



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



PROSPECCIÓN GEOQUÍMICA Y LA IDENTIFICACIÓN DE LOS
ELEMENTOS BUSCADORES DE ORO DEL PROYECTO VETA
USICAYOS-CARABAYA-PUNO

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. MAYKOHOL ENRIQUE ESCALANTE MORALES

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

Como sencillo gesto de agradecimiento, dedico mi tesis a mi madre Frida Morales, por ser el pilar de mi vida, apoyándome en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor y haber confiado en mí. A mis hermanos Patty, Giuliza y Giuliano por darme su apoyo y cariño en todo momento, a mis sobrinos Adriel, Eliel y Enzo por los grandes momentos de felicidad y de diversas emociones que siempre me han causado.

A toda mi familia por su apoyo constante e incondicional.



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la bendición de cada día.

A mi madre y hermanos por toda la paciencia, esfuerzo, sacrificio y 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 Alma Mater, “UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO”, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica; por la formación Académico Profesional brindada. a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de quienes recibí la formación académica.

A la Empresa Palamina SAC, por haber permitido desempeñarme como profesional en el área de exploración geológica. Al Ing. Yury Valdivieso Guzmán por brindarme facilidades para desarrollar la presente tesis. Al Ing. Edwin Díaz Camacho por impartirme sus conocimientos y enseñanzas en campo, Ing. Alian Vilca Maquera por su apoyo y volcar sus experiencias hacia mi persona en los trabajos de exploración.

A los ingenieros Newton Machaca y Ramiro Yanqui por su apoyo brindado, sugerencias y comentarios en la elaboración de este trabajo de investigación.

A mi asesor de tesis al M.Sc. Roger Gonzales Aliaga por su apoyo y sugerencias en la elaboración y culminación de esta tesis.

Agradecimiento especial al Ing. Gabriela Ramos Apaza por su apoyo y consejo constante.

A cada miembro de mi familia por su apoyo moral y recomendaciones, a mis amigos y compañeros de trabajo quienes con sus consejos lograron dirigir mi camino profesional.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA		
AGRADECIMIENTOS		
ÍNDICE DE FIGURAS		
ÍNDICE DE TABLAS		
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS		
RESUMEN	15	
ABSTRACT	16	
CAPITULO I		
INTRODUCCIÓN		
1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.2	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.3	HIPÓTESIS DEL TRABAJO	18
1.4	OBJETIVOS.....	18
1.4.1	Objetivo general.....	18
1.4.2	Objetivos específicos.....	18
CAPITULO II		
REVISIÓN DE LITERATURA		
2.1.	QUE ES LA PROSPECCIÓN Y EXPLORACIÓN MINERA.....	19
2.1.1	Prospección geoquímica.....	19
2.2	PRINCIPIOS BASICOS DE LA GEOQUÍMICA	19
2.2.1	Agrupación geoquímica de elementos.....	20
2.2.2	Ambiente geoquímico.....	20
2.2.2.1	Ambiente geoquímico primario	20
2.2.3	Dispersión geoquímica	21
2.2.4	Movilidad de los elementos.....	21
2.2.5	Asociación de elementos	22
2.3	MUESTREO GEOQUÍMICO	24
2.3.1	Aspectos generales del muestreo	24
2.3.2	Tipo de muestreo en roca y vetas.....	25
2.3.3	Método de muestreo.....	25
2.4	LIMITE DE DETECCIÓN	26
2.5	CONTROL DE CALIDAD.....	27
2.5.1	Definiciones básicas de QA/QC	27
2.5.1.1	Precisión	27
2.5.1.2	Exactitud.....	28
2.5.1.3	Contaminación	28
2.5.2	Muestras de control.....	28
2.5.2.1	Duplicados.....	29
2.5.2.2	Estándares.....	29
2.5.2.3	Blancos.....	29
2.6	PRUEBA DE NORMALIDAD DE KOLMOGOROV - SMIRNOV	29
2.7	PARAMETROS ESTADÍSTICOS.....	30
2.7.1	Medidas de tendencia central	30
2.7.2	Medidas de dispersión	30
2.7.2.1	Varianza.....	30
2.7.2.2	Desviación estándar	30
2.7.2.3	Coefficiente de variación	31
2.7.3	Coefficientes de la forma de distribución	31



2.7.3.1	Curtosis	31
2.7.3.2	Asimetría.....	32
2.7.4	Diagramas estadísticos.....	32
2.7.4.1	Histogramas	32
2.7.4.2	Boxplot (diagrama de cajas).....	33
2.7.4.3	Recta de Henry	33
2.7.5	Coefficiente de correlación de Pearson (r)	34
2.7.6	Análisis de componentes principales (ACP).....	35
2.8	PARAMETROS GEOQUÍMICOS.....	36
2.8.1	Fondo geoquímico o <i>background</i>	36
2.8.2	Umbral geoquímico o <i>threshold</i>	37
2.8.3	Anomalía geoquímica.....	37
2.8.3.1	Anomalías significantes.....	37
2.9	GEOLOGÍA REGIONAL	38
2.9.1	Formación Ananea (SD-a).....	38
2.9.2	Grupo Ambo (Ci-a).....	38
2.9.3	Grupo Tarma (Cs-t)	38
2.9.4	Grupo Copacabana (Pi-c)	39
2.9.5	Rocas intrusivas – Batolito de Coasa (PTr-co/gr).....	39
2.9.6	Depósitos cuaternarios.....	39
2.10	TECTÓNICA	42
2.10.1	Tectónica hercínica	42
2.10.1.1	Fase eohercínica	42
2.10.1.2	Fase tardihercínica	43
2.10.1.3	Deformación post – permiana	43
2.10.2	Tectónica andina	44
2.11	METALOGÉNIA	44
2.12	YACIMIENTOS DE ORO OROGÉNICO	46
2.13	ANTECEDENTES	47

CAPITULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	MATERIALES	51
3.2	METODOS DE TRABAJO	51
3.2.1	Recopilación y revisión de información bibliográfica.....	52
3.2.2	Trabajos de campo	53
3.2.2.1	Cartografiado geológico	53
3.2.2.2	Muestreo geoquímico	53
3.2.2.3	Recolección de muestras.....	53
3.2.2.4	Etiquetado de muestras	54
3.2.3	Preparación y análisis geoquímico de muestras.....	55
3.2.3.1	Preparación de muestras	55
3.2.3.2	Análisis geoquímico de muestras por Au + ICP-OES	55
3.2.4	Trabajos de gabinete	56
3.2.4.1	Aseguramiento y control de la calidad	56
3.2.4.2	Censuramiento de datos, cambio de unidades y conversión a escala logarítmica	56
3.2.4.3	Análisis y procesamiento estadístico de los resultados geoquímicos	57
3.2.4.4	Elaboración de mapas	57



CAPITULO IV CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1	UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD	58
4.2	GEOLOGÍA LOCAL	60
4.2.1	Litología local	60
4.2.1.1	Unidades litológicas de la formación Ananea (SD-a)	60
4.2.1.2	Rocas intrusivas.....	62
4.2.1.3	Cuaternario	63
4.2.2	Geología estructural local.....	66
4.2.3	Mineralogía	71
4.2.3.1	Mineral de mena.....	71
4.2.3.2	Mineral de ganga.....	72
4.2.4	Alteración	73

CAPITULO V RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1	CONTROL DE CALIDAD	77
5.1.1	Muestras duplicadas.....	77
5.1.2	Muestras estándares	80
5.1.3	Muestras blancos.....	83
5.1.4	Datos censurados y prueba de normalidad	84
5.2	DETERMINACIÓN DE ELEMENTOS BUSCADORES DE ORO	87
5.2.1	Análisis estadístico bivariado.....	87
5.2.1.1	Correlaciones geoquímicas de Pearson.....	87
5.2.2	Análisis estadístico multivariado	92
5.2.2.1	Análisis de componentes principales.....	92
5.3	VALORES DE FONDO Y ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS	98
5.3.1	Análisis estadístico univariado.....	98
5.3.1.1	Población de pizarra gris limolítica:	98
5.3.1.2	Población de pizarra negra:	103
5.3.1.3	Población de pizarra esquistosa:	107
5.3.2	Parámetros geoquímicos.....	111
5.4	COMPARACIÓN CON OTROS RESULTADOS	125
VI. CONCLUSIONES		126
VII. RECOMENDACIONES		127
VIII. REFERENCIAS		128
ANEXOS.....		133

Área : Geología de Minas

Tema : Prospección Geoquímica

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 04 DE JUNIO DE 2021.



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1.	Muestreo estadístico y muestreo de minerales.....	25
Figura N°2.	A) Curtosis, B) Asimetría negativa y positiva.	32
Figura N°3.	Histograma de distribución normal.....	33
Figura N°4.	Diagrama de cajas, mostrando los altos y bajos erráticos.	33
Figura N°5.	Recta de Henry, mostrando la distribución lognormal del Au.....	34
Figura N°6.	Parámetros geoquímicos de una distribución normal.	37
Figura N°7.	Columna estratigráfica regional del área de estudio.	40
Figura N°8.	Mapa geológico regional	41
Figura N°9.	Falla inversa.....	43
Figura N°10.	Mapa metalogénico.....	45
Figura N°11.	A) Ambientes tectónicos de formación de depósitos de oro orogénico y otros.B) Zonalidad y distribución vertical de la mineralización de flujo orogénico.	46
Figura N°12.	Modelo de estructura de diseño de la metodología de trabajo.	52
Figura N°13.	Cartografiado geológico superficial de canales de muestreo de estructuras mineralizadas.....	53
Figura N°14.	Muestreo geoquímico in situ, limpieza de canales, muestreo y toma de datos superficiales	54
Figura N°15.	Muestreo geoquímico tipo canal en afloramiento de Pizarras con vetillas de cuarzo.....	54
Figura N°16.	Muestra de canal etiquetada y sellada en campo cumpliendo los estándares de QA/QC.....	55
Figura N°17.	Mapa de ubicación y accesos al proyecto Veta.....	59
Figura N°18.	Pizarra gris limolítica con contenido de cristales romboédricos de andalucita.....	61
Figura N°19.	Pizarra negra bituminosa con contenido de cristales romboédricos de andalucita.....	61
Figura N°20.	Pizarra esquistosa compacta con contenido de cristales romboédricos de andalucita.....	62
Figura N°21.	Roca intrusiva granítica del Plutón de Coasa con fenocristales de feldespatos.	62
Figura N°22.	Intrusivo en forma de dique, de composición microdiorítico.	63



Figura N°23.	Fotografía tomada de E:396130 N: 8441712 vista panorámica NE del proyecto Veta delimitando sus litologías y mostrando el área de la ubicación del Proyecto Veta.....	64
Figura N°24.	Fotografía tomada de E:397278 N:8442261, vista al NO del proyecto Veta, Pizarra de grano medio con niveles de Pizarra negra, Pizarras esquistosas al contacto con el intrusivo de Coasa.....	64
Figura N°25.	Mapa geológico local.....	65
Figura N°26.	Esquema estructural mostrando los eventos de deformación del proyecto Veta.....	66
Figura N°27.	Grietas de tensión poco desarrolladas dentro de una cizalla de movimiento dextral.....	67
Figura N°28.	Veta extensional desplazada por el plano de cizallamiento dextral.....	67
Figura N°29.	Se observan Vetillas tensionales sigmoidales con desplazamiento sinistral inverso.....	68
Figura N°30.	Veta extensional desplazada por el plano de cizallamiento sinistral ...	68
Figura N°31.	Mapa estructural local.....	70
Figura N°32.	Afloramiento en la parte central, vetilla de cuarzo blanco con diseminación de sulfuros de pirita y arsenopirita y/o Óxidos de fierro y escorita.....	71
Figura N°33.	Vetilla de cuarzo blanco – gris de 5 cm. potencia con diseminación de oro grueso.....	72
Figura N°34.	Mapa ubicación de muestras en las diferentes poblaciones litológicas	76
Figura N°35.	Gráfico de dispersión de As de muestras originales y duplicadas.....	78
Figura N°36.	Gráfico de dispersión de Au de muestras originales y duplicadas.....	79
Figura N°37.	Gráfico de control de estándar para Au OREAS 215	81
Figura N°38.	Gráfico de control de estándar para Au OREAS 216	82
Figura N°39.	Gráfico de control de estándar para Au OREAS 220	82
Figura N°40.	Gráfico de control de estándar para Au OREAS 223	83
Figura N°41.	Correlación estadística Au-As para pizarra gris limolítica.....	91
Figura N°42.	Correlación estadística Au-As para pizarra negra.....	91
Figura N°43.	Correlación estadística Au-As para pizarra esquistosa.....	91
Figura N°44.	Gráfico de asociaciones geoquímicas bidimensional de CP-1 y CP-2, población de Pizarra gris limolítica.....	96
Figura N°45.	Gráfico de asociaciones geoquímicas bidimensional de CP-1 y CP-2,	



	población de Pizarra negra.	97
Figura N°46.	Gráfico de asociaciones geoquímicas bidimensional de CP-1 y CP-2, población de Pizarra esquistosa.	97
Figura N°47.	Histograma a escala normal del As_ppm y lognormal de As_Ln.....	100
Figura N°48.	Grafica Q-Q normal y grafica de boxplot para el As_Ln.....	100
Figura N°49.	Histograma a escala normal del Au_ppm y lognormal de Au_Ln.....	102
Figura N°50.	Grafica Q-Q normal y grafica de boxplot para el Au_Ln.....	102
Figura N°51.	Histograma a escala normal del As_ppm y lognormal de As_Ln.....	104
Figura N°52.	Grafica Q-Q normal y grafica de boxplot para el As_Ln.....	104
Figura N°53.	Histograma a escala normal del Au_ppm y lognormal de Au_Ln.....	106
Figura N°54.	Grafica Q-Q normal y grafica de boxplot para el Au_Ln.....	106
Figura N°55.	Histograma a escala normal del As_ppm y lognormal de As_Ln.....	108
Figura N°56.	Grafica Q-Q normal y grafica de boxplot para el As_Ln.....	108
Figura N°57.	Histograma a escala normal del Au_ppm y lognormal de Au_Ln.....	110
Figura N°58.	Grafica Q-Q normal y grafica de boxplot para el Au_Ln.....	110
Figura N°59.	Mapa de concentración geoquímica de As en Pizarra gris limolítica .	113
Figura N°60.	Mapa de concentración geoquímica de As en Pizarra negra.....	114
Figura N°61.	Mapa de concentración geoquímica de As en Pizarra esquistosa.....	115
Figura N°62.	Mapa de concentración geoquímica de As en el proyecto Veta.....	116
Figura N°63.	Mapa de tendencia geoquímica de As en el proyecto Veta.....	117
Figura N°64.	Mapa de concentración geoquímica de Au en Pizarra gris limolítica	120
Figura N°65.	Mapa de concentración geoquímica de Au en Pizarra negra.....	121
Figura N°66.	Mapa de concentración geoquímica de Au en Pizarra negra.....	122
Figura N°67.	Mapa de concentración geoquímica de Au en el proyecto Veta.....	123
Figura N°68.	Mapa de tendencia de Au en el proyecto Veta.....	124



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Afinidad de elementos de las fases principales que componen la Tierra....	20
Tabla N°2: Movilidad de elementos en ambientes supergénicos.	21
Tabla N°3: Elementos indicadores y exploradores de algunos tipos de depósitos.	22
Tabla N°4: Elementos con afinidad geoquímica y elementos guías asociados, usados en exploración de depósitos.	23
Tabla N°5: Muestras de la prospección Geoquímica.....	24
Tabla N°6: Límites de detección para el análisis ICP-OES	26
Tabla N°7: Rangos de Coeficiente de Correlación.....	34
Tabla N°8: Accesos y medio de transporte hacia el proyecto Veta	58
Tabla N°9. Población estadística según la unidad litológica local.....	75
Tabla N°10. Análisis de muestras originales y duplicadas de As.	78
Tabla N°11. Datos estadísticos de regresión para el As.	78
Tabla N°12. Análisis de muestras originales y duplicadas de Au.....	79
Tabla N°13. Datos estadísticos de regresión para el Au.....	80
Tabla N°14. Valores promedios aceptables de los elementos As - Au.....	81
Tabla N°15. Análisis de valores de estándares para Au.	81
Tabla N°16. Análisis de muestra de blanco para el elemento Au.	84
Tabla N°17: Elementos con porcentajes por debajo del límite de detección	85
Tabla N°18: Datos obtenidos de la prueba de normalidad de Kolmogorov – Smirnov.	86
Tabla N°19. Rango y colores de correlación considerado.....	87
Tabla N°20. <i>Matriz de correlaciones para la población de Pizarra gris limolítica.</i>	88
Tabla N°21. Matriz de correlaciones para la población de Pizarra negra.	89
Tabla N°22. Matriz de correlaciones para la población de Pizarra esquistosa.....	90
Tabla N°23. Prueba de KMO y Barlett para población de Pizarra gris limolítica.	93
Tabla N°24. Prueba de KMO y Barlet para población de Pizarra negra	93
Tabla N°25. Prueba de KMO y Barlet para población de Pizarra esquistosa.	93
Tabla N°26. Varianza total explicada para cada tipo de población litológica.....	94
Tabla N°27. Matriz de componentes rotados para cada tipo de población litológica....	95
Tabla N°28. Estadística descriptiva del As a escala normal y lognormal.	99
Tabla N°29. Estadística descriptiva del Au a escala normal y lognormal.....	101
Tabla N°30. Estadística descriptiva del As a escala normal y lognormal.	103
Tabla N°31. Estadística descriptiva del Au a escala normal y lognormal.....	105



Tabla N°32. Estadística descriptiva del As a escala normal y lognormal.	107
Tabla N°33. Estadística descriptiva del Au a escala normal y lognormal.	109
Tabla N°34. Parámetros geoquímicos del As-Au para cada población litológica	111
Tabla N°35. Parámetros estadísticos – geoquímicos del As.	112
Tabla N°36. Rangos geoquímicos del As para cada población.....	112
Tabla N°37. Parámetros estadísticos – geoquímicos del Au	118
Tabla N°38. Rangos geoquímicos del Au para cada población	119



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

SIGLAS

AAS:	Espectrometría de absorción atómica.
ACC:	Aseguramiento y Control de la Calidad.
ACP:	Análisis de componentes principales.
CP:	Componente principal
GPS:	Sistema de posicionamiento global
ICP-OES:	Espectrometría de emisión óptica – Plasma acoplado inductivamente.
INGEMMET:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.
QA/QC:	<i>Quality Assurance / Quality Control.</i>
UNA:	Universidad Nacional del Altiplano

UNIDADES DE MEDIDA

%:	Porcentaje
cm:	Centímetros
g/t:	Gramos por tonelada
m:	Metros
Ma:	Millones de años
m.s.n.m.:	Metros sobre el nivel del mar
ppm:	Partes por millón
pct:	Porcentaje

ABREVIATURAS

Fm:	Formación
Gpo:	Grupo
gl:	Grado de libertad
KMO:	Kaiser – Meyer - Olkin
LDI:	Limite de detección Inferior
LDS:	Limite de detección superior
Ln:	Logaritmos neperianos
E:	Este
ER:	Error relativo



H ₀ :	Hipótesis Nula
H ₁ :	Hipótesis alterna
N:	Norte
NE:	Noreste
NNE:	Nornoreste
NO:	Noroeste
SD:	Desviación estándar
SE:	Sureste
Sig:	Significancia
SO:	Suroeste

GEOQUÍMICA Y MINERALOGÍA

Apy:	Arsenopirita
Ag:	Plata
Al:	Aluminio
As:	Arsénico
Au:	Oro
Ba:	Bario
Be:	Berilio
Bi:	Bismuto
Ca:	Calcio
Cd:	Cadmio
Co:	Cobalto
Cr:	Cromo
Cu:	Cobre
Fe:	Fierro
FeAsS:	Arsenopirita
FeS ₂ ::	Pirita
Fe ₇ S ₈ :	Pirrotita
Ga:	Galio
K:	Potasio
K-Ar:	Potasio -Argón
La:	Lantano
Mg:	Magnesio



Mn:	Manganeso
Mo:	Molibdeno
Na:	Sodio
Nb:	Niobio
Ni:	Níquel
SiO ₂ :	Oxido
P:	Fosforo
Pb:	Plomo
Po:	Pirrotina
Py:	Pirita
S:	Azufre
Sb:	Antimonio
Sc:	Escandio
Sn:	Estaño
Ti:	Titanio
Tl:	Talio
U-Pb:	Uranio - Plomo
V:	Vanadio
W:	Wolframio
Y:	Itrio
Zn:	Zinc
Zr:	Zircón



RESUMEN

El proyecto Veta, se encuentra ubicada al Noreste del pueblo de Usicayos, provincia de Carabaya, región Puno. El objetivo de este trabajo de investigación mediante la prospección geoquímica fue utilizar los tratamientos estadísticos univariado, bivariado y multivariado para determinar las asociaciones geoquímicas que tiene el Au con otros elementos químicos y relacionar las distribuciones geoquímicas del elemento buscador con concentraciones anómalas para la búsqueda de nuevos yacimientos auríferos en la cordillera oriental. La metodología de investigación fue cuantitativa y descriptiva, esta constó de cuatro etapas una de recopilación bibliográfica, campo, laboratorio y gabinete; para esto, se recolectaron un total de 340 muestras de estructuras mineralizadas, en las cuales se insertaron 37 muestras para protocolos de controles de calidad. Las estructuras mineralizadas se encuentran en una zona de cizalla y presentan vetas y venillas de cuarzo blanco y grisáceo con potencias que van desde 1 cm hasta 30 cm., con longitudes promedio de 100 m. a 500 m., estas estructuras mineralizadas se encuentran encajonadas en pizarra gris limolítica con niveles de pizarra negra y pizarra esquistosa de la Formación Ananea de edad Silúrico Devónico. los resultados obtenidos mediante la matriz de correlación de Pearson para las poblaciones de pizarra negra y pizarra esquistosa presentan afinidad moderada de As-Au (0.48 - 0.55) y la pizarra gris limolítica presenta la afinidad débil de As-Au (0.32), y el análisis de componentes principales indican que existe una asociación As-Au, estadísticamente significativa asociadas al Cr-Cu-Pb-Mo-Na y S en menor intensidad, además la presencia de valores fuertes de As se refleja en las anomalías presentes de Au, asimismo, los valores de As son consistentes en casi toda el área de estudio, por lo tanto, el elemento As es definido como elemento buscador (*pathfinder*) de mineralización aurífera, se determinaron los valores de *background* y *threshold* del As-Au para cada población litológica, los cuales permitieron determinar zonas anómalas en el proyecto Veta dentro de la franja de oro orogénico del paleozoico al norte de la región de Puno.

Palabras clave: Asociaciones geoquímicas, correlación, elemento buscador, prospección geoquímica, Veta.



ABSTRACT

The Veta project is located northeast of the town of Usicayos, Carabaya province, Puno region. The objective of this research work through geochemical prospecting was to use univariate, bivariate and multivariate statistical treatments to determine the geochemical associations that Au has with other chemical elements and relate the geochemical distributions of the search element with anomalous concentrations to search for new gold deposits in the eastern cordillera. The research methodology was quantitative and descriptive, it consisted of four stages, one of bibliographic collection, field, laboratory and office; for this, a total of 340 samples of mineralized structures were collected, in which 37 samples were inserted for quality control protocols. The mineralized structures are found in a shear zone and present veins and veins of white and greyish quartz with strengths ranging from 1 cm to 30 cm, with average lengths of 100 m. at 500 m., these mineralized structures are encased in gray silt slate with levels of black slate and schist slate of the Ananea Formation of Silurian Devonian age. The results obtained by means of the Pearson correlation matrix for the populations of black slate and schist slate present moderate affinity of As-Au (0.48 -0.55) and the silty gray slate presents the weak affinity of As-Au (0.32), and the analysis of main components indicates that there is a Statistically significant As-Au, association associated with Cr-Cu-Pb-Mo-Na and S in less intensity, in addition the presence of strong As values is reflected in the present Au anomalies, likewise, the As values are consistent in almost the entire study area, therefore, As element is defined as a pathfinder element of gold mineralization, the background and threshold values of As-Au were determined for each lithological population, which allowed to determine anomalous zones in the Veta project within the orogenic gold strip of the Paleozoic north of the Puno region.

Keywords: Geochemical associations, correlation, search element, geochemical prospecting, Vein.



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

El proyecto Veta presenta evidencias de mineralización aurífera que requiere comprobación y sustento de carácter científico, en el cual solo se conocen estudios geológicos y geoquímicos de carácter regional a escala 1:100 000 realizado por (Monge y Zedano, 1996), así también existen informes técnicos de empresas privadas las cuales no están publicadas y son de carácter confidencial, por lo cual no se tiene información específica del área de estudio, es por ello que en el presente trabajo de investigación se realizó el cartografiado geológico a una escala mayor de 1:5000, lo cual nos permitió desarrollar un trabajo a mayor detalle. Así mismo, los parámetros geoquímicos-estadísticos, más utilizados en la prospección y exploración de yacimientos metálicos son la correlación de Pearson y el ACP, estos son corroborados en los trabajos de (Rivera, et al, 2007) en rocas del Cretáceo y Neógeno, en el de (Cossío y Rivera, 2017) y (Rivera y Chira, 2009) que indican la práctica y la metodología. El primero de estos parámetros, indica la afinidad y/o asociabilidad de dos variables (elementos químicos) mediante una matriz de doble entrada, y el segundo, Análisis de Componentes de Principales (ACP) es una metodología o modelo matemático nuevo, el cual tiene por finalidad reducir variables por orden de nivel jerárquico. Los valores de fondo y las anomalías geoquímicas, tienen un análisis estadístico descriptivo y de dispersión espacial, pues a diferencia de la estadística clásica en geoquímica se aplica otras formulaciones con sustento matemático, porque se tiene la variable espacial; para esta investigación se utilizó 36 variables y 340 muestras de roca en estructuras mineralizadas, con la finalidad de encontrar nuevas áreas de exploración. Dicho proyecto servirá como guía o modelo para realizar futuras prospecciones en la cordillera oriental en la Formación Ananea del Paleozoico al norte de la región Puno

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El metalotecto formación Ananea, como hospedador de oro es muy conocido, pero, las características de asociaciones geoquímicas con este metal precioso no están bien definidas. El proyecto Veta que esta hospedado en pizarras de esta unidad estratigráfica requiere información geoquímica para la ubicación de nuevos blancos de exploración dentro de las concesiones que tiene adquiridas la empresa Palamina S.A.C. La manera convencional en la búsqueda de nuevos blancos de exploración, es la ubicación de los



elementos guías para compararlos con zonas nuevas, pero con geología similar, esto se hace mediante la utilización de la estadística descriptiva, bivariado y multivariado de datos geológicos aplicado a la geoquímica.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué elementos químicos tienen afinidad con el Oro en muestras de superficie del proyecto Veta, Usicayos-Carabaya-Puno?:

1.3 HIPÓTESIS DEL TRABAJO

Mediante el tratamiento estadístico descriptivo y modelos matemáticos aplicados a los datos de prospección geoquímica multielemental (Au+35 elementos) se podrá obtener los parámetros geoquímicos para la búsqueda de nuevos blancos de exploración.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Determinar las asociaciones geoquímicas que tiene el Oro con otros elementos químicos mediante tratamiento estadístico univariado, bivariado y multivariado de muestras de superficie del Proyecto Veta, Usicayos-Carabaya-Puno.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar la veracidad y calidad de los datos geoquímicos.
- Determinar los elementos buscadores (*pathfinder*) de oro del Proyecto Veta, Usicayos-Carabaya-Puno.
- Determinar los valores de fondo y anomalías geoquímicas del Proyecto Veta, Usicayos-Carabaya-Puno.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. QUE ES LA PROSPECCIÓN Y EXPLORACIÓN MINERA

Según Hartman (1987) diferencia exploración y prospección en lo que concierne su objetivo y escala a partir de este el principio de trabajo aplicado: el objetivo de la prospección es el reconocimiento general de un depósito mineral. La exploración está enfocada en un reconocimiento detallado del yacimiento mineral, y según Calcina (2008) la prospección es el reconocimiento general, mientras que la exploración está enfocada en un reconocimiento detallado del yacimiento mineral.

2.1.1 Prospección geoquímica

La prospección geoquímica es un método directo, que se desarrolla a partir de los conocimientos de la química, la geología y mineralogía, así se llega a construir una excelente herramienta en la etapa de exploración de los yacimientos minerales. En la prospección geoquímica es de suma importancia considerar las técnicas de muestreo y el método de análisis químico que se emplea, pues de estos depende el paso a las siguientes etapas durante la búsqueda de yacimientos. También es importante analizar la abundancia y distribución de los elementos en las distintas secuencias litológicas a escala regional, con la finalidad de conocer los valores de fondo y poder establecer la posible existencia de anomalías geoquímicas los cuales inciden mucho para la localización de cuerpos mineralizados del área de estudio (Chávez, 2001).

Hawkes (1957) define a la prospección geoquímica como uno de los métodos de la investigación minera que se basa en la medida sistemática de las propiedades químicas de los materiales naturales. El fin de dichas medidas sería la localización de anomalías geoquímicas o de áreas cuya estructura, hiciera pensar en la presencia de un cuerpo mineralizado.

2.2 PRINCIPIOS BASICOS DE LA GEOQUÍMICA

Según la definición original de Goldschmidt (Rose et al., 1979) la geoquímica se ocupa de dos ramas:

La determinación de la abundancia relativa y absoluta de los elementos de la tierra.

El estudio de la distribución y de la migración de elementos individuales en varias partes de la tierra con el objetivo de descubrir los principios, que controlan la distribución y la

migración de los elementos.

2.2.1 Agrupación geoquímica de elementos

Goldschmidt (1937) compiló los datos de los elementos químicos en materiales naturales y artificiales, por su parte, Siegel (1992) reconoce la asociación de los elementos según la clase de material, para formalizar el concepto de la afinidad de los elementos químicos de las fases fundamentales que componen la Tierra (Tabla N°1). Como puede notarse el carácter geoquímico de un elemento y su posición en la tabla periódica, puede ser correlacionado con el tipo de enlace químico que este elemento prefiere.

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

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

Fuente: (Goldschmidt, 1937)

2.2.2 Ambiente geoquímico

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

2.2.2.1 Ambiente geoquímico primario

Este ambiente está caracterizado por condiciones de confinamiento (profundidad), altas presiones y temperatura, circulación restringida de fluidos y bajo contenido de oxígeno libre. Los productos de los patrones de dispersión primaria, son factores geoquímicos preservados en las rocas ígneas, metamórficas o de origen hidrotermal que ahora están

expuestas en la superficie.

Este ambiente de acuerdo a su origen se subdivide: Patrones Singenéticos, se forman al mismo tiempo que las rocas que la albergan y Patrones Epigenéticos, se forman por el aporte posterior de un material nuevo a la roca huésped y como resultado de la introducción de soluciones mineralizantes (Rivera, 2007).

2.2.3 Dispersión geoquímica

Es la capacidad de migración de un elemento desde su origen hacia otro ambiente a 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).

2.2.4 Movilidad de los elementos

La movilidad geoquímica se puede definir como la facilidad con que un elemento viaja de un ambiente geoquímico a otro. La facilidad del movimiento depende de sus propiedades mecánicas de la fase móvil, de factores como viscosidad de los magmas y las soluciones y del tamaño, forma y densidad de los granos clásticos de los drenajes (Rivera, 2007).

Tabla N°2: *Movilidad de elementos en ambientes supergénicos.*

Movilidad Relativa	Oxidante (pH 5-8)	Oxidante (pH<4)	Reductor
Muy Móvil	Cl, Br, I, S, Rn, He, C, N, Mo, B, (Se, Te, Re)	Cl, Br, I, S, Rn, He, C, N, B	Cl, Br, I, Rn, He
Moderadamente Móvil	Ca, Na, Mg, Li, F, Zn, Ag, U, V, As (Sr, Hg, Sb)	Ca, Na, Mg, Sr, Li, F, Zn, Cd, Hg, Cu, Ag, Co, Ni, U, V, As, Mn, P	Ca, Na, Mg, Li, Sr, Ba, Ra, F, Mn
Ligeramente Móvil	K, Rb, Ba, Mn, Si, Ge, P, Pb, Cu, Ni, Co, (¿Cd, Be, Rn, In, W?)	K, Rb, Ba, Si, Ge, Ra	K, Rb, Si, P, Fe
Inmóvil	Fe, Al, Ga, Sc, Ti, Zr, Hf, Th, Pa, Sn, TR (La-Lu), grupo Pt, Au, (Cr, Nb, Ta, Bi, Cs)	Fe, Al, Ga, Sc, Ti, Zr, Hf, Th, Pa, Sn, TR (La-Lu), grupo Pt, Au, As, Mo, Se	Fe, Al, Ga, Ti, Zr, Hf, Th, Pa, Sn, TR (La-Lu), grupo Pt, Au, Cu, Ag, Pb, Zn, Cd, Hg, Ni, Co, As, Sb, Bi, U, V, Se, Te, Mo, In, Cr, (Nb, Ta, Cs)

Fuente: (Siegel, 1992).

2.2.5 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:

Elemento indicador (*Target*). - Indicador directo o elemento blanco "*Target element*" se refiere a uno de los elementos principales del depósito mineral que se espera encontrar (Tabla N°3 y N°4).

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 "*Pathfinder element*" puede ser definido como un elemento fácilmente detectable (Tabla N°3 y N°4). 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 buscador o *Pathfinder* (Warren & Delarault, 1953 -1956).

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

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

Fuente: Tomado de (Hurtado, 2002).

Tabla N°4: Elementos con afinidad geoquímica y elementos guías asociados, usados en exploración de depósitos.

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

Fuente: (Rose et al., 1979), tomado de (Hurtado, 2002).

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).

Tabla N°5: *Muestras de la prospección Geoquímica.*

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

Fuente: Tomado de (Hurtado, 2002).

2.3.1 Aspectos generales del muestreo

Muestra: es una parte o porción extraída de un conjunto por métodos que permiten considerarla como representativa del mismo. (Alfaro, 2002).

Muestreo: es la acción de recoger muestras representativas de la calidad o condiciones medias de un todo o la técnica empleada en esta selección o la selección de una pequeña parte estadísticamente determinada para inferir el valor de una o varias características del conjunto (Alfaro, 2002).

Población o lote: es el conjunto completo de observaciones que deseamos estudiar. El muestreo estadístico es diferente del muestreo de minerales (Figura N°1) (Alfaro, 2002):

- 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.

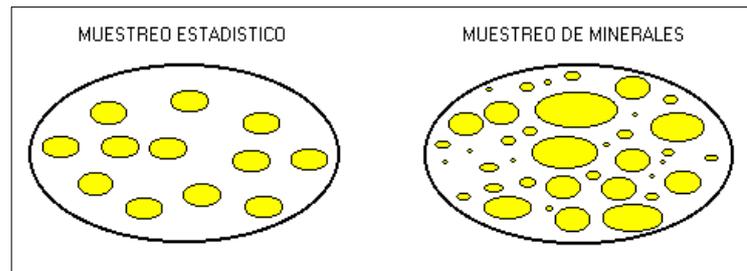


Figura N°1. Muestreo estadístico y muestreo de minerales (Alfaro, 2002).

