

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS PROFESIONAL

**ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOQUÍMICO DEL PROYECTO HUAYRAPONGO,
SECTOR CALIFORNIA, DISTRITO DE SAN BERNARDINO – SAN PABLO.
CAJAMARCA – PERÚ 2016**

Presentado por:

Bach. ERNALDO CÓRDOVA RAYCO

Asesor:

M.Cs. Ing. JOSÉ ALFREDO SIVERONI MORALES

Cajamarca, 2018

AGRADECIMIENTOS

A los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional de Cajamarca, Ing. Zenón Quispe, Ing. Roberto Gonzales, Ing. Víctor Arapa, quienes apoyaron mi formación profesional en especial al Mg. Ing. José Alfredo Siveroni Morales por brindarme su apoyo y guía en la elaboración de esta tesis y en toda mi carrera universitaria.

Ante todo quisiera agradecer a mi familia, a Dios, por darme la vida y haberme puesto en el camino de la geología.

Son muchas las personas a quienes debo la realización de este trabajo de investigación, agradezco a la empresa SMRL Occidental 2 de Cajamarca por haberme permitido realizar la investigación en sus posesiones mineras así como brindarme la información existente.

Al Dr. David Paz por sus consejos en el inicio de mi trayecto como Geólogo de exploraciones; a los amigos, ahora colegas de la UNC y de los diferentes proyectos en los que he participado, mi infinito agradecimiento por su apoyo y muestras de estima personal.

DEDICATORIA

“... A Dios por ser mi guía en el sendero de la vida y ayudarme a cumplir mis metas y objetivos.

A mis padres Víctor y Dominga quienes me enseñaron el significado de la vida y el trabajo.

A mis hermanos que siempre me apoyaron en todo sentido para salir adelante.

A todos los docentes y compañeros de la Escuela de Ingeniería Geológica quienes me brindaron todo su apoyo y la confianza en el reto de salir adelante...”

CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	3
MARCO TEÓRICO	3
2.1. Antecedentes teóricos de la Investigación.	3
2.2. Bases teóricas.	5
2.2.1. Depósitos Epitermales	5
2.2.2. Yacimientos tipo Pórfido	8
2.2.3. Características Geológicas de Formación	9
2.2.4. Alteraciones Hidrotermales	10
2.2.5. Ensamblajes de Alteración	14
2.2.6. Procesamiento Estadístico de Valores Geoquímicos	14
2.2.7. Dispersión Geoquímica	16
2.2.8. Elementos Guías Indicadores de Descubrimientos (Pathfinder)	19
2.2.9. Anomalía Geoquímica	21
2.2.10. Correlación de Elementos	21
2.3. Definición de términos básicos.	21
CAPÍTULO III	23
MATERIALES Y MÉTODOS	23
3.1. UBICACIÓN	23
3.1.1. ACCESIBILIDAD.	23
3.1.2. CLIMA Y VEGETACIÓN.	24
3.2. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.	26
3.3. GEOLÓGIA DEL PROYECTO CALIFORNIA	31

	Pág.
3.4.ANÁLISIS DE DATOS GEOQUÍMICOS	46
CAPÍTULO IV	87
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	87
4.1.Comportamiento Geológico	87
4.2.Alteraciones Hidrotermales	88
4.3.Correlación Geoquímica Superficial con Geofísica	89
4.4.Determinación de Puntos y posibles coordenadas de las zonas a perforar	90
4.5.Contrastación con la Hipótesis	90
CAPÍTULO V	91
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
5.1.CONCLUSIONES	91
5.2.RECOMENDACIONES	92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
ANEXOS: A	94

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Minerales de diagnóstico de varios estados de pH, estados de sulfuración y oxidación, usados para distinguir ambientes Epitermales formadores de mineral.	7
Tabla 2: Movilidad de elementos en ambientes supergénicos	19
Tabla 3: Asociación de elementos	20
Tabla 4: Coordenadas UTM del área de investigación.....	23
Tabla 5: Acceso al Sector California, Proyecto Huayrapongo	24
Tabla 6: Matriz de correlación de Pearson para 22 elementos (Geoquímica superficial).	72
Tabla 7: corrección de encabezado	78
Tabla 8: Coordenadas planteadas para la campaña de perforación diamantina.	90

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1: Vista panorámica del Sector California (Enero 2016) mirando al SO.	25
Foto 2: Vista general del Sector California, muestra la típica vegetación (julio 2016).....	25
Foto 3: Toma de Muestra por método Rock Chip en afloramientos.....	28
Foto 4: Toma de muestra mediante realización de trincheras en veta.	29
Foto 5: Toma de muestra mediante canal en estructuras de venillas.....	29
Foto 6: Recolección de muestras de mano en saquitos franeleados codificados, para su respectivo análisis.....	30
Foto 7: Muestras en bolsas de polipropileno codificados, para su respectivo envío al laboratorio para un barrido de 38 elementos.....	31
Foto 8: Vista panorámica del cerro la Unión, donde se aprecia los volcánicos San Pablo sobreyaciendo al Volcánico Tembladera.	32
Foto 9: Pseudo estratificación en flujos piroclásticos de composición andesítica color gris verduzcas, con poca presencia de minerales ferruginosos.....	33
Foto 10: Se aprecia las rocas andesíticas pertenecientes al Volcánico Chilete, con una pequeña cubierta de flujos piroclásticos de la misma composición (gris), en las parte inferior de la foto se aprecia ligeramente la argilización, Qda. California.	34
Foto 11: Andesitas grises ligeramente meteorizadas por agentes superficiales, así mismo se aprecian algunos lineamientos de arcillas relleno de fracturas considerables (aluminosilicatos).	34
Foto 12: Andesitas gris violetas, silisificadas, con abundante presencia de óxidos	

	Pág.
ferruginosos así como presencia de kaolinita como relleno en algunas fracturas.	35
Foto 13: vista general donde se aprecia al Volcánico San Pablo (Andesitas grises) suprayaciendo al volcánico Chilete.....	36
Foto 14: Pequeño apófisis aflorantes de composición Dacítica, con abundante venillas con óxidos ferruginosos, en algunas venillas aún se observan sulfuros (Py,Gln, Apy), la zona esta argilizada.	37
Foto 15: Muestra el intrusivo dacítico en la Qda California, con sistema de venillas de óxidosde hierro (hematita).	37
Foto 16: contacto entre los cuerpos intrusivos dacítico con diorítico en la Qda. California.	38
Foto 17: Se aprecia parte del afloramiento, algo silicificado asi como se puede ver que debido a la exposición al agua se vienen desarrollando cristales de calcantita y goslarita (sulfatos), este afloramiento muestra una diseminación moderada en cuanto a sulfuros.	39
Foto 18: Se muestra parte de un afloramiento del int. Diorítico, asi mismo se aprecian las plagioclasas y horblendas inmersos en la matriz ligeramente silisificada.	39
Foto 19: Muestra en tonalidades amarillentas y rosáceas las zonas de mayor abundancia de arcillas, Qda. California.....	41
Foto 20: Muestra de mano donde se aprecia la alteración Argílica mostrando algunos minerales característicos y algunos ojos de cuarzo.	41
Foto 21: Imagen general de las zonas donde se presenta la alteración descrita.....	42
Foto 22: Muestra de mano, se puede apreciar los minerales típicos de la Alteración Argílica Avanzada, como Dickita, y el Cuarzo-Alunita.	42
Foto 23: Se muestra a la alteración Argílica Avanzada.	43
Foto 24: Se aprecia bandas de color gris claro fuertemente silisificadas, con algunas oquedades como huella de la pre-existencia de sulfuros.....	44
Foto 25: Muestra una Andesita fuertemente silisificada, con algunos cristales de pirita y venillas de Qz.	44
Foto 26: Muestra de roca moderadamente silisificada con presencia de óxidos de hierro , y así mismo una relación directa con la alteración argílica, al NW de la Qda californiana.....	45
Foto 27: Se distingue una pervación moderada por la silicificación transformando la matriz andesítica asi como venillas de Qz rellenos de óxidos de hierro.	45

