

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



**“EXPLORACIÓN GEOQUÍMICA Y DETERMINACIÓN
DE ELEMENTOS PATHFINDER - TARGET
PROYECTO: ACHANIZO
CHAPARRA - CARAVELÍ - AREQUIPA”**

TESIS

Presentada por:

CESAR WILSON QUINO LAYME

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO - PERÚ

2017

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

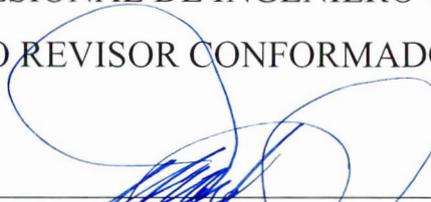
**“EXPLORACIÓN GEOQUÍMICA Y DETERMINACIÓN
DE ELEMENTOS PATHFINDER – TARGET
PROYECTO: ACHANIZO
CHAPARRA - CARAVELÍ - AREQUIPA”**

TESIS PRESENTADA POR:
CESAR WILSON QUINO LAYME



PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO
APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE:



DR. VICTORIANO ROLANDO APAZA CAMPO

PRIMER MIEMBRO:



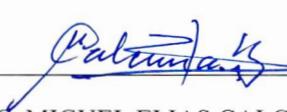
M.SC. VALENTIN ELIAS FERNANDEZ VALDIVIA

SEGUNDO MIEMBRO:



M.SC. ROGER GONZALES ALIAGA

DIRECTOR DE TESIS:



M.SC. MIGUEL ELIAS CALCINA BENIQUE

ÁREA: GEOLOGÍA DE MINAS.

TEMA: EXPLORACIÓN Y EVALUACIÓN DE YACIMIENTOS
METÁLICOS.

PUNO – PERÚ

2017

ESTE TRABAJO VA DEDICADO:

A mis padres y hermanos porque cada uno de mis logros pasados y futuros, también son suyos Gracias por el apoyo en mi formación profesional.

A mi compañera Mariel mi mejor amiga por su apoyo y exigencia gracias por tu comprensión y por construir una historia juntos.

A mi hijo Yadiel, por cambiarme la vida tú eres sin duda la parte más importante de mi vida Gracias.

AGRADECIMIENTO

Doy gracias sobre todo a Dios y a la vida por la enorme bendición.

A mis padres y hermanos por darme su apoyo constante y aliento moral en los momentos más difíciles y por su gran paciencia en los tiempos de estudios, que han sido muy importantes para mi formación profesional. A mi hijo Thiago Yadiel, por iluminarme y cambiarme la vida gracias por ser el motor que me empuja día a día en mi carrera a Mariel por soportar mis momentos de estrés.

Además de eso me gustaría agradecer a muchas personas más:

A la Empresa Minera Group Mining Perú-China SAC, por haber permitido desempeñarme como profesional en el área de exploraciones geológicas. En especial mi reconocimiento al Ing. Fredy Llerena B, por su apoyo y volcar sus experiencias hacia mi persona en los trabajos de exploración.

A la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, Facultad de Ingeniería Geológica y Metalúrgica, Escuela Profesional de Ingeniería Geológica; por haberme cobijado en sus claustros y permitir mi formación profesional. En especial a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de quienes recibí la formación académica.

A mi asesor de tesis Mg. Miguel Elias Calcina Benique, por las valiosas orientaciones y apoyo profesional brindadas para la realización del presente trabajo.

Mi agradecimiento a todas las personas que estuvieron pendientes del trabajo y manifestaron su colaboración en la realización de esta tesis cada página alberga mucho entusiasmo, esfuerzo, dedicación, pero sobretodo amor a la Geología, toda mi gratitud.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	II
ÍNDICE GENERAL	III
LISTA DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	XII
LISTA DE MAPAS	XIII
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO ACHANIZO -----	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA -----	1
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA -----	2
1.4 HIPÓTESIS -----	2
1.5 OBJETIVOS -----	2
1.5.1 Objetivo General-----	2
1.5.2 Objetivos Específicos -----	3
1.6 JUSTIFICACIÓN -----	3

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 QUE ES EXPLORACIÓN MINERA -----	4
2.2 PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA GEOQUÍMICA -----	4
2.2.1 Dispersión Geoquímica -----	4
2.2.2 Movilidad Geoquímica del Elemento-----	5

2.2.3 Asociación de Elementos-----	6
2.3 MUESTREO GEOQUÍMICO -----	7
2.3.1 La Importancia de Muestreo de Minerales. -----	8
2.3.2 Métodos de Toma de Muestra -----	9
2.3.3 Método de Muestreo -----	9
2.3.4 Tipos de Muestras-----	10
2.4 MÉTODOS ANALÍTICOS Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS -----	10
2.4.1 Métodos Analíticos -----	10
2.5 PARÁMETROS ESTADÍSTICOS-----	11
2.5.1 Medidas de Tendencia Central-----	11
2.5.2 Medidas de Posición no Central-----	11
2.5.3 Desviación Estándar-----	12
2.5.4 Frecuencia Relativa -----	12
2.5.5 Frecuencia Acumulada-----	13
2.6 PARÁMETROS GEOQUÍMICOS -----	13
2.6.1 Fondo Geoquímico o <i>Background</i> -----	13
2.6.2 Umbral Geoquímico o <i>Thershold</i> -----	13
2.6.3 Coeficiente de Correlación de Pearson (r) -----	14
2.6.4 Interpretación de “r”-----	14
2.6.5 Anomalía Geoquímica -----	14
2.6.6 Distribución Geoquímica-----	15
2.7 GEOLOGÍA REGIONAL -----	15
2.7.1 Complejo Basal de la Costa -----	15
2.7.2 Paleozoico -----	16
2.7.2.1. Formación Mitu (Lopingiano) -----	16
2.7.3 Mesozoico -----	16
2.7.3.1 Volcánico Chocolate (Liásico Inferior) -----	16
2.7.3.2 Formación Guaneros (kimmeridgiano – caloviano)-----	16
2.7.4 Cenozoico-----	17
2.7.4.1 Formación Millo (Plioceno inferior)-----	17
2.7.4.2 Volcánico Sencca (Plioceno superior)-----	17
2.7.5 Depósitos Cuaternarios (Pleistoceno – Holoceno)-----	17

2.7.6 Rocas Intrusivas-----	17
2.8 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL-----	18
2.8.1 Sistema de Fallas Regionales -----	18
2.9 ALTERACIONES HIDROTERMALES -----	19

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN-----	21
3.1.1 Materiales y Equipos de Estudio -----	22
3.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN -----	22
3.3 MUESTREO GEOQUÍMICO -----	22
3.3.1 Método de muestreo-----	23
3.4 PREPARACIÓN Y ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS MUESTRAS-----	26
3.4.1 Preparación de muestras -----	26
3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO-----	27

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD-----	28
4.2 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA -----	30
4.2.1 Geología Local-----	30
4.2.1.1 Volcánico Chocolate (Ji-vch)-----	30
4.2.1.2 Formación Guaneros (Js-gu)-----	30
4.2.1.3 Formación Millo (Ts-ml)-----	31
4.2.1.4 Brechas Volcánicas (Bx)-----	32
4.2.1.5 Depósitos Cuaternarios Recientes -----	32
4.2.1.6 Rocas Intrusivas -----	34
4.2.2 Geología Estructural -----	34
4.2.3 Mineralización Dentro de la Caracterización Geológica-----	35

4.2.4 Tipo de Yacimiento Achanizo -----	39
4.3 MAPEO GEOQUÍMICO -----	40
4.3.1 Elementos Guías de Exploración-----	40
4.3.2 Análisis de Poblaciones Estadísticas-----	40
4.4 EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOQUÍMICOS -----	41
4.4.1 Niveles de Fondo y Umbrales Geoquímicos-----	41
4.4.2 Determinación de las Correlaciones Geoquímicas-----	42
4.5 DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS EN LAS UNIDADES GEOLÓGICAS -----	48
4.5.1 Distribución del Cobre (Cu)-----	48
4.5.2 Distribución del Plomo (Pb) -----	52
4.5.3 Distribución del Zinc (Zn)-----	55
4.5.4 Distribución del Molibdeno (Mo)-----	58
4.5.5 Distribución del Arsénico (As) -----	61
4.5.6 Distribución del Aluminio (Al)-----	64
4.5.7 Distribución del Cobalto (Co) -----	67
4.5.8 Distribución del Níquel (Ni) -----	70
4.5.9 Distribución del Escandio (Sc) -----	73
4.5.10 Distribución del Estaño (Sn)-----	76
4.5.11 Distribución del Talio (Tl)-----	79
4.5.12 Distribución del Vanadio (V)-----	82
CONCLUSIONES -----	85
RECOMENDACIONES-----	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	87
ANEXOS -----	90

LISTA DE FIGURAS

N°	Descripción	Pág.
Fig. 1:	Relación entre ambiente de movilización con ambiente de dispersión, causado por agentes de transporte (Internet, libro geoquímico).	5
Fig. 2:	Muestreo estadístico y muestreo de minerales (Pierre, 2002).	9
Fig. 3:	Diagramas de distribución normal (gaussiana) mostrando la posición de algunos parámetros estadísticos (Rivera, 2007).	12
Fig. 4:	Histogramas que muestran las simetrías positivas (a) y negativas (b) (Rivera, 2007).	13
Fig. 5:	Distribución geoquímica (Hosking, 1951).	15
Fig. 6:	Estructura de la metodología de trabajo.	21
Fig. 7:	Malla de muestreo geoquímico de 0.45 x 0.70 kilómetros en un sistema de mantos de cobre en la zona de Rica.	25
Fig. 8:	Apertura de calicata 1.0x2.0 m ² a una profundidad de 3 m bajo superficie.	25
Fig. 9:	Muestreo geoquímico rock chip de afloramientos.	25
Fig. 10:	Tarjeta de muestro utilizados en la codificación.	26
Fig. 11:	Afloramiento al Sur, Volcánico Chocolate en contacto con la Formación Guaneros en la zona fortuna.	31
Fig. 12:	Vista panorámica mirando al Noreste se observa, tobas y cenizas volcánicas, Formación Millo en la zona de fortuna.	31
Fig. 13:	Afloramiento al norte, volcánicos Chocolate en contacto con la formación se observa la Brecha volcánica.	32
Fig. 14:	Columna Estratigráfica Local, los mantos se encuentran dentro de las formaciones Volcanico Choclote y Formacion Guaneros (Elaboracion propia).	34
Fig. 15:	Se tiene en la imagen satelital y la interpretación del comportamiento estructural, con el sistema de fallas longitudinales y transversales, (Fuente Google Earth).	35
Fig. 16:	Al sur de fortuna se observa el Cu de exudación.	35
Fig. 17:	Se observa el desarrollo de un Pique en Fortuna.	36
Fig. 18:	Afloramiento al Noroeste, “Manto Rica” con concentraciones de Malaquita y Calcitas emplazadas dentro del Volcánico Chocolate en la zona Rica.	37

Fig. 19: Afloramiento al Noroeste, “Manto Fortuna” con concentraciones de Malaquita, Epidota y Calcita emplazada dentro del Volcánico Chocolate en la zona Fortuna.....	37
Fig. 20: Afloramiento al Norte, alteración propilítica con asociaciones minerales de Malaquita, Epidota, Calcita, dentro del Volcánico Chocolate en la zona Fortuna.....	38
Fig. 21: Arcillas de montmorillonita muy deleznales.....	38
Fig. 22: Mapa metalogenético del área de estudio Proyecto Achanizo.....	39
Fig. 23: Modelo esquemático de la transición de niveles Hipotermiales – Epitermales, Mesotermiales, mostrando ensambles de mineralización y alteración (Corbett and Leach, 1997).	40
Fig. 24: Comparación del Fondo Geoquímico de los elementos traza, en las diferentes poblaciones del proyecto Achanizo.....	42
Fig. 25: Comparación del Umbral Geoquímico de elementos traza, en las diferentes poblaciones del Proyecto Achanizo.....	42
Fig. 26: Histograma de frecuencia y concentración de Cu, población Formación Guaneros.....	50
Fig. 27: Histograma de frecuencia y concentración de Cu, población Volcánico Chocolate.....	50
Fig. 28: Grafico Box-Plot para el Cu en las tres poblaciones geoquímicas.....	50
Fig. 29: Grafico Q-Q Normal para el Cu en la población Volcánico chocolate.....	50
Fig. 30: Histograma de frecuencia y concentración de Pb, población Formación Guaneros.....	53
Fig. 31: Histograma de frecuencia y concentración de Pb, población Volcánico Chocolate.....	53
Fig. 32: Grafico Q-Q Normal para el Pb en la población Volcánico Chocolate.....	53
Fig. 33: Grafico Box-Plot para el Pb en las tres poblaciones geoquímicas.....	53
Fig. 34: Histograma de frecuencia y concentración de Zn, población Formación Guaneros.....	56
Fig. 35: Histograma de frecuencia y concentración de Zn, población Volcánico Chocolate.....	56
Fig. 36: Grafico Q-Q Normal para el Zn en la población Volcánico Chocolate.....	56
Fig. 37: Grafico Box-Plot para el Zn en las tres poblaciones geoquímicas..	56

Fig. 38: Histograma de frecuencia y concentración de Mo, población Formación Guaneros.....	59
Fig. 39: Histograma de frecuencia y concentración de Mo, población Volcánico Chocolate.....	59
Fig. 40: Grafico Q-Q Normal para el Mo en la población Volcánico Chocolate.....	59
Fig. 41: Grafico Box-Plot para el Mo en las tres poblaciones geoquímicas.	59
Fig. 42: Histograma de frecuencia y concentración de As, población Formación Guaneros	62
Fig. 43: Histograma de frecuencia y concentración de As, población Volcánico Chocolate.....	62
Fig. 44: Grafico Q-Q Normal para el As en la población Volcánico Chocolate.....	62
Fig. 45: Grafico Box-Plot para el As en las tres poblaciones geoquímicas.	62
Fig. 46: Histograma de frecuencia y concentración de Al, población Formación Guaneros.....	65
Fig. 47: Histograma de frecuencia y concentración de Al, población Volcánico Chocolate.....	65
Fig. 48: Grafico Q-Q Normal para el Al en la población Volcánico Chocolate.....	65
Fig. 49: Grafico Box-Plot para el Al en las tres poblaciones geoquímicas.....	65
Fig. 50: Histograma de frecuencia y concentración de Co, población Formación Guaneros.....	68
Fig. 51: Histograma de frecuencia y concentración de Co, población Volcánico Chocolate.....	68
Fig. 52: Grafico Q-Q Normal para el Co en la población Volcánico Chocolate.....	68
Fig. 53: Grafico Box-Plot para el Co en las tres poblaciones geoquímicas.	68
Fig. 54: Histograma de frecuencia y concentración de Ni, población Formación Guaneros.....	71
Fig. 55: Histograma de frecuencia y concentración de Ni, población Volcánico Chocolate.....	71
Fig. 56: Grafico Q-Q Normal para el Ni en la población Volcánico Chocolate.....	71
Fig. 57: Grafico Box-Plot para el Ni en las tres poblaciones geoquímicas.....	71
Fig. 58: Histograma de frecuencia y concentración de Sc, población Formación Guaneros.....	74

Fig. 59: Histograma de frecuencia y concentración de Sc, población Volcánico Chocolate.	74
Fig. 60: Grafico Q-Q Normal para el Sc en la población Volcánico Chocolate.	74
Fig. 61: Grafico Box-Plot para el Sc en las tres poblaciones geoquímicas.	74
Fig. 62: Histograma de frecuencia y concentración de Sn, población Formación Guaneros.	77
Fig. 63: Histograma de frecuencia y concentración de Sn, población Volcánico Chocolate.	77
Fig. 64: Grafico Q-Q Normal para el Sn en la población Volcánico Chocolate.	77
Fig. 65: Grafico Box-Plot para el Sn en las tres poblaciones geoquímicas.	77
Fig. 66: Histograma de frecuencia y concentración de Tl, población Formación Guaneros.	80
Fig. 67: Histograma de frecuencia y concentración de Tl, población Volcánico Chocolate.	80
Fig. 68: Grafico Q-Q Normal para el Tl en la población Volcánico Chocolate.	80
Fig. 69: Grafico Box-Plot para el Tl en las tres poblaciones geoquímicas.	80
Fig. 70: Histograma de frecuencia y concentración de V, población Formación Guaneros.	83
Fig. 71: Histograma de frecuencia y concentración de V, población Volcánico Chocolate.	83
Fig. 72: Grafico Q-Q Normal para el V en la población Volcánico Chocolate.	83
Fig. 73: Grafico Box-Plot para el V en las tres poblaciones geoquímicas.	83

ÍNDICE DE TABLAS

N°	Descripción	Pág.
Tabla N° 1:	Elementos con afinidad geoquímica y elementos guías asociados usados en exploración de depósitos (Tomado de Rose, 1979; Beus & Gregorian, 1977) en Hurtado 2002).....	6
Tabla N° 2:	Elementos indicadores y exploradores de algunos tipos de depósitos minerales (Modificado de Hurtado, 2002).	7
Tabla N° 3:	Muestras de la prospección geoquímica (Modificado de Hurtado, 2002). ..	8
Tabla N° 4:	La accesibilidad es posible a través del siguiente itinerario.....	28
Tabla N° 5:	Poblaciones estadísticas considerando las unidades geológicas predominantes.....	41
Tabla N° 6:	Niveles de fondo y umbrales geoquímicos por poblaciones geoquímicos.	41
Tabla N° 7:	Rango de correlación considerado.	43
Tabla N° 8:	Matriz de correlación geoquímica en la población Ígneo Intrusivo.....	43
Tabla N° 9:	Matriz de correlación geoquímica en la población Formación Guaneros..	44
Tabla N° 10:	Matriz de correlación geoquímica en la población Volcánico Chocolate.	44
Tabla N° 11:	Parámetros estadísticos del Cobre (Cu).	49
Tabla N° 12:	Parámetros estadísticos del Plomo (Pb).	52
Tabla N° 13:	Parámetros estadísticos del Zinc (Zn).	55
Tabla N° 14:	Parámetros estadísticos del Molibdeno (Mo).....	58
Tabla N° 15:	Parámetros estadísticos del Arsénico (As).	61
Tabla N° 16:	Parámetros estadísticos del Aluminio (Al).....	64
Tabla N° 17:	Parámetros estadísticos del Cobalto (Co).....	67
Tabla N° 18:	Parámetros estadísticos del Níquel (Ni).	70
Tabla N° 19:	Parámetros estadísticos del Estroncio (Sc).....	73
Tabla N° 20:	Parámetros estadísticos del Estaño (Sn).....	76
Tabla N° 21:	Parámetros estadísticos del Talio (Tl).....	79
Tabla N° 22:	Parámetros estadísticos del Vanadio (V).	82

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

AGQ PERU S.A.C	: Centro Tecnológico Químico
Bx	: Brecha
C°	: Cerro
°C	: Grado Centígrado
Dsv.	: Desviación
Eh.	: Potencial Oxido Reducción
Fm	: Formación
Fon.	: Fondo
GMPC S.A.C	: Group Mining Peru China SAC
IGN	: Instituto Geográfico Nacional
INGEMMET	: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
Ji-vch	: Volcánico Chocolate
Km	: Kilómetro
Js-gu	: Formación Guaneros
Ln	: Logaritmo neperiano (2.71828).
m.s.n.m	: Metros sobre el nivel del mar
N°	: Numero
Np-mi	: Grupo Mitu
Nv	: Nivel
Oxd	: Óxidos
Oxd-Fe	: Óxidos de fierro, [Fe ₂ O ₃]
Par.	: Parámetro
Ph.	: Potencial de Hidrogeno
Ppm	: Partes por millón
Q-al	: Cuaternario aluvial
Q-col	: Cuaternario coluvial
SD	: Desviación Estándar
S.A.C	: Sociedad Anónima Cerrada
Ths	: thershold
%	: Porcentaje

LISTA DE MAPAS

N°	Descripción	Pág.
Mapa N° 1:	Puntos topográficos y de muestreo. -----	24
Mapa N° 2:	Ubicación del área de estudio. -----	29
Mapa N° 3:	Geología local -----	33
Mapa N° 4:	Variables de correlación del (Cu), población Ígneo Intrusivo. -----	45
Mapa N° 5:	Variables de correlación del (Cu), población Formación Guanera. -----	46
Mapa N° 6:	Variables de correlación del (Cu), población Volcánico Chocolate. -----	47
Mapa N° 7:	Distribución geoquímica del Cobre (Cu) -----	51
Mapa N° 8:	Distribución geoquímica del Plomo (Pb). -----	54
Mapa N° 9:	Distribución geoquímica del Zinc (Zn). -----	57
Mapa N° 10:	Distribución geoquímica del Molibdeno (Mo). -----	60
Mapa N° 11:	Distribución geoquímica del Arsénico (As). -----	63
Mapa N° 12:	Distribución geoquímica del Aluminio (Al). -----	66
Mapa N° 13:	Distribución geoquímica del Cobalto (Co). -----	69
Mapa N° 14:	Distribución geoquímica del Níquel (Ni). -----	72
Mapa N° 15:	Distribución geoquímica del Escandio (Sc). -----	75
Mapa N° 16:	Distribución geoquímica del Estaño (Sn). -----	78
Mapa N° 17:	Distribución geoquímica del Talio (Tl). -----	81
Mapa N° 18:	Distribución geoquímica del Vanadio (V). -----	84

RESUMEN

El Proyecto Achanizo pertenece a la empresa Group Mining Perú - China SAC, políticamente está localizadas en el departamento de Arequipa, distrito de Chaparra, provincia de Caravelí; se encuentra en la Franja Metalogenética IX (Mesotermiales de Au-Pb-Zn del Cretáceo Superior).

El objetivo es utilizar el cartografiado geológico y determinar los elementos “*Pathfinder* y *Targets*” para la búsqueda de depósitos Cu y relacionar las distribuciones geoquímicas con los rasgos principales de los yacimientos y unidades litológicas aflorantes a través de valores, concentraciones anómalas para determinar nuevos yacimientos. Para cumplir con los siguientes objetivos se han realizado los siguientes trabajos: Caracterización geológica, estudios de geología estructural, mapeo geológico, distribución de los elementos en las unidades geológicas. Para el mapeo geoquímico se han realizado muestreos de una manera estandarizada, es del orden sistemático y selectivo recolectándose un total de 222 muestras de roca en una malla de 50 por 50 metros, la zona Fortuna comprende una extensión de 0.55 x 0.75 km y la zona Rica con una extensión de 0.45 x 0.70 km. Las rocas intrusivas están representadas por diques sub-volcánicas de composición andesita y una brecha de intrusión de andesita a dacita, al SE del proyecto se exponen un plutón de monzonita que se asume hayan originado la mineralización de Epidota, Malaquita, Crisocola, Azurita, Calcita, Baritina. Las estructuras manteadas en la zona de estudio se enmarcan dentro de los sistemas principales de fallas regionales en un sistema de rumbo N 15°, 25°, 45° W y fallas transversales de sistema N 12°, 30°, 45° E el primer sistema corresponde a un corredor estructural favorable.

La población Intrusivo es la que presenta la mayor cantidad de correlaciones geoquímicas entre fuerte y perfecta correlaciones del Cu con el V, Co, Ni, As, Sn mientras el V presenta una correlación de orden significativo. Las altas concentraciones de Cu se dan dentro de las rocas volcánicas y tienen una distribución muy puntal en los mantos y alteraciones, los máximos umbral geoquímico corresponde al Volcánico Chocolate. Las distribuciones geoquímicas de los elementos traza se correlaciona con Cu en la zona Fortuna y en la Zona Rica a excepción del Vanadio el que muestra un comportamiento diferente.

Palabras claves: Geoquímica, Elementos *Pathfinder* y *Targets*, Distribución, Correlación.

ABSTRACT

The Achanizo Project belongs to the company Group Mining Perú - China SAC, politically located in the department of Arequipa, District of Chaparra, Province of Caravelí; It is found in the Metallogenic Strip IX (Upper Cretaceous Au-Pb-Zn Mesothermals).

The objective is to use the geological map and determine the elements "Pathfinder and Targets" for the search of Cu deposits and to relate the geochemical distributions with the main features of the deposits and the outlying lithological units through the values, the concentrations to determine new deposits. In order to fulfill the following objectives, the following works have been carried out: Geological characterization, studies of structural geology, geological mapping, distribution of elements in geological units. For the geochemical mapping, the samples have been executed in a standardized way, it is of the systematic and selective order that collect a total of 222 samples of rock in a mesh of 50 by 50 meters, the zone Fortune comprises an extension of 0.55 x 0.75 kilometers and The Rica zone with an extension of 0.45 x 0.70 km. The intrusive rocks are represented by sub-volcanic dykes of Andesite composition and a breccia of intrusion of Andesite to a dacite, to the SE of the project they are exposed and are pluto of monzonite that are assumed originated the mineralization of Epidote, Malachite, Chrysocolla, Azurite, Calcite, Baritine. The structures maintained in the study area are framed within the main regional fault systems in a N 15 °, 25 °, 45 ° W and transverse system failures N 12 °, 30 °, 45 ° E System corresponds to a favorable structural corridor.