2.3.2 Tipo de muestreo en roca y vetas

El tipo 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). El muestreo utilizado en la prospección geoquímica del proyecto Veta es el siguiente:

Canales. - Este tipo de muestreo está ampliamente extendido en minería, aunque su uso se restringe cada vez más por razones de coste y rendimiento. Es la muestra obtenida en la excavación de un canal estrecho y continuo, a lo largo de la capa o veta o bien en ángulo recto al trazado de ésta. Las dimensiones de la acanaladura suelen ser del orden de 5 a 10 cm de anchura por 2-5 cm de profundidad, manteniéndose estas dimensiones lo más constantes posible. Se toma como muestra el total del material excavado en la acanaladura. Este se recoge en tela lisa o plástico extendido al pie del lugar de la toma. Si se juntan varias muestras de un canal para constituir una única muestra, la cantidad de cada una debe ser proporcional a la veta o capa respectiva (Escobar, 2013).

2.3.3 Método de muestreo

Uno de los métodos de muestreo es el muestreo aleatorio (no sistemático), el cual es realizado en forma irregular y dirigido a aquellos sectores que presenten características geológicas favorables, por lo que la muestra no se extrae al azar. Aunque este método es usado habitualmente durante toda la etapa de exploración del proyecto, su uso principal se restringe a los niveles iniciales de exploración, donde tiene por finalidad obtener una base de datos suficiente como para poner el área en una escala de prioridades. A medida que progresa la exploración y, por ende, el conocimiento del área, los muestreos no sistemáticos van progresivamente siendo menos necesarios, limitándose a ocasiones

especiales en que se necesita información puntual (Lambert, 2006).

2.4 LIMITE DE DETECCIÓN

El Límite de detección de un elemento es la concentración por debajo de la cual no hay confiabilidad en los datos. Los fabricantes presentan los límites de detección óptimos que se obtiene con sus equipos al analizar soluciones acuosas puras de un determinado elemento. Estos límites para el método analítico de ICP - OES para Au + 35 elementos se dan en porcentajes (%) para los elementos mayores y partes por millón (ppm) para los elementos trazas los cuales se describen en la tabla N°6 (Hurtado, 2002).

Tabla N°6: *Límites de detección para el análisis ICP-OES*

N°	Elemento	Unidad	LDI	LDS
1	Au	ppm	0.005	10
2	Ag	ppm	0.2	100
3	Al	%	0.01	15
4	As	ppm	3	10000
5	Ba	ppm	1	10000
6	Be	ppm	0.5	10000
7	Bi	ppm	5	10000
8	Ca	%	0.01	15
9	Cd	ppm	1	10000
10	Co	ppm	1	10000
11	Cr	ppm	1	10000
12	Cu	ppm	0.5	10000
13	Fe	%	0.01	15
14	Ga	ppm	10	10000
15	K	%	0.01	15
16	La	ppm	0.5	10000
17	Mg	%	0.01	15
18	Mn	ppm	2	10000
19	Mo	ppm	1	10000
20	Na	%	0.01	15
21	Nb	ppm	1	10000
22	Ni	ppm	1	10000
23	P	%	0.01	15
24	Pb	ppm	2	10000
25	S	%	0.01	10
26	Sb	ppm	5	10000
27	Sc	ppm	0.5	10000
28	Sn	ppm	10	10000
29	Sr	ppm	0.5	5000
30	Ti	%	0.01	15
31	Tl	ppm	2	10000
32	V	ppm	2	10000
33	W	ppm	10	10000
34	Y	ppm	0.5	10000
35	Zn	ppm	0.5	10000
36	Zr	ppm	0.5	10000

2.5 CONTROL DE CALIDAD

Es un programa de Aseguramiento y Control de la Calidad (ACC), también conocido por sus siglas en inglés como QA/QC (*Quality Assurance / Quality Control*), es asegurar la integridad de la información y en última instancia garantizar que los datos generados sean de naturaleza y estándares tales que permitan su utilización en estimaciones de recursos y reservas, control de leyes y reconciliaciones minerales (Sánchez et al., 2015).

2.5.1 Definiciones básicas de QA/QC

2.5.1.1 Precisión

Viveros, (2014). Es la dispersión del conjunto de valores que se obtiene a partir de las mediciones repetidas de una magnitud, a menor dispersión mayor precisión, según Simón (2010) clasifica la evaluación de la precisión de muestras gemelas y los duplicados en los siguientes procesos:

En el muestreo (error de muestreo) A través de muestras gemelas (medio testigo, canales paralelos)

En la preparación o el cuarteo (error de sub - muestreo) A través de duplicados de rechazo grueso (de preparación de cuarteo)

En el análisis (error analítico) A través de duplicados de rechazo fino (controles internos, duplicados de pulpa).

Para poder medir la precisión se utiliza el error relativo, que es una magnitud cuantitativa.

Para calificar a la precisión usamos los términos de:

Baja precisión

Alta precisión

Precisión aceptable

La fórmula del error relativo es:

$$ER = 2 * [Vo - Vd] / (Vo + Vd)$$

Dónde:

Vo = Valor original

Vd = Valor duplicado

El error relativo es el valor absoluto de la diferencia entre el valor original y el valor duplicado, dividido por el promedio entre ambos valores, Los valores aceptables de error relativo son:

Muestras gemelas de campo: ER = 30% (m=1.35)

Duplicados gruesos: ER = 20% (m=1.22)



Duplicados finos:

ER = 10% (m=1.11)

2.5.1.2 Exactitud

Se denomina exactitud a la capacidad de un instrumento a acercarse al valor de la magnitud real. La exactitud depende de los errores sistemáticos que intervienen en la medición, denotando la proximidad de una medida al verdadero valor y, en consecuencia, la validez de la medida (Viveros, 2014).

Simón (2010) La exactitud es una magnitud cualitativa, para poder medirla se utiliza el Sesgo (error sistemático), que es una magnitud cuantitativa. La fórmula del sesgo para estándares es:

$$\text{Sesgo (\%)} = (AV - BV) - 1$$

Dónde:

AV = Representa el promedio de los valores obtenidos en el análisis del estándar.

BV = el valor aceptado del estándar

El criterio de Aceptación, el sesgo resultante del análisis, una vez que son excluidos los valores dispares, debe estar dentro de límites aceptables:

Bueno: Sesgo < 5%

Aceptable: Sesgo entre 5% y 10%

Inaceptable: Sesgo > 10%

2.5.1.3 Contaminación

Es la transferencia involuntaria de material de una muestra o del medio circundante a otra muestra. Al preparar o analizar algunas muestras, particularmente las que tienen un alto contenido de mineralización, es posible que cierta porción de una muestra o de una solución quede retenida accidentalmente en el equipo y contamine las muestras siguientes (Viveros, 2014). El criterio de aceptación para los valores de los blancos no debe estar directamente influenciados por las leyes de las muestras procedentes y no deben exceder en más de 3 o 5 veces los límites de detección del elemento. La tasa de contaminación no debe superar el 2% (Simón, 2010)

2.5.2 Muestras de control

Son aquellas muestras que se insertan en los lotes con el fin de detectar y controlar los



errores en los procesos de muestreo, preparación y análisis de las muestras geoquímicas (Viveros, 2014)

2.5.2.1 Duplicados

Se obtienen al dividir nuevamente las muestras, de modo que un cuarto representa la muestra original y otro cuarto representa la muestra gemela; ambas muestras deben ser preparadas en el mismo laboratorio y analizadas con diferente código de muestra en el mismo lote (Ticona, 2010). Los duplicados permiten evaluar la precisión entre los resultados obtenidos para réplicas de una misma muestra.

2.5.2.2 Estándares

Son muestras elaboradas bajo condiciones especiales, que deben formar parte de los lotes analizados tanto por el laboratorio "A" como por el laboratorio "B". los estándares se utilizan para evaluar la exactitud analítica, en conjunto con las muestras de control externo, al elegir los estándares se recomienda seleccionar en lo posible materiales de composición aproximadamente similar a la de las muestras ordinarias, para reducir al mínimo el efecto analítico de la matriz mineral (Ticona, 2010).

2.5.2.3 Blancos

Son muestras de material estéril, con granulometría gruesa, que deben ser sometidas a todo el proceso de preparación en conjunto con las demás muestras ordinarias y que deben ser preparadas a continuación de muestras fuertemente mineralizadas. Los blancos gruesos permiten evaluar si se produce contaminación durante el proceso de preparación de pulpas (Ticona, 2010).

2.6 PRUEBA DE NORMALIDAD DE KOLMOGOROV - SMIRNOV

Es una prueba de significación estadística para verificar si los datos de las muestras geoquímicas obtenidas de superficie proceden de una distribución normal (Cueva, 2017).

Donde:

H_0 : datos analizados siguen una distribución normal.

H_1 : datos analizados siguen una distribución lognormal.

De esta manera realizando la prueba de normalidad para un nivel de significancia = 5% = 0.05, la regla de contraste sería:



Si $p\text{-valor} \geq 0.05 \rightarrow$ Aceptar H_0

Si $p\text{-valor} < 0.05 \rightarrow$ Rechazar H_0

2.7 PARAMETROS ESTADÍSTICOS

Los datos deben ser de calidad apropiada, representativos y la técnica de la medición de esos datos debe tener la precisión adecuada. Este punto se dirige hacia la evaluación rigurosa de datos cuantitativos encontrados durante la prospección y el posterior uso de métodos estadísticos, las que presentan técnicas relativamente simples combinadas con una progresión sistemática, donde las interpretaciones obvias saldrán a través del análisis riguroso de datos por las metodologías relativamente simples. (Vásquez, 2009).

2.7.1 Medidas de tendencia central

Entre las medidas de tendencia central que se aplican en el presente estudio para el análisis estadístico son: La media aritmética, media geométrica, mediana y la moda según (Alperin, 2013).

2.7.2 Medidas de dispersión

Estos parámetros miden la variabilidad de un conjunto de datos.

2.7.2.1 Varianza

Es la medida que cuantifica la variabilidad de los datos respecto al valor de la media. Si los valores están muy concentrados las desviaciones respecto a la media serán muy pequeños y en consecuencia también sus cuadrados, se evita que las desviaciones positivas se compensen con las negativas (Vásquez, 2009).

$$s^2 = \frac{\sum_i^N (x - \bar{X})^2}{N - 1}$$

Pero desde este punto de vista, la varianza tiende a explicar los verdaderos valores respecto a la media, bajo esta alternativa para medir la dispersión y que atenúe dicho efecto se utiliza la desviación estándar.

2.7.2.2 Desviación estándar

Es el parámetro más crítico necesario para establecer los valores del *Background*, las

variaciones locales y regionales (*Threshold*) y las posibles y probables anomalías en una serie de valores de concentración geoquímica es la desviación estándar o típica, la cual puede ser calculada por la ecuación (Rivera, 2007).

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

$$s = \sqrt{\frac{\sum_i^N (x - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

2.7.2.3 Coeficiente de variación

Se usa para comparar la variabilidad entre dos o más muestras medidas en las mismas unidades o no, es decir es más homogénea o presenta menos discrepancia aquella distribución que tiene el menor coeficiente de variación (Vásquez, 2009).

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \quad \text{o} \quad CV = \frac{S}{\bar{X}} * 100$$

Una distribución puede considerarse como Gaussiana o normal si el coeficiente de variación es menor a 0.5, en caso contrario indicaría un carácter lognormal. Cabe decir que cuando CV sobrepasan el 30% los datos no son confiables.

2.7.3 Coeficientes de la forma de distribución

2.7.3.1 Curtosis

Mide la concentración de la distribución entorno a la media, si la variable es normal el valor del coeficiente es cero. Valores mayores que cero indicarán que la distribución tiende a concentrarse en torno a la media más que una distribución normal (Distribución leptocúrtica), mientras que valores menores que cero indicarán que tienden a desplazarse más (distribución platicúrtica) y si tienen una tendencia casi simétrica se le conoce como distribución Mesocúrtica. (Vásquez, 2009).

Siendo la distribución Leptocúrtica la más común para los datos no normalizados y la distribución mesocúrtica se ajusta más para los datos de escala logarítmica dentro de nuestra investigación (Figura N°2-A).

2.7.3.2 Asimetría

Es una medida de la simetría de la distribución de los valores respecto a la media. Valores mayores que cero indicarán que las desviaciones respecto a la media son mayores para los valores superiores (sesgo positivo), mientras que valores menores que cero indicarán que las desviaciones respecto a la media son mayores para los valores inferiores (sesgo negativo). (Vásquez, 2009).

Cuando se diseña la distribución geoquímica de un ambiente natural sobre escalas lineales se obtiene una curva asimétrica positiva y negativa (Figura N°2-B), siendo el sesgo positivo la más común dentro de nuestra investigación.

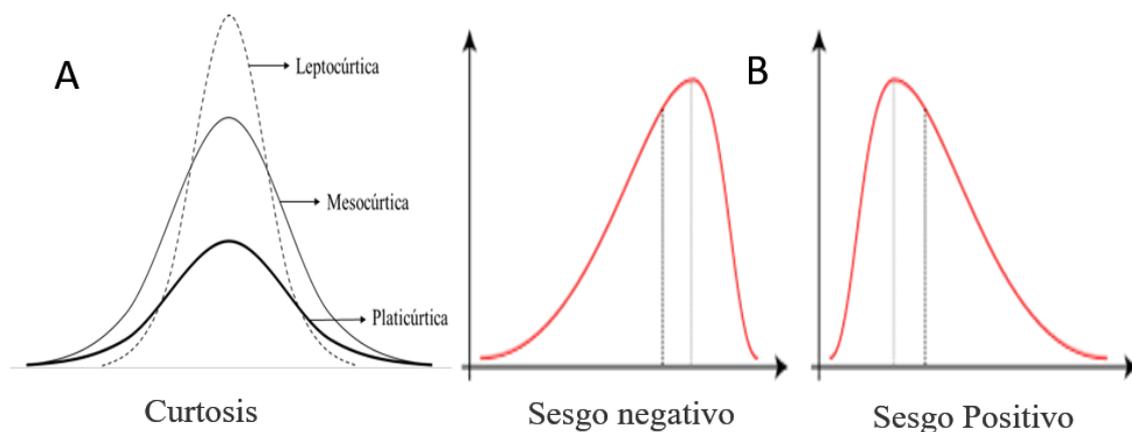


Figura N°2. A) Curtosis, B) Asimetría negativa y positiva (Hurtado, 2009).

2.7.4 Diagramas estadísticos

En el presente proyecto de investigación se utilizaron los siguientes diagramas estadísticos; histogramas, boxplot y la recta de Henry tomadas del autor, (Vásquez, 2009).

2.7.4.1 Histogramas

Divide el conjunto de datos en una serie de intervalos y se representan bajo la forma de un histograma de frecuencias, la similitud con una curva Gaussiana, induciendo que esta tiene un comportamiento normal (Figura N°3).

La base para los estudios estadístico - geoquímicos es la preparación de un histograma de frecuencias relativa, denominado como una distribución. No obstante, en geoquímica la experiencia nos muestra que hay relativamente pocos casos de distribución normal.

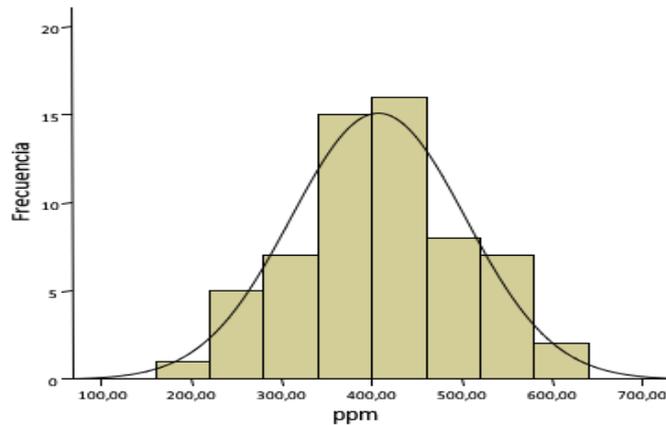


Figura N°3. Histograma de distribución normal (Vásquez, 2009).

2.7.4.2 Boxplot (diagrama de cajas)

Es un gráfico que nos sirve para distinguir cómo están distribuidas las observaciones (distribución sesgada a la derecha o izquierda), comparación de la dispersión de dos o más conjuntos de datos y si existen valores extremos que afectan a la distribución (Figura N°4). Los límites superior e inferior de la caja corresponden a los cuartiles primero (Q1) y tercero primero (Q3) respectivamente, en consecuencia, la altura de la caja coincide con el rango intercuartílico (RI). La línea horizontal dentro de la caja corresponde al segundo cuartil Q2 (mediana). En el caso de que un valor diste de los límites inferior y superior de la caja más de 1.5 veces el rango intercuartílico, el valor se le denomina fuera de rango y se le representa por el símbolo “o” y por “x” si los valores son superiores a tres veces la longitud de la caja o rango intercuartílico, llamados valores extremos o erráticos.

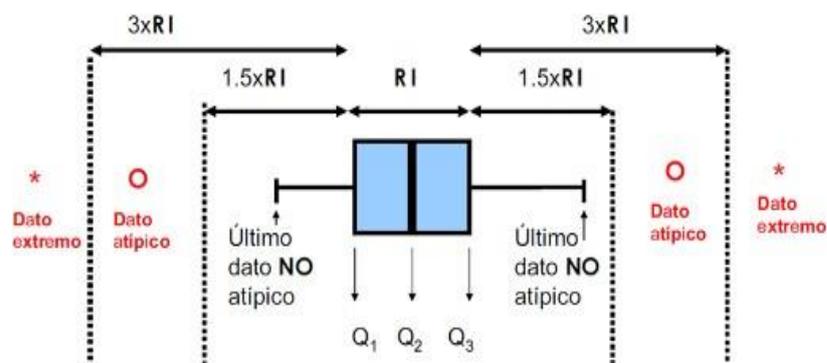


Figura N°4. Diagrama de cajas, mostrando los altos y bajos erráticos (Quíntela, 2019).

2.7.4.3 Recta de Henry

Si los puntos obtenidos están alineados podemos decir que la distribución estudiada se

aproxima a una distribución normal (Figura N°5). Este gráfico es usado en la interpretación de datos durante el procesamiento estadístico, e inclusive puede ayudarnos a diferenciar el comportamiento de valores de datos mediante “quiebres”.

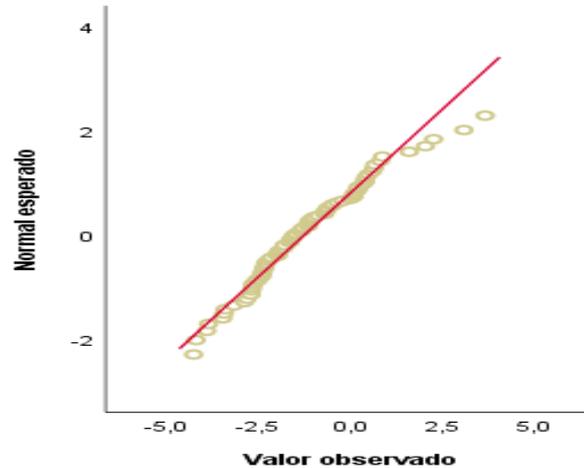


Figura N°5. Recta de Henry, mostrando la distribución lognormal del Au.

2.7.5 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” 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). Cabe subrayar que el análisis de correlación solo es una guía y no prueba relación directa entre las variables. No obstante, si las correlaciones son lógicas con respecto a los procesos y las relaciones geológicas - geoquímicas, se puede resumir razonablemente una relación casual (Vásquez, 2009).

Tabla N°7: Rangos de Coeficiente de Correlación.

Rango	Descripción
0 - 0.2	Escasa o nula.
0.2 - 0.4	Débil.
0.4 - 0.6	Moderada.
0.6 - 0.8	Entre moderada y fuerte
0.8 - 1	Entre fuerte y perfecta.

Fuente: Tomado de (Hurtado, 2002).

2.7.6 Análisis de componentes principales (ACP)

Para estudiar las relaciones que presentan “n” muestras entre ρ variables correlacionadas (que miden información común) se puede transformar el conjunto original de variables en otro conjunto de nuevas variables correlacionadas entre sí (que no tenga repetición o redundancia en la información) llamado conjunto de componentes principales. Las nuevas variables son combinaciones lineales de las anteriores y se van construyendo según el orden de importancia en cuanto a la variabilidad total que recogen de la muestra. Si las variables originales no están correlacionadas de partida, entonces no tiene sentido realizar un análisis de componentes principales, pues el análisis de componentes principales es una técnica matemática que no requiere la suposición de normalidad multivariante de los datos, aunque si este último (Vásquez, 2009).

La multivariabilidad y carácter regional de variables geoquímicas en el muestreo de rocas superficiales los hace un interesante aspirante para el análisis numérico usando criterios geoestadísticos en orden de colaborar con la identificación de anomalías geoquímicas, es así que el análisis de componentes principales según Khaled et al (2006), es una guía del análisis multivariado de diversos datos geoquímicos para los siguientes dos propósitos:

La reducción del número de variables que forman un pequeño número independiente de los componentes principales, que son combinaciones lineales de las variables originales y representan la principal variabilidad de los datos.

La creación de más combinaciones interpretables de componentes - variables que caracterizan diferentes procesos geológicos.

Además, algunos de estos componentes pueden ser usados para estudiar un grupo específico de variables, dando conclusiones sobre asociaciones de elementos, el cual es geoquímicamente más significativo que el estudio de variables individuales. En el presente estudio se usa los componentes principales para identificar asociaciones geoquímicas por medios de una aproximación geoestadística.

Prueba de KMO y esfericidad de Barlett, el índice de medida de la adecuación muestral de Kaiser – Meyer y Olkin (KMO), contrasta si las correlaciones parciales entre las variables son pequeñas, es decir la muestra será más adecuada cuando el coeficiente se encuentre más próxima a la unidad (1), considerando aceptable la muestra cuando el coeficiente sea superior a 0.6 (Vargas, 2007).

Kaiser (1974) propuso una clasificación comúnmente aceptada para la evaluación de la adecuación del modelo factorial y su interpretación de un conjunto de datos:



- $1 \geq KMO > 0.90$ Excelentes
- $0.90 \geq KMO > 0.80$ Buenos
- $0.80 \geq KMO > 0.70$ Aceptables
- $0.70 \geq KMO > 0.60$ Mediocres o regulares
- $0.60 \geq KMO > 0.50$ Malos
- $KMO \leq 0.50$ Inaceptables o muy malos.

Prueba de esfericidad de Barlett, sirve para saber si los coeficientes expresados en las matrices de correlación muestral y poblacional son significativos, se realiza un contraste de significancia individual y después un contraste de significancia conjunta (Vargas, 2007).

El estadístico que permite realizar este contraste es el coeficiente de Barlett que bajo el supuesto de normalidad de la muestra se distribuye como una con (k^2-k) grados de libertad. Su expresión es la siguiente:

$$X^2_{(k^2-k)} = -n-1 - 1/6 (2k+5) \ln |R|$$

Identificación de los componentes principales, Una de los objetivos del cálculo de componentes principales es la identificación de los mismos, es decir, averiguar qué información da la muestra resumen. Sin embargo, este es un problema difícil que a menudo resulta subjetivo.

Habitualmente, se conservan sólo aquellos componentes que recogen la mayor parte de la variabilidad, hecho que permite representar los datos según dos o tres dimensiones si se conservan dos o tres ejes factoriales, pudiéndose identificar entonces grupos naturales entre las observaciones (Vásquez, 2009).

2.8 PARAMETROS GEOQUÍMICOS

2.8.1 Fondo geoquímico o *background*

El término 'fondo' se refiere a la abundancia normal de un elemento en los materiales terrestres no mineralizados. Considerando dos diferentes tipos de materiales Terrestres la abundancia normal de un distinto elemento en un tipo de material terrestre muy probablemente difiere de su abundancia en otro tipo de material terrestre (Nockolds, 1954).

(*Background* = Media geométrica de la población).

2.8.2 Umbral geoquímico o *threshold*

Es definido como el límite superior de los valores normales de *background*. El valor de *threshold* varía para cada elemento, en cada tipo de roca y en cada área. En prospección geoquímica el *threshold* puede ser determinado a través del método matemático obtenido de la siguiente expresión. (Rivera, 2007).

(*Threshold* = Media geométrica + 2 veces la desviación estándar.)

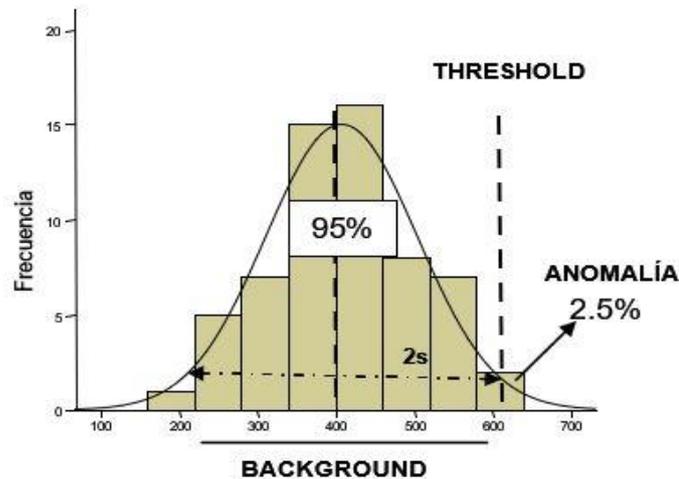


Figura N°6. Parámetros geoquímicos de una distribución normal (Cueva, 2017).

2.8.3 Anomalía geoquímica

Una anomalía geoestadística es una variación de la distribución geoquímica normal correspondiente a un área o a un ambiente geológico-geoquímico, una anomalía se expresa por medio de números, que se puede separar de un grupo más amplio de números constituyendo el fondo geoquímico (Morales, 1985).

2.8.3.1 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. (Rivera, 2007). Los rangos considerados de las anomalías significativas, para el presente estudio son la siguiente:

Threshold.

Anomalía débil = *Threshold* + 1 error de desviación estándar.

Anomalía moderada = *Threshold* + 2 error de desviación estándar.

Anomalía fuerte = *Threshold* + 3 error de desviación estándar.

2.9 GEOLOGÍA REGIONAL

El proyecto de investigación se encuentra ubicado entre las hojas de Macusani (29V-1) y Limbani (29X-4) como se muestra en la figura N°8, cuya estratigrafía consta principalmente de una secuencia de rocas del Paleozoico que van desde el Silúrico inferior hasta el Holoceno, tales como la Formación Ananea, Grupo Ambo, Grupo Tarma y Grupo Copacabana (Figura N°7); a la vez esta secuencia estratigráfica está influenciada por el batolito de Coasa que data desde el Pérmico Superior (Monge y Zedano 1996).

2.9.1 Formación Ananea (SD-a)

Una gruesa secuencia pizarrosa, pelíticosamítica, que aflora en su localidad típica del mismo nombre al SE del cuadrángulo de Limbani, formando parte de la Cordillera Oriental, en el área de estudio esta unidad consiste de una gruesa secuencia de pizarras, pizarras- limolíticas y areniscas cuarzosas muy subordinadas.

En general esta secuencia cerca a los cuerpos plutónicos se muestra una aureola de metamorfismo leve de tipo epizonal, presentando hornfels, pizarras recristalizadas e incluso pizarras de un aspecto calcinado, esta gruesa secuencia suprayace a la Formación Sandía en un contacto fallado inversamente como producto de una tectónica compresiva e infrayace a la secuencia samíto-pelítica del Grupo Ambo en discordancia a excepción del Norte de Usicayos, donde las pizarras se hallan en contacto fallado inverso con las areniscas del Grupo Ambo. (Monge y Zedano, 1996).

2.9.2 Grupo Ambo (Ci-a)

En el altiplano fue descrita por Palacios et al (1993) en el cuadrángulo de Puno, Natalio de La Cruz (1995) en el cuadrángulo de Azángaro. El Grupo Ambo consiste de una secuencia clástica samíto-pelítica y de ambiente continental que sobre yace en aparente continuidad sobre la secuencia pizarrosa de la Formación Ananea. Aflora en forma regular en el sector Oeste del cuadrángulo de Limbani. En la columna medida al Oeste de la Laguna Cocaña Cocha, se le estima un grosor de 800 m. aproximadamente.

2.9.3 Grupo Tarma (Cs-t)

Audebaud (1973) describe una secuencia areniscosa-pelítica-calcárea en la hoja de Sicuani. Igualmente, Newell (1949) atribuye al Grupo Tarma a una secuencia similar, que se encuentra al Norte de Muñani. En la hoja de Limbani tal unidad aflora indistintamente



en el sector sur y en menor proporción en los alrededores de Usicayos al Norte. Litológicamente, se caracteriza de una intercalación de areniscas, limoarcilitas y calizas micríticas, cuya proporción es muy variable. Su límite superior con el Grupo Copacabana es concordante y se marca donde se observa un cambio morfológico resaltante, donde acaba la secuencia areniscosa, arenisca calcárea y limoarcilítica para pasar a una secuencia netamente calcárea que tipifica a la unidad suprayacente.

2.9.4 Grupo Copacabana (Pi-c)

Douglas (1914) describió como tal a una secuencia calcárea-pelítica que aflora en los alrededores de la península de Copacabana, en el Lago Titicaca. La litología esencialmente está dada por calizas de color crema, gris oscuro, en muchos casos silicificadas y dolomitizadas, con intercalaciones de caliza dolomítica, limoarcilitas calcáreas de color gris.

2.9.5 Rocas intrusivas – Batolito de Coasa (PTr-co/gr)

Este cuerpo plutónico es el más grande de la zona, sin embargo, entre los cuadrángulos de Macusani y Limbani solo se tiene una pequeña parte. El Plutón de Coasa corta principalmente a la secuencia pizarrosa de la Formación Ananea. Petrográficamente es un monzogranito holocristalino inequigranular de grano medio a grueso con biotitas pequeñas y algunas hornblendas con mega cristales de feldespato potásico, los cristales que se presenta están fuertemente maclados, de color gris claro a blanquecino, sin embargo, existen variaciones en menor volumen de leucogranito a monzogranito con biotita - muscovita - cordierita. Este cuerpo es rico en feldespato potásico. Una datación K-Ar de 207 Ma., obtenida por (Stewart et al, 1974).

2.9.6 Depósitos cuaternarios

Depósito morrénico (Qpl-mo)

Los depósitos morrénicos tienen una marcada presencia, ya que se encuentran formando parte de la Cordillera Oriental, y asociados con los Nevados tales como Aricoma, Jalahuana y en el Norte el nevado de Ccoasupo, entre otros lo que permite deducir la intensa actividad glacial en el área durante el Cuaternario. (Monge y Zedano 1996).

Depósitos aluviales (Qh-al)

Estos depósitos se encuentran distribuidos en todo el cuadrángulo relleno el fondo de los valles o quebradas principales, estos depósitos constituidos por bloques, guijas, gravas, arenas, limos y arcillas (Monge y Zedano 1996).

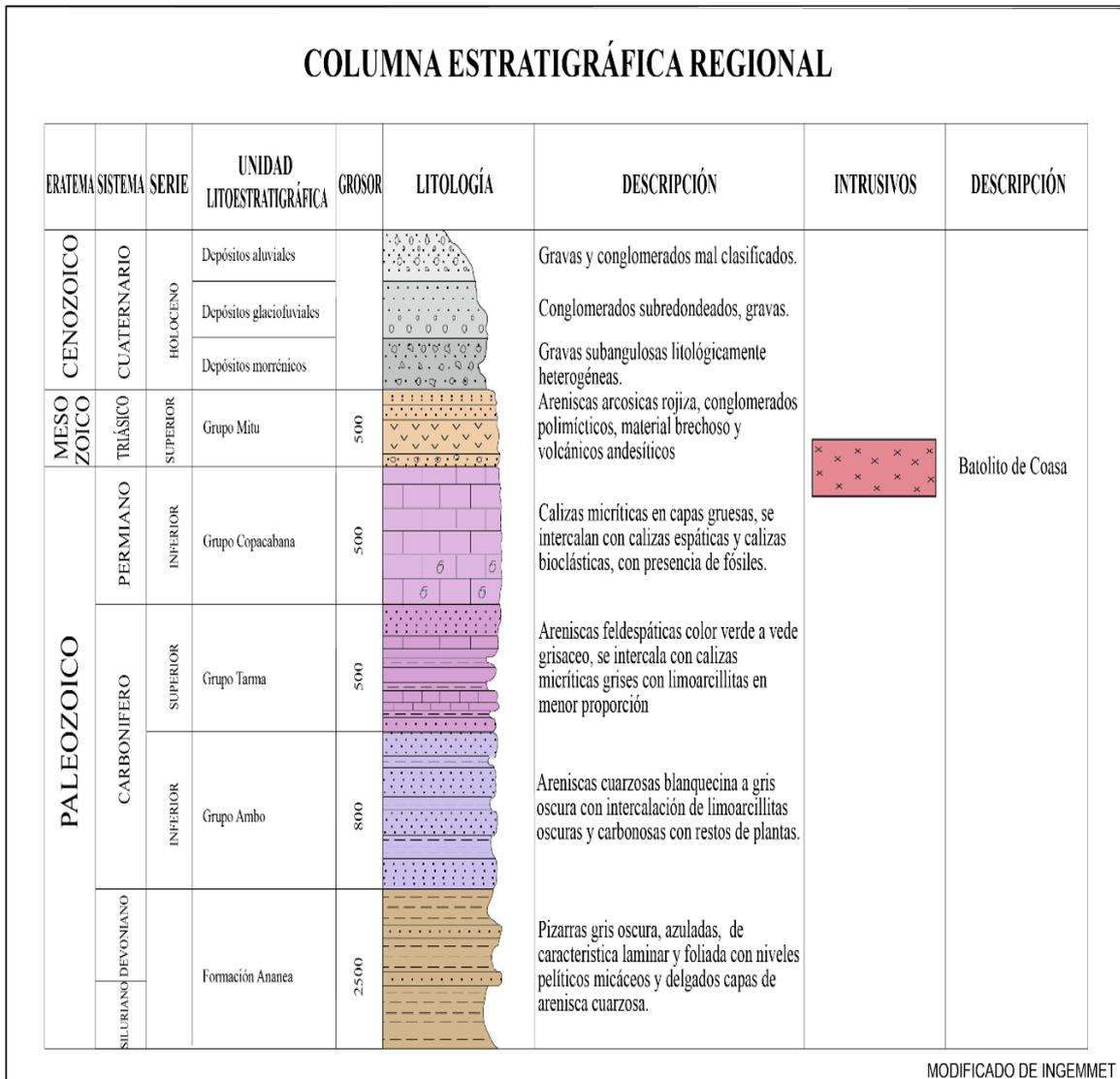


Figura N°7. Columna estratigráfica regional del área de estudio modificado de Monge y Zedano (1996).



Figura N°8. Mapa geológico regional (INGEMMET)

2.10 TECTÓNICA

El desarrollo estructural en el área de estudio está íntimamente relacionados al ciclo evolutivo de la tectónica hercínica y tectónica andina; estos movimientos tectónicos han controlado la sedimentación y deformación de las unidades mayormente paleozoicas y consecuentemente mesozoicas las que evidencian una sobreimposición de estas fases tectónicas. (Monge y Zedano, 1996).

2.10.1 Tectónica hercínica

2.10.1.1 Fase eohercínica

Extendida ampliamente en la Cordillera Oriental y altiplano siendo catalogada como una fase de plegamiento intenso acompañado de fuerte fracturamiento y deformación, desarrollándose esfuerzos de naturaleza compresiva. La edad asumida para este evento tectónico es a finales del Devónico superior o Misisipiano basal marcando el paso del paleozoico inferior al paleozoico superior. En el área en estudio las estructuras que evidencian a esta fase se sitúan hacia el extremo NE del área del cuadrángulo, desarrollándose en unidades del paleozoico inferior (Gpo. San José, Fm. Sandia y Ananea), varias fases de formación dando lugar a cierto grado de foliación paralelo y sub paralelo a la estratificación acompañado de un metamorfismo epizonal, observada a 1.5 Km. al NE de la localidad de Jatuntiana, y en el Norte en las proximidades a la localidad de Minoni; igualmente ligada a esta deformación se tiene anticlinales, sinclinales tumbados y apretados simétricos observados en el tramo Patambuco- Cañiputo; fallamientos de tipo inverso son reconocidos al NE del cuadrángulo 29X. (Monge y Zedano, 1996).