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Modelo conceptual simplificado de los depósitos epitermales de baja (BS), intermedia (IS) y alta sulfuración (AS) (modificado de Sillitoe, 1995).	6
Figura 2: Esquema de Alta y Baja sulfuración. (Hedenquist, 1987).....	6
Figura 3: Zoneamiento típico de alteración para los depósitos de baja e intermedia sulfuración (modificado de Buchanan, 1981)	8
Figura 4: Sistemas Epitermales de alta y baja sulfuración en su relación con pórfidos. (Fuente: G: Corbett – ProExplo 2005).....	10
Figura 5: Distribución de zonas de alteración hidrotermal en un pórfido cuprífero de acuerdo al modelo clásico de Lowell y Gilbert (1970). Núcleo de alteración potásica rodeado de alteración fílica (cuarzo-sericítica), alteración argílica local en torno a zona fílica y halo externo de alteración propilítica.	12
Figura 6: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Au.	48
<i>Figura 7: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Ag.</i>	<i>49</i>
Figura 8: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el As.	50
Figura 9: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Ba.	51
<i>Figura 10: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Bi.</i>	<i>52</i>
Figura 11: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Ca.	53
Figura 12: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Co.	54
Figura 13: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Cu.	55
Figura 14: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Fe.	56
Figura 15: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Hg.	57
Figura 16: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el K.	58
Figura 17: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Mn.	59
Figura 18: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Mo.	60
Figura 19: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el P.	61
Figura 20: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Pb.	62
Figura 21: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el S.	63
Figura 22: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Sb.	64
Figura 23: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Sn.	65
Figura 24: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Sr.	66
Figura 25: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el V.	67
Figura 26: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el W.	68

	Pág.
Figura 27: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Zn.	69
Figura 28: Gráfico de corrección diurna de la variación del campo magnético.....	77
Figura 29: Mapa de Anomalías Magnéticas. (Estudio por Fugro Ground Geophysics).....	80
Figura 30: Mapa de Cargabilidad Nt 300m.....	81
<i>Figura 31: Mapa de Resistividad hasta los 300m.....</i>	<i>82</i>
Figura 32: Mapas superpuestos, para determinación de Targets Geofísicos.	83
Figura 33: Sección Ideal sobre el área de estudio (Se observa el cuerpo polarizable).....	84
Figura 34: Sección Ideal de resistividad sobre el área de estudio (Se observa el cuerpo polarizable)	85
Figura 35: Vista en 3D de los Targets geofísicos determinados.....	86
Figura 36: Evidencias de Stockwork zona NW de la Qda. California.....	88

GLOSARIO

HS	: High Sulfuración
LS	: Low Sulfuration
EH	: Estandar de Hidrógeno
Py	: Pirita
Qz	: Cuarzo
Dik	: Dickita
Ln	: Logartimo natural
D E	: Desviación estándar
N	: Número de muestras
mV	: Mili voltios
nT/m	: Nano teslas por metro
ohm	: ohmios
Tg	: Target

RESUMEN

La tesis titulada “Estudio Geológico, Geoquímico del Proyecto Huayrapongo, Sector California, Distrito de San Bernardino – San Pablo” contiene información acerca de las características litológicas, estudio geoquímico y geofísico del sector California, ubicado al SE del Proyecto Huayrapongo, políticamente ubicado en el Distrito de San Bernardino, Provincia de San Pablo, Cajamarca. Se localizó un pequeño afloramiento Subvolcánico que estaba cubierto por zonas alteradas con arcillas y óxidos lo que conllevó a realizar la investigación para determinar las características geológicas y geoquímicas mediante campo y gabinete obteniendo resultados de laboratorio; determinando así las características geológicas y geoquímicas donde se evidencia una buena correlación de las anomalías mostradas por el estudio Geofísico con las anomalías demarcadas por la geoquímica superficial, que a su vez en concordancia con las zonas de Alteración hidrotermal identificadas durante el cartografiado geológico de alteraciones realizado, se ha definido 03 targets de gran interés económico. La dirección predominante de las fallas y estructuras representativas es NW – SE (ver plano 03) que sin duda han servido algunas como conducto ascendente de fluidos mineralizantes y se encuentran con evidente silicificación, y alteración Argílica, las anomalías según la correlación de Pearson se reportan para Oro, Cobre y Molibdeno, Azufre, Estaño y Wolframio por lo que en el presente estudio se determina la alta probabilidad de un pequeño cuerpo tipo pórfido.

Palabras claves: Litología, Mineralización, Geoquímica, Alteración.

ABSTRACT

The thesis entitled "Geological, Geochemical study of the Huayrapongo Project, Sector California, District of San Bernardino - San Pablo" contains information about the lithological characteristics, geochemical and geophysical study of the California sector today, and Project, located SE of the Huayrapongo Project, politically located in the District of San Bernardino, Province of San Pablo, Cajamarca. A small Subvolcanic outcrop was located that was covered by areas altered with clays and oxides which led to the investigation to determine the geological and geochemical characteristics by field and cabinet obtaining laboratory results; thus determining the geological and geochemical characteristics where a good correlation of the anomalies shown by the Geophysical study with the anomalies demarcated by the superficial geochemistry is evidenced, that in turn in accordance with the zones of hydrothermal alteration identified during the geological mapping of alterations carried out, has been defined 03 targets. The predominant direction of the faults and representative structures is NW - SE that have undoubtedly served as an ascending conduit of mineralizing fluids and are found with evident silicification, and Argillic alteration, the anomalies according to the Pearson correlation are reported more for Gold, Copper and Molybdenum, Sulfur, Tin and Wolfram so in the present study the high probability of a small porphyry body is determined.

Key Words: Lithology, Mineralization, Geochemistry, Alteration.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El área de estudio se ha realizado en el cerro Toropastana y quebrada California, al SE del Proyecto Paredones, en el distrito de San Bernardino, Provincia de San Pablo, Cajamarca, Perú. Este yacimiento geológicamente se ubica en la franja volcánica cenozoica al sur de la deflexión de Huancabamba, con un alojamiento dentro del corredor San Pablo – Porculla y franja metalogenética XXI.

El Proyecto Huayrapongo consta de varios Sectores, el sector California denominado ahora Proyecto California cuenta con características propias y distintas del clásico Epitermal de Baja Sulfuración. Al mostrar alteraciones hidrotermales, intensidad de fracturamiento y mineralización así como la presencia de dos eventos intrusivos uno diorítico y el otro dacítico ambos silicificados y con presencia de sulfuros diseminados en su matriz así como óxidos, mixtos y otros sulfuros.

