultados. No es difícil calcular la precisión de un método analítico y el error en los resultados que puede ser conocido precisamente.



Los errores de muestreo son mucho más difíciles de valorar, ellos no implican errores en la selección de muestras o en los procedimientos de muestreo, pero basta la falta de representatividad de una muestra aislada. Un muestreo completo y perfectamente representativo en cada sitio es imposible en prospección geoquímica, debiéndose hacer esfuerzos para coleccionar muestras tan homogéneas como sea posible. Sin embargo, esto quedará como un importante factor de imprecisión para el futuro.

Resumiendo, el análisis estadístico de los datos es solamente un paso en la interpretación, sin perfeccionarla. El uso de la estadística debe ser siempre guiado por un conocimiento geológico, experiencia y sentido común

2.5. GEOLOGÍA REGIONAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

El batolito de la Costa está constituido por cientos de plutones individuales, agrupados en un número limitado de súper-unidades. Geográficamente está dividido a lo largo del eje del batolito en 5 grandes segmentos, caracterizado cada súper-unidad por un ensamble litológico particular (Cobbing et al., 1977b). El área de estudio se encuentra en el segmento de Arequipa, dentro del Batolito de la costa, constituido por cuerpos de algunos kilómetros cuadrados y hasta afloramientos individuales. Considerando un radio de influencia de no más de 20 km de la propiedad minera, se tienen rocas sedimentarias y volcánicas aflorando desde edades mesozoicas hasta cuaternarias.

2.5.1. Mesozoico

Volcánicos Chocolate

Está agrupado en 2 miembros, el miembro inferior denominado Chala está constituido por areniscas, conglomerados y brechas andesíticas. El miembro superior Lucmilla está compuesto principalmente por andesitas porfiríticas de color marrón, espesor \pm 2800 m. Aflora en los cuadrángulos de Chala y Chaparra (Olchanski, 1980)

Formación Guaneros

Muestra una secuencia de areniscas blancas-verdes de grano medio a grueso, intercaladas con lutitas abigarradas, limolitas y margas fosilíferas en un nivel intermedio, seguida de una columna de andesitas porfiríticas intercaladas con limolitas, brechas volcánicas con fragmentos de andesita de color verde a rojo, además se observan areniscas grises de



grano medio, lutitas gris verdosas, cuarcitas grises, brechas volcánicas y meta volcánicos, aflora en el cuadrángulo de Chala, espesor 200-1000 m. (Olchauski, 1980)

Superunidad Linga

Esta súper unidad se caracteriza por mostrar litologías bastante distinguibles como son gabros y dioritas con contenidos relativamente altos de feldespato potásico. Las rocas monzoníticas agrupadas como la súper – unidad Linga registran una edad de 97 millones de años y se asume responsable de la mineralización de Cu, Fe, Mo (Cobbing et al., 1977). Los mayores afloramientos de esta unidad se encuentran en la quebrada Linga en Arequipa, estos están restringidos al flanco oeste del batolito de la costa. Es la más variable de las súper – unidades del segmento, está conformada aproximadamente por unas 30 unidades que han sido reconocidas a detalle. La unidad Humay varia de monzogabros a cuarzo – monzonitas, la unidad Rinconada contrasta con la unidad Humay pues es más silícica migrando de un cuarzo – monzodiorita a un monzogranito.

Superunidad Tiabaya

Esta súper – unidad es la más tardía y la mayor ocurrencia en el segmento de Arequipa, dividiendo las súper – unidades Incahuasi al este y Linga en el flanco oeste del batolito. La súper unidad Tiabaya tiene una edad de emplazamiento 81 millones de años (Moore et al., 1985). La composición de la súper – unidad Tiabaya varia del rango de tonalita a monzogranito, además se han observado algunos afloramientos de granodioritas. Tiabaya presenta 2 importantes unidades que corresponden a granodioritas de hornblenda – biotita: el principal plutón más pequeño al oeste de grano medio. La relación cronología no está explicada. En menor proporción se observan facies de pórfidos granodioríticos de grano grueso (Santos, 2009).

2.5.2. Cenozoico

Formación Moquegua

Adams (1908), describió como Formación Moquegua a la serie de capas continentales, compuestas por arcillas, areniscas, conglomerados, areniscas tufáceas y tufos de color rojizo a blanco amarillento, que afloran típicamente en el valle de Moquegua y se extienden por centenas de kilómetros, tanto al Norte como al Sur de dicho valle, entre la



Cadena Costanera y el pie de la Cordillera occidental. La Formación Moquegua sobreyace, con fuerte discordancia a las rocas volcánicas del Grupo Toquepala, tal como se observa en el valle de Moquegua, así como en la parte baja de la mina Toquepala, en las inmediaciones de Ilabaya. En otras localidades fuera del cuadrángulo sobreyace a formaciones más antiguas, como es el caso de la Formación Guaneros, del Jurásico Superior y sobre la superficie erosionada de rocas intrusivas pertenecientes al batolito. Sobre la formación Moquegua se reconocen remanente de erosión de un banco de tufo blanco de 15 a 20 metros de grosor, a veces más potente, que corresponde a la formación de Huaylillas.

Formación Pisco

La Formación Pisco fue descrita por Petersen (1954), se compone de una amplia variedad de litologías incluyendo conglomerados bioclásticos y areniscas cerca del basamento, limolitas tobáceas, areniscas y horizontes de cenizas volcánicas, limolitas diatomáceas, diatomitas, fosforitas, dolomitas y pocas calizas. La unidad más gruesa de la Fm. Pisco es un miembro tobáceo que típicamente se encuentra cerca de la base de las secciones a lo largo de los valles de Río Grande y Río Ica en la parte central y sur de la cuenca. Aunque las capas de grava y piedra arenisca se intercalan a lo largo de la sección, la litología dominante es una limolita arenosa tobácea. Estos sedimentos muestran abundantes pruebas de retrabajo por corrientes y ondas, incluyendo estratificación cruzada de gran y fina escala. En el área de estudio está conformada por areniscas finas en estratos delgados, arcillitas y capas de yeso, aflora en el cuadrángulo de Chala, espesor \pm 100 m. (Olchanski, 1980).

Formación Huaylillas

Esta unidad estratigráfica fue descrita por Wilson (1963) como una secuencia volcánica compuesta principalmente por tufos y subsidiariamente por derrames lávicos ácidos de colores blanco y rosado, que cubren extensas áreas de los cuadrángulos de Pachía y Huaylillas. En la hoja de Moquegua el Volcánico de Huaylillas se presenta mayormente en el sector norte del cuadrángulo, donde sus afloramientos se hallan distribuidos a manera de pequeños parches irregulares o en forma de lenguas que cubren las superficies que quedan entre quebradas adyacentes. La solución de continuidad de dichos afloramientos indica intensa remoción de estas rocas de naturaleza relativamente blanda.



El Volcánico Huaylillas del área de Moquegua, fundamentalmente consiste de tufos dacíticos y riolíticos de colores blanco grisáceo, gris blanquecino y rosado. Estas rocas superficialmente intemperizan a pardo rojizo o pardo amarillento y destacan notablemente en el paisaje por su color y por sus farallones verticales que se forman por erosión en el contorno de sus afloramientos.

2.5.3. Unidades cuaternarias

Depósitos marinos

En esta unidad Cenozoica están contempladas las terrazas marinas del Pleistoceno, las cuales están constituidas por conglomerados, areniscas y bancos de coquina, estos afloran en los cuadrángulos de Chala y Cháparra y tienen un espesor \pm 200 m. (Olchanski, 1980). Dichas terrazas se han originado contemporáneamente a las terrazas de abrasión donde las quebradas de Lucmilla, Chala y Cháparra han servido de canales de aporte de los sedimentos depositados. Las constantes transgresiones y regresiones, y luego el levantamiento de la Costa han dado lugar a que se formen escalonadamente.

Depósitos eólicos, aluviales y fluviales

Las terrazas aluviales se encuentran localizadas en las grandes quebradas como las de Yauca, Chala, Cháparra, Lampalla y Atico, las cuales está constituidas por conglomerados, alternados con capas de arcillas y arena. Los depósitos fluviales constituyen el lecho de los actuales ríos y están formados por rodados, gravas y arenas. Dentro de los depósitos de escombros tenemos los coluviales acumulados en las laderas de los cerros y que se han originado por acción de la gravedad, así como también aquellos que han tenido lugar por efecto de los “huaycos” (Olchanski, 1980).

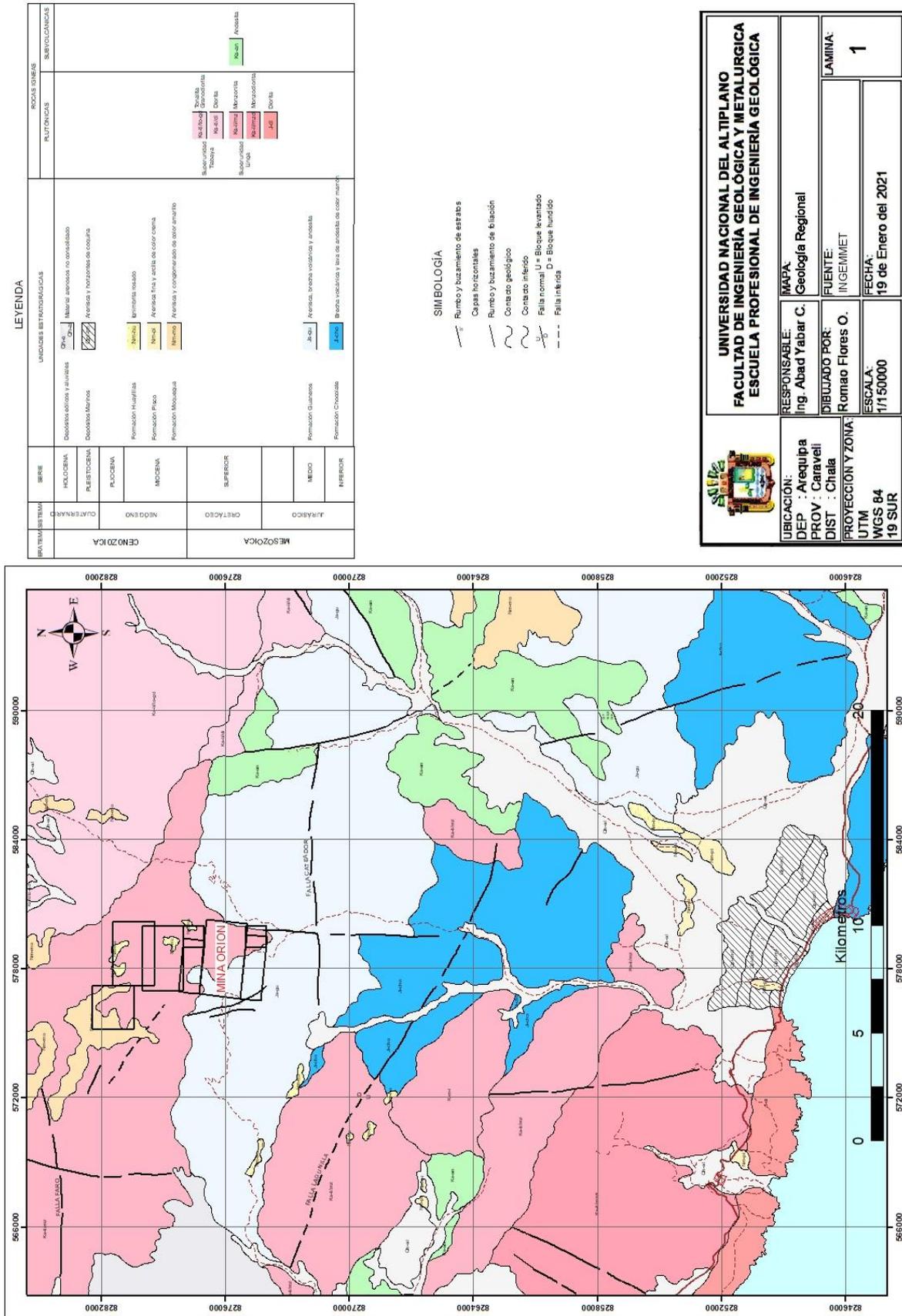


Figura 3: Mapa geológico regional y ubicación de la Mina Orion.



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES Y EQUIPOS DE ESTUDIO

Para el trabajo de investigación, se necesitó los siguientes equipos, herramientas y materiales de trabajo de campo:

Equipos:

- GPS Garmin
- Estación total Leyca Ts-09
- Cámara fotográfica
- Lámpara minera

Herramientas:

- Brújula Brunton Azimutal
- Lupa Iwamoto
- Comba 4 Lbs.
- Punta de acero o diamante
- Lapicero
- Wincha (20m)
- Picota de geólogo
- Flexómetro (5m)
- Brocha
- Escalera tipo tijera

Materiales:

- Bolsas de muestreo.
- Sacos de yute.
- Cuna de muestreo
- Códigos correlativos para rotulado
- Mochila de lona
- Pintura color azul



- Libreta de apuntes
- Plumón indeleble

3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología de trabajo hecha en esta tesis es descriptivo y cuantitativo; descriptivo por que se inició con la descripción de las características geológicas de las vetas, en donde se incluyó mineralogía que predomina en cada estructura, tipo de rocas caja y sus alteraciones asociadas, la orientación, buzamiento y espesor de la veta. Es cuantitativo pues los datos obtenidos de las muestras obtenidas de las vetas nos dan valores del contenido de elementos químicos (Au+ 35 elementos); con se pueden explicar las relaciones del Au con otros elementos químicos en superficie y profundidad.

Las etapas seguidas para esta investigación fueron divididas en cuatro; primero la etapa de gabinete inicial, segundo la etapa de campo, luego la etapa de laboratorio y finalmente gabinete final, esto se describe en los siguientes párrafos.

3.2.1. Gabinete inicial

- Compilación de información, se refiere a los trabajos como tesis, informes técnicos y boletines realizados en el área de estudio tanto de instituciones del estado (INGEMMET) y empresas privadas del contexto regional y local.
- Análisis y sistematización de la información, los datos obtenidos en formato físico (planos de labores mineras antiguas) fueron transformados a formato digital. Esta transformación se hizo para las labores horizontales y verticales, topografía de superficie y subterráneo, mapeo geológico, de alteraciones y estructural, todos estos administrados por el área de Geología de la U.E.A. Orión.
- Interpretación de imágenes satelitales para la parte del cartografiado geológico, poniendo énfasis en las vetas.
- Elaboración de la matriz de muestreo geoquímico, se elaboró un mapa de muestreo aleatorio en el cual se ploteó los puntos de muestreo con su codificación aleatoria.
- Delimitación del área de estudio, se tuvo con el apoyo de la empresa Analytica Mineral Services S.A.C, y el área de Geología, con toda la información generada con el tiempo de trabajo, se pudo delimitar de mejor manera las zonas de mayor



influencia e importancia, las vetas más importantes, litología y alteración y sus fallas principales.

3.2.2. Etapa de campo

- Cartografiado geológico a escala 1/15000, 1/10000 y 1/5000, en donde se tomó información sobre las alteraciones y tipo de roca que hospedaba la veta; luego se caracterizó las estructuras mineralizadas tomando datos de rumbo/azimut, buzamiento, longitud, espesor y mineralogía predominante. La escala de trabajo para la presentación de mapas es de 1/15000.
- Para esta fase se realizó un muestreo geoquímico se hizo por canales, para lo cual se tuvo el apoyo de personal de geología de la UEA-Orión, constando estos con un maestro muestrero y su ayudante con supervisión del geólogo de zona, donde se obtuvieron 140 muestras, siguiendo los clavos y anti clavos mineralizados como principal objetivo y zona de interés económico.
- Con las recomendaciones obtenidas de diferentes autores, se determinó que el mejor método de muestreo para las labores que se tienen en la mina U.E.A. Orión, es por canales, el muestreo principalmente se realizó de manera sistemática y para la obtención de muestras se ubicó la zona a muestrear, se lavó la labor, se delimitó las bandas de mineralización, consecuentemente se obtuvo una muestra de 4 kilos aproximadamente, para su posterior homogenización y cuarteo respectivo, es también útil mencionar que como control de calidad y para evitar la contaminación de la muestra, se utilizó una cuna de muestreo por muestra, siendo descartada inmediatamente después de su uso. (Foto de muestreo)
- Una vez obtenidas las muestras, estas fueron codificadas consecutivamente, para luego ser registradas en la libreta de apuntes, agrupando ordenadamente y empaquetando en saquillos para su posterior transporte con su respectivo memorándum a Lima, específicamente a los laboratorios de CERTIMIN S.A.
- Uno de los problemas que se tuvo en la etapa de campo fue que muchas vetas estaban cubiertas por material cuaternario lo cual retardaba la obtención de las muestras. En las labores subterráneas se tenía que tener mucho cuidado porque podían existir derrumbes por la antigüedad de las labores.



3.2.3. Etapa de laboratorio

- Los análisis químicos fueron encargados a la empresa CERTIMIN S.A., el método de análisis químico que se empleó fue el de Inducción de Plasma Acoplado por Espectrometría de Emisión Óptica (ICP-EOS), los resultados de los datos fueron remitidos a la empresa Analytica Mineral Services S.A.C. que es propietaria de la Mina Orión.
- El procedimiento de análisis químico reportado por el laboratorio, indica que las muestras sufrieron una etapa de chancado y molienda hasta que un 70% de los granos sea menor a 2 mm (malla 10). Luego, el material es pulverizado hasta que un 85% de los granos no exceda los 75 micrones en tamaño (malla 200). En este punto la muestra se divide usando un cuarteador obteniendo una muestra de 1 kg que es enviada a análisis químico.
- Luego de pulverizadas las muestras se realizó una digestión multiácida, el cual se basa en el uso de múltiples ácidos de digestión como: HCl (ácido clorhídrico), HNO₃ (ácido nítrico), HF (ácido fluorhídrico) y HClO₄ (ácido perclórico), para disolver minerales silicatados, y reconocer una amplia gama de elementos químicos.
- Los resultados de los análisis geoquímicos multielementales fueron por Au + 35 elementos dentro del cual los valores de Au, As, Cu y Fe tuvieron doble límite de detección, en especial en el LID los cuales estaban en ppb. Se hizo esto, porque estos elementos tienen relación con la ocurrencia de oro en sectores similares a nivel regional como Chaparra, Acari, Tanaca y Nazca.

3.2.4. Etapa final de gabinete

- Utilizado la información obtenida en campo y laboratorio se procedió al análisis estadístico y geoquímico, en donde se elaboró los planos de concentración geoquímica, tablas geoquímicas y gráficos explicativos sobre la tesis.
- Antes de la construcción de los mapas y tablas geoquímicas, los datos tienen que ser censurados. El Censuramiento consiste en convertir los datos que están por debajo del límite de detección inferior, en datos positivos para que sean tratados estadísticamente; existen varios métodos y dentro de ellos Quintanilla (2017) hace una síntesis de ellos y presenta una tabla, que varía en el tamaño de muestra y la proporción de datos censurados. En esta tesis se calculó el valor proporcional al 65% del dato con el límite de detección inferior. Y los elementos que tenían más



del 70% con límites de detección inferior no fueron tomados en cuenta en el análisis estadístico. Todo se hizo con el programa EXCEL 2016.

- Luego los datos sufrieron una prueba de normalidad mediante el programa MINITAB 18; con esto se comprobó que el 100% de datos no encajaban en la campana de Gauss o no eran normales y se transformó a Log Normal. Este proceso se hizo para obtener el background, threshold y correlación de Pearson, para los datos de superficie y profundidad.
- Los mapas de concentración geoquímica fueron hechos de acuerdo a las asociaciones geoquímica que se obtuvieron a partir del análisis de correlación de Pearson. Las asociaciones fueron separadas por elementos calcófilos y siderófilos, para ver su afinidad de acuerdo a un intervalo empírico, que va de afinidad baja hasta muy alta afinidad. Los datos para los mapas no sufrieron transformación a Log Normal y se utilizó el programa ARCGIS 10.2.
- Para los gráficos estadísticos univariar y multivariar (histogramas, diagrama de cajas, diagrama de contornos y de burbujas) se utilizó el programa MINITAB 18.
- Finalmente se procedió a escribir la tesis, integrando todos los datos obtenidos en esta etapa según la normatividad de la Dirección de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica y Metalúrgica (FIGIM).

CAPITULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1. UBICACIÓN

La Mina Orión se encuentra ubicada entre los distritos de Atiquipa y Yauca, provincia de Caraveli, departamento de Arequipa; la altitud que se tiene en la zona de estudio oscila en el intervalo de 1600 a 2500 m.s.n.m. La parte central de mina se encuentra entre las siguientes coordenadas UTM-WGS84 y geográficas.