En las investigaciones efectuadas por Dalmayrac B., Laubacher G. y Marocco (1980), se reconocen en la zona axial de la cadena Herciniana hasta 3 estadios o sub fases Eoherciniana.

Estadio I, con orientación de las estructuras NE-SO, propuesta por Megard, (1973).

Estadio II, que afecta al 1er estadio y que sería el principal, corresponde a una compresión cuyas estructuras principales toman una dirección N 110° a 150°. En el Sur varía de un plegamiento apretado en la Cordillera Oriental a un plegamiento abierto en el Altiplano.

Estadio III, reconocido por Marocco (1978,) en la Cordillera de Vilcabamba, donde los ejes de las estructuras tienen una dirección N30° a N50°.

2.10.1.2 Fase tardihercínica

De características similares a la fase Eohercínica, pero de menor intensidad y de menor extensión, La edad de este evento tectónico se da a fines del Pérmico inferior, Las características de las estructuras formadas en esta fase compresional corresponden a un nivel medio a superior, evidenciándose en las unidades carboníferas y permianas (Gpo. Ambo Tarma y Copacabana) situados mayormente al NO del cuadrángulo de Limbani; al SO de Sallaconi se reconoce un anticlinal echado limitado por una falla inversa que sobrepone al Grupo Ambo sobre el Grupo Copacabana, igualmente en el margen izquierda del río Usicayos se puede observar una falla inversa (Cizalla Phusca) de dirección E-O que pone en contacto la Formación Ananea contra el Grupo Ambo (Figura N°9); al O de la Laguna Cocaña Cocha también es reconocida una falla inversa donde unidades del Grupo Tarma subyacen al Grupo Ambo. Al Norte de Usicayos estructuras desarrolladas por esta tectónica han sido afectadas por una torsión y echadas hacia el Sur como consecuencia de la megavirgación de Macusani y que se extiende hacia la hoja de Limbani, esta estructura por lo general afecta a las rocas del paleozoico superior (Monge y Zedano, 1996).

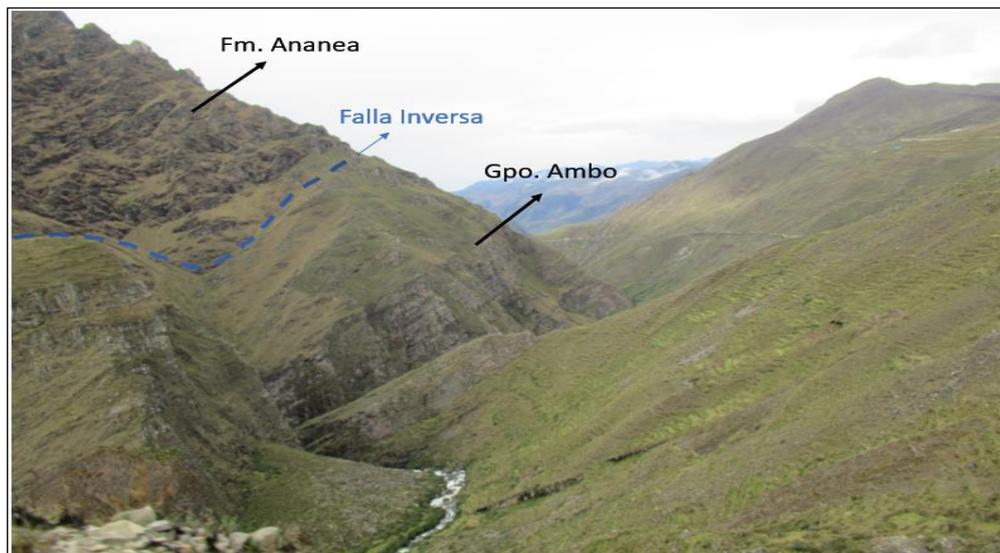


Figura N°9. Falla inversa

2.10.1.3 Deformación post – permiana

Esta denominación se da a una deformación distensiva dando como resultado bloques hundidos y levantados, Se caracteriza por presentar un fallamiento normal y sinistral vertical que afecta a las rocas del paleozoico inferior como del superior, las que en



algunos casos han sido reactivadas (Monge y Zedano, 1996).

2.10.2 Tectónica andina

El sistema andino en el Perú tiene una orientación general NO-SE, el que se halla asociado a los principales elementos estructurales tales como ejes de plegamientos, fallas, elongación de cuerpos intrusivos mayores, alineamiento de conos volcánicos etc.

El tectónismo andino se inicia en el cretáceo terminal empezándose a levantar los andes peruanos, dando como resultado la deformación de las rocas mesozoicas y cenozoicas, así como un intenso magmatismo manifestado por intrusivos plutónicos y mayormente un intenso vulcanismo íntimamente relacionado a los pulsos distensivos de las fases compresivas Quechuanas se inicia con un cambio de sedimentación de marino a continental. En esta fase muy probablemente se inicia la formación de la depresión de Crucero - Ananea, la cual se desarrollaría en su máxima expresión en el Eo-mioceno, esta sub-fase es la causante en forma definitiva de la depresión de Crucero Ananea que tuvo lugar durante el Mioceno terminal, la que reactiva fallas antiguas profundas. Muy próximas a la depresión de Crucero-Ananea se tiene una serie de diques andesíticos que cortan a la Formación Ananea, que siguen y se alinean en dirección Andina, los que muy probablemente se encuentren asociados a esta tectónica de naturales distensiva (Monge y Zedano, 1996).

2.11 METALOGÉNIA

Se localiza a lo largo de la Cordillera Oriental del territorio peruano (Figura N°10), en la cual las rocas hospedantes están conformadas por pizarras y esquistos del Cambriano-Ordoviciano. Las estructuras mineralizadas están conformadas por vetillas y mantos lenticulares de cuarzo y oro, controlados principalmente por fallas inversas de rumbo NO-SE. La mineralización probablemente está asociada a los eventos magmáticos del Ordoviciano y del Siluriano-Devoniano. Entre los principales depósitos se pueden mencionar a Ollachea (1.0 M Oz Au), Untuca (mayor a 0.5 MOz Au), Cápac Orcco (1.5 M Oz Au), Mucumayo (mayor a 5 M Oz Au), La Rinconada (mayor a 10 M Oz Au), Vetaspata (mayor a 0.5 M Oz Au), etc. Según las últimas investigaciones (Haeberlin, 2002 y Cardona, 2006), Por otro lado, de acuerdo a sus eventos de sedimentación y metamorfismo, esta franja se puede subdividir en tres unidades geológicas: Ordoviciano inferior, Ordoviciano superior-Siluriano, y Carbonífero. Las edades precámbricas solo corresponden a algunos segmentos aislados de migmatitas (Cardona, 2006).



Figura N°10. Mapa metalogénico (INGEMMET)

2.12 YACIMIENTOS DE ORO OROGÉNICO

Los yacimientos de Au orogénico, también conocidos como depósitos de Au en zonas de cizalla, Mother Lode, Oro Mesotermal y Au metamórfico, han sido ampliamente reconocidos y estudiados por Groves et al., (1998), Goldfarb et al., (2001), Goldfarb, Phillips y Nokleberg, (1998), entre otros. Generalmente, se encuentran asociados a cinturones metamórficos profundamente deformados, variando en su grado metamórfico desde facies de esquistos verdes hasta facies de anfibolita y ocupan una posición espacial y temporal con procesos deformacionales asociados a márgenes de placas.

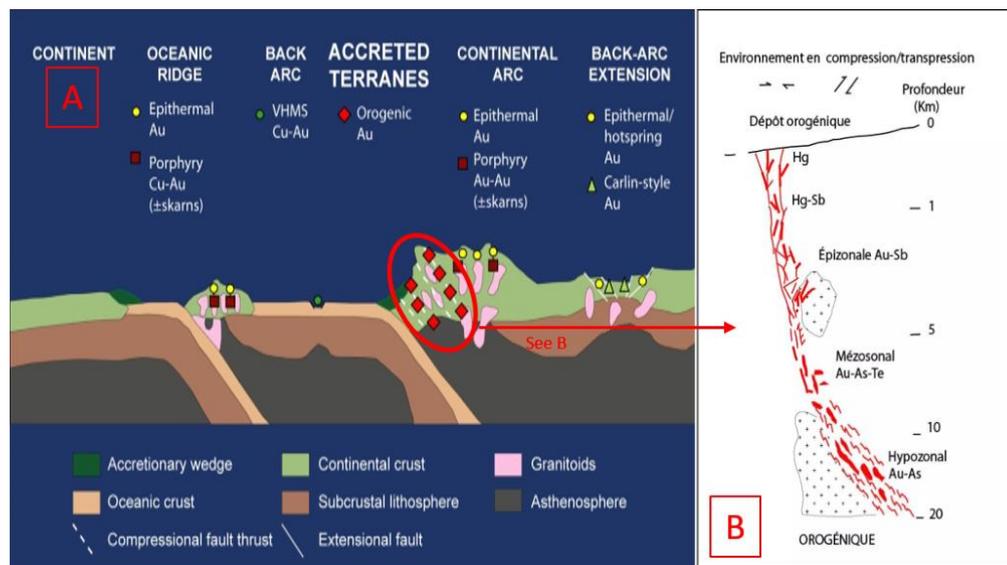


Figura N°11. A) Ambientes tectónicos de formación de depósitos de oro orogénico y otros. B) Zonación y distribución vertical de la mineralización de flujo orogénico (Groves et al., 1998).

Los depósitos de oro orogénico están ampliamente distribuidos en el mundo, son importantes yacimientos en reservas auríferas asociadas a estructuras regionales de cizallas, fallas, anticlinales y pliegues, hospedantes de vetas-venillas de cuarzo con diseminación de oro y algunas veces en la roca encajonante.

La faja orogénica Sudamericana del Paleozoico inferior se inicia al norte de Argentina en Salta-Jujuy, cruza el noroeste de Bolivia hasta la región Puno, la franja continua al sureste de la región Cuzco. Las minas auríferas del Batolito de Patáz, ubicada al este de la región La Libertad, son de edad Paleozoica, son consideradas como orogénicas.

La faja sudamericana tiene algunas características similares en edad y litología a Tien-Shan Gold Belt, en Asia central, tiene yacimientos gigantes de oro orogénico como: Muruntau (140 M Oz Au), Kalmakyr (93 M Oz Au), Kumtor (19 M Oz Au), Jilau (4 M



Oz Au), Sawayerdun (3.0 M Oz Au) y otras más.

Los depósitos de oro orogénico hospedados en sedimentos metamorfizados de la región Puno, están a lo largo de una franja tectónica de orientación NW-SE con dimensiones de 175 Km x 75 Km, hay más de 50 depósitos y 100 ocurrencias de mineralización aurífera, distribuidos en la Cordillera Oriental y sus vertientes oriental y occidental entre altitudes de 5,300 a 500 msnm; desde el distrito de Ananea (mina La Rinconada) al sur (frontera con Bolivia), hasta el distrito de San Gabán (minas artesanales y lavaderos de oro), al noroeste de Puno.

Estratigráficamente se encuentran en los 4 Km de rocas pelíticas del Ordovícico Superior al Devónico, componentes litológicos de la cordillera Oriental; sedimentos é intrusivos en ambiente de transarco, afectados por la tectogénesis Herciniana y Andina, intensamente plegados a fines del Devónico Superior (Fase Eohercínica) con metamorfismo epizonal y plutonismo sin y post tectónico. Las formaciones Purumpata, Sandia y Ananea con litología compuesta de pizarras, siltitas y metareniscas, son lugares clave para la exploración de mineralización del tipo orogénico.

La conjunción de los Controles de Mineralización determina condiciones apropiadas para hospedar mineralización aurífera, los principales controles son: Litológicos, estructurales, mineralógicos, grado de metamorfismo, hidrotermales metamórfico y re movilización de sulfuros y oro (Valdivieso y Mc Iver, 2018).

2.13 ANTECEDENTES

Quino (2017). “Exploración Geoquímica y Determinación de Elementos *Pathfinder* - *Target* Proyecto: Achanizo Chaparra - Caravelí - Arequipa”, indica que el elemento explorador (*Pathfinder*), en su zona de estudio 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.

Cossio y Rivera (2017). “Caracterización Geoquímica del Elemento Zinc en la Mina Toquepala y sus implicancias en el tratamiento metalúrgico”, en este trabajo se utilizaron los datos del análisis geoquímico en donde se aplicó el método analítico deductivo, secuencial y que mediante el análisis de los datos geoquímicos de los elementos: Zn-Cu-Mo—Fe-As-Pb y el proceso cuantitativo a través de la estadística y la graficación de los datos de las abundancias de los elementos designados en la presente investigación se llega



a la caracterización geoquímica del zinc y los otros elementos.

Chura (2017). “Evaluación Geológica de la Veta Serpiente del Yacimiento Muccumayo Carabaya - Puno” yacimiento Muccumayo ubicado en la comunidad campesina de Upina, en el margen de la cordillera oriental dentro de la franja de oro orogénico, en el ítem de análisis de correlación geoestadístico obtuvo como resultado, muestras que existe una alta correlación (99.90%). Entre el Pb y Sb, paralelamente la correlación entre Pb y Sb/Zn. (99.40%), el Au con el As tiene una correlación de. (72.57%). Se determina que el elemento As es un excelente trazador (*Pathfinder*) para el Au.

INGEMMET (2017). “Atlas Geoquímico del Perú”, como parte de sus estudios regionales, inició la elaboración del Atlas Geoquímico del Perú con la finalidad de conocer el comportamiento de los elementos químicos, El análisis y procesamiento estadístico de los datos geoquímicos se fundamentó en la determinación de poblaciones estadísticas representativas, debido a que el comportamiento geoquímico puede ser caracterizado de manera óptima mediante la aplicación de modelos estadísticos descriptivos. Es así que las poblaciones estadísticas definidas corresponden a los ambientes de formación y litologías, Es importante señalar que se procesaron estadísticamente los siguientes elementos químicos: Au, Ag, Cu, Mo, Pb, Zn, Cr, Ni, Co, As y Hg; debido a su importancia económica

Aguirre (2017). “Caracterización y Exploración Geológica del Proyecto Crucero - Puno” del Proyecto Crucero de la empresa Pacacorral, ubicado en el distrito de crucero dentro de la cordillera oriental, obtuvo como resultado la relación y/o afinidad geoquímica de los elementos Au, As y Sb, llegándose a determinar que el As y Sb son posibles elementos indicadores dentro del proyecto indicado. Este proyecto tiene una similitud con la zona que se pretende estudiar en Usicayos.

Mc Iver et al (2013). “Caracterización Geoquímica de la Mineralización Aurífera del Yacimiento Orogénico Ollachea Cordillera Oriental-Sureste del Perú”, El detalle del estudio geoquímico de muestras de rocas superficiales, subterráneas y testigos de perforación han sido procesados y disgregados para cada horizonte de la Formación Ananea y de la Formación Sandia; el estudio estadístico fue realizado, utilizando aproximadamente 9,000 muestras. Se consideran como anomalías a los valores mayores



a 0.2 ppm Au y 2,940 ppm As. Los resultados de la Correlación Pearson indican una débil a moderada correlación Au-As (0.30 a 0.61) en la Formación Ananea y una correlación negativa Au-As (-0.13 a -0.08) en la Formación Sandía. Llegando a concluir que aun siendo moderado su correlación de Pearson, el arsénico es el principal y único elemento *Pathfinder* para la exploración de oro en el distrito; su asociación al oro permite identificar y definir la continuidad de la mineralización aurífera dentro de la Formación Ananea.

Luque (2013). “Geología Económica del Proyecto Ollachea, Distrito Ollachea-Carabaya-Puno”, en el ítem análisis estadístico de muestras, los resultados de laboratorio de las muestras de sedimentos, rocas y de canales se tuvieron que calcular ciertos parámetros como el valor de fondo (*background*), el umbral (*threshold*) y el valor por encima del cual una concentración geoquímica puede considerarse anormal (anomalía). Para el procesamiento y análisis de muestras, la cantidad de estas fueron homogéneas y de la misma población. Como resultado se obtuvo que la correlación del oro con el arsénico es moderada (0.53).

Rivera y Chira (2009). “Análisis correlacional y caracterización geoquímica de la mineralización de las cuencas de los ríos Chilca, Mala, Omas. Departamento de Lima. Perú”, el presente estudio geoquímico-estadístico involucra treinta y siete elementos químicos, catorce de ellos denominados metales pesados como As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, V, W, Zn, Las ocurrencias de mineralización filoniana de Cu, Pb, Zn, la abundancia de los elementos trazas y la correlación multivariado de los elementos en los tres ríos refleja la mineralización económica predominante, en el río Chilca Zn, Cd, Pb, en el río Mala Cu, Co, Cr y en río Omas Cu, Pb, Zn. Los demás elementos no constituyen indicadores de esta mineralización al no haber una buena correlación entre ellos, debido al, probable, diferente origen de procedencia, a la morfología de los yacimientos y al nivel de erosión del terreno.

Rivera et al (2004). “Análisis correlacional y evolutivo de los metales pesados en sedimentos del río Santa entre Huaraz-Carhuaz, departamento de Ancash”, el presente estudio geoquímico-estadístico de catorce metales pesados en sedimentos de quebradas en un sector del río Santa, demostró que los metales que tienen una distribución normal son Cr-Cu-Mo-Pb-V y distribución lognormal As-Cd-Fe-Hg-Ni-Sb-Sn-W-Zn. El análisis



de correlación de Pearson y el análisis de componentes principales determinaron cinco componentes: 1) Zn-Cd-Pb-As-Cu-Sb-Sn-Fe, 2) Ni-Mo-V-W-Fe, 3) W-Fe, 4) Cr-Hg-Fe, 5) Hg.

Monge y Zedano (1996). En estudios realizados por INGEMMET sobre la “Geología del Cuadrángulo de Limbani de la hoja 29x”. estudios geológicos y geoquímicos, del cual se obtiene data de la geología regional y geoquímica regional, según los resultados estadísticos, las poblaciones de rocas se pueden interpretar que en el paleozoico inferior mejora los valores de oro. Según la Correlación Rank, no se nota asociaciones fuertes en el cual el oro esta débilmente asociado con el plomo y el arsénico.



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

Los equipos y materiales utilizados en el área de estudio definieron los parámetros de cartografiado y obtención de muestras para análisis de prospección geoquímica y resultados, lo cuales se detallan a continuación:

Equipos de campo:

GPS marca Garmin GPSMAP64s.

Brújula marca Brunton.

Lupa 10x – 20x marca Iwamoto.

Cámara fotográfica

Lápiz rayador.

Lápiz imán.

Libreta de campo marca *Rite in the rain all Weather*.

Martillo de geólogo *Estwing E3-24blc*.

Ácido Clorhídrico (HCL).

Protactor de diferentes escalas marca *Westcott*.

Lápices de colores.

Plumones marca *Sharpie*.

Materiales de campo:

Bolsas de polietileno para muestreo (20x40cm).

Precintos de Seguridad.

Tarjetas de codificación para muestras (Palamina SAC).

Muestras estándares compradas de la empresa *ORE RESEARCH & EXPLORATION* con certificados de calidad OREAS 215, OREAS 216, OREAS 220 y OREAS 223.

3.2 METODOS DE TRABAJO

El presente trabajo de investigación se realizó con la metodología del tipo cuantitativo y descriptivo; las concentraciones geoquímicas de los elementos en las muestras obtenidas en cada estructura mineralizada que están dadas en unidades de ppm y porcentaje, las asociaciones que se obtuvieron luego del análisis estadístico univariado, bivariado y

multivariado conforman la parte cuantitativa. Un ejemplo de esto lo hizo (Cossio y Rivera, 2017), para cuantificar el contenido de Zinc en la Mina Toquepala, así aplico la estadística univariado, bivariado y multivariado en muestras con geoquímica multielemental (Au+35 elementos – ICP OES). Lo descriptivo son la caracterización geológica de las estructuras, su mineralogía y tipo de roca encajonante.

Hernández et al (2004), indica que, en las investigaciones cuantitativas, el proceso no necesariamente se aplica de manera secuencial y rígida, porque las características del entorno tienen mucha influencia. Para llegar al objetivo planteado se sugirieron las siguientes etapas mostradas en la figura N°12:

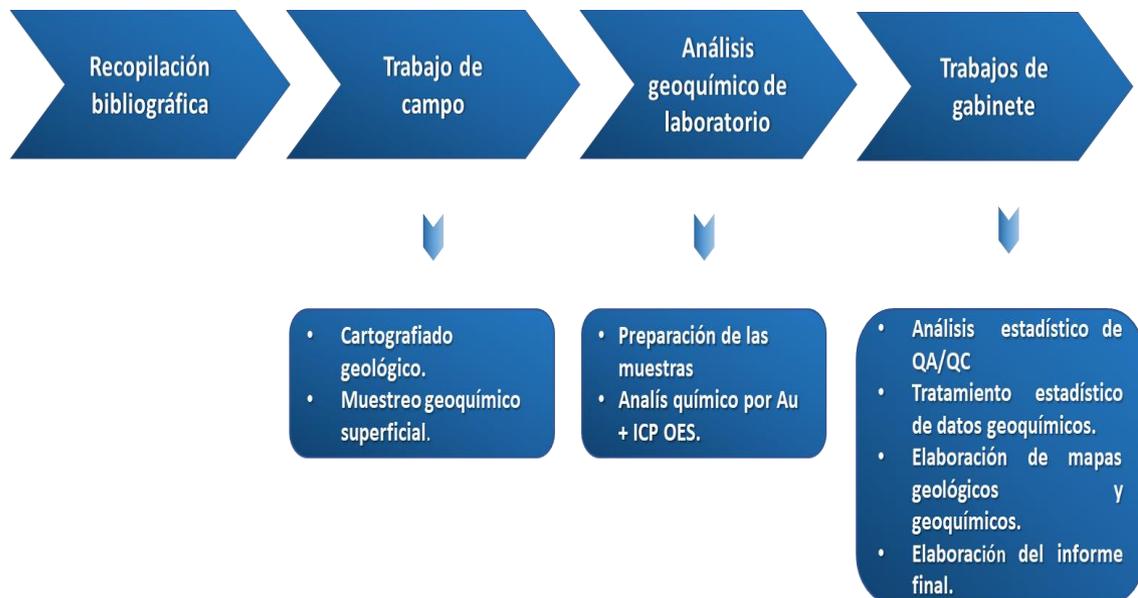


Figura N°12. Modelo de estructura de diseño de la metodología de trabajo.

3.2.1 Recopilación y revisión de información bibliográfica

En esta etapa se desarrolló la síntesis bibliográfica en función a la información preexistente del área a estudiar, en el cual se recopiló: boletines, artículos e informes técnicos de empresas. También se obtuvo mapas geológicos y geoquímicos a escala regional 1: 100 000 que circunscriben al cuadrángulo de Limbani de la hoja 29x – 29v. También se utilizaron imágenes de satélite de alta resolución espacial, las cuales se obtuvieron mediante el programa SASPlanet, esto para la identificación de sectores en donde se hizo la prospección geoquímica.

3.2.2 Trabajos de campo

3.2.2.1 Cartografiado geológico

En esta etapa se procedió al cartografiado geológico a escala mayor de 1: 5000 del área de interés en cual se puso énfasis en la litología, características geológicas de las estructuras mineralizadas y geología estructural, se tomó datos de azimut, buzamientos y espesor de las vetas, foliación de las rocas y fallas locales, los cuales fueron plasmados en diferentes planos.



Figura N°13. Cartografiado geológico superficial de canales de muestreo de estructuras mineralizadas.

3.2.2.2 Muestreo geoquímico

Para el muestreo geoquímico se aplicó el método aleatorio simple, el cual se hizo en vetas aflorantes en superficie, para determinar posibles valores umbrales exploratorios e identificar si existen valores anómalos en contenido aurífero.

3.2.2.3 Recolección de muestras

Se recolectaron 340 muestras geoquímicas superficiales, tomadas de forma aleatoria no sistemática sobre estructuras mineralizadas, se hicieron canales perpendiculares a las estructuras mineralizadas y oblicuas a la foliación de la roca, La primera etapa fue el marcado de la superficie donde se tenía que hacer el muestreo, esto se hizo con pintura de color rojo, en donde el personal de muestreo hará su trabajo. Le sigue una segunda etapa que es el desbroce y/o limpieza de la capa meteorizada, que normalmente es de 2cm de profundidad. Luego de hacer el desbroce se extrae la muestra mediante canales de 1-2

m. de longitud, 0.10-0.15 m. de ancho y 0.05 m. de profundidad a base de combo (3 libras) y cincel (punta plana y/o punta de diamante).



Figura N°14. Muestreo geoquímico in situ, limpieza de canales, muestreo y toma de datos superficiales



Figura N°15. Muestreo geoquímico tipo canal en afloramiento de Pizarras con vetillas de cuarzo.

3.2.2.4 Etiquetado de muestras

Una vez recolectadas las muestras en campo, estas tuvieron que ser: registradas, etiquetadas con código (de acuerdo a protocolos numéricos de la empresa), embolsadas en bolsas de polietileno grueso y selladas con precinto de seguridad in-situ para evitar alguna contaminación. Luego las muestras fueron transportadas al campamento base para

posteriormente elaborar la cadena de custodia según la matriz de muestreo, y finalmente enviarlas al laboratorio.



Figura N°16. Muestra de canal etiquetada y sellada en campo cumpliendo los estándares de QA/QC.

3.2.3 Preparación y análisis geoquímico de muestras

3.2.3.1 Preparación de muestras

los principales procesos para la preparación mecánica que emplea el laboratorio Certimin S.A.C. para la obtención de muestras homogéneas y representativas con la granulometría adecuada para el análisis químico son:

Pesado y Secado a 100°C

Triturado, malla -10 hasta alcanzar 95% de la granulometría

Cuarteo

Pulverizado malla -140

Tamizada

Codificado y envió

3.2.3.2 Análisis geoquímico de muestras por Au + ICP-OES

Esta etapa es fundamental en el trabajo geoquímico de prospección y exploración, el cual consiste en el seguimiento del proceso de los análisis geoquímicos que se hicieron en las muestras de roca obtenidas en las estructuras mineralizadas. En esta investigación las muestras recolectadas fueron preparadas y analizadas por el laboratorio Certimin S.A., siguiendo protocolos de controles de calidad.



Para determinar Oro en las muestras se utilizó el ensayo al fuego por el método de análisis químico Absorción Atómica (AAS) y gravimetría cuando los resultados fueron mayor a 10 ppm, para Arsénico con digestión de agua regia (AAS); para los elementos restantes se utilizó la metodología de análisis multielemental por ICP-OES.

3.2.4 Trabajos de gabinete

3.2.4.1 Aseguramiento y control de la calidad

Para la obtención de información consistente y confiable se implementó el protocolo de aseguramiento y control de la calidad (QA/QC), de 377 muestras analizadas por laboratorio, 37 muestras son de control (12 duplicadas, 12 estándares y 13 blancos), para asegurar tanto la precisión, exactitud y contaminación de las muestras en laboratorio (anexo 1), la inserción de las muestras de control de calidad fue asignada de manera aleatoria, teniendo así en cada lote de 30 muestras, 3 muestras fueron controles, es decir; 1 duplicado, 1 estándar (OREAS 215, OREAS 216, OREAS 220 y OREAS 223) y 1 blanco. Luego del análisis estadístico para cada control de calidad, los resultados fueron comparados con los límites y rangos de aceptabilidad para los parámetros de calidad, después de esto los datos de los ensayos analíticos pasaron a la etapa del tratamiento estadístico.

3.2.4.2 Censuramiento de datos, cambio de unidades y conversión a escala logarítmica

Para hacer el tratamiento estadístico, primero se procedió al censuramiento de datos, bajo el criterio de Cáceres (2008), fueron eliminados del análisis estadístico de datos, aquellos elementos que tienen más del 50 % con valores por debajo de su límite de detección y para los cálculos estadísticos con valores menos del 50% de su límite de detección, han sido reemplazados por el 65% del valor del límite de detección, segundo se uniformizo las unidades de todas las variables a la unidad de ppm, Por último, cuando se trabaja con datos geoquímicos, es mejor ajustarlo a un patrón de distribución, hasta ahora, el patrón de distribución lognormal parece ser el más aplicable a los resultados de la mayoría de los estudios geoquímicos (Ahrens, 1957), por eso todos los datos presentados para el análisis estadístico univariado, bivariado y multivariado fueron procesados a escala logarítmica los cuales se contrastan con el análisis de Prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov.



3.2.4.3 Análisis y procesamiento estadístico de los resultados geoquímicos

Se analizó y procesó la información de resultados de muestras geoquímicas mediante el análisis estadístico descriptivo aplicado, los parámetros geoquímicos-estadísticos más utilizados en la prospección geoquímica y exploración de yacimientos metálicos son la descripción estadística univariada (histogramas, diagramas de BoxPlot, diagramas de Q-Q plot normal) los cuales tipifican la distribución estadística de cada variable, correlación de Pearson indica la afinidad y/o asociabilidad de dos variables y análisis de componentes principales (ACP) es una metodología o modelo matemático que se empleó para determinar asociaciones geoquímicas relevantes, todos estos métodos estadísticos son corroborados en los trabajos de Rivera, et al (2004) en rocas del cretáceo y Neógeno, en el de Cossio y Rivera (2017), Rivera y Chira (2009) y Ingemmet (2017) atlas geoquímico del Perú que indican la práctica y la metodología que se aplicó en este trabajo de investigación. con la utilización de softwares estadísticos como Excel, ioGAs, Minitab 18 y SPSS 25, con el cual se determinaron los valores de fondo, anomalías geoquímicas y la correlación del elemento Oro con otros elementos químicos.

3.2.4.4 Elaboración de mapas

Se elaboraron mapas geológicos mediante la interpretación de litología, geología estructural y estructuras mineralizadas a partir de datos tomados en el cartografiado geológico superficial. Los mapas de concentraciones y tendencias geoquímicas se elaboraron a partir de la data geoquímica con el que se determinaron parámetros estadísticos y anomalías geoquímicas para los elementos de mayor importancia como As y Au, dichos mapas se elaboraron a escala de 1:5000, para este trabajo se utilizó el software de sistema de información geográfica ArcGIS 10.3, modulo ArcMap.

CAPITULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

El proyecto Veta, se encuentra ubicado a 4.5 Km al Noreste del pueblo de Usicayos en la quebrada Juchuy Chuaña Machaca, dentro de la concesión minera Coasa 15 que pertenece a la empresa Palamina S.A.C. como se muestra en la figura N°17; políticamente pertenece al distrito de Usicayos, provincia de Carabaya, región Puno, el área de estudio se encuentra entre una altura media de 4,200 m.s.n.m.

El acceso hacia el proyecto Veta desde la ciudad de Lima - Juliaca es vía aérea, y de la ciudad de Juliaca se realiza por el siguiente recorrido vía terrestre: Juliaca – Azángaro – San Antón – desvío Crucero - Carlos Gutiérrez, (vía asfaltada 2:12 h), de Carlos Gutiérrez – Usicayos – punta carretera, (vía afirmada 1:15 h), y de punta carretera – proyecto Veta, (camino de herradura 2:00 h). el acceso y medio de transporte hacia el proyecto Veta se describe en la tabla N°8.

Tabla N°8: *Accesos y medio de transporte hacia el proyecto Veta*

Ruta	Acceso	Medio de transporte	Distancia Km.	Tiempo h.
Lima - Juliaca	Aéreo	Avión	839.00	01:30
Juliaca - Azángaro	Asfaltado	Camioneta	67.00	00:55
Azángaro - San Antón	Asfaltado	Camioneta	55.00	00:40
San Antón – Desvío Crucero	Asfaltado	Camioneta	38.00	00:30
Desvío Crucero – Carlos Gutiérrez	Asfaltado	Camioneta	7.00	00:07
Carlos Gutiérrez - Usicayos	Afirmada	Camioneta	42.00	01:05
Usicayos – Punta carretera	Afirmada	Camioneta	3.00	00:10
Punta carretera– Proyecto Veta	Herradura	Caminando	6.50	02:00
Total			1057.50 km	06:57 h.



Figura N°17. Mapa de ubicación y accesos al proyecto Veta.



4.2 GEOLOGÍA LOCAL

4.2.1 Litología local

El proyecto de investigación está ubicado en el flanco Este de la Cordillera Oriental, dentro del corredor metalogenético de oro orogénico Paleozoico, caracterizado por sedimentos silico- aluminosos metamorfizados ubicados dentro de la facie de esquistos verdes, de metamorfismo regional.

En el área de estudio la litología local predominante consta de rocas Silúrico – Devónicas de la formación Ananea principal metalotecto del emplazamiento mineral, caracterizada por una secuencia gruesa de roca Pizarra gris limolítica, Pizarra negra y Pizarra esquistosa producto del metamorfismo de contacto, Hacia la parte Noroeste del Proyecto Veta aflora el batolito de Coasa de edad Pérmico superior de composición granítica este afloramiento ha influido en las rocas circundantes presentándose así un grado de metamorfismo mayor.

4.2.1.1 Unidades litológicas de la formación Ananea (SD-a)

La formación Ananea presentan en el área de investigación una morfología abrupta el cual está caracterizada por una gruesa secuencia de Pizarra gris limolítica con niveles de Pizarras negras bituminosas de foliación moderada a fuerte, los cuales desarrollaron andalucitas diseminadas polidireccionales a lo largo del corredor mineralizado, con presencia de niveles micáceos. Esta secuencia pizarrosa al contacto con el cuerpo plutónico muestra una aureola de una esquistosidad leve, el cual presenta un aspecto masivo y bien compacto. Las orientaciones de los estratos presentan azimuts de entre 70° a 100° y buzamientos que van desde los 30° a 85° hacia el SE, la mineralización aurífera ocurre dentro de esta unidad litológica en forma de vetas y venillas de cuarzo.

Las pizarras en general se encuentran estructuralmente falladas y plegadas, a su vez son cortadas por intrusiones de tipo diques y sills sub paralelas a la foliación de las rocas metamórficas, son de granulometría fina asumiéndolos como rocas de composición microdiorítico.

Pizarra gris limolítica (SD-a), aflora en toda la zona del proyecto Veta, roca compacta de color gris oscura de grano fino con diseminación de pequeños cristales tubulares de andalucita de color gris claro y diseminación de micas blancas, con débil a moderada foliación. Esta a su vez se encuentra intercalada en horizontes con la pizarra negra bituminosa (ver figura N°18).



Figura N°18. Pizarra gris limolítica con contenido de cristales romboédricos de andalucita.

Pizarra negra bituminosa (SD-a), aflora en todo el proyecto Veta en cotas menores, roca de color negra bituminosa de grano muy fino con diseminación de pequeños cristales tubulares de andalucita de color gris claro y finísimas diseminaciones de moscovita, se diferencia por presentar una marcada intensidad de moderada a fuerte foliación (ver figura N°19).



Figura N°19. Pizarra negra bituminosa con contenido de cristales romboédricos de andalucita.

Pizarra esquistosa (SD-a), roca compacta de color gris oscura y de aspecto calcinada, producto del metamorfismo de contacto con el Plutón de Coasa, su granulometría es de

grano fino a muy fino, con esquistosidad débil, presentan concentraciones bajas de grafito y cordieritas diseminadas. esto se observa al NW del proyecto Veta (ver figura N°20)



Figura N°20. Pizarra esquistosa compacta con contenido de cristales romboédricos de andalucita.