En este trabajo de investigación se realizaron técnicas descriptivas e interpretativas para definir la importancia económica del yacimiento, con la finalidad de continuar las investigaciones o descartarlas como potencial económico. De acuerdo al muestreo superficial en las diversas campañas de exploración (2016-2017), se tienen leyes de Au 0.47 g/t, Ag 90 g/t, Cu 1.9% como primera referencia, pero nos e ha realizado ningún entendimiento de esta mineralización con respecto a sus controles. Se estima que la mineralización está controlada a los contactos litológicos, distribución de los intrusivos y fallas, este trabajo se centra en el comportamiento superficial y determinación de anomalías que permitan realizar una siguiente campaña de sondajes.

Para realizar esta investigación se genera la siguiente interrogante, ¿Cuáles son las características geológicas y geoquímicas del Proyecto Huayrapongo, Sector California?

El objetivo principal de esta tesis está enfocado en definir las características geológicas y geoquímicas del Sector California con las cuales poder definir la probabilidad de un yacimiento tipo pórfido en tal sector diferenciándose de los demás sectores por ser el único con alteraciones hidrotermales visibles. Para dar soporte al objetivo principal y realizar la correlación adecuada se han considerado varios parámetros como: Cartografiado geológico de 256 hectáreas, muestreo aleatorio de las diversas campañas 140 muestras geoquímicas (Análisis multielemento ICP-32) y se toma como información complementaria el estudio geofísico de 13.6 Km/lineales que cubre un 53% del área de estudio.

Se menciona que en base a las características determinadas en campo y procesadas en gabinete, junto a las correlaciones entre anomalías geoquímicas y geofísicas se identifican 3 targets de importante interés y con estos la ubicación de 11 puntos sugeridos para realizar las perforaciones correspondientes.

En cuanto a los capítulos de esta investigación, el capítulo II presenta algunos antecedentes teóricos que guardan relación con el tipo y área de investigación. Las bases teóricas necesarias en cuando al modelo conceptual y características de los yacimientos mencionados. EL tercer capítulo contiene la metodología, procedimientos realizados y presentación de resultados. En el cuarto capítulo se analiza y se discute los resultados mediante gráficos contrastando y verificando la investigación determinando la veracidad de la misma. En el último capítulo, se presenta las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes teóricos de la Investigación.

INGEMMET (1980) realiza el estudio sobre Geología de Yacimiento Paredones, en el que los autores determinan que las características geomineralógicas de las estructuras nos indican que ellas fueron formadas por relleno hidrotermal de fisuras de sustancias mineralizantes bajo condiciones de moderada a baja temperatura y presión, de aquí que el depósito de paredones está dentro del tipo mesotermal a epitermal.

Gonzales (1989) realizó un trabajo sobre evaluación Geológica de Yacimiento Paredones, en cuyo estudio se determina que la mineralización económica consiste de esfalerita, galena y pirita y en menor cantidad calcopirita y como ganga cuarzo, calcita, dolomita, barita y yeso. La zona de sulfuros y enriquecimiento secundario constituye la mayor parte del yacimiento, siendo la zona de oxidación de menor importancia.

En el año 2004 la empresa S.M.R.LOccidental 2 de Cajamarca con el fin de evaluar las vetas y otras estructuras mineralizadas, encarga a Servicios y Operaciones El Rosedal S.A. la ejecución de trabajos exploración minera, identificando así tres anomalías de color: California, El Ingenio y Pilcay.

Chira y Rivera (2007) realizaron un trabajo sobre Geología de Paredones y definieron que La Mina Paredones, explotada por Zn, Pb, Ag, se encuentra en una potente formación de rocas volcánicas andesíticas del Terciario superior, suprayaciendo discordantemente a calizas, lutitas y cuarcitas del Cretáceo, conformando una topografía relativamente escarpada y fuertemente disectada. Sobre la margen izquierda del río Magdalena aflora una secuencia de rocas cretáceas de rumbos

generales EO y buzamientos que van hasta 60° N y constituyen las rocas más antiguas del área, las mismas que sirvieron de base a una potente formación de rocas volcánicas andesíticas conocidas como «Volcánicos Paredones». Hacia el sur del área la intrusión de un pórfido dacítico modificó la secuencia estratigráfica.

En el año 2008 la empresa Servicios y Operaciones El Rosedal S.A., encargó al consultor Pedro Miguel Gagliuffi Espinoza realizar el estudio minerográfico y petrográfico de 12 muestras confirmándose en éste que en la zona conformada por la anomalía del Sector California existen alteraciones hidrotermales del tipo Fílica y Potásica.

A mediados del 2008 se encargó a Fugro Ground Geophysics (Fugro), efectuar estudios geofísicos por los métodos de polarización inducida 3D (13.2 Km lineales) y Prospección Magnética (13.65 km lineales) dentro de la anomalía del Sector California; manifestando en los resultados que se ha identificado anomalías de cargabilidad-resistividad asociadas a un yacimiento del tipo Pórfido Cu-Mo.

Fidel y Laime F. (2011) en la Evaluación Geológica preliminar del proyecto paredones y California donde identifican una zona alterada (Caolinita, Sericita, Pirita) en los volcánicos Tembladera coincide epigenéticamente con el emplazamiento de los volcánicos presentes en la quebrada California; determinando que en este sector se presume la presencia de un cuerpo tipo pórfido, pero con improbabilidades por que cuenta con el substrato rocoso calcáreo y con areniscas de la formación santa que no estarían relacionadas directamente con alguna inyección de intrusivos debajo de la zona alterada, por lo que determinan pocas probabilidades de un cuerpo pórfido genéticamente relacionado con el sistema hidrotermal presente y que la mineralización está solamente en las rocas volcánicas andesíticas del volcánico pertenecientes al Grupo Calipuy.

2.2. Bases teóricas.

2.2.1. Depósitos Epitermales

Son depósitos minerales en los que la mineralización ocurrió dentro de 1 a 2 km de profundidad desde la superficie terrestre y se depositó a partir de fluidos hidrotermales con temperaturas que varían desde menos de 100 °C hasta 320 °C. Estos depósitos se encuentran principalmente en áreas de volcanismo activo alrededor de los márgenes de continentes o arcos de islas. A estos yacimientos se asocia una mineralización principalmente de oro y plata con presencia mayor o menor de sulfuros de metales base en general cobre, plomo y zinc. La mineralización se da principalmente en vetas, vetillas o disseminaciones asociadas algunas veces a intensas zonas de brechamiento.

Se conocen dos estilos de mineralización: 1). Alta sulfuración y 2). Baja Sulfuración. El primero se encuentra relacionado con clásicos fenómenos volcánicos tipo aparato central o calderas; sistemas ricos en azufre que dan origen a facies de alteración tipo Argílica avanzada, con otras facies que incluyen intensa silicificación y Propilitización. El segundo se encuentra relacionado con manifestaciones tipo campo geotérmico y las facies de alteración presentes son principalmente de tipo potásica y clorítica. (Hedenquist ,1987).