The Intrusive population is the one that presents the greatest number of geochemical correlations between strong and perfect correlations of Cu with V, Co, Ni, As, Sn, while V presents a significant order correlation. The high concentrations of Cu occur within the volcanic rocks and have a very steep distribution in the mantles and alterations, the maxima of the threshold geography correspond to the Volcanic Chocolate. The geochemical distributions of the elements plot the correlation with the Cu in the zone Fortune and the Rich Zone an exception of the Vanadium that shows a different behavior.

Keywords: Geochemistry, Pathfinder Elements and Targets, Distribution, Correlation.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO ACHANIZO

El Proyecto Achanizo fue explorado por la empresa Group Mining Perú-China, una empresa minera nacional con capitales chinos exploró el proyecto entre 2010 y 2012. Su trabajo identificó anomalías de cobre débil en 2 pequeños mantos, afloramientos de rocas silicificadas, una brecha hidrotermal y diques andesíticos. En el año 2012 comenzó la exploración de superficie con geología al detalle del proyecto y con geoquímica de roca. En 1980 Enrique Olchauski Lomparte a través del instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) publican geología de los cuadrángulos de Jaqui, Coracora, Chala y Chaparra, Boletín N° 34.

A 3 km hacia el Este de la Mina Veta Ancha, se encuentra la Mina León, de donde se ha explotado oro, emplazados en vetas delgadas de óxidos con cuarzo, no se aprecia la pirita, sin embargo, la galería se ha desarrollado a unos 350 metros de rumbo N78W y buzamiento 45° NE. Se observan trabajos de explotación muy errática y se tienen un inclinado de unos 35 metros desarrollado sobre estructura y un pique vertical fuera de veta, se indica que tendría algo más de 100 m de profundidad, pero de acuerdo a lo observado no llegaría a los 50m. A 8 Km al NE de la Zona Rica se tiene otra mina de oro conocida como Estrella en actual explotación, donde trabajan pequeños productores mineros artesanalmente, otra mina de Oro se localiza al NW conocida como La Española (Benites, 2012 comunicación personal).

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Proyecto Achanizo, corresponde a extensas áreas cubiertas por depósitos y/o rocas post-mineralización. En la zona de estudio se realizó la exploración superficial para la búsqueda de cuerpos de Cu, aplicando los estudios Geológicos y Geoquímicos en las

zonas de anomalías y así ubicar las áreas de interés en superficie. En la actualidad el proyecto se encuentra paralizada debido principalmente al financiamiento y a la falta de apoyo por parte de la empresa para efectuar labores de exploración.

La mineralización se encuentra bajo cobertura de detritos, para reconocer la existencia de estructuras importantes se debe orientar mejor la exploración en la zona de estudio. Es necesario realizar un cartografiado a escala menor para mapear y ampliar las áreas de muestreo a dicha escala para así definir adecuadamente los afloramientos de estructuras y las características del yacimiento de tipo pórfido que se encuentran dentro de la Franja Metalogénica IX. Es importante realizar exploración geoquímica en superficie, debido a que los yacimientos de Cu se ubican a cientos de metros por debajo de la superficie en contacto con las rocas volcánicas, donde las exposiciones en superficie solo pueden mostrar contenidos de elementos traza tales como los elementos indicadores y elementos guías de exploración.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Dadas las consideraciones anteriores se tiene la siguiente pregunta:

¿Qué posibilidades existen de encontrar elementos “*Pathfinder y Targets*” de exploración en cuerpos ocultos de Cu mediante la exploración geoquímica en el sector denominado como “Proyecto Achanizo” del distrito de Chaparra?

1.4 HIPÓTESIS

Hallando las correlaciones entre elementos se pueden identificar y delimitar áreas relacionadas a la mineralización de Cu tipo relleno en fracturas de (Mantos y Vetas), en las diferentes unidades geológicas tales como en rocas del Volcánico Chocolate, Formaciones Guaneros y rocas Intrusivas.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General

Determinar los elementos “*Pathfinder y Target*” mediante muestreo geoquímico en el Proyecto Achanizo.

1.5.2 Objetivos Específicos

- a) Elaborar el cartografiado geológico.
- b) Determinar elementos “*Pathfinder* y *Target*”, umbral y anomalías geoquímicas.
- c) Determinar correlaciones geoquímicas mediante análisis estadístico de los elementos indicadores con elementos guías y sus relaciones con mineralización.
- d) Determinar la distribución geoquímica de los elementos traza dentro de las unidades litológicas.

1.6 JUSTIFICACIÓN

La exploración geoquímica permite determinar elementos *Pathfinder* y *Targets* de exploración y relacionar las distribuciones geoquímicas con los rasgos principales de los yacimientos y unidades litológicas aflorantes a través de valores de fondo y umbral geoquímico, concentraciones anómalas y correlaciones geoquímicas, facilitando así el descubrimiento de nuevos yacimientos.

El presente estudio se justifica porque es una primera fase de estudio en la exploración y porque permite determinar nueva área y avanzar la siguiente fase de exploración, el cual va incrementar los recursos prospectivos de Cu.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 QUE ES EXPLORACIÓN MINERA

Según el “Dictionary of Geological Terms”, (Bates & Jackson, 1984) exploración designa la búsqueda de depósitos de minerales útiles o de combustibles fósiles. En este diccionario no se distingue entre exploración y prospección. Algunos autores como (Hartman, 1987) diferencian exploración y prospección en lo que concierne su objetivo y a partir de este el principio de trabajo aplicado: el objetivo de la prospección es el reconocimiento general de un yacimiento mineral, la exploración está enfocada en un reconocimiento detallado del depósito mineral.

2.2 PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA GEOQUÍMICA

Los parámetros del ambiente geoquímico que determinan las fases minerales que son estables en un punto determinado son la presión, la temperatura y la disponibilidad de componentes químicos más abundantes (Vásquez, 2009). Sobre la base de estas variables, es posible clasificar los ambientes geoquímicos naturales de la Tierra en dos grandes grupos:

2.2.1 Dispersión Geoquímica

Es la capacidad de migración de un elemento desde su origen hacia otro ambiente través de diferentes procesos fisicoquímicas y mecánicas. También se define como el movimiento fisicoquímico que sufren los elementos al pasar de un ambiente geoquímico a otro; esto se refiere también a los procesos de transporte o fraccionamiento de los elementos (Rivera, 2007). Las dispersiones pueden ser:

- a) **Dispersión mecánica.** - Como el emplazamiento de los magmas o el transporte glacial, eólico y fluvial que implica pequeños fraccionamientos.
- b) **Dispersión química.** - La contribución de procesos químicos a través del intemperismo, comprende sobre todo una diferenciación del material en varias fracciones de movilidad. Se puede dividir los elementos en: inmóviles que son los insolubles y los móviles que son los solubles.
- c) **Dispersión primaria.** – Esta caracterizada por las condiciones de profundidad de altas presiones y temperaturas cuyos productos quedan reservados en rocas ígneas metamórficas o hidrotermales (Rivera, 2007).
- d) **Dispersión secundaria.** – Son las condiciones prevalecientes en la superficie terrestre consistente de baja temperatura y presiones en la cual los procesos de dispersión secundaria son resaltantes (Rivera, 2007).

2.2.2 Movilidad Geoquímica del Elemento

Es la capacidad que tienen los elementos de ser transportados de un ambiente geológico a otro. Algunos elementos muestran un alto grado de movilidad durante la dispersión en ambientes particulares (Figura 1). La respuesta de un elemento a los procesos de dispersión está gobernada por su movilidad la que depende de las propiedades mecánicas de la fase móvil (Rivera, 2007).

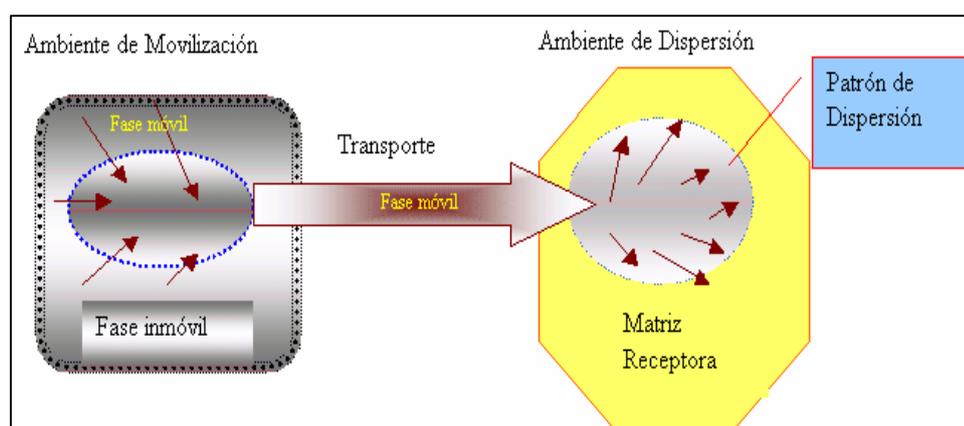


Fig. 1: Relación entre ambiente de movilización con ambiente de dispersión, causado por agentes de transporte (Internet, libro geoquímico).

2.2.3 Asociación de Elementos

Se manifiestan en general por las condiciones de formación, mostrando asociaciones de características en cualquier condición geológica, tales como rocas ígneas particulares, rocas sedimentarias y ciertas menas, esto es porque algunos elementos pueden viajar juntos durante los procesos ígneos y metamórficos, pero que pueden separarse durante el ciclo de meteorización (Vásquez, 2009), se puede distinguir como:

- a) **Elemento indicador (*Target*).** - Elemento indicador, indicador directo o elemento blanco “*Target element*” se refiere a uno de los elementos principales del depósito mineral que se espera encontrar (Tabla 1 y 2).
- b) **Elemento explorador (*Pathfinder*).** – Debido a que los elementos muestran diferentes grados de movilidad controlados inicialmente por la estabilidad de los minerales que los contiene posteriormente por el ambiente en el cual están migrando, un elemento “*Pathfinder element*” puede ser definido como un elemento fácilmente detectable (Tabla 1 y 2).

El hecho de que uno o más elementos y minerales puedan estar estrechamente asociados y puedan constituir un halo, ayudan en el descubrimiento de depósitos minerales después de buscados lo que lleva al concepto de elemento guía, elemento indicador o Pathfinder (Warren & Delarault 1953, 1956).

Tabla N° 1: Elementos con afinidad geoquímica y elementos guías asociados usados en exploración de depósitos (Tomado de Rose, 1979; Beus & Gregorian, 1977) en Hurtado 2002).

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
Sufuros 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

Tabla N° 2: Elementos indicadores y exploradores de algunos tipos de depósitos minerales (Modificado de Hurtado, 2002).

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, Tl
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

2.3 MUESTREO GEOQUÍMICO

El muestreo geoquímico es la forma corriente de obtener muestras representativas de un determinado material natural, colectado de una manera estandarizada. La cantidad de material debe estar adecuada a la finalidad del muestreo, a los requerimientos analíticos y a la conservación del remanente en repositorios como material de referencia para futuras investigaciones (Galliski, 1996).

Partiendo del principio conocido que una muestra es una porción pequeña representativa de un conjunto o masa mayor, se deduce teóricamente al menos que esa pequeña porción

debe reunir las mismas características y propiedades del material representado y estar de acuerdo con el grado de exactitud requerido en base a la calidad y al número de muestras (Blanco, 1985) por lo tanto, se puede considerar que los 3 tópicos fundamentales del muestreo radican en:

1. Obtener muestras de la mejor calidad.
2. Tomar el menor número posible de muestras.
3. Obtener la mayor representatividad del sistema bajo estudio.

Tabla N° 3: Muestras de la prospección geoquímica (Modificado de Hurtado, 2002).

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.

2.3.1 La Importancia de Muestreo de Minerales.

- a) **Muestra:** es una parte o porción extraída de un conjunto por métodos que permiten considerarla como representativa del mismo.
- b) **Muestreo:** es la acción de recoger muestras representativas de calidad, condiciones medias de un todo, 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.
- c) **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, el lote o población está compuesto por objetos de igual peso.
 - En el muestreo de minerales, el lote está compuesto de objetos de diferentes pesos.

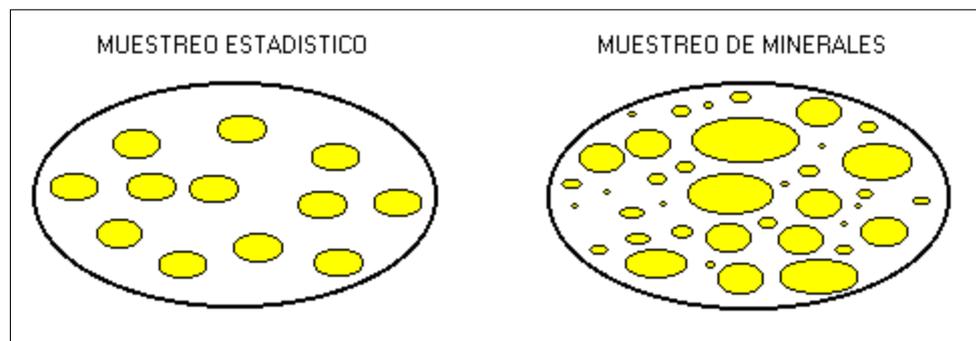


Fig. 2: Muestreo estadístico y muestreo de minerales (Pierre, 2002).

2.3.2 Métodos de Toma de Muestra

La metodología de muestreo condiciona el grado de certidumbre de los resultados y normalmente constituye un porcentaje muy significativo del costo total de un proyecto. En consecuencia, es conveniente establecerla previamente mediante protocolos cuidadosamente elaborados para distintos medios (Galliski, 2006). Los muestreos utilizados en el presente trabajo de exploración geoquímica son los siguientes:

- a) **Rock Chip.** - Se obtiene de cateos preliminares tomando trozos de roca correspondientes a zonas de poco afloramiento o cubiertos riolíticos. Son recolectados en forma irregular o no sistemática ya que son dirigidos a trabajos futuros (Escobar, 2013).
- b) **Calicatas.** - Son excavaciones realizadas verticalmente o en forma casi vertical, de sección transversal cuadrada de 1.00 x 2.00 m de superficie y hasta 10 metros de profundidad (raramente mas). El muestreo de calicatas es realizado en forma de canales verticales, en dos de las cuatro paredes recientemente expuestas sin contaminación a partir de 10 a 20cm bajo la superficie hacia el fondo de la excavación. las muestras son guardadas en bolsas de muestreo embalaje y rotulados para su ubicación dentro del mapa de muestreo (Escobar, 2013).

2.3.3 Método de Muestreo

El muestreo se realizó conforme al método de recolección de la muestra ya sea.

- Sistemático; se entiende por muestreo sistemático aquel dirigido a muestrear solo una característica geológica, pudiendo en este caso alcanzar dimensiones distritales. En el primer caso, se diseña una grilla de muestreo obteniéndose una muestra de algunos de los tipos posteriormente descritos en cada punto

programado. Para el segundo caso, las muestras se obtienen no necesariamente a intervalos regulares, pero deben corresponder a la misma característica geológica ya sea esta un cierto tipo litológico, de alteración, veta o vetilla, etc. (Lambert, 2006). En este caso las extracciones de las muestras son determinadas según una regla fija (Pierre, 2002).

2.3.4 Tipos de Muestras

Los diferentes tipos de muestra constituyen el total de los datos sobre los que se apoya el análisis estadístico aplicado al cálculo de los parámetros geoquímicos, indispensables para la delimitación de zonas anómalas (Rivera, 2007). Estos tipos de muestra son:

- a) **Normales.** - Componen la mayoría de las muestras y son más sencillas de obtener.
- b) **De control.** - Su objetivo, además de ser utilizadas para hacer análisis fraccional, es controlar el muestreo.
- c) **Duplicadas.** - Se toman muestras pares en cada uno de los puntos correspondientes. Consiste en tomar pequeñas porciones en el punto y sus cercanías con las que se forman una muestra compuesta, luego es homogenizada, cuarteada y ensobrada (Rivera, 2007).

2.4 MÉTODOS ANALÍTICOS Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS

2.4.1 Métodos Analíticos

Para el análisis por roca total fue enviada al Laboratorio AGQ Peru SAC, el método empleado fue Plasma de Acoplamiento Inducido (ICP) y Espectrometría de emisión óptica, (OES) constituye el equipo de ICP - OES.

- a) **Espectrometría de emisión óptica, plasma acoplado inductivamente.** - Este método constituye actualmente la principal herramienta analítica, tanto para la investigación geoquímica básica como para sus aplicaciones prospectivas y ambientales como señala (Dhana, 2009). Los electrones previamente excitados regresan a su estado normal de actividad (niveles inferiores), emitiendo energía o luz de longitud de onda característica. La cantidad de energía emitida es directamente proporcional a la masa del elemento. El ICP es de la siguiente manera:

- Se nebuliza la muestra mediante un flujo de gas inerte (usualmente Ar).
- Se hace pasar el flujo por un campo magnético oscilante, que provoca el choque desordenado de los átomos del gas y se genera un plasma de muy alta temperatura.
- Los átomos de la muestra se excitan y algunos electrones pasan a niveles atómicos superiores.
- Al regresar a sus niveles originales, los electrones emiten energía de ciertas longitudes de onda características.
- Un analizador registra simultáneamente la energía emitida de múltiples longitudes de onda.

2.5 PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

Los datos deben ser de calidad apropiada, representativos y la técnica de la medición para obtener los "números" debe tener la precisión adecuada. Este punto se dirige hacia la evaluación rigurosa de datos cuantitativos encontrados en la prospección de muestreo dando uso al énfasis al uso de métodos estadísticos. En algunos casos no será necesario o deseable continuar a los procedimientos interpretativos complicados, pues en la estadística no importa qué métodos complejos se utilicen, las variables individuales sus histogramas (funcionamiento de la densidad de probabilidad) y la magnitud que pueden usarse los métodos simples para entender la importancia de estas variables. Semejante comprensión lleva a un nivel más alto de confianza, para entender los métodos multivariantes que podría ser el caso por otra parte (Vásquez, 2009).

2.5.1 Medidas de Tendencia Central

Entre las medidas de tendencia central que se aplican en el presente estudio para en análisis estadístico son: La media aritmética, media geométrica y mediana.

2.5.2 Medidas de Posición no Central

Las medidas de posición no centrales permiten conocer otros puntos característicos de la distribución que no son los valores centrales. Entre otros indicadores, se suelen utilizar una serie de valores que dividen la muestra en tramos iguales:

- Los Cuartiles, que dividen a la distribución en cuatro partes.
- Los Quintiles, que dividen a la distribución en cinco partes.
- Los Deciles, que dividen a la distribución en diez partes.

- Los Percentiles, que dividen a la distribución en cien partes.

2.5.3 Desviación Estándar

La desviación estándar es la raíz cuadrada de la suma de las desviaciones alrededor de la media, elevadas al cuadrado y divididas entre el número de casos menos uno (Dicovski, 2012). En prospección geoquímica la desviación estándar involucra la fórmula para el cálculo del umbral geoquímico (Media geométrica +2 la desviación estándar).

$$S = \sqrt{\left(\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2\right) / (n - 1)}$$

2.5.4 Frecuencia Relativa

La base para el estudio geoquímico – estadístico es la construcción del histograma de frecuencia relativa, que es también conocida como distribución o función densidad (frecuencia). Una distribución normal o (gaussiana) tiene la forma gráfica de una campana simétrica y se define por expresión (Rivera, 2007).

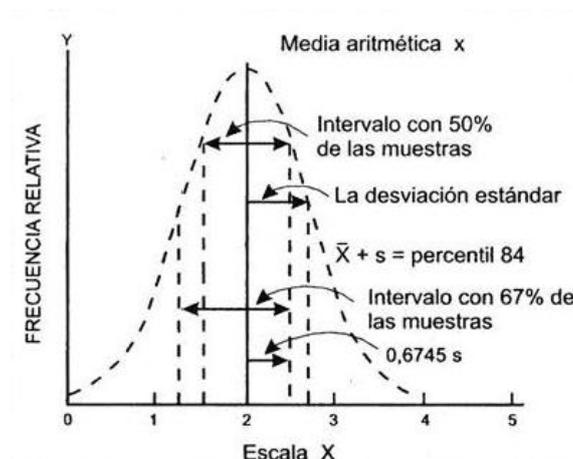


Fig. 3: Diagramas de distribución normal (gaussiana) mostrando la posición de algunos parámetros estadísticos (Rivera, 2007).

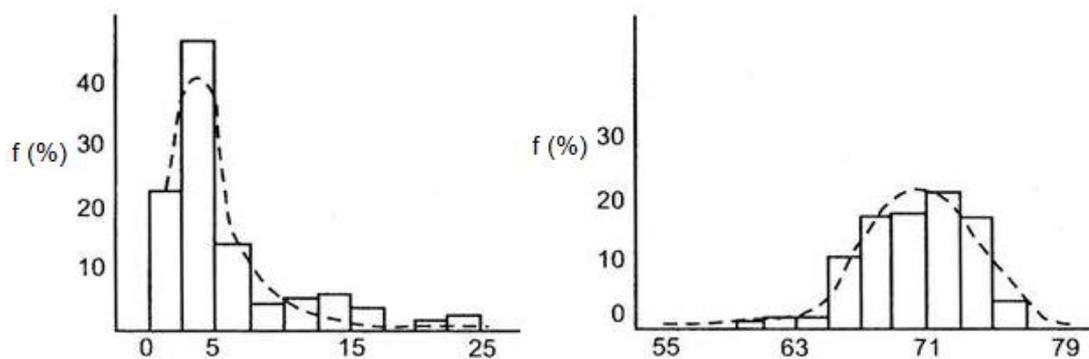


Fig. 4: Histogramas que muestran las simetrías positivas (a) y negativas (b) (Rivera, 2007).

2.5.5 Frecuencia Acumulada

Para determinar la naturaleza normal o log-normal de la distribución geoquímica de una población de datos se recurre al papel de probabilidad. Para el primer caso de distribución normal ordenada a escala lineal y para la segunda a escala logarítmica la escala de probabilidad sirve para trazar la frecuencia acumulada (Rivera, 2007).

2.6 PARÁMETROS GEOQUÍMICOS

2.6.1 Fondo Geoquímico o *Background*

Parámetro conocido como el valor promedio normal que muestra la abundancia o concentración de un elemento en un material terrestre, el contenido de fondo es sujeto a variaciones según la constitución de la roca u otro material terrestre en que el elemento ocurre. Este valor está representado estadísticamente como el promedio geométrico de la población (Calcina, 2008).

(Background=Media geométrica de la población).

2.6.2 Umbral Geoquímico o *Thershold*

Es definido como el límite superior de los valores normales de *background*. El valor de *thershold* varía para cada elemento, en cada tipo de roca y en cada área. En prospección geoquímica el *thershold* puede ser determinado a través del método matemático obtenido de la siguiente expresión.

Thershold = Media geométrica + 2 veces la desviación estándar (SD).

2.6.3 Coeficiente de Correlación de Pearson (r)

Describe la intensidad de la relación lineal entre dos conjuntos de variables a nivel de intervalo. El valor del coeficiente de correlación “r” puede tomar valores desde menos uno hasta uno, indicando que mientras más cercano a uno sea el valor del coeficiente de correlación en cualquier dirección, más fuerte será la asociación lineal entre las dos variables. Mientras más cercano a cero sea el coeficiente de correlación indicará que más débil es la asociación entre ambas variables. Si es igual a cero se concluirá que no existe relación lineal alguna entre ambas variables (Vásquez, 2009). Los cálculos son realizados con software estadístico (SPSS y Excel) (Ver Anexo 1: Correlación Global).

2.6.4 Interpretación de “r”

Es un valor que indica el grado de correlación existente en la ocurrencia de un ambiente determinado de dos elementos, este coeficiente está comprendido entre +1 y -1, pasando por el cero (0). Los valores cercanos a +1 y -1 indican una excelente correlación tanto como positiva como negativa de los elementos. Los valores cercanos a (0) indican que no existe correlación entre los elementos muestreados (Sinclair, 1986).

2.6.5 Anomalía Geoquímica

Una anomalía geoquímica es una variación de la distribución geoquímica normal correspondiente a un área o a un ambiente geoquímico (Morales, 1985).

– Anomalías significantes

Son anomalías relacionadas con un depósito mineral, que se puede usar como guías para la prospección, pues tiene valores que exceden a los valores de fondo. Es determinado mediante los tratamientos estadísticos.

– Anomalías negativas o no significativas

Se define una anomalía negativa como una concentración muy por debajo del contenido normal (Background), a diferencia de las anomalías positivas podrían ser posibles descubrir patrones de anomalías negativas en ambientes secundarios, tales como sedimentos de quebrada y suelos (Rivera, 2007).

Los rangos considerados de las anomalías significativas, para el presente estudio son la siguiente:

Anomalía débil = 1 a 2 Thershol.

Anomalía moderada = 2 a 3 Thershold.

Anomalía fuerte = Mayor a 3 Thershold.