4.2.1.2 Rocas intrusivas

Plutón de Coasa (Ptr - co/gr), aflora al Noroeste del área de estudio, de composición granítica leucocrática, de textura porfirítica con fenocristales de feldespatos potásicos de tamaño de 1 a 5 cm y pequeñas biotitas, intruyen a las rocas metamórficas de la formación Ananea formando así una aureola de mayor grado de metamorfismo.

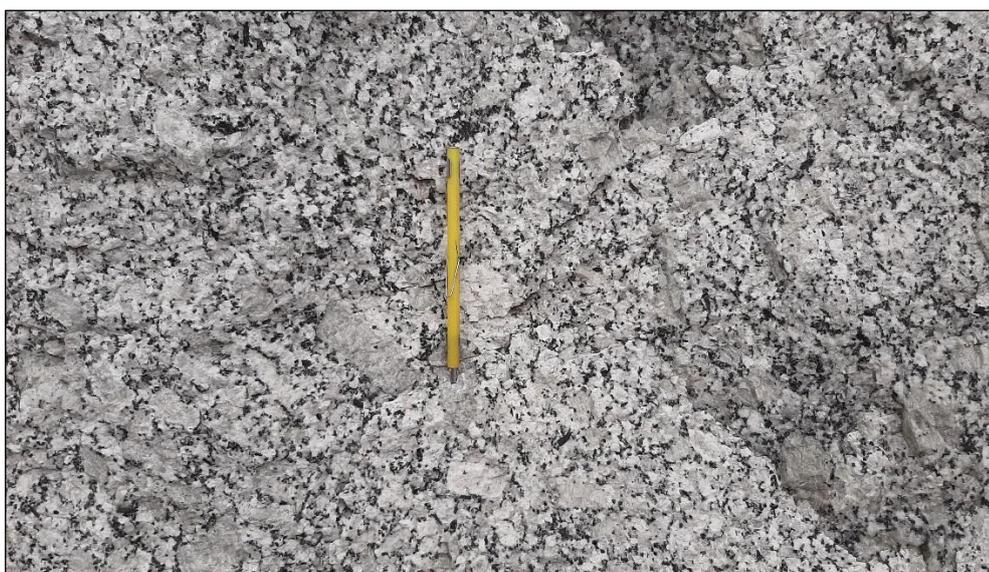


Figura N°21. Roca intrusiva granítica del Plutón de Coasa con fenocristales de feldespatos.

Este batolito de Coasa a su vez presenta diversas digitaciones que salen en forma de diques que cortan a las capas y a las estructuras mineralizadas. El intrusivo presenta fallas y fracturas moderados de dirección NO-SE.

Intrusivo de tipo sill y dique, en forma general se tiene diversos intrusivos en forma de sills y diques de granulometría fina asumiéndolos como rocas de composición microdiorítico, estos intrusivos al parecer tienen diferente génesis de emplazamiento, diferenciando así a diques verticales de emplazamiento kilométrico los cuales presentan cierta variación composicional y son cortantes a las rocas Pizarra así como también son cortantes al intrusivo del batolito de Coasa, siendo estos de edad relativamente más jóvenes, presentan una orientación predominante de norte a sur con tendencia radial hacia el Sur sugiriéndose una génesis proveniente de las entrañas del mismo batolito hacia el Noreste de Veta. Por otro lado, se encontrarían a los intrusivos en forma de sills paralelos a sub paralelos a las capas metamórficas, hacia la zona central de la zona Veta, estos sills cortan la mineralización pre existente y presentan buzamientos con dirección hacia el Suroeste, se sugiere un a génesis distinta a las intrusiones tipo diques, teniendo como origen sugerente a una potente intrusión de dirección Noroeste ubicada hacia el Sureste de la zona Veta.



Figura N°22. Intrusivo en forma de dique, de composición microdiorítico.

4.2.1.3 Cuaternario

Depósitos aluviales (Qh-al), Se encuentran expuestas a lo largo de toda la quebrada

Juchuy Chuaña Machaca y quebradas aledañas, están constituidos por, guijarros, gravas, arenas, limos y arcillas de composición heterogénea con mala estratificación.

Depósitos coluviales (Qh-co), Estas acumulaciones se encuentran mayormente en los fondos de taludes, conformadas por clastos angulosos acumulados por erosión mecánica. Estos materiales acumulados no transportados son propios de los afloramientos de la zona.



Figura N°23. Fotografía tomada de E:396130 N: 8441712 vista panorámica NE del proyecto Veta delimitando sus litologías y mostrando el área de la ubicación del Proyecto Veta.



Figura N°24. Fotografía tomada de E:397278 N:8442261, vista al NO del proyecto Veta, Pizarra de grano medio con niveles de Pizarra negra, Pizarras esquistosas al contacto con el intrusivo de Coasa.



Figura N°25. Mapa geológico local

4.2.2 Geología estructural local

La Geología Estructural es compleja y difusa, debido a los múltiples eventos tectónicos del Hercínico y Andino, existe movimiento por el emplazamiento del batolito de Coasa y otros menores. Los principales rasgos estructurales son compresivos, el proyecto Veta forma parte del corredor estructural (shear zone) de dirección NE-SW, con desplazamiento transcurrente formando una estructura tipo dúplex en forma de flor positiva, que al tener movimiento inicial dextral, condiciona espacios para el emplazamiento de fluidos auríferos, genero vetas y venillas cortantes y/o oblicuas al desplazamiento inicial, coincide con un sistema tipo Riedel rellenando espacios de dirección anti Riedel.

Inicialmente hubo un movimiento dextral que habría ocurrido durante el ciclo orogénico Hercínico en la fase Eohercínica, posteriormente se evidencian movimientos de reactivación sinistral a lo largo de zona de fallas-cizalla y sobreimpresión de estructuras de las zonas distensivas y compresivas, cortadas por fallas normales, resultante de la cizalla inverso sinistral que cabalga la Formación Ananea sobre el Grupo Ambo con dirección E-W (cizalla Phusca), finalmente se observa fracturamiento sub horizontal el cual corta rocas pizarra y granito del batolito de Coasa. En el área de estudio destaca los siguientes eventos estructurales evidenciados en la zona (Figura N°26), con el presunto orden:

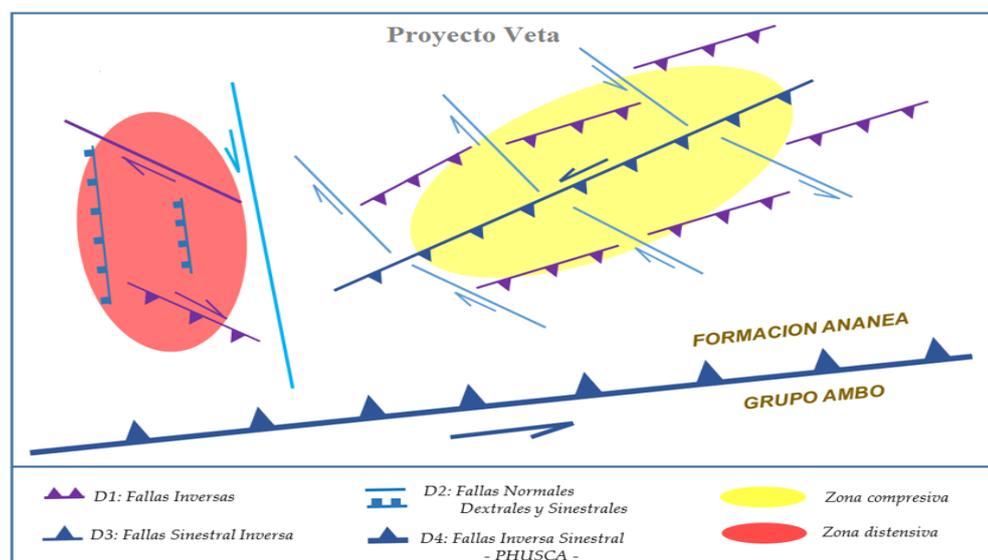


Figura N°26. Esquema estructural mostrando los eventos de deformación del proyecto Veta.

D1: Movimiento transcurrente dextral con dirección promedio de N66°E y buzamiento

30°SE, habrían formado estructuras tipo dúplex en forma de Flor Positiva, siendo la estructura favorable para la formación de estructuras mineralizadas en un sistema de cizallamiento Modelo Riedel.

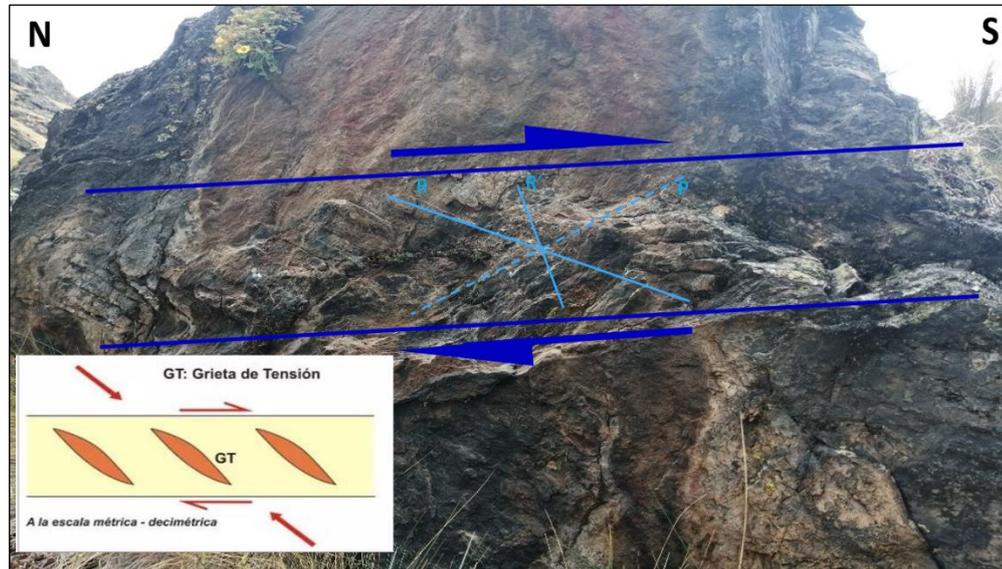


Figura N°27. Grietas de tensión poco desarrolladas dentro de una cizalla de movimiento dextral.

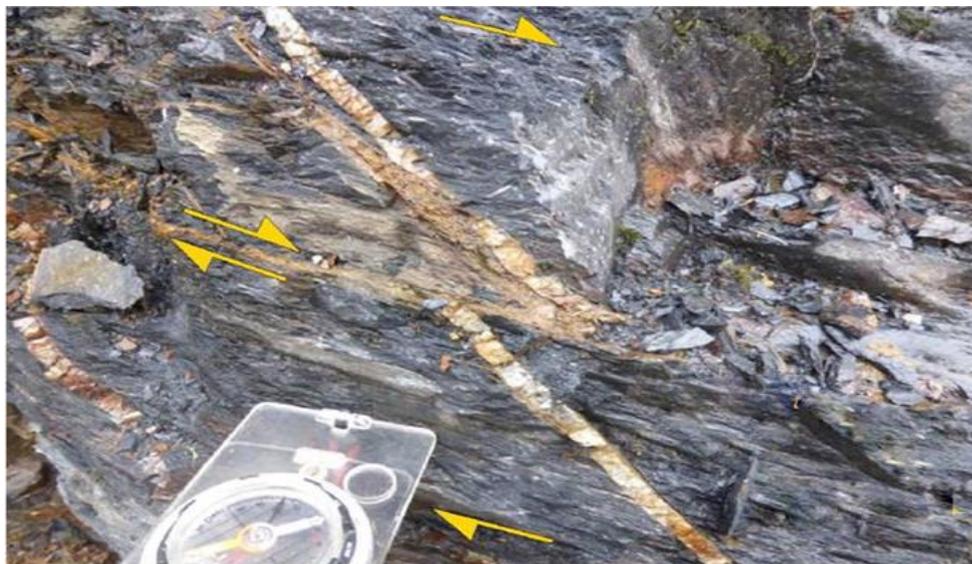


Figura N°28. Veta extensional desplazada por el plano de cizallamiento dextral.

D2: Fallamientos Normales e inversas con movimientos de rumbo dextral y sinistral de dirección Noroeste – Sureste de 130°-355° y buzamientos oscilantes al NE y SW entre 70°- 90°, cortando transversalmente todos los afloramientos de pizarras y granitos, que pudo ser causada por la falla Phusca en esfuerzos sinestrales. Estas fallas transversales no

generaron gran movimiento discordante respecto a la mineralización aurífera.

D3: Reactivación del fallamiento transcurrente dextral en sentido contrario sinistral, Corresponde propiamente a la zona de cizalla con movimientos Sinistral-Inverso. Este evento estructural genera desplazamientos inversos sinestrales a estructuras mineralizadas, que en general mantienen continuidad y secuencia de las vetas y venillas.

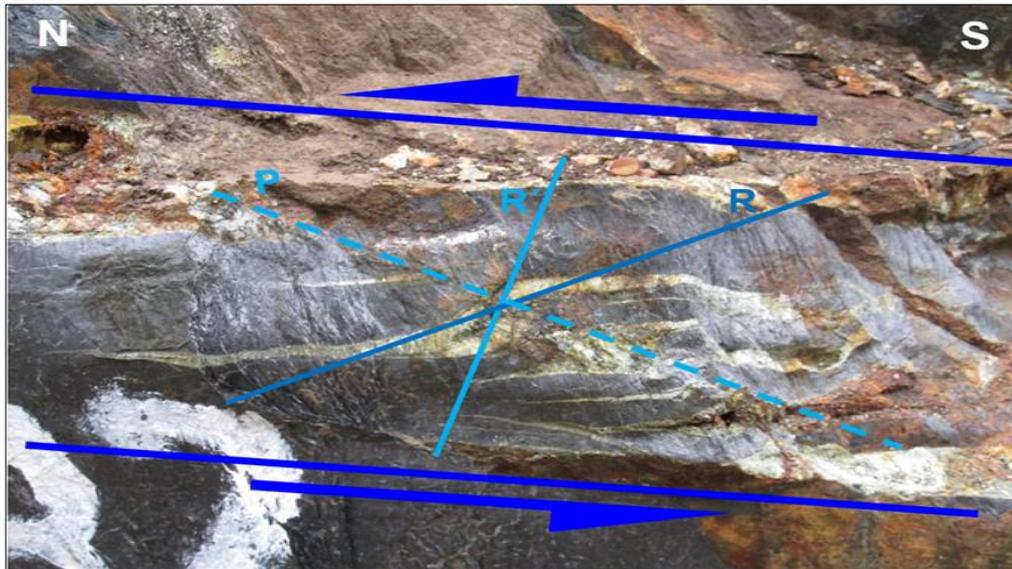


Figura N°29. Se observan Venillas tensionales sigmoidales con desplazamiento sinistral inverso.



Figura N°30. Veta extensional desplazada por el plano de cizallamiento sinistral



D4: Fallamiento de sobre escurrimiento inverso sinistral (Falla Phusca) entre la formación Ananea sobre la formación Ambo, orientación Este-Oeste, ubicado al sur de la zona Veta, genero fracturamiento normal de separación por equidad de esfuerzos, orientados con dirección al noroeste ocasionando desplazamientos normales en la parte central de la zona Veta.



Figura N°31. Mapa estructural local

4.2.3 Mineralogía

El proyecto Veta se encuentra emplazado a lo largo de un *shear zone* con dirección Noreste – Suroeste, formada a inicios del Eohercínico, caracterizada por una transición de zonas de falla a cizalla; dentro del *shear zone* se presentan estructuras de cuarzo con mineralización aurífera con orientación transversal a la estructura principal.

La mineralización corresponde a vetas y venillas que van de 1cm hasta 30 cm de potencia de cuarzo blanco-grisáceo con esporádica presencia de sulfuros como pirita, arsenopirita, a su vez ocasionalmente se tiene diseminaciones de pirrotina de forma muy puntual, presencia de óxidos de fierro y escorodita en patinas, fracturas y oquedades, estas estructuras mineralizadas presentan una orientación promedio de N 110° E y buzamientos que van desde los 60° a 85° de inclinación hacia el SO, la longitud reconocida de estas vetas sería de 100 a 500 m. y la disposición espacial de su ancho abarcaría un promedio de unos 1500 m.

Se identificaron 03 eventos de mineralización siendo más favorables las de orientación N110°E, distribuidas en la parte central de la Zona Veta, estas estructuras en el sector NE giran con orientación media de N 90° E y hacia el sector SO giran con orientación media de N 140°E.



Figura N°32. Afloramiento en la parte central, vetilla de cuarzo blanco con diseminación de sulfuros de pirita y arsenopirita y/o Óxidos de fierro y escorita.

4.2.3.1 Mineral de mena

Oro (Au), Es el principal mineral de mena del proyecto Veta, se presenta en forma libre

de grano grueso y mayormente muy fino asociado a vetas y vetillas de cuarzo blanco – gris con ensamble de sulfuros primarios de Apy-Py-Po y cloritas, se encuentra en fracturas, cavidades y en zonas de oxidación.



Figura N°33. Vetilla de cuarzo blanco – gris de 5 cm. potencia con diseminación de oro grueso.

4.2.3.2 Mineral de ganga

Cuarzo (SiO_2), Es el mineral de ganga mas abundante del proyecto Veta, se presenta en forma de vetas y vetillas en forma masiva, fracturada, granular y crustiforme de color blanco, gris y incoloro

Arsenopirita (FeAsS), Se presenta en fracturas y contactos entre cuarzo – pizarra de forma diseminada, cristales y parches de color gris plata, asociado al cuarzo, Au y Py, tambien se encuentra diseminada en la roca caja hacia los halos de contacto entre el cuarzo y la roca pizarra en formas alargadas producto de la removilizacion.

Pirita (FeS_2), Se presenta en fracturas y cavidades del cuarzo de forma masiva terrosa y cristales cubicos bien desarrollados asociados al cuarzo, Au y Apy de color amarillo laton palido.

Pirrotita (Fe_7S_8), Se presenta de forma diseminada y parches asociados al cuarzo y Py



de color bronce. Se encuentra ocasionalmente de manera muy puntual en el proyecto Veta.

4.2.4 Alteración

En el área de interés la alteración que se tiene es de oxidación, cloritización y Sericitización los cuales se presentan de manera suprimida, se presentan de forma débil en fracturas, oquedades y halos de las vetas de cuarzo en contacto con las pizarras (Figura N°29).

Oxidación, Es causado por el proceso de lixiviación y oxidación de minerales de Py y escoroditas por la oxidación del Apy en superficie. La presencia de goetita y jarosita están en patinas, fracturas, oquedades y boxwork de Py como se muestran en la figura N°33.

Cloritización, Se presenta como rellenos de fracturas en vetas y vetillas de cuarzo blanco y gris con débil intensidad y en contacto con las pizarras débil a moderado en tramos. ocurre en casi todo el sistema mineralizado, a veces acompaña a mineralizaciones de oro.

Sericitización, ensamble típico sericitas-trazas moscovita, alteración presente en vetas y vetillas de cuarzo blanco y gris con débil a moderada intensidad con algunas estructuras de moderada alteración en los halos de contacto con las pizarras (figura N°29).



CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el presente trabajo de investigación se realizó el procesamiento estadístico e interpretación de 340 muestras geoquímicas superficiales de roca (figura N°34) y 37 muestras de control de calidad, los cuales permitieron obtener un conjunto de datos robusto, para tener una visión más acertada de los resultados geoquímicos se separaron en 3 tipos de poblaciones litológicas de la formación Ananea (Tabla N°9), han sido censurados 11 variables que contenían más del 50% de valores por debajo del límite de detección, y las variables que contienen menos del 50% del límite de detección fueron reemplazados por el 65% de su valor del límite de detección para cada elemento, los cuales fueron ajustados al patrón de distribución lognormal.

En primera instancia se realizó el análisis estadístico de control de calidad de 37 muestras, con el cual se determinaron que los datos obtenidos son óptimos y confiables para la interpretación geoquímica de este trabajo de investigación.

Para la determinación de elementos buscadores de Au, se realizó el análisis estadístico bivariado de 25 elementos químicos, esto se determinó con la correlación de Pearson para determinar la relación lineal entre dos elementos que presenta las poblaciones litológicas, también se realizó el análisis estadístico multivariado de análisis de componentes principales mediante el análisis factorial y reducción de variables para determinar la asociación o clúster químicos relevantes relacionados al elemento Au.

Para la determinación de valores de fondo y anomalías geoquímicas se realizó los estadísticos descriptivos tales como la media, mediana, moda, desviación estándar, coeficiente de variación, curtosis, asimetría y rango, para describir en forma resumida el comportamiento estadístico univariado de cada variable, y para el cálculo de los parámetros geoquímicos de cada población litológica tales como el *Background* y *threshold* se usó el diagrama estadístico *Boxplot* (diagrama de cajas), mediante el cual se depuraron los valores atípicos y valores extremos de la base de datos. Con el propósito de determinar los parámetros geoquímicos con el menor sesgo estadístico posible, haciendo más confiable los resultados de todo nuestro tratamiento estadístico.



Tabla N°9. *Población estadística según la unidad litológica local.*

N°	Población Estadística	Cantidad de muestras
1	Pizarra gris limolítica	218
2	Pizarra negra	89
3	Pizarra esquistosa	33



Figura N°34. Mapa ubicación de muestras en las diferentes poblaciones litológicas



5.1 CONTROL DE CALIDAD

Como se mencionó en los capítulos anteriores la función principal del control de calidad es asegurar que los resultados durante la prospección geoquímica cumplan con los requisitos mínimos de calidad y validar los resultados de laboratorio mediante un tratamiento estadístico. Durante los trabajos de campo se recopilaron un total de 340 muestras de campo, en donde se insertaron 37 muestras de control de calidad, de la siguiente manera:

12 muestras duplicadas

12 muestras estándar

13 muestras blancas

En el capítulo II se describe los procedimientos del control de calidad, así como también los conceptos y porcentajes de inserción de muestras para la evaluación mediante análisis estadístico.

5.1.1 Muestras duplicadas

Son evaluadas mediante la precisión, este parámetro indica el grado de concordancia entre los resultados obtenidos para réplicas de una misma muestra, aplicando el mismo procedimiento experimental bajo condiciones predefinidas.

La precisión se evalúa a través del error relativo:

$$ER = 2 * [Vo - Vd] / (Vo + Vd)$$

Dónde:

Vo = Valor original

Vd = Valor duplicado

Se obtuvieron 12 muestras duplicadas y con las muestras originales hacen un total de 24 muestras, de estas muestras el análisis estadístico se hizo con los elementos As y Au; cabe decir que se incrementó el As para tener mayor certeza en el análisis de precisión y a su vez se tomó este elemento porque normalmente acompaña al Au en este tipo de yacimientos. Así, se obtuvo el promedio de cada valor de Au y As en las dos muestras, luego se aplicó una tolerancia al promedio obtenido con un 30%, con este procedimiento se obtuvieron los valores de límite permisible mínimo y máximo. Y finalmente se encontró la desviación estándar de cada par de valores y consiguientemente el coeficiente de variación en %, como se muestra en las tablas N°10-N°11 y figuras N°35-N°36 para As y Au.

Tabla N°10. Análisis de muestras originales y duplicadas de As.

Sample Original	Sample Duplicado	As_ppm Original	As_ppm Duplicado	Valor Promedio ppm	Desviación Estándar ppm	Tolerancia Permisible 30 %	Límite Mínimo Permisible ppm	Límite Máximo Permisible ppm	Coefficiente de Variación (CV) %	Error Relativo
1218	1219	2398	2701	2549.5	214.253	764.9	1784.7	3314.4	8	-12%
1248	1249	165	153	159	8.485	47.7	111.3	206.7	5	8%
1278	1279	172	229	200.5	40.305	60.2	140.4	260.7	20	-28%
1308	1309	81	52	66.5	20.506	20.0	46.6	86.5	31	44%
1338	1339	1470	1275	1372.500	137.886	411.8	960.8	1784.3	10	14%
1368	1369	165	146	155.5	13.435	46.7	108.9	202.2	9	12%
1398	1399	415	242	328.500	122.329	98.6	230.0	427.1	37	53%
1428	1429	1378	1496	1437.000	83.439	431.1	1005.9	1868.1	6	-8%
1458	1459	785	771	778	9.899	233.4	544.6	1011.4	1	2%
1488	1489	1060	937	998.5	86.974	299.6	699.0	1298.1	9	12%
1518	1519	108	97	102.5	7.778	30.8	71.8	133.3	8	11%
1548	1549	72	77	74.5	3.536	22.4	52.2	96.9	5	-7%

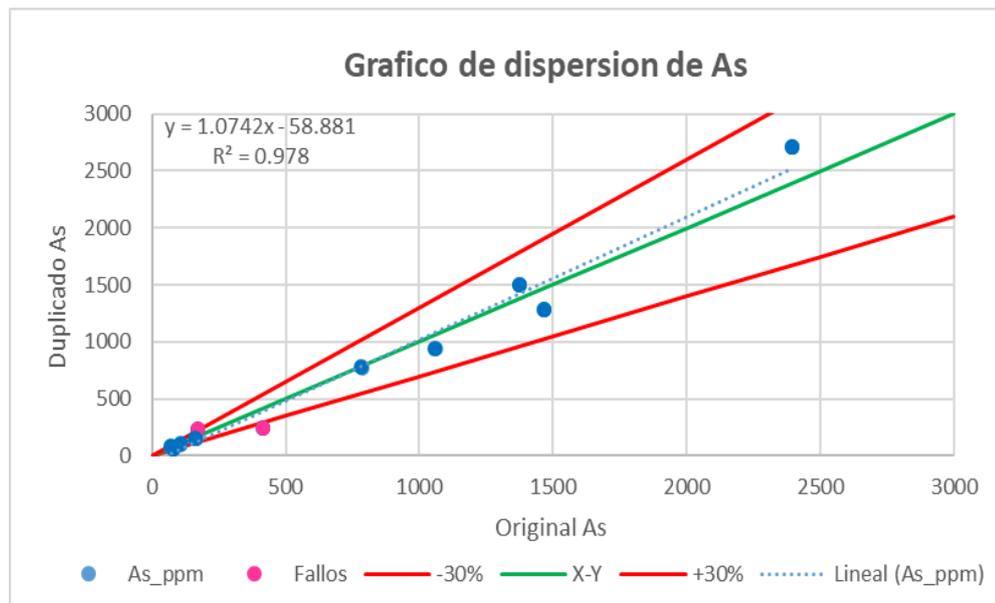


Figura N°35. Gráfico de dispersión de As de muestras originales y duplicadas.

Tabla N°11. Datos estadísticos de regresión para el As.

Estadística de regresión As	
Coefficiente de correlación	0,989
Coefficiente de determinación R ²	0,978
Coefficiente de determinación R ² ajustado	0,976
Tasa de error	16.67%

Los límites de detección del As están en el orden de 3 a 10000 ppm, el As como se sabe demarca una alta movilidad y dispersión, el coeficiente de determinación R^2 (Nivel de confianza) presenta un 0.978% (ver tabla N°11) y se encuentra próximo a la unidad indicando así una buena correlación típica. Del total de 12 pares de muestras se tiene 2 muestras fallidas, esto representa una tasa de error del orden del 16.67 %, estando así en el sector o tasa de error con los límites altos pero aceptables lo cual valida nuestra información (ver figura N°35).

Tabla N°12. Análisis de muestras originales y duplicadas de Au.

Sample Original	Sample Duplicado	Au_ppm Original	Au_ppm Duplicado	Valor Promedio ppm	Desviación Estándar ppm	Tolerancia Permisible 30 %	Límite Mínimo Permisible ppm	Límite Máximo Permisible ppm	Coficiente de Variación (CV) %	Error Relativo
1218	1219	0.945	1.166	1.0555	0.156	0.32	0.739	1.372	15	-21%
1248	1249	0.06	0.074	0.067	0.010	0.02	0.047	0.087	15	-21%
1278	1279	0.318	0.276	0.297	0.030	0.09	0.208	0.386	10	14%
1308	1309	0.044	0.045	0.0445	0.001	0.01	0.031	0.058	2	-2%
1338	1339	0.092	0.078	0.085	0.010	0.03	0.060	0.111	12	16%
1368	1369	0.033	0.032	0.0325	0.001	0.01	0.023	0.042	2	3%
1398	1399	0.502	0.577	0.5395	0.053	0.16	0.378	0.701	10	-14%
1428	1429	0.878	0.884	0.881	0.004	0.26	0.617	1.145	0	-1%
1458	1459	2.091	2.601	2.346	0.361	0.70	1.642	3.050	15	-22%
1488	1489	0.266	0.242	0.254	0.017	0.08	0.178	0.330	7	9%
1518	1519	0.6	0.718	0.659	0.083	0.20	0.461	0.857	13	-18%
1548	1549	0.497	0.51	0.5035	0.009	0.15	0.352	0.655	2	-3%

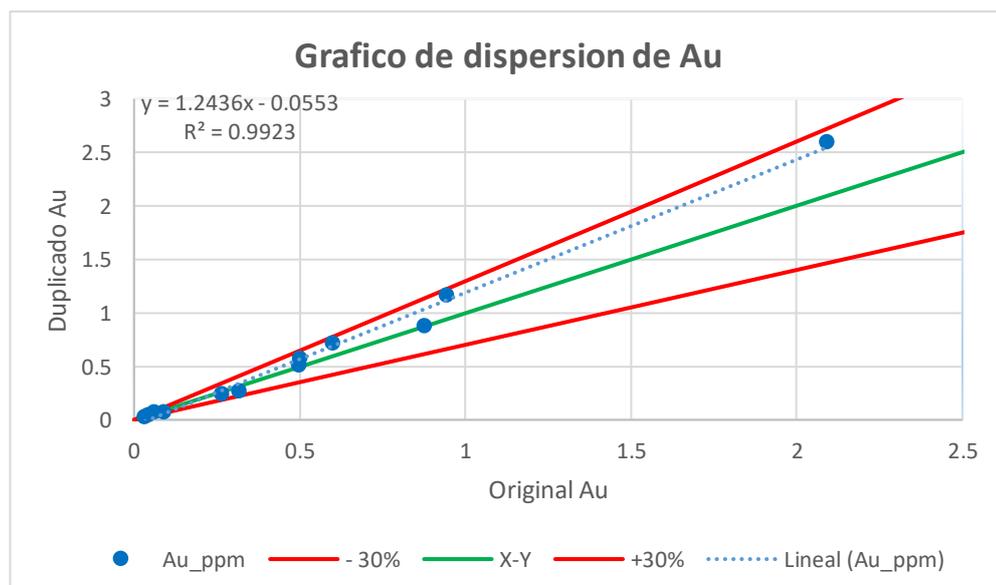


Figura N°36. Gráfico de dispersión de Au de muestras originales y duplicadas.

Tabla N°13. Datos estadísticos de regresión para el Au

Estadística de regresión Au	
Coefficiente de correlación	0.9961
Coefficiente de determinación R ²	0.9923
Coefficiente de determinación R ² ajustado	0.9915
Tasa de error	0%

Los límites de detección del Au están en el orden de <0.005 a 10 ppm, el Au como se sabe demarca una alta variabilidad y dispersión, el coeficiente de determinación R² (Nivel de confianza) presenta un 0.9923% (ver tabla N° 13) y se encuentra próximo a la unidad indicando así una buena correlación típica. Del total de 12 pares de muestras se tiene 0 muestra fallida, esto representa una tasa de error del orden del 0 %, lo cual valida nuestra información (ver figura N°36)

5.1.2 Muestras estándares

Como se indicó anteriormente las muestras estándares representan la exactitud en el análisis QA-QC, este indica el grado de concordancia entre el valor verdadero o aceptado y el experimental. Existe exactitud si las medidas realizadas son muy próximas al valor verdadero de la magnitud medida, de este modo se mide la proximidad al valor verdadero de los valores obtenidos y se determina la magnitud del posible sesgo.

Fórmula para medir el sesgo para estándares es:

$$\text{Sesgo (\%)} = (AV/BV)-1$$

Donde:

AV = representa el promedio de los valores obtenidos en el análisis del estándar.

BV = el valor aceptado del estándar.

Para este análisis se introdujo un total de 12 estándares en la población de muestras el cual representa el 3.53% del total de muestras obtenidas en campo, esto estándares fueron comprados de la empresa *ORE RESEARCH & EXPLORATION* el cual tiene certificación de calidad; los códigos de las muestras insertadas fueron OREAS 215, OREAS 216, OREAS 220 y OREAS 223 con valores promedios conocidos los cuales se detallan en la tabla N°14. El análisis de la exactitud se hizo con el Au.

Tabla N°14. Valores promedios aceptables de los elementos As - Au.

Informes	Código	N° estándares	As_ppm	Au_ppm
Oreas 215	215	03	32.8	3.54
Oreas 216	216	02	58	6.66
Oreas 220	220	03	7.1	0.866
Oreas 223	223	04	14.4	1.78

En este análisis se presenta la tabla de análisis de las muestras estándares para Au en donde al valor promedio se le suma y se resta 2 veces la desviación estándar, esto para obtener los valores mínimos y máximos permisibles.

Tabla N°15. Análisis de valores de estándares para Au.

Numero de Muestra	Código	Valores Obtenidos	Valor Promedio del Estándar "X" ppm	Desviación Estándar "SD" ppm	Límite Mínimo Permisible X-2SD ppm	Límite Máximo Permisible X+2SD ppm	Promedio X-2SD ppm	promedio X+2SD ppm
1289	OREAS 215	3.546	3.576	0.021	3.53	3.62	3.54	3.62
1439	OREAS 215	3.618	3.576	0.030	3.52	3.64	3.54	3.62
1529	OREAS 215	3.564	3.576	0.008	3.56	3.59	3.54	3.62
1229	OREAS 216	6.545	6.592	0.033	6.53	6.66	6.53	6.66
1409	OREAS 216	6.639	6.592	0.033	6.53	6.66	6.53	6.66
1349	OREAS 220	0.849	0.843	0.004	0.83	0.85	0.83	0.85
1379	OREAS 220	0.831	0.843	0.008	0.83	0.86	0.83	0.85
1469	OREAS 220	0.848	0.843	0.004	0.84	0.85	0.83	0.85
1259	OREAS 223	1.711	1.746	0.02	1.70	1.79	1.71	1.78
1319	OREAS 223	1.762	1.746	0.01	1.72	1.77	1.71	1.78
1499	OREAS 223	1.779	1.746	0.02	1.70	1.79	1.71	1.78
1559	OREAS 223	1.73	1.746	0.01	1.72	1.77	1.71	1.78

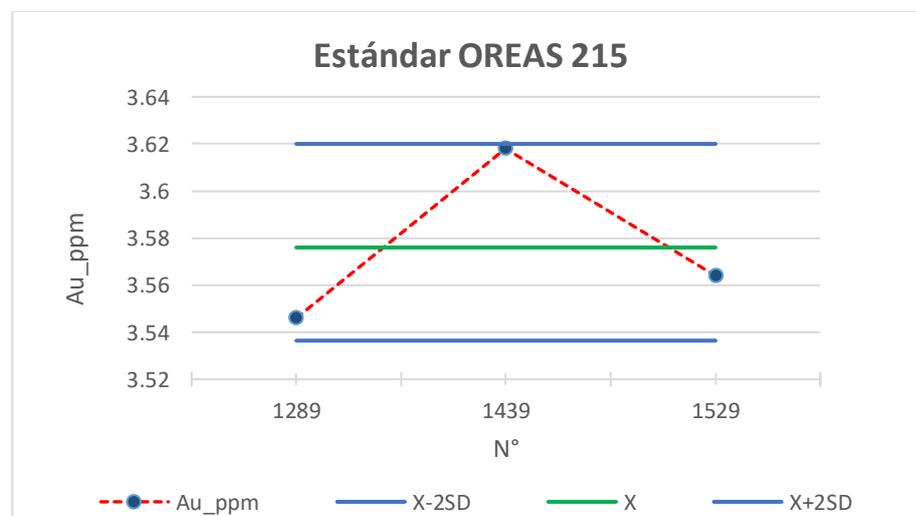


Figura N°37. Gráfico de control de estándar para Au OREAS 215

Los resultados de las muestras de estándares OREAS 215 obtenidas de laboratorio para el elemento Au no exceden los límites permisibles, obteniéndose un sesgo analítico de 1.017% que corresponde a un sesgo bueno y se encuentran inmersos dentro de los límites permisibles aceptados lo cual valida nuestro resultado analítico como exactitud apta.