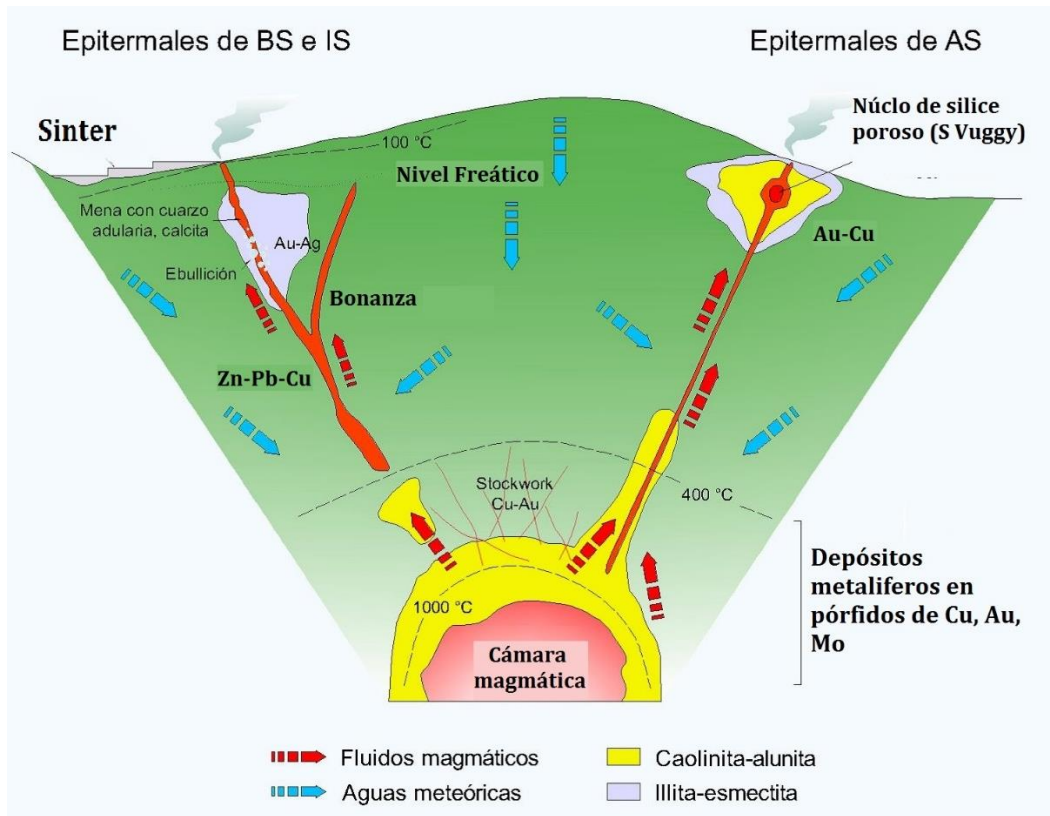


Figura 1: Modelo conceptual simplificado de los depósitos epitermales de baja (BS), intermedia (IS) y alta sulfuración (AS) (modificado de Sillitoe, 1995).

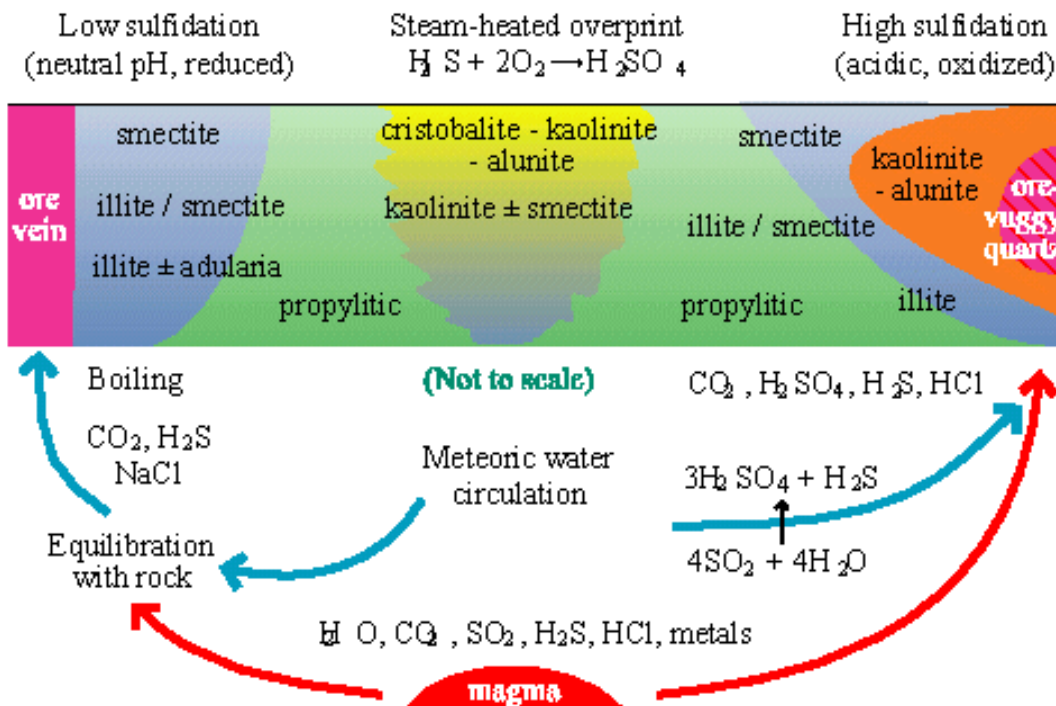


Figura 2: Esquema de Alta y Baja sulfuración. (Hedenquist, 1987)

Tabla 1 Minerales de diagnóstico de varios estados de pH, estados de sulfuración y oxidación, usados para distinguir ambientes Epitermales formadores de mineral.

PH ácido		PH neutro
<p>Alunita, caolinita (dickita) pirofilita, sílice residual, cuarzo vuggy</p> <p style="text-align: center;">Alta Sulfuración</p> <p>Pirita-enargita±luzonita, covelita- digenita,oropimente</p> <p style="text-align: center;">Oxidado</p> <p>Alunita, hematita- magnetita</p>	<p>Sulfuración Intermedia</p> <p>Tennantita, tetraedrita, hematita-pirita-magnetita, calcopirita, esfalerita-pirita pobre en Fe</p>	<p>Cuarzo -adularia± illita, calcita</p> <p style="text-align: center;">Baja Sulfuración</p> <p>Arsenopirita – loellingita – pirrotita, esfalerita – pirita rica en Fe</p> <p style="text-align: center;">Reducido</p> <p>Magnetita – pirita – pirrotita, clorita - pirita</p>

Fuente: Marco T. Einaudi, 2003

2.2.1.1. Epitermales de Alta Sulfuración (HS): Las características claves que distinguen a un depósito epitermal son particularmente mineralógicas, con los minerales de ganga y las alteraciones hidrotermales. Los minerales de ganga característicos del estado de HS son: alto contenido de pirita, enargita, luzonita, digenita, calcosita, famatinita, novelita; y una alteración argílica avanzada caracterizada por cuarzo, cuarzo residual (“vuggy”), alunita, pirofilita y caolinita/dickita. (Arribas, 1995; Sillitoe, 1999). Los minerales de ganga característicos del estado de BS son: cuarzo (incluyendo calcedonia), pirita, esfalerita, arsenopirita, pirrotita y loellingita; y una alteración argílica-sericitica caracterizada por cuarzo, adularia, illita y calcita.

2.2.1.2. Epitermales de Baja Sulfuración (LS): Los fluidos de los sistemas de Baja Sulfuración (LS) son pobres en azufre y reducidos, con un pH cercano al neutral, semejante a las aguas que se extraen de sondeos realizados bajo fuentes termales de los sistemas geotérmicos. Presentan además una menor contribución magmática

(Sillitoe, 1993). Según Hedenquist y Lowenstern (1994) en contraste a los pórfidos y depósitos de AS, la firma magmática en los depósitos de LS es menos visible. Las concentraciones de Cu no ocurren, presumiblemente porque la baja salinidad y el pH cercano al neutro y escasez de fluidos, no propician el eficiente transporte del cobre. En general los depósitos de LS se forman distantes de la fuente de calor magmático. El zoneamiento en los depósitos de baja e intermedia sulfuración, se inicia a partir de una estructura de cuarzo-sericita que contienen las menas metálicas, con el desarrollo de un halo de alteración argílica a sericítica, seguida de alteración argílica avanzada, para terminar con alteración Propilitica (Figura 3).