Tabla 7: Coordenadas centrales de la Mina Orión.

UTM-WGS84	Este	578 500
	Norte	8 276 000
Geográficas	Latitud sur:	15°35'30".
	Longitud oeste:	74°15'50"

Las propiedades mineras (concesiones) en donde están circunscritas las estructuras mineralizadas, son las siguientes:

Tabla 8: Concesiones mineras que circunscriben la zona de trabajo.

Superficie total	1450 Hectáreas.
Tauro 1	250 Hectáreas.
Orión	700 Hectáreas.
Tauro 3	300 Hectáreas.
Últimos denuncios:	200 Hectáreas

4.2. ACCESIBILIDAD

La zona de estudio es accesible por vía terrestre, desde el distrito de Chala en el cual se toma la vía asfaltada de la panamericana sur, hasta el paraje denominado La Pampa Aguada de donde se sigue una carretera afirmada a lo largo de la quebrada Lucmilla hasta llegar a la quebrada Orión y/o Francia, la distancia de recorrido es de 40 km. Cabe decir que el distrito de Chala (desde Lima son 610 Km) es donde se concentran los centros comerciales más cercanos a la zona de investigación, y de allí uno se puede desplazar hacia el norte y sur del Perú.

Tabla 9: Accesibilidad a la zona de trabajo.

Ruta	Distancia	Tiempo	Tipo de vía
Lima - Chala	616 Km	8 horas	Asfaltada
Arequipa - Chala	396 Km	6 horas	Asfaltada
Chala – Mina Orión	40 Km	2 horas	Afirmada

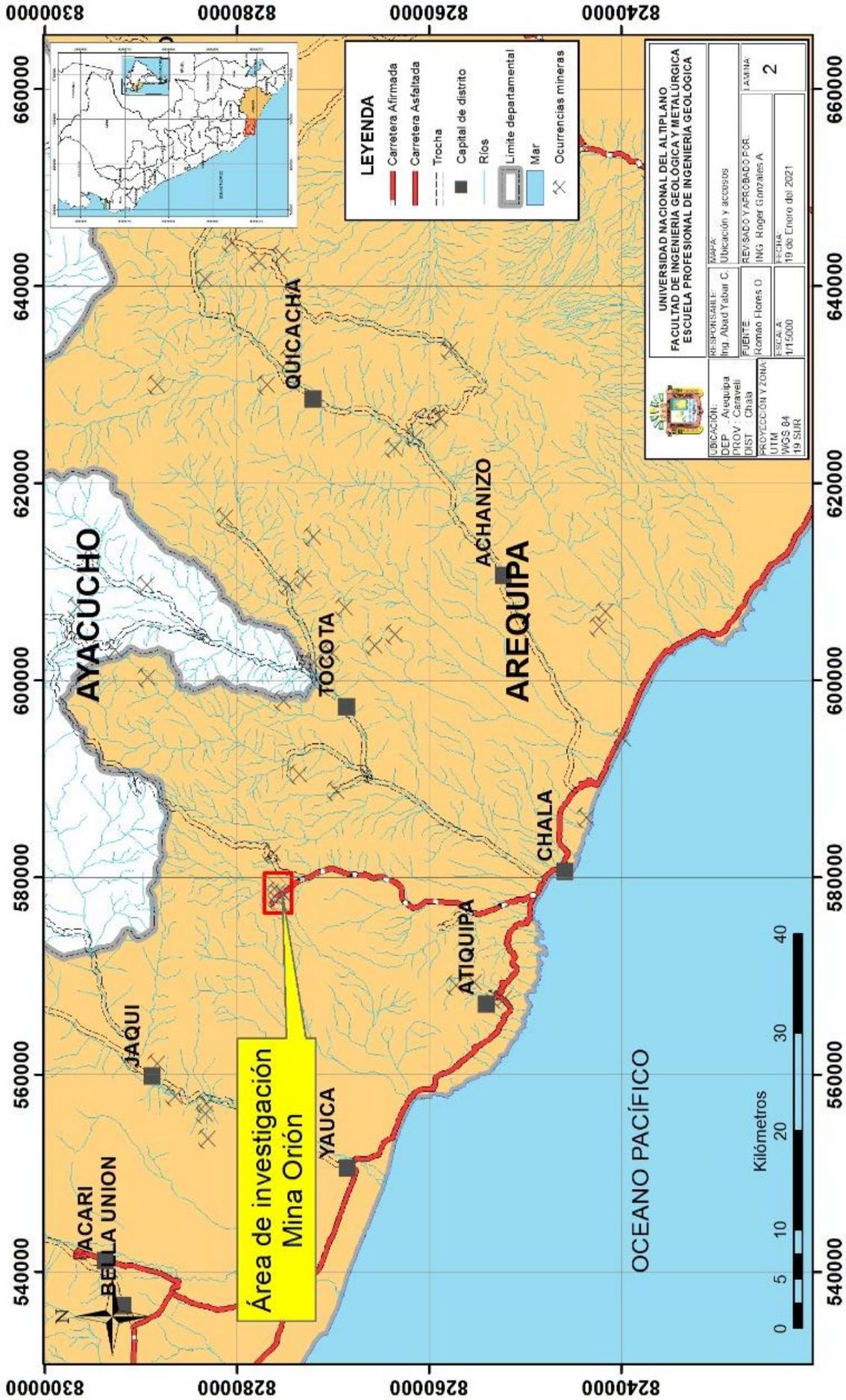


Figura 4: Mapa de ubicación de la zona de estudio.

4.3. GEOLOGÍA LOCAL

4.3.1. Estratigrafía

Unidades litológicas del Neoproterozoico, Superunidad Linga

Monzonita/monzodiorita

Este tipo litológico se observa en la zona central de la zona de estudio y presenta pequeños stock de monzodioritas leucocratas. Los colores que presenta esta roca, es gris blanquecino, compuesto por plagioclasas y feldespatos potásicos, cuyas fracturas están rellenas por hematitas, goethitas, limonitas, epidotas, cloritas y patinas de pirolusita; contienen también núcleos de sulfuros alterados a óxidos, propilitizados y silicificados por las intrusiones tardías de andesitas y andesitas porfíricas. La monzodiorita presenta plagioclasa, ortosa, hornblenda y cuarzo; en algunos casos se observa cuarzo hialino-lechoso, epidotas en venillas y en pequeñas fracturas rellenas con óxidos de hierro (ver figura 5).



Figura 5: Monzonita de la Superunidad Linga.

Unidad litológica del Jurásico inferior, Formación Chocolate

Andesitas

La zona central de la zona de estudio presenta esta litología, el cual tiene una orientación noreste y es cortada por fallas normales con similar orientación. Esta roca volcánica tiene coloración verdosa, textura microporfírica compuesta por cristales de plagioclasas y pirita diseminada; esta última dispersa en matriz afanítica conformada de cloritas y epidotas. Presenta leve magnetismo e intruye y altera a rocas de composición monzodiorita en varias zonas del área de estudio.

Unidades litológicas del Jurásico medio, Formación Guaneros

Hornfels

Los afloramientos de esta roca metamórfica se sitúan en la zona central de la zona de estudio y se elonga con dirección noroeste, se encuentra de contacto con andesitas y cuarcitas. La característica típica que se muestra esta roca es su compacidad, laminaciones y una intensa silicificación con mineralogía de epidota en pequeñas venillas y como relleno de fracturas. Presenta también cristales de cuarzo de grano fino y se evidencio entre los contactos de andesita, cuarcitas y andesita porfirítica.

Andesitas porfiríticas

Los afloramientos de esta roca volcánica se restringen al sector este de la zona de estudio, en donde se observa una extensa superficie con este tipo litológico, aquí se encuentra en contacto con andesitas afáníticas y monzonitas. Esta roca presenta coloraciones verde oscuras, contiene fenocristales de plagioclasas y hornblendas tabulares en matriz afánítica. Se encuentran también minerales producto de alteración como cloritas y epidotas en proceso de alteración y magnetismo débil; estas andesitas intruyen a dioritas y andesitas microporfiríticas (ver figura 6).



Figura 6: Andesita porfirítica y andesita afánítica de la Formación Guaneros.

Cuarcitas

Estas rocas se restringen al sector oeste de la zona de estudio y conforman parte de una secuencia volcánica y sedimentaria clástica (areniscas cuarzosas, areniscas rojizas y limolitas con cemento calcáreo). Generalmente se le encuentran en contacto con andesitas, hornfels y son cortadas por diques de composición andesita con textura porfirítica. Las cuarcitas presentan venillas rellenas por epidotas, cloritas, caolinita y



cuarzo. Los sectores en donde es cortado por diques presentan aureolas de metamorfismo de contacto, en donde se desarrolla sericita, micas y andalucita.

Unidades litológicas Cuaternarias

Morrenas

Se reconoció dos sectores en donde se observa depósitos de origen glaciar, el cual está conformado rocas de diferentes orígenes, y diferentes tamaños. Los clastos están englobados por gravas y poca arcilla.

Depósitos aluviales

Este tipo litológico se encuentra en las quebradas, el material geológico que presenta tienen formas redondeadas y con incipiente estratificación, la matriz que soporta los rodados es de arenas gruesas. Cabe decir también existen depósitos de origen coluvial y eluvial, los cuales ocurren en sectores con pendiente pronunciada y que están conformados por bloques angulosos y subangulosos con tamaños heterogéneos.

4.3.2. Geología estructural

Dentro de la zona de estudio se tienen siete estructuras principales, dentro de las cuales sitúan las estructuras mineralizadas en estudio, estas estructuras, se agruparon por su orientación y describen en los siguientes párrafos (ver figuras 8, 9, 10 y 11).

Fallas con orientaciones N-NE

Las fallas que pertenecen a este sistema son las fallas Katia, Katty, Sara y Angela, estas controlan el desplazamiento y culminación de las estructuras mineralizadas, un ejemplo del control estructural en la zona lo conforman las vetas Ruth, Yobana y Francia que tienen orientaciones (N50°-65°W) casi perpendiculares a las fallas de tipo normal con componente dextral. La falla Sara con rumbo de N60°E en conjunción con las fallas Katia y Katty controlan estructuralmente las vetas Cristina, veta C, Bonanza, Estela y Luz, el promedio de orientaciones que tienen estas vetas están en el intervalo N55°-60°W. Las fallas Margot, Zenia y Newy, ubicadas al sur de la zona de estudio controlan las vetas Indio, Yobana y Ruth, estas dos últimas desplazadas hacia el sur por la falla Ángela. Dentro de ellas las vetas Lisbeth, Margot e Indio tiene trabajos bajo superficie avanzados en donde se obtuvieron muestras que serán analizadas en los temas siguientes.

Fallas con orientaciones E-O

Este sistema de fallas de menor importancia, fueron originadas por el movimiento de las fallas principales de orientaciones N-NE, muestran rumbos de $N10^{\circ}-20^{\circ}E$ y $N50^{\circ}-60^{\circ}E$ subverticales, se reconocen trazas de unos pocos de metros hasta 300.00 metros, teniendo efectos reducidos en desplazamientos sobre las estructuras mineralizadas desde 2.00 hasta 5.00 metros.

4.3.3. Mineralización

Las características de mineralización de la zona de estudio constan de vetas mineralizadas con oro y controladas por las fallas Katy, Katia y Angela; las orientaciones de estas estructuras (vetas) van desde los $N25^{\circ}-70^{\circ}W$, sus buzamientos oscilan desde los $50^{\circ}-70^{\circ}NE$ y los cuales tienen espesores de los 0.05 m hasta los 1.5 m. La profundización de estas vetas alcanza los 400m, las alteraciones de las estructuras en su mayor parte son argílicas con roca caja propilitizada. En superficie muestran bastante oxidación de hierro los cuales tienen minerales como gohetita, hematita y jarosita, ya en profundidad la mineralogía varía a sulfuros y óxidos como calcopirita, pirita y magnetita respectivamente (ver figura 7 y 8).



Figura 7: Veta Dauphine Rb $N38^{\circ}W$ Bz $63^{\circ}NE$ ancho 0.90m con OxFe como hematita 3%, magnetita.

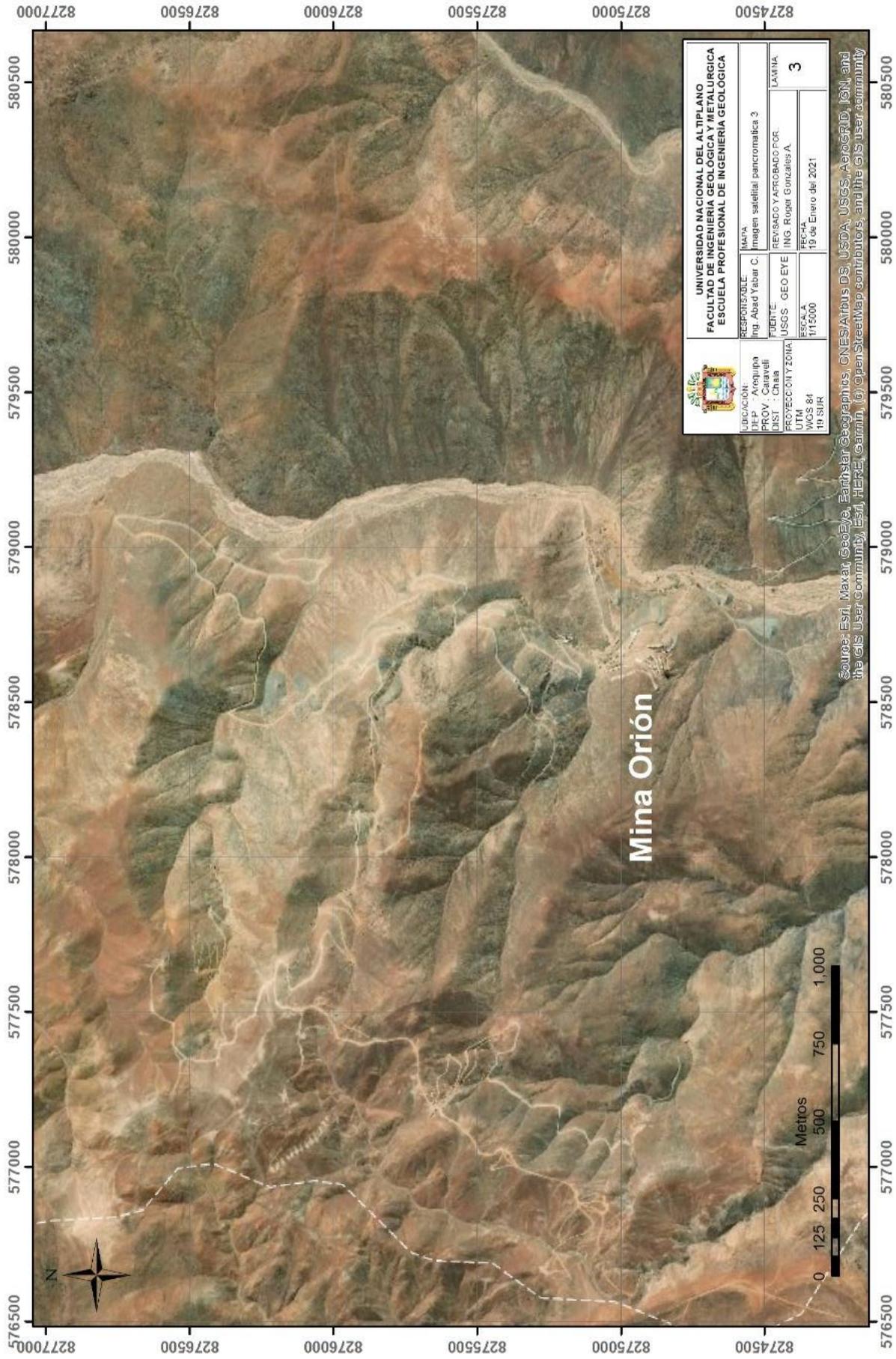


Figura 8: Imagen satelital y vetas de la zona de estudio (USGS y USDA).

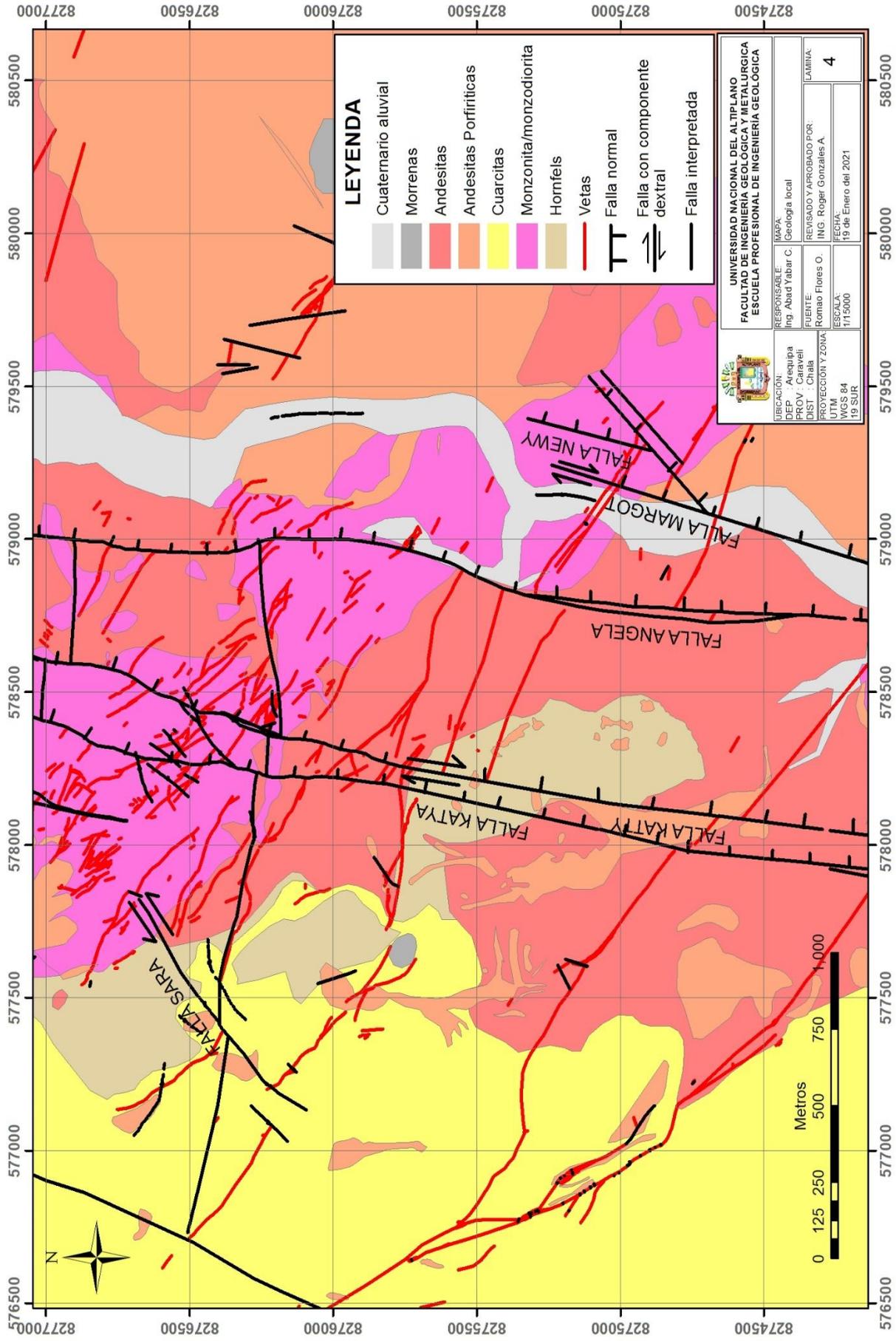


Figura 9: Mapa geológico local de la zona de estudio.

CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. DETERMINACIÓN DE LA ASOCIACIÓN DE ELEMENTOS QUÍMICOS CON ORO, EN SUPERFICIE Y PROFUNDIDAD.

5.1.1. Características geológicas de las vetas

Para este análisis se tomó las estructuras mineralizadas más representativas de la zona de estudio y que en conjunto pueden ser analizadas estadísticamente por que contienen muestras en superficie y profundidad. En el caso de las vetas Lisbeth y Marcela que no afloran en superficie, se tomaron en cuenta pues tienen muestras en profundidad que ayudaron en la interpretación estadística. A continuación, se describen las vetas con sus características geológicas más importantes.

Veta Corilazo

En superficie esta estructura tiene un rumbo de $N40^{\circ}-50^{\circ}W$, buzamiento $50^{\circ}-60^{\circ}NE$, sus potencias varían de 0.30 m a 0.70 m; se evidencia presencia de sigmoides y la estructura en su mayor parte presenta óxidos de hierro. El tipo de alteración que domina la roca caja monzonítica es argílica con intensidad moderada y de distribución pervasiva, luego le sigue la alteración propilítica con débil intensidad que está más alejada de la veta. En interior mina la estructura mantiene la misma orientación y el mismo tipo de alteración, pero su espesor se incrementa de 0.20 m hasta 0.80 m; una particularidad de esta veta es que presenta venillas de diferentes minerales (ver figura 13).

Veta Dauphine

Esta veta tiene un rumbo de $N35^{\circ}-50^{\circ}W$ y buzamiento $45^{\circ}-60^{\circ}NE$; su potencia varia de 0.50 m a 1.00 m, muestra abundante óxidos de hierro, especialmente hematita. La roca caja es una andesita que esta argilitizada con intensidad moderada y de distribución pervasiva selectiva, luego le sigue la alteración propilítica con débil intensidad. Bajo la superficie (pique) la estructura cambia de rumbo de $N35^{\circ}-50^{\circ}W$, pero mantiene su buzamiento y potencia; presenta venillas tanto en profundidad y superficie.



Veta Francia - Luz (superficie)

La estructura mineralizada tiene un rumbo de $N35^{\circ}-50^{\circ}W$, buzamiento $40^{\circ}-60^{\circ}NE$ y sus potencias son variables de 0.10 m a 0.40 m, presenta de sigmoides, con contenido de óxidos de hierro, crisocola y calcocina. La roca caja a la que corta esta veta es una andesita porfirítica, pero en su mayor parte está cubierto por depósitos cuaternarios, tiene una alteración propilítica y argílica de intensidad moderada y distribución pervasiva selectiva, en la veta la alteración en fálca. En interior mina varia el rumbo de $N30^{\circ}-55^{\circ}W$ y potencia de 0.10 m a 1.00 m; el buzamiento se mantiene constante, la mineralogía es de pirita, calcopirita y magnetita esencialmente (ver figura 10).

Veta Bonanza

La veta tiene un rumbo en superficie de $N30^{\circ}-60^{\circ}W$, buzamiento $40^{\circ}-60^{\circ}NE$ y potencias variables de 0.10 m a 0.50 m, estructura contiene óxidos de fierro y jarosita. La alteración en la roca caja de andesita porfirítica es propilítica con intensidad moderada y de distribución pervasiva selectiva; en la veta la alteración en argílica. En profundidad el rumbo se mantiene constante al igual que el buzamiento y la potencia; la mineralogía presenta pirita y cuarzo en donde los valores de oro bajan (ver figura 10).

Veta Laura

Esta estructura tiene un rumbo de $N40^{\circ}-60^{\circ}W$, su buzamiento va desde $40^{\circ}-60^{\circ}NE$ y la potencia varia de 0.10 m a 0.60 m, se evidencia presencia de óxido de hierro en superficie, la alteración en la roca caja es propilítica con intensidad moderada y distribución pervasiva selectiva; en la estructura es argílica. En profundidad (interior mina) la estructura mineralizada mantiene el rumbo y buzamiento, pero varía en espesor de 0.10 m a 0.40 m (ver figura 10).

Veta Chinchilico

Esta estructura mineralizada tiene un rumbo de $N40^{\circ}-60^{\circ}W$, buzamiento $70^{\circ}-75^{\circ}NE$, y potencias variables de 0.05 m a 0.25 m; contiene minerales como hematita, gohetita y calcita en venillas, la alteración de la roca caja es argílica con intensidad moderada y de distribución pervasiva. En interior mina se tiene un rumbo similar de la superficie, pero varía el buzamiento de $68^{\circ}-75^{\circ}NE$ y la potencia de 0.02 m a 0.05 m, se evidencia presencia de pirita diseminada (ver figura 11).



Veta Indio

La veta mantiene en superficie un rumbo de $N40^{\circ}-60^{\circ}W$, buzamiento $68^{\circ}-75^{\circ}NE$ y su potencia varía entre 0.10 m a 0.50 m, se reconoce minerales como pirrotita, epidota, clorita, calcita y óxidos de hierro en abundancia. En interior mina se observa variaciones del rumbo $N30^{\circ}-60^{\circ}W$, buzamiento $70^{\circ}-80^{\circ}NE$ y potencias de la veta (0.10 m a 0.20 m); la mineralogía presenta estructuras de pirita, calcopirita, cuarzo, pirrotita, clorita y calcita. Las alteraciones en superficie y profundidad son filica, argílica y propilítica.

Veta Lisbeth

Esta estructura mineralizada ocurre paralela a la veta Indio en profundidad y su rumbo varía de $N30^{\circ}-60^{\circ}W$, su buzamiento está entre $70^{\circ}-80^{\circ}NE$ y su potencia está entre 0.10 m a 0.20 m. La mineralogía que tiene es de pirita, caolinita, sericita, clorita y calcopirita, la alteración que muestra es argílica en sectores fracturados y propilítica.

Veta Marcela (mina)

La veta no aflora en superficie y actúa de forma paralela a la veta Indio y Lisbeth, su rumbo es de $N40^{\circ}-60^{\circ}W$, su buzamiento es de $68^{\circ}-75^{\circ}NE$ y su potencia es variable de 0.10 m a 0.20 m, se evidencia con presencia de pirita masiva, calcita, clorita y alteración argílica.

Veta Cristina (superficie)

Esta veta mantiene un rumbo de $N40^{\circ}-60^{\circ}W$, buzamiento $55^{\circ}-75^{\circ}NE$ y potencias variables de 0.10 m a 0.35 m, se evidencia presencia de hematita, jarosita, gohetita y disseminaciones de pirita. La alteración en la veta es en sectores es argílica; en la roca caja de composición monzonita es propilítica, el cual se distribuye de manera pervasiva selectiva y de intensidad moderada. En interior mina el rumbo de la veta y buzamiento se mantienen, pero el espesor disminuye de 0.10 m a 0.30 m. (ver figura 11).

La figura 10 y tabla 10 muestra la distribución de las 24 estructuras mineralizadas en la zona de estudio, de las cuales 22 vetas afloran en superficie y 2 no afloran en superficie (Lisbeth y Marcela). De estas estructuras, 10 vetas fueron utilizadas para las comparaciones en superficie y profundidad, así las vetas Lisbeth y Marcela fueron consideradas para análisis en profundidad (ver tabla 11).

Tabla 10: Distribución de muestras en sobre estructuras mineralizadas.

Ítem	Nombre de Vetas	Nro. de muestras superficie	Nro. de muestras en profundidad
1	Españolita	5	
2	Corilazo	4	2
3	Dauphine	3	1
4	Francia - Luz	9	8
5	Bonanza	2	3
6	Tauro	7	
7	Laura	9	3
8	Chinchilico	1	10
9	Indio	3	1
10	Yola	6	
11	Lisbeth		16
12	Marcela		4
13	Estela	7	
14	Yobana	2	
15	Patty - Ana María	2	
16	Burra Muerta	4	
17	Cristina	2	1
18	Despreciada	3	
19	Estephany	4	
20	Estructura	13	
21	Futuro	1	
22	Juana	1	
23	Yuli	2	
24	Zoila	1	
TOTAL 140 muestras		91	49

Tabla 11: Estructuras mineralizadas evaluadas en superficie y profundidad.

Vetas	Nro. de muestras superficie	Nro. de muestras en profundidad
Corilazo	4	2
Dauphine	3	1
Francia - Luz	9	8
Bonanza	2	3
Laura	9	3
Chinchilico	1	10
Indio	3	1
Lisbeth		16
Marcela		4
Cristina	2	1
Total	31	49



Figura 10: Veta Corilazo (superior izquierda), veta Francia Luz (superior derecha), veta Bonanza (inferior izquierda) y veta Laura (inferior derecha).



Figura 11: Veta Cristina (superior izquierda), veta Chinchilico (superior derecha), veta Españolita (inferior izquierda) y veta Estephany (inferior derecha).

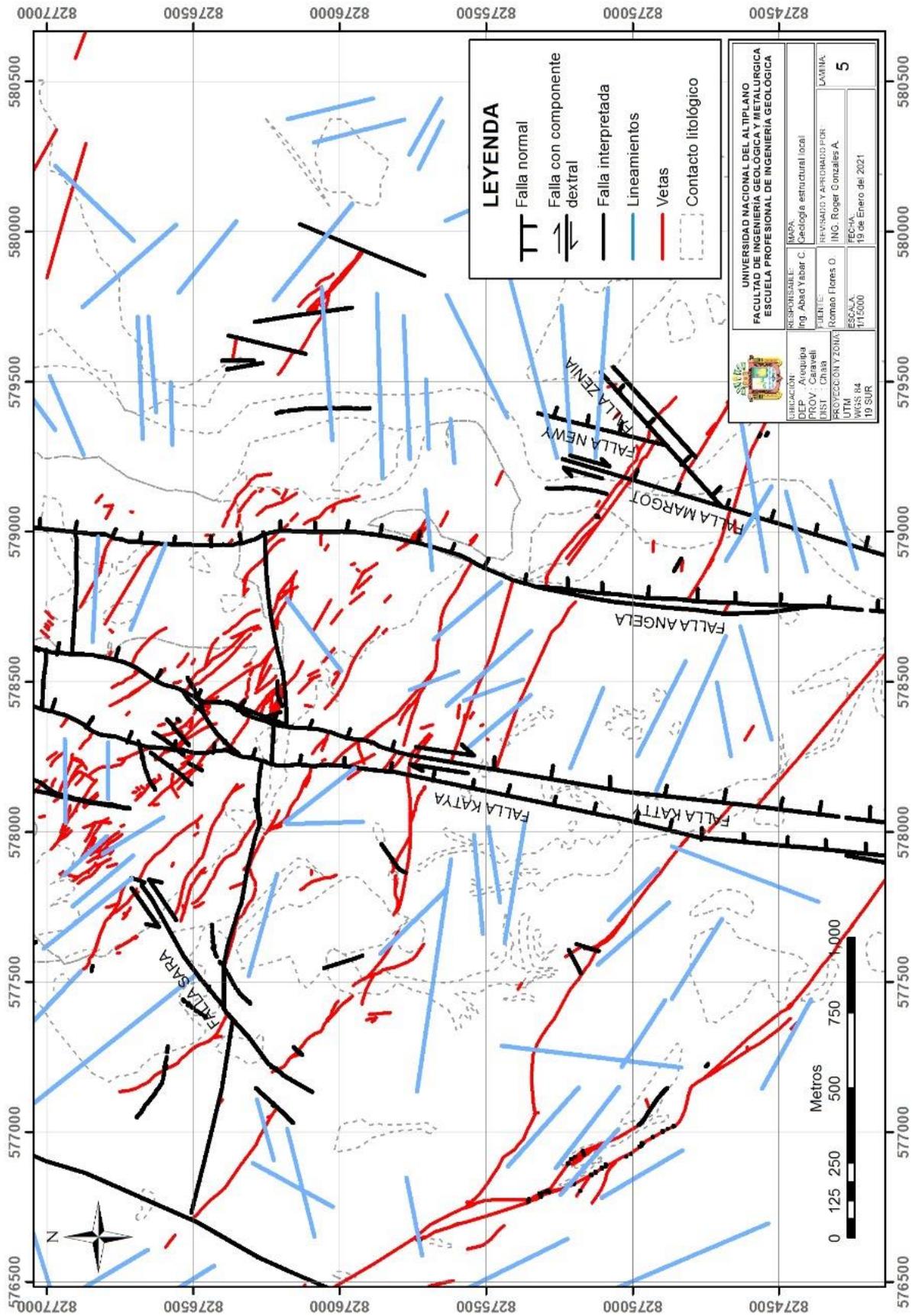


Figura 12: Mapa de estructuras mineralizadas de la zona de investigación.

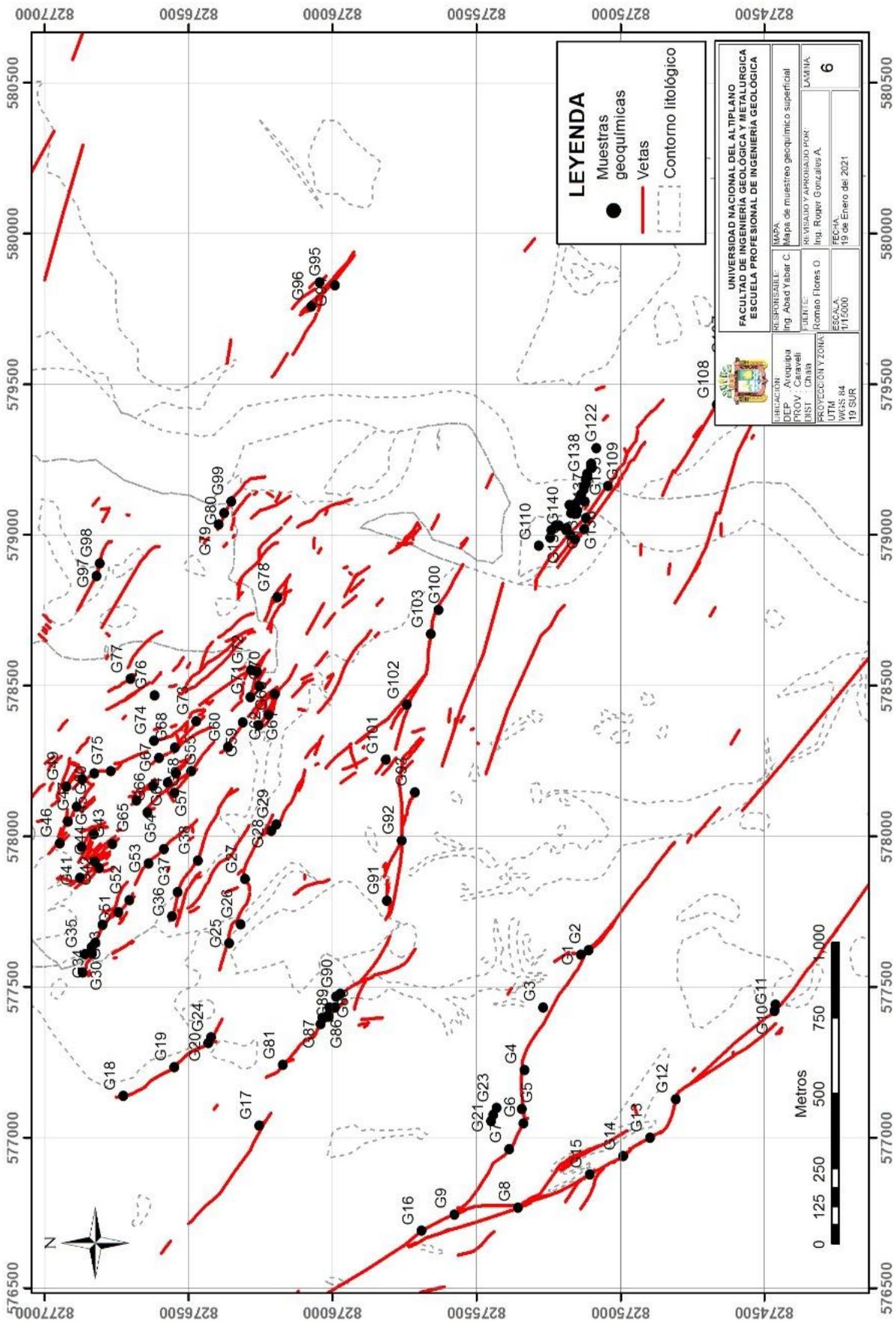


Figura 13: Mapa de muestreo geoquímico superficial.

5.1.2. Análisis estadístico y geoquímico de muestras superficiales

El primer paso que se hizo en el tratamiento estadístico fue eliminar los datos censurados, es decir aquellos que están por debajo del límite inferior de detección (LID) y límite superior de detección (LSD); esto permitió no incluir o transformar datos con LID, porque pueden sesgar los resultados (ver tabla 12).

Tabla 12: Límites de detección por elemento químico.

Elemento químico	Unidad	Límite mínimo de detección	Límite máximo de detección
Au	ppm	2	1000
Ag	ppm	0.2	100
Al	%	0.01	15
As	ppm	3	10000
Ba	ppm	1	10000
Be	ppm	0.5	10000
Bi	ppm	5	10000
Ca	%	0.01	15
*Cd	ppm	1	10000
Co	ppm	1	10000
Cr	ppm	1	10000
Cu	%	0.01	30
Fe	%	0.01	15
Ga	ppm	10	10000
K	%	0.01	15
La	ppm	0.5	10000
Mg	%	0.01	15
Mn	ppm	2	10000
Mo	ppm	1	10000
Na	%	0.01	15
*Nb	ppm	1	10000
Ni	ppm	1	10000
P	%	0.01	15
Pb	ppm	2	10000
S	%	0.01	10
Sb	ppm	5	10000
Sc	ppm	0.5	10000
*Sn	ppm	10	10000
Sr	ppm	0.5	5000
Ti	%	0.01	15
*Tl	ppm	2	10000
V	ppm	2	10000
W	ppm	10	10000
Y	ppm	0.5	10000
Zn	ppm	0.5	10000
Zr	ppm	0.5	10000

* Elementos químicos que no pasaron el LID

Así se tuvo más 80% de datos con LID y fueron eliminados por que sesgan el tratamiento estadístico; los elementos que están en esas condiciones en la zona de estudio fueron: Cd, Nb, Sn y Tl, ver tabla 12.

Dentro del conjunto de datos también existen otros elementos químicos que tienen valores por debajo del LID entre el 40% al 65%; estos datos fueron reemplazados por el 65% de su valor, en esta condición estuvieron los elementos W, Pb, Ga, Bi y Be; ver tabla 12.

Prueba de normalidad del conjunto de datos

Para hacer este análisis estadístico se utilizó la prueba de normalidad de Kolmogorov – Smirnov; el cual nos ayudó a discriminar datos, es decir si la distribución de la población muestral es normal o lognormal, esto comparando el valor-p y su nivel de significancia (0.05). Cuando los datos no son normales los datos se tienen que transformar a logaritmo natural (LN); este proceso estadístico se muestra en la figura 12 y tabla 13 para la zona de estudio. Según la figura 10 los datos no tienen un acercamiento a la línea de normalidad en los elementos *pathfinder* a nivel regional (Cu, As, Fe), por lo cual se tienen que transformar (ver figura 14).

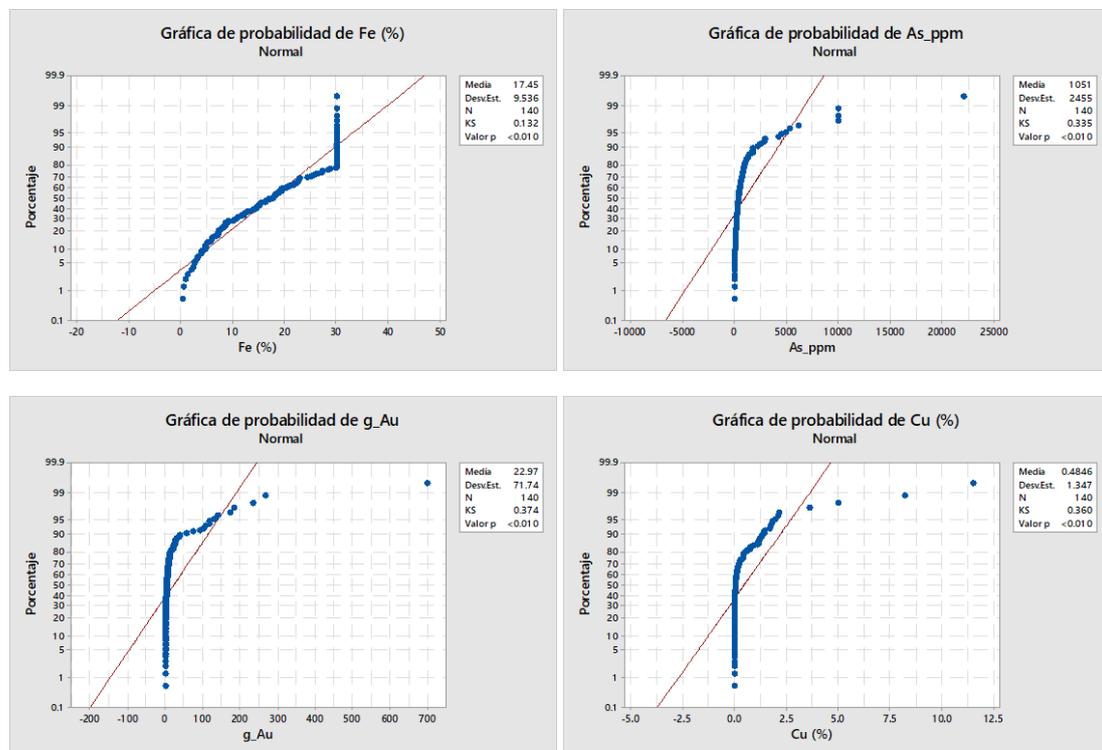


Figura 14: Gráficos de Au, As, Cu y Fe para comprobar normalidad de datos.



Numéricamente, según la tabla 13 se demuestra que el 100% de datos están rechazados porque están por debajo de 0.05, lo que también vuelve a indicar que deben ser transformados a logaritmo neperiano.

Tabla 13: Prueba de normalidad Kolmogorov – Smirnov.

Elemento	Nro. datos	Estadístico	P-Valor	Significancia	Ho
Au_ppm	140	0.374	<0.0010	0.05	Rechazado
Ag_ppm	140	0.335	<0.0010	0.05	Rechazado
Al_%	140	0.094	<0.0010	0.05	Rechazado
As_ppm	140	0.335	<0.0010	0.05	Rechazado
Ba_ppm	140	0.289	<0.0010	0.05	Rechazado
Be_ppm	140	0.237	<0.0010	0.05	Rechazado
Bi_ppm	140	0.307	<0.0010	0.05	Rechazado
Ca (%)	140	0.201	<0.0010	0.05	Rechazado
Cd_ppm	140	0.442	<0.0010	0.05	Rechazado
Co_ppm	140	0.236	<0.0010	0.05	Rechazado
Cr_ppm	140	0.158	<0.0010	0.05	Rechazado
Cu (%)	140	0.360	<0.0010	0.05	Rechazado
Fe (%)	140	0.132	<0.0010	0.05	Rechazado
Ga_ppm	140	0.197	<0.0010	0.05	Rechazado
K (%)	140	0.178	<0.0010	0.05	Rechazado
La_ppm	140	0.332	<0.0010	0.05	Rechazado
Mg (%)	140	0.251	<0.0010	0.05	Rechazado
Mn_ppm	140	0.216	<0.0010	0.05	Rechazado
Mo_ppm	140	0.289	<0.0010	0.05	Rechazado
Na (%)	140	0.226	<0.0010	0.05	Rechazado
Ni_ppm	140	0.318	<0.0010	0.05	Rechazado
P (%)	140	0.113	<0.0010	0.05	Rechazado
Pb_ppm	140	0.338	<0.0010	0.05	Rechazado
S (%)	140	0.323	<0.0010	0.05	Rechazado
Sb_ppm	140	0.458	<0.0010	0.05	Rechazado
Sc_ppm	140	0.120	<0.0010	0.05	Rechazado
Sr_ppm	140	0.213	<0.0010	0.05	Rechazado
Ti (%)	140	0.109	<0.0010	0.05	Rechazado
V_ppm	140	0.185	<0.0010	0.05	Rechazado
W_ppm	140	0.315	<0.0010	0.05	Rechazado
Y_ppm	140	0.226	<0.0010	0.05	Rechazado
Zn_ppm	140	0.389	<0.0010	0.05	Rechazado
Zr_ppm	140	0.131	<0.0010	0.05	Rechazado

Luego de las dos pruebas de normalidad gráfica y numérica se procedió a elaborar el análisis estadístico univariar y bivariar por población de muestras superficiales y de profundidad.

Estadística descriptiva univariar de muestras superficiales

De las 91 muestras superficiales se logró elaborar la tabla 14 en donde se calculó los parámetros estadísticos; considerando el conjunto de datos como una unidad poblacional ya que las vetas tienen similitudes geológicas. Los valores calculados fueron: población muestral, mínimo, máximo, media y mediana para valores no normalizados. Los parámetros *background* y umbral se obtuvieron con datos transformados a LN.

Tabla 14: Parámetros estadísticos descriptivos de muestras superficiales.

Variable	N	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	LN DE	Background	Umbral
Au_ppm	91	0.007	37.57	4.74	2.59	7.21	1.38	15.80
Ag_ppm	91	0.20	9.3	1.15	0.70	2.50	0.73	5.73
Al_%	91	0.14	10.56	3.94	3.22	3.06	2.46	8.58
As_ppm	91	3.00	22000	1087.00	328.00	4.67	296.78	306.13
Ba_ppm	91	22.00	5973	662.00	159.02	3.98	220.74	228.70
Be_ppm	91	0.33	3.3	0.77	0.60	1.96	0.59	4.51
Bi_ppm	91	3.25	322	21.72	8.00	3.20	9.62	16.01
Ca (%)	91	0.05	15	4.89	2.55	4.15	2.27	10.58
Co_ppm	91	6.00	1963	200.20	80.00	3.65	89.03	96.33
Cr_ppm	91	3.00	698	118.90	59.98	3.13	66.29	72.54
Cu (%)	91	0.00	11.5	0.22	0.02	7.61	0.02	15.25
Fe (%)	91	0.34	30	17.43	17.17	2.56	13.08	18.20
Ga_ppm	91	6.50	62	13.14	12.00	1.73	11.20	14.66
K (%)	91	0.02	6	1.35	0.52	5.20	0.48	10.89
La_ppm	91	0.70	540	28.29	11.70	3.23	11.83	18.30
Mg (%)	91	0.01	7.47	0.54	0.28	3.19	0.27	6.65
Mn_ppm	91	10.00	3167	525.90	180.91	4.01	209.14	217.16
Mo_ppm	91	1.00	759	74.30	33.99	4.23	29.87	38.34
Na (%)	91	0.04	4.87	0.89	0.57	2.39	0.61	5.39
Ni_ppm	91	1.00	346	20.24	6.00	3.88	6.70	14.45
P (%)	91	0.01	0.24	0.09	0.08	2.21	0.07	4.49
Pb_ppm	91	1.30	168	12.00	6.00	3.28	5.21	11.76
S (%)	91	0.03	10	0.94	0.29	3.65	0.34	7.64
Sb_ppm	91	5.00	10000	145.00	14.00	3.33	17.29	23.95
Sc_ppm	91	0.50	26.4	6.52	5.30	2.56	4.56	9.68
Sr_ppm	91	13.00	1493	223.50	163.04	2.87	137.41	143.16
Ti (%)	91	0.01	0.57	0.14	0.11	2.66	0.10	5.43
V_ppm	91	21.00	1477	298.90	210.00	2.48	207.53	212.50
W_ppm	91	6.50	335	36.74	13.00	3.06	17.25	23.36
Y_ppm	91	0.50	91.5	13.40	5.90	3.39	6.71	13.50
Zn_ppm	91	0.60	632	25.82	10.30	2.82	11.88	17.51
Zr_ppm	91	8.30	156	52.59	44.40	1.86	44.03	47.75

Análisis bivariado de muestras superficiales

Para determinar la afinidad del Au con los elementos químicos presentes en las vetas, se elaboró la matriz de correlación de Pearson para los datos transformados a LN, del cual se obtuvo la tabla 15, esta tabla muestra el nivel de correlación del Au con los demás elementos químicos.

Tabla 15: Correlaciones de Pearson de LN Au y 31 elementos químicos.

	LN Bi ppm	LN Ag ppm	LN Fe (%)	LN As ppm	LN V ppm	LN P (%)	LN Mo ppm	LN Cu (%)	LN Ti (%)	LN W ppm
LN Au ppm	0.60	0.54	0.52	0.48	0.40	0.38	0.35	0.30	0.29	0.27

De acuerdo a la tabla 15 se tiene una correlación moderada entre Au-Bi (0.60), Au-Ag (0.54), Au-Fe (0,52) y Au-As (0.48); luego una baja correlación entre Au-V (0.40), Au-P (0.38), Au-Mo (0.35), Au-Cu (0.30), Au-Ti (0.29) y Au-W (0.27).

Para ver las afinidades de los demás elementos químicos en la zona de estudio se seleccionaron elementos calcófilos y siderófilos, los cuales normalmente guardan relación con las vetas mesotermales de metales preciosos de la costa peruana. Del análisis de correlación se obtuvo:

Moderada correlación en los siguientes elementos: As-Sb (0.56), Cu-Zn (0.50), Ga-Ti (0.64), Co-Ni (0.69), Fe-Mo (0.69), Fe-P (0.50) y P-Ti (0.52).

Las correlaciones bajas se dieron entre Ag-As (0.34), Ag-Bi (0.45), Ag-Cu (0.30), Ag-Fe (0.37), Ag-P (0.26) y Ag-Sb (0.31). As-Bi (0.30), As-Cu (0.31), As-Fe (0.37), As-Mo (0.31) y As-P (0.36). Bi-Fe (0.40), Bi-P (0.27), Bi-S (0.31) y Bi-Ti (0.25). Cu-Sb (0.36). Ga-P (0.43), Ga-Zn (0.26). S-Ti (0.34). Sb-Zn. Co-Mo (0.30). Fe-S (0.40), Fe-Ti (0.27). Mo-P (0.29). Pb-Sb (0.35), Pb-Zn (0.40).

Cabe mencionar que se encontraron correlaciones moderadas entre elementos litófilos, calcófilos y siderófilos, como: Al-Ga (0.51), Al-K (0.60), Al-Mg (0.65), Al-Na (0.55), Al-Sc (0.64), Al-Ti (0.57), Ba-K (0.71), La-Y (0.52), Mg-Sc (0.59), Na-P (0.51), Na-Ti (0.54), Na-Zr (0.54) y Sc-Y (0.68), Ti-Zr (0.52).

5.1.3. Análisis geoquímico y estadístico de muestras en profundidad

Las muestras en profundidad fueron un total de 49 y elaboro la tabla 16 en donde se calculó los parámetros estadísticos: mínimo, máximo, media y median para valores no normalizados. Los parámetros desviación estándar, *background* y umbral fueron extraídos luego de ser transformados y llevados a exponencial.

Tabla 16: Parámetros estadísticos descriptivos de muestras en profundidad.

Variable	N	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	LN DE	Background	Umbral
Au_ppm	49	0.1	697	56.8	8.26	8.01	10.94	26.96
Ag_ppm	49	0.2	146	13.25	3.10	5.14	3.67	13.95
Al_%	49	0.62	9.05	4.626	4.49	1.90	3.94	7.74
As_ppm	49	16	5276	983	584.06	3.21	540.77	547.19
Ba_ppm	49	19	6317	646	386.06	3.48	324.73	331.69
Be_ppm	49	0.33	4.4	0.8384	0.80	1.84	0.69	4.37
Bi_ppm	49	3.3	368	75.9	21.01	5.25	25.97	36.47
Ca (%)	49	0.05	15	3.48	1.76	4.15	1.67	9.96
Co_ppm	49	14	1344	344.8	238.89	3.24	193.83	200.32
Cr_ppm	49	19	625	266.1	256.98	2.32	204.79	209.44
Cu (%)	49	0	8.19	0.973	0.47	14.21	0.20	28.62
Fe (%)	49	2.65	30	17.47	18.18	1.92	14.76	18.60
Ga_ppm	49	6.5	41	13.724	13.00	1.63	12.23	15.49
K (%)	49	0.03	6.98	1.902	1.87	3.98	1.07	9.03
La_ppm	49	2.7	220	26.31	13.20	2.70	15.06	20.46
Mg (%)	49	0.09	4.92	0.905	0.58	2.43	0.61	5.46
Mn_ppm	49	22	1835	565.7	551.15	2.64	394.65	399.93
Mo_ppm	49	1	458	57.6	16.01	4.65	17.76	27.05
Na (%)	49	0.03	2.42	0.4504	0.32	2.49	0.30	5.29
Ni_ppm	49	1	152	28.43	9.00	3.31	13.05	19.68
P (%)	49	0.02	0.14	0.08122	0.08	1.56	0.07	3.19
Pb_ppm	49	1.3	171.3	19.05	5.00	4.68	5.90	15.27
S (%)	49	0.09	10	5.371	6.03	6.54	2.00	15.08
Sb_ppm	49	5	414	40.4	15.00	2.77	19.16	24.70
Sc_ppm	49	0.9	22.7	6.747	6.00	1.86	5.64	9.36
Sr_ppm	49	6.4	1122	131.5	68.51	2.86	71.74	77.45
Ti (%)	49	0.01	0.4	0.1316	0.13	2.38	0.10	4.85
V_ppm	49	17	1687	197.3	122.00	2.29	132.95	137.53
W_ppm	49	6.5	222	22.11	6.50	2.47	12.67	17.61
Y_ppm	49	0.5	62.4	13.9	10.80	2.76	9.13	14.65
Zn_ppm	49	1.5	1851	90.9	32.30	3.85	30.57	38.26
Zr_ppm	49	1.4	121	35.38	24.80	2.78	22.67	28.22

Análisis bivariado de muestras en profundidad

Para determinar la afinidad del Au con los elementos químicos presentes en las vetas, se elaboró la matriz de correlación de Pearson para los datos transformados a LN, del cual se obtuvo la tabla 16 que muestra el nivel de correlación del Au con los demás elementos químicos.

Tabla 17: Correlaciones de Pearson de LN Au y 31 elementos químicos.

	LN Ag ppm	LN Bi ppm	LN Cr ppm	LN S (%)	LN Cu (%)	LN Sb ppm	LN Zn ppm	LN Pb ppm	LN As ppm	LN Na (%)	LN Zr ppm	LN V ppm	LN La ppm
LN Au ppm	0.78	0.78	0.71	0.61	0.48	0.46	0.42	0.33	0.27	-0.66	-0.62	-0.60	-0.56

De acuerdo a la tabla 17 se tiene una correlación lineal alta entre Au-Ag (0.78) y Au-Bi (0.78); moderada entre Au-Cr (0.71), Au-S (0.61), Au-Cu (0.48) y Au-Sb (0.46); luego una baja correlación entre Au-Pb (0.33) y Au-As (0.27). También se encontraron correlación lineal negativa entre: Au-Na (-0.66), Au-Zr (-0.62), Au-V (-0.60) y Au-La (-0.56).

Se tiene moderada correlación en los siguientes elementos: Ag-Bi (0.63), Ag-Cu (0.56), Ag-S (0.57), Ag-Sb (0.53), Bi-Cu (0.57), Bi-S (0.72), Cu-S (0.58), Cu-Zn (0.57), Ga-Ti (0.52), Co-Fe (0.62), Co-Ni (0.75), Fe-Mo (0.55) y Pb-Zn (0.58).

Las correlaciones bajas se dieron entre Ag-Pb (0.39), As-Co (0.26), As-Ni (0.30), Bi-Fe (0.33), Bi-Pb (0.41), Bi-Sb (0.34), Bi-Zn (0.45), Cu-Pb (0.32), Cu-Sb (0.43), S-Sb (0.35), S-Zn (0.45), Sb-Zn (0.33). Co-Mo (0.34), Fe-Ni (0.29) y P-Ti (0.41).

Cabe mencionar que se encontraron correlaciones entre elementos litófilos, calcófilos y siderófilos; altas entre Al-Ti (0.90), Ba-K (0.85), Mn-Y (0.75) y V-Zr (0.83); moderadas, como: Ag-Cr (0.69), Al-Ba (0.52), Al-Ga (0.50), Al-K (0.69), Al-Sc (0.74), Al-Y (0.58), Be-V (0.56), Be-Zr (0.69), Bi-Cr (0.67), Ca-Y (0.52), Cr-S (0.66), Ga-Sc (0.50), K-Ti (0.60), La-Na (0.54), La-V (0.64), La-Zr (0.65), Mg-Mn (0.60), Mg-Sc (0.55), Mo-V (0.60), Mo-Zr (0.54), Na-Sr (0.66), Na-V (0.61), Na-Zr (0.73), Sc-Ti (0.73), Sc-V (0.53), Sc-Y (0.63), Sc-Zr (0.67), Sr-Zr (0.51), Ti-Y (0.52) y Y-Zr (0.52).

5.2. COMPARACIÓN DE ELEMENTOS QUÍMICOS ASOCIADOS AL ORO EN SUPERFICIE Y EN PROFUNDIDAD MEDIANTE TRATAMIENTO ESTADÍSTICO UNIVARIAL Y MULTIVARIAL

5.2.1. Análisis estadístico univariar y espacial

Población de Oro (Au) en superficie y profundidad

Este elemento en superficie tiene un valor mínimo de 0.007ppm y un valor máximo de 37.57ppm, un *background* de 1.38ppm y un umbral de 15.80ppm. En profundidad tiene un valor mínimo de 0.1ppm y un valor máximo de 697ppm, un *background* de 10.94ppm y un umbral de 26.96ppm, ver figura 15.

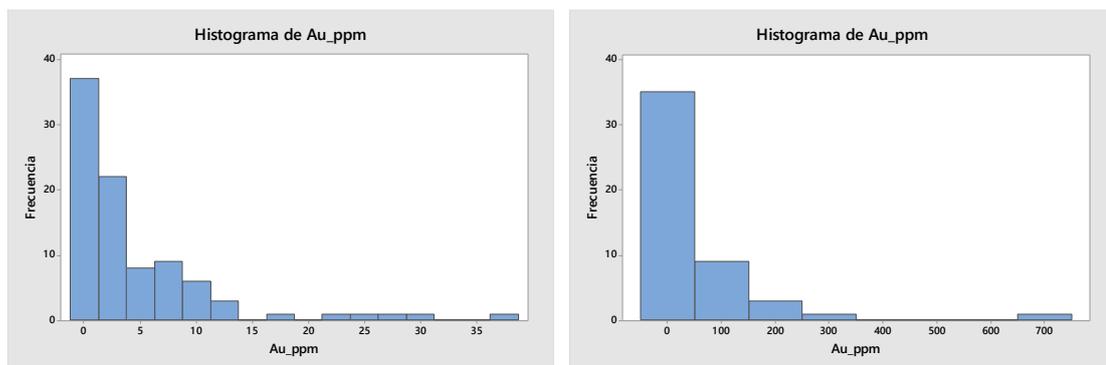


Figura 15: Histogramas del Au en superficie y profundidad.

Según el diagrama de cajas la población de muestras superficiales indica que la mitad de los valores de Au están por encima de 2.5ppm; en los valores de muestras en profundidad la mediana es de 8.3ppm. Se incrementa el Au en ciertos niveles en profundidad, lo cual ocurre en la Veta Indio, ver figura 16. En ambos casos hay dispersión de datos.

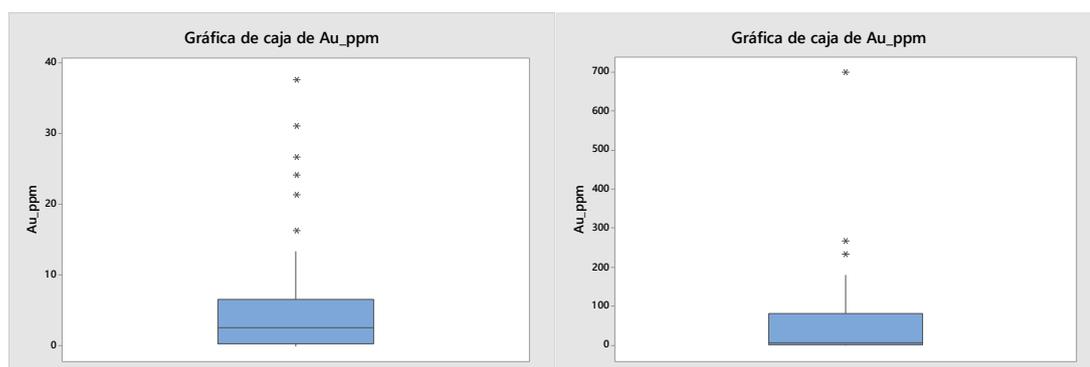


Figura 16: Diagrama de cajas del Au en superficie y profundidad.

Las concentraciones geoquímicas del Au en las vetas Corilazo y Dauphine tiene intervalo constante entre 0.01-37.57ppm. En la veta Luz y Laura se observa decrementos en contenido de Au de 37.57 hasta 0.09ppm. En la veta Indio los valores de Au están en el intervalo de 8.97 hasta 16.25ppm y decrece hasta 0.09ppm, ver figura 17.

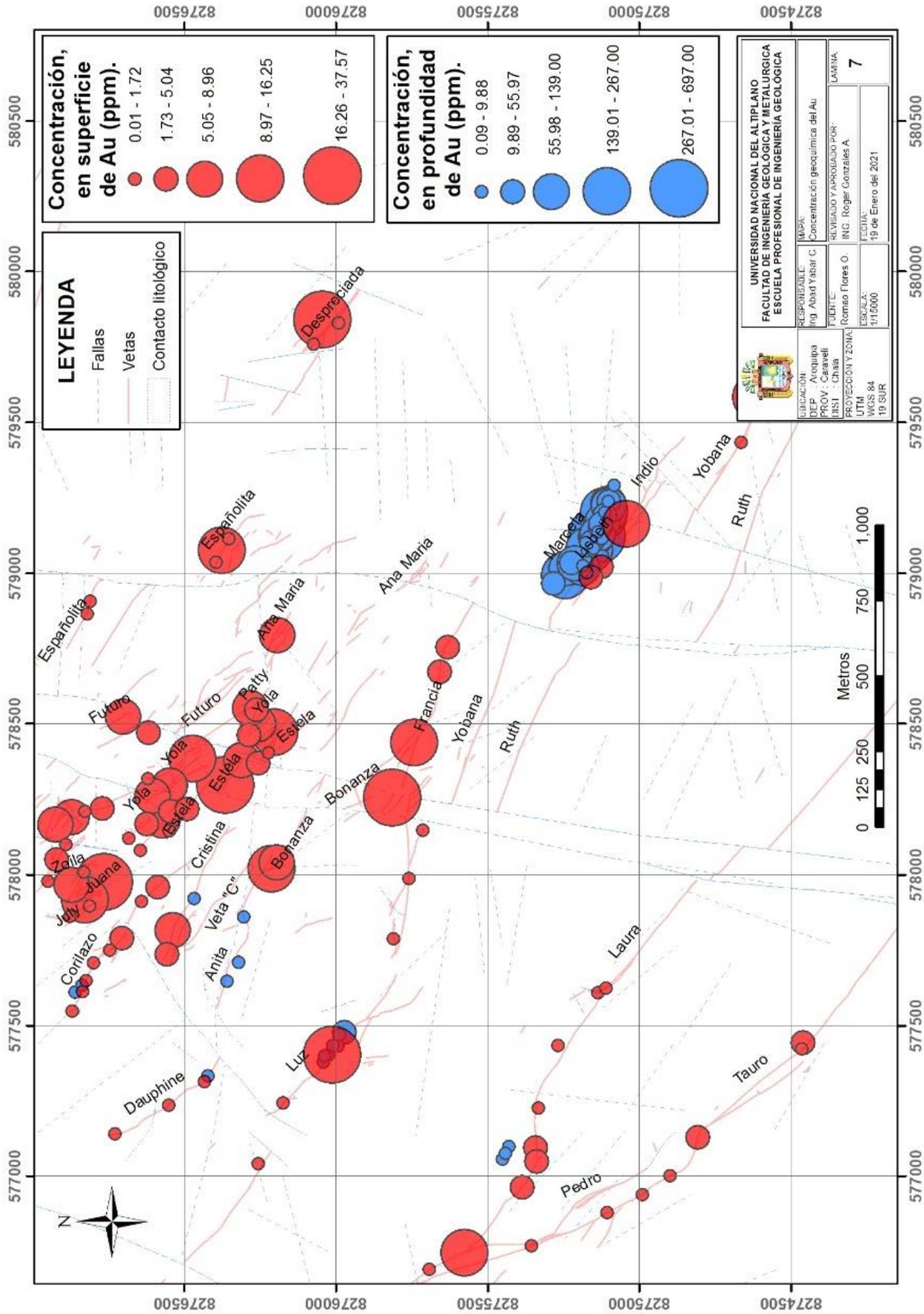


Figura 17: Concentraciones geoquímicas del Au en superficie y en profundidad.

Población de la Plata (Ag) en superficie y profundidad

Este elemento en superficie tiene un valor mínimo de 0.20ppm y un valor máximo de 9.3ppm, un *background* de 0.73ppm y un umbral de 5.730ppm. En profundidad tiene un valor mínimo de 0.2ppm y un valor máximo de 146ppm, un *background* de 3.67ppm y un umbral de 13.95ppm, ver figura 18.

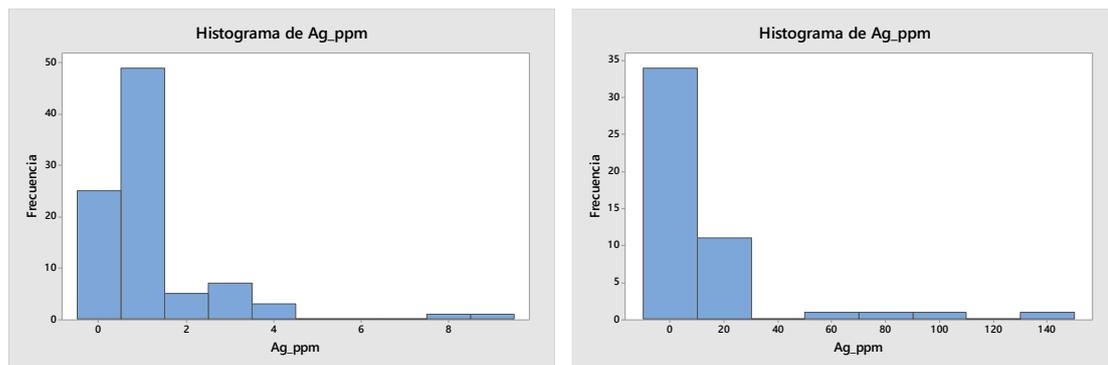


Figura 18: Histogramas del Ag en superficie y profundidad.

Según el diagrama de cajas la población de muestras superficiales indica que la mitad de los valores de Ag están por encima de 0.7ppm; en los valores de muestras en profundidad la mediana es de 3.2ppm. Se puede interpretar que el comportamiento de Ag es similar al Au en profundidad (Veta Indio), ver figura 19. En ambos casos hay dispersión de datos por encima de la mediana.

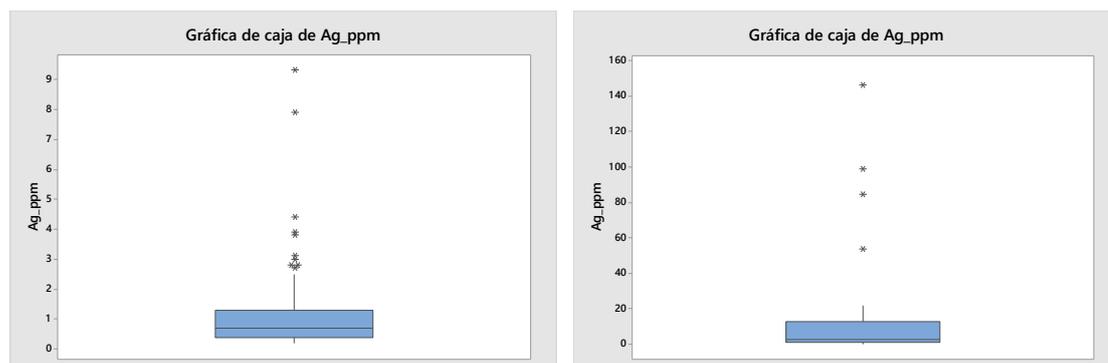


Figura 19: Diagrama de cajas del Ag en superficie y profundidad.

De acuerdo al mapa de concentraciones geoquímicas de Ag en las vetas Corilazo, Dauphine y Luz la Ag disminuye de 2.1ppm hasta 0.20ppm. En las vetas Anita, Cristina los valores en profundidad oscilan entre 0-20-5ppm. En la veta Indio hay incrementos y decrementos en contenido de Ag en superficie indica que contiene valores que están en el intervalo de 2.1 hasta 4.40ppm y decrece hasta 0.20ppm, ver figura 20.

Población del Bismuto (Bi) en superficie y profundidad

Este elemento en superficie tiene un valor mínimo de 3.25ppm y un valor máximo de 322ppm, un *background* de 9.62ppm y un umbral de 16.01ppm. En profundidad tiene un valor mínimo de 3.3ppm y un valor máximo de 368ppm, un *background* de 25.97ppm y un umbral de 36.47ppm, ver figura 21.

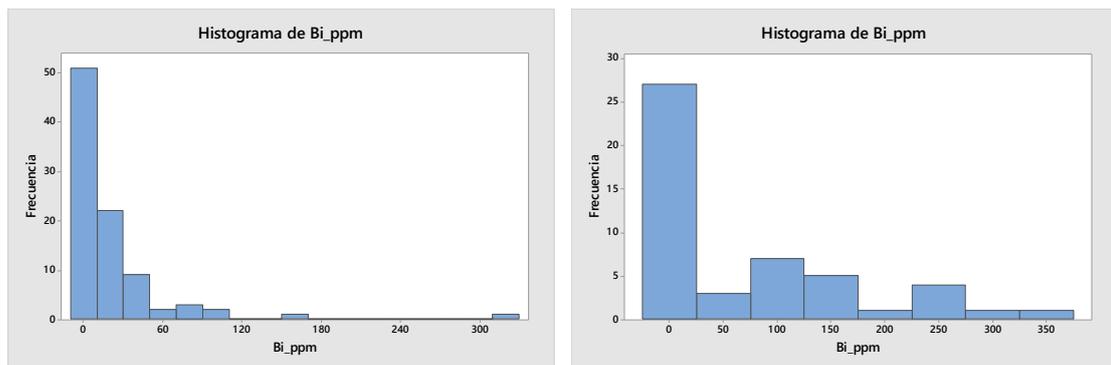


Figura 21: Histograma y diagrama de burbujas del Bi en superficie y profundidad.

Según el diagrama de cajas la población de muestras superficiales presenta dispersión e indica que la mitad de los valores de Bi están por encima de 8ppm; en los valores de muestras en profundidad la mediana es de 21ppm. Se puede interpretar que el comportamiento del Bi incrementa en profundidad y menos dispersión (ver figura 22).

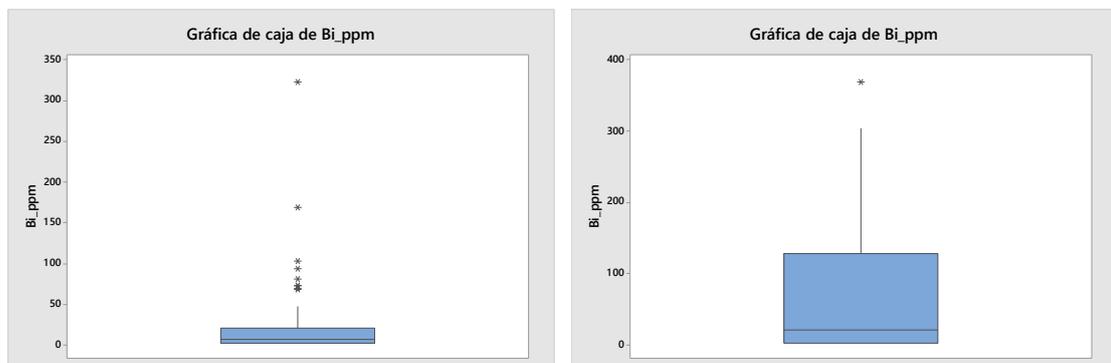


Figura 22: Diagrama de cajas del Bi en superficie y profundidad.

De acuerdo al mapa de concentraciones geoquímicas el Bi en las vetas Corilazo, Dauphine, Luz y Laura incrementan en sus valores de 3.25 a 41ppm, en cambio se mantienen constantes (3.25-16ppm) en las vetas Anita, veta C y Cristina. En la veta Indio los incrementos van de 169ppm hasta 368ppm de Bi; de acuerdo a los niveles a veces baja pero el comportamiento general es incremento, ver figura 23.

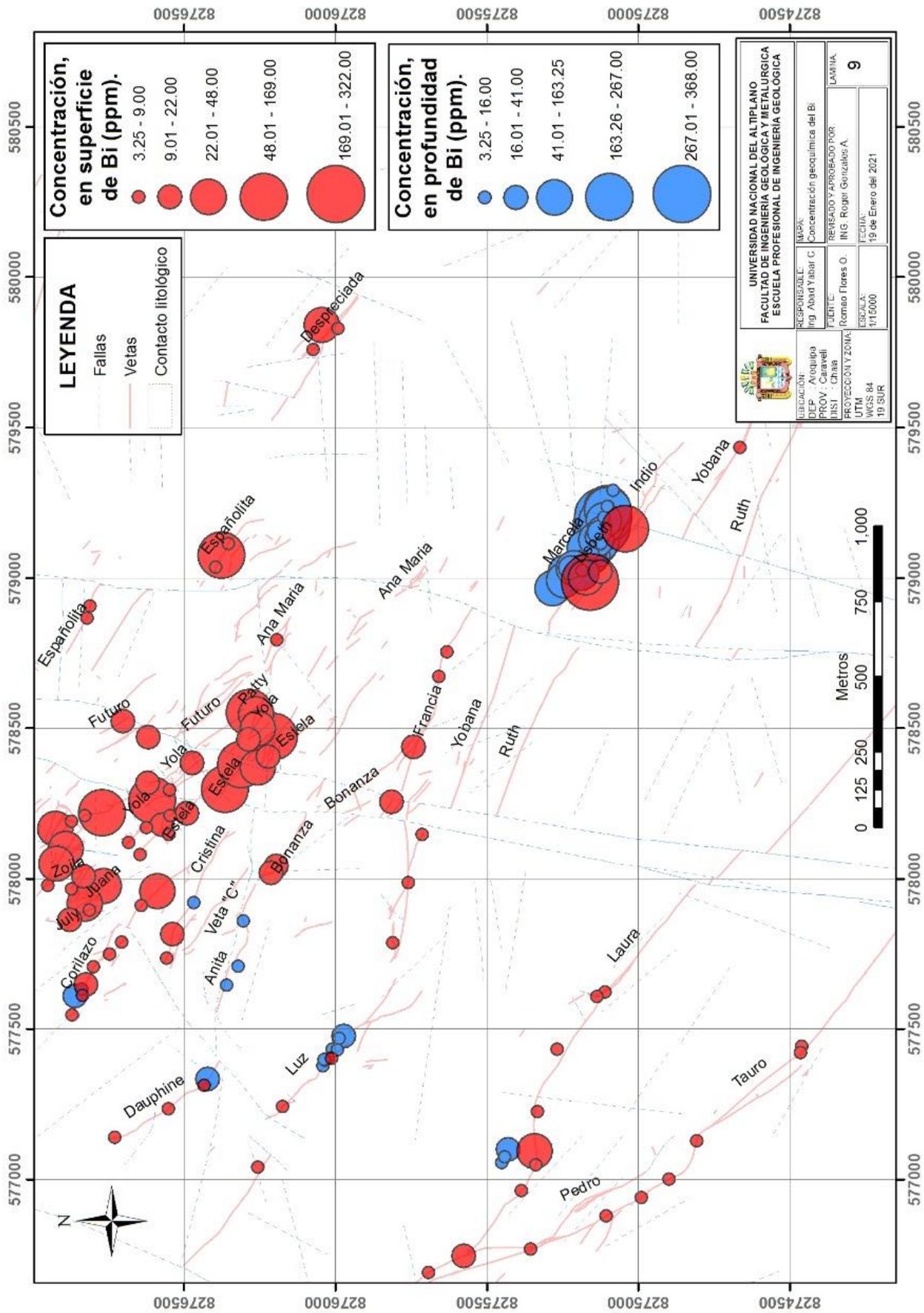


Figura 23: Concentraciones geoquímicas del Bi en superficie y en profundidad.

Población del Cromo (Cr) en superficie y profundidad

Este elemento en superficie tiene un valor mínimo de 3.00ppm y un valor máximo de 698ppm, un *background* de 9.62ppm y un umbral de 16.01ppm. En profundidad tiene un valor mínimo de 19ppm y un valor máximo de 625ppm, un *background* de 204.79ppm y un umbral de 209.44ppm, ver figura 24.

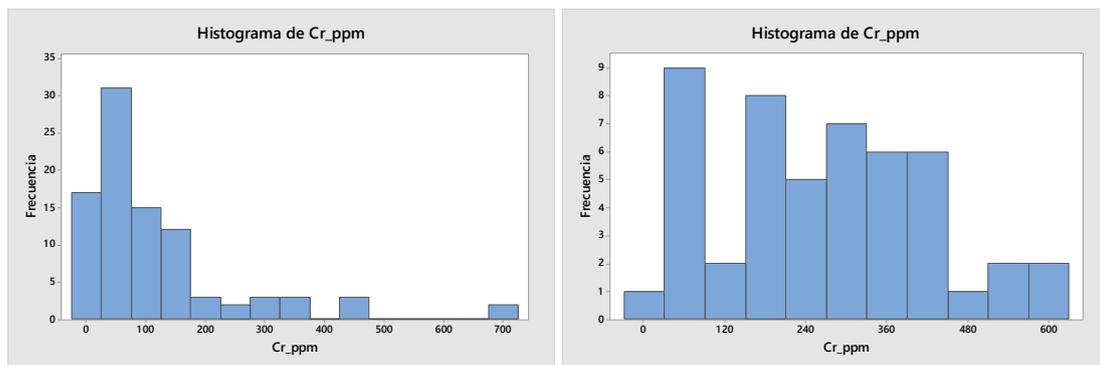


Figura 24: Histograma y diagrama de burbujas del Cr en superficie y profundidad.

Según el diagrama de cajas, la población de Cr en muestras superficiales presenta dispersión e indica que la mitad de los valores están por encima de 60ppm; en los valores de muestras en profundidad la mediana es de 257ppm no muestra mucha dispersión. Se puede interpretar que el Cr incrementa en profundidad y es menos disperso (ver figura 25).

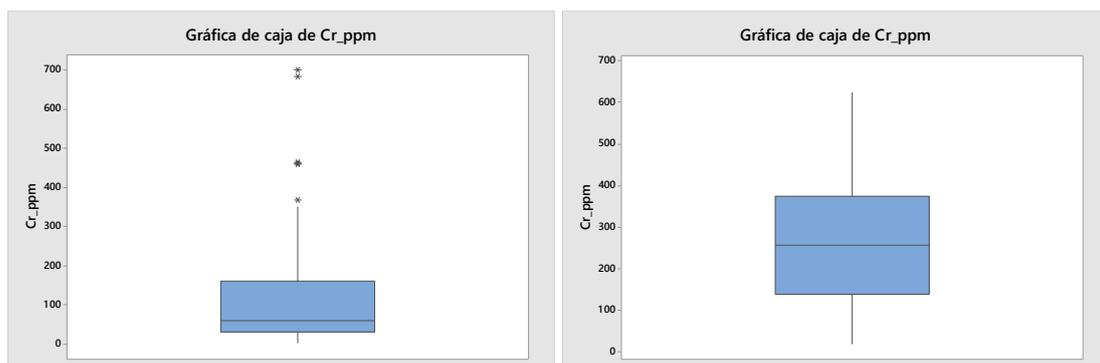


Figura 25: Diagrama de cajas del Cr en superficie y profundidad.

De acuerdo al mapa de concentraciones geoquímicas del Cr, en las vetas Corilazo, veta C, y Luz se incrementan los valores de 138 a 388ppm. En las vetas Dauphine y Laura se observan decrementos de Cr (388-138ppm); en la veta Indio el incremento es más notorio que va de 138ppm hasta 625ppm. En la veta Cristina presenta intervalos de 19.115ppm (ver figura 26).

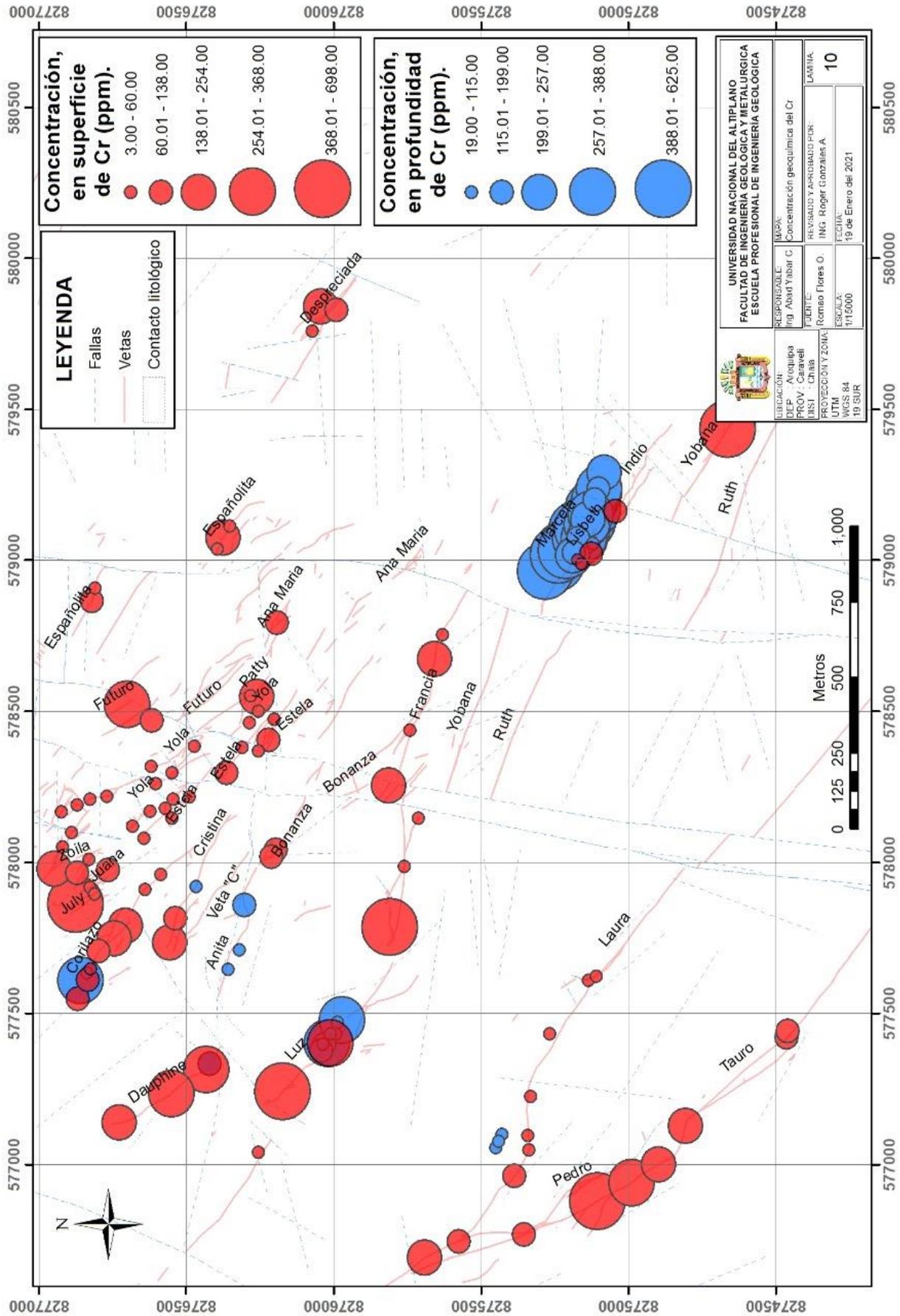


Figura 26: Concentraciones geoquímicas del Cr en superficie y en profundidad.

Población del Azufre (S) en superficie y profundidad

Este elemento en superficie tiene un valor mínimo de 0.03% y un valor máximo de 10%, un *background* de 0.34% y un umbral de 7.64%. En profundidad tiene un valor mínimo de 0.09% y un valor máximo de 10%, un *background* de 2.00% y un umbral de 15.8%ppm, ver figura 27.

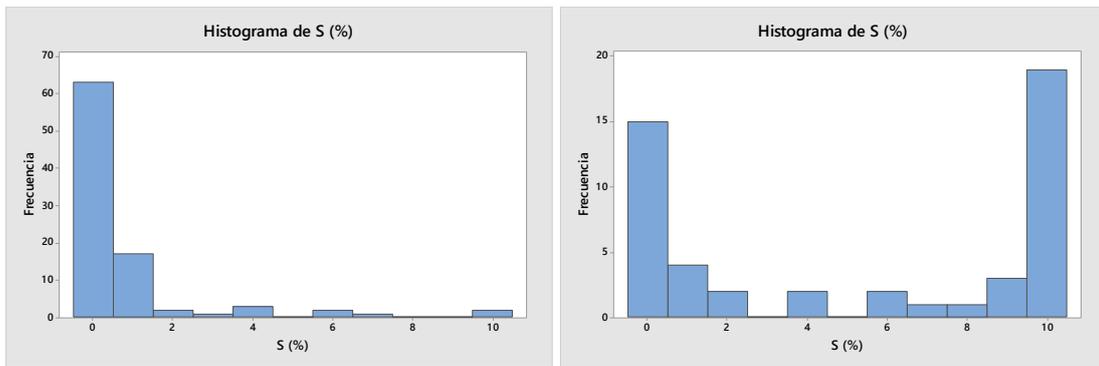


Figura 27: Histograma y diagrama de burbujas del S en superficie y profundidad.

Según el diagrama de cajas, la población de S en muestras superficiales presenta dispersión e indica que la mitad de los valores están por encima de 3.65%; en los valores de muestras en profundidad la mediana es de 6.03% no muestra mucha dispersión (ver figura 28).

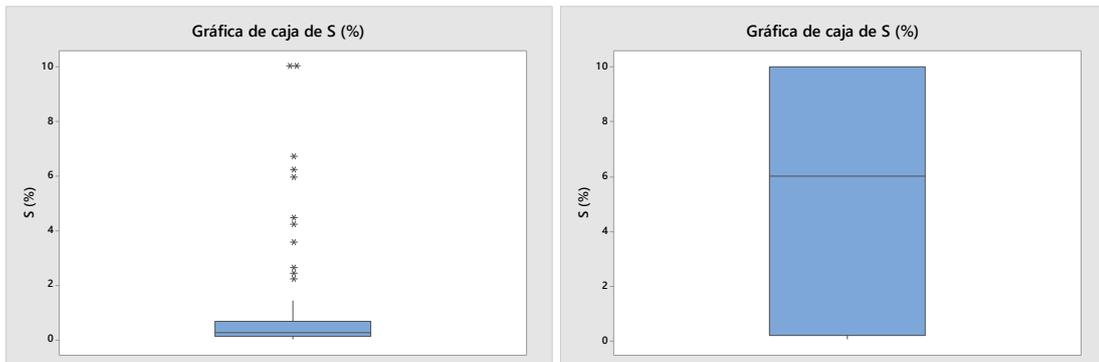


Figura 28: Diagrama de cajas del S en superficie y profundidad.

Según el mapa de concentraciones geoquímicas del S, en las vetas Corilazo e Indio este elemento incrementa de 0.53 a 10%; en las vetas Cristina, Anita y veta C los valores se mantienen constantes en intervalos de 0.09% hasta 0.45%. En las vetas Dauphine, Luz y Laura el S decrece de 4.47 hasta 0.09% (ver figura 29).

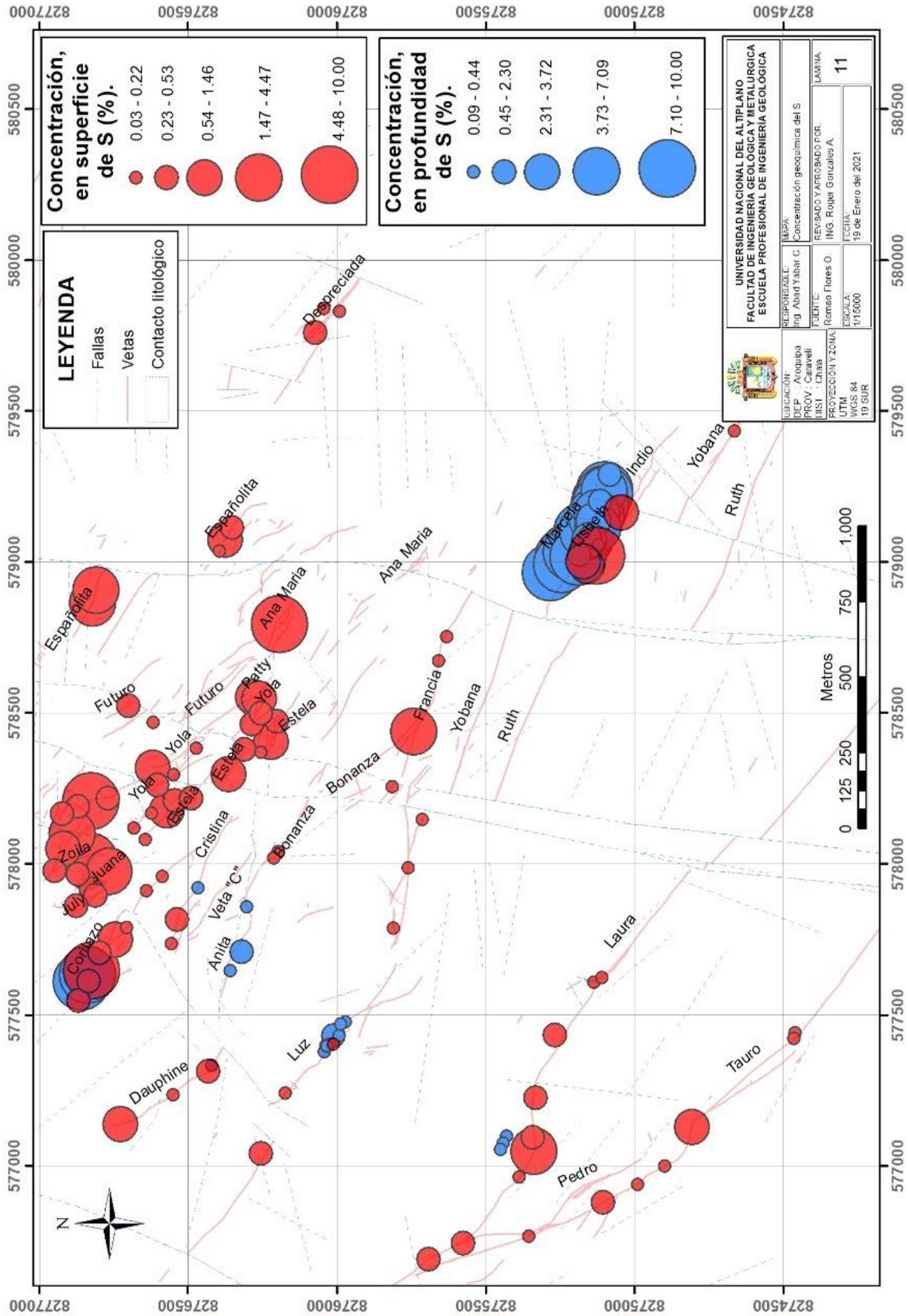


Figura 29: Concentraciones geoquímicas de superficie y profundidad.

Población del Hierro (Fe) en superficie y profundidad

Este elemento en superficie tiene un valor mínimo de 0.34% y un valor máximo de 30%, un *background* de 13.08% y un umbral de 18.20%. En profundidad tiene un valor mínimo de 2.65% y un valor máximo de 30%, un *background* de 14.76% y un umbral de 18.60% pm, ver figura 30.

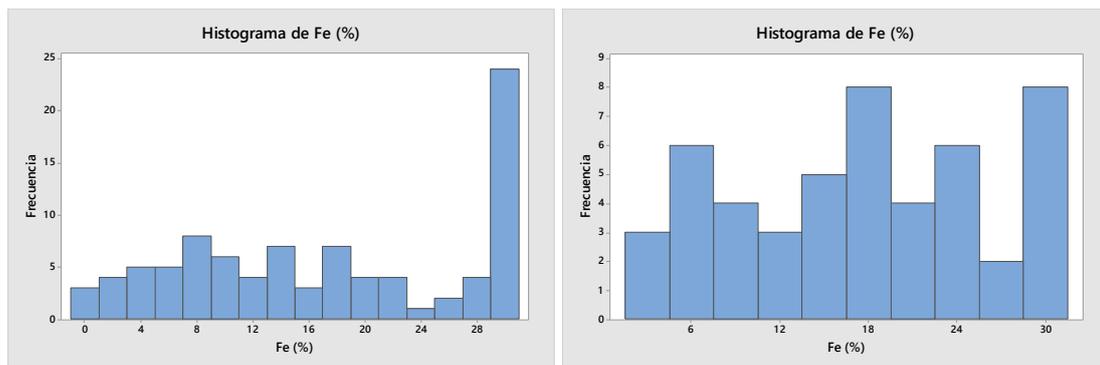


Figura 30: Histograma y diagrama de burbujas del Fe en superficie y profundidad.

Según el diagrama de cajas, la población de Fe en muestras superficiales indica que la mitad de los valores están por encima de 17.17%; en los valores de muestras en profundidad la mediana es de 18.183% no muestra mucha dispersión ni valores anómalos (ver figura 31).

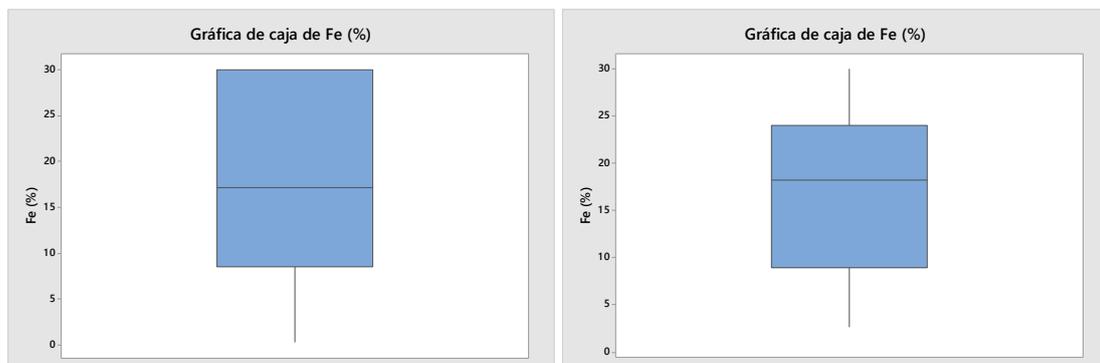


Figura 31: Diagrama de cajas del Fe en superficie y profundidad.

Según el mapa de concentraciones geoquímicas del S, en las vetas Corilazo y Luz se mantiene constante entre los 24.33% hasta 30%. En las vetas Cristina, veta C y Anita se incrementa hasta llegar a 25%. En la veta Indio este elemento incrementa con vales de 10.93% hasta 30%. En líneas generales el Fe incrementa en profundidad (ver figura 32).

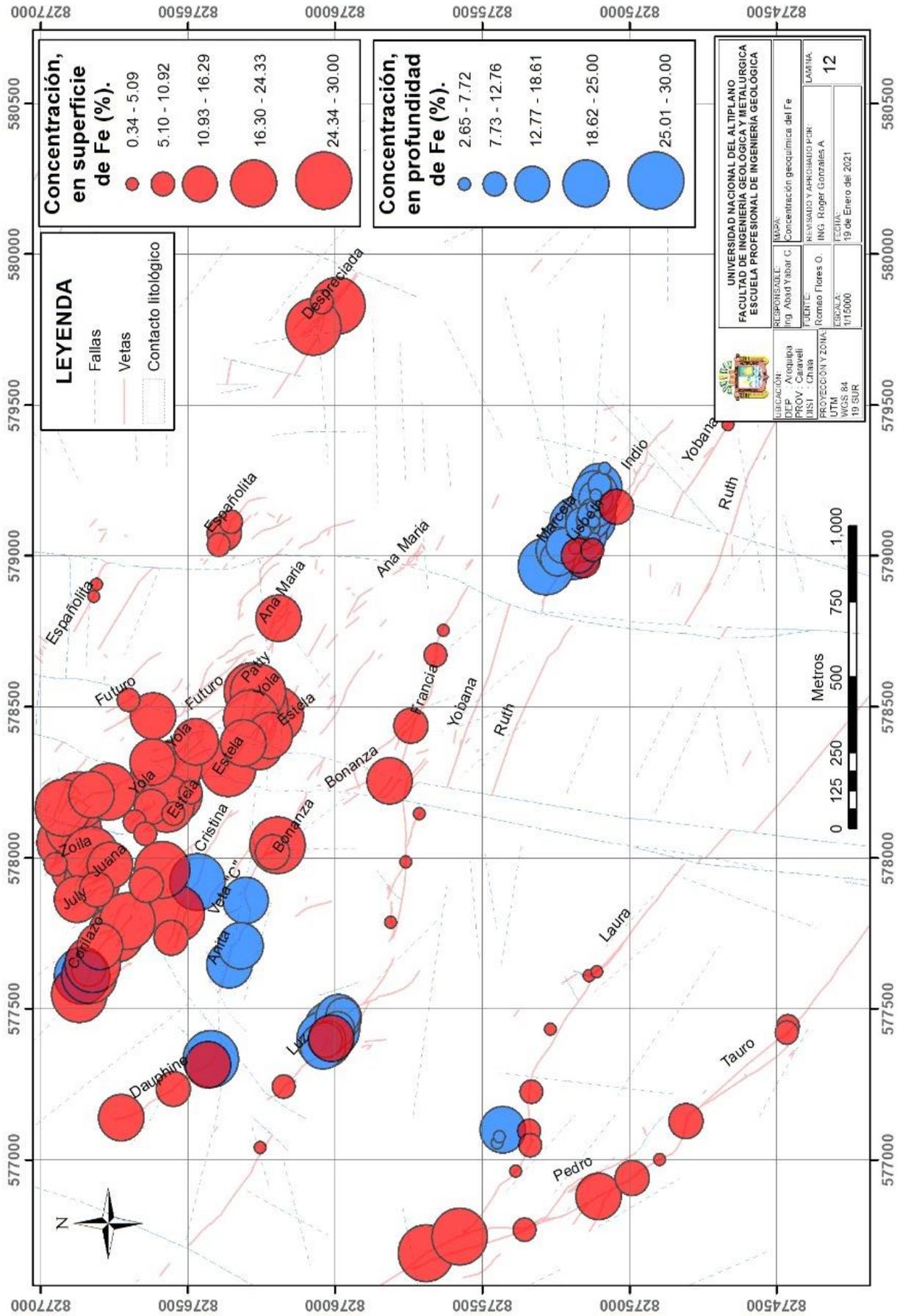


Figura 32: Concentraciones geoquímicas del Fe en superficie y en profundidad.

Población del Cobre (Cu) en superficie y profundidad

Este elemento en superficie tiene un valor mínimo de 0.003% y un valor máximo de 11.5%, un *background* de 0.02% y un umbral de 15.25%. En profundidad tiene un valor mínimo de 0.004% y un valor máximo de 8.19%, un *background* de 14.76% y un umbral de 18.60% pm, ver figura 33.

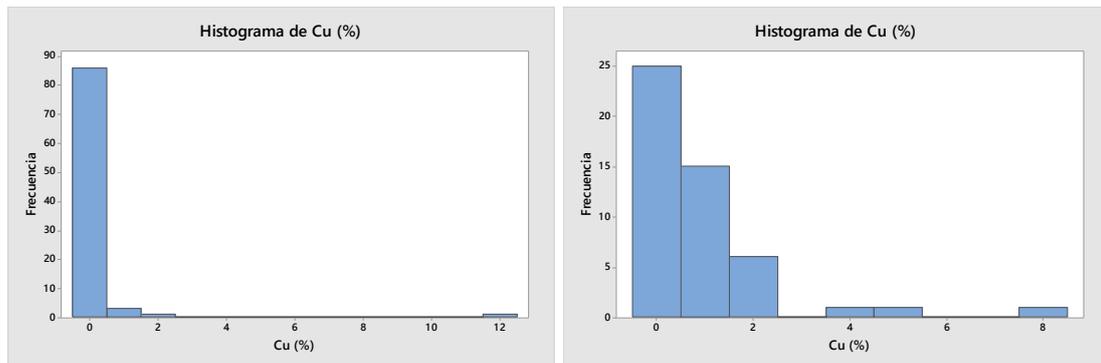


Figura 33: Histograma y diagrama de burbujas del Cu en superficie y profundidad.

Según el diagrama de cajas, la población de Cu en muestras superficiales indica que la mitad de los valores están por encima de 0.016%, en el cual muestra mucha dispersión y valores altos anómalos; en los valores de muestras en profundidad la mediana es de 0.474% muestra también dispersión (ver figura 34).

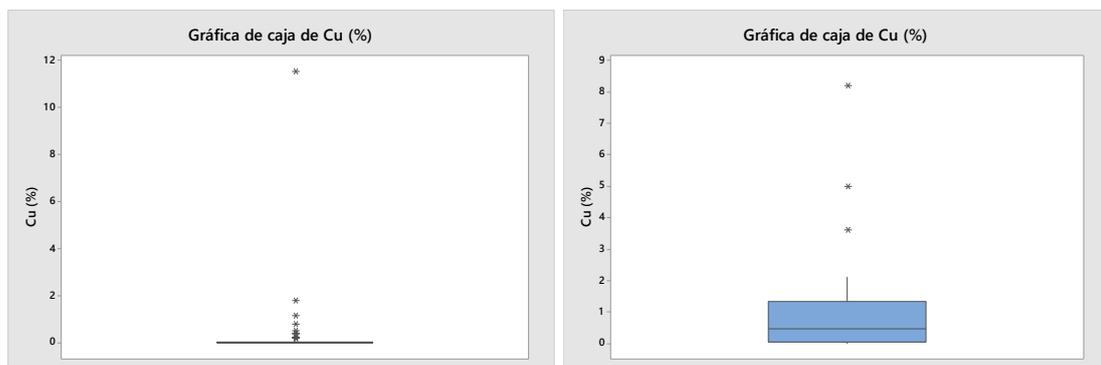


Figura 34: Diagrama de cajas del Cu en superficie y profundidad.

Según el mapa de concentraciones geoquímicas del Cu, en las vetas Corilazo, Cristina, Anita, Dauphine y Laura, este elemento incrementa en profundidad de 0.01% hasta 2.130%. En la veta Indio este incremento es más notorio en los diferentes niveles, lo cual ocurre desde los 0.001 hasta los 8.190%. En general el Cu se incrementa en profundidad en la zona de estudio (ver figura 35).

Población del Arsénico (As) en superficie y profundidad

Este elemento en superficie tiene un valor mínimo de 3.00ppm y un valor máximo de 22000ppm, un *background* de 296-78ppm y un umbral de 306.13ppm. En profundidad tiene un valor mínimo de 16ppm y un valor máximo de 5276ppm, un *background* de 540.77ppm y un umbral de 547.19ppm, ver figura 36.

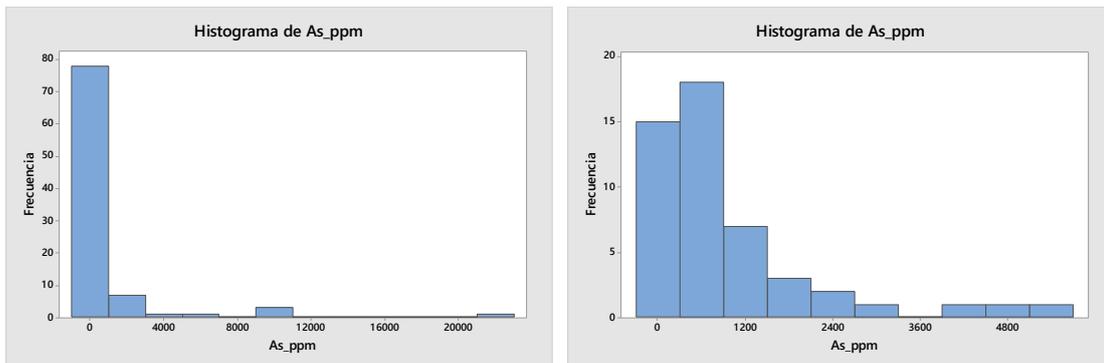


Figura 36: Histograma y diagrama de burbujas del As en superficie y profundidad.

Según el diagrama de cajas, la población de As en muestras superficiales indica que la mitad de los valores están por encima de 328ppm, en el cual se observa mucha dispersión. Los valores de muestras en profundidad tienen una mediana de 584ppm, muestra también dispersión y valores altos anómalos (ver figura 37).

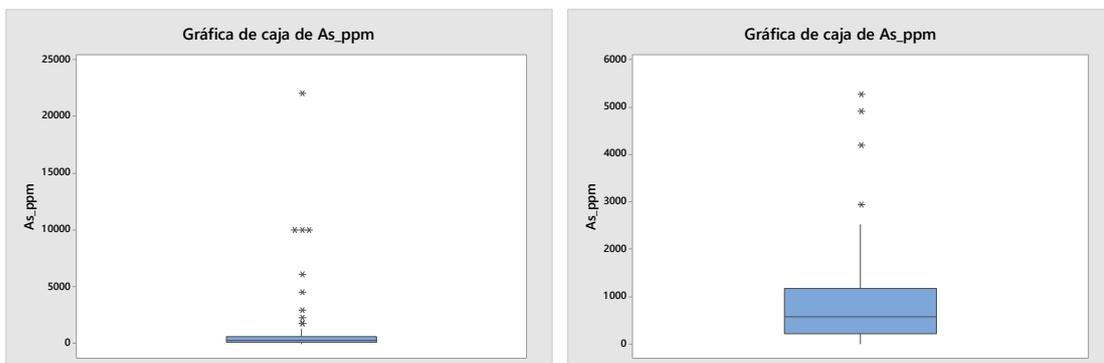


Figura 37: Diagrama de cajas del As en superficie y profundidad.

En el mapa de concentraciones geoquímicas de As, en las vetas Anita y Dauphine, este elemento incrementa en profundidad de 644.01ppm hasta 1785ppm. En la veta Corilazo los valores se mantienen constantes al igual que la veta C y Cristina (16-485ppm). En la veta Indio este incremento es más notorio en los diferentes niveles, lo cual ocurre desde los 3ppm hasta los 5276ppm. En general el As se incrementa en profundidad en la zona de estudio (ver figura 38).

Población del Antimonio (Sb) en superficie y profundidad

Este elemento en superficie tiene un valor mínimo de 5ppm y un valor máximo de 10000ppm, un *background* de 17.29ppm y un umbral de 23.95ppm. En profundidad tiene un valor mínimo de 5ppm y un valor máximo de 414ppm, un *background* de 19.16ppm y un umbral de 24.70ppm, ver figura 39.

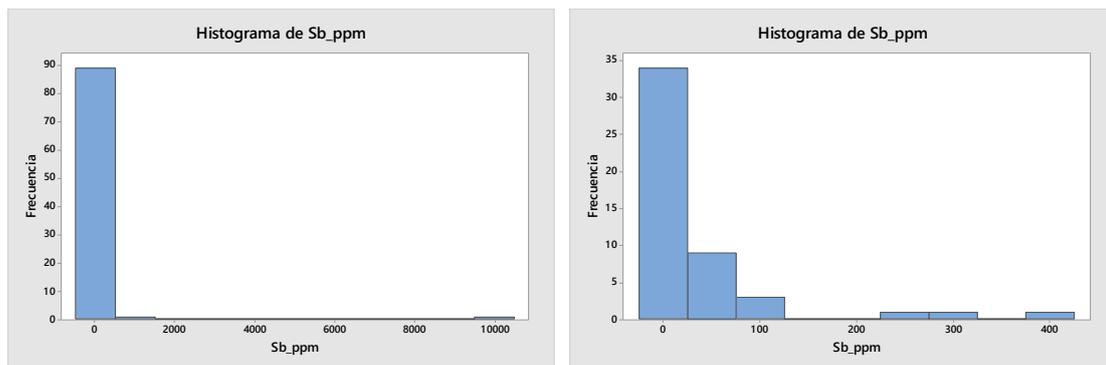


Figura 39: Histograma y diagrama de burbujas del Sb en superficie y profundidad.

Según el diagrama de cajas, la población de Sb en muestras superficiales indica que la mitad de los valores están por encima de 14ppm, en el cual se observa mucha dispersión con valores anómalos. Los valores de muestras en profundidad tienen una mediana de 15ppm, se observa también dispersión y valores altos anómalos (ver figura 40).

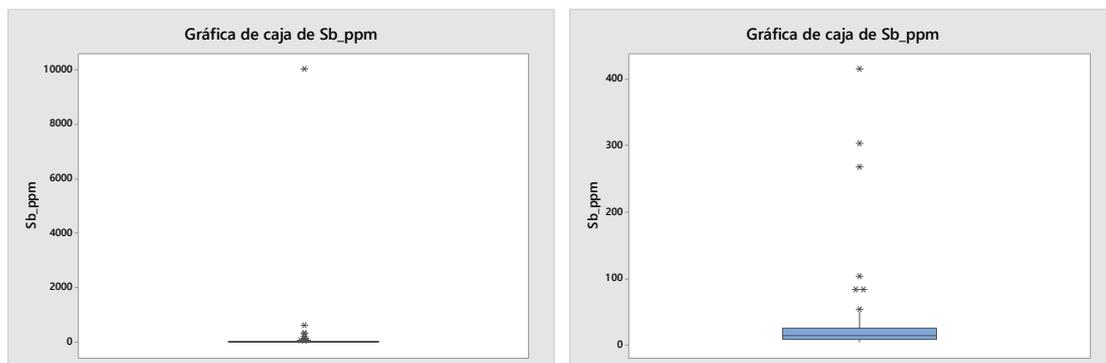


Figura 40: Diagrama de cajas del Sb en superficie y profundidad.

Según el mapa de concentraciones geoquímicas de Sb, en las vetas Corilazo y Luz los valores se incrementan en profundidad de 5ppm hasta 33ppm. En las vetas Anita, Cristina, veta C y Laura los valores se mantienen constantes entre 5 a 17ppm. En la veta Dauphine el Sb se mantiene constante entre 17.01 hasta 33ppm. En la veta Indio este incremento es notorio y va desde los 25.01ppm hasta 414ppm. En general el Sb se incrementa en profundidad en la zona de estudio (ver figura 41).

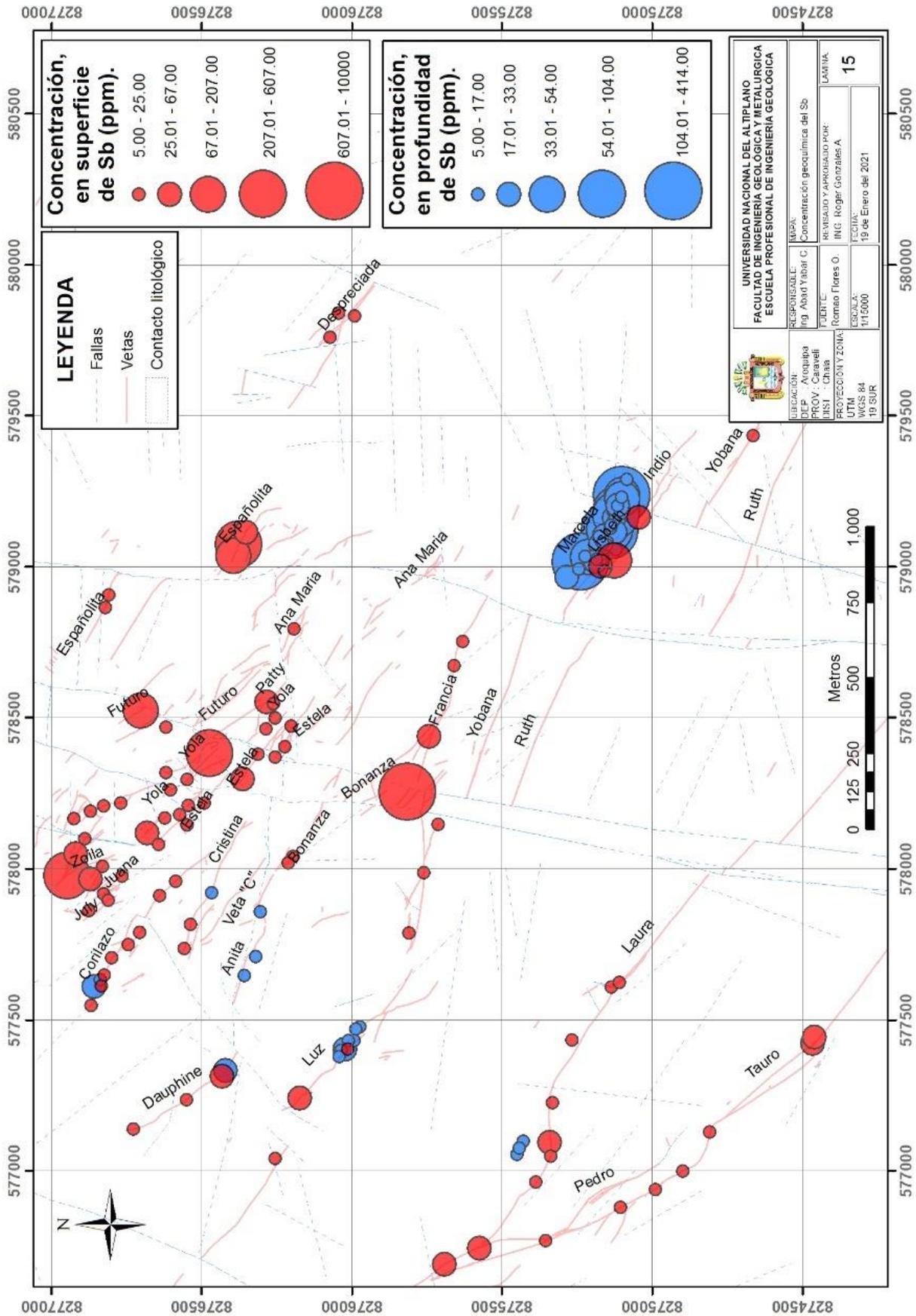


Figura 41: Concentraciones geoquímicas del Sb en superficie y en profundidad.

Población del Cinc (Zn) en superficie y profundidad

Este elemento en superficie tiene un valor mínimo de 0.60ppm y un valor máximo de 632ppm, un *background* de 11.88ppm y un umbral de 17.51ppm. En profundidad tiene un valor mínimo de 1.5ppm y un valor máximo de 1851ppm, un *background* de 30.57ppm y un umbral de 38.26ppm, ver figura 42.

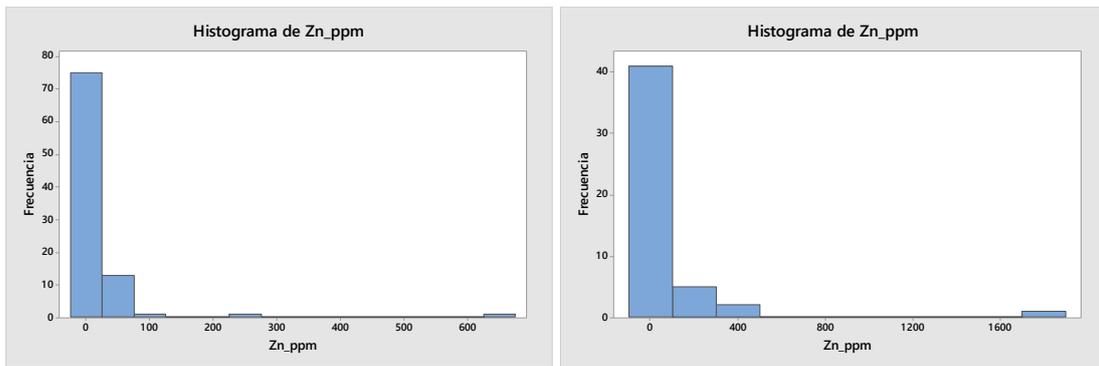


Figura 42: Histograma y diagrama de burbujas del Zn en superficie y profundidad.

Según el diagrama de cajas, la población de Zn en muestras superficiales indica que la mitad de los valores están por encima de 10.3ppm, en el cual se observa mucha dispersión con valores anómalos. Los valores de muestras en profundidad tienen una mediana de 32.3ppm, se observa también dispersión y valores altos anómalos (ver figura 43).

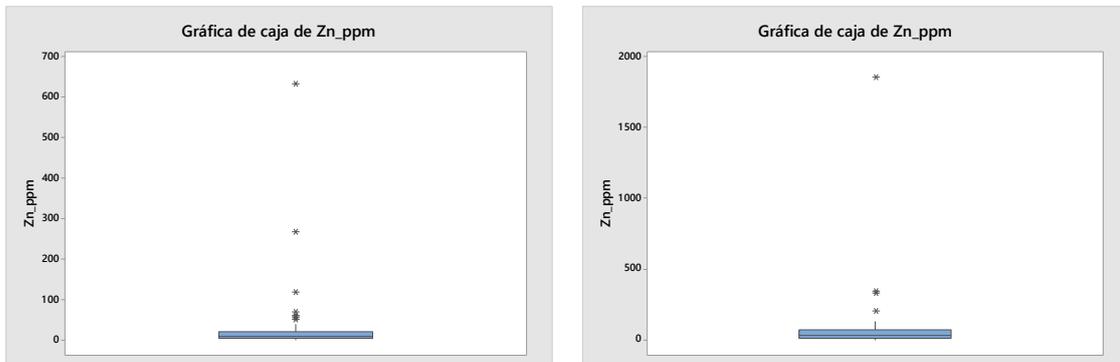


Figura 43: Diagrama de cajas del Zn en superficie y profundidad.

Según el mapa de concentraciones geoquímicas de Sb, en las vetas Corilazo, Cristina, Anita, veta C, Dauphine, y Laura, los valores se mantienen constantes en el intervalo de 0.6 a 34.60ppm. En la veta Luz el incremento es moderado va de 0.60 hasta 91.40ppm; en la veta Indio el incremento se nota mucho más va de 17.01 hasta 1851ppm. Para esto ver la figura 44.

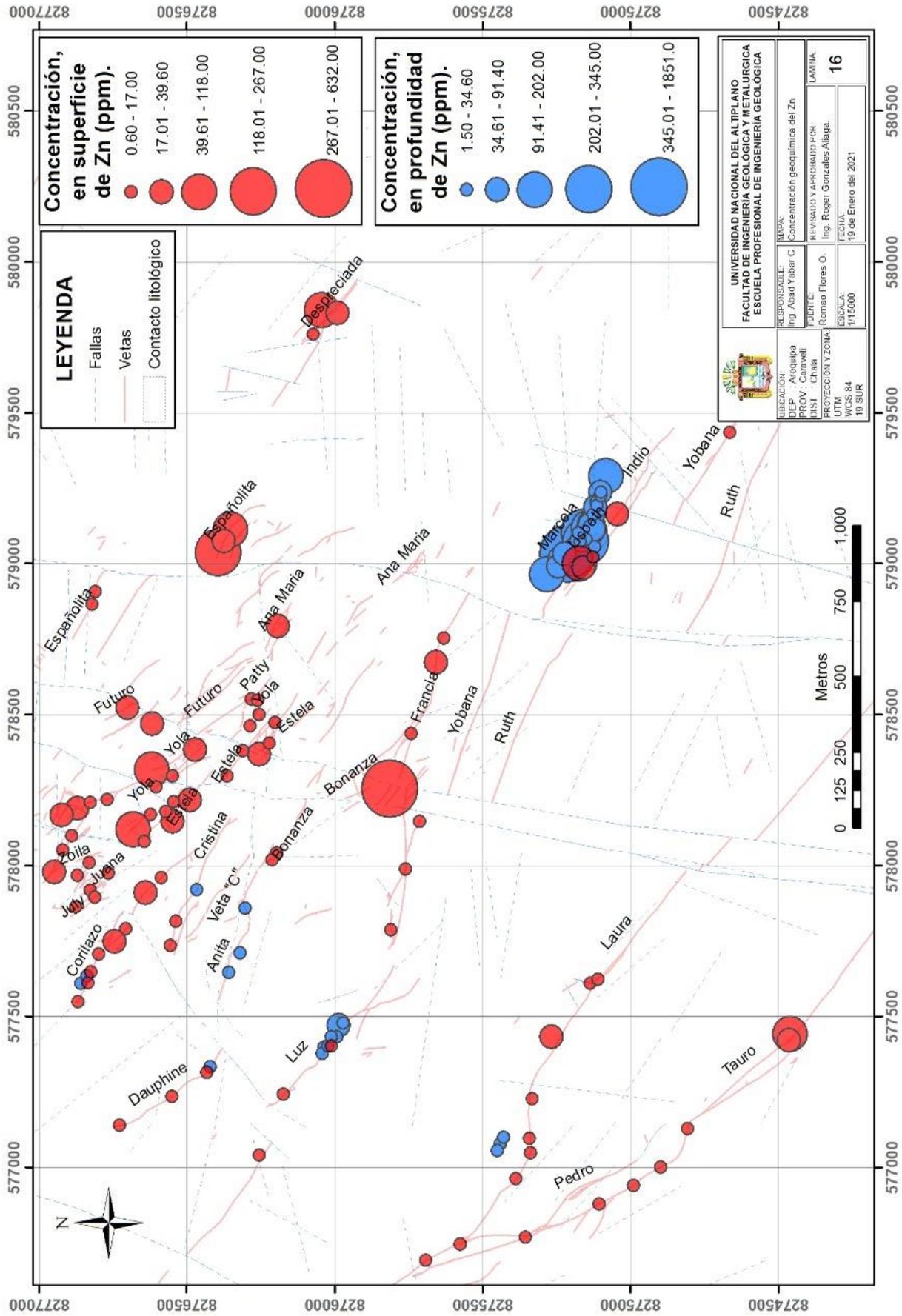


Figura 44: Concentraciones geoquímicas del Zn en superficie y en profundidad.

Población del Vanadio (V) en superficie y profundidad

Este elemento en superficie tiene un valor mínimo de 21ppm y un valor máximo de 1477ppm, un *background* de 207.53ppm y un umbral de 212.50ppm. En profundidad tiene un valor mínimo de 17ppm y un valor máximo de 1687ppm, un *background* de 132.95ppm y un umbral de 137.53ppm, ver figura 45.

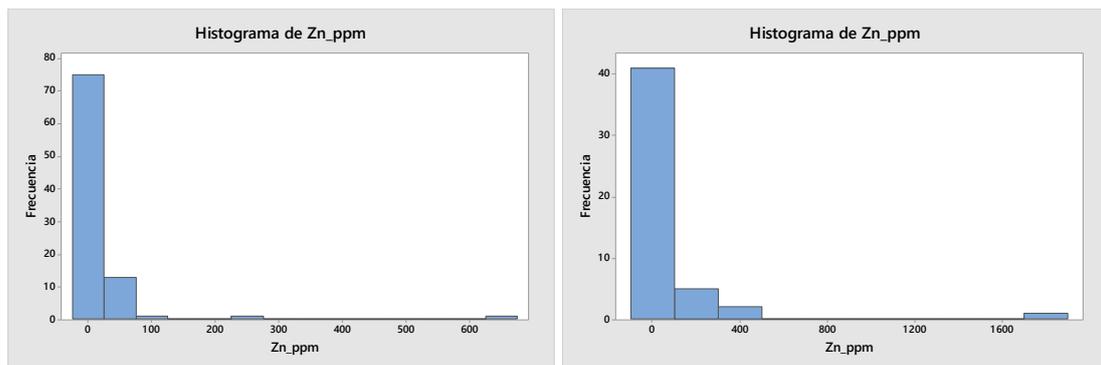


Figura 45: Histograma y diagrama de burbujas del V en superficie y profundidad.

Según el diagrama de cajas, la población de Zn en muestras superficiales indica que la mitad de los valores están por encima de 210ppm, en el cual se observa mucha dispersión con valores anómalos. Los valores de muestras en profundidad tienen una mediana de 122ppm, se observa también dispersión y valores altos anómalos (ver figura 46).

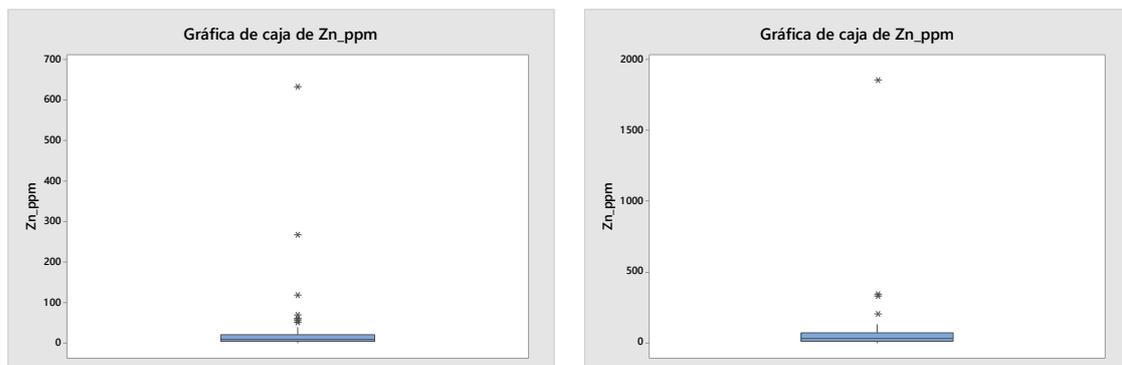


Figura 46: Diagrama de cajas del V en superficie y profundidad.

Según el mapa de concentraciones geoquímicas de Sb, en las vetas Corilazo y Cristina, los valores de V bajan de 535ppm hasta 177ppm. En las vetas Dauphine, Luz, Laura, Anita y veta C, los valores se mantienen constantes en los intervalos 310.1 hasta 386ppm. En la veta indio, el V disminuye y luego se incrementa hasta llegar a valores de 177ppm.

5.2.2. Análisis estadístico multivariado

En el análisis multivariado se hizo comparando tres elementos químicos, para los cual se utilizó toda la data geoquímica de las 10 vetas que tenían muestras en superficie y profundidad (ver tabla 11); y como herramienta para esta evaluación, correlación y comparación se elaboró el diagrama de burbujas y grafico de contornos. Para esto utilizamos las correlaciones bivariadas (X y Y) altas a moderadas mostradas en los párrafos anteriores y su afinidad con el Au en la zona de estudio (ver tablas 15 y 17). El tercer elemento analizado es el Au el cual se analiza por el diámetro y relación con los dos elementos en X y Y.

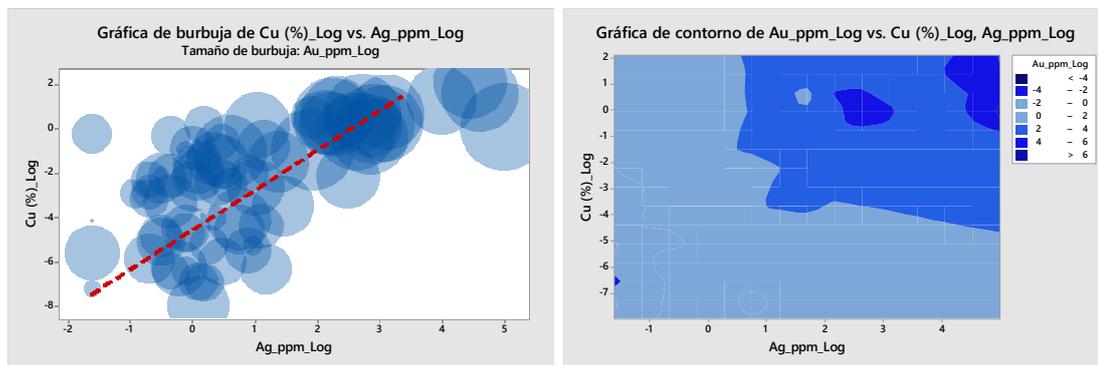


Figura 48: Diagrama de burbujas y contornos de Ag-Cu-Au.

Analizando la figura 48, se observa una correlación entre los elementos Ag-Cu y Au, de cual se puede interpretar que el incremento de valores del Au está íntimamente relacionado con la ocurrencia de Ag-Cu.

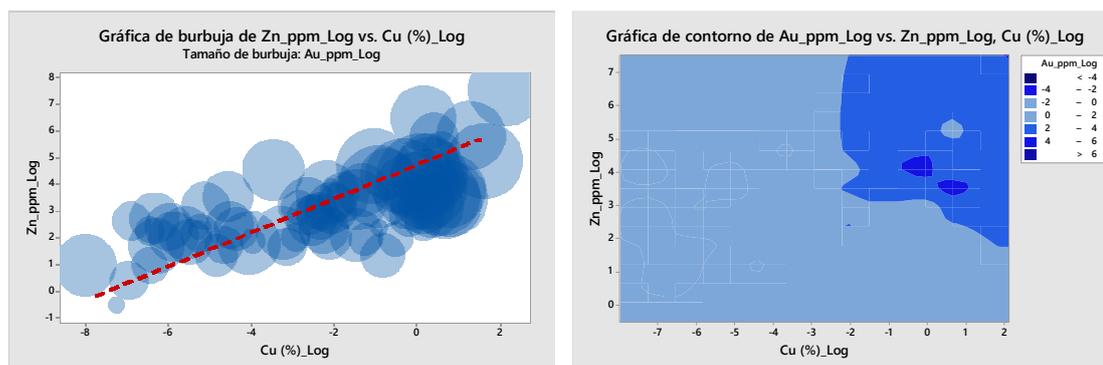


Figura 49: Diagrama de burbujas y contornos de Cu-Zn-Au.

Analizando la figura 49, se observa una correlación positiva entre los elementos Cu-Zn y Au, de cual se puede interpretar que hay incremento de valores del Au cuando hay Cu y Zn.

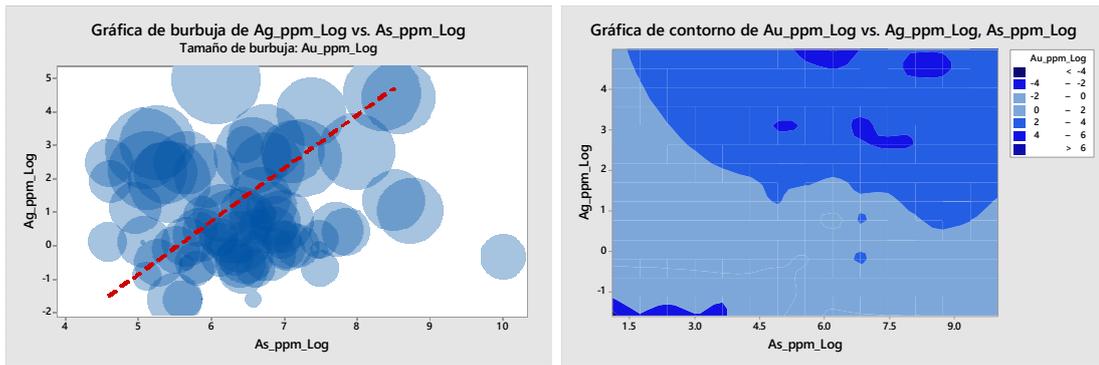


Figura 50: Diagrama de burbujas y contorno As-Ag-Au.

Analizando la figura 50, se observa una correlación lineal positiva entre los elementos As-Ag-Au, de cual se puede interpretar que hay incremento de valores del Au cuando hay As y Ag.

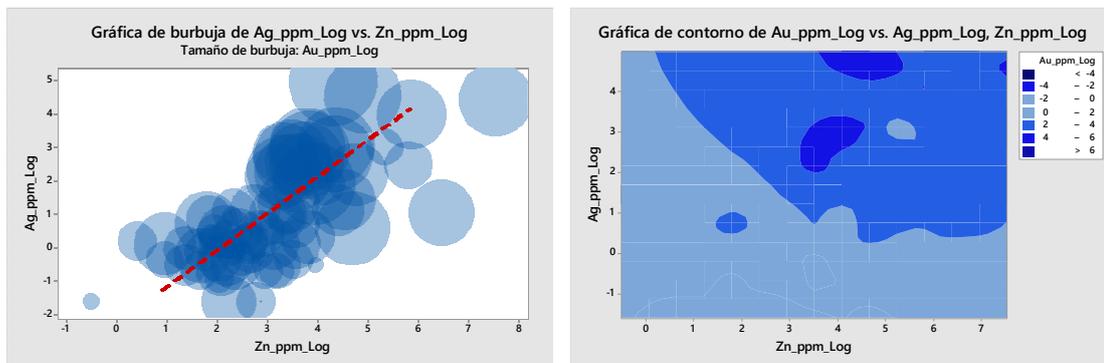


Figura 51: Diagrama de burbujas y contorno Zn-Ag-Au.

Analizando la figura 51, se observa una correlación lineal positiva entre los elementos Zn-Ag y Au, de cual se puede interpretar que hay incremento de valores del Au cuando ocurre Zn y Ag.



5.3. DISCUSIÓN

En esta parte de la tesis tomaremos información de las conclusiones que hicieron Chara (2017) y Quino (2017) en sus tesis, el primero en la Mina Orión y el segundo en Achanizo al norte de la zona de estudio; esto en cuanto respecta a la parte de geoquímica.

Chara (2017) indica en su segunda conclusión “El yacimiento se caracteriza por la ocurrencia de vetas de Au emplazados en el intrusivo y volcánicos con rumbo $N40^{\circ}-60^{\circ}W$ buzamiento de $40^{\circ}65^{\circ}$ NE, en estas estructuras se forman concentraciones o “clavos” irregulares con mineralización económica de 0.20 metros hasta 1.00 metro de ancho y de 50 a 100 metros de profundidad conocida hasta ahora que se alinean en “rosario” hasta 400 metros de longitud, a veces en estructura sigmoidal, e interrumpidas por fallas realizando movimientos dextrales, según el muestreo geoquímico en superficie, se debe considerar como nuevas áreas económicas de prospección y exploración hacia el Norte de la Mina Orión en sus concesiones Tauro 01 y Tauro 02”. No tiene bien claro la parte geoquímica pese a que uno de sus objetivos era la caracterización geoquímica.

Quino (2017) menciona en su tercera conclusión “Existe entre fuerte a perfectas correlaciones geoquímicas del Cu con el V, Co, Ni, As y Sn, que corresponden a la población Ígneo Intrusivo, mientras el Cu presenta una correlación entre moderada a fuerte con el Zn, As en la población Formación Guaneros. Del mismo modo hay entre moderada y fuerte correlación del Cu con el As en la población Volcánico Chocolate”. Se determinó potencialidades de Cu en profundidad, pero los muestreos no fueron hechos en estructuras mineralizadas (vetas).

Entonces acuerdo a los resultados obtenidos en esta tesis, se puede discutir con la tercera conclusión que tiene Quino (2017), porque sus muestras fueron extraídas en superficie y se obtuvieron en litología similar a la que se tiene en la Mina Orión. Así, solo dos elementos tienen cierta relación en la población muestral en ambos sectores (V y As) y ambos pueden ser utilizados para la búsqueda de mineralización relacionada flujos hidrotermales predominantemente magmáticos tardío. La ocurrencia de afinidad con el S y Cu y Bi puede indicar ingreso a la zona de sulfuros primarios y termino de la zona de óxidos.



VI. CONCLUSIONES

- Se ha determinado en muestra de superficie que los elementos químicos Bi, Ag, Fe y As tienen moderada correlación con el Au y V, P, Mo, Cu, Ti y W tienen baja correlación con el Au. En las muestras de profundidad se tiene que los elementos Ag y Bi tienen una correlación lineal alta con Au, luego se tiene correlación moderada de Cr, S, Cu y Sb con el Au y finalmente una baja correlación entre Au con Pb y As.
- Según la comparación de elementos asociados con Au en superficie y profundidad mediante el tratamiento estadístico se obtuvo, un incremento de valores en profundidad de los siguientes elementos: Au (15.80 a 26.96ppm); Ag (5.73 a 13.95ppm); As (306.13-547.19ppm); Bi (16.01-36.47ppm); Cr (72.54-209.44ppm); Cu (15.25-28.62ppm); Fe (18.20-18.60ppm); S (7.64-15.08ppm) y Sb (23.95-24.70ppm). Los siguientes umbrales de elementos bajan en contenido en profundidad: Mo (38.34-27.05ppm); P (4.49-3.19ppm); Pb (11.76-15.27ppm); Ti (5.43-4.85ppm); V (212.50-137.53ppm) y W (23.36-17.61ppm).
- La evaluación multivariada en muestras de las poblaciones de superficie y profundidad muestra una relación de Ag, Cu, Zn y Fe para el incremento de Au, por la ocurrencia de Cr, Bi, W y Mo en profundidad al parecer se está ingresando a zonas con mayor temperatura y a la zona de sulfuros primarios, con el consiguiente agotamiento de la zona de óxidos.



VII. RECOMENDACIONES

- Complementar con estudios petrográficos y minerográficos en las vetas, tanto en superficie y profundidad, para corroborar con la mineralogía de mena y ganga los datos geoquímicos obtenidos en este estudio.
- Incrementar el muestreo en vetas que tengan labores subterráneas nuevas.
- Implementar estudios para recuperación de Au en minerales sulfurados, esto por la presencia de S, Cr, Bi y Mo en profundidad.



VIII. REFERENCIAS

- Abad, P. & Huapaya, E. (2009) Guía para la presentación de gráficos estadísticos Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI. Lima-Perú.
- Acosta, J. (2006). Características metalogénicas de los yacimientos asociados a los arcos magmáticos mesozoicos del sur del Perú (Latitudes 16⁰-14⁰). Informe técnico INGEMMET.
- Adams J. L. (1906). Caudal, procedencia y distribución de aguas de los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna. Boletín del Cuerpo de Ingeniero de Minas del Perú. N°45, Perú.
- Alfaro, M. (2002). Introducción al muestreo minero. Instituto de Ingenieros de Minas de Chile.
- Aranda, P. (2015). Evaluación geomecánica para el diseño de una labor de exploración, al sistema de vetas de la Mina Orión Chala Arequipa. Tesis de UNCP.
- Blanco, J. (1984) Importancia del Muestreo en un Programa de Geoquímica de Prospección. Buenos Aires – Argentina.
- Chara, J. (2017). Geología económica del yacimiento minero aurífero mina Orión, Chala – Arequipa, Tesis de la UNA Puno.
- Cobbing et al., 1977b. (1977) Cobbing E.J., Pitcher W.S., Taylor W.P. Segments and super-units in the Coastal Batholith of Peru. J. Geol., 85 (London)
- Cueva, J. (2017) Prospección geoquímica del prospecto Isabel distrito de Jircán – Huánuco. Tesis UNC.
- Droppelmann, G. (2018) Pruebas de normalidad. Revista de actualizaciones clínicas médicas. Facultad de ciencias de la Universidad de Chile.
- Fernández R. R., (2017), Análisis Geoestadístico Y Numérico De Datos Geoquímicos De Sondeos De Exploración Minera, Casos De Depósitos Epitermales: Revista de la Asociación Geológica Argentina 74, Argentina
- Francis A. (2007). Geochemistry: an introduction. Translated from the French. (5th edición). Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Garcia, D., (2021). Revista Digital Tabulación y Representación Gráfica. Issuu. Available at: https://issuu.com/doriannysgarcia/docs/adrian_moreno_revista_2
- Goldschmidt, V. M. (1937) The Principles of Distribution of Chemical Elements in Minerals and Rocks. By V. M. Journ. Chemical Soc. 1937, pp. 655–673 et 428-429 (Oslo)
- Hartman, H.L. (1987): Introduction Mining Engineering. - 633p.; John Wiley & Sons (New York).
- Hurtado, Y. (2002). Prospección geoquímica del cuadrángulo de Chalhuanca (29-p), inventario de recursos minerales. Tesis de la Universidad Nacional de San Marcos, Lima, 48- 79 p.



- Lloyd, M.J.; Nichols, G.J.; Friend, P. F. 1998. Oligo-Miocene alluvialfan evolution at the southern Pyrenean thrust front, Spain. *Journal of Sedimentary Research*.
- Loaysa, E., Sarate, H, Galloso, A. (2008). Mineralización y explotación minera artesanal en la costa sur media del Perú. *Boletín 4 serie E. INGEMMET*.
- Minitab. (2021). Interpretar los resultados clave para Gráfica de burbujas - Retrieved 12 February 2021, from <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/19/help-and-how-to/graphs/bubble-plot/interpret-the-results/key-results/>
- Minitab. (2021). Prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov de dos muestras de las distribuciones subyacentes - Retrieved 12 February 2021, from <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/macro-library/macro-files/nonparametrics-macros/kstwo/>
- Montes, D. (2021). Diagrama BoxPlot - Proyectos Gestión Conocimiento. Retrieved 12 February 2021, from <https://www.pgconocimiento.com/diagrama-boxplot/>
- Moore et al., (1985). *Trop. Agric.* 62 (2): 142-144. Document reference. Moore, C. P.; Cock, J. H., 1985. (Trinidad)
- Olchanski E. (1980). *Geología de los Cuadrángulos de Jaqui, Coracora, Chala y Chaparra*. Lima - Perú: INGEMMET.
- Petersen, U. (1954). Informe preliminar sobre la geología de la faja costanera del departamento de Ica. INGEMMET. Lima Perú.
- Pierre, P.J., Herrera, G.J., De los Santos, M.J., (2000) *Cartografía Geológico Minera, Carta Hidalgo del Parral G13-5, esc.1:250000*, Consejo de Recursos Minerales, México.
- Quino, C. (2017) *Exploración geoquímica y determinación de elementos pathfinder - target proyecto: Achanizo Chaparra - Caravelí – Arequipa*. Tesis UNA PUNO.
- Quintanilla, B. (2017). *Estadística en variables con censura: aplicación a datos medioambientales*.
- Rivera, H. (2007) *Introducción a la geoquímica general y aplicada*. UNMSM. Lima-Perú.
- Rojas E. (2021). Muestreo de minerales de oro. Retrieved 12 February 2021, from <https://es.slideshare.net/melissaelizabeth9406/muestreo-de-minerlaes-de-oro>.
- Sacsi, Manuel. (2016). *Características geológicas principales de la mineralización cuprífera post – Jurásico del yacimiento Chavincha (veta Las Águilas)*. Lucanas – Ayacucho – Perú.
- Santos J. (2009). *Controles Geológicos - Estructurales de la Mineralización Aurífera en el Sistema de Vetas de la Mina Orión Chala Arequipa*. Lima – Perú.
- Spiegel, M. (1975) *Probabilidad y Estadística. Teoría y problemas resueltos*. McGraw-Hill. México.



- Vásquez, R (2009). Distribución geoquímica de tierras raras y otros elementos en la franja polimetálica 9°-10°S del Perú Central. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Lima
- Walker, G.P.L., (1971), Grain-size characteristics of pyroclastics deposits: *Journal of Geology*, 79, 696-714. (Londres)
- Wilson J., Jaén H., Ortiz G. (1963). Geología del cuadrángulo de La Yarada, Tacna y Huaylillas. Carta Geológica Nacional. Boletín 6. Serie A, Perú.
- Zapana, E. (2012) Determinación de “targets” de exploración en yacimientos minerales polimetálicos mediante prospección geoquímica “proyecto Santa Rosa – Brazinni, Raura”. Tesis UNA PUNO.