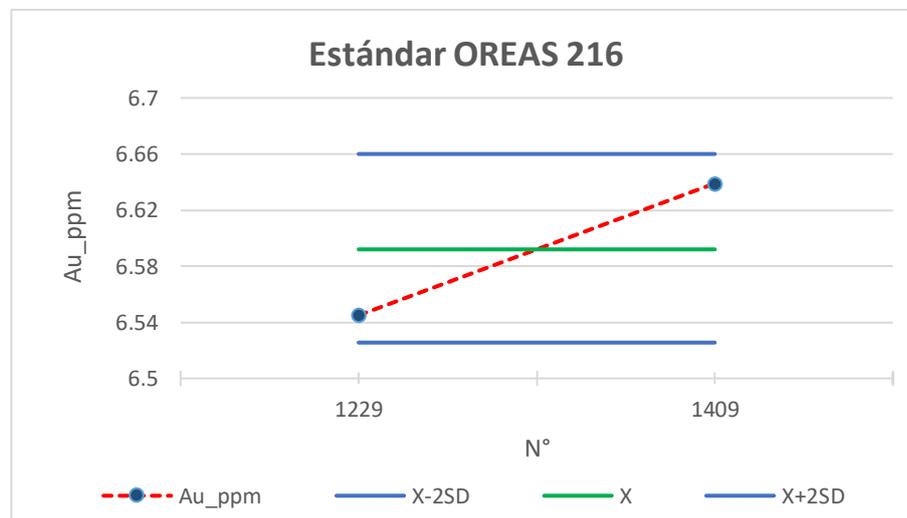


Figura N°38. Gráfico de control de estándar para Au OREAS 216

Los resultados de las muestras de estándares OREAS 216 obtenidas de laboratorio para el elemento Au no exceden los límites permisibles, obteniéndose un sesgo analítico de -1.021% que corresponde a un sesgo bueno y se encuentran inmersos dentro de los límites permisibles aceptados lo cual valida nuestro resultado analítico como exactitud apta.

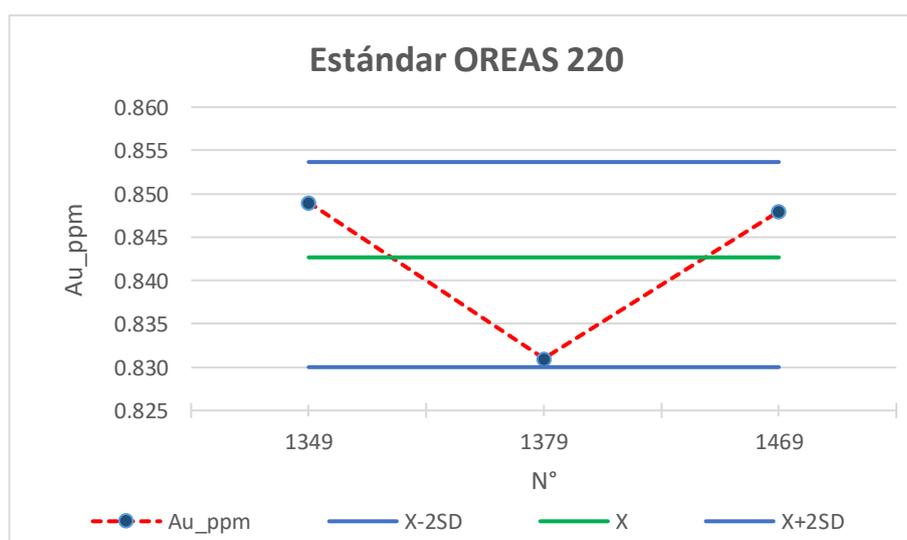


Figura N°39. Gráfico de control de estándar para Au OREAS 220

Los resultados de las muestras de estándares OREAS 220 obtenidas de laboratorio para el elemento Au no exceden los límites permisibles, obteniéndose un sesgo analítico de -2.694% que corresponde a un sesgo bueno y se encuentran inmersos dentro de los límites permisibles aceptados lo cual valida nuestro resultado analítico como exactitud apta.

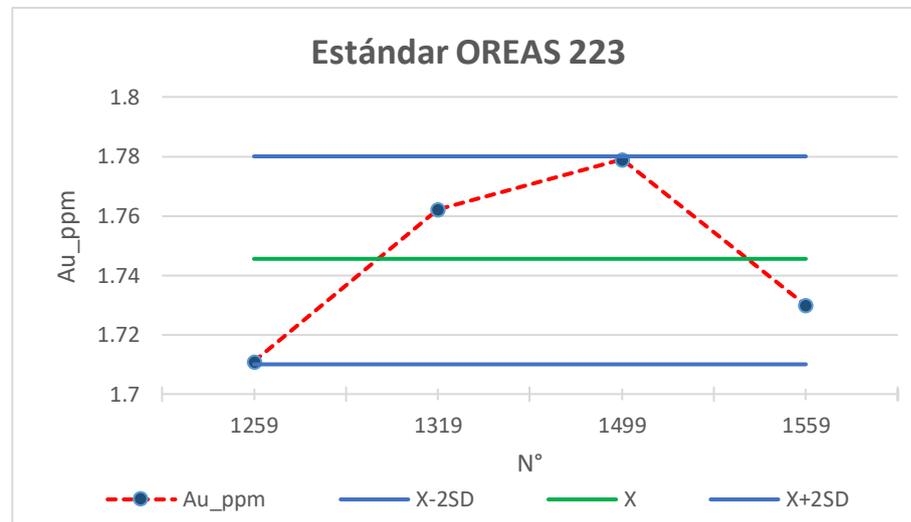


Figura N°40. Gráfico de control de estándar para Au OREAS 223

Los resultados de las muestras de estándares OREAS 223 obtenidas de laboratorio para el elemento Au no exceden los límites permisibles, obteniéndose un sesgo analítico de -1.938% que corresponde a un sesgo bueno y se encuentran inmersos dentro de los límites permisibles aceptados lo cual valida nuestro resultado analítico como exactitud apta.

5.1.3 Muestras blancas

Las muestras de blancos determinan si existe o no contaminación de las mismas, estas evalúan si existe un factor o agente extraño que podría estar afectando a la muestra, desde su preparación hasta el análisis químico. La inserción de muestras de blancos gruesos corresponde a un material estéril, en su mayoría cuarzo blanco masivo, el cual contiene bajas concentraciones de los elementos químicos estudiados. Dichas concentraciones generalmente son menores al límite de detección inferior. Para el análisis de contaminación se tomó al elemento Au para el estudio estadístico.

En la siguiente tabla N°16, se identificó un límite máximo permisible de 3 y 5 veces el valor del límite mínimo de detección, los valores obtenidos de laboratorio para el elemento As y Au se encuentran por debajo del límite máximo permisible, por tanto, las muestras no han sido contaminadas por muestras anteriores.

Tabla N°16. *Análisis de muestra de blanco para el elemento Au.*

Elemento	As	Au	Código
Unidad de medida	ppm	ppm	
Límite mínimo de detección	3.000	0.005	
Límite Máximo Permisible	15	0.015	
1209	<3	<0.005	BLANCO
1239	11	<0.005	BLANCO
1269	<3	<0.005	BLANCO
1299	6	<0.005	BLANCO
1329	<3	<0.005	BLANCO
1359	<3	<0.005	BLANCO
1389	<3	<0.005	BLANCO
1419	<3	<0.005	BLANCO
1449	<3	<0.005	BLANCO
1479	7	<0.005	BLANCO
1509	5	<0.005	BLANCO
1539	<3	<0.005	BLANCO
1569	10	<0.005	BLANCO

De acuerdo a todos los análisis estadísticos de muestras de control de calidad, se concluye que los resultados obtenidos en el laboratorio son óptimos y confiables con niveles de exactitud y precisión aceptables, validando así nuestra base de datos de las 340 muestras con sus respectivos contenidos de los elementos químicos, esto para la interpretación geoquímica de este trabajo de investigación.

5.1.4 Datos censurados y prueba de normalidad

Datos censurados

Para este análisis de censuramiento de datos se descartaron todas las muestras de control de calidad. Los resultados obtenidos en la tabla N°17 para toda la base de datos, muestra los elementos eliminados que tienen más del 50% de valores por debajo del límite de detección, tales como la Ag, Bi, Cd, Ga, Nb, Sb, Sn, Ti, Tl, W, Zr. el cual permitió obtener un conjunto de 25 elementos como; Au, Al, As, Ba, Be, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sc, Sr, V, Y, Zn con valores menos del 50% de su límite de detección, los cuales han sido reemplazados por el 65% del valor del límite de detección. Luego para la prueba de normalidad se uniformizo las unidades de las 25 variables a la unidad de ppm.

Tabla N°17: Elementos con porcentajes por debajo del límite de detección

Elementos	Au_ppm	Ag_ppm	Al_pct	As_ppm	Ba_ppm	Be_ppm	Bi_ppm	Ca_pct	Cd_ppm	Co_ppm	Cr_ppm	Cu_ppm
N° muestras	340	340	340	340	340	340	340	340	340	340	340	340
Muestras por debajo LDI	4	296	0	3	0	154	315	100	340	2	0	0
Muestras por debajo LDI %	1%	87%	0%	1%	0%	45%	93%	29%	100%	1%	0%	0%

Elementos	Fe_pct	Ga_ppm	K_pct	La_ppm	Mg_pct	Mn_ppm	Mo_ppm	Na_pct	Nb_ppm	Ni_ppm	P_pct	Pb_ppm
N° muestras	340	340	340	340	340	340	340	340	340	340	340	340
Muestras por debajo LDI	2	266	0	1	5	0	108	2	338	0	4	12
Muestras por debajo LDI %	1%	78%	0%	0%	1%	0%	32%	1%	99%	0%	1%	4%

Elementos	S_pct	Sb_ppm	Sc_ppm	Sn_ppm	Sr_ppm	Ti_pct	Tl_ppm	V_ppm	W_ppm	Y_ppm	Zn_ppm	Zr_ppm
N° muestras	340	340	340	340	340	340	340	340	340	340	340	340
Muestras por debajo LDI	37	207	29	336	0	202	336	5	320	24	0	311
Muestras por debajo LDI %	11%	61%	9%	99%	0%	59%	99%	1%	94%	7%	0%	91%

Prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov

Los resultados obtenidos de las pruebas de normalidad de Kolmogorov – Smirnov realizada para la base de datos en general (Tabla N°18), nos indican que los valores de las muestras geoquímicas no presentan una distribución normal debido a que los p-valores son menores al nivel de significancia > 0.05 , por lo tanto, tienen una distribución lognormal, significa que los logaritmos de estos valores son distribuidos siguiendo una ley normal, entonces los datos deben ser transformados a escala logarítmica para su tratamiento estadístico.



Tabla N°18: *Datos obtenidos de la prueba de normalidad de Kolmogorov – Smirnov.*

Kolmogorov - Smirnov					
Elemento ppm	Estadístico	gl	Sig.	H₀	H₁
Au_ppm	0.427	340	0.000	Se rechaza	Se acepta
Al_ppm	0.036	340	0,020	Se rechaza	Se acepta
As_ppm	0.273	340	0.000	Se rechaza	Se acepta
Ba_ppm	0.180	340	0.000	Se rechaza	Se acepta
Be_ppm	0.273	340	0.000	Se rechaza	Se acepta
Ca_ppm	0.296	340	0.000	Se rechaza	Se acepta
Co_ppm	0.122	340	0.000	Se rechaza	Se acepta
Cr_ppm	0.113	340	0.000	Se rechaza	Se acepta
Cu_ppm	0.223	340	0.000	Se rechaza	Se acepta
Fe_ppm	0.099	340	0.000	Se rechaza	Se acepta
K_ppm	0.089	340	0.000	Se rechaza	Se acepta
La_ppm	0.088	340	0.000	Se rechaza	Se acepta
Mg_ppm	0.075	340	0.000	Se rechaza	Se acepta
Mn_ppm	0.054	340	0.019	Se rechaza	Se acepta
Mo_ppm	0.287	340	0.000	Se rechaza	Se acepta
Na_ppm	0.230	340	0.000	Se rechaza	Se acepta
Ni_ppm	0.122	340	0.000	Se rechaza	Se acepta
P_ppm	0.248	340	0.000	Se rechaza	Se acepta
Pb_ppm	0.295	340	0.000	Se rechaza	Se acepta
S_ppm	0.289	340	0.000	Se rechaza	Se acepta
Sc_ppm	0.169	340	0.000	Se rechaza	Se acepta
Sr_ppm	0.186	340	0.000	Se rechaza	Se acepta
V_ppm	0.126	340	0.000	Se rechaza	Se acepta
Y_ppm	0.058	340	0.008	Se rechaza	Se acepta
Zn_ppm	0.149	340	0.000	Se rechaza	Se acepta



5.2 DETERMINACIÓN DE ELEMENTOS BUSCADORES DE ORO

5.2.1 Análisis estadístico bivariado

5.2.1.1 Correlaciones geoquímicas de Pearson

La asociación entre 2 elementos químicos se determinan mediante el Coeficiente de correlación lineal de Pearson que es un índice estadístico que se usa en prospección geoquímica para determinar el grado de covariación entre dos variables cuantitativas relacionadas linealmente, los datos son transformados a escala lognormal para un mejor contraste y correspondencia estadística, así mismo se ha realizado el análisis bivariado para cada población litológica, debido a que el comportamiento geoquímico de cada elemento es distinto para cada ambiente geológico, para este análisis de matriz de correlación tras un análisis descriptivo inicial obtuvimos estadísticos considerando así 25 elementos (Au, Al, As, Ba, Be, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sc, Sr, V, Y, Zn) y 11 variables fueron descartados (Ag, Bi, Cd, Ga, Nb, Sb, Sn, Ti, Tl, W, Zr) porque más del 50% de sus valores están por debajo del límite de detección . Las matrices de correlación de Pearson fueron calculadas con el programa libre de Excel, en los cuales se definieron 6 rangos y colores de clasifican de la siguiente manera.

Tabla N°19. *Rango y colores de correlación considerado.*

Rango	Descripción
0.0 - 0.20	Escasa o nula.
0.20 - 0.40	Débil
0.40 - 0.60	Moderada.
0.60 - 0.80	Entre moderada y fuerte
0.80 - 0.99	Entre fuerte y perfecta
1	Perfecta

Correlación en población de pizarra gris limolítica

De acuerdo con los resultados de la tabla N°20, existe una correlación débil del Au-As (0.32) Sin embargo, la correlación del elemento Au con los demás elementos es nula.

Tabla N°20. Matriz de correlaciones para la población de Pizarra gris limolítica.

	Siderófilos										Calcófilos										Litófilos									
	Au	Co	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	As	Cr	Pb	S	Zn	Al	Ba	Be	Ca	K	La	Mg	Na	P	Sc	Sr	V	Y					
Au	1	-0.02	0.20	-0.03	-0.05	-0.16	-0.06	0.32	0.09	-0.08	-0.05	-0.04	-0.05	-0.08	0.06	0.02	0.02	-0.13	0.07	0.00	-0.09	-0.06	-0.06	-0.01						
Co	-0.02	1	0.17	0.48	0.39	0.14	0.72	0.17	-0.31	0.51	0.32	0.43	0.32	0.49	0.38	0.28	0.41	0.53	0.13	0.50	0.52	0.35	0.53	0.48						
Cu	0.20	0.17	1	0.33	0.12	0.14	0.20	-0.27	0.21	-0.09	0.35	0.07	-0.20	-0.18	0.07	-0.11	-0.17	-0.05	-0.18	0.19	0.03	-0.22	0.10	-0.15						
Fe	-0.03	0.48	0.33	1	0.53	0.03	0.61	-0.09	-0.27	-0.01	0.42	0.54	0.27	0.42	0.27	0.29	0.42	0.60	0.17	0.66	0.62	0.19	0.70	0.43						
Mn	-0.05	0.39	0.12	0.53	1	-0.03	0.56	-0.22	-0.17	0.10	0.61	0.57	0.26	0.45	0.26	0.32	0.42	0.61	0.32	0.43	0.59	0.38	0.63	0.41						
Mo	-0.16	0.14	0.14	0.03	-0.03	1	-0.01	0.06	0.00	-0.05	-0.06	0.01	0.19	0.11	0.02	0.18	0.11	0.03	0.12	0.15	0.14	0.15	0.13	0.17						
Ni	-0.06	0.72	0.20	0.61	0.56	-0.01	1	-0.17	-0.17	0.05	0.54	0.57	0.48	0.46	0.43	0.45	0.37	0.61	0.16	0.47	0.62	0.37	0.64	0.46						
As	0.32	0.17	-0.27	-0.09	-0.22	0.06	-0.17	1	-0.10	0.52	-0.28	-0.11	0.15	0.04	-0.03	-0.03	0.20	-0.08	0.09	-0.02	-0.03	0.17	-0.11	0.09						
Cr	0.08	-0.31	0.21	-0.27	-0.17	0.00	-0.17	1	0.44	-0.17	0.11	-0.44	-0.57	-0.25	-0.09	-0.58	-0.63	-0.49	-0.18	-0.39	-0.43	-0.19	-0.44	-0.57						
Pb	0.09	-0.11	0.37	-0.01	0.10	-0.05	0.05	0.44	1	-0.11	0.48	-0.12	-0.26	0.08	-0.03	-0.33	-0.42	-0.19	-0.21	-0.09	-0.12	0.01	-0.10	-0.40						
S	-0.08	0.51	-0.09	0.22	0.08	0.12	-0.10	1	-0.11	0.06	0.06	0.06	0.29	0.25	0.18	0.26	0.07	0.21	0.00	0.22	0.23	0.38	0.17	0.17						
Zn	-0.05	0.32	0.35	0.42	0.61	-0.06	0.54	-0.28	0.48	0.06	1	0.33	0.14	0.39	0.26	0.06	-0.05	0.26	0.09	0.23	0.36	0.31	0.38	0.00						
Al	-0.04	0.43	0.07	0.54	0.57	0.01	0.57	-0.11	-0.44	0.06	0.33	1	0.65	0.40	0.38	0.64	0.62	0.70	0.36	0.57	0.72	0.41	0.75	0.62						
Ba	-0.05	0.49	-0.18	0.42	0.45	0.19	0.48	0.15	-0.57	0.14	0.14	0.65	1	0.54	0.35	0.95	0.84	0.65	0.41	0.50	0.79	0.65	0.77	0.81						
Be	-0.08	0.38	0.07	0.27	0.26	0.11	0.46	-0.25	0.08	0.25	0.39	0.40	0.54	1	0.27	0.50	0.29	0.29	0.09	0.33	0.54	0.64	0.49	0.40						
Ca	0.06	0.28	-0.11	0.29	0.32	0.02	0.43	-0.09	-0.03	0.18	0.26	0.38	0.35	0.27	1	0.35	0.26	0.43	0.25	0.55	0.49	0.50	0.46	0.42						
K	0.02	0.48	-0.20	0.45	0.42	0.18	0.45	-0.58	-0.33	0.26	0.06	0.64	0.95	0.50	0.35	1	0.89	0.65	0.42	0.57	0.79	0.62	0.77	0.85						
La	0.02	0.41	-0.17	0.42	0.42	0.11	0.37	-0.63	-0.42	0.07	-0.05	0.62	0.84	0.29	0.26	0.89	1	0.69	0.39	0.56	0.69	0.38	0.73	0.89						
Mg	-0.13	0.53	-0.05	0.60	0.61	0.03	0.61	-0.49	-0.19	0.21	0.26	0.70	0.65	0.29	0.43	0.65	0.69	1	0.27	0.60	0.76	0.37	0.83	0.67						
Na	0.07	0.13	-0.18	0.17	0.32	0.12	0.16	-0.18	-0.21	0.00	0.09	0.36	0.41	0.09	0.25	0.42	0.39	0.27	1	0.16	0.30	0.43	0.28	0.35						
P	0.00	0.50	0.19	0.66	0.43	0.15	0.47	-0.09	-0.09	0.22	0.23	0.57	0.50	0.33	0.55	0.57	0.56	0.60	0.16	1	0.64	0.35	0.70	0.64						
Sc	-0.09	0.52	0.03	0.62	0.59	0.14	0.62	-0.43	-0.12	0.23	0.36	0.72	0.79	0.54	0.49	0.79	0.69	0.76	0.30	0.64	1	0.56	0.93	0.72						
Sr	-0.06	0.35	-0.22	0.19	0.38	0.15	0.37	0.17	0.01	0.38	0.31	0.41	0.65	0.64	0.50	0.62	0.38	0.37	0.43	0.35	0.56	1	0.50	0.48						
V	-0.06	0.53	0.10	0.70	0.63	0.13	0.64	-0.11	-0.44	0.17	0.38	0.75	0.77	0.49	0.46	0.77	0.73	0.83	0.28	0.70	0.93	0.50	1	0.71						
Y	-0.01	0.48	-0.15	0.43	0.41	0.17	0.46	0.09	-0.57	-0.40	0.00	0.62	0.81	0.40	0.42	0.85	0.89	0.67	0.35	0.64	0.72	0.48	0.71	1						

Correlación en población de pizarra negra

De acuerdo con los resultados de la tabla N°21, existe una correlación moderada entre el Au-S (0.48), correlación débil del Au-Cr, Au-Cu, Au-Pb, sin embargo, la correlación del elemento Au con los demás elementos es escasa o nula.

Tabla N°21. Matriz de correlaciones para la población de Pizarra negra.

	Siderófilos										Calcófilos							Litófilos									
	Au	Co	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	As	Cr	Pb	S	Zn	Al	Ba	Be	Ca	K	La	Mg	Na	P	Sc	Sr	V	Y		
Au	1																										
Co	0.05	1																									
Cu	0.34	0.16	1																								
Fe	-0.11	0.47	0.10	1																							
Mn	-0.12	0.43	0.01	0.68	1																						
Mo	0.01	-0.14	-0.26	-0.13	0.00	1																					
Ni	-0.10	0.70	0.17	0.64	0.61	-0.17	1																				
As	0.48	0.19	-0.09	-0.14	-0.26	0.03	-0.15	1																			
Cr	0.27	-0.02	0.22	-0.29	-0.05	0.04	0.04	0.46	1																		
Pb	0.22	0.15	0.38	0.02	0.13	-0.16	0.28	0.46	0.46	1																	
S	0.09	0.55	-0.06	0.28	0.18	-0.08	0.53	0.04	0.17	0.17	1																
Zn	0.02	0.47	0.04	0.35	0.56	0.33	-0.03	0.37	0.58	0.33	0.33	1															
Al	-0.21	0.37	0.04	0.71	0.65	0.15	0.58	0.07	0.51	0.15	0.10	0.10	1														
Ba	-0.19	0.31	-0.18	0.43	0.57	0.03	0.42	0.57	0.57	0.26	0.74	0.74	0.74	1													
Be	-0.15	0.56	-0.03	0.43	0.44	0.03	0.67	-0.11	-0.06	0.47	0.51	0.51	0.51	0.51	1												
Ca	-0.06	0.20	-0.10	0.43	0.29	-0.16	0.34	-0.18	-0.06	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	1											
K	-0.23	0.34	-0.19	0.48	0.33	0.10	0.41	-0.42	-0.18	0.76	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	1										
La	-0.22	0.15	-0.26	0.41	0.27	0.08	0.28	-0.38	-0.38	0.71	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	1									
Mg	-0.31	0.30	-0.25	0.64	0.42	-0.09	0.44	-0.44	-0.24	0.68	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	1								
Na	0.12	0.06	-0.02	-0.02	0.27	0.20	0.20	0.15	0.10	0.10	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	1							
P	-0.05	0.25	0.17	0.58	0.28	-0.16	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1						
Sc	-0.16	0.48	0.01	0.68	0.52	-0.10	0.62	-0.04	-0.04	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	1					
Sr	-0.01	0.43	-0.01	0.68	0.51	-0.15	0.56	0.28	0.28	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	1				
V	-0.08	0.52	0.09	0.67	0.51	-0.20	0.61	0.05	0.05	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	1			
Y	-0.28	0.17	-0.31	0.47	0.38	0.14	0.34	-0.08	-0.33	0.08	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	1		

Correlación en población de pizarra esquistosa

De acuerdo con los resultados de la tabla N°22, existe una correlación moderada a fuerte entre el Au-Cr (0.61), correlación moderada entre Au-As (0.55) - Au-Mo (0.50) correlación débil del Au-Ca, Au-Co, Au-Pb, Au-S, Au-Zn, sin embargo, la correlación del elemento Au con los demás elementos es escasa.

Tabla N°22. Matriz de correlaciones para la población de Pizarra esquistosa

	Siderófilos														Calcófilos										Litófilos									
	Au	Co	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	As	Cr	Pb	S	Zn	Al	Ba	Be	Ca	K	La	Mg	Na	P	Sc	Sr	V	Y									
Au	1	0.25	-0.07	-0.08	0.05	0.49	0.11	0.55	0.61	0.40	0.24	0.22	-0.07	-0.05	-0.27	0.28	-0.11	-0.18	0.08	0.11	0.05	0.02	0.15	-0.08	-0.10									
Co	0.25	1	0.24	0.27	0.36	0.18	0.62	0.28	0.05	0.34	0.61	0.46	0.34	0.14	0.10	0.24	0.10	0.02	0.35	0.17	0.30	0.20	0.24	0.38	0.07									
Cu	-0.07	0.24	1	0.12	0.21	0.21	0.20	0.10	0.00	0.43	0.45	0.43	0.12	-0.19	0.13	-0.02	-0.17	-0.15	-0.13	0.02	0.37	-0.10	0.10	0.20	-0.25									
Fe	-0.08	0.27	0.12	1	0.65	0.07	0.39	-0.18	-0.34	0.19	0.39	0.52	0.36	0.31	0.28	0.26	0.20	0.16	0.70	0.07	0.35	0.34	0.27	0.52	0.13									
Mn	0.05	0.36	0.21	0.65	1	0.25	0.71	-0.29	-0.09	0.48	0.36	0.82	0.41	0.02	0.13	0.23	-0.10	-0.03	0.65	0.06	0.28	0.31	0.16	0.45	0.00									
Mo	0.49	0.18	0.21	0.07	0.25	1	0.39	0.16	0.51	0.47	0.19	0.37	0.01	-0.14	-0.15	0.15	-0.22	0.06	0.01	0.13	-0.08	0.17	-0.06	-0.24										
Ni	0.11	0.62	0.20	0.39	0.71	0.39	1	-0.03	0.22	0.52	0.43	0.71	0.27	-0.05	-0.02	0.24	-0.22	0.56	0.13	0.11	0.15	0.14	0.21	-0.14										
As	0.55	0.28	0.10	-0.18	-0.29	0.16	-0.03	1	0.39	0.28	0.34	-0.11	-0.24	-0.08	-0.23	0.32	-0.16	-0.25	-0.17	0.15	0.10	-0.05	0.17	-0.13	-0.08									
Cr	0.61	0.05	0.00	-0.34	-0.09	0.51	0.22	0.39	1	0.37	-0.08	0.12	-0.57	-0.65	-0.61	-0.10	-0.69	-0.74	-0.31	0.15	-0.42	-0.61	-0.22	-0.67	-0.66									
Pb	0.40	0.34	0.43	0.19	0.48	0.47	0.52	0.28	0.37	1	0.51	0.69	-0.07	-0.25	-0.02	0.18	-0.36	-0.37	0.05	-0.21	0.21	0.05	0.16	0.04	-0.26									
S	0.24	0.61	0.45	0.39	0.36	0.19	0.43	0.34	-0.08	0.51	1	0.51	0.24	0.23	0.17	0.56	0.11	0.01	0.29	0.07	0.55	0.39	0.43	0.45	0.06									
Zn	0.22	0.46	0.43	0.52	0.82	0.37	0.71	-0.11	0.12	0.69	0.51	1	0.14	-0.14	0.20	0.22	-0.29	0.34	0.34	-0.08	0.32	0.14	0.22	0.31	-0.26									
Al	-0.07	0.34	0.12	0.36	0.41	0.01	0.27	-0.24	-0.57	-0.07	0.24	0.14	1	0.74	0.42	0.29	0.72	0.78	0.64	-0.07	0.61	0.75	0.35	0.83	0.74									
Ba	-0.05	0.14	-0.19	0.31	0.02	-0.14	-0.05	-0.08	-0.65	-0.25	0.23	-0.14	0.74	1	0.59	0.49	0.88	0.88	0.49	-0.21	0.61	0.85	0.54	0.73	0.89									
Be	-0.27	0.10	0.13	0.28	0.13	-0.15	-0.02	-0.23	-0.61	-0.02	0.17	0.20	0.42	0.59	1	0.18	0.54	0.47	0.09	-0.54	0.49	0.62	0.34	0.61	0.46									
Ca	0.28	0.24	-0.02	0.26	0.23	0.15	0.24	0.32	-0.10	0.18	0.56	0.22	0.29	0.49	0.18	1	0.34	0.26	0.36	-0.10	0.64	0.58	0.76	0.34	0.45									
K	-0.11	0.10	-0.17	0.20	-0.10	-0.22	-0.22	-0.16	-0.69	0.54	0.94	0.29	0.72	0.94	0.54	0.34	1	0.94	0.40	-0.15	0.51	0.74	0.45	0.65	0.89									
La	-0.18	0.02	-0.15	0.16	-0.03	-0.29	-0.22	-0.74	-0.36	0.94	0.88	0.47	0.78	0.88	0.47	0.26	0.94	1	0.43	-0.14	0.47	0.73	0.41	0.65	0.94									
Mg	0.08	0.35	-0.13	0.70	0.65	0.06	0.56	-0.17	-0.37	0.40	0.43	0.34	0.64	0.49	0.09	0.36	0.40	1	1	0.22	0.28	0.55	0.34	0.56	0.42									
Na	0.11	0.17	0.02	0.07	0.06	0.01	0.13	0.15	-0.21	-0.54	-0.08	-0.07	-0.07	-0.21	-0.54	-0.10	-0.15	-0.14	0.22	1	-0.36	-0.27	-0.23	-0.14	-0.19									
P	0.05	0.30	0.37	0.35	0.28	0.13	0.11	0.10	-0.42	0.21	0.55	0.32	0.61	0.61	0.49	0.64	0.51	0.47	0.28	-0.36	1	0.67	0.69	0.74	0.53									
Sc	0.02	0.20	-0.10	0.34	0.31	-0.08	0.15	-0.05	-0.61	0.05	0.39	0.14	0.75	0.85	0.62	0.58	0.74	0.73	0.55	-0.27	0.67	1	0.57	0.83	0.82									
Sr	0.15	0.24	0.10	0.27	0.16	0.17	0.14	0.17	-0.22	0.16	0.43	0.22	0.35	0.54	0.34	0.76	0.45	0.41	0.34	-0.23	0.69	0.57	1	0.38	0.48									
V	-0.08	0.38	0.20	0.52	0.45	-0.06	0.21	-0.13	-0.67	0.04	0.45	0.31	0.83	0.73	0.61	0.34	0.65	0.65	0.56	-0.14	0.74	0.83	0.38	1	0.64									
Y	-0.10	0.07	-0.25	0.13	0.00	-0.24	-0.14	-0.08	-0.66	-0.26	0.06	-0.26	0.74	0.89	0.46	0.45	0.89	0.94	0.42	-0.19	0.53	0.82	0.48	0.64	1									

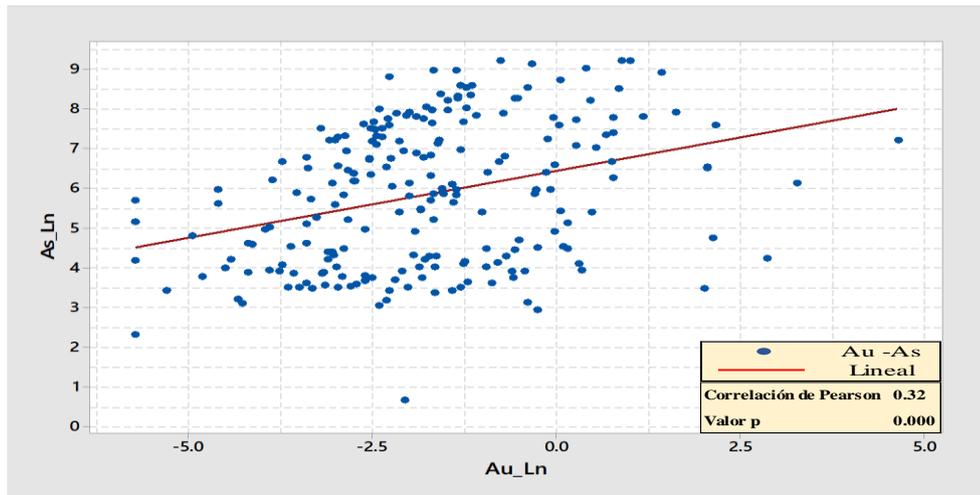


Figura N°41. Correlación estadística Au-As para pizarra gris limolítica.

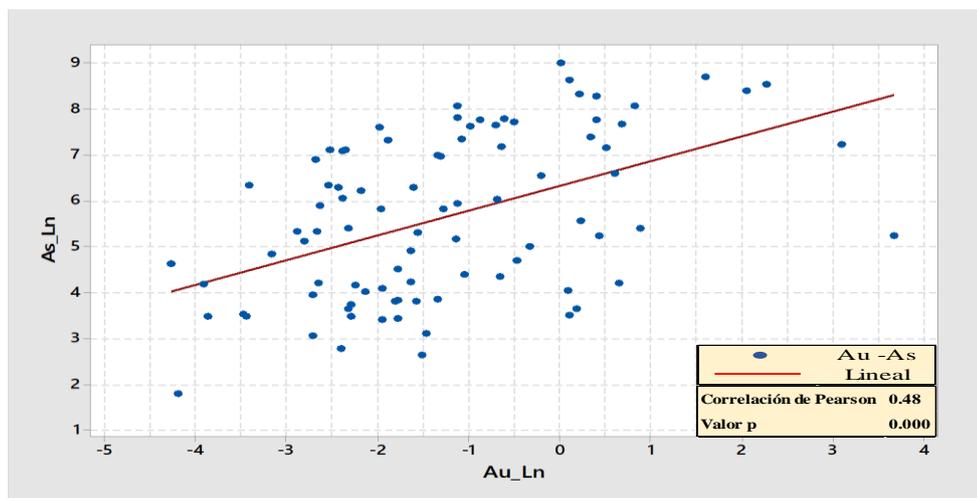


Figura N°42. Correlación estadística Au-As para pizarra negra.