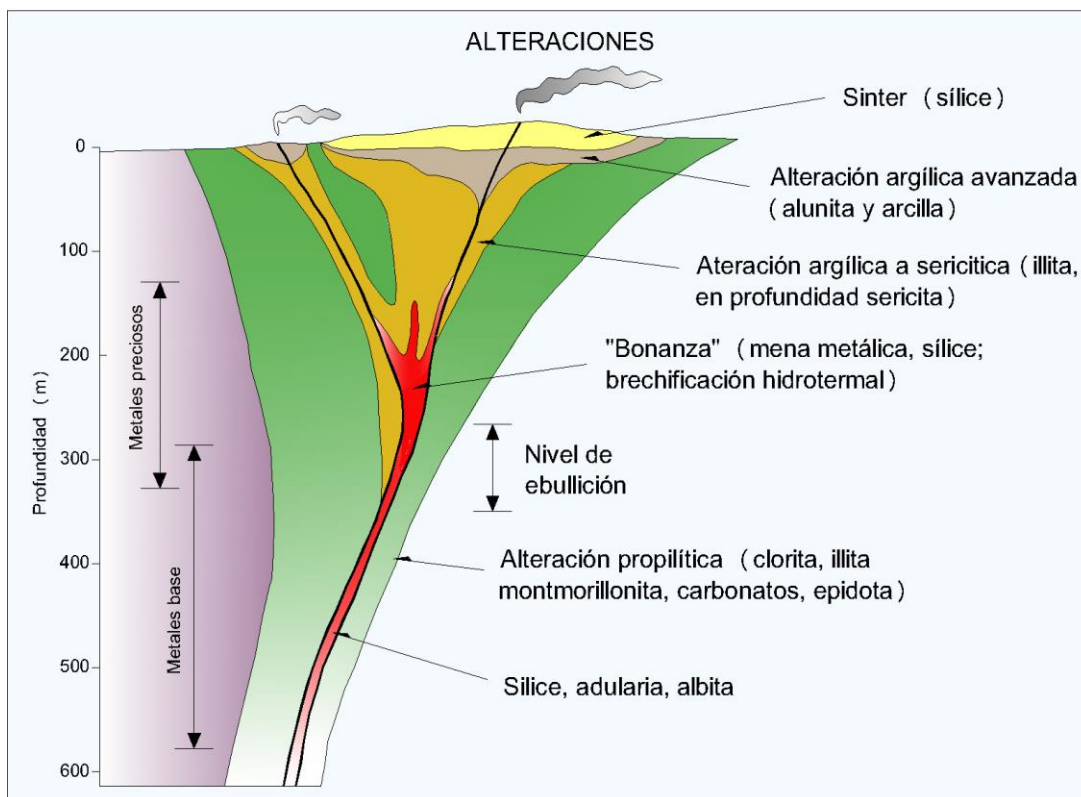


Figura 3: Zonamiento típico de alteración para los depósitos de baja e intermedia sulfuración (modificado de Buchanan, 1981)

2.2.2. Yacimientos tipo Pórfido

Los pórfidos cupríferos son esencialmente depósitos minerales de baja ley y gran tonelaje, se denominan pórfidos porque frecuentemente, pero no exclusivamente, se asocian con rocas ígneas intrusivas con fenocristales de feldespato en una masa

fundamental cristalina de grano fino; la textura porfírica indica que los magmas intruyeron y cristalizaron cerca de la superficie y debido a su naturaleza relativamente poco profunda se denominan intrusivos epizonales, pero ellos pueden ser equigranulares con grano moderadamente grueso.

Los depósitos de pórfido se pueden subdividir en distintos tipos considerando su contenido metálico. Estos tipos incluyen Cu-Mo, Cu-Au, Cu, Au y Mo. En general los pórfidos ricos en Cu o Au se asocian a intrusivos derivados por cristalización fraccionada de magmas máficos originados en fusión parcial del manto en márgenes convergentes de placas (márgenes continentales activos y arcos de islas). Los pórfidos de molibdeno se asocian a intrusiones félsicas derivadas de magmas con una importante componente de corteza continental re-fundida.

Los depósitos de tipo pórfido están relacionados genética y espacialmente con intrusiones ígneas félsicas. Por lo general existen varios cuerpos de rocas intrusivas, emplazadas en varios pulsos y los pórfidos cupríferos se asocian frecuentemente con enjambres de diques y brechas. Las rocas de caja intruidas por los pórfidos pueden ser de cualquier tipo, tanto los intrusivos, como las rocas de caja típicamente muestran un fracturamiento fuerte y pervasivo. La única condición para la mineralización es que la roca huésped sea rígida o frágil desde el punto de vista estructural (Hemley et al., 1980).

2.2.3. Características Geológicas de Formación

Estos depósitos están asociados a las márgenes continentales en zonas de subducción. Se tienen los mejores ejemplos en el círculo de fuego en la placa del Pacífico, los depósitos Epitermales están hospedados principalmente en rocas volcánicas de composiciones calco alcalinas (Andesita, Dacita, Riolita), relacionados a calderas, complejos de domos, feeders y mar – diatremas; y algunas veces al basamento sedimentario.