2.6.6 Distribución Geoquímica

La distribución geoquímica de un elemento, en rocas, suelos y otros materiales, es una respuesta a la suma total de todos los procesos que conciernen al movimiento en los materiales de la tierra. En muchos casos esta distribución refleja simplemente la distribución de unidades litológicas.

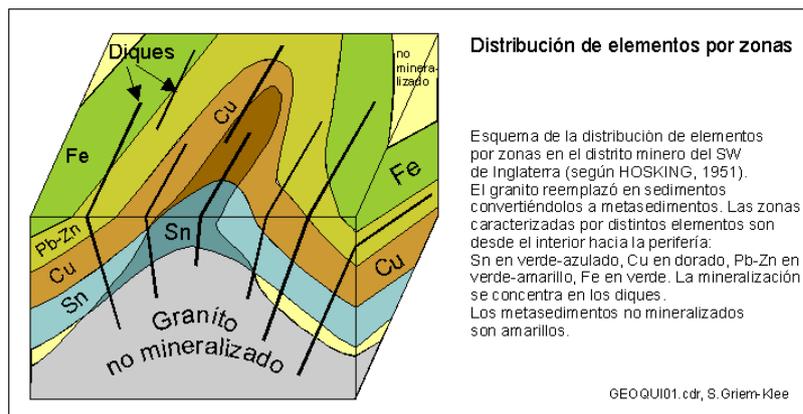


Fig. 5: Distribución geoquímica (Hosking, 1951).

2.7 GEOLOGÍA REGIONAL

En el área de estudio se encuentran aflorando, rocas del complejo basal de la Costa de edad Pre-cambriana (750 Ma), rocas del Grupo Tarma, Formación Mitú, Volcánicos Chocolate que sobreyacen con discordancia erosional y que se emplaza en un paleo-relieve. Al Sur se tienen intrusiones del Jurásico conformadas principalmente por rocas Hipabisales y Plutónicas, las que se encuentran distribuidas en forma irregular en toda la región e intruyen Formaciones del Jurásico – Cretácico (Anexo 2). Algunos autores que en este acápite se indican son mencionados en el estudio geológico de los cuadrángulos de Jaquí, Coracora, Chala y Cháparra; realizado por INGEMMET y publicado en el Boletín N° 34, cuyo autor principal es Enrique Olchauski Lomparte del año 1980.

2.7.1 Complejo Basal de la Costa

El Precámbrico se encuentra conformado por el Batolito de la Costa. Bellido (1960) denominó Complejo Basal a las rocas metamórficas que afloran en gran parte de la Cadena Costanera del Sur del Perú. Por tratarse de la misma serie metamórfica, esta

denominación ha seguido tomándose en el resto de cuadrángulos como Aplao (Guizado, 1968), Huambo y Orcopampa (Caldas, 1993), los afloramientos del cuadrángulo de Chuquibamba es la continuación de las rocas descritas en los cuadrángulos de Huambo.

2.7.2 Paleozoico

2.7.2.1 Formación Mitu (Lopingiano)

MAC LAUGHLIN (1924) denominó Formación Mitu a una alternancia de conglomerados de areniscas rojizas y grises que afloran en los alrededores de Mitu, distrito de Goyllarisquizga departamento de Pasco.

Estas rocas se han depositado en ambiente continental transportados en medio fluvial, los sedimentos provienen de un territorio de relieve marcado, pues los granos no han sufrido mucha meteorización, razón por la cual los feldespatos en las arcosas se encuentran inalterados.

2.7.3 Mesozoico

2.7.3.1 Volcánico Chocolate (Liásico Inferior)

Con la denominación del Volcánico Chocolate, JENKS (1948) describió una secuencia de rocas volcánicas intercaladas con sedimentos, que afloran en la cantera de Chocolate situada 20 km al NO de la ciudad de Arequipa.

En los cuadrángulos de Chala y Cháparra, afloran similares depósitos que descansan discordantemente sobre las rocas del Grupo Tarma o las del Complejo Basal e infrayacen concordantemente a las rocas del Jurásico medio y superior; por intemperismo adopta un matiz marrón-rojizo.

2.7.3.2 Formación Guaneros (kimmeridgiano – caloviano)

BELLIDO (1963) dio el nombre de Formación Guaneros para designar a unas rocas volcánicas que afloran en la quebrada Guaneros. La localidad típica de esta Formación se encuentra en el valle de Moquegua a 15 km. antes de su desembocadura.

La litología está conformada por brecha volcánica de color verde o marrón, con fragmentos de composición andesítica, que varían en tamaño desde menor de 1 cm hasta 3 cm de andesitas porfiríticas gris-marrones o verdes, intercalada con areniscas verdes de grano fino a medio y también areniscas conglomerádicas.

2.7.4 Cenozoico

2.7.4.1 Formación Millo (Plioceno inferior)

VARGAS (1970) describió con este nombre a unos afloramientos de depósitos continentales en la quebrada Millo en el cuadrángulo de Arequipa. La litología está constituida por conglomerados, areniscas conglomerádicas, tobas y cenizas volcánicas.

Los afloramientos más extensos se presentan en el sector sur del cuadrángulo de Chaparra conformando los cerros Médanos, Colorado, Buenavista y Pan de Azúcar, donde sobreyacen a una superficie de erosión sub-horizontal labrada sobre diferentes tipos de rocas intrusivas y metamórficas.

2.7.4.2 Volcánico Sencca (Plioceno superior)

MENDIVIL (1965) describió con este nombre a una secuencia piroclástica que afloran en la quebrada Sencca, situada en el sector sureste de la hoja de Maure.

En el área de estudio, mayormente es constituida la secuencia de tobas dacítico-riolíticas ampliamente distribuidas, encontrándose expuestas en los cuatro cuadrángulos, se presenta formando capas horizontales a sub-horizontales con un grosor que varía entre 200 m.

2.7.5 Depósitos Cuaternarios (Pleistoceno – Holoceno)

Representado por los materiales recientes que se encuentran cubriendo gran parte de las propiedades. Litológicamente los depósitos de las terrazas marinas se componen de capas conglomerados con elementos heterogéneos dentro de una matriz arenácea y lentes de areniscas. Las terrazas más antiguas tienen algunas intercalaciones de areniscas amarillentas, tufos y cenizas.

2.7.6 Rocas Intrusivas

En la zona de estudio, los intrusivos que afloran regionalmente corresponden a cuerpos emplazados en forma de rocas plutónicas subvolcánicas con edades pertenecientes a diferentes épocas. Las mayores exposiciones de rocas intrusivas se encuentran en los cuadrángulos de Jaquí y Cháparra. Las rocas predominantes son la monzonita y granodiorita, presentando una textura granular variable con plagioclasas tabulares, hornblenda anhedral, poca biotita y feldespatos potásicos en textura gráfica con el cuarzo (INGEMMET, Boletín N° 34).

2.8 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL

Las estructuras del área están relacionadas principalmente con los movimientos tectónicos del ciclo andino. Las evidencias estructurales de las orogenias más antiguas están indicadas en primer lugar, por el metamorfismo regional que afecta a las rocas del Complejo Basal de la Costa y por las discordancias angulares que ponen de manifiesto el ciclo hercínico, reconociéndose las fases eo y tardi-hercínicas.

las principales zonas estructurales de la región se han diferenciado según la magnitud y el estilo de deformación que han sufrido las rocas, debido a su diferencia naturaleza y la variabilidad de los esfuerzos que han actuado como consecuencia de los movimientos tectónicos materializados por pliegues, fallas y diaclasas que se observan en toda el área.

2.8.1 Sistema de Fallas Regionales

a) Falla pan de azúcar

El lineamiento de Pan de Azúcar tiene dirección E-O entre la zona de Cháparra y Caravelí; forma una estructura semicircular que controla el emplazamiento de yacimientos de oro y está asociado a la falla Los Médanos (Boletín N° 4 serie E minería IGEMMET).

b) Falla los medanos

La falla los Medanos y la falla Palomino han creado la condición de espacios abiertos (fracturas de tensión), donde la fase hidrotermal subsecuente a los intrusivos más jóvenes han rellenado de cuarzo como ganga con diseminación de pirita, arsenopirita y calcopirita a las que se encuentra asociado el oro en solución sólida, dando lugar de esta manera a las vetas (Aguilar, 2008).

c) Falla palomino

Tiene una dirección que varía de N15° W a E-W y es tipo normal; se presenta en los cuadrángulos de Acarí, Chala y Chaparra, formando parte de las fallas escalonadas, en donde el bloque NE ha ascendido con respecto al bloque SW (Ver en el Anexo 2).

La traza de la falla se pierde hacia el NW en la quebrada de Tocota y hacia el sur está cubierta por los Volcánicos Sencca. Su longitud es de 40 Km aproximadamente y pone en contacto a rocas plutónicas del batolito de la costa y del Complejo Bella Unión con las Formaciones Jurásicas (INGEMMET, Boletín 34).

2.9 ALTERACIONES HIDROTERMALES

Se entiende como proceso de alteración hidrotermal al intercambio químico ocurrido durante una interacción fluido hidrotermal y roca. Esta interacción conlleva cambios químicos y mineralógicos en la roca afectada producto de desequilibrio termodinámico entre ambas fases. En estricto rigor, una alteración hidrotermal puede ser considerada como un proceso de metasomatismo, dándose transformación química y mineralógica de la roca. En la naturaleza se reconocen variados tipos de alteración hidrotermal, caracterizados por asociaciones de minerales específicos. Los distintos tipos de alteración e intensidad son dependientes de factores tales como composición del fluido hidrotermal, composición de la roca huésped, temperatura, pH, Eh, razón agua, roca y tiempo de interacción entre otros (Townley, 2001).

Se presenta a continuación un breve resumen de los tipos de alteración más comunes y sus respectivas asociaciones mineralógicas basado en (Meyer y Hemley, 1967):

- a) **Alteración potásica:** caracterizada principalmente por feldespato potásico y/o biotita, con minerales accesorios como cuarzo, magnetita, sericita y clorita. La alteración potásica de alta temperatura (400° a 800°C) se caracteriza por una alteración selectiva y penetrativa. Biotita en vetillas ocurre principalmente en el rango 350°-400°C, y feldespato potásico en vetillas en el rango 300°-350°C. Biotita y feldespato están comúnmente asociados con cuarzo, magnetita y/o pirita, formados a condiciones de pH neutro a alcalino.
- b) **Alteración propilítica:** caracterizada principalmente por la asociación clorita-epidota con o sin albita, calcita, pirita, con minerales accesorios como cuarzo-magnetita-illita. La alteración propilítica ocurre por lo general como halo gradacional y distal de una alteración potásica, gradando desde actinolita-biotita en el contacto de la zona potásica a actinolita-epidota en la zona propilítica. En zonas más distales se observan asociaciones de epidota-clorita-albita-carbonatos gradando a zonas progresivamente más ricas en clorita y zeolitas hidratadas formadas a bajas condiciones de temperatura. Esta característica zonal y gradacional es reflejo de una gradiente termal decreciente desde el núcleo termal (alteración potásica en esta discusión) hacia afuera. Esta alteración se forma a condiciones de pH neutro a alcalino a rangos de temperatura bajo (200°-250°C).
- d) **Alteración argílica moderada:** caracterizada principalmente por arcillas (caolín) y mayor o menor cuarzo. La alteración argílica moderada ocurre en rangos de pH

entre 4 y 5 y puede co-existir con la alunita en un rango transicional de pH entre 3 y 4. La caolinita se forma a temperaturas bajo 300°C, típicamente en el rango <math><150^{\circ}-200^{\circ}\text{C}</math>. Sobre los 300°C la fase estable es pirofilita.

- e) **Alteración argílica avanzada:** caracterizada principalmente por cuarzo residual (cuarzo oqueroso) con o sin presencia de alunita, jarosita, caolín, pirofilita y pirita. La alteración argílica avanzada ocurre dentro de un amplio rango de temperatura, pero a condiciones de pH entre 1 y 3.5. A alta temperatura (sobre 350°C) puede ocurrir con andalusita además de cuarzo.

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El método que se usa es cuantitativo. La investigación aplicada es de tipo explicativa descriptiva según (Hurtado, 2002), exploratorio y prospectiva, se basa en la revisión bibliográfica, recolección de datos, identificación del tipo de rocas e interpretación de resultados y plasmar los resultados en mapas, determinar los elementos indicadores y elementos guías y su relación que caractericen importantes patrones de distribución geoquímica, ubicar zonas para realizar estudios de mayor detalle (Figura 6).

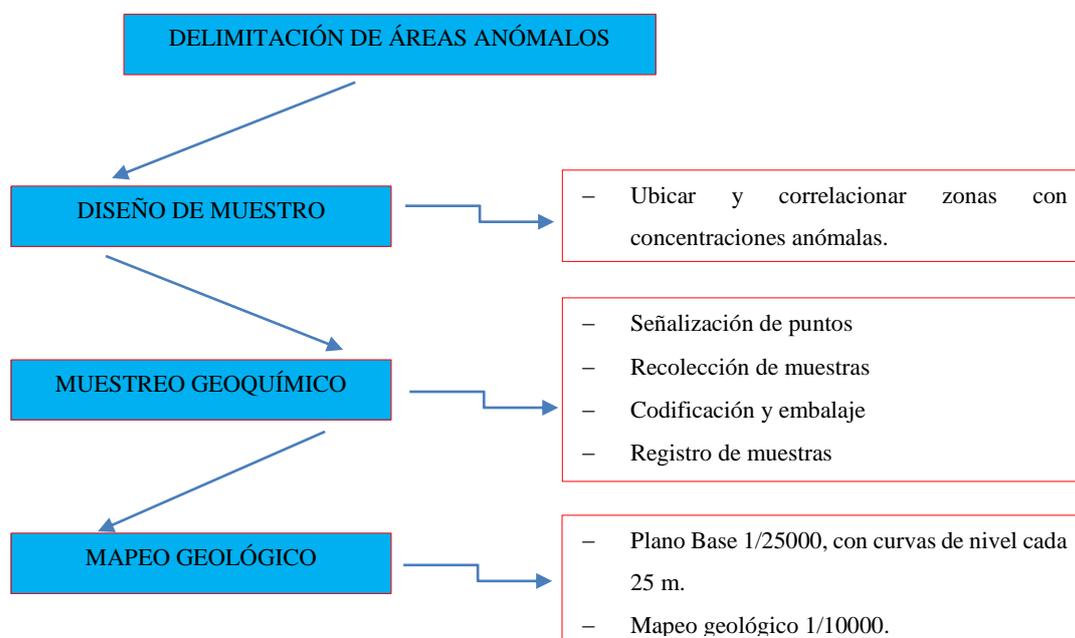


Fig. 6: Estructura de la metodología de trabajo.

3.1.1 Materiales y Equipos de Estudio

Fue necesario el manejo de los siguientes materiales y equipos, los cuales mencionaremos a continuación:

- Horno de fusión eléctrica (Varian, modelo735-ES)
- GPS Garmin 62X
- Brújula Brunton (Azimutal)
- Lupa Iwamoto (20X)
- Picota de Geólogo
- Tablero de Aluminio
- Magnetómetro
- Rayador
- Protacto
- Cámara Fotográfica Nikon
- Bolsas de Muestreo

3.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

La recopilación de información del área de estudio para la fase de exploración geoquímica es obtener toda información previa, así como la información geológica en dicha zona de estudio realizadas con anterioridad, recopilación de mapas topográficos y geológicos regionales del cuadrángulo de Chaparra (INGEMMET), se obtuvieron mapas topográficos 1/25000 (IGN) en donde se realizaron los trabajos de cartografía, Imagen satelital (Google Earth).

3.3 MUESTREO GEOQUÍMICO

Para la fase del estudio se realizó un muestreo geoquímico de superficie para determinar posibles valores umbrales exploratorios e identificar si existen valores anómalos en cuanto a contenido de elementos traza.

Las áreas anómalas son determinadas mediante muestreo geoquímico superficial en una malla de muestreo sistemático selectivo, que tiene por objetivo identificar las anomalías geoquímicas, los que se encuentran asociados depósitos de Cu.

3.3.1 Método de muestreo

En el Proyecto Achanizo, se realizó un extensivo programa de calicatas y muestreos de rock chip, cubriendo la mayor parte del área de estudio. Las muestras son tomadas en roca cubierta y afloramientos rocosos con presencia de minerales de Cu. El objetivo es verificar y determinar las concentraciones anómalas (Figura 7, 8 y 9).

- a) **Recolección de muestras:** Para el estudio geoquímico del proyecto Achanizo, se recolectaron 222 muestras de roca en forma aleatoria en una malla de 50 x 50 metros donde la muestra es tomada en la intersección de la recta imaginaria de la grilla sistemática, cuya orientación de la línea fue N-S (Mapa 1). La codificación de muestras varía de acuerdo a cada zona de estudio para el posterior análisis de la misma. El muestro en las rocas los primeros 0.10 m no son incluidos en la muestra por el grado del intemperismo de las rocas.

En el caso de rocas con venillas el muestreo se realizó mediante el método de canal en una longitud de 1m, con un ancho de 0.10 m y una profundidad de 5 cm. En rocas cubiertas el muestreo se realizó mediante calicata en una longitud de 2x1 m y una profundidad entre 2 a 6 m También se ha realizado un muestreo selectivo indistinto, que representan puntos de afloramiento con mineral a la vista. También se incluyó en el muestreo de la malla.

Mapa N° 1: Puntos topográficos y de muestreo.



Fig. 7: Malla de muestreo geoquímico de 0.45 x 0.70 kilómetros en un sistema de mantos de cobre en la zona de Rica.



Fig. 8: Apertura de calicata 1.0x2.0 m² a una profundidad de 3 m bajo superficie.



Fig. 9: Muestreo geoquímico rock chip de afloramientos.

- b) **Codificación, registro y transporte de muestras:** La codificación y etiquetado de las bolsas de muestreo son realizados con una de las pestañas de la tarjeta de muestreo y posteriormente embalados con cinta de embalaje; estas muestras se transportan del campo hacia el campamento, para el transporte al laboratorio son embaladas en sacos y codificados.

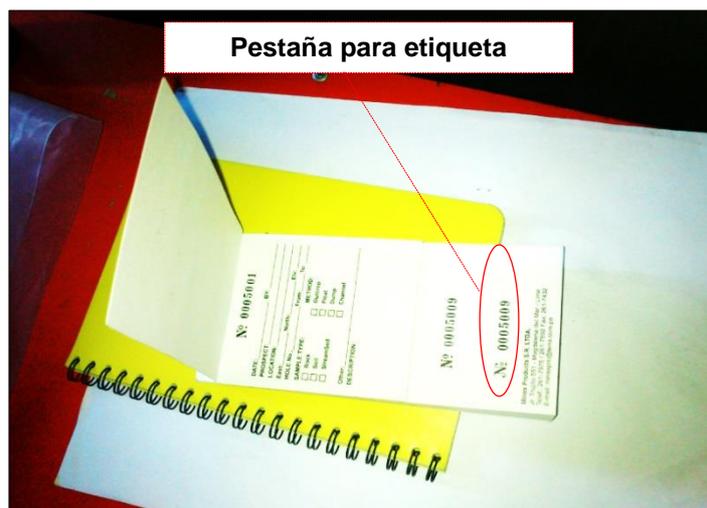


Fig. 10: Tarjeta de muestro utilizados en la codificación.

3.4 PREPARACIÓN Y ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS MUESTRAS

Las muestras recolectadas fueron preparadas y analizadas por el laboratorio AGQ PERÚ S.A.C. El análisis de las muestras consiste en el secado, triturado, tamizado, cuarteo, y pulverizado, posteriormente la dilución de la muestra es lograda con una digestión de agua regia (HNO_3+3HCL). Una porción de la recolección de muestra es analizada por Espectrometría de Emisión Óptica – Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES).

3.4.1 Preparación de muestras

los principales procesos que emplean los laboratorios para preparar las muestras para el análisis químico son (Castillo, 1986):

– **Secado**

El secado es importante porque las muestras húmedas no pueden ser tamizadas en forma apropiada. Generalmente, el secado se efectúa a 80-100°C en un horno.

– **Triturado**

El quebrado es necesario para reducir el tamaño de los materiales geológicos duros, de tal forma que puedan pasar una malla o sean molidos a fracciones finas. Por ejemplo, en análisis de rocas la fracción que se usa es generalmente la menos 200, aunque fracciones mayores también pueden ser analizadas con un ataque fuerte como el fluorhídrico.

– **Tamizado**

Las muestras de roca deben ser molidas previamente antes de tamizarlas por la malla 200 u otra. Las muestras de suelo y sedimentos fluviales una vez listas para el tamizado, generalmente se pasan por la malla 80, aunque un estudio de orientación podría indicar un tamaño de fracción más adecuado.

– **Cuarteado**

El mezclado y cuarteado son particularmente necesarios para obtener una porción representativa de una muestra grande, como una roca o una de núcleo de perforación. En el caso de una porción de 50 gramos de suelo o sedimento fluvial, debidamente morterizada y homogenizada, se puede omitir este paso.

– **Pulverizado**

El molido se puede efectuar después del secado o del quebrado, o también después del morterizado. Al respecto se usan molinos o morteros de alúmina, ágata o porcelana que no se contaminan y aseguran una homogenización de la muestra.

3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se han analizado 222 muestras de roca, de las cuales 173 muestras de superficie representan a la zona Rica y 49 muestras representan a la zona Fortuna. Se realizó histogramas, diagramas “box plot” y diagramas Q-Q Normal utilizando el software SPSS 22 y la herramienta de hoja de cálculo del Microsoft Excel para análisis de población estadística, correlación de Pearson y la distribución geoquímica. Para la elaboración e interpretación de mapas se utilizó el software de Sistema de Información Geográfica y diseño gráfico como es el (ArcGIS 10.2), AutoCAD 2013.

Los resultados del análisis de Cu, Mo, Pb, Zn, As, Al, Co, Ni, Sc, Sn, Tl y V se detallan en la Base de datos (Ver en el Anexo 1).

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

El Proyecto Achanizo, está localizadas en el departamento de Arequipa, distrito de Chaparra, provincia de Caraveli, el área de estudio se encuentra entre una altitud promedio 1,800 m.s.n.m. Carta Nacional 32 – ñ (Chaparra). Los terrenos superficiales no corresponden a ninguna comunidad campesina registrada en el lugar (Mapa 2).

Se puede llegar desde la ciudad de Arequipa hasta la localidad de Chala por la carretera Panamericana Sur (Km. 399) para luego proseguir la ruta hasta el desvío de Chaparra (Km. 10), siguiendo hasta el área del proyecto 35 Km de trayecto, el tiempo total recorrido desde la ciudad de lima hacia el proyecto es de 12 Horas.

Tabla N° 4: La accesibilidad es posible a través del siguiente itinerario.

RUTA	DISTANCIA	TIEMPO	TIPO DE CARRETERA
Arequipa - Chala	399 km	5 h 17	Asfaltada Panamericana- sur
Distrito de Chala - desvío chaparra	10 km	0.2 h	Asfaltada Panamericana Sur
Desvío Chaparra - Desvío al área del proyecto	10 Km.	0.2 h	Afirmada
Desvío al área del proyecto - Área del Proyecto	35 Km	1 h	Trocha carrozable
Total	419 Km.	6.17 horas	

Mapa N° 2: Ubicación del área de estudio.

4.2 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

4.2.1 Geología Local

La geología de la zona en el Proyecto Achanizo está determinada por lavas andesíticas, rocas piro clásticas de composición dacítica y rocas del complejo basal de la costa, todas estas rocas son el metalotecto de toda el área albergando posibles depósitos de Cu. En este mismo sector al SE se exponen Plutones del Cretáceo superior, existen también intrusiones más jóvenes que son representadas por diques sub-volcánicas de composición andesita. Dentro de la Formación Guaneros compuesto por rocas volcánicas, se tienen una serie de diques constituidos por plagioclasas y biotita de grano fino a grueso se emplaza con un lineamiento estructural definido al N 35° W y parece tener una relación directa con los eventos hidrotermales posteriores y causantes de la mineralización, en los bordes SW del dique con más silicificación y al NE más propilitización (Mapa 3).

4.2.1.1 Volcánico Chocolate (Ji-vch)

Andesitas porfíricas de diferente coloración siendo el marrón el más conspicuo, intercalado con dacita marrón y brecha volcánica con ortosa intercalado con diques de andesita con plagioclasas de coloración verde desde 0.001 a 0.01 m. estas rocas descansan sobre las areniscas del miembro Chala que no es observado en la zona, tiene la presencia de oolitos como gotas de agua con impregnaciones de clorita, anfíbolita y epidota, poca actinolita (Figura 11).

4.2.1.2 Formación Guaneros (Js-gu)

Andesitas de color gris, verde con abundancia de fenocristales de plagioclasas de 1 a 3 mm de diámetro, brechas volcánicas de coloración rojiza a verde, traquiandesitas de color verde a marrón con cristales de ortosa de 1 a 2 mm. y andesitas porfíricas. Un dique de rumbo N 30° W, compuestas de una andesita gris oscura afanítica, se presente cerca y paralela a las mantos principales Rica y Fortuna.