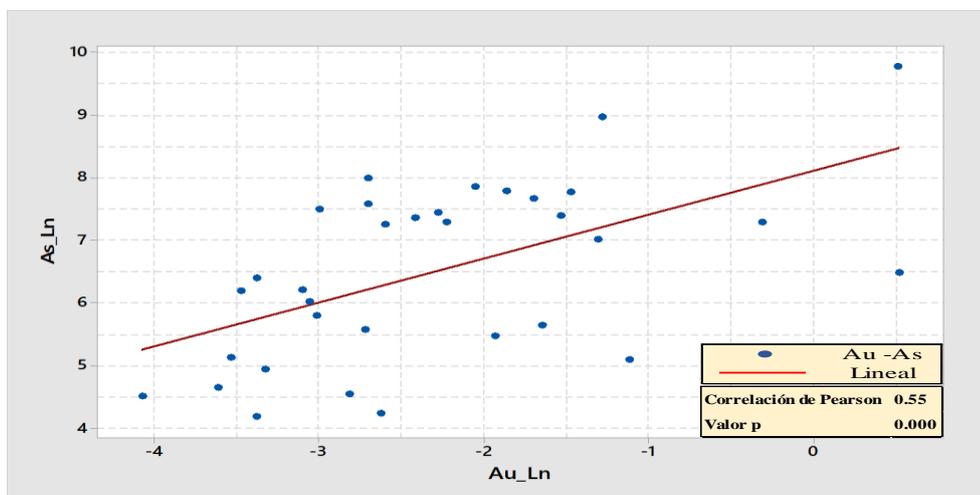


Figura N°43. Correlación estadística Au-As para pizarra esquistosa.



El coeficiente de Correlación entre Au-As para la pizarra gris limolítica es igual a 0.32, pizarra negra es igual a 0.48 y pizarra esquistosa es de 0.55 dicho índice denota una relación lineal de débil a moderada según el rango de la tabla N°19, el resultado del valor p de Au-As es 0.00, que es menor que el nivel de significancia de 0.05, tal como se ve en las figuras N°41, N°42 y N°43, Estos resultados indican que la asociación entre el oro y arsénico es estadísticamente significativa.

Como se pudo observar en las tablas de matriz de correlaciones y figuras de correlación lineal para los tres tipos de poblaciones litológicas denota una asociación calcófilo, los resultados obtenidos indican que existe una asociación Au-As estadísticamente significativa, por lo tanto, el elemento As es definido como elemento buscador y/o prospectivo de mineralización aurífera en el proyecto Veta y dentro de la franja orogénica de la región de Puno.

5.2.2 Análisis estadístico multivariado

5.2.2.1 Análisis de componentes principales

Para este tipo de análisis se utilizó las 340 muestras geoquímicas divididas en tres poblaciones litológicas considerando 25 variables químicas mejor correlacionadas al igual que el análisis bivariado (ítem 4.4.2) para cada ambiente geológico, donde los datos aritméticos son transformados a escala logarítmica, ya que la mayoría de datos presenta un comportamiento lognormal.

En el análisis estadístico multivariado utilizamos la técnica de análisis de componentes principales (ACP) el cual nos permite el tratamiento conjunto de las variables observadas reduciendo así el número de datos, y consiguiendo identificar un grupo o clúster estadísticamente significativos de muestras compatibles, para determinar ciertas asociaciones relevantes de elementos que se dan dentro de los yacimientos de tipo orogénico mediante el análisis de variancias y tendencias de correlaciones existentes.

Población de pizarra gris limolítica, se presentan en la tabla N°23 las estadísticas de la medida de adecuación muestral de KMO es de 0.855 lo cual indica una buena adecuación de los datos a un modelo de análisis factorial y mediante la prueba de esfericidad de Barlett podemos asegurar que si el nivel crítico es superior a 0,05 entonces no podremos rechazar la hipótesis nula de esfericidad, el valor aproximado de chi cuadrado $X^2 = 4946.139$ y el valor de significancia es igual 0.000 lo cual es perfecta, podemos rechazar la hipótesis nula del 5% y se demuestra que las variables están correlacionadas.

Tabla N°23. Prueba de KMO y Barlett para población de Pizarra gris limolítica.

Prueba de KMO y Bartlett		
Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		0.855
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-cuadrado	4946.139
	gl	300
	Sig.	0.000

Población de pizarra negra, se presentan en la tabla N°24 las estadísticas de la medida de adecuación muestral de KMO es de 0.797 lo cual indica una aceptable adecuación de los datos a un modelo de análisis factorial, mediante la prueba de esfericidad de Bartlett podemos asegurar que si el nivel crítico es superior a 0,05 entonces no podremos rechazar la hipótesis nula de esfericidad, el valor aproximado de chi cuadrado $X^2 = 2244.192$ y el valor de significancia es igual 0.000 lo cual es perfecta, podemos rechazar la hipótesis nula del 5% y se demuestra que las variables están correlacionadas.

Tabla N°24. Prueba de KMO y Barlett para población de Pizarra negra

Prueba de KMO y Bartlett		
Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		0.797
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-cuadrado	2244.192
	gl	300
	Sig.	0.000

Población de pizarra esquistosa, se presentan en la tabla N°25 las estadísticas de la medida de adecuación muestral de KMO es de 0.546 lo cual indica una mala adecuación de los datos a un modelo de análisis factorial debido a que cuenta con pocos números de datos, mediante la prueba de esfericidad de Bartlett podemos asegurar que si el nivel crítico es superior a 0,05 entonces no podremos rechazar la hipótesis nula de esfericidad, el valor aproximado de chi cuadrado $X^2 = 946.972$ y el valor de significancia es igual 0.000 lo cual es perfecta, podemos rechazar la hipótesis nula del 5% y se demuestra que las variables están correlacionadas.

Tabla N°25. Prueba de KMO y Barlett para población de Pizarra esquistosa.

Prueba de KMO y Bartlett		
Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		0.546
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-cuadrado	946.972
	gl	300
	Sig.	0.000

Cálculo de los componentes principales

En la tabla N°26, se muestran para cada población litológica la varianza explicada de cada factor para saber cuántos componentes principales vamos a utilizar en nuestros análisis, para este caso usaremos el criterio de Kaiser, consiste en conservar aquellos factores cuyo autovalor asociado sea mayor que la unidad (1), para las poblaciones de pizarra gris limolítica usaremos 6 componentes principales que reúnen el 75.18% de la varianza de las variables originales, pizarra negra usaremos 7 componentes principales que reúnen el 81.69% de la varianza de las variables originales y pizarra esquistosa usaremos 6 componentes principales que reúnen el 83.42% de la varianza de las variables originales.

Tabla N°26. Varianza total explicada para cada tipo de población litológica.

Pizarra gris limolítica				Pizarra negra				Pizarra esquistosa			
Componente	Autovalores iniciales			Componente	Autovalores iniciales			Componente	Autovalores iniciales		
	Total	% de varianza	% acumulado		Total	% de varianza	% acumulado		Total	% de varianza	% acumulado
1	10.003	40.013	40.013	1	9.472	37.889	37.889	1	8.670	34.678	34.678
2	3.047	12.186	52.200	2	3.853	15.413	53.302	2	5.307	21.227	55.905
3	1.848	7.393	59.593	3	1.947	7.789	61.090	3	2.580	10.321	66.227
4	1.475	5.901	65.493	4	1.720	6.881	67.971	4	1.959	7.835	74.061
5	1.300	5.202	70.695	5	1.255	5.020	72.991	5	1.333	5.332	79.393
6	1.146	4.586	75.281	6	1.125	4.500	77.491	6	1.007	4.029	83.423
7	0.956	3.823	79.104	7	1.052	4.208	81.699	7	.823	3.294	86.716
8	0.886	3.546	82.650	8	.804	3.218	84.917	8	.657	2.628	89.344
9	0.659	2.638	85.288	9	.645	2.578	87.495	9	.543	2.170	91.515
10	0.548	2.190	87.478	10	.566	2.265	89.760	10	.377	1.508	93.022
11	0.445	1.782	89.260	11	.438	1.750	91.510	11	.366	1.465	94.488
12	0.394	1.577	90.837	12	.391	1.563	93.074	12	.341	1.364	95.852
13	0.372	1.487	92.324	13	.363	1.454	94.528	13	.296	1.184	97.036
14	0.332	1.329	93.653	14	.242	.967	95.494	14	.224	.897	97.933
15	0.304	1.217	94.870	15	.224	.898	96.392	15	.157	.627	98.559
16	0.224	0.897	95.767	16	.182	.727	97.119	16	.106	.423	98.983
17	0.215	0.860	96.628	17	.166	.663	97.782	17	.072	.288	99.271
18	0.186	0.745	97.373	18	.146	.584	98.366	18	.052	.208	99.479
19	0.163	0.654	98.027	19	.123	.494	98.860	19	.042	.168	99.646
20	0.147	0.590	98.617	20	.094	.374	99.234	20	.034	.135	99.781
21	0.110	0.442	99.059	21	.069	.278	99.512	21	.024	.097	99.878
22	0.105	0.419	99.478	22	.045	.180	99.692	22	.012	.047	99.925
23	0.060	0.241	99.718	23	.032	.127	99.819	23	.011	.043	99.968
24	0.039	0.158	99.876	24	.029	.114	99.933	24	.006	.023	99.991
25	0.031	0.124	100.000	25	.017	.067	100.000	25	.002	.009	100.000

Finalmente obtenemos la matriz de componentes principales rotados que permite expresar cada una de las 25 variables originales mediante los nuevos componentes principales para cada población litológica que se observa en la tabla N°27, resaltando de color naranja los valores por encima de 0.5 de ponderación.

Tabla N°27. Matriz de componentes rotados para cada tipo de población litológica.

Pizarra gris limolítica							Pizarra negra							Pizarra esquistosa							
Elementos Ln	Componente						Elementos Ln	Componente							Elementos Ln	Componente					
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6	7		1	2	3	4	5	6
V_Ln	.872	.312	-.121	-.007	-.044	.115	K_Ln	.958	.123	-.045	.042	.035	-.089	.021	La_Ln	.941	-.089	.030	-.183	.115	-.018
Fe_Ln	.833	-.093	.065	.072	.055	.032	Ba_Ln	.947	.098	.074	.142	.104	-.101	.009	K_Ln	.934	-.127	.132	-.140	.075	.015
Mg_Ln	.807	.206	-.254	.025	-.121	.099	La_Ln	.917	.017	-.247	.074	-.029	-.102	.042	Ba_Ln	.917	.011	.277	-.077	.086	-.077
Sc_Ln	.798	.401	-.130	.071	-.077	.114	Y_Ln	.859	.098	-.229	.204	-.047	-.176	.159	Y_Ln	.913	-.084	.208	-.083	.164	-.045
Ni_Ln	.780	.133	.213	.175	-.125	.091	Sc_Ln	.817	.391	.132	.250	.069	.026	-.097	Al_Ln	.883	.319	-.087	.041	.155	.024
P_Ln	.761	.088	-.114	.101	.098	.159	Al_Ln	.740	.437	-.181	.176	-.130	.077	-.031	Sc_Ln	.816	.234	.345	-.011	.014	-.194
Al_Ln	.756	.317	.133	.118	.000	.020	V_Ln	.734	.408	.188	.285	.151	.090	-.202	V_Ln	.785	.361	.098	-.117	.335	-.087
Mn_Ln	.690	.305	.201	-.130	.069	.151	Mg_Ln	.663	.347	-.318	.243	.007	-.175	-.200	P_Ln	.558	.158	.477	.024	.413	-.318
Co_Ln	.663	.006	-.005	.529	-.020	.083	Be_Ln	.514	.426	.453	.135	.187	-.157	.209	Mn_Ln	.073	.935	-.004	.072	.118	-.058
Y_Ln	.639	.383	-.507	.050	.056	.158	Ni_Ln	.341	.797	.264	.076	.012	.033	-.023	Zn_Ln	-.163	.796	.111	.198	.385	-.234
La_Ln	.620	.341	-.603	-.056	.113	.121	Mn_Ln	.233	.796	.011	.144	-.157	.028	.213	Ni_Ln	-.053	.791	.035	.290	.202	.138
K_Ln	.602	.529	.458	.142	.074	.187	Fe_Ln	.401	.738	-.216	.274	.025	.125	.112	Fe_Ln	.202	.743	.218	-.241	.057	.045
Ba_Ln	.596	.560	.381	.157	-.014	.190	Zn_Ln	-.125	.722	.512	.002	.085	-.092	.044	Mg_Ln	.493	.721	.145	.015	-.186	.317
Sr_Ln	.272	.821	.072	.309	.108	.099	Co_Ln	.243	.657	.167	-.008	.428	.054	-.105	Ca_Ln	.297	.186	.856	.146	.019	-.032
Na_Ln	.145	.638	.157	.185	.200	.020	Pb_Ln	-.165	.223	.735	.052	.029	.272	-.081	Sr_Ln	.389	.141	.724	.090	.046	-.208
Be_Ln	.379	.479	.175	.291	-.176	.233	Cr_Ln	.404	.025	.611	.093	.008	.166	.056	As_Ln	-.160	.362	.536	.403	.282	.315
Ca_Ln	.409	.459	.090	.108	.035	-.173	Sr_Ln	.395	.105	.582	.423	.271	-.120	.109	Au_Ln	-.046	-.026	.268	.830	.014	.166
Pb_Ln	.044	.013	.795	.055	.067	.038	Ca_Ln	.329	.138	.031	.847	.079	-.082	.038	Mo_Ln	-.115	.245	-.006	.754	.103	.126
Zn_Ln	.489	.199	.695	-.007	.140	.105	P_Ln	.452	.186	-.141	.708	.002	.219	-.149	Cr_Ln	-.661	-.065	-.003	.679	.073	.127
Cr_Ln	.427	.074	.641	.089	.073	-.002	As_Ln	-.027	.186	.025	.028	.905	.141	-.002	Pb_Ln	-.268	.407	.197	.483	.425	-.267
Cu_Ln	.338	.448	.523	.125	.271	.386	S_Ln	.093	.351	.163	.159	.771	-.128	.034	Cu_Ln	-.111	.106	-.044	-.025	.861	.117
S_Ln	.155	.071	-.041	.891	-.087	.020	Cu_Ln	-.106	.114	.249	.030	-.175	.804	-.230	S_Ln	.125	.321	.550	.093	.622	.127
As_Ln	.215	.154	.264	.694	.438	.025	Au_Ln	.189	-.105	.038	.013	.413	.737	.222	Co_Ln	.204	.356	.143	.272	.529	.344
Au_Ln	-.024	.032	.087	.029	.927	-.101	Na_Ln	-.131	.179	.275	.246	-.061	.023	.760	Na_Ln	-.134	.098	-.084	-.042	.019	.886
Mo_Ln	.002	.101	.032	.060	.103	.888	Mo_Ln	.111	-.097	-.208	.338	.031	.035	.714	Be_Ln	.524	.092	.070	-.260	.226	-.579

Asociación geoquímica Au-As-Cr-Cu-Pb-Mo-S en pizarra gris limolítica

Este tipo de asociación geoquímica denota un carácter calcófilo, en la figura N°44 se muestra la asociación de las variables de menor ponderación entre los CP1 y CP2 que reúne el 52.2% de la varianza de las variables originales como se muestra en la tabla N°26, por otro lado, se puede observar en el primer cuadrante que el Au y As tiene una correlación positiva asociada al Cr-Cu-Pb-Mo y S en menor intensidad.

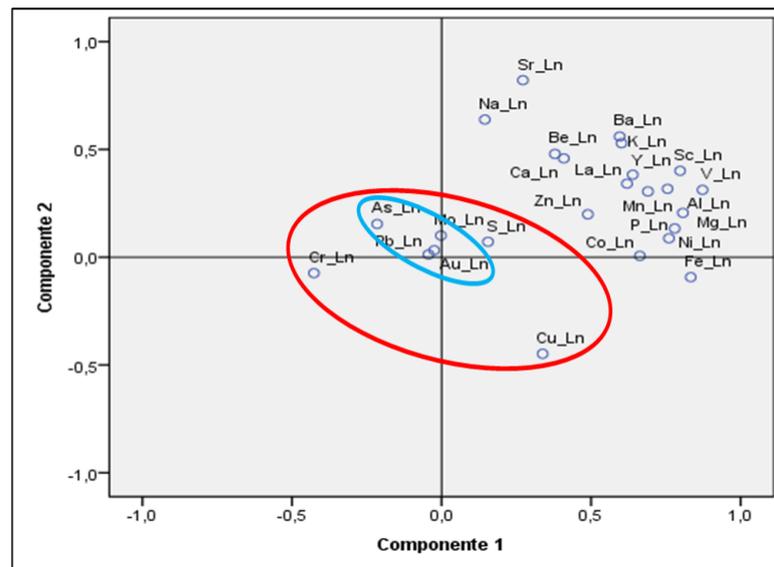


Figura N°44. Gráfico de asociaciones geoquímicas bidimensional de CP-1 y CP-2, población de Pizarra gris limolítica.

Asociación geoquímica Au-As-Cr-Cu-Pb-Mo-Na en pizarra negra

Este tipo de asociación geoquímica denota un comportamiento calcófilo, a excepción del Na, que representa un comportamiento Litófilo, en la figura N°45 se muestra la asociación de las variables de menor ponderación entre los CP1 y CP2 que reúne el 53.3% de la varianza de las variables originales como se muestra en la tabla N°26, por otro lado, se puede observar en el cuarto cuadrante que el Au y As tiene una correlación negativa asociada al Cr-Cu-Pb-Mo y Na en menor intensidad.

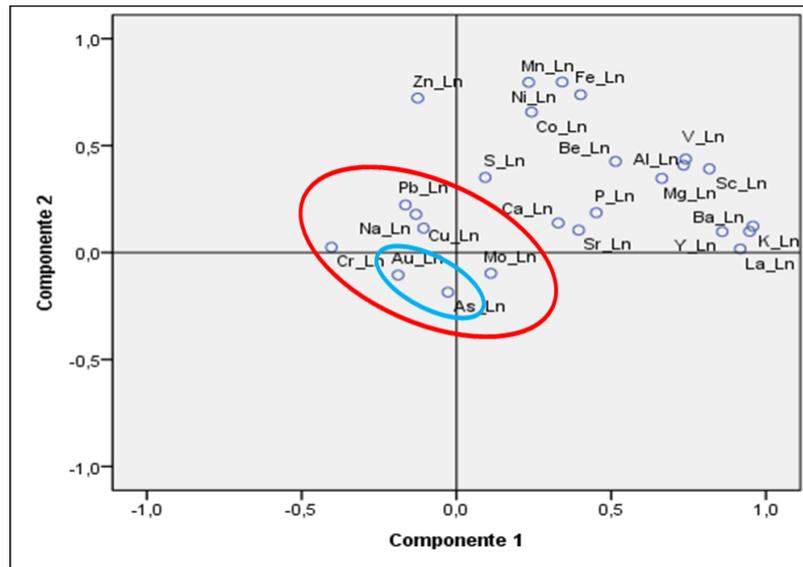


Figura N°45. Gráfico de asociaciones geoquímicas bidimensional de CP-1 y CP-2, población de Pizarra negra.

Asociación geoquímica Au-As-Cr-Cu-Pb-Mo en pizarra esquistosa

Este tipo de asociación geoquímica denota un comportamiento calcófilo, a excepción del Na, que representa un comportamiento Litófilo, en la figura N°46 se muestra la asociación de las variables de menor ponderación entre los CP1 y CP2 que reúne el 55.9% de la varianza de las variables originales como se muestra en la tabla N°26, por otro lado, se puede observar en el cuarto cuadrante que el Au y As tiene una correlación positiva asociada al Cr-Cu-Pb-Mo y Na en menor intensidad.

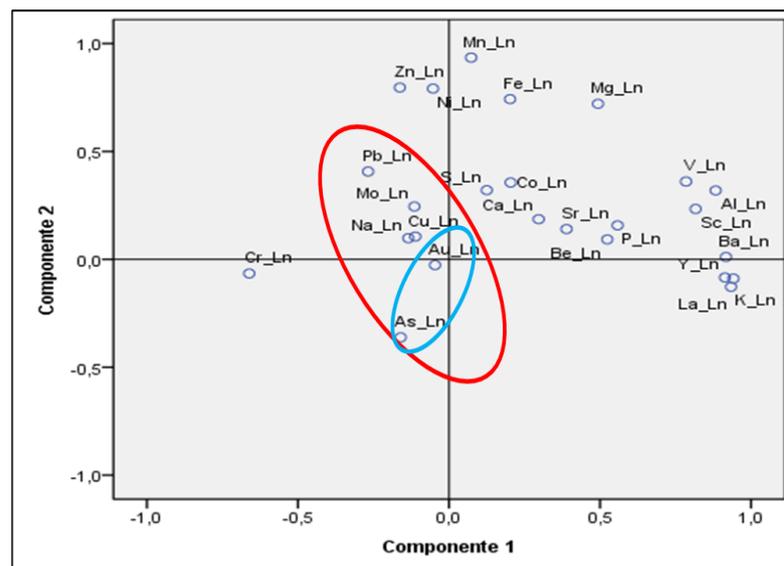


Figura N°46. Gráfico de asociaciones geoquímicas bidimensional de CP-1 y CP-2, población de Pizarra esquistosa.



El análisis de componentes principales permitió definir una importante asociación geoquímica para los tres tipos de población litológica con un comportamiento calcófilo en sus elementos, los elementos de mayor afinidad son el Au – As, los cuales se encuentran asociados al Cr-Cu-Pb-Mo-Na-S en menor intensidad, bajo este análisis se confirma que el As es el principal elemento que se correlaciona con el Au, por tanto, el As es definido como el principal elemento buscador (*pathfinder*) de mineralización aurífera en el Proyecto Veta.

5.3 VALORES DE FONDO Y ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS

5.3.1 Análisis estadístico univariado

Para este análisis estadístico se descartaron todas las variables que no tienen correlación directa con la variable oro y se trabajó por poblaciones litológicas, los datos fueron transformadas a escala logarítmica natural para las variables analizadas, de acuerdo a la importancia de la prospección y de la correlación de elementos traza como elementos buscadores (*pathfinder*), se definió al As-Au el cual corresponde a la variables a estudiar, en el cual se determinaron los parámetros estadísticos para cada variable por separado, así como la elaboración de graficas para ser analizadas como histograma de frecuencias, grafico boxplot y gráfico de normalidad Q-Q plot, estos diagramas nos ayudan a tipificar e interpretar la distribución estadística de las variables ya mencionadas.

Se determinaron los estadísticos descriptivos de posición y dispersión para cada variable de cada población tales como: la media, mediana, moda, desviación estándar, coeficiente de variación, curtosis y asimetría, con el fin de caracterizar el comportamiento estadístico univariado.

5.3.1.1 Población de pizarra gris limolítica:

Distribución estadística del As

A escala normal se puede observar que el arsénico tiene una distribución de frecuencias leptocúrtica de 6.094 con una curva de frecuencia sesgada hacia la derecha de asimetría positiva 2.551 (no tienen una distribución normal), la media de 1246.715 ppm y mediana de 386 ppm totalmente diferente debido a la existencia de leyes altas, con un coeficiente de variación alto de 1.591 con este valor se refleja la alta variabilidad de este elemento en dicha población litológica.



A escala logarítmica, las concentraciones del arsénico en sus histogramas definen una distribución de frecuencias mesocúrtica con una curva de frecuencia de sesgo mínimo hacia la izquierda de asimetría negativa y un histograma bimodal que muestra dos poblaciones de As, cuya media y mediana varían solo en decimales y su coeficiente de variación es menor a 0.5 por lo que se considerarían datos con una distribución normal. El gráfico de Q-Q normal muestra que los datos logarítmicos siguen una tendencia normal, mientras tanto el gráfico de boxplot ratifica que los datos tienen una tendencia lognormal sin valores atípicos.

Tabla N°28. *Estadística descriptiva del As a escala normal y lognormal.*

Estadístico	Escala Normal	Escala logarítmica
	As_ppm	As_Ln
N° Muestras	218	218
Media	1246.715	5.855
Mediana	386.000	5.956
Moda	33	3.497
Desviación estándar	1983.975	1.776
Coefficiente de variación	1.591	0.303
Varianza	3936155.230	3.155
Asimetría	2.551	-.021
Curtosis	6.904	-.994
Mínimo	1.950	.668
Máximo	10000	9.210

Estadística descriptiva del As

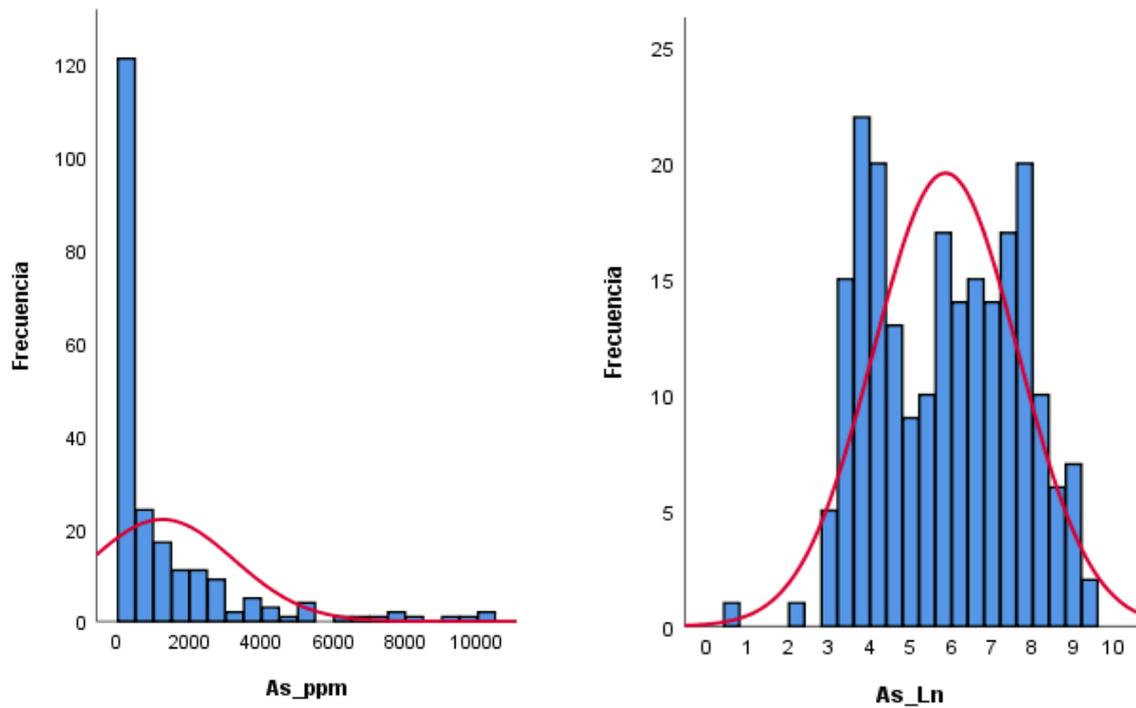


Figura N°47. Histograma a escala normal del As_ppm y lognormal de As_Ln.

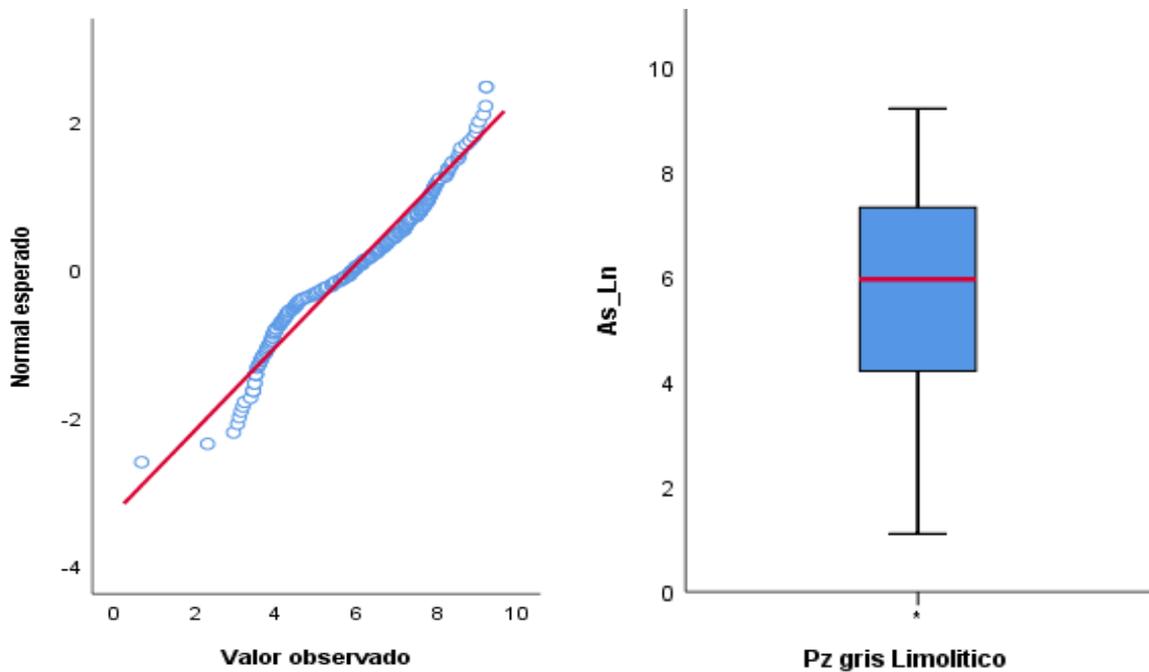


Figura N°48. Grafica Q-Q normal y grafica de boxplot para el As_Ln

Distribución estadística del Au

El oro a escala normal presenta una distribución de frecuencias leptocúrtica de 171.96 ppm con una curva de frecuencia sesgada hacia la derecha de asimetría positiva 16.602 ppm (no tiene una distribución normal), la media de 1.246 y mediana de 0.159 totalmente diferentes debido a la existencia de leyes altas con un coeficiente de variación de 5.898 siendo más alto que el arsénico, dicho coeficiente denota la alta variabilidad de este elemento en la corteza terrestre.

Los logaritmos de las concentraciones de oro en sus histogramas definen una curtosis mesocúrtica y una curva de frecuencia sesgada a la derecha de asimetría positiva, donde la media y mediana varían en decimales con un coeficiente de variación menor a 0.5 por lo que se consideran datos con una distribución lognormal, el gráfico de Q-Q normal muestra que los datos logarítmicos tienden a un comportamiento lognormal, asimismo el gráfico de boxplot se aprecia los máximos valores atípicos mayores a 2.86 (17.38 ppm).

Tabla N°29. Estadística descriptiva del Au a escala normal y lognormal.

Estadístico	Escala Normal	Escala logarítmica
	Au_ppm	Au_Ln
N° Muestras	218	218
Media	1.246	-1.753
Mediana	0.159	-1.842
Moda	,00325	-3,427
Desviación estándar	7.348	1.712
Coficiente variación	5.898	-0.977
Varianza	53.990	2.931
Asimetría	12.602	0.435
Curtosis	171.961	0.768
Mínimo	.003	-5.729
Máximo	103	4.635

Estadística descriptiva del Au

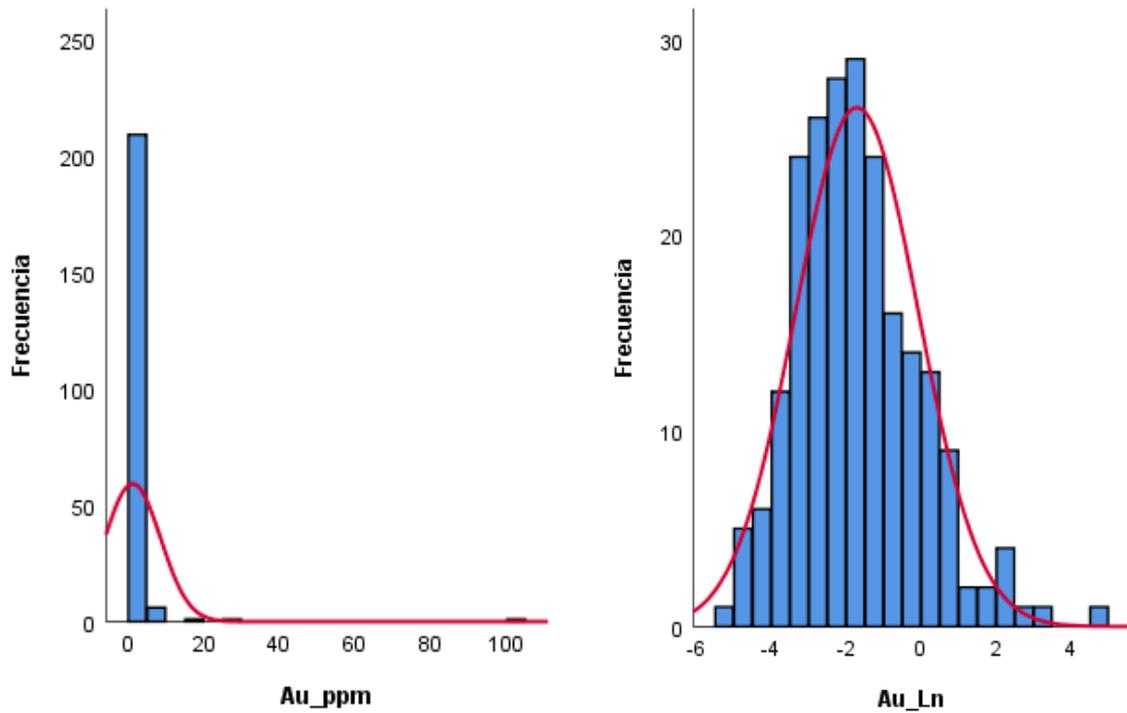


Figura N°49. Histograma a escala normal del Au_ppm y lognormal de Au_Ln.

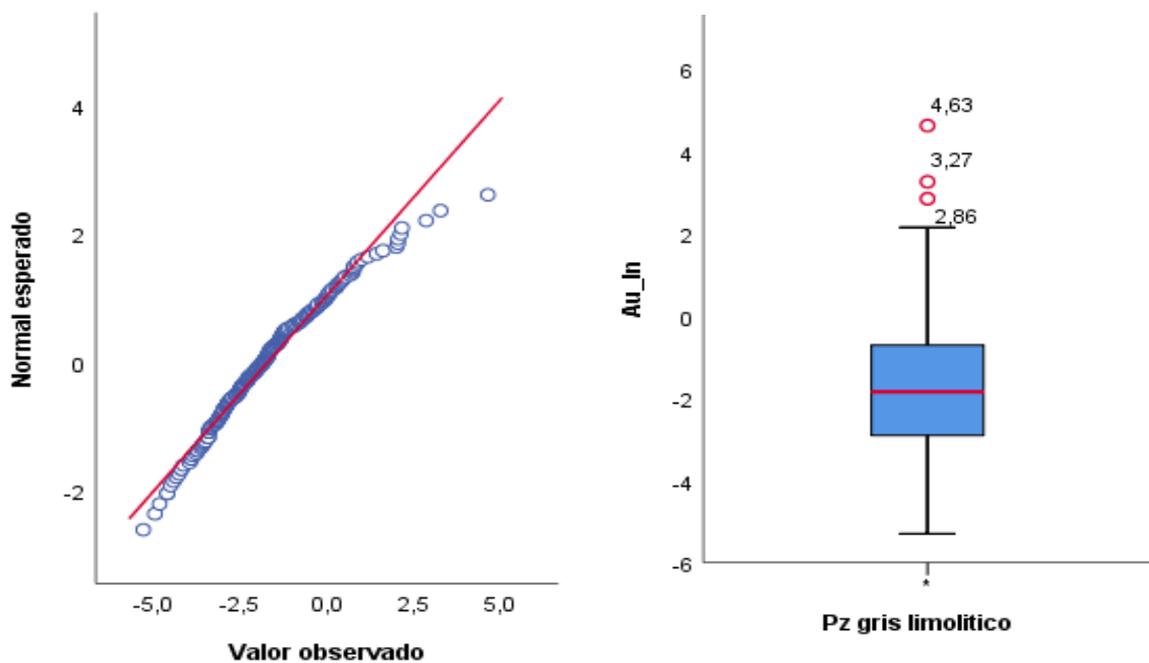


Figura N°50. Grafica Q-Q normal y grafica de boxplot para el Au_Ln

5.3.1.2 Población de pizarra negra:

Distribución estadística del As

A escala normal se puede observar que el arsénico tiene una distribución de frecuencias leptocúrtica de 5.966 con una curva de frecuencia sesgada hacia la derecha de asimetría positiva 2.324 (no tienen una distribución normal), la media de 994.281 ppm y mediana de 221 ppm totalmente diferente debido a la existencia de leyes altas, con un coeficiente de variación alto de 1.529 con este valor se refleja la alta variabilidad y movilidad de este elemento en dicha población litológica.