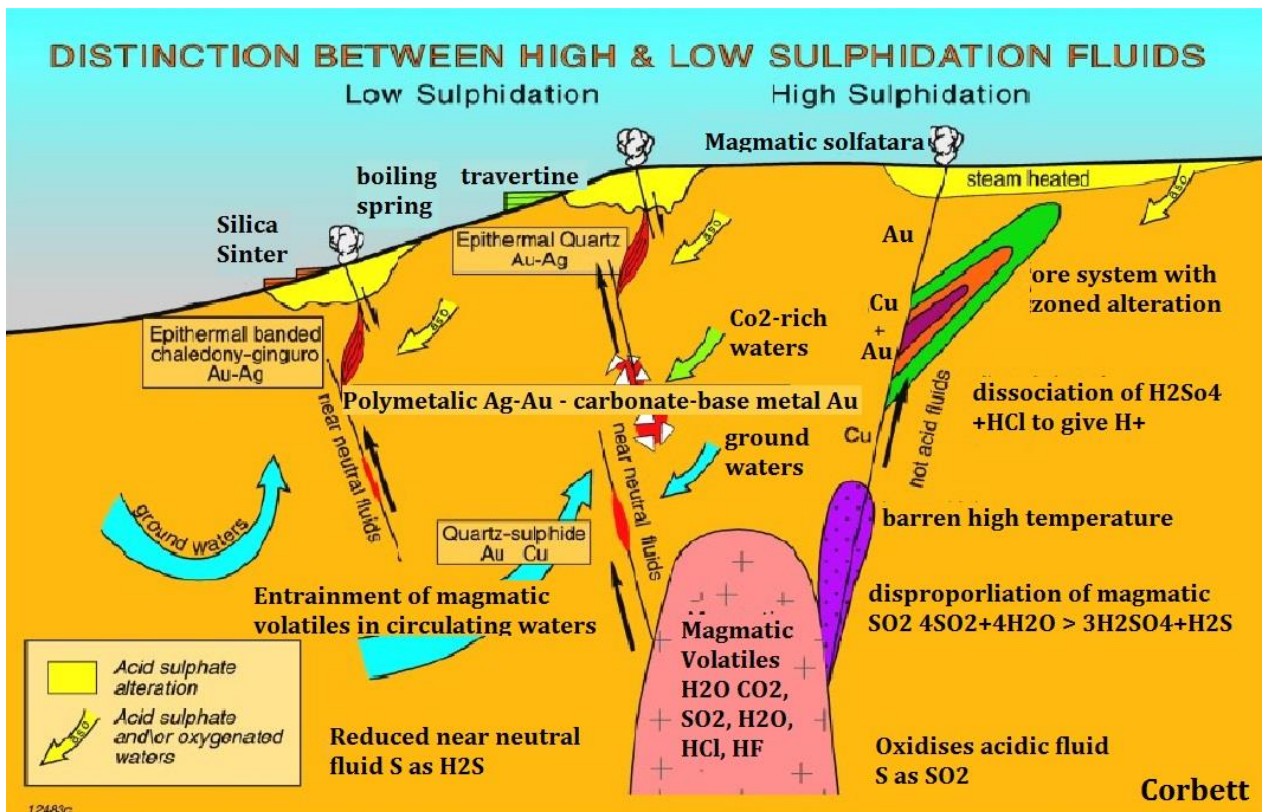


Figura 4: Sistemas Epitermales de alta y baja sulfuración en su relación con pórfidos. (Fuente: G: Corbett – ProExplo 2005).

En este tipo de yacimientos Epitermales la mineralización ocurrió mediante fluidos hidrotermales calientes (100°C a 320°C) y ácidos (pH: 1-5 (Hedenquist, 1987)) a profundidades de 1 a 2 Km de profundidad, se da en dos estadios (Borbett & Leach). Estadio I. Por la formación de los halos de alteración y neutralización de los fluidos calientes estos son mediante vapores de baja densidad (H₂O, CO₂, SO₂, H₂S, HCl, etc.) y líquidos hipersalinos (Hedenquist 1994), Estadio II. Por la presencia de minerales de Sílice, Pirita, Cobre, Oro; estos en brechas, debido al enfriamiento de los fluidos por reacción y mezcla de las aguas meteóricas, los resultados de la mineralización están sobre impuestos a las zonas de alteración y fases tempranas de vapor (corbett & Leach 1997).

2.2.4. Alteraciones Hidrotermales

Término general que incluye la respuesta mineralógica, textural y química de las rocas a cambios fisicoquímicos y termodinámicos de los fluidos hidrotermales. La alteración

hidrotermal se manifiesta mediante crecimiento, disolución y/o precipitación de minerales y reacciones de intercambio iónico entre la roca caja y el fluido caliente que circuló por la misma. Asimismo, produce cambios en las propiedades de las rocas, alterando su densidad, porosidad, permeabilidad, susceptibilidad magnética y resistividad. Simultáneamente con esos cambios físicos pueden ocurrir eventos geológicos, fallas y diaclasas, influyendo en el proceso de alteración; pues la presencia de estas estructuras favorece la circulación de fluidos hidrotermales.

Las reacciones de intercambio iónico son importantes en los procesos de alteración, por ejemplo Mg^{2+} por Ca^{2+} y/o Ca^{2+} y Na^{+} por K^{+} (Alteración potásica). Las reacciones de intercambio iónico también se conocen como cambio de base y corresponden a una reacción por la cual cationes adsorbidos en la superficie de un sólido, tal como un mineral de arcilla, son remplazados por cationes en la solución circundante.

El intercambio de cationes metálicos de los minerales de una roca por H^{+} corresponde a un caso especial conocido como hidrólisis y es muy importante en la mayoría de los tipos de alteración hidrotermal. (Corbett y Leach 1998).

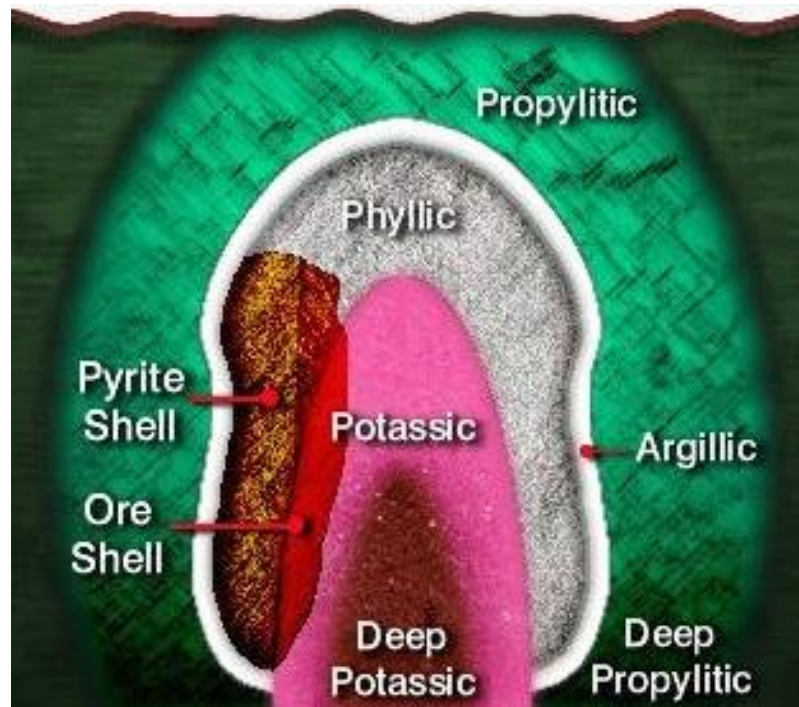


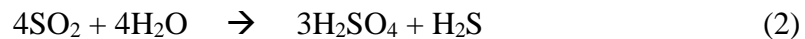
Figura 5: Distribución de zonas de alteración hidrotermal en un pórfido cuprífero de acuerdo al modelo clásico de Lowell y Gilbert (1970). Núcleo de alteración potásica rodeado de alteración fílica (cuarzo-sericitica), alteración argílica local en torno a zona fílica y halo externo de alteración propilítica.

2.2.4.1. Alteración Argílica Avanzada:

Se forma alrededor de la alteración silicea, manifiesta ensambles de alunita (K. Ca) / natroalunite + pirofilita + dickita + kaolinita + zunyita + diáspora. EL pH en que se forman varía de 1 a 3.5; esta alteración puede ser coetánea con la mineralización. Los fluidos ácidos que causan alteración argílica avanzada son de 03 tipos: hipógenos, steam heated y supérgenos (Silitoe, 1993).

a) Hipógeno:

Los ambientes volcánicos contienen elementos hipógenos de carácter ácido, siendo en orden descendente HCL, SO₂ y HF. La disociación de HCL y H₂SO₄ ocurren a <300 – 350 °C, previamente a estas reacciones ocurre la absorción, por parte del agua subterránea de vapores magmáticos de alta temperatura, <400 °C, conteniendo SO₂, obteniendo de la ecuación 2.



b) Steam Heated:

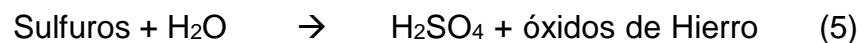
En los depósitos de alta y baja Sulfuración está presente el H₂S que al contacto con el oxígeno atmosférico origina ácido sulfúrico (Ecuación 4).