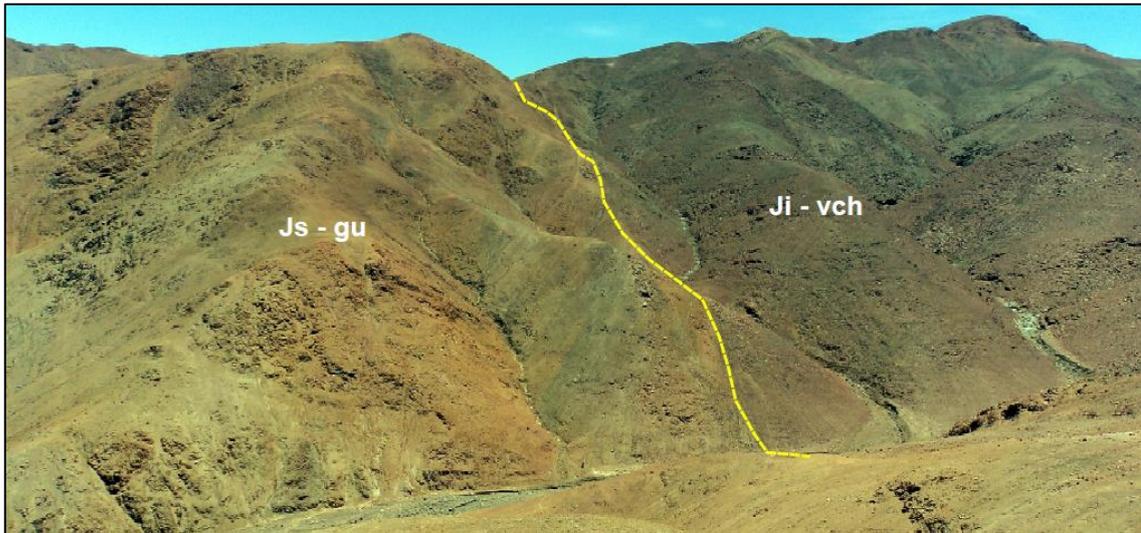


Fig. 11: Afloramiento al Sur, Volcánico Chocolate en contacto con la Formación Guaneros en la zona fortuna.

4.2.1.3 Formación Millo (Ts-ml)

Esta compuestas de conglomerados polimícticos, areniscas conglomeráticas, tobas y cenizas volcánicas.



Fig. 12: Vista panorámica mirando al Noreste se observa, tobas y cenizas volcánicas, Formación Millo en la zona de fortuna.

4.2.1.4 Brechas Volcánicas (Bx)

Depósito de material volcánico constituido por clastos angulosos de rocas asignadas al Volcánico Chocolate, tiene una composición de Andesitas porfíricas de diferente coloración siendo el marrón más acentuadas en este tipo de roca (Figura 13).



Fig. 13: Afloramiento al norte, volcánicos Chocolate en contacto con la formación se observa la Brecha volcánica.

4.2.1.5 Depósitos Cuaternarios Recientes

Conformado por depósitos de origen eólicos, aluviales y coluviales que se extienden principalmente por todas las quebradas.

Mapa N° 3: Geología local.

4.2.1.6 Rocas Intrusivas

Las rocas plutónicas del Batolito de la Costa corresponde a la (Superunidad Linga) compuestas de rocas monzonitas. Las rocas hipabisales son de naturaleza subvolcánica constituidas por una brecha de intrusión de composición andesítica a dacítica, no está bien diferenciada en la zona de trabajo, estas brechas están interceptadas por diques de andesita porfírica de color gris verdosa con fenos de labradorita, olivino, piroxeno y con epidota.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD ESTRATIGRAFÍA	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno	Fluvio Aluvial		Depósitos de origen coluviales clastos sub-angulosos.
			Fluvio Coluvial		Depósitos de origen aluvial arenas, arcillas.
		Plioceno	Formacion Millo		Depositos de conglomerados, areniscas conglomeráticas, tobas y cenizas volcánicas.
MESOZOICO	CRETÁCEO	Superior			Andesitas porfíricas de color gris, verde con abundancia de fenocristales de plagioclasas de 1 a 3 mm de diámetro.
	JURÁSICO	Superior	Formación Guanero		Andesitas de diferente coloración siendo el marrón el más conspicuo, intercalado con dacita marrón.
		Inferior	Volcanico Chocolate		

Fig. 14: Columna Estratigráfica Local, los mantos se encuentran dentro de las formaciones Volcanico Chocolate y Formacion Guaneros (Elaboracion propia).

4.2.2 Geología Estructural

Las estructuras geológicas de la zona de estudio se enmarcan dentro de las fallas regionales que tienen un rumbo del dominio andino. Estas estructuras que se han formado en el área investigada están vinculadas al desarrollo tectónico, existiendo en la zona de estudio mantos de contacto paralelas con buzamientos sub verticales tendiendo hacia el N-O, cuerpos de brecha hidrotermal.

- El sistema de rumbo N 15°, 25° y 45° W.
- El sistema de rumbo N 12°, 30° y 45° E.

Muchos de estos alineamientos están relacionados a pliegues y fallas que se desarrollaron durante el levantamiento de los andes y se plegaron durante la fase incaica (Figura 15). La Sección A - A' transversal de Geología y Estructural de la Zona Fortuna y Rica muestra las estructuras principales (Ver en el Anexo 2).



Fig. 15: Se tiene en la imagen satelital y la interpretación del comportamiento estructural, con el sistema de fallas longitudinales y transversales, (Fuente Google Earth).

4.2.3 Mineralización Dentro de la Caracterización Geológica

Los mantos en la zona Rica y Fortuna son las estructuras más importantes, está dada por la presencia de Malaquita, Crisocola, Azurita, no se observa pirita y calcopirita minerales importantes para determinar yacimientos en profundidad (Figura 16).



Fig. 16: Al sur de fortuna se observa el Cu de exudación.

– Mantos

De Norte a Sur en el área de estudio se identificó una falla regional y donde destacan 2 pequeños mantos paralelos de rumbo NW, el Manto Rica está constituido por una estructura irregular con óxidos y carbonatos de Cu, emplazada en una zona de fallamiento normal con rumbo N 30° W, buzamiento 45° a 55°NE y Fortuna es otra manifestación de Manto se ubica a 400 m al Oeste de Manto Rica, en esta estructura se ha desarrollado un pique de 5 m (Figura 17).



Fig. 17: Se observa el desarrollo de un Pique en Fortuna.

Las manifestaciones esporádicas en los alrededores son manifestaciones erráticas de poca relevancia no está ligada a la mineralización de los mantos. La alteración en ambos casos está compuesta de una débil propilitización con cloritización en los piroclastos, llegando a veces a ser moderada así como en los pseudoestratos de lava andesítica (Figura 18 y 19).



Fig. 18: Afloramiento al Noroeste, “Manto Rica” con concentraciones de Malaquita y Calcitas emplazadas dentro del Volcánico Chocolate en la zona Rica.



Fig. 19: Afloramiento al Noroeste, “Manto Fortuna” con concentraciones de Malaquita, Epidota y Calcita emplazada dentro del Volcánico Chocolate en la zona Fortuna.

– Alteraciones

En todas las áreas y en especial en el Cerro Palomino no muestra alteración conspicua, se identifico una incipiente alteración propilítica compuesta por Malaquita, Cloritas, Epidota, Calcita y una asociacion de oxidos de Fe (Figura 20).

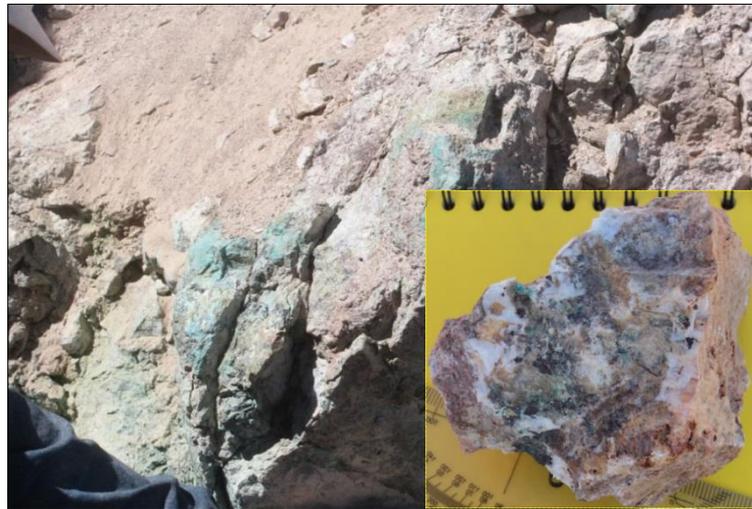


Fig. 20: Afloramiento al Norte, alteración propilítica con asociaciones minerales de Malaquita, Epidota, Calcita, dentro del Volcánico Chocolate en la zona Fortuna.

La alteración supergena en los extremos Norte de la propiedad se presentan arcillas de montmorillonita muy deleznales asociadas a limonitas, goethita, hematita, fases arcillas, venillas de calcita, cloritas y epidotas (Figura 21).



Fig. 21: Arcillas de montmorillonita muy deleznales.

4.2.4 Tipo de Yacimiento Achanizo

Con relación al aspecto metalogénico el proyecto se encuentra dentro de la franja IX (Mesotermiales de Au-Pb-Zn del Cretáceo Superior) ver en la (Figura 22). Se espera encontrar en el área de estudio el tipo de yacimiento relacionado al Porfido Cuprifero cubiertos con la mineralización reconocida y las alteraciones hidrotermales.

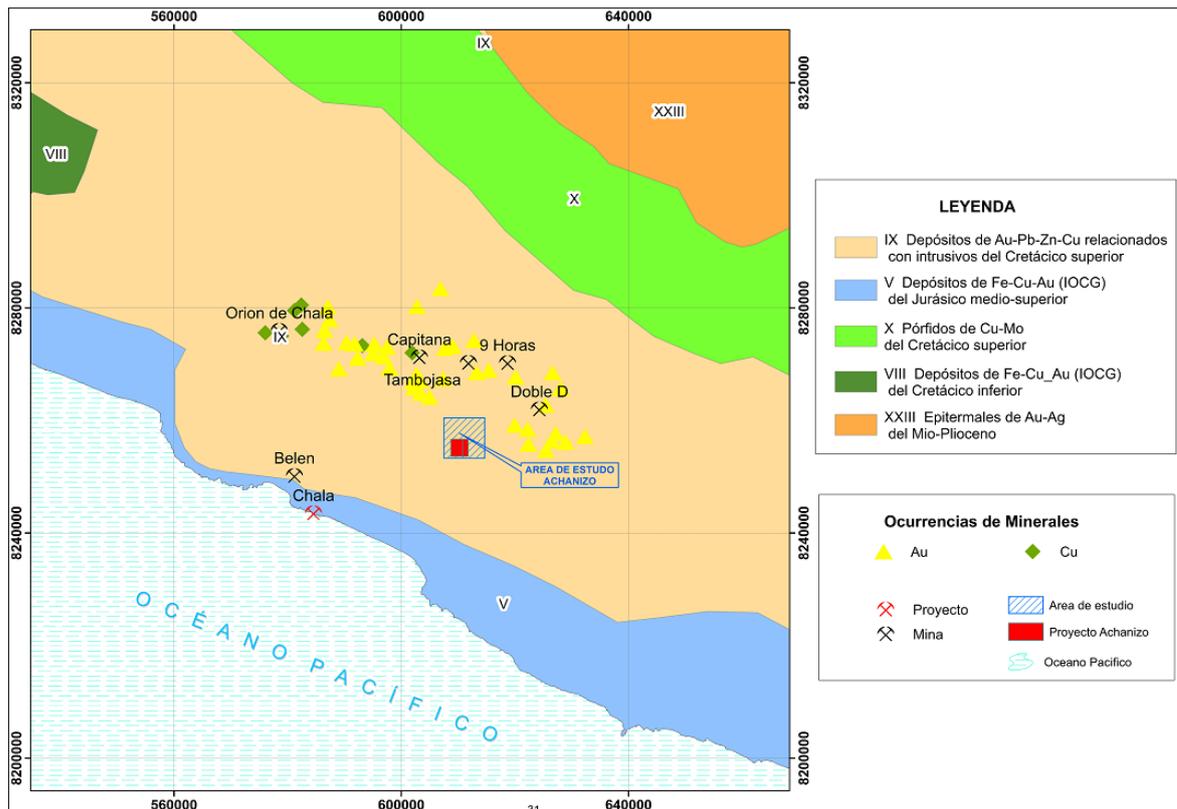


Fig. 22: Mapa metalogénico del área de estudio Proyecto Achanizo.

– Modelo descriptivo

Los minerales que abundan al igual que en los otros tipos de depósitos son la Malaquita, Epidota, Crisocola, Baritina; estos minerales se presentan como relleno en fracturas de forma diseminada e impregnaciones de Epidota en las rocas volcánicas. En la zona superior del manto fortuna aparece una brecha volcánica que posiblemente se la fuente de la mineralización asociados a fluidos hidrotermales que generan una alteración hidrotermal (figura 23).

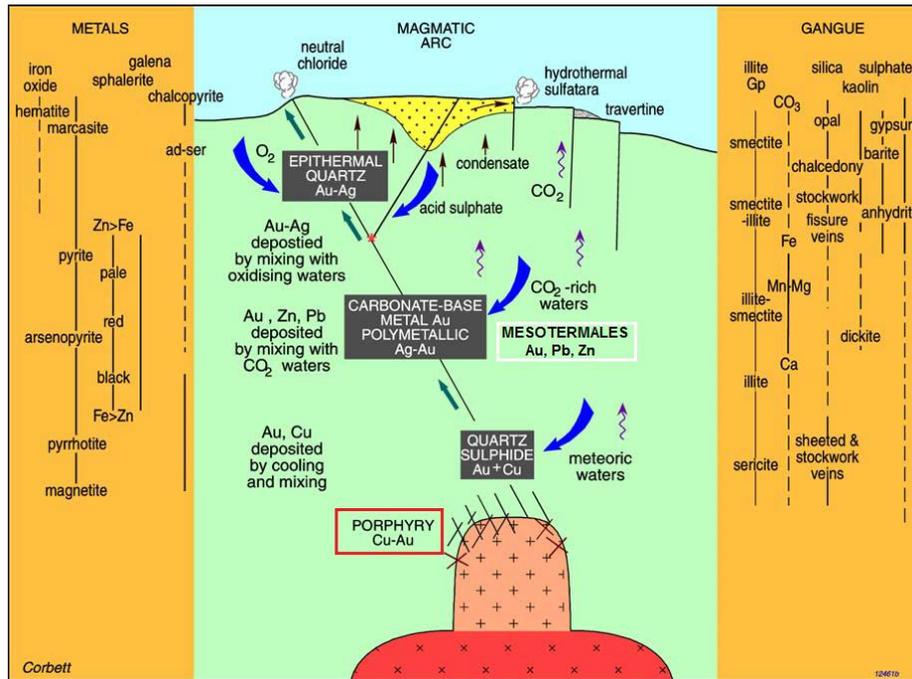


Fig. 23: Modelo esquemático de la transición de niveles Hipotermiales – Epitermales, Mesotermiales, mostrando ensambles de mineralización y alteración (Corbett and Leach, 1997).

4.3 MAPEO GEOQUÍMICO

4.3.1 Elementos Guías de Exploración

– Elementos *Targets*

Los elementos indicadores o blancos que se han determinado son: Cu, Pb, Zn, con posibilidades de encontrar depósitos de tipo Cu.

– Elementos *Pathfinder*

De la correlación de elementos traza y el procesamiento de datos se determina como elementos guías principales: As, Mo, Sn, Sc, Ni, es esencial como indicadores de blancos para la relación directa e interpretable en distribución de los elementos indicadores y la mineralización de la zona de estudio.

4.3.2 Análisis de Poblaciones Estadísticas

De las muestras recolectadas se ha considerado 3 poblaciones estadísticas de acuerdo a las unidades estratigráficas (Tabla N° 5). Estas poblaciones se han definido por rocas andesitas porfiriticas y rocas sub-volcánicas, del análisis geoquímico se determinó los elementos principales como: Cu, Mo, Pb, Zn, As y los elementos mejor correlacionados

como son: Al, Co, Ni, Sn, Sc, Tl, V que pueden considerarse como elementos indicadores y guía en la exploración; para el análisis se ha seleccionado 12 elementos.

Tabla N° 5: Poblaciones estadísticas considerando las unidades geológicas predominantes.

Población		Descripción	Cantidad de Muestras
III	Ígneo intrusivo (Js-gu)	Andesita gris oscura afanítica, silisificadas.	12
II	Formación Guaneros (Js-gu)	Lavas andesíticas, color gris verdoso, textura porfírica.	48
I	Volcánico Chocolate (Ji-vch)	Andesitas porfíricas marrón, intercalado con dacita y brecha volcánica.	162

4.4 EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOQUÍMICOS

4.4.1 Niveles de Fondo y Umbrales Geoquímicos

Para el nivel de cada elemento se determinó el “Background y Thershold” en base a una Población de muestras log-normales o normales, se calculó el valor de Background como la media geométrica de estas poblaciones. Para el cálculo de Thershold, se calculó previamente la desviación estándar para cada población empleándose la fórmula:

$$\text{Umbral} = \text{Media geométrica} + 2 \text{ desviación estándar}$$

En la (Tabla N° 6), se muestran los niveles de fondo y el umbral geoquímico de los elementos mejor correlacionados dentro de las poblaciones Formación Guaneros, Volcánico Chocolate, Ígneo Intrusivo.

Como también, se presenta una comparación del valor promedio del fondo y umbral geoquímico en las tres poblaciones. Destacándose claramente los altos valores de Cobre, Plomo, Zinc y Vanadio.

Tabla N° 6: Niveles de fondo y umbrales geoquímicos por poblaciones geoquímicos.

Población	Parámetro	Cu	Mo	Pb	Zn	As	Al	Co	Ni	Sc	Sn	Tl	V
Ígneo Intrusivo	Fondo	26.16	1.88	2.09	65.03	4.06	1.62	5.90	2.71	6.29	2.65	2.33	49.25
	Umbral	98.77	3.58	10.59	124.42	10.62	2.45	22.43	15.53	13.41	4.09	3.14	166.65
Formación Guaneros	Fondo	33.35	1.99	7.11	58.08	7.38	2.00	7.02	4.20	5.20	3.19	2.08	31.51
	Umbral	186.81	4.11	539.17	263.89	54.69	3.25	18.71	9.07	15.18	9.13	3.16	139.42
Volcánico Chocolate	Fondo	65.61	1.91	6.64	68.43	9.99	2.24	12.85	8.09	7.28	4.56	2.18	62.94
	Umbral	2585.31	3.76	583.04	418.75	106.59	4.73	35.72	24.43	19.99	54.73	51.46	241.72

Los datos extraídos de la (Tabla N° 6), son graficados y representados en las figuras 24 y 25 donde se indican la variabilidad de la concentración de los elementos Cu, Mo, Pb, Zn, Al, Co, Ni, Sc, Sn, Tl, V.

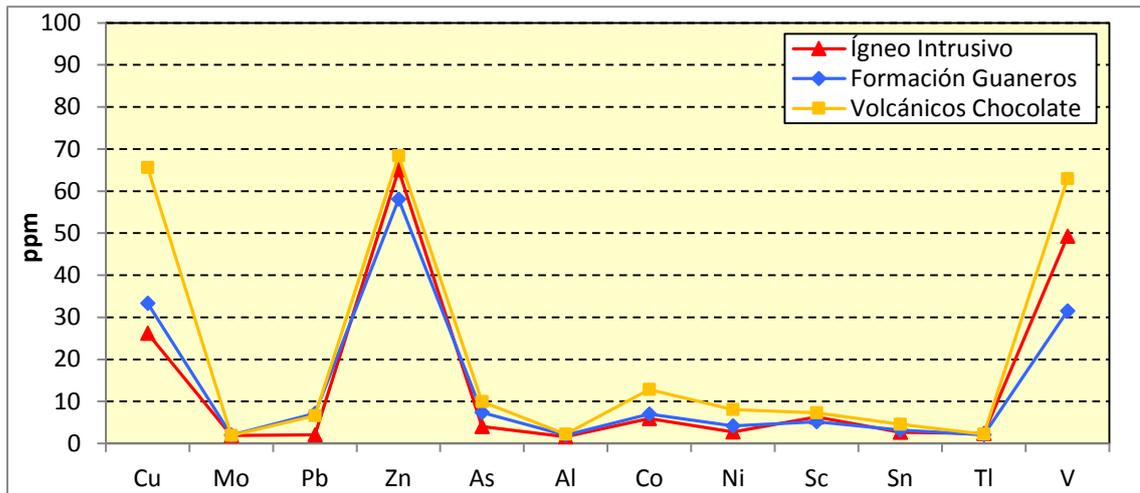


Fig. 24: Comparación del Fondo Geoquímico de los elementos traza, en las diferentes poblaciones del proyecto Achanizo.

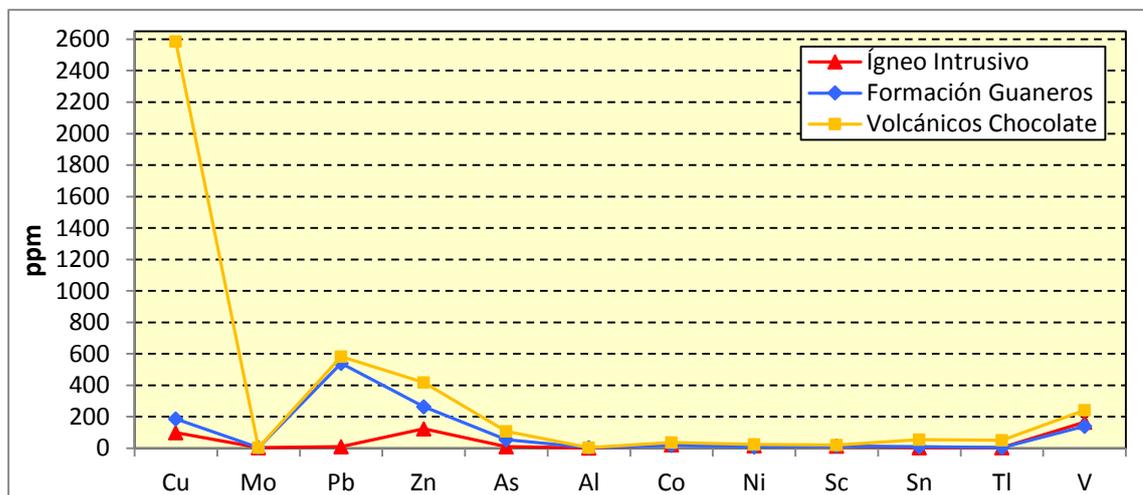


Fig. 25: Comparación del Umbral Geoquímico de elementos traza, en las diferentes poblaciones del Proyecto Achanizo.

4.4.2 Determinación de las Correlaciones Geoquímicas

La correlación geoquímica se determinó entre los pares de elementos de estrecha asociación en las diferentes poblaciones geológicas – geoquímico, Así mismo se ha efectuado el análisis bivariado de Pearson de los elementos principales y elementos traza mejor correlacionados, algunos elementos han sido desechados por que no tienen relación con los demás elementos. Para el análisis de cada población se determina los coeficientes de correlación positivas ya que ayudan mejor a representar una buena asociación geoquímica y determinar los elementos Target y Pathfinder mejor correlacionados (Tabla N° 7):

Tabla N° 7: Rango de correlación considerado.

Leyenda		
Color	Coefficiente de Correlación	Interpretación
	1- 0.8	Entre fuerte y perfecta
	0.8 - 0.6	Entre moderada y fuerte
	0.6 - 0.4	Moderada
	0.4- 0.2	Débil
	0.2 - 0	Escasa o nula

– Correlación en población Ígneo Intrusivo

Los elementos indicadores de Cu, Pb, Zn, As se correlacionan con los elementos traza mejor correlacionados. A sí mismo los valores que presentan entre fuerte y perfecta correlaciones se dan con el Cu-V, Cu-Co, Cu-Ni, Cu-As, Cu-Sn mientras el V presenta una correlación de orden significativo, el Mo no presenta ninguna correlación (Tabla N° 8) y (Mapa 4).

Tabla N° 8: Matriz de correlación geoquímica en la población Ígneo Intrusivo.