A escala logarítmica, las concentraciones del arsénico en sus histogramas definen una distribución de frecuencias mesocúrtica con una curva de frecuencia de sesgo mínimo hacia la izquierda de asimetría negativa y un histograma bimodal que muestra dos poblaciones de As, cuya media y mediana varían solo en decimales y su coeficiente de variación es menor a 0.5 por lo que se considerarían datos con una distribución normal. El gráfico de Q-Q normal muestra que los datos logarítmicos siguen una tendencia normal, mientras tanto el gráfico de boxplot ratifica que los datos tienen una tendencia lognormal sin valores atípicos.

Tabla N°30. Estadística descriptiva del As a escala normal y lognormal.

Estadístico	Escala Normal	Escala logarítmica
	As_ppm	As_Ln
N° Muestras	89	89
Media	994.281	5.642
Mediana	221	5.398
Moda	32	3.466
Desviación estándar	1520.481	1.765
Coefficiente variación	1.529	0.313
Varianza	2311862.682	3.115
Asimetría	2.324	0.045
Curtosis	5.966	-1.137
Mínimo	6	1.792
Máximo	7961	8.982

Estadística descriptiva del As

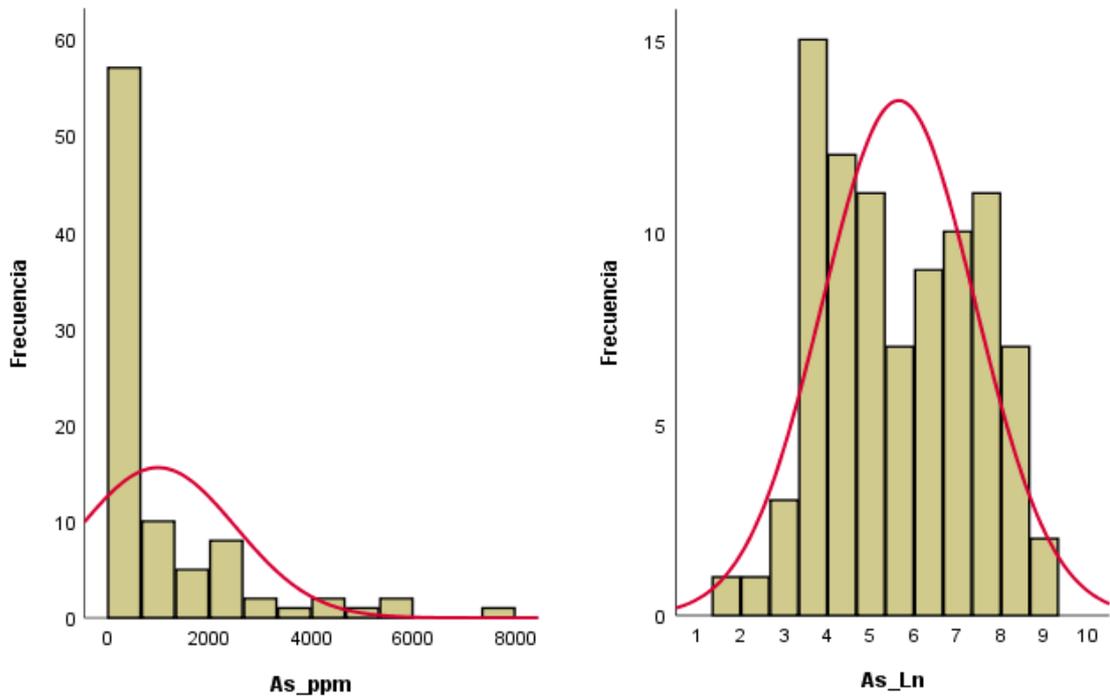


Figura N°51. Histograma a escala normal del As_ppm y lognormal de As_Ln.

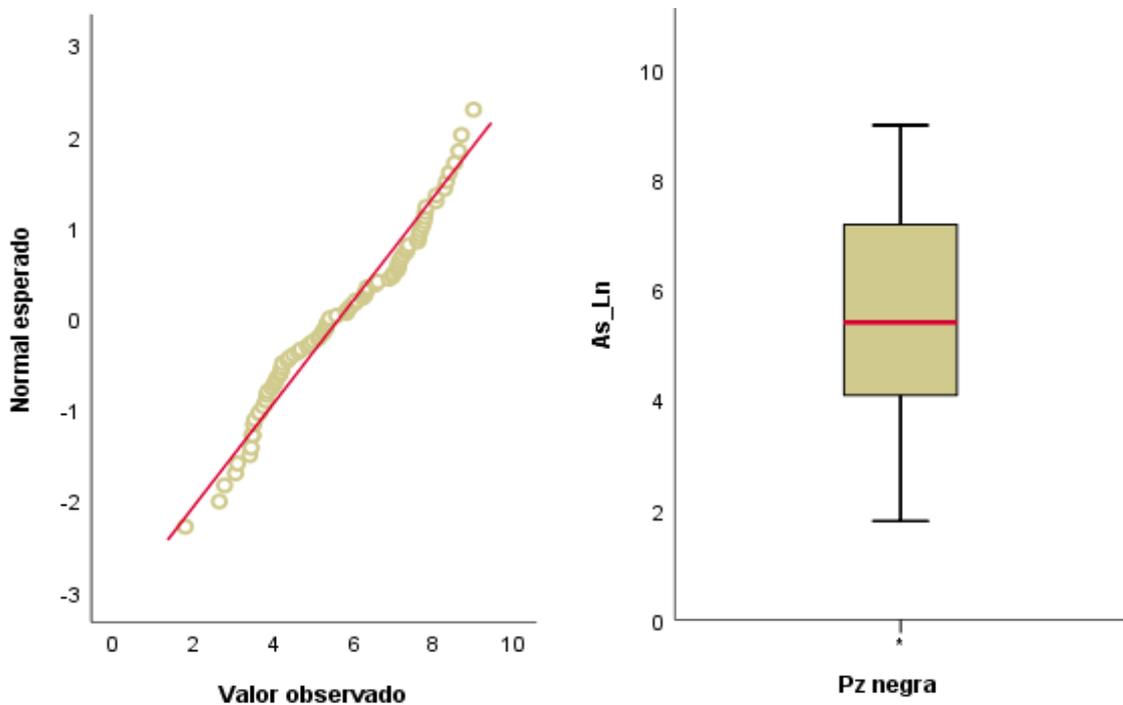


Figura N°52. Grafica Q-Q normal y grafica de boxplot para el As_Ln

Distribución estadística del Au

El oro a escala normal presenta una distribución de frecuencias leptocúrtica de 45.794 ppm con una curva de frecuencia sesgada hacia la derecha de asimetría positiva 6.461 ppm (no tiene una distribución normal), la media de 1.386 y mediana de 0.218 totalmente diferentes debido a la existencia de leyes altas con un coeficiente de variación de 3.502 siendo más alto que el arsénico, dicho coeficiente denota la alta variabilidad de este elemento en la corteza terrestre.

Los logaritmos de las concentraciones de oro en sus histogramas definen una curtosis mesocúrtica y una curva de frecuencia sesgada a la derecha de asimetría positiva, donde la media y mediana varían en decimales con un coeficiente de variación menor a 0.5 por lo que se consideran datos con una distribución lognormal, el gráfico de Q-Q normal muestra que los datos logarítmicos tienden a un comportamiento lognormal, asimismo el gráfico de boxplot se aprecia los máximos valores atípicos mayores a 3.09 (22 ppm).

Tabla N°31. Estadística descriptiva del Au a escala normal y lognormal.

Estadístico	Escala Normal	Escala logarítmica
	Au_ppm	Au_Ln
N° Muestras	89	89
Media	1.386	-1.258
Mediana	0.218	-1.523
Moda	0.168	-1.784
Desviación estándar	4.854	1.562
Coeficiente variación	3.502	-1.243
Varianza	23.563	2.441
Asimetría	6.461	0.657
Curtosis	45.794	0.625
Mínimo	0.014	-4.269
Máximo	39.200	3.669

Estadística descriptiva del Au

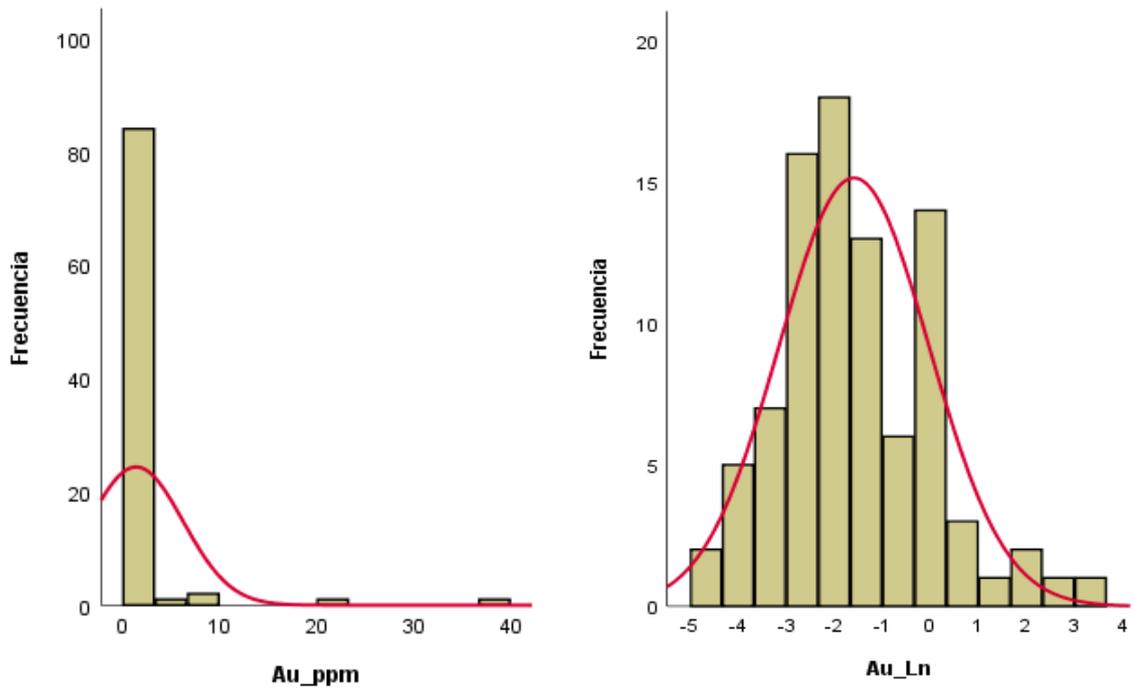


Figura N°53. Histograma a escala normal del Au_ppm y lognormal de Au_Ln.

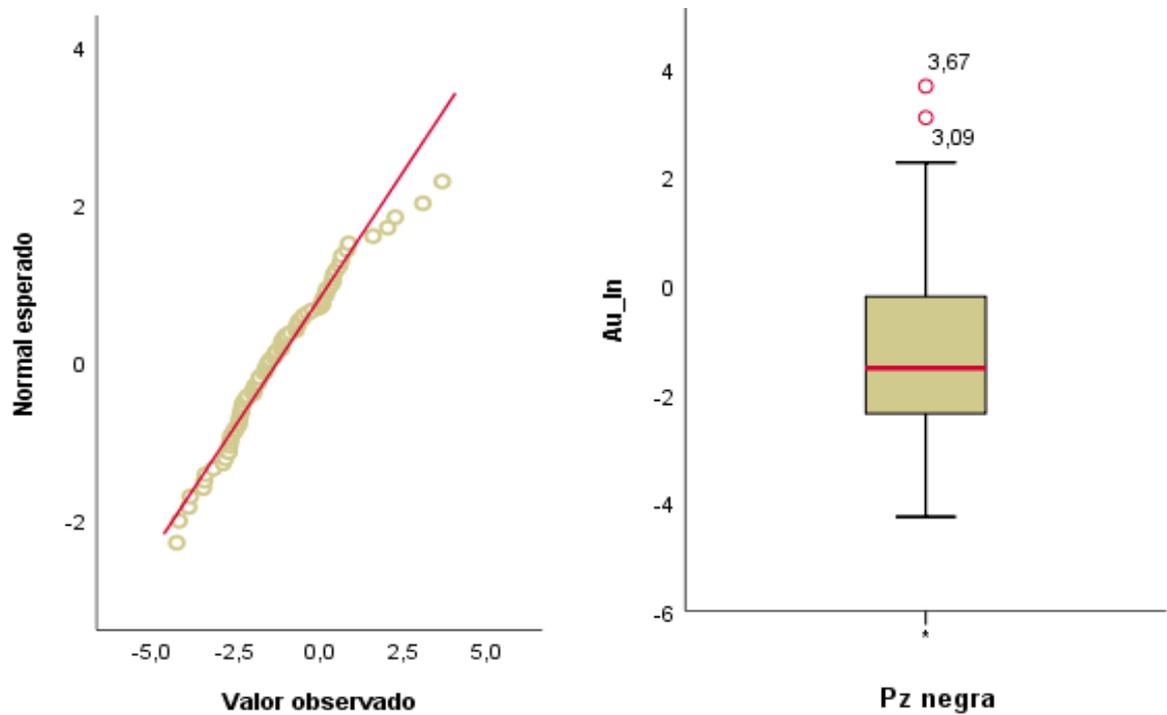


Figura N°54. Grafica Q-Q normal y grafica de boxplot para el Au_Ln

5.3.1.3 Población de pizarra esquistosa:

Distribución estadística del As

A escala normal se puede observar que el arsénico tiene una distribución de frecuencias leptocúrtica de 19.822 con una curva de frecuencia sesgada hacia la derecha de asimetría positiva 4.211 (no tienen una distribución normal), la media de 1713.818 ppm y mediana de 652 ppm totalmente diferente debido a la existencia de leyes altas, con un coeficiente de variación alto de 1.874 con este valor se refleja la alta variabilidad de este elemento en dicha población litológica.

A escala logarítmica, las concentraciones del arsénico en sus histogramas definen una distribución de frecuencias mesocúrtica con una curva de frecuencia de sesgo mínimo hacia la izquierda de asimetría, cuya media y mediana varían solo en decimales y su coeficiente de variación es menor a 0.5 por lo que se considerarían datos con una distribución normal. El gráfico de Q-Q normal muestra que los datos logarítmicos siguen una tendencia normal, mientras tanto el gráfico de boxplot ratifica que los datos tienen una tendencia lognormal sin valores atípicos.

Tabla N°32. Estadística descriptiva del As a escala normal y lognormal.

Estadístico	Escala Normal	Escala logarítmica
	As_ppm	As_Ln
N° Muestras	33	33
Media	1713.818	6.511
Mediana	652.000	6.480
Moda	65,0	4,174
Desviación estándar	3210.959	1.412
Coefficiente variación	1.874	0.217
Varianza	10310260.153	1.995
Asimetría	4.211	0.081
Curtosis	19.822	-0.583
Mínimo	65	4.174
Máximo	17600	9.776

Estadística descriptiva del As

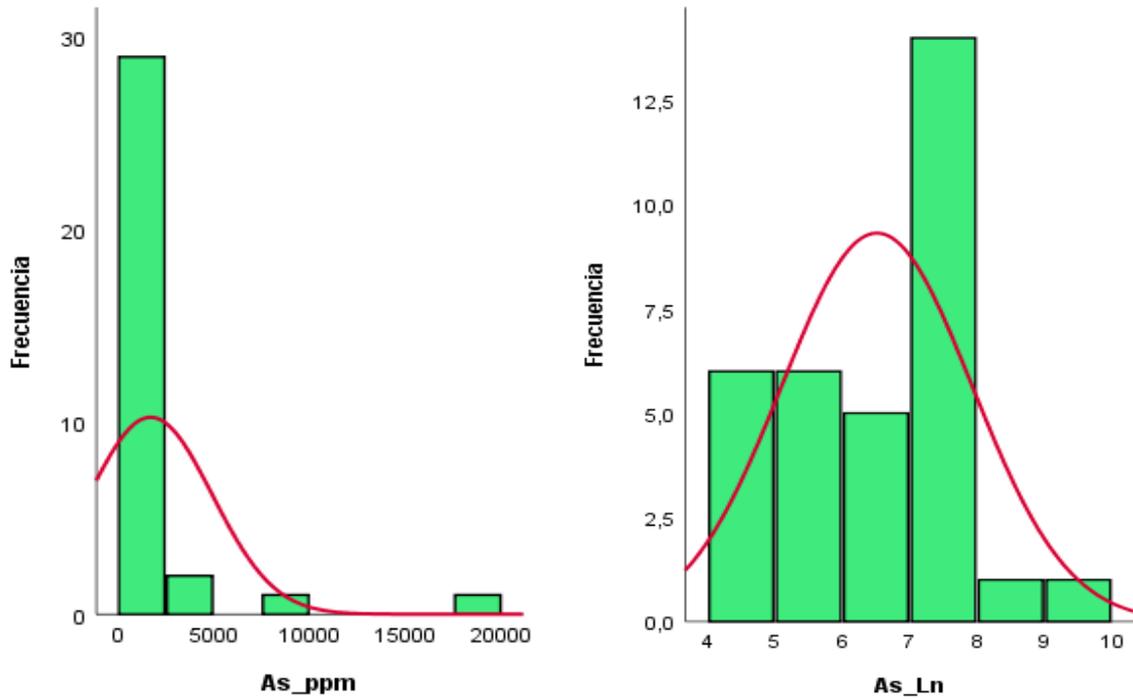


Figura N°55. Histograma a escala normal del As_ppm y lognormal de As_Ln

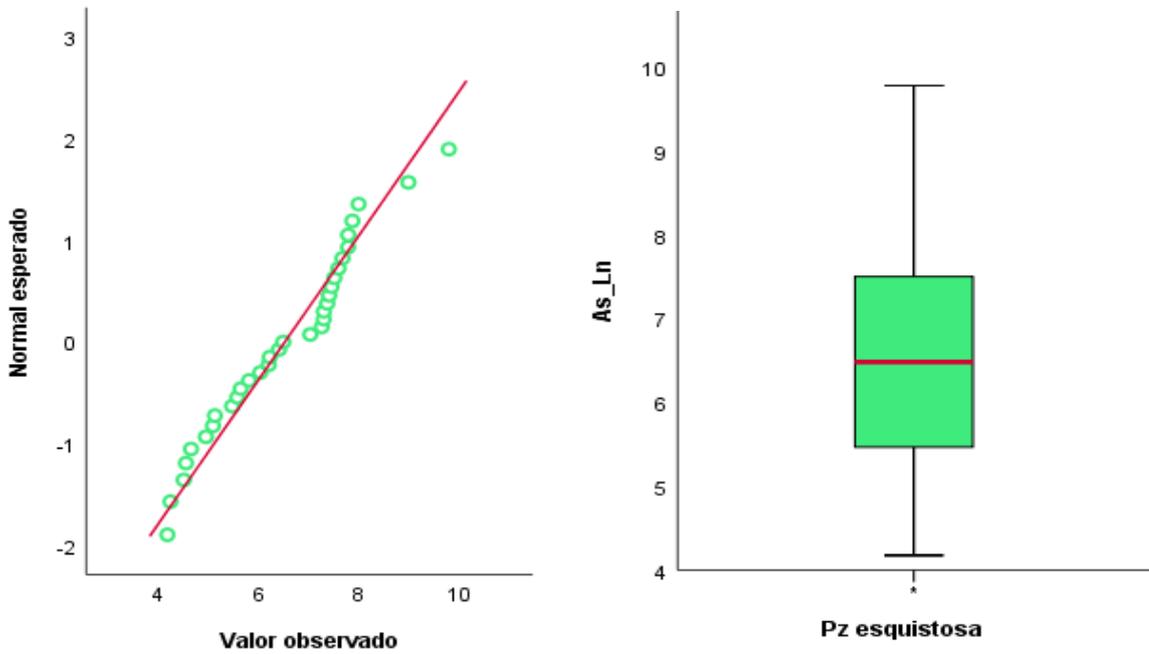


Figura N°56. Grafica Q-Q normal y grafica de boxplot para el As_Ln

Distribución estadística del Au

El oro a escala normal presenta una distribución de frecuencias leptocúrtica de 10.135 ppm con una curva de frecuencia sesgada hacia la derecha de asimetría positiva 3.240 ppm (no tiene una distribución normal), la media de 0.221 y mediana de 0.074 totalmente diferentes debido a la existencia de leyes altas con un coeficiente de variación de 1.799 siendo más alto que el arsénico, dicho coeficiente denota la alta variabilidad de este elemento en la corteza terrestre.

Los logaritmos de las concentraciones de oro en sus histogramas definen una curtosis mesocúrtica y una curva de frecuencia sesgada a la derecha de asimetría positiva, donde la media y mediana varían en decimales con un coeficiente de variación menor a 0.5 por lo que se consideran datos con una distribución lognormal, el gráfico de Q-Q normal muestra que los datos logarítmicos tienden a un comportamiento lognormal, asimismo el gráfico de boxplot se aprecia los máximos valores atípicos mayores a 0.510 (1.665 ppm).

Tabla N°33. Estadística descriptiva del Au a escala normal y lognormal.

Estadístico	Escala Normal	Escala logarítmica
	Au_ppm	Au_Ln
N° Muestras	33	33
Media	0.221	-2.281
Mediana	0.074	-2.604
Moda	,034	-3,381
Desviación estándar	0.398	1.118
Coeficiente variación	1.799	-0.490
Varianza	0.158	1.249
Asimetría	3.240	0.914
Curtosis	10.135	0.694
Mínimo	0.017	-4.075
Máximo	1.677	0.517

Estadística descriptiva del Au

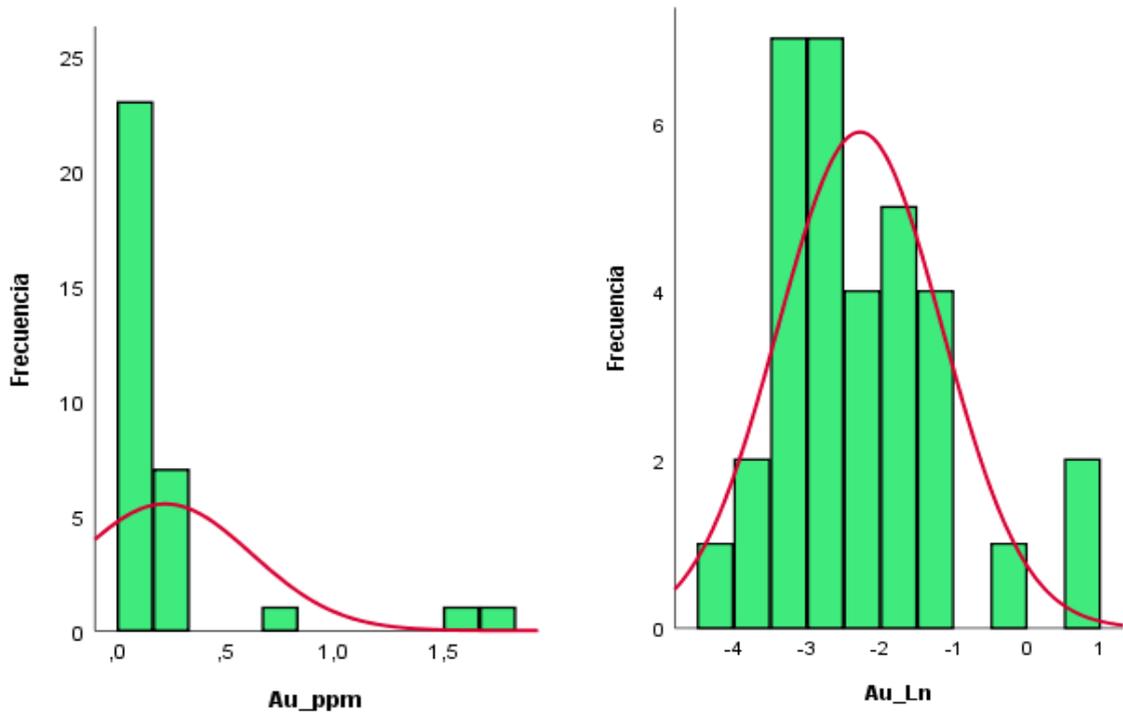


Figura N°57. Histograma a escala normal del Au_ppm y lognormal de Au_Ln

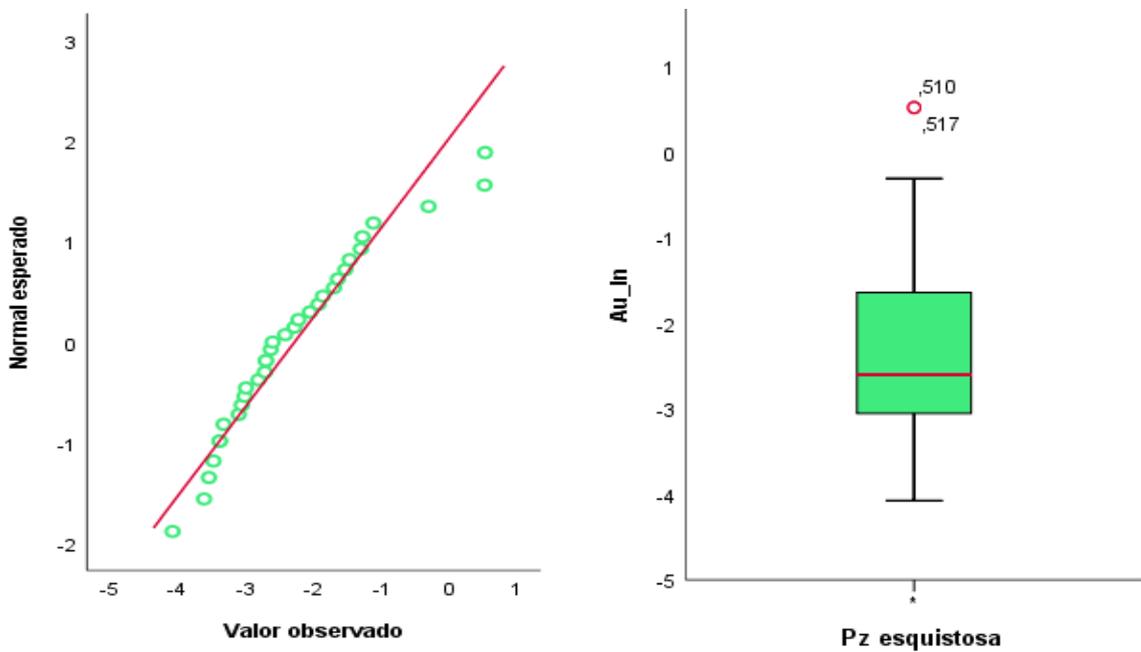


Figura N°58. Grafica Q-Q normal y grafica de boxplot para el Au_Ln

5.3.2 Parámetros geoquímicos

Valores de fondo y umbrales

Para los elementos As y Au de cada población litológica se determinaron los valores de Background (valores de fondo) y threshold (umbral), para este análisis se descartaron muestras con valores atípicos y valores extremos inferiores y superiores de la base de datos mediante el uso del diagrama boxplot (diagrama de cajas) para que los datos sean representativos y homogéneos, haciendo más confiable los resultados de nuestro tratamiento estadístico, por lo tanto, los valores no considerados en el análisis de parámetros geoquímicos son tomados en cuenta al final para la elaboración de mapas de concentración y tendencia geoquímica.

Calculamos el valor de *Background* con la media geométrica de cada elemento y el valor de threshold se calculó mediante la siguiente fórmula ($Threshold = Media\ geométrica + 2\ veces\ la\ desviación\ estándar$), los cuales fueron de mucha importancia para el cálculo de anomalías del área de estudio.

El resultado de los valores de fondo y valores umbrales para las diferentes litológicas como: pizarra gris limolítica, pizarra negra y pizarra esquistosa de los 2 elementos químicos As y Au están resumidas en la Tabla N°34.

Tabla N°34. Parámetros geoquímicos del As-Au para cada población litológica

Población litológica	Parámetros geoquímica	As	Au
Pizarra gris Limolítica	Background	257.93	0.12
	Threshold	2018.93	0.64
Pizarra Negra	Background	220.21	0.21
	Threshold	1865.76	1.24
Pizarra esquistosa	Background	559.34	0.08
	Threshold	2352.78	0.25

Distribución geoquímica del As

Según las pruebas realizadas de normalidad de Kolmogorov – Smirnov y análisis estadístico univariado para cada población litológica, el elemento As tiene un comportamiento lognormal, la distribución de valores del As en superficie dentro del proyecto Veta está en el rango de 3 a 17600 ppm, con un total de 309 muestras utilizadas. La correlación lineal de As - Au y As – S, para las tres poblaciones está en el rango de débil a moderada, y con los demás elementos analizados la correlación es de escasa a nula.

Los valores de background y threshold para las diferentes poblaciones se encuentran detalladas en la tabla N°35, para determinar estos valores geoquímicos se utilizó el diagrama de boxplot, la mayor cantidad de anomalías de As corresponde a la población de pizarra gris limolítica que representan el 71% de la anomalía geoquímica, el mayor umbral fue determinado en la población de Pizarra esquistosa.

La presencia de valores moderados de As en el proyecto Veta se refleja en las anomalías presentes de Au, el emplazamiento del As esta correlaciona al Au, Por otro lado, los valores de As son consistentes en casi toda el área de estudio, siendo el principal elemento buscador (*Pathfinder*) de mineralizaciones de oro orogénico de acuerdo a las prospecciones realizadas.

Tabla N°35. Parámetros estadísticos – geoquímicos del As.

Elemento As	Pizarra gris Limolítica	Pizarra negra	Pizarra esquistosa
N° muestras	218	89	33
N° muestras utilizadas	197	82	31
Valor mínimo ppm	3	6	65
Valor máximo ppm	10000	7961	17600
Desviación Estándar ppm	881.486	822.777	896.719
Background ppm	257.597	220.205	559.336
Threshold ppm	2018.927	1865.759	2352.774

En función del background y threshold calculados para cada población litológica (Tabla N°36), se define el promedio de rangos de variación geoquímicos del As que usaremos para la elaboración de mapas de concentraciones y tendencias geoquímicos.

Tabla N°36. Rangos geoquímicos del As para cada población.