Esta reacción se produce en la zona vadosa a temperaturas de 100 °C – 120°C, si se produjera erosión sin – hidrotermal el nivel freático del agua subterránea descendería ocasionando sobreimposición de la alteración argílica avanzada en profundidad. El pH del agua ácida originada mediante este proceso es típicamente de 2 – 3, la causa de esto es la disminución del contenido de HCl en la solución. Esta acidez es suficiente para disolver vidrio volcánico y algunos otros minerales, sin embargo, no afecta al aluminio el cual es prácticamente insoluble al pH >2, estos formaran aluminosilicatos como Caolinita, Pirofilita y alunita; mientras que el silicio obtenido de la disolución del vidrio volcánico originara silicificación den las rocas previamente lixiviadas. La baja presión y temperatura en la que se genera agua ácida mediante Steam heated no permite el transporte de NaCl o metales, excepto algunas especies volátiles como Hg y As, Por lo tanto, los ensambles originados mediante este proceso no manifiestan anomalías, excepto cuando existe sobreimposición en una zona mineralizada (Silitoe, R. 2015).

c) Supérgeno:

Las aguas acidas obtenidas en este procesos se deben a la oxidación de sulfuros (Ecuación 5).



La oxidación supergena se produce en condiciones similares al Steam Heated, en la zona vadosa y dependen del nivel freático. La temperatura característica es de 30 – 40 °C formando minerales secundarios como caolinita, alunita y jarosita. El proceso en mención es post hidrotermal, tiene mucha importancia en la geología económica de los depósitos de alta Sulfuración, pues al oxidarse los sulfuros hacen posible el proceso de lixiviación. (Siltoe, R. 2015).

2.2.4.2. Alteración Argílica:

Varía en dos rangos de pH de acuerdo a los ensambles que presentes. En las acillas como Kaolinita, dickita, halloysita, el pH varía de 4 a 5; en las arcillas como illita, esméctica, montomorllionita, el pH varía de 4.5 – 6. (Hemley et al., 1980).

2.2.4.3. Alteración Propilítica:

Se forma en la parte distal del sistema debido a que las soluciones ácidas que originaron la alteración sílica van neutralizándose al interactuar con la roca caja, por tal razón el pH en que se forman los ensambles de alteración Propilítica, clorita + epidota + carbonatos; varia de 5.5 – 6.5. es importante distinguir los términos alteración silíceo y silicificación, pues el primero se produce por lixiviación ácida como se mencionó anteriormente mientras que el segundo es ocasionado por la introducción de sílice en las rocas; ambos procesos se manifiestan en los depósitos LS y HS.

2.2.5. Ensamblajes de Alteración

Son un grupo de minerales que se han formado contemporáneamente bajo condiciones de equilibrio termodinámico, son geoquímicamente significantes por que pueden ser usados para determinar condiciones de formación. Se diferencian de las asociaciones de minerales de alteración por que éstas se formaron en diferentes eventos, con variedad de condiciones termodinámicas. (Hemley et al., 1980).

2.2.6. Procesamiento Estadístico de Valores Geoquímicos

Para dicho procesamiento se ha utilizado el software estadístico SPSS V.15 con el objetivo de encontrar una forma analítica de los principales parámetros estadísticos de cada elemento en su población, así como también tratando siempre de aproximar el elemento a la normalidad, siendo los principales parámetros estadísticos que arroja el

software: Media Aritmética, Desviación Estándar, Valor Mínimo, Valor Máximo, Kurtosis, Sesgo y el rango Intercuartílico.

Algunos de los resultados geoquímicos de los diferentes tipos de muestreo efectuados desde la fase inicial hasta la fase de perforación tuvieron valores por debajo del límite de detección (identificados como valores negativos) los cuales no serán considerados para el tratamiento de normalidad de la muestra, pero sin embargo si fueron utilizados para la correlación de Pearson donde han sido cambiados por la mitad de su valor absoluto. (M. Carambúla 1993).

Para tratar la neutralización de los valores erráticos (altos y bajos erráticos) se utilizó el método grafico Boxplots también llamada Caja de Bigotes la cual nos ayudó a acercar el elemento a la normalidad, indicándonos que muestras tendríamos que considerar para el tratamiento estadístico.

Hay que tener en cuenta que para calcular la ley media y poder determinar el Threshold de cada elemento es necesario conocer si los datos presentan una distribución normal, para la cual se utilizó una estadística de visualización de gráficos (histogramas y probabilidad normal). Así como también la prueba de Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors siendo esta una prueba de bondad de ajuste.

Una regla práctica para reconocer la normalidad de un elemento, es el valor del coeficiente de variación. Según Koch y Link (1970) una distribución puede considerarse Guassiana si el coeficiente de variación es inferior a 0.5 (distribución normal) en caso contrario indica un carácter Log-normal o un conjunto de datos con distribución errática.

La distribución Log-normal implica que para calcular la media y los otros parámetros se debe transformar sus valores de abundancia en logaritmos.

Para obtener la media de los valores de distribución normal se aplica la formula (a) y para los valores de distribución Log-normal se calcula la ley media usando la formula (b) para lo cual los valores se convierten a logaritmos neperianos para corregir la media calculada.

$$a: Z_m = \frac{\sum Z_i}{n}$$

Z_m = Ley media.

Z_i = Valores de las diferentes leyes.

n = Número de datos.

$$b: \mu = e^{\left[a + \left(\frac{b^2}{z}\right)\right]}$$

μ = Valor estimado de la ley media.

a = Media de la distribución de los logaritmos neperianos de las leyes.

b = Desviación estándar de la distribución de los logaritmos de las leyes.

Una vez obtenida la media, considerando a esta como valor de fondo o Background (rango de valores normales de una población) y la desviación estándar se procedió al cálculo de Threshold (límite inferior de los valores anómalos) para cada elemento y de esta manera determinar el grado de intensidad de cada anomalía (encontrar rangos geoquímicos) teniendo presente que el Background mas dos veces la desviación estándar es igual al Threshold. (M. Carambúla 1993).

2.2.7. Dispersión Geoquímica

Los métodos de dispersión geoquímica están basados en el estudio sistemático de la dispersión de los elementos químicos en los materiales naturales. La dispersión puede definirse como un proceso de distribución o redistribución de los elementos por agentes físicos o químicos.

Cuando un elemento químico es liberado de las rocas mediante la meteorización, su migración supergénica, es decir su movilidad o dispersión, dependen en gran parte de factores tales como, el PH y el EH de un ambiente, la absorción y reacciones competidoras.

Goldschmidt (1937) relaciono estos factores como el comportamiento de elementos químicos en ambientes superficiales, los cuales son muy importantes en estudios de exploración química y de geoquímica ambiental, y propuso que una primera evolución de este comportamiento podía hacerse mediante un factor que designo "Potencial iónico" y que define como Z/r ; (la carga iónica de un elemento dividida por su radio atómico). Los datos empíricos que Goldschmidt tuvo a disposición apoyaron a este concepto. Los iones medios activos en medios acuosos mantienen sus características iónicas en solución y tienen valores de hasta 3; otros iones con potencial iónico intermedio (entre 3 y 12) se unen (OH^-) y son elementos relativamente inmóviles y por lo general están asociados con las arcillas y los óxidos de intervención hidrotermal, superior a 12 formando complejos iónicos solubles (con el oxígeno). El uso de radios iónicos más exactos, según cálculos de Whittaker y Muntus (1970), cambió hasta cierto punto la posición de los campos de reactividad, pero no cambio el concepto original de Goldschmit.

La movilidad y dispersión de los elementos durante la meteorización en un ambiente supergénico, representan en algunos casos la redistribución de los elementos cuando termina los procesos de mineralización. Sin embargo, en muchos casos, la dispersión de los elementos representa una modificación en el espacio de su distribución en un yacimiento primario.

a. Dispersión Primaria: Ocurre en el ambiente primario (temperatura y presión elevada). Las rutas que las soluciones siguen y los sitios de precipitación son las fracturas, fallas y aberturas intergranulares de las rocas. Ovhinnikov y Grigoryan (1971) compilaron datos obtenidos en la ex Unión Soviética de la dispersión geoquímica primaria en tres dimensiones (geoquímica de teletermales, plutogenéticas y del grupo skarn de menas superimpuestas). Ovhinnikov y Grigoryan (1971) con la información establecen que esta dispersión tiene dos características que se pueden aplicar en la exploración geoquímica.

- La dimensión de la dispersión geoquímica primaria de varios elementos es mucho más amplia que la de los yacimientos alrededor de los cuales tiene lugar la dispersión.

- La extensión vertical de la dispersión primaria es especialmente grande sobre los cuerpos de la mena con pendiente pronunciada.

b. Dispersión Secundaria: Cuando la roca se altera, los elementos son sujetos a erosión y dispersión que los transportan del sitio de origen. Mediante el transporte, una precipitación selectiva o una sedimentación pueden resultar en una redistribución de los productos de meteorización. El conocimiento básico de los factores químicos y mecánicos que controlan la dispersión es necesario para una prospección geoquímica efectiva. La dispersión secundaria se puede clasificar en dispersiones singenéticas y epigenéticas.

2.2.7.1. Movilidad Geoquímica

La relación que tiene un elemento con respecto a otros elementos está sujeto a un proceso de dispersión dependiendo sobre todo de su movilidad; esto es, la facilidad con la cual el elemento se puede mover en cualquier ambiente (Ver Cuadro N° 1).

La movilidad depende de dos factores:

- Las características mecánicas de la fase móvil.
- Las características químicas de la fase móvil.

Tabla 2 Movilidad de elementos en ambientes supergénicos

Movilidad Relativa	Oxidante (pH 5-8)	Oxidante (pH < 4)	Reductor
Muy móvil (k>10)	Cl, Br, I, S, Rn, He, C, N, Mo, B, (Se, Te, Re)	Cl, Br, I, S, Rn, I, Fe, C, N, B.	Cl, Br, I, Rn, He.
Moderadamente móvil (K=1 -10)	Ca, Na, Mg, Li, F, Zn, Ag, U, V, As, (Sr, Hg, Sb)	Ca, Na, Mg, Sr, Li, F, Zn, Cd, Ni, U, V, As, Mn, P.	Ca, Na, Mg, Li, Sr, Ba, Ra, F, Mn.
Ligeramente móvil (K=1-0)	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 (K<0,1)	Fe, Al, Ga, Sc, Ti, Zr, Hf, Th, Pa, Sn, Tr, Grupo Pt, Au, (Cu, Nb, Ta, Bi, Cs)	Fe, Al, Ga, Sc, Ti, Zr, Hf, Th, Pa, Sn, Tr, Grupo Pt, Au, As, Mo, Se.	Fe, Al, Ga, Sc, Ti, Zr, Hf, Th, Pa, Sn, Tr, Grupo Pt, Au, Cu, Ag, Pb, Zn, Cd, Hg, Ni, Co, As, Sb, Bi, Y, V, Se, Te, Mo, In, Cr, (Nb, Ta, Cs).

Fuente: Perel'man 1967, modificado por Rose y otros, 1979

2.2.8. Elementos Guías Indicadores de Descubrimientos (Pathfinder)

Estos elementos se usan como guías indicadores en la búsqueda de yacimientos metálicos cubiertos, los cuales pueden ser detectados más fácilmente que los otros elementos del yacimiento. También es posible que los elementos Pathfinder viajen más lejos del yacimiento que los elementos principales. Los elementos Pathfinder pueden ser los componentes principales o los componentes accesorios y que pueden ocurrir en la ganga y/o en la mena del yacimiento tal como se muestra en la siguiente tabla (Ver Tabla 3). (Siegel, 1992)

Tabla 3 Asociación de elementos

TIPO DE DEPÓSITO	MAYOR COMPONENTE	ELEMENTOS ASOCIADOS
Depósitos Magmáticos		
Mineralización de Cromita (Bushveld)	Cr	Ni, Fe, Mg
Capas Rojas de Magnetita (Bushveld)	Fe	V, Ti, P
Inmiscibles de Cu-Ni-Sulfuros (sudbury)	Cu, Ni, S	Pt, Co, As, Au
Pt-Ni-Cu en intrusión de Capas rojas (Bushveld)	Pt, Ni, Cu Fe, Ti	Cr, Co, S P
Inmiscible Fe-Ti-Óxido (Allard, lake)	N, B, Ta	Na, Zr, P
Nb-Ta Carbonatita (Oka)	Be, Li, Cs, Rb	B, U, Th Tierras Raras
Metales raros en pegmatitas		
Depósitos Hidrotermales		
Cobre Porfirítico (Bingham)	Cu, S	Mo, Au, Ag, Re, As, Pb, Zn,
Molibdeno Porfirítico (Clinrix)	Mo, S	K
Skarn-Magnetita (Iron Springs)	Fe	W, Sn, F, Cu
Skarn-Cu (Yerington)	Cu, Fe, S	Cu, Co, S
Skarn-Pb-Zn (Hannover)	Pb, Fe, S	Au, Ag
Skarn-W-Mo-Sn (Bishop)	W, Mo, Sn	Cu, Co
Base-metal en vetas	Pb, Zn, Cu, S	F, S, Cu, Be, Bi
Sn-W greisens	Sn, W	Ag, Au, As, Sb, Mn
Sn-sulfuros en vetas	Sn, S	Cu, Mo, Bi, Li, Rb, Si, Cs, Re,
Co-Ni-Ag en vetas (Cobalto)	Co, Ni, Ag, S	F, B
“Epitermal” Metales preciosos	Au, Ag	Cu, Pb, Zn, Ag, Sb
Mercurio	Hg, S	As, Sb, Bi, U
Uranio en vetas	U	Sb, As, Hg, Te, Se, S, U
Cobre en basaltos (Tipo lago superior)	Cu	Sb, As
Volcanogenético sulfuro masivo de Cu	Cu, S	Mo, Pb, F
Volcanogenético sulfuro masivo de Zn-Cu-Pb	Zn, Pb, Cu, S Au, As, S	Ag, As, S Zn, Au
Au-As rico en formación de fierro	Zn, Pb, S	Ag, Ba, Au, As
Mississippi Valley Pb-Zn	F	Sb
Mississippi Valley Fluorita	U	BA, F, Cd, Cu, Ni, Co, Hg
Arenisca-tipo U	Cu, S	Ba, Pb, Zn, Se, Mo, V, Cu,
Capa Roja de Cu	U	Pb
Calcáreo		Se, Mo, V, Cu, Pb Ag, Pb V
Tipo Sedimentario		
Cobre Pizarra (Kupferschiefer)		Ag, Zn, Pb, Co, Ni, Cd, Hg
Cobre Arenisca		Ag, Co, Ni

Fuente: Siegel, 1992

2.2.9. Anomalía Geoquímica

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

2.2.10. Correlación de Elementos

Para el análisis de correlación se ha utilizado el método de correlación bivarial de Pearson con el objetivo de establecer el grado de asociación entre las variables analizadas.

Los rangos de valores experimentales del grado de correlación para los elementos son cómo sigue (Minera Yanacocha