	Cu	Pb	Zn	Mo	As	Al	Co	Ni	Sc	Sn	Tl	V
Cu	1	0.73	0.50	-0.30	0.84	0.42	0.90	0.87	0.70	0.84	-0.84	0.94
Pb	0.73	1	0.58	-0.39	0.63	0.63	0.84	0.88	0.54	0.94	-0.94	0.76
Zn	0.50	0.58	1	-0.33	0.31	0.65	0.77	0.61	0.61	0.71	-0.71	0.59
Mo	-0.30	-0.39	-0.33	1	0.03	-0.47	-0.32	-0.25	-0.04	-0.34	0.34	-0.25
As	0.84	0.63	0.31	0.03	1	0.10	0.71	0.77	0.54	0.68	-0.68	0.82
Al	0.42	0.63	0.65	-0.47	0.10	1	0.65	0.60	0.49	0.66	-0.66	0.50
Co	0.90	0.84	0.77	-0.32	0.71	0.65	1	0.96	0.80	0.96	-0.96	0.95
Ni	0.87	0.88	0.61	-0.25	0.77	0.60	0.96	1	0.71	0.96	-0.96	0.92
Sc	0.70	0.54	0.61	-0.04	0.54	0.49	0.80	0.71	1	0.69	-0.69	0.83
Sn	0.84	0.94	0.71	-0.34	0.68	0.66	0.96	0.96	0.69	1	-1.00	0.87
Tl	-0.84	-0.94	-0.71	0.34	-0.68	-0.66	-0.96	-0.96	-0.69	-1.00	1	-0.87
V	0.94	0.76	0.59	-0.25	0.82	0.50	0.95	0.92	0.83	0.87	-0.87	1

– Correlación en Formación Guaneros

Los elementos de Cu-Zn, Cu-As, presentan una correlación geoquímica entre moderada a fuerte (Mapa 5), también se encontró entre moderada a fuerte correlaciones geoquímicas con el Zn-As, Al-Sc, Al-Co, Al-V, Co-Sc. Entre las trazas las correlaciones más importantes son Co-V, Sc-V en la cual presentan una correlación fuerte a perfecta. A sí mismo se observan la correlación geoquímica de moderada ente los elementos indicadores y trazas de Cu-Pb, Cu-As, Pb-As, Pb-Sn, Zn-Co, Mo-Tl, Al-Co, Co-Ni (Tabla N° 9).

Tabla N° 9: Matriz de correlación geoquímica en la población Formación Guaneros.

	<i>Cu</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>	<i>Mo</i>	<i>As</i>	<i>Al</i>	<i>Co</i>	<i>Ni</i>	<i>Sc</i>	<i>Sn</i>	<i>Tl</i>	<i>V</i>
<i>Cu</i>	1	0.53	0.71	0.00	0.60	0.19	0.22	-0.02	-0.05	0.36	-0.33	0.03
<i>Pb</i>	0.53	1	0.31	-0.28	0.53	0.01	-0.23	0.11	-0.42	0.52	-0.75	-0.38
<i>Zn</i>	0.71	0.31	1	0.22	0.65	0.29	0.44	0.06	0.28	0.04	0.07	0.28
<i>Mo</i>	0.00	-0.28	0.22	1	0.02	-0.18	0.05	-0.02	0.20	-0.29	0.47	0.15
<i>As</i>	0.60	0.53	0.65	0.02	1	0.10	0.10	0.07	-0.10	0.27	-0.43	-0.05
<i>Al</i>	0.19	0.01	0.29	-0.18	0.10	1	0.61	0.11	0.61	0.01	0.01	0.68
<i>Co</i>	0.22	-0.23	0.44	0.05	0.10	0.61	1	0.42	0.76	-0.07	0.28	0.87
<i>Ni</i>	-0.02	0.11	0.06	-0.02	0.07	0.11	0.42	1	0.23	0.38	-0.02	0.33
<i>Sc</i>	-0.05	-0.42	0.28	0.20	-0.10	0.61	0.76	0.23	1	-0.32	0.53	0.89
<i>Sn</i>	0.36	0.52	0.04	-0.29	0.27	0.01	-0.07	0.38	-0.32	1	-0.64	-0.27
<i>Tl</i>	-0.33	-0.75	0.07	0.47	-0.43	0.01	0.28	-0.02	0.53	-0.64	1	0.45
<i>V</i>	0.03	-0.38	0.28	0.15	-0.05	0.68	0.87	0.33	0.89	-0.27	0.45	1

– Correlación en el Volcánico Chocolate

El elemento indicador de Cu presenta una correlación moderada con el As así mismo dentro de la correlación débil se encuentra el Sn (Mapa 6). Se tiene una correlación fuerte a perfecta entre las variables Sc-V. Del mismo modo se observan las correlaciones geoquímicas de moderada a fuerte entre las variables de Al-V, Al-Sc, Al-Ni, Al-Co, Co-Ni, Ni-Sc, Ni-V y para las variables de Cu-Sn, Zn-Ni y As-Tl, Co-Sn, Co-Tl presentan una débil correlación (Tabla N° 10).

Tabla N° 10: Matriz de correlación geoquímica en la población Volcánico Chocolate.

	<i>Cu</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>	<i>Mo</i>	<i>As</i>	<i>Al</i>	<i>Co</i>	<i>Ni</i>	<i>Sc</i>	<i>Sn</i>	<i>Tl</i>	<i>V</i>
<i>Cu</i>	1	0.01	0.08	0.02	0.44	-0.05	0.13	0.06	0.06	0.23	0.12	0.02
<i>Pb</i>	0.01	1	0.08	-0.25	0.12	-0.28	-0.30	0.03	-0.38	0.08	-0.06	-0.36
<i>Zn</i>	0.08	0.08	1	-0.06	0.12	0.15	0.20	0.22	0.12	0.07	0.03	0.07
<i>Mo</i>	0.02	-0.25	-0.06	1	0.13	-0.07	-0.05	-0.19	-0.13	0.20	0.17	-0.10
<i>As</i>	0.44	0.12	0.12	0.13	1	-0.11	0.15	-0.11	-0.19	0.55	0.35	-0.17
<i>Al</i>	-0.05	-0.28	0.15	-0.07	-0.11	1	0.54	0.59	0.69	-0.24	-0.23	0.76
<i>Co</i>	0.13	-0.30	0.20	-0.05	0.15	0.54	1	0.59	0.60	0.27	0.33	0.60
<i>Ni</i>	0.06	0.03	0.22	-0.19	-0.11	0.59	0.59	1	0.66	-0.25	-0.31	0.64
<i>Sc</i>	0.06	-0.38	0.12	-0.13	-0.19	0.69	0.60	0.66	1	-0.35	-0.35	0.88
<i>Sn</i>	0.23	0.08	0.07	0.20	0.55	-0.24	0.27	-0.25	-0.35	1	0.73	-0.32
<i>Tl</i>	0.12	-0.06	0.03	0.17	0.35	-0.23	0.33	-0.31	-0.35	0.73	1	-0.33
<i>V</i>	0.02	-0.36	0.07	-0.10	-0.17	0.76	0.60	0.64	0.88	-0.32	-0.33	1

Mapa N° 4: Variables de correlación del (Cu), población Ígneo Intrusivo.

Mapa N° 5: Variables de correlación del (Cu), población Formación Guanera.

Mapa N° 6: Variables de correlación del (Cu), población Volcánico Chocolate.

4.5 DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS EN LAS UNIDADES GEOLÓGICAS

En el área de estudio se distribuyen los principales elementos traza mejor correlacionados en las diferentes unidades geológicas, las poblaciones están representadas con su simbología correspondiente que muestran zonas con altas concentraciones. Del análisis Bivariado de elementos se describe sus principales correlaciones geoquímicas.

Se muestran histogramas de frecuencia principalmente para las poblaciones Formación Guaneros y Volcánico Chocolate, el emplazamiento de la mineralización se da en mantos e impregnación diseminada en rocas. También se muestra gráficos de Q-Q Normal para la población Volcánico Chocolate que representa mejor distribución geoquímica.

Los “boxplot” representan semejanzas y diferencias en la distribución de cada elemento en las diferentes poblaciones dentro de las unidades litológicas. Estos diagramas nos ayudan interpretar en la base de datos y posibles relaciones con la mineralización de origen hidrotermal.

4.5.1 Distribución del Cobre (Cu)

El Cu presenta un gran número de valores coincidentes con el límite de detección, además de tener unos pocos datos elevados se encuentran relacionados entre contacto del dique fallas y sistemas de mantos; las concentraciones puntuales se presentan en las rocas andesitas porfíricas del Volcánico Chocolate (Mapa 7).

Este elemento muestra una distribución lognormal (Figura 26 y 27). Los mayores umbrales fueron determinados en la población Volcánico Chocolate, como se muestra en la (Tabla N° 11). En cuanto a las correlaciones se muestran lo siguiente:

- Población Ígneo Intrusivo: corresponden a la distribución en rocas sub-volcánicas ígneo Jurásico, se determina de fuertes a perfecta y entre moderada a fuerte correlación positiva de V, Co, Ni, As, Sn, Sc, Pb, Zn.
- Población Formación Guaneros: donde se emplazan rocas andesitas del Jurásico que son la fuente principal de las elevadas concentraciones, tiene entre moderada a fuerte correlación positiva de Zn, As, Pb.
- Población Volcánico Chocolate: el Cu se distribuye sobre rocas andesitas porfíricas del Jurásico Inferior, donde presenta una característica predominante para este tipo de litología tiene una correlación moderada con el As.

Tabla N° 11: Parámetros estadísticos del Cobre (Cu).

Poblaciones	Ígneo intrusivo	Formación Guaneros	Volcánico Chocolate
N° de valores	12	48	162
N° de valores Utilizados	12	47	162
Valor Mínimo (ppm)	7.77	1.87	1.100
Valor Máximo (ppm)	133.90	444.30	9275.000
Media (Ln)	3.13	3.57	3.99
Desviación Estándar (Ln)	0.84	1.12	1.81
Umbral (ppm)	41.59	40.757	69.005

Las manifestaciones de Cu están asociados a las rocas volcánicas, tiene una distribución muy puntual en las estructuras de mantos y en la alteración propilitica. El máximo umbral geoquímico corresponde al Volcánico Chocolate, en tanto el mínimo se ha determinado en Ígneo Intrusivo (Figura 29).

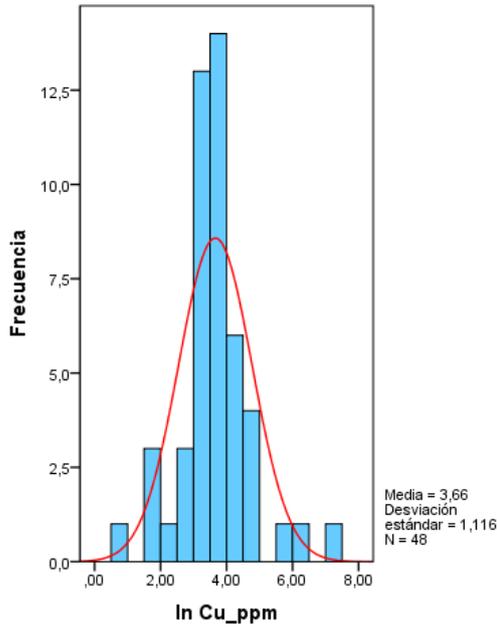


Fig. 26: Histograma de frecuencia y concentración de Cu, población Formación Guaneros.

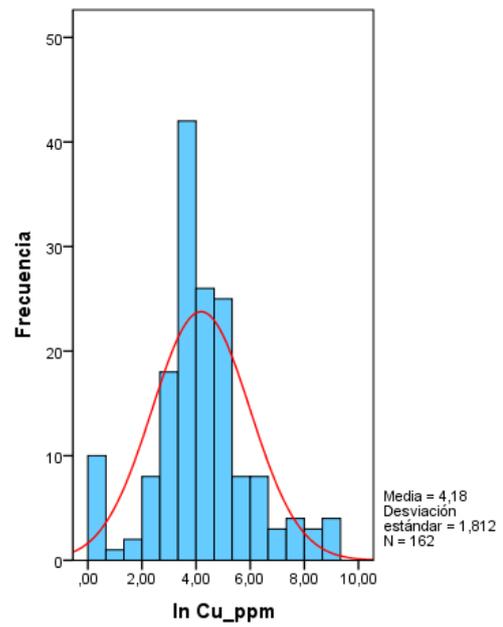


Fig. 27: Histograma de frecuencia y concentración de Cu, población Volcánico Chocolate.

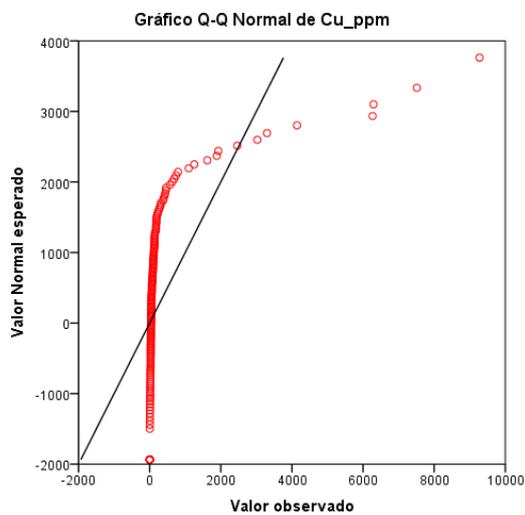


Fig. 28: Grafico Q-Q Normal para el Cu en la población Volcánico chocolate.

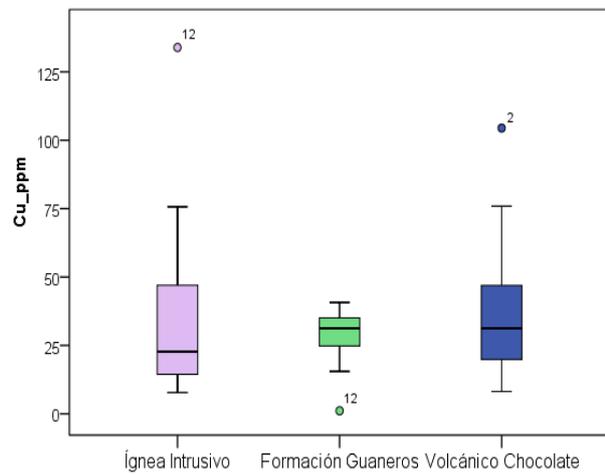


Fig. 29: Grafico Box-Plot para el Cu en las tres poblaciones geoquímicas.

Mapa N° 7: Distribución geoquímica del Cobre (Cu)

4.5.2 Distribución del Plomo (Pb)

Las más altas concentraciones se encuentran dentro del Volcánico Chocolate, donde mayormente presentan alteraciones propiliticas (Mapa 8).

Este elemento muestra una distribución lognormal (Figura 30 y 31). Los mayores umbrales fueron determinados en la población Formación Guaneros, como se muestra en el (Tabla N° 12). En cuanto a las correlaciones geoquímicas se muestran lo siguiente:

- Población Ígneo Intrusivo: en la población Ígneo intrusivo ocurren valores entre fuerte a perfecta correlación de Cu, Sn, Ni, Co, V, As, Al, Zn, Sc, este elemento se distribuye orientado por la ubicación de un dique.
- Población Formación Guaneros: en esta zona el Pb se presenta entre moderada a fuerte correlación con los elementos de Cu, As, Sn. Está relacionado a roca andesita porfiritica, donde existe además la presencia de la falla regional Palomino.
- Población Volcánico Chocolate: Presenta una baja concentraciones de Pb tiene una escasa correlación con el As.

Tabla N° 12: Parámetros estadísticos del Plomo (Pb).

Poblaciones	Ígneo intrusivo	Formación Guaneros	Volcánico Chocolate
N° de valores	12	48	162
N° de valores Utilizados	12	47	161
Valor Mínimo (ppm)	1.00	1.10	1.100
Valor Máximo (ppm)	16.00	897	1608
Media (Ln)	0.10	1.03	1.39
Desviación Estándar (Ln)	0.89	2.46	2.07
Umbral (ppm)	3.36	9.028	7.094

Las altas concentraciones de valores anómalos que presenta este elemento nos indica zonas de mineralización cuprífera en profundidad y la posibilidad de mineralización cercanos a brechas del Volcánico Chocolate. Los máximos umbrales geoquímicos se distribuyen en la población Formación Guaneros, en tanto que el mínimo ocurre en el Ígneo Intrusivo (Figura 33).

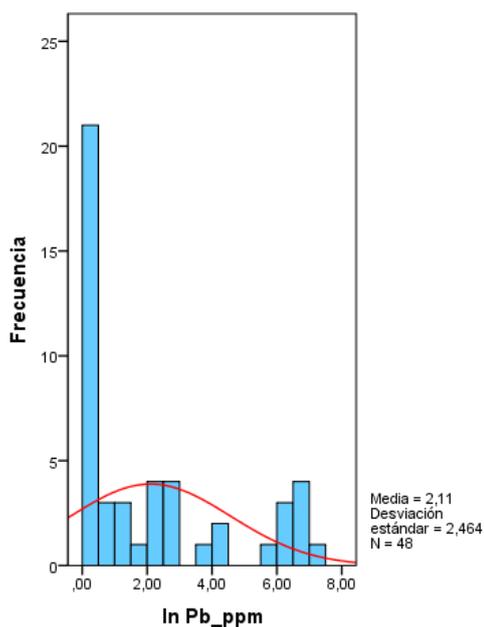


Fig. 30: Histograma de frecuencia y concentración de Pb, población Formación Guaneros.

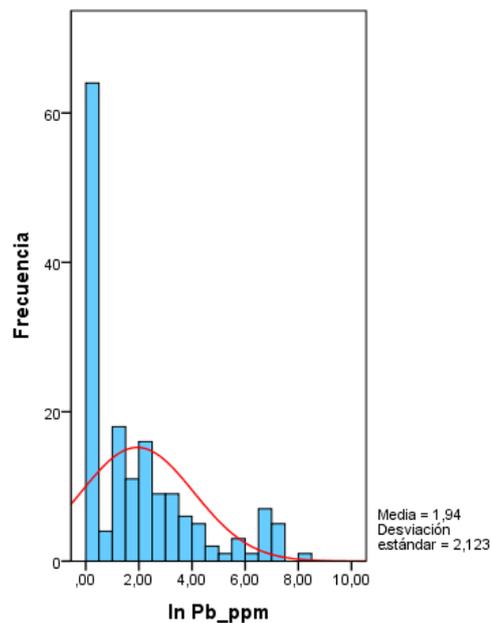


Fig. 31: Histograma de frecuencia y concentración de Pb, población Volcánico Chocolate.

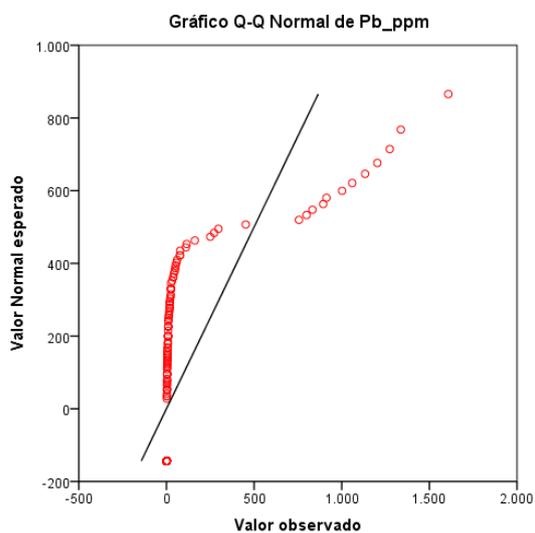


Fig. 32: Grafico Q-Q Normal para el Pb en la población Volcánico Chocolate.

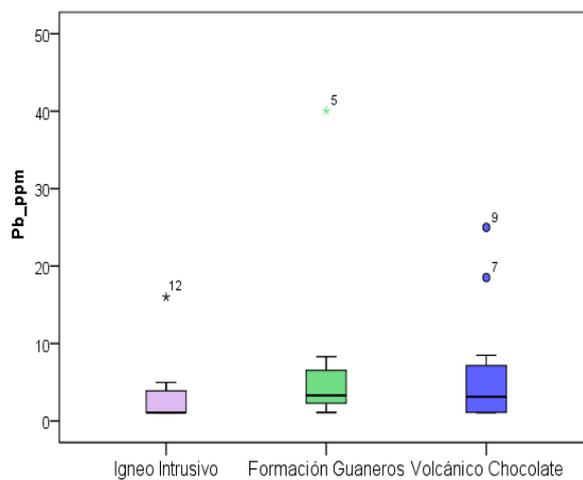


Fig. 33: Grafico Box-Plot para el Pb en las tres poblaciones geoquímicas.

Mapa N° 8: Distribución geoquímica del Plomo (Pb).

4.5.3 Distribución del Zinc (Zn)

El mayor número de anomalías de Zn corresponde a la población Volcánico Chocolate, siendo las andesitas porfíricas que contribuyen con la mayor concentración. La distribución geoquímica del Zn muestra valores relativamente superiores para los cuales se menciona en las áreas Fortuna y Rica que muestran los más altos valores (Mapa 9). Este elemento muestra una distribución lognormal (Figura 34 y 35). Los mayores umbrales fueron determinados en la población Ígneo intrusivo, como se muestra en la (Tabla N° 13). En cuanto a las correlaciones geoquímicas se muestran lo siguiente:

- Población Ígneo Intrusivo: Tiene fuerte y moderada correlación positiva con el Cu, Pb, Co, Sn, Al, Ni, Sc, V en mantos o cuerpos estratiformes en rocas volcánicas.
- Población Formación Guaneros: el elemento de Zn distribuido en rocas andesita porfíricas en la cual tiene una correlaciona moderada con Cu, As.
- Población Volcánico Chocolate: el Zn se distribuye sobre estructuras de mantos, en la cual presenta una débil correlación con él Al y el As.

Tabla N° 13: Parámetros estadísticos del Zinc (Zn).

Poblaciones	Ígneo intrusivo	Formación Guaneros	Volcánico Chocolate
N° de valores	12	48	162
N° de valores Utilizados	12	47	162
Valor Mínimo (ppm)	1.10	7.60	12.411
Valor Máximo (ppm)	16.00	139.94	917.300
Media (Ln)	61.33	4.11	4.15
Desviación Estándar (Ln)	29.70	0.87	0.62
Umbral (ppm)	89.91	61.014	68.912

Es preciso resaltar las anomalías de Zn presentes en el área Fortuna y Rica, el cual está ligado a brecha volcánica. El máximo umbral geoquímico corresponde a las rocas Ígneo Intrusivas, mientras que el mínimo ocurre en la población Volcánico Chocolate (Figura 37).

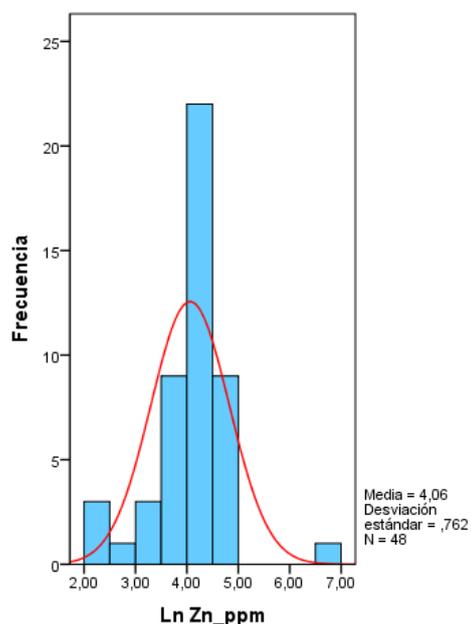


Fig. 34: Histograma de frecuencia y concentración de Zn, población Formación Guaneros.

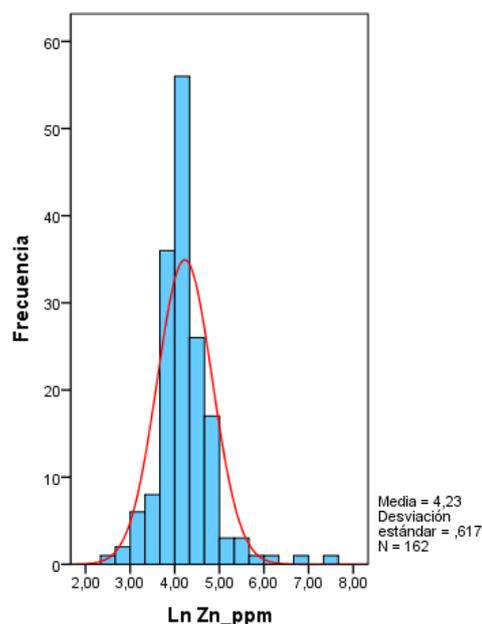


Fig. 35: Histograma de frecuencia y concentración de Zn, población Volcánico Chocolate.

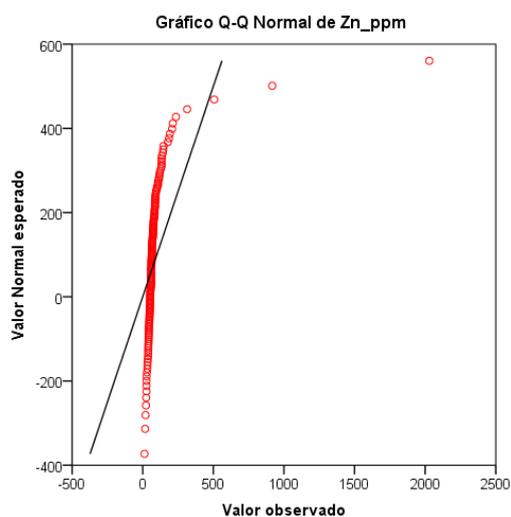


Fig. 36: Grafico Q-Q Normal para el Zn en la población Volcánico Chocolate.

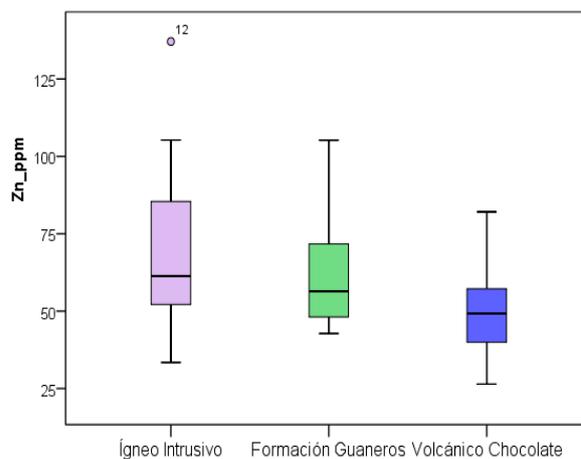


Fig. 37: Grafico Box-Plot para el Zn en las tres poblaciones geoquímicas.

Mapa N° 9: Distribución geoquímica del Zinc (Zn).

4.5.4 Distribución del Molibdeno (Mo)

El Mo presenta una distribución uniforme en la población Volcánico Chocolate, comprobándose la afinidad de este elemento con el Cu, tenemos valores relativamente altos en los afloramientos de rocas ígneas sub-volcánicas (Mapa 10).

Este elemento muestra una distribución lognormal (Figura 38 y 39). Los mayores umbrales fueron determinados en la población Ígneo Intrusivo, como se muestra en la (Tabla N° 14). En cuanto a las correlaciones geoquímicas se muestran lo siguiente:

- Población Ígneo Intrusivo: corresponden a la distribución en ambientes Ígneo intrusivo, presentan débil correlaciones positivas con el Tl.
- Población Formación Guaneros: donde se emplazan rocas andesitas porfíricas que son la fuente principal de las elevadas concentraciones, tiene una débil a moderada correlación positiva de Tl, Sc, V.
- Población Volcánico Chocolate: el Mo se distribuye sobre rocas andesitas porfíricas marrones, este tipo de litología tiene débil correlación positiva con el Sn, Tl, As.

Tabla N° 14: Parámetros estadísticos del Molibdeno (Mo).

Poblaciones	Ígneo intrusivo	Formación Guaneros	Volcánico Chocolate
N° de valores	12	48	162
N° de valores Utilizados	12	48	162
Valor Mínimo (ppm)	1.00	1.10	1.071
Valor Máximo (ppm)	12.00	6.00	5.000
Media (Ln)	0.64	0.69	0.69
Desviación Estándar (Ln)	0.38	0.45	0.43
Umbral (ppm)	2.57	2.162	1.954

La distribución del Mo muestra una distribución normal y uniforme en las tres poblaciones posiblemente está ligada a las fallas y diques. Los máximos umbrales más elevados corresponden Formación Guaneros e Ígneo Intrusivo (Figura 41).

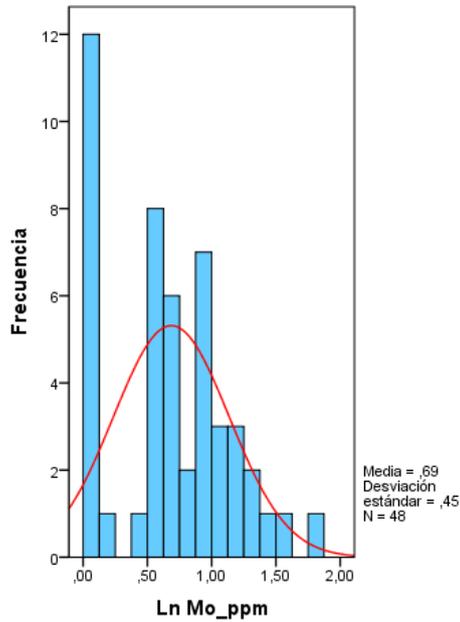


Fig. 38: Histograma de frecuencia y concentración de Mo, población Formación Guaneros.

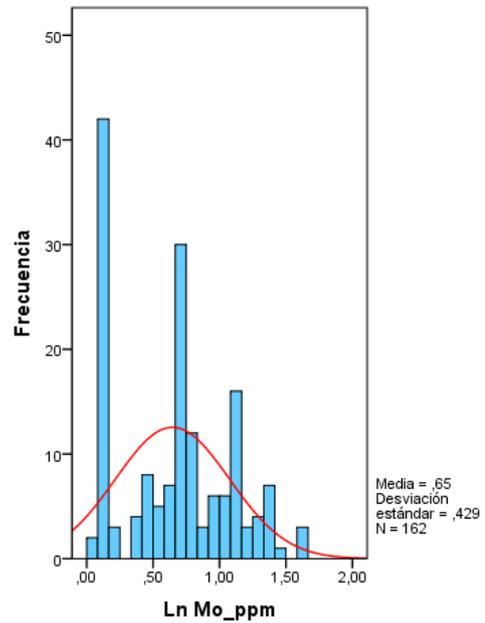


Fig. 39: Histograma de frecuencia y concentración de Mo, población Volcánico Chocolate.

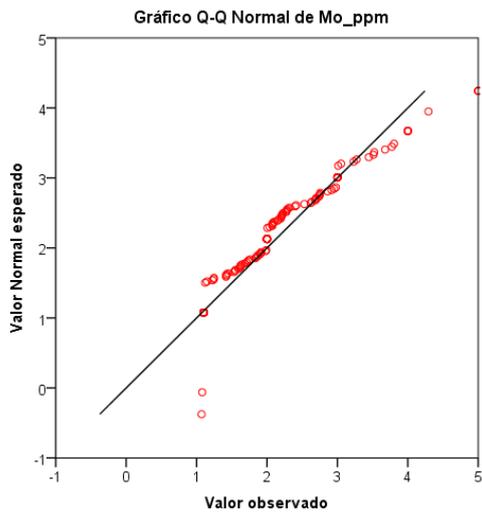


Fig. 40: Grafico Q-Q Normal para el Mo en la población Volcánico Chocolate.

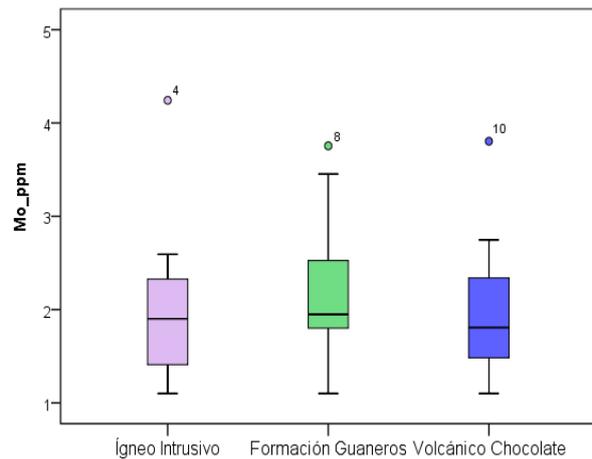


Fig. 41: Grafico Box-Plot para el Mo en las tres poblaciones geoquímicas.

Mapa N° 10: Distribución geoquímica del Molibdeno (Mo).

4.5.5 Distribución del Arsénico (As)

La distribución del As se manifiesta fuertemente dentro de la población Formación Guaneros en contacto con el sistema paralelo de falla; otras concentraciones importantes se encuentran en la Zona Rica como en las estructuras del dique andesítico y mantos (Mapa 11). Este elemento muestra una distribución lognormal (Figura 42 y 43). Los mayores umbrales fueron determinados en la población Volcánico Chocolate, como se muestra en la (Tabla N° 15). En cuanto a las correlaciones geoquímicas se muestran lo siguiente:

- Población Ígneo Intrusivo: corresponde la distribución del As en los intrusivos, tiene entre moderada a fuerte correlación con el Cu, Pb, V, Ni, Co, Sn, Sc.
- Población Formación Guaneros: presenta una correlación entre moderada a fuerte con Co, Pb, Zn.
- Población Volcánico Chocolate: corresponde la distribución del As en el ambiente volcánico, tiene moderada correlación con el Sn.

Tabla N° 15: Parámetros estadísticos del Arsénico (As).

Poblaciones	Ígneo intrusivo	Formación Guaneros	Volcánico Chocolate
N° de valores	12	48	162
N° de valores Utilizados	12	48	162
Valor Mínimo (ppm)	33.44	2.50	1.500
Valor Máximo (ppm)	137.10	132.00	536.000
Media (Ln)	0.92	2.08	2.40
Desviación Estándar (Ln)	0.62	1.13	1.17
Umbral (ppm)	6.04	8.445	10.401

El Volcánico Chocolate aporta con el mayor valor; y el más bajo nivel de fondo ocurre en el Ígneo Intrusivo y la Formación Guaneros, del mismo modo se determina las altas concentraciones en estructuras de mantos asociados a los intrusivos y fallas. Los máximos valores se presentan en el Volcánico Chocolate que presenta el mayor umbral geoquímico (Figura 45).

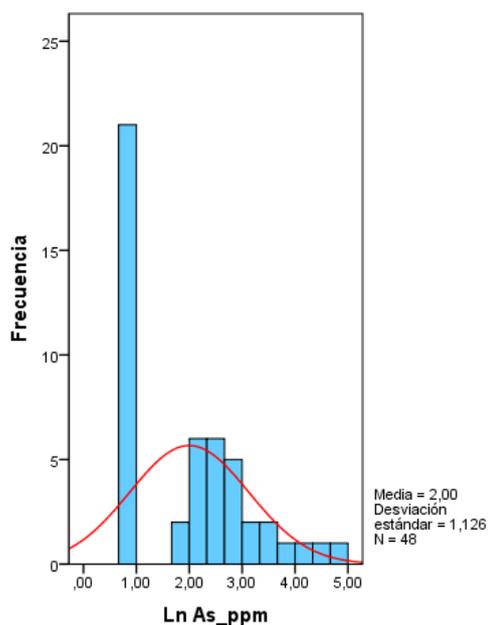


Fig. 42: Histograma de frecuencia y concentración de As, población Formación Guaneros.

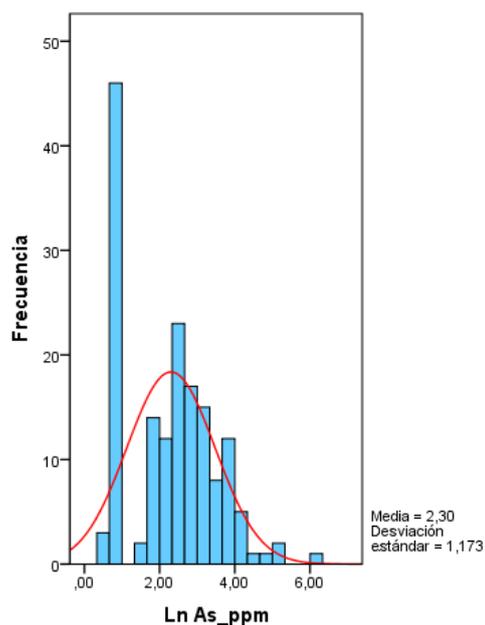


Fig. 43: Histograma de frecuencia y concentración de As, población Volcánico Chocolate

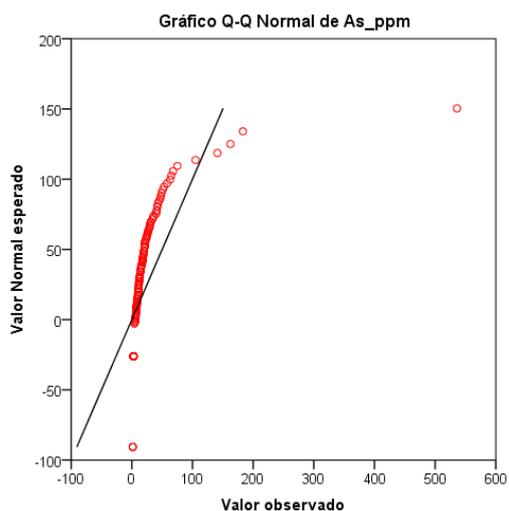


Fig. 44: Grafico Q-Q Normal para el As en la población Volcánico Chocolate.

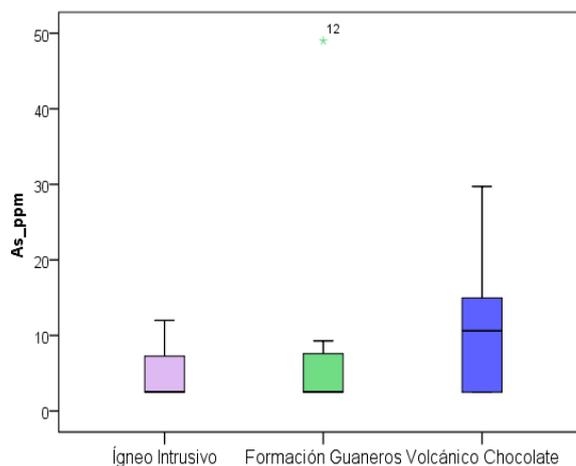


Fig. 45: Grafico Box-Plot para el As en las tres poblaciones geoquímicas.

Mapa N° 11: Distribución geoquímica del Arsénico (As).

4.5.6 Distribución del Aluminio (Al)

El Al presenta una distribución uniforme en la población Volcánico chocolate y Formación Guaneros, tenemos valores relativamente altos en los afloramientos de rocas volcánicas en contacto con los sistemas de fallas paralelas (Mapa 12).

Este elemento muestra una distribución lognormal (Figura 46 y 47). Los mayores umbrales fueron determinados en la población Volcánico Chocolate, como se muestra en la (Tabla N° 16). En cuanto a las correlaciones geoquímicas se muestran lo siguiente:

- Población Ígneo Intrusivo: corresponden a la distribución en la población Ígneo intrusivo, se presentan entre moderada a fuerte correlaciones positivas con el Pb, Zn, Sn, Co, Ni, V.
- Población Formación Guaneros: presenta entre moderada a fuerte correlación positiva con el V, Co, Sc.
- Población Volcánico Chocolate: el Al se distribuye uniformemente sobre rocas andesitas porfíricas marrones, tiene entre moderada a fuerte correlación positiva con el V, Sc, Ni, Co.

Tabla N° 16: Parámetros estadísticos del Aluminio (Al).

Poblaciones	Ígneo intrusivo	Formación Guaneros	Volcánico Chocolate
N° de valores	12	48	162
N° de valores Utilizados	12	48	162
Valor Mínimo (ppm)	1.09	1.14	1.02
Valor Máximo (ppm)	2.54	4.69	7.75
Media (Ln)	0.54	0.69	0.82
Desviación Estándar (Ln)	0.25	0.27	0.49
Umbral (ppm)	2.09	2.14	2.30

Las altas concentraciones del Al se exponen en el Volcánico Chocolate que presentan una distribución normal provenientes posiblemente de material de detritos y la alteración de las rocas volcánicas y dentro de la Formación Guaneros, las concentraciones del Al están ligadas mayormente a las andesitas porfíricas. Los máximos umbrales geoquímicos se distribuyen en la población Formación Guaneros, en tanto que el mínimo ocurre en el Volcánico Chocolate (Figura 49).

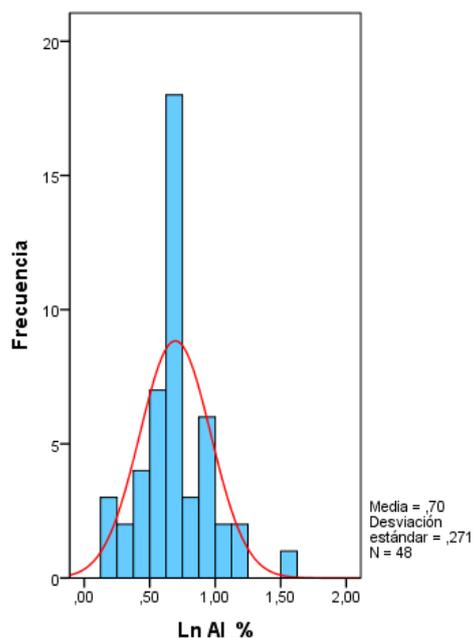


Fig. 46: Histograma de frecuencia y concentración de Al, población Formación Guaneros.

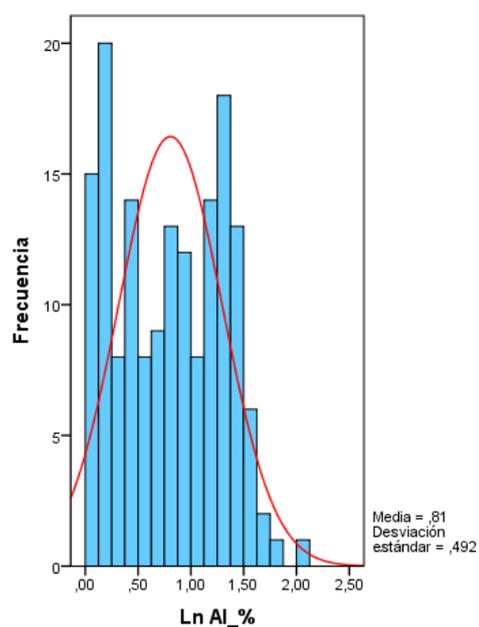


Fig. 47: Histograma de frecuencia y concentración de Al, población Volcánico Chocolate.

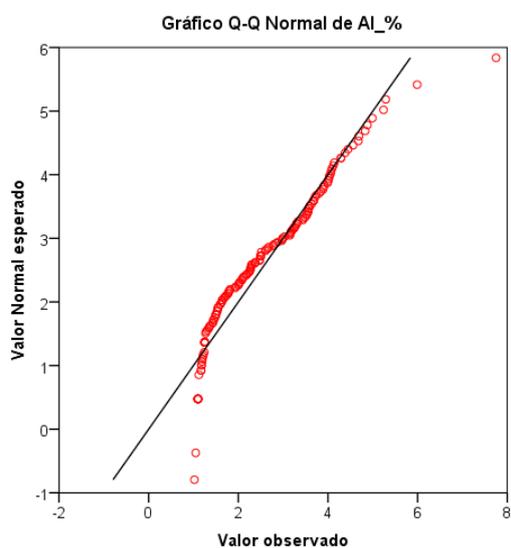


Fig. 48: Grafico Q-Q Normal para el Al en la población Volcánico Chocolate.

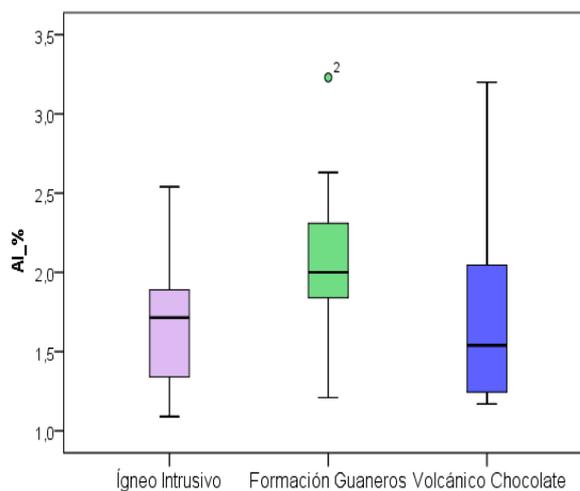


Fig. 49: Grafico Box-Plot para el Al en las tres poblaciones geoquímicas.

Mapa N° 12: Distribución geoquímica del Aluminio (Al).

4.5.7 Distribución del Cobalto (Co)

Las distribuciones de Co se dan en las estructuras y sistemas de fallas paralelos que presentan las zonas Fortuna y Rica, los valores puntuales se dan en las estructuras de mantos y afloramientos locales de alteración propilitica (Mapa 13).

Este elemento muestra una distribución lognormal (Figura 50 y 51). Los mayores umbrales fueron determinados la población Volcánico Chocolate, como se muestra en la (Tabla N° 17). En cuanto a las correlaciones se muestran lo siguiente:

- Población Ígneo Intrusivo: se distribuye en secuencias a rocas volcánicas, donde el Co se encuentra presente en estructuras principales cuerpos de mena.
- Población Formación Guaneros: presenta entre moderada a fuerte correlación positiva con el Al, V, Sc.
- Población Volcánico Chocolate: el Co se distribuye uniformemente sobre rocas andesitas porfíricas marrones, presenta una correlación positiva entre moderada a fuerte con el Al, Sc, V, Ni.

Tabla N° 17: Parámetros estadísticos del Cobalto (Co).

Poblaciones	Ígneo intrusivo	Formación Guaneros	Volcánico Chocolate
N° de valores	12	48	162
N° de valores Utilizados	12	48	162
Valor Mínimo (ppm)	1.09	1.14	1.02
Valor Máximo (ppm)	2.54	4.69	7.75
Media (Ln)	0.54	0.69	0.82
Desviación Estándar (Ln)	0.25	0.27	0.49
Umbral (ppm)	2.09	2.14	2.30

Las altas concentraciones se exponen en las poblaciones del Volcánico Chocolate relacionados a los sistemas de Mantos paralelos y Falla regional. Los mayores umbrales fueron determinados en el Volcánico Chocolate y los más bajos corresponden al ígneo intrusivo (Figura 53).

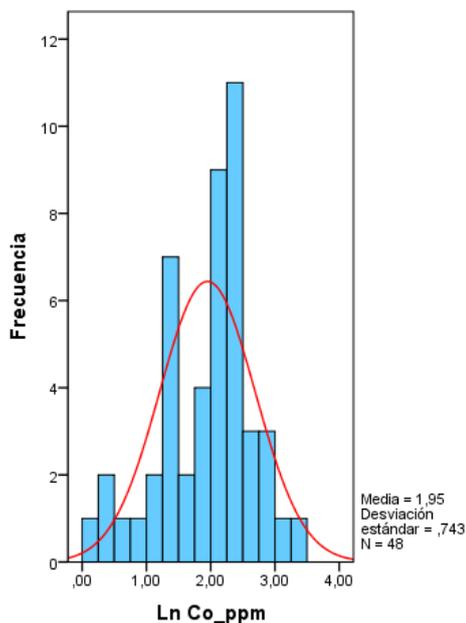


Fig. 50: Histograma de frecuencia y concentración de Co, población Formación Guaneros.

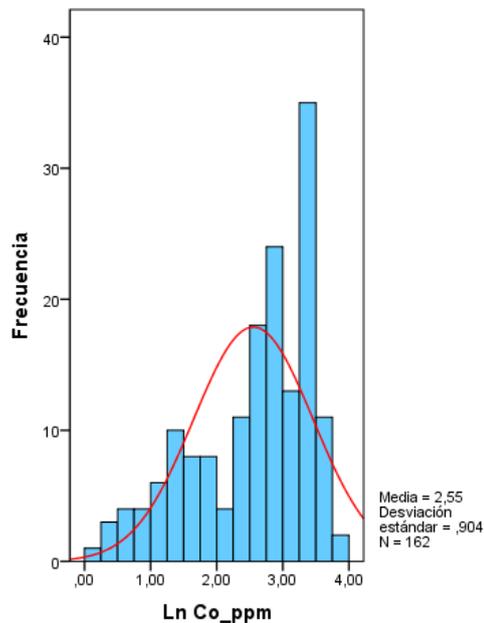


Fig. 51: Histograma de frecuencia y concentración de Co, población Volcánico Chocolate.

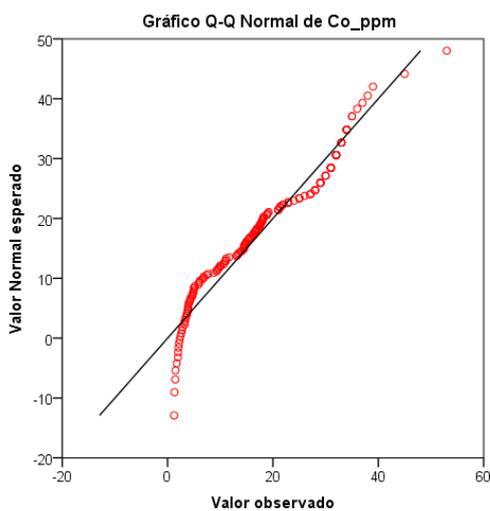


Fig. 52: Grafico Q-Q Normal para el Co en la población Volcánico Chocolate.

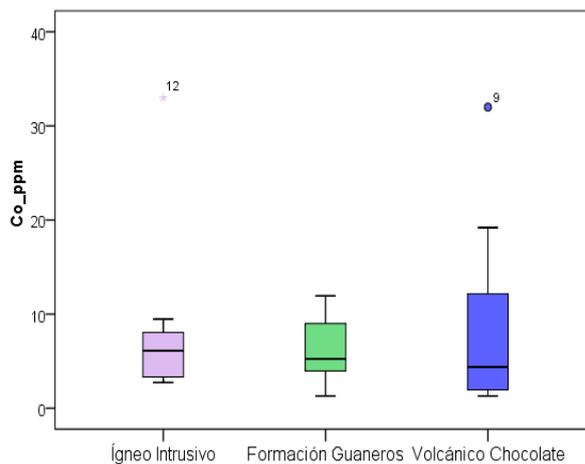


Fig. 53: Grafico Box-Plot para el Co en las tres poblaciones geoquímicas.

Mapa N° 13: Distribución geoquímica del Cobalto (Co).

4.5.8 Distribución del Níquel (Ni)

El mapa de distribución geoquímica del Ni se muestran concentraciones puntuales donde se emplazan los mantos, cuerpos estratiformes, y en un sistema de fallas paralelas (Mapa 14). Este elemento muestra una distribución lognormal (Figura 54 y 55). Destaca el umbral en la población Volcánico Chocolate (Tabla N° 18). En cuanto a las correlaciones se muestran lo siguiente:

- Población Ígneo Intrusivo: se distribuye en secuencias a rocas Sub-volcánicas, donde el Ni se encuentra presente en estructuras de dique andesítico, tiene entre moderada y perfecta correlación con el Cu, Pb, Zn, As, Al, Ni, Sn, V, Sc.
- Población Formación Guaneros: tiene débil correlación positiva con el Sn, V, Sc.
- Población Volcánico Chocolate: Tienes una correlación positiva entre moderada a fuerte con el Al, Co, Sc, V.

Tabla N° 18: Parámetros estadísticos del Níquel (Ni).

Poblaciones	Ígneo intrusivo	Formación Guaneros	Volcánico Chocolate
N° de valores	12	48	162
N° de valores Utilizados	12	48	162
Valor Mínimo (ppm)	1.02	1.16	1.10
Valor Máximo (ppm)	24.00	13.00	33.00
Media (Ln)	0.84	2.21	2.30
Desviación Estándar (Ln)	0.92	0.74	0.95
Umbral (ppm)	4.41	4.60	8.39

El Níquel probablemente este asociado en algunos minerales Oxi-Fe presentes en las estructuras de mantos en un sistema paralelo de fallas normales. El máximo umbral geoquímico corresponde a ambientes ígneos del volcánico chocolate, mientras que el más bajo a los Ígneo Intrusivo (Figura 57).

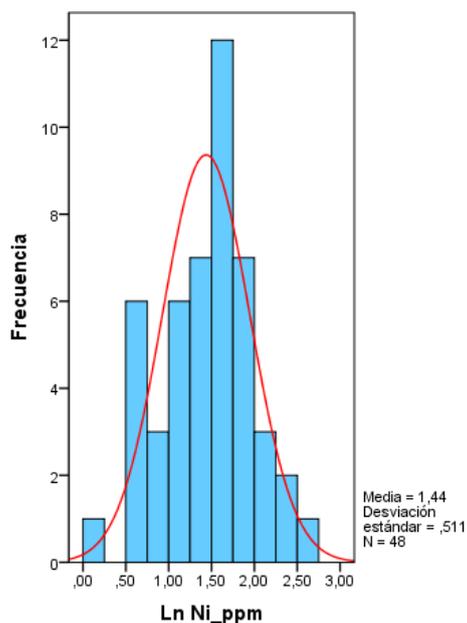


Fig. 54: Histograma de frecuencia y concentración de Ni, población Formación Guaneros.

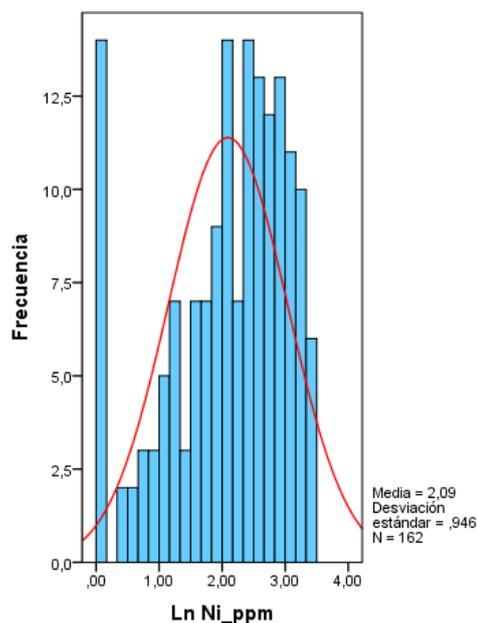


Fig. 55: Histograma de frecuencia y concentración de Ni, población Volcánico Chocolate.

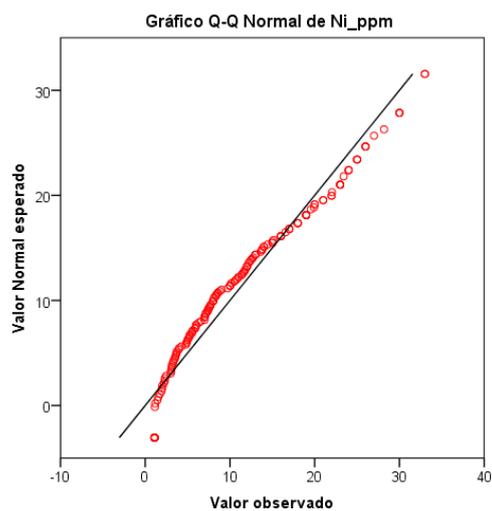


Fig. 56: Gráfico Q-Q Normal para el Ni en la población Volcánico Chocolate.

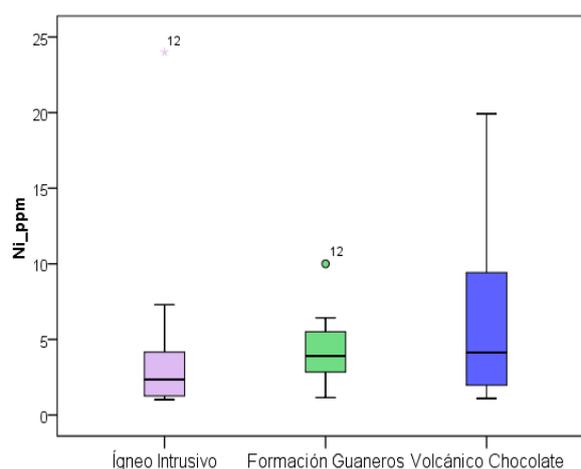


Fig. 57: Gráfico Box-Plot para el Ni en las tres poblaciones geoquímicas.

Mapa N° 14: Distribución geoquímica del Níquel (Ni).

4.5.9 Distribución del Escandio (Sc)

La distribución geoquímica del Sc muestra valores relativamente superiores en las zonas Rica y Fortuna donde se distribuye con uniformidad (Mapa 15).

Este elemento muestra una distribución lognormal (Figura 58 y 59). Los mayores umbrales fueron determinados en la población Ígneo Intrusivo, como se muestra en la (Tabla N° 19). En cuanto a las correlaciones se muestran lo siguiente:

- Población Ígneo Intrusivo: se distribuye en secuencias a rocas volcánicas, donde el Sc tiene entre moderada a fuerte con el V, Sn.
- Población Formación Guaneros: presenta entre moderada a fuerte correlación positiva con el Al, Co, V, Tl.
- Población Volcánico Chocolate: presenta una correlación positiva entre moderada a fuerte con el Al, Co, Ni, V.

Tabla N° 19: Parámetros estadísticos del Estroncio (Sc).

Poblaciones	Ígneo Intrusivo	Formación Guaneros	Volcánico Chocolate
N° de valores	12	48	162
N° de valores Utilizados	12	48	162
Valor Mínimo (ppm)	4.07	1.11	1.10
Valor Máximo (ppm)	14.80	21.00	26.70
Media (Ln)	1.72	1.90	2.40
Desviación Estándar (Ln)	0.45	0.93	0.97
Umbral (ppm)	8.83	5.88	7.55

El Sc presenta una distribución normal en las rocas volcánicas posiblemente están relacionados a la alteración propilitica. La mayor concentración de Sc se da en la Volcánico Chocolate y la Formación Guaneros, el máximo umbral geoquímico corresponde a la Ígneo Intrusivo, mientras que el mínimo ocurre en el Volcánico Chocolate (Figura 61).

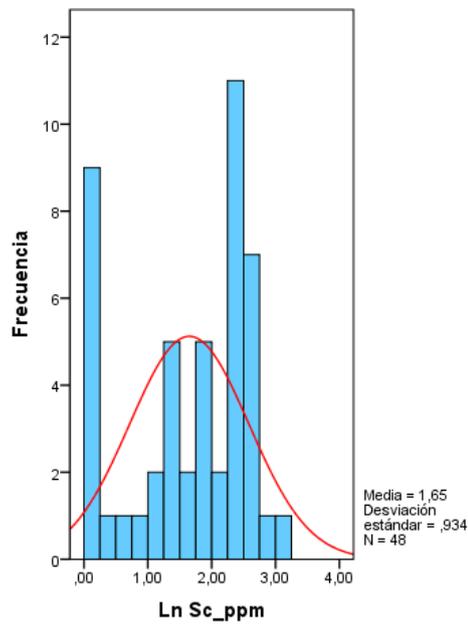


Fig. 58: Histograma de frecuencia y concentración de Sc, población Formación Guaneros.

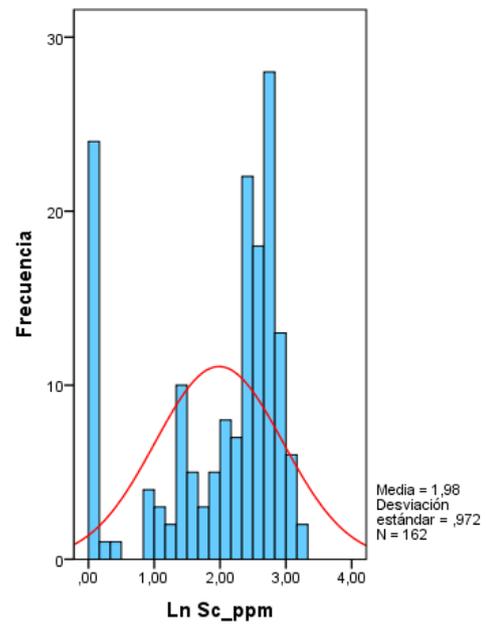


Fig. 59: Histograma de frecuencia y concentración de Sc, población Volcánico Chocolate.

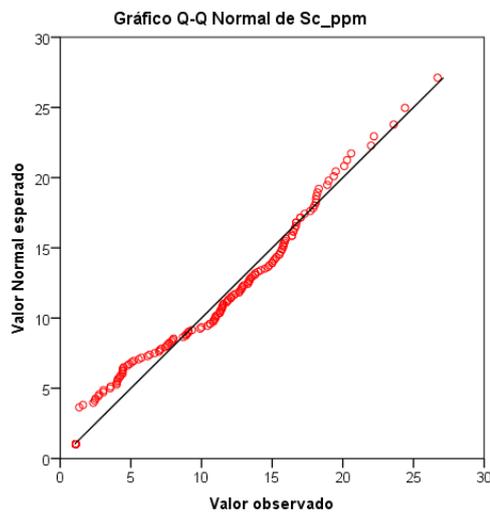


Fig. 60: Grafico Q-Q Normal para el Sc en la población Volcánico Chocolate.

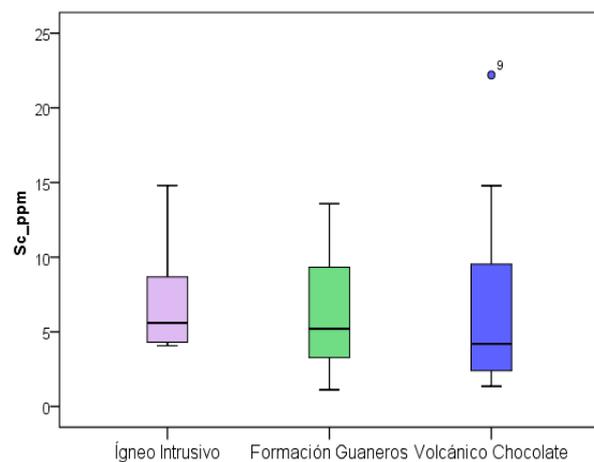


Fig. 61: Grafico Box-Plot para el Sc en las tres poblaciones geoquímicas.

Mapa N° 15: Distribución geoquímica del Escandio (Sc).

4.5.10 Distribución del Estaño (Sn)

El mapa de distribución geoquímica del Sn es mínimo presenta concentraciones puntuales en las andesitas porfíricas en donde se emplazan los mantos cuerpos estratiformes, y en un sistema de fallas paralelas (Mapa 16).

Este elemento muestra una distribución lognormal (Figura 62 y 63). Destaca el umbral en la población Volcánico Chocolate como se muestra en la (Tabla N° 20). En cuanto a las correlaciones se muestran lo siguiente:

- Población Ígneo Intrusivo: se distribuye en secuencias a rocas volcánicas, donde el Sn se encuentra presente en estructuras del dique andesítico, tiene entre moderada a fuerte y perfecta correlación con el Cu, Pb, Zn, As, Al, Co, Ni, Sc, V.
- Población Formación Guaneros: tiene moderada correlación positiva con el Pb.
- Población Volcánico Chocolate: Tiene una correlación positiva entre moderada a fuerte con el As, Tl.

Tabla N° 20: Parámetros estadísticos del Estaño (Sn).

Poblaciones	Ígneo Intrusivo	Formación Guaneros	Volcánico Chocolate
N° de valores	12	48	162
N° de valores Utilizados	12	48	162
Valor Mínimo (ppm)	2.50	1.25	2.50
Valor Máximo (ppm)	5.00	17.00	195.50
Media (Ln)	0.92	0.92	1.26
Desviación Estándar (Ln)	0.20	0.52	0.91
Umbral (ppm)	3.32	3.49	4.73

La mayor concentración de Sn se da emplazan los mantos cuerpos estratiformes y en un sistema de fallas. El máximo umbral geoquímico corresponde a la población Volcánico Chocolate, mientras que el mínimo ocurre en la población Ígneo Intrusivo (Figura 65).

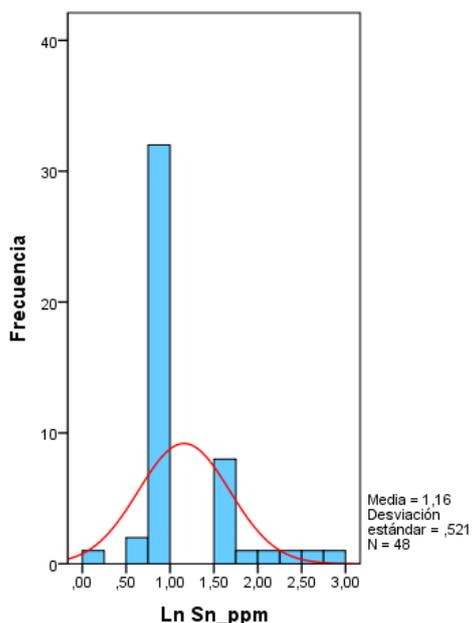


Fig. 62: Histograma de frecuencia y concentración de Sn, población Formación Guaneros.

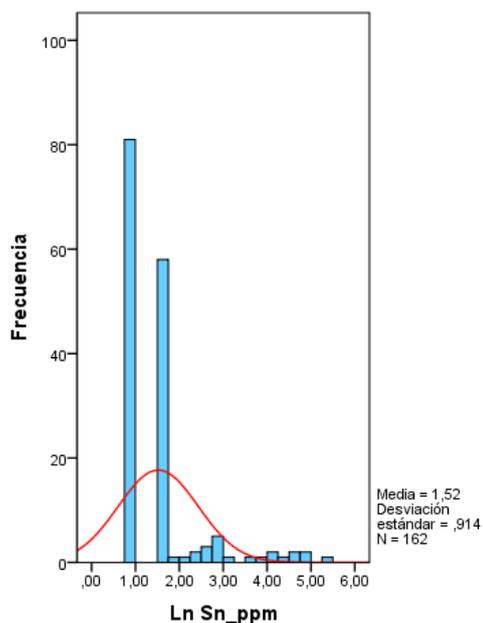


Fig. 63: Histograma de frecuencia y concentración de Sn, población Volcánico Chocolate.

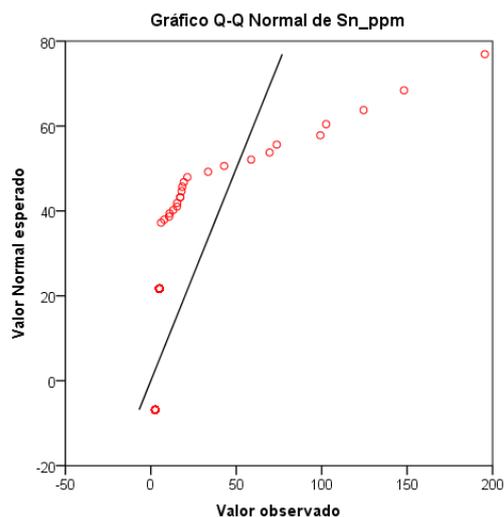


Fig. 64: Grafico Q-Q Normal para el Sn en la población Volcánico Chocolate.

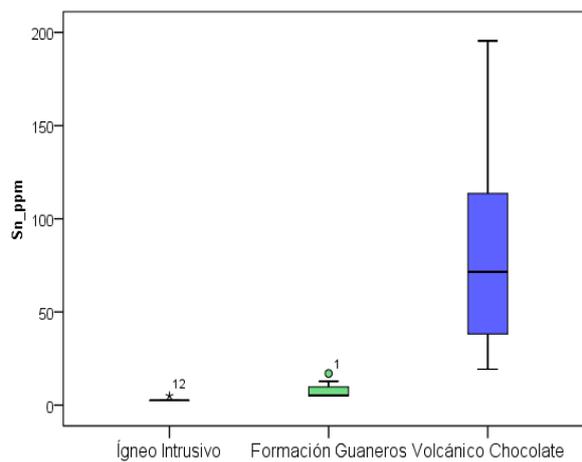


Fig. 65: Grafico Box-Plot para el Sn en las tres poblaciones geoquímicas.

Mapa N° 16: Distribución geoquímica del Estaño (Sn).

4.5.11 Distribución del Talio (Tl)

El mapa de distribución geoquímica del Tl tiene concentraciones puntuales donde se emplazan los mantos cuerpos estratiformes, y en un sistema de fallas paralelas en la zona Rica (Mapa 17). Este elemento muestra una distribución lognormal (Figura 66 y 67). Destaca el umbral en la población Ígneo Intrusivo como se muestra en la (Tabla N° 21). En cuanto a las correlaciones se muestran lo siguiente:

- Población Ígneo Intrusivo: se distribuye en secuencias a rocas volcánicas, donde el Ni se encuentra presente en estructuras de sistemas de fallas, tiene entre débil correlación con el Mo.
- Población Formación Guaneros: tiene débil a moderada correlación uniforme y positiva con el Mo, Co, Sc, V.
- Población Volcánico Chocolate: Tienes una correlación positiva entre moderada a fuerte con el Sn.

Tabla N° 21: Parámetros estadísticos del Talio (Tl).

Poblaciones	Ígneo intrusivo	Formación Guaneros	Volcánico Chocolate
N° de valores	12	48	162
N° de valores Utilizados	12	48	162
Valor Mínimo (ppm)	1.10	1.10	1.02
Valor Máximo (ppm)	2.50	2.50	153.00
Media (Ln)	0.92	0.92	0.92
Desviación Estándar (Ln)	2.18	0.31	1.03
Umbral (ppm)	2.99	2.23	2.27

La mayor concentración de Tl se da emplazan en un sistema de fallas, el máximo umbral geoquímico corresponde a la población Volcánico Chocolate. Mientras que el mínimo ocurre en la población Ígneo Intrusivo y la Formación Guaneros (Figura 69).

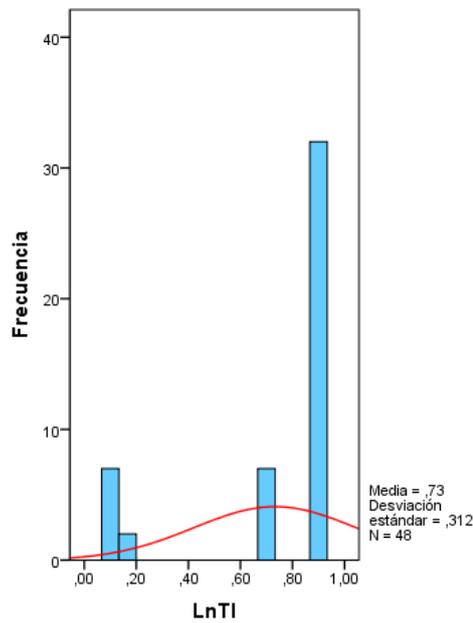


Fig. 66: Histograma de frecuencia y concentración de Tl, población Formación Guaneros.

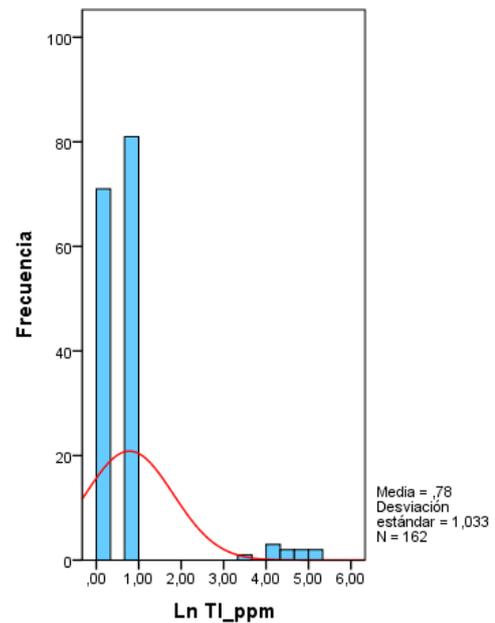


Fig. 67: Histograma de frecuencia y concentración de Tl, población Volcánico Chocolate.

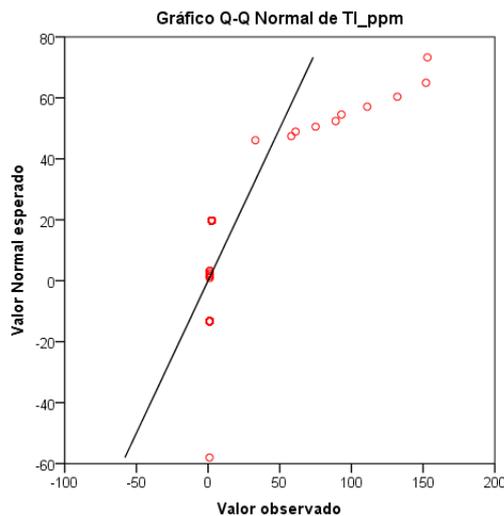


Fig. 68: Grafico Q-Q Normal para el Tl en la población Volcánico Chocolate.

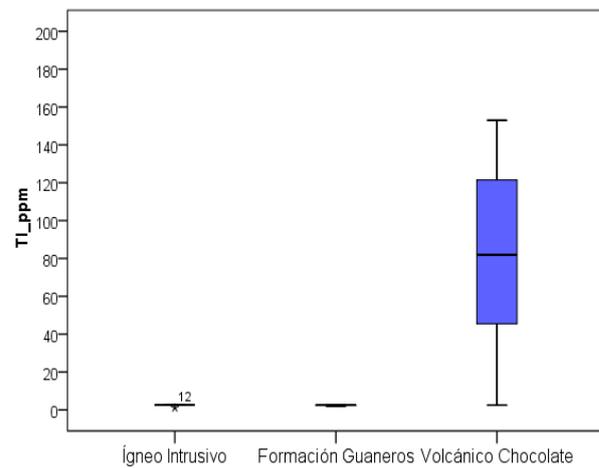


Fig. 69: Grafico Box-Plot para el Tl en las tres poblaciones geoquímicas.

Mapa N° 17: Distribución geoquímica del Talio (Tl).

4.5.12 Distribución del Vanadio (V)

El V presenta una distribución uniforme en toda la secuencia de las rocas volcánicas, siendo el Volcánico Chocolate el que presenta mayor concentración del V (Mapa 18).

Este elemento muestra una distribución lognormal (Figura. 70 y 71). Destaca el umbral en la población Ígneo Intrusivo y el Volcánico Chocolate como se muestra en la (Tabla N° 22). En cuanto a las correlaciones se muestran lo siguiente:

- Población Ígneo Intrusivo: tiene entre moderada a fuerte y perfecta correlación con el Cu, Pb, Zn, As, Al, Co, Ni, Sc, Sn.
- Población Formación Guaneros: tiene entre fuerte a moderada correlación positiva con el Al, Co, Sc.
- Población Volcánico Chocolate: Tiene una correlación positiva entre moderada a fuerte y perfecta con el Al, Co, Ni, Sc.

Tabla N° 22: Parámetros estadísticos del Vanadio (V).

Poblaciones	Ígneo intrusivo	Formación Guaneros	Volcánico Chocolate
N° de valores	12	48	162
N° de valores Utilizados	12	48	162
Valor Mínimo (ppm)	16.30	2.00	1.10
Valor Máximo (ppm)	227.00	252.00	293.00
Media (Ln)	3.72	4.05	4.92
Desviación Estándar (Ln)	0.75	1.50	1.74
Umbral (ppm)	76.36	36.80	66.13

El V presenta una concentración uniforme y distribución normal en la secuencia de rocas volcánicas, este elemento ocurre en minerales de origen magmático asociados a Ni y Mo que posiblemente procede de los intrusivos. El máximo umbral corresponde a la población Volcánico Chocolate y de bajo umbral corresponde población Ígneo Intrusivo (Figura 73).

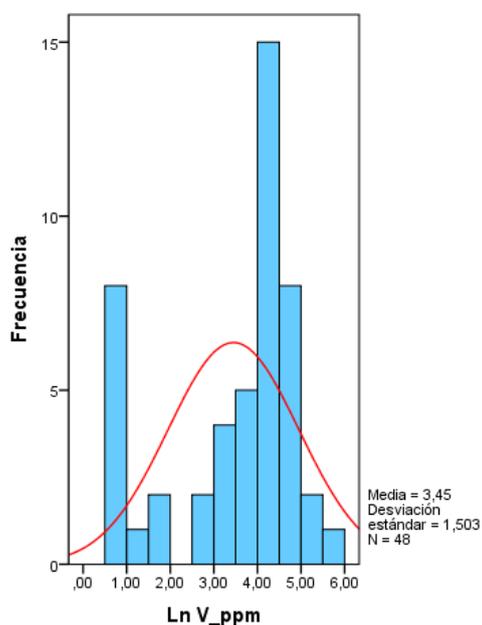


Fig. 70: Histograma de frecuencia y concentración de V, población Formación Guaneros.

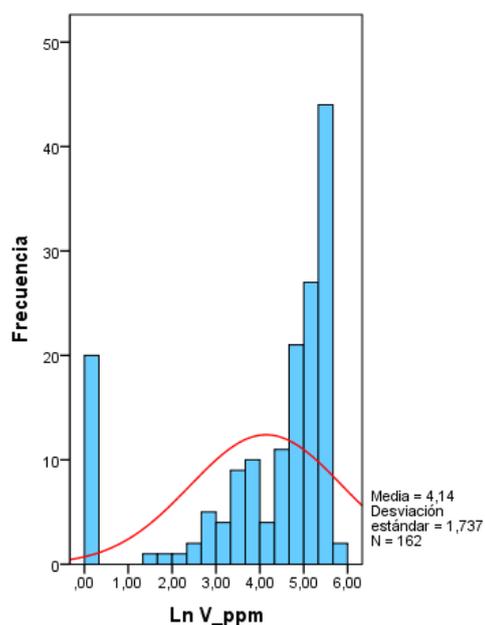


Fig. 71: Histograma de frecuencia y concentración de V, población Volcánico Chocolate.

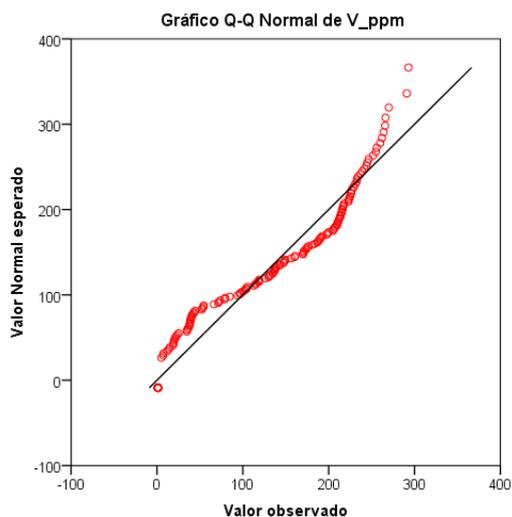


Fig. 72: Grafico Q-Q Normal para el V en la población Volcánico Chocolate.

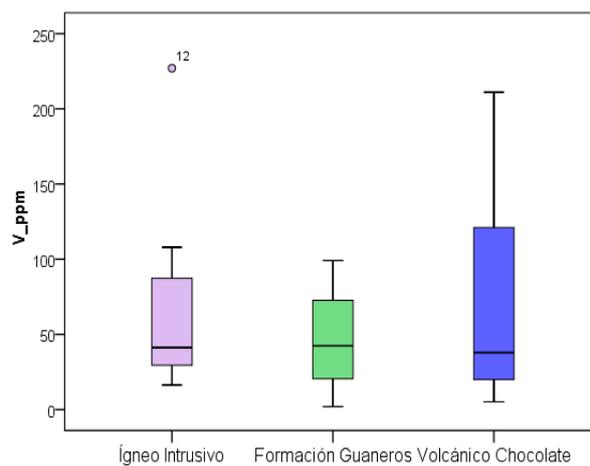


Fig. 73: Grafico Box-Plot para el V en las tres poblaciones geoquímicas.

Mapa N° 18: Distribución geoquímica del Vanadio (V).

CONCLUSIONES

- a)** Se ha aplicado el cartografiado geológico para determinado los elementos “Pathfinder y Targets” de exploración para la búsqueda de depósitos Cu y relacionar las distribuciones geoquímicas con los rasgos principales de los yacimientos y unidades geológicas.
- b)** Los elementos indicadores “Target” de (Cu, Pb, Zn) tiene una correlación entre moderada a perfecta entre elementos guías “Pathfinder” de As, Mo, Co, Sn, Al, Ni, Sc. estos elementos nos ayudaran a interpretar la zona con mineralización y probar la presencia de un cuerpo de Cu oculto en profundidad.
- c)** Existe entre fuerte a perfectas correlaciones geoquímicas del Cu con el V, Co, Ni, As, 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.
- d)** Se destaca una distribución espacial del Cu en los afloramientos rocosos donde la fuente primaria corresponde al Volcánico Chocolate.

RECOMENDACIONES

- a) De los resultados obtenidos mediante el muestreo geoquímico en el Proyecto Achanizo y donde se detectó dos zonas de fuerte anomalía de Cu por lo que se recomienda ampliar y completar la malla de muestreo sistemático que en lo posible cubra las zonas de afloramiento en ambas áreas de estudio.
- b) Se recomienda hacer estudios geofísicos por Magnetometría y Polarización Inducida (IP) ya que se trata de un pórfido cuprífero.
- c) Por la presencia de mineralización de Cu se recomienda realizar un programa de perforación diamantina superiores a 300 metros por debajo del nivel actual y un número de 5 taladros según experiencias en este tipo de yacimiento.
- d) Es recomendable realizar trincheras y desarrollarla en las zonas de fuerte alteración, en estructura de fallas y rocas intrusivas sobre cobertura.
- e) Se recomienda también realizar estudios petrográficos en secciones delgadas de la mineralización, rocas intrusivas y volcánicas para determinar al intrusivo que dio origen a la mineralización.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILAR, G. (2008). "Plan cierre de mina en U.E.A. San Andres - Mina San Juan de la Compañía Minera Caraveli S.A.C. " Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería 10 p.
- BATES & JACSON (1984). En https://www.geovirtual2.cl/EXPLORAC_ Visitado 2016.
- BELLIDO E., GUEVARA C. (1963) Geología de los Cuadrángulos de Punta de Bombón y Clemesí. Bol. Com. Carta Geol. Nac., No. 5.
- BENITES J. (2012). (Comunicación personal, 20 de octubre del 2012).
- BRIAN K. T. (2001). Metalogénesis: Hidrotermalismo y modelos de yacimientos, Geología Económica departamento de geología universidad de Chile.
- BLANCO, J. (1985), Importancia del muestreo en un Programa de Geoquímica de Exploración, IX Congreso Geológico Argentino, Tomo VII, Buenos Aires, pp 388-406.
- CALDAS J.- (1978). Geología de los Cuadrángulos de San Juan, Acarí y Yauca. Bol. Inst. Geol. Min. Met. No. 30, de la Serie A.
- CALCINA M. E. (2008) Prospección Geoquímica, Informe Final de Investigación UNA Puno, Texto Universitario.
- CORBETT y LEACH (1998). Exploration Workshop "Southwest Pacific rim gold-copper systems: Structure, Alteration, and Mineralization"
- CASTILLO M. R. (1986). Folleto para el curso de geoquímica aplicada G-0233, Universidad de Costa Rica Escuela Centroamericana de Geología.
- DHANA RAJU, R. (2009). Handbook of Geochemistry. Geological Society of India, Bangalore, 520 p.
- ESCOBAR, M. (2013). Muestreo preparación mecánica de minerales unidad I. Recuperado el 25 de agosto del 2016. De <https://es.scribd.com/document/140320217/muestreo-preparacion-mecanica-de-minerales-unidad-I>.
- GALLISKI, M. A. (2006). Geochemistry and Structural State of Columbite-Group minerals from granitic pegmatites of the Pampean Ranges. Canadian Mineralogist, 44 (3): 645-666.
- GUIZADO, J. (1968). Geología del cuadrángulo de Aplao. Bol. Serv. Geol. Y Min. N° 20. Lima.
- HARTMAN (1987). En <https://www.geovirtual2.cl/EXPLORAC>. Visitado en 2016.
- HURTADO, B. J. (2002). El proyecto de investigación holística Bogota
- 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.

- HOSKING, (1951). Método geoquímico de exploración, recuperado el 26 de mayo del 2017. De <http://www.unalmed.edu.co/~rrodriguez/geologia/geoquimica.htm>.
- INGEMMET, (2008). Boletín No. 4 Serie E. Mineralización y Explotación Minera Artesanal en la Costa sur Media del Perú.
- INGEMMET. (2007). Franjas Metalogenéticas del Perú, Dirección de Geología Económica y Prospección Minera, en impresión.
- INGEMMET, (1980). Boletín No. 34, Carta Geológica Nacional. Geología de los Cuadrángulos de Jaquì, Coracora, Chala y Chaparra. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
- JENKS, W. (1948). Geología de la hoja de Arequipa. Inst. Geol. del Perú. Bol. No. 9, de la Serie A.
- LAMBERT, B. A. (2006). Manual de Muestreo Para la Exploración, Minería Subterránea y Rajo Abierto.
- LLERENA, F. (2012). Estudio geológico en superficie del proyecto Achanizo. Chala-Arequipa.
- MICHAEL, J. (2009) “controles geológicos – estructurales de la mineralización aurífera en el Sistema de vetas de la mina Orión Chala- Arequipa”. Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería.
- MENDIVIL S. (1965) Geología de los Cuadrángulos de Maure y Antajave. Com. Carta Geol. Nac. Bol. No. 10, de la Serie A.
- MEYER, C. Y HEMLEY, J.J. (1967). Wall Rock Alteration. En: Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, Primera Edición, Hubert L. Barnes (ed.), Holt, Rinehart and Winston Inc. Publication, 166-235.
- MORALES, A. (1985). Técnicas y métodos usados en exploración geoquímica y geofísica. Manual, 17.
- VARGAS L. (1970) Geología del Cuadrángulo de Arequipa Bol Serv. Geol. Min. No. 24. Lima - Perú (Serie A).
- VÁSQUEZ O.R (2009). "Distribución de Tierras Raras y otros elementos traza en la franja Polimetálica 9°-10°S del Perú Central" Tesis, Universidad Nacional de Cajamarca.
- PIERRE, G. (2002), Introducción al Muestreo Minero por Marco Antonio Alfaro Sironvalle, 5 p.
- RIVERA M, H. (2007). Introducción a la geoquímica General y Aplicada. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- SINCLAIR, A. (1986). Statical Interpretation of soil Geochemical data in “Exploration Geochemistry desingn and interpretation of soil Surveys”.

TOWNLEY, B. K. (2001). Metalogénesis: hidrotermalismo y modelos de yacimientos, Geología Económica departamento de Geología Universidad de Chile.

WARREN & DELARAULT, (1953, 1956). Métodos geoquímicos de exploración minera. Recuperado el 27 de agosto 2017. <http://littlebullet2.tripod.com/Paginas/geoquimica.htm>.

- Método geoquímico de exploración

<http://www.unalmed.edu.co/rrodriguez/Geoquimica/exploracion%20geoquimica.htm>

<http://littlebullet2.tripod.com/Paginas/geoquimica.htm>

- La Prospección Geoquímica

<http://www.publicacions.ub.edu/refs/indices/06952.pdf>

ANEXOS

ANEXO. 1

BASE DE DATOS.

MATRIZ DE CORRELACIÓN DE GLOBAL.

BASE DE DATOS.

MATRIZ DE CORRELACIÓN GLOBAL

	Ag	Cu	Mo	Pb	Zn	As	Sb	Fe	Hg	Mn	Al	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Ga	K	La	Mg	Na	Nb	Ni	P	S	Sc	Se	Sn	Sr	Te	Ti	Tl	V	
Ag	1	0.08	-0.02	0.31	0.01	0.04	-0.01	-0.01	-0.07	-0.12	-0.07	-0.02	-0.06	-0.01	-0.06	0.01	-0.08	-0.03	0.13	0.16	-0.08	0.14	0.13	-0.06	0.07	-0.07	-0.02	-0.12	-0.11	0.04	-0.07	0.22	-0.06	-0.02	-0.10	
Cu	0.08	1	0.01	0.02	0.09	0.44	0.39	0.39	0.09	0.00	0.01	0.19	-0.17	0.10	0.30	0.08	0.16	-0.15	-0.11	-0.01	-0.18	-0.08	0.12	0.20	0.10	-0.22	0.05	0.08	0.06	0.25	0.05	-0.01	-0.17	0.13	0.06	
Mo	-0.02	0.01	1	-0.26	-0.02	0.10	0.12	0.12	0.17	0.12	-0.07	0.16	0.23	-0.13	0.25	-0.08	-0.05	0.39	-0.12	-0.22	0.26	-0.29	0.00	-0.10	-0.16	0.18	0.14	0.22	0.04	0.23	0.14	0.22	-0.26	0.23	0.14	-0.06
Pb	0.31	0.02	-0.26	1	-0.59	0.13	0.00	0.00	-0.22	-0.32	-0.14	0.02	-0.23	0.28	-0.18	0.85	-0.16	-0.14	0.17	0.34	-0.29	0.49	0.20	-0.10	-0.10	-0.29	-0.08	-0.28	-0.39	0.07	0.13	0.56	-0.23	0.07	-0.26	
Zn	0.01	0.09	-0.02	0.59	1	0.17	0.12	0.12	0.02	0.37	0.18	0.12	-0.07	0.08	0.14	0.83	0.23	0.07	-0.09	-0.04	-0.05	-0.01	0.20	0.17	0.21	-0.21	-0.04	0.14	-0.01	0.07	0.13	0.01	-0.23	0.03	-0.10	
As	0.04	0.44	0.10	0.13	0.17	1	0.88	0.88	0.49	-0.21	-0.06	0.43	-0.17	0.11	0.44	0.14	0.17	-0.21	0.01	0.11	-0.20	-0.01	0.33	0.16	-0.07	-0.26	0.13	-0.15	-0.02	0.54	-0.07	0.08	-0.17	0.34	-0.11	
Sb	-0.01	0.39	0.12	0.00	0.12	0.88	1	1.00	0.59	-0.16	-0.09	0.50	-0.08	0.01	0.47	0.13	0.16	-0.18	-0.07	-0.02	-0.11	-0.07	0.30	0.15	-0.13	-0.10	0.11	-0.14	-0.04	0.58	-0.10	-0.05	-0.08	0.37	-0.12	
Fe	-0.01	0.39	0.12	0.00	0.12	0.88	1.00	1	0.59	-0.16	-0.09	0.50	-0.07	0.01	0.48	0.13	0.15	-0.18	-0.07	-0.02	-0.11	-0.07	0.30	0.14	-0.14	-0.10	0.11	-0.15	-0.04	0.58	-0.10	-0.05	-0.07	0.37	-0.13	
Hg	-0.07	0.09	0.12	-0.22	0.01	0.49	0.59	0.59	1	-0.08	-0.06	0.17	0.23	-0.12	0.16	0.02	-0.12	-0.09	0.31	0.28	0.21	-0.20	-0.03	-0.22	-0.23	0.31	0.07	-0.12	0.00	0.13	-0.10	-0.24	0.23	0.10	-0.10	
Mn	-0.12	0.00	0.17	-0.32	0.07	-0.21	-0.16	-0.16	-0.08	1	0.39	-0.23	0.13	-0.15	0.11	0.00	0.29	0.21	-0.23	-0.29	0.38	-0.27	0.42	0.34	0.11	-0.15	0.60	0.24	-0.33	0.27	-0.29	0.13	-0.29	0.51		
Al	-0.07	0.01	-0.07	-0.14	0.18	-0.06	-0.09	-0.09	-0.06	0.39	1	-0.15	0.24	-0.08	-0.08	0.10	0.63	0.19	-0.11	-0.15	0.20	-0.07	-0.17	0.47	0.62	-0.12	-0.19	0.75	0.13	-0.18	0.46	-0.11	0.24	-0.18	0.81	
Ba	-0.02	0.19	0.16	0.02	0.12	0.43	0.50	0.50	0.17	-0.23	0.13	0.24	-0.16	-0.12	0.58	0.14	0.24	-0.28	-0.12	-0.05	-0.18	-0.12	0.63	0.23	-0.20	-0.12	0.37	-0.24	0.21	0.91	-0.14	-0.10	-0.16	0.65	-0.23	
Be	-0.06	-0.17	0.23	-0.23	-0.07	-0.17	-0.08	-0.07	0.23	0.13	0.24	-0.16	1	-0.12	-0.14	-0.12	-0.10	0.25	0.19	-0.17	0.70	-0.02	-0.16	-0.42	-0.11	0.56	-0.07	0.26	0.03	-0.19	0.12	-0.13	1.00	-0.11	0.27	
Bi	-0.01	0.10	-0.13	0.28	0.08	0.11	0.01	0.01	-0.12	-0.15	-0.08	-0.01	-0.12	1	-0.07	0.06	-0.04	0.07	0.21	0.28	-0.16	0.06	0.15	-0.02	0.04	-0.15	-0.03	-0.14	-0.17	0.04	-0.11	0.62	-0.12	0.00	-0.12	
Ca	-0.06	0.30	0.25	-0.18	0.04	0.44	0.47	0.48	0.16	-0.11	-0.08	0.58	-0.14	-0.07	1	0.06	0.29	-0.26	-0.24	-0.17	-0.14	-0.30	0.51	0.25	-0.11	-0.21	0.42	-0.07	0.37	0.64	0.00	-0.23	-0.15	0.65	-0.06	
Cd	0.01	0.08	-0.08	0.65	0.93	0.14	0.13	0.13	0.02	0.00	0.10	0.14	-0.12	0.06	0.06	1	0.13	-0.02	-0.04	0.04	-0.12	0.04	0.03	0.13	0.18	-0.15	-0.01	0.06	-0.04	0.08	0.10	0.02	-0.12	0.02	0.02	
Co	-0.08	0.16	-0.05	-0.16	0.23	0.17	0.16	0.15	-0.12	0.29	0.63	0.24	-0.10	-0.04	0.29	0.13	1	0.00	-0.31	-0.19	-0.09	-0.17	0.26	0.84	0.64	-0.41	0.11	0.64	0.31	0.29	0.22	-0.17	-0.10	0.34	0.68	
Cr	-0.03	-0.15	0.39	-0.14	0.07	-0.21	-0.18	-0.18	-0.09	0.21	0.19	-0.28	0.25	-0.07	-0.26	-0.02	0.00	1	-0.13	-0.23	0.31	-0.20	-0.37	-0.03	0.23	0.18	-0.17	0.31	0.07	-0.33	0.38	-0.09	0.25	-0.32	0.20	
Ga	0.13	-0.11	-0.12	0.17	-0.09	0.01	-0.07	-0.07	0.31	-0.23	-0.11	-0.12	0.19	-0.12	-0.24	-0.04	-0.31	-0.13	1	0.91	0.11	0.24	0.29	-0.36	-0.19	0.12	-0.10	-0.20	-0.38	-0.11	-0.17	0.28	-0.19	-0.13	-0.18	
K	0.16	-0.01	-0.22	0.31	-0.04	0.11	-0.02	-0.02	0.16	-0.29	-0.15	-0.05	-0.17	0.28	-0.17	0.04	-0.19	-0.23	0.91	1	-0.23	0.29	0.04	-0.36	-0.10	-0.07	-0.22	-0.07	-0.26	-0.40	0.00	-0.19	0.37	-0.17	-0.06	-0.22
La	-0.08	-0.18	0.26	-0.29	-0.05	-0.20	-0.11	-0.11	0.21	0.38	0.20	-0.18	0.70	-0.16	-0.14	-0.12	-0.09	0.31	0.11	-0.23	1	-0.05	-0.28	-0.40	-0.05	0.55	-0.06	0.28	0.08	-0.26	0.13	-0.21	0.70	-0.18	0.21	
Mg	0.14	-0.08	-0.29	0.49	-0.01	-0.01	-0.07	-0.07	-0.20	-0.27	-0.07	-0.12	-0.02	0.06	-0.30	0.04	-0.17	-0.20	0.24	0.29	-0.05	1	0.05	-0.18	0.00	-0.17	-0.14	-0.20	-0.51	-0.07	-0.18	0.36	-0.02	-0.15	-0.15	
Na	0.13	0.12	0.00	-0.10	0.20	0.02	0.33	0.30	-0.03	-0.42	-0.17	0.63	-0.16	0.15	0.51	0.03	0.26	-0.37	-0.04	0.07	-0.28	0.05	1	0.25	-0.13	-0.28	0.44	-0.34	0.29	0.74	-0.22	0.21	-0.16	0.89	-0.26	
Nb	-0.06	0.20	-0.10	-0.10	0.17	0.16	0.15	0.14	-0.22	0.24	0.47	0.23	-0.42	-0.02	0.25	0.13	0.84	-0.03	-0.36	-0.10	-0.40	-0.18	0.25	1	0.57	-0.55	0.04	0.50	0.31	0.28	0.22	-0.13	-0.42	0.29	0.55	
Ni	0.07	0.10	-0.16	0.10	0.21	-0.07	-0.13	-0.14	-0.23	0.34	0.62	-0.20	-0.11	0.04	-0.11	0.18	0.64	0.23	-0.19	-0.07	-0.05	0.00	-0.13	0.57	1	-0.42	-0.16	0.63	0.05	-0.19	0.34	0.13	-0.11	-0.26	0.68	
P	-0.07	-0.22	0.18	-0.29	-0.11	-0.26	-0.10	-0.10	0.31	0.11	-0.12	-0.12	0.56	-0.15	-0.21	-0.15	-0.41	0.18	0.12	-0.22	0.55	-0.17	-0.28	-0.55	-0.42	1	-0.09	-0.05	0.04	-0.25	-0.04	-0.22	0.56	-0.15	-0.17	
S	-0.02	0.05	0.14	-0.08	-0.04	0.13	0.11	0.11	0.07	-0.15	-0.19	0.37	-0.07	-0.03	0.42	-0.01	0.11	-0.17	-0.10	-0.07	-0.06	-0.14	0.44	0.04	-0.16	-0.09	1	-0.17	0.35	0.34	-0.11	-0.10	-0.07	0.48	-0.15	
Se	-0.12	0.08	-0.04	-0.28	0.14	-0.15	-0.14	-0.15	-0.12	0.60	0.75	-0.24	0.26	-0.14	0.37	0.06	0.64	0.31	-0.20	-0.26	0.28	-0.20	-0.34	0.50	0.63	-0.05	-0.17	1	0.24	-0.28	0.34	-0.24	0.26	-0.26	0.88	
Sn	-0.11	0.06	0.23	-0.39	-0.01	-0.02	-0.04	-0.04	0.00	0.24	0.13	0.21	0.03	-0.14	0.07	-0.04	0.31	0.07	-0.38	-0.40	0.08	-0.51	0.29	0.31	0.05	0.04	0.35	0.24	1	0.12	0.12	-0.37	0.03	0.44	0.19	
So	0.04	0.25	0.14	0.07	0.07	0.54	0.58	0.58	0.13	-0.33	-0.18	0.91	-0.19	0.04	0.64	0.08	0.29	-0.33	-0.11	-0.00	-0.26	-0.07	0.74	0.28	-0.19	-0.25	0.34	-0.28	0.12	1	-0.20	0.02	-0.19	0.73	-0.24	
Sr	-0.07	0.05	0.22	-0.13	0.13	-0.07	-0.10	-0.10	-0.10	0.27	0.46	-0.14	0.12	-0.11	0.00	0.10	0.22	0.38	-0.17	-0.19	0.13	-0.18	-0.22	0.22	0.34	-0.04	-0.11	0.34	0.12	-0.20	1	-0.17	0.12	-0.18	0.42	
Te	0.22	-0.01	-0.26	0.56	0.01	0.08	-0.05	-0.05	-0.24	-0.29	-0.11	-0.10	-0.13	0.62	-0.23	0.02	-0.17	-0.09	0.28	0.37	-0.21	0.36	0.21	-0.13	0.13	-0.22	-0.10	-0.24	-0.37	0.02	-0.17	1	-0.12	-0.11	-0.19	
Ti	-0.06	-0.17	0.23	-0.23	-0.07	-0.17	-0.08	-0.07	0.23	0.13	0.24	-0.16	1.00	-0.12	-0.15	-0.12	-0.10	0.25	0.19	-0.17	0.70	-0.02	-0.16	-0.42	-0.11	0.56	-0.07	0.26	0.03	-0.19	0.12	-0.12	1	-0.12		

ANEXOS. 2

SECCIÓN A-A`.

MAPA GEOLÓGICO REGIONAL.

MAPA ESTRUCTURAL REGIONAL.