Pizarra gris Limolítica ppm	Pizarra negra ppm	Pizarra esquistosa ppm	Rango promedio ppm
257.597	220.205	559.336	< 348
2018.927	1865.759	2352.774	348 - 2082
3780.257	3511.312	4146.211	2082 - 3816
5541.588	5156.866	5939.648	3816 - 5550
7302.918	6802.419	7733.085	5550 - 7284
			> 7284

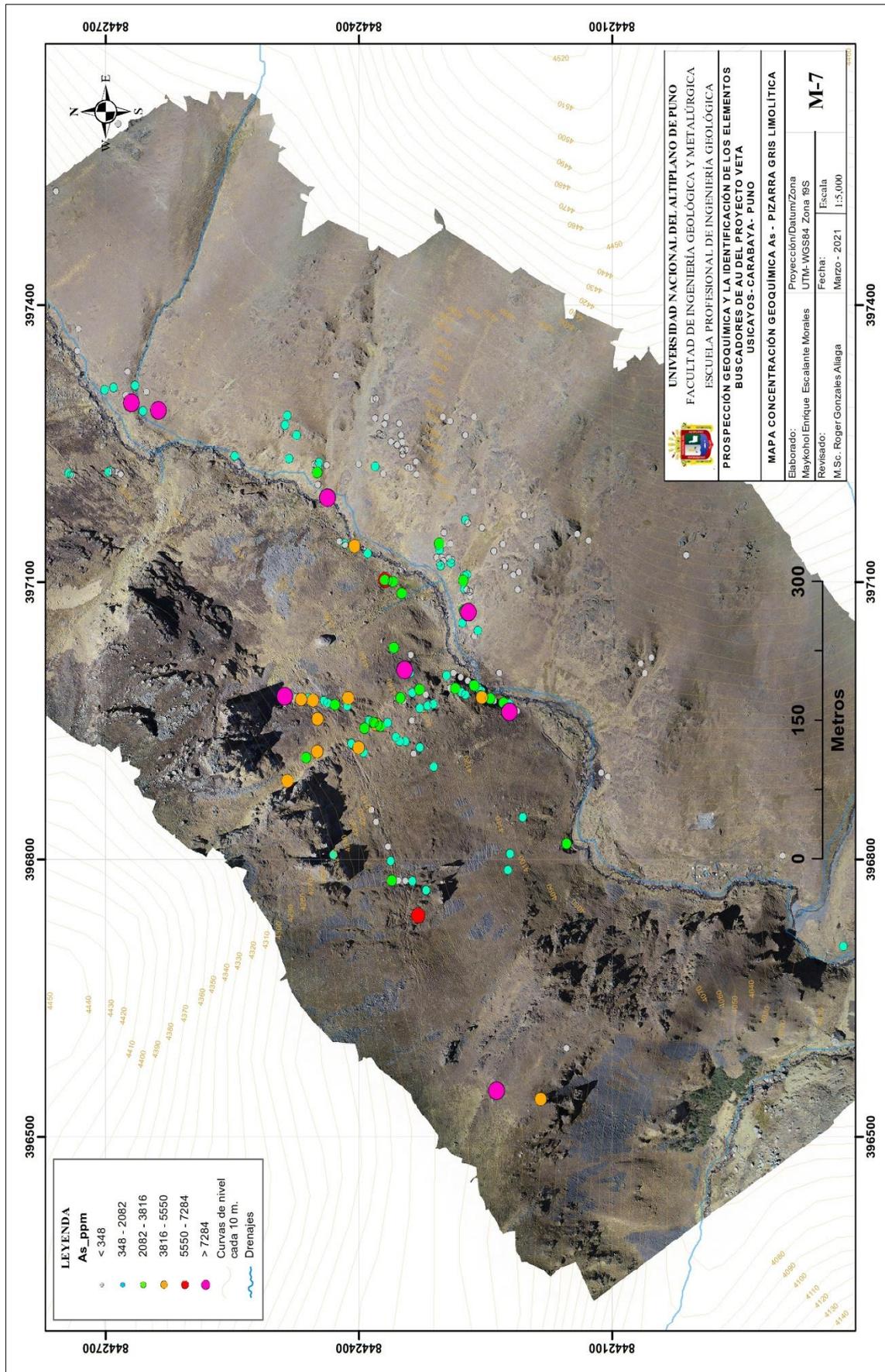


Figura N°59. Mapa de concentración geoquímica de As en Pizarra gris limolítica

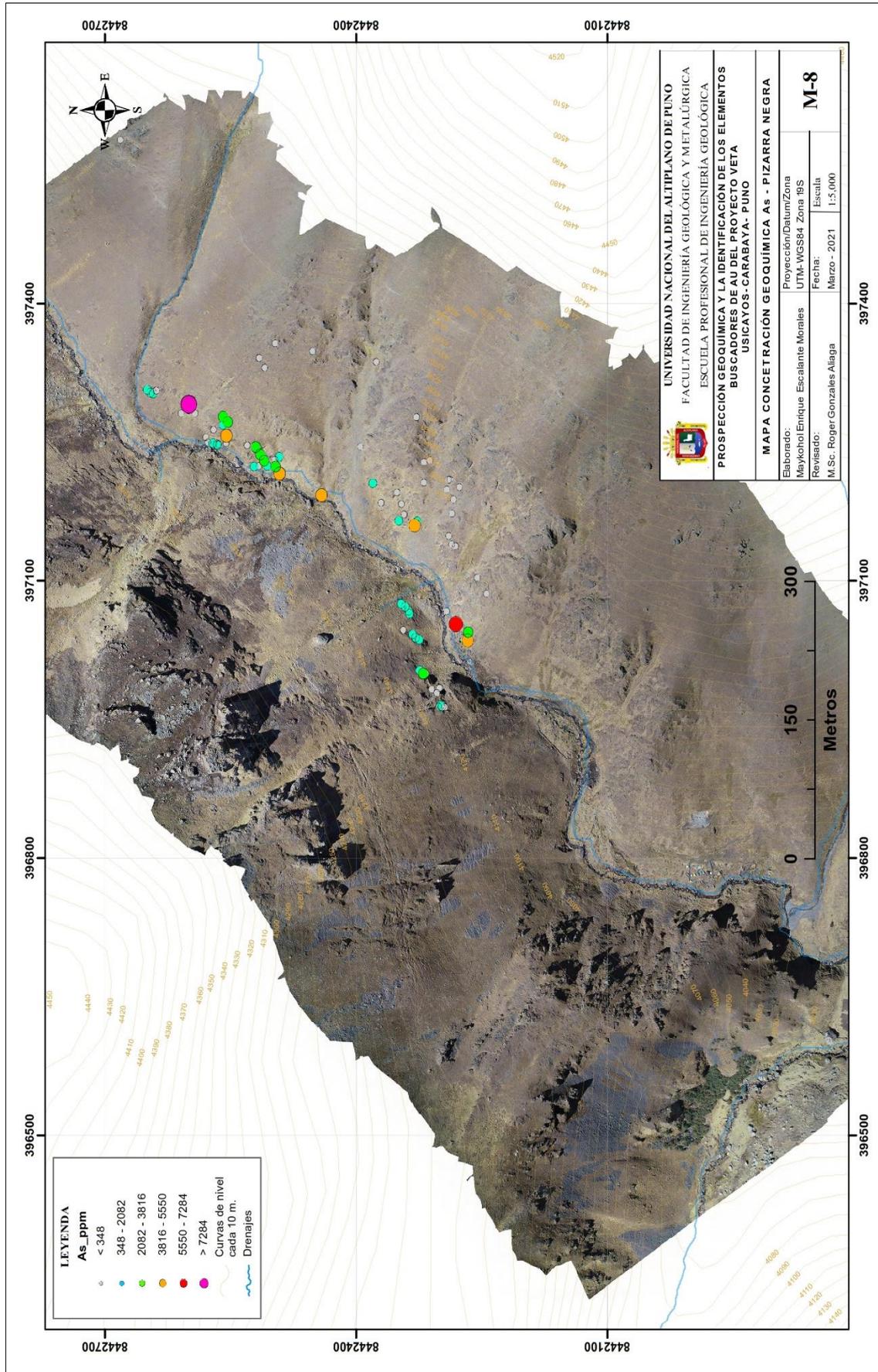


Figura N°60. Mapa de concentración geoquímica de As en Pizarra negra

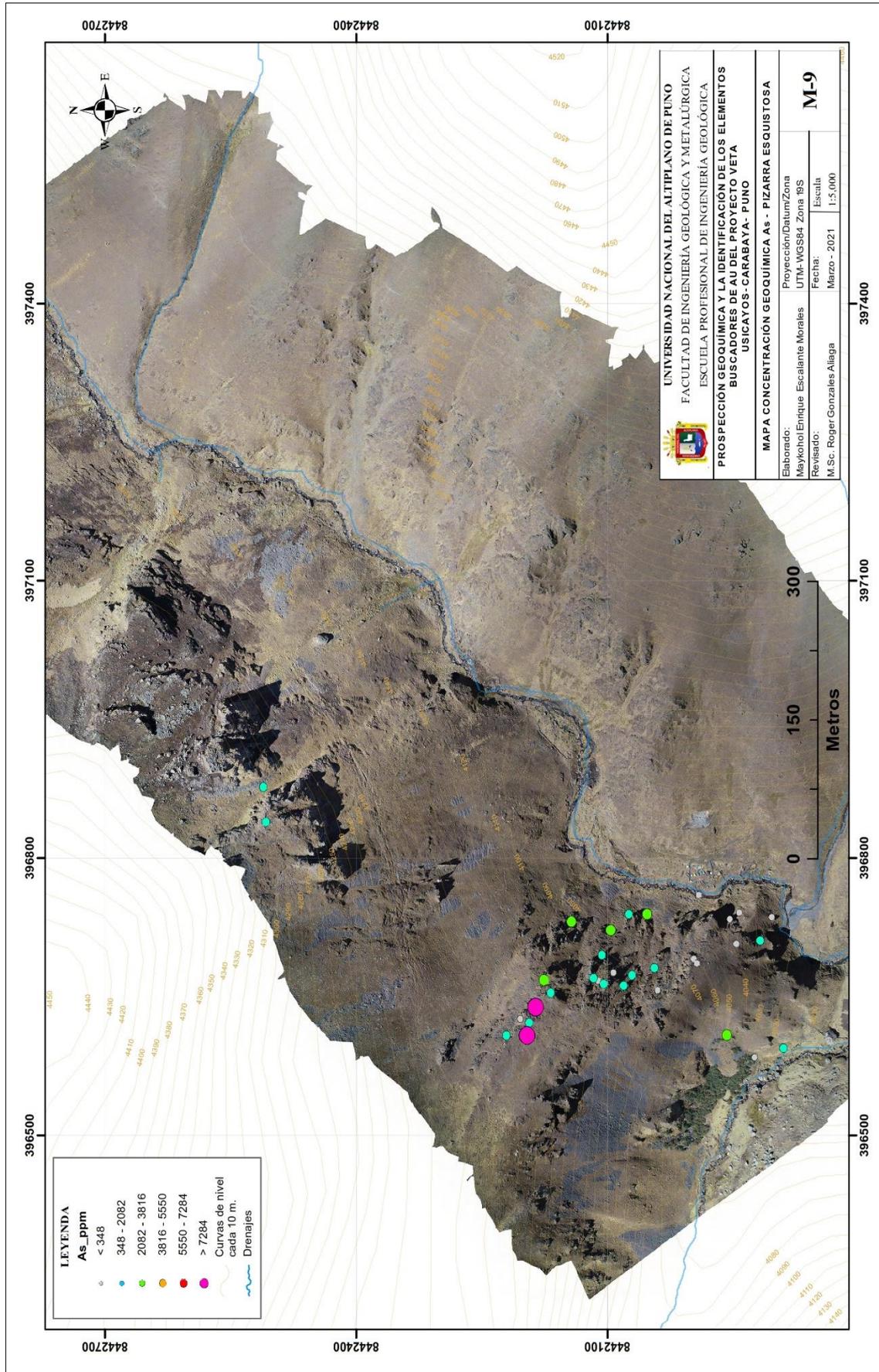


Figura N° 61. Mapa de concentración geoquímica de As en Pizarra esquistosa



Figura N°62. Mapa de concentración geoquímica de As en el proyecto Veta



Figura N°63. Mapa de tendencia geoquímica de As en el proyecto Veta

Distribución geoquímica del Au

Según las pruebas realizadas de normalidad de Kolmogorov – Smirnov y análisis estadístico univariado para cada población litológica, el elemento Au tiene un comportamiento lognormal, la distribución de valores del Au en superficie dentro del proyecto Veta está en el rango de 0.005 a 103 ppm, con un total de 298 muestras utilizadas.

La correlación lineal del Au con los demás elementos para cada población litológica se muestra de la siguiente manera:

- Pizarra gris limolítica, se determina la correlación débil del Au – As.
- Pizarra negra, se determina se determina la correlación moderada de Au – As y correlación débil del Au -Cu-Cr-Pb.
- Pizarra esquistosa, se determina la correlación moderada a fuerte del Au - Cr, Au – As y Au – Mo y correlación débil del Au-Co-Pb-S.

Los valores de background y threshold para las diferentes poblaciones se encuentran detalladas en la tabla N°37, para determinar estos valores geoquímicos se utilizó el diagrama de boxplot, la mayor cantidad de anomalías de Au corresponde a la población de pizarra gris limolítica que representan el 62% de la anomalía geoquímica, el mayor umbral de 103 ppm fue determinado en la población de Pizarra gris limolítica.

La presencia de anomalías de Au en el proyecto Veta se refleja en los valores consistentes de As, los mejores valores de oro se encuentran hacia la zona del centro de la quebrada refiriéndose a niveles más profundos o de cotas más bajas.

Tabla N°37. *Parámetros estadísticos – geoquímicos del Au*

Elemento Au	Pizarra gris Limolítica	Pizarra negra	Pizarra esquistosa
N° muestras	218	89	33
N° muestras utilizadas	190	82	30
Valor mínimo ppm	0.005	0.014	0.017
Valor máximo ppm	103	39.2	1.677
Desviación Estándar ppm	0.269	0.513	0.086
Background ppm	0.117	0.214	0.079
Threshold ppm	0.636	1.240	0.251



En función del background y threshold calculados para cada población litológica (Tabla N°38), se define el promedio de rangos de variación geoquímicos del Au que usaremos para la elaboración de mapas de concentraciones y tendencias geoquímicos.

Tabla N°38. Rangos geoquímicos del Au para cada población

Pizarra gris Limolítica ppm	Pizarra negra ppm	Pizarra esquistosa ppm	Rango promedio ppm
0.117	0.214	0.079	< 0.15
0.636	1.240	0.251	0.15 - 0.7
1.154	2.266	0.422	0.7 - 1.3
1.673	3.292	0.593	1.3 - 1.9
2.192	4.317	0.764	1.9 - 2.5
			> 2.5

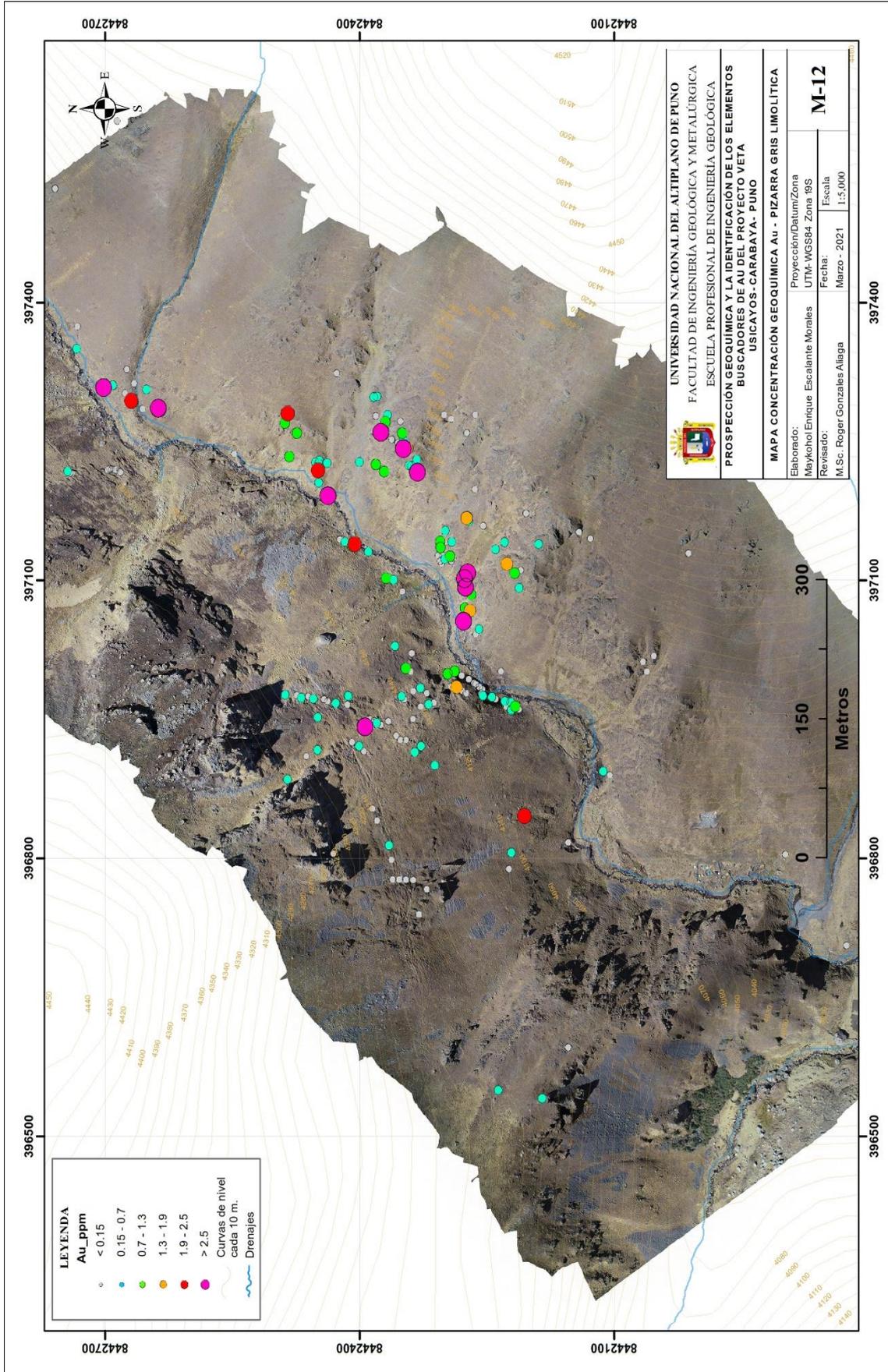


Figura N°64. Mapa de concentración geoquímica de Au en Pizarra gris limolítica
120

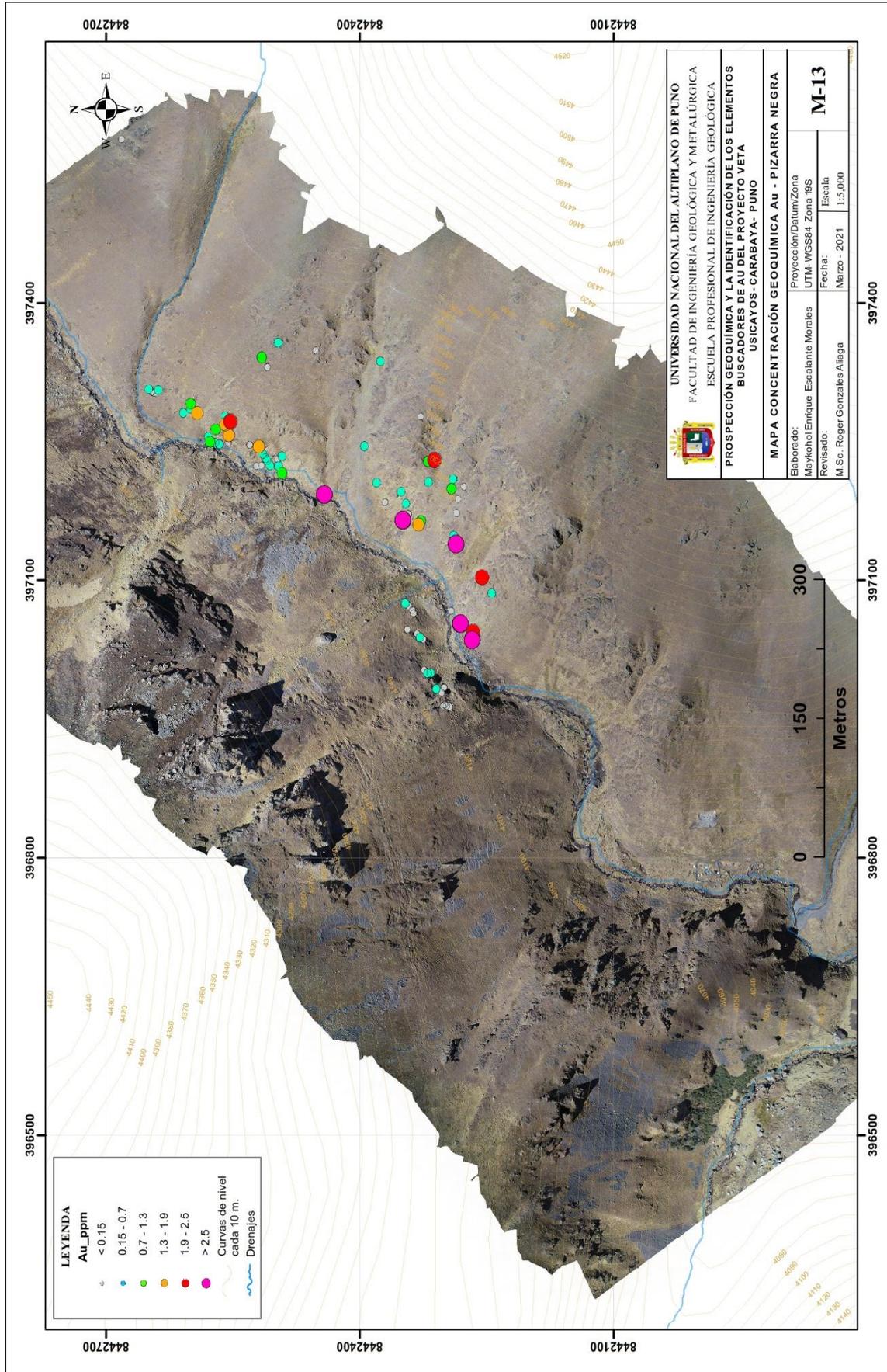


Figura N°65. Mapa de concentración geoquímica de Au en Pizarra negra

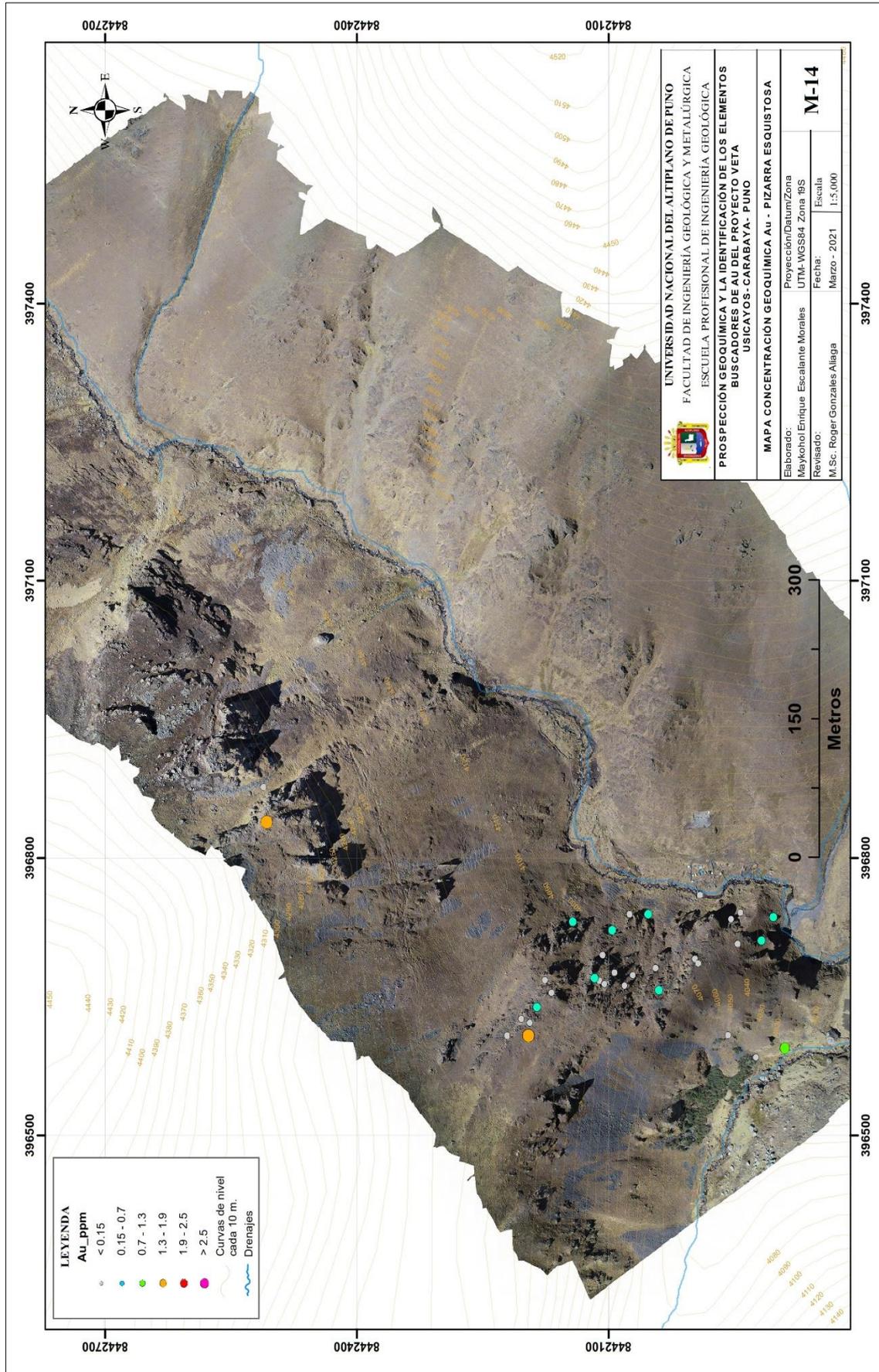


Figura N° 66. Mapa de concentración geoquímica de Au en Pizarra negra



Figura N°67. Mapa de concentración geoquímica de Au en el proyecto Veta



Figura N°68. Mapa de tendencia de Au en el proyecto Veta



5.4 COMPARACIÓN CON OTROS RESULTADOS

Esta investigación está directamente relacionada a elementos buscadores de Au para la prospección y/o exploración, y fue realizada en base a trabajos hechos por Aguirre, (2017), Chura, (2017) y Luque (2013) y un artículo de Mc Iver, et al (2013) citadas en el ítem de antecedentes, en los cuales concluyen que el elemento As tiene una moderada correlación con el Au, asimismo se determina que el elemento As es un excelente trazador (*Pathfinder*) para el Au en el proyecto Veta.



VI. CONCLUSIONES

Los protocolos de calidad para los elementos representativos de As y Au fueron óptimos y aceptables para la exactitud, precisión y contaminación del análisis geoquímico en laboratorio; esto validó la base de datos de 340 muestras geoquímicas superficiales.

Mediante el análisis bivariado el elemento Au tiene una correlación entre débil (0.32) a moderada (0.48 – 0.55) con el elemento As, esto fue corroborado mediante el análisis multivariado; además la presencia de valores moderados de As en el proyecto Veta se refleja en las anomalías presentes de Au, asimismo los valores de As son consistentes en casi toda el área de estudio, lo que indica que el As es un excelente elemento buscador (*pathfinder*).

Se determinaron los valores geoquímicos de *background* y *threshold* del As-Au para cada población litológica, el cual han permitido determinar zonas anómalas de mineralización aurífera en las poblaciones de Pizarra gris limolítica y pizarra negra, concluyendo que la mineralización obedece a un tren mineralizado de dirección NE-SO.



VII. RECOMENDACIONES

Implementar para cada etapa de la prospección geoquímica y/o exploración un programa de aseguramiento y control de calidad para mantener un grado óptimo de precisión y exactitud de los datos geoquímicos en todas las fases del proyecto Veta.

Realizar más campañas de prospección en el área de estudio para llevar a cabo un muestreo geoquímico a detalle, para así poder cuantificar mejor el contenido de Au, además se sugiere continuar con los trabajos superficiales de prospección geológica-geoquímica hacia las extensiones del proyecto Veta con direcciones NE y SO en estructuras mineralizadas con contenido de As, para ver la continuidad de la mineralización.

Hacer un programa de prospección geofísica y luego un programa de perforación diamantina que pueda superar los 350 m. de profundidad por las características del tipo de depósito mineral, ya que se observan evidencias suficientes de mineralización aurífera que podrían ayudar a definir un potencial económico en profundidad.



VIII. REFERENCIAS

- Aguirre, H. C. (2017). Caracterización y Exploración Geológica del Proyecto Crucero – Puno, Tesis de grado de ingeniero, Universidad Nacional del Altiplano de Puno. <http://repositorio.unap.edu.pe>.
- Ahrens, L. H. (1957), The lognormal distribution of the elements--a fundamental law of geochemistry: *Geochim. et Cosmochim. Acta*, vol. 11.
- Alfaro, M. A. (2002). Introducción al Muestreo Minero. Santiago, Chile. Instituto de Ingenieros de Minas de Chile. vol. 02.
- Alperin, M. (2013). Introducción al Análisis Estadístico de Datos Geológicos, con prólogo de Luis Spalletti. - 1a ed. - Universidad Nacional de La Plata, La Plata
- Audebaud, E. (1973). Boletín N°25 Serie A: Carta Geológica Nacional. Geología del cuadrángulo de Ocongate y Sicuani 28-t, 29-t- Perú, primera edición. Impreso en INGEMMET.
- Blanco, J. (1985). Importancia del muestreo en un Programa de Geoquímica de Exploración.
- Cáceres, D. (2008). Exploración geológica y geoquímica del prospecto de cobre Texas, cordillera de Domeyko, II región, Chile. Tesis de grado de ingeniero, Universidad de Chile.
- Calcina, M. (2008). Prospección geoquímica, Texto Universitario, Oficina Universitaria de Investigación, EPIG, FIGIM – Universidad Nacional del Altiplano de Puno.
- Cardona, A. (2006). Reconhecimento da evolução tectônica da protomargem Andina do centro-norte peruano, basada em dados geoquímicos e isotópicos do embasamento da Cordilheira Oriental na região de Huánuco-La Unión. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo - Instituto de Geociências, São Paulo.
- Chávez, H. (2001). Prospección Geoquímica de Sedimentos de Quebradas y Rocas de Zonas de Anomalías Espectrales. Yauyos – Lima– Tesis de grado de ingeniero, Universidad Nacional del Altiplano-Puno. <http://repositorio.unap.edu.pe>
- Chura, D. P. (2017). Evaluación Geológica De La Veta Serpiente Del Yacimiento Muccumayo Carabaya-Puno. Tesis de grado de ingeniero, Universidad Nacional Del Altiplano -Puno. <http://repositorio.unap.edu.pe>.
- Cossío, D. y Rivera, H. (2017). Caracterización Geoquímica del Elemento Zinc en la Mina Toquepala y sus implicancias en el tratamiento metalúrgico. Vol. 20, N°39, Revista del Instituto de Investigación, FIGMMG -UNMSM.



- Cueva, P. G. (2017). “Prospección Geoquímica del Prospecto Isabel, Distrito de Jircan – Huánuco. Tesis de grado de ingeniero, Universidad Nacional de Cajamarca. <https://repositorio.unc.edu.pe>.
- Dalmayrac B., et al (1988). Caracteres Generales de la Evolución Geológica de los Andes peruanos. Bol. N° 12. Serie D. INGEMMET. Lima-Perú.
- De la Cruz, N. (1995). Boletín N°58 Serie A: Carta Geológica Nacional. Geología de los cuadrángulos de Vellille, Yauri, Ayaviri y Azángaro 30-s, 30-t, 30-u, 30-v- Perú, primera edición. Impreso en INGEMMET.
- Douglas, J. (1914). Geological sections through the Andes of Perú and Bolivia: I-from the coast at Arica in the North of Chile to La Paz and the Bolivian “Yungas”. Geological Society of London, Quarterly Journal, vol. 70.
- Galliski, M. A. (1996). Program with Abstracts, 49th Annual Meeting Mineralogical Association of Canada, A-33. The granitic pegmatites from Sierras Pampeanas, Argentina. A first sketch.
- Galliski, M. A. (2006). Geochemistry and Structural State of Columbite-Group minerals from granitic pegmatites of the Pampean Ranges. Canadian Mineralogist.
- Goldschmidt, V. M. (1937). Clasificación Geoquímica de los Elementos de las Fases Principales que Componen la Tierra. J. Chem. Soc.
- Goldfarb, R. J., Phillips, G. N. & Nokleberg, W. J. (1998). Tectonic setting of synorogenic gold deposits of the Pacific Rim. Ore Geology Reviews 13.
- Goldfarb, R. J., Groves, D. I. & Gardoll, S., (2001). Orogenic gold and geologic time; a global synthesis. Ore Geology Reviews 18.
- Groves, D. I., Goldfarb, R. J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S.G. & Robert, F., (1998). Orogenic gold deposits—a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. Ore Geology Reviews 13.
- Hawkes, H. A. (1957) - Principles of Geochemical Prospecting, 142.
- Haeberlin, Y. (2002) - Geological and structural setting, age, and geochemistry of the orogenic gold deposits at the Pataz Province, Eastern Andean Cordillera, Peru. Thèse Docteur, Université de Genève, Département de Minéralogie Genève, Terre and Environnement, 36.
- Hernández, S., Fernández, C. y Baptista, P. (2004). Metodología de la investigación, México: McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Hurtado, Y. R. (2002). Prospección geoquímica del cuadrángulo de Chahuanca (29-p),



- inventario de recursos minerales. Tesis de grado de ingeniero, Universidad Nacional de San Marcos, Lima. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe>.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (2017) - Atlas Geoquímico del Perú. Lima, segunda edición, INGEMMET.
- Kaiser, H. (1974). An index of factor simplicity. *Psychometrika*, 39 (1).
- Khaled, A. et al (2006). Multi-element association analysis of stream sediment geochemistry data for predicting gold deposits in south-central Yunnan province, China, *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, vol. 6, Part 4.
- Lambert, A. (2006). Manual de muestreo para exploración, minería subterránea y rajo abierto. Coquimbo, Chile.
- Luque, E. D. (2013). Geología económica del proyecto Ollachea, Distrito Ollachea – Carabaya – Puno. Tesis de grado de ingeniero, Universidad Nacional del Altiplano de Puno. <http://repositorio.unap.edu.pe>.
- Marocco, R. (1978). Estudio Geológico de la Cordillera de Vilcabamba. INGEMMET, Perú; Bol. Est. Espec. No 4.
- Mc Iver, D., Valdivieso, Y. y Rojas, J. (2013). Caracterización Geoquímica de la Mineralización Aurífera del Yacimiento Orogénico Ollachea Cordillera Oriental-Sureste del Perú. MINERA IRL, Lima, Perú.
- Megard, F. (1979). Geología del Perú Estudio geológico de los Andes Centrales del Perú. Bol. N°8. Serie D. INGEMMET. Lima-Perú.
- Monge, R. y Zedano, J. (1996). Boletín N°84 Serie A: Carta Geológica Nacional. Geología del cuadrángulo de Limbani. Lima – Perú, primera edición. Impreso en INGEMMET.
- Morales, A. (1985). Técnicas y métodos usados en exploración geoquímica y geofísica. vol. Manual 17.
- Newell, D. (1949). Gcology of the Lake Titicaca región-Perú and Bolivia. Geological Socielty of América Memoir. vol. 36.
- Nockolds, S. (1954). Average chemical composition of some igneous rocks. *Geological Society of America Bulletin*, 65.
- Palacios, O. et al (1993). Boletín N° 42 Serie A: Carta Geológica Nacional Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano al Oeste del Lago Titicaca Sur del Perú (Proyecto Integrado del Sur). Hojas: 31-t, 31-u, 31-v, 31-x, 31-y, 32-s, 32-t, 32-u, 32-v, 32-x, 32-y, 33-v, 33-x, 33-y, 33-z. Lima – Perú, primera edición. Impreso en INGEMMET.



- Quino, C. W. (2017). Exploración geoquímica y determinación de elementos pathfinder – target del proyecto: Achanizo Chaparra – Caraveli – Arequipa. Tesis de grado de ingeniero, Universidad Nacional del altiplano de Puno. <http://repositorio.unap.edu.pe>.
- Quíntela, A. (2019). Estadística Básica Edulcorada.
- Rivera, M. H. (2007). Introducción a la geoquímica General y Aplicada. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Rivera, H., et al (2007). Análisis correlacional y evolutivo de los metales pesados en sedimentos del río Santa entre Huaraz – Carhuaz, departamento de Ancash. vol. 11, N°21. Revista del Instituto de Investigación, FIGMMG -UNMSM.
- Rivera, H. y Chira, J. (2009). Análisis correlacional y caracterización geoquímica de la mineralización de las cuencas de los Ríos Chilca, Mala, Omas. Dpto. de Lima. vol. 12, N°24. Revista del Instituto de Investigación, FIGMMG -UNMSM.
- Rose, A. W., Hawkes, H. E. & Webb, J. S. (1979.) Geochemistry in Mineral Exploration.
- Sánchez, E. D. y Sánchez, J. E. (2015). Implementación de un sistema de control de calidad QA/QC Aplicado al análisis de muestras geológicas, para mejorar el nivel de confiabilidad de los resultados de laboratorio, en la empresa Anglo American. Quellaveco, Perú: Universidad Privada del Norte.
- Siegel, F. (1992), Geoquímica Aplicada, Editado por los asuntos Científicos y Tecnológicos de la Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos, Washington.
- Simón, A. (2010). Taller de aseguramiento de calidad QA/QC Workshop – Amec. 28 diapositivas. Chile.
- Sinclair, A. (1986). Statical Interpretation of soil Geochemical data in “Exploration Geochemistry desingn and interpretation of soil Surveys”.
- Stewart, J. W., Evernden, J. F. & Snelling, N. J. (1974). Age determinations from Andean Perú: A reconnaissance survey. Geological Societyof America Bulletin, 85.
- Ticona, C. Y. (2010). “Aseguramiento y Control de Calidad de la Exploración Geológica, Proyecto Igor Distrito Huaranchal - La Libertad. Trabajo asignado por la modalidad de examen de suficiencia profesional – Escuela Profesional de Ingeniería geológica, Tesina de grado, Universidad Nacional del Altiplano de Puno. <http://repositorio.unap.edu.pe>.
- Vargas, L. (2007), Dispersión Geoquímica secundaria de los principales elementos Lantánidos en la Cuenca de los ríos Chancay – Lambayeque, Tesis de grado de



ingeniero, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, Lima. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe>.

Vásquez, O. R. (2009). Distribución de Tierras Raras y otros elementos traza en la franja Polimetálica 9°-10°S del Perú Central. Cajamarca, Tesis de grado de ingeniero. Universidad Nacional de Cajamarca. <https://repositorio.unc.edu.pe>.

Viveros, T. L. (2014). Aseguramiento y Control de Calidad – QA/QC Aplicado al Muestreo Geoquímico de la Campaña de Perforación Diamantina 2012 del Proyecto Crucero-Puno. Tesis de grado de ingeniero, Universidad Nacional del Altiplano de Puno. <http://repositorio.unap.edu.pe>.

Valdivieso, Y. y Mc Iver, D. (2018). Exploración de Yacimientos de Oro Orogénico en la Región Puno. XIX Congreso Peruano de Geología Lima, 2018.

Webgrafías:

Escobar, M. (2013). <https://es.scribd.com/document/140320217/muestreo-preparacion-mecanica-de-minerales-unidad-I>.

Hartman (1987). En <https://www.geovirtual2.cl/EXPLORAC>. Visitado en 2020.

Warren & Delarault, (1953, 956). Métodos geoquímicos de exploración minera. <http://littlebullet2.tripod.com/Paginas/geoquimica.htm>.



ANEXOS

- A-1.** Base de datos de QA/QC
- A-2.** Base de datos geoquímicos
- A-3.** Datos obtenidos de la prueba de normalidad de Kolmogorov – Smirnov.
- A-4.** Carta de consentimiento para el uso de la información pública del proyecto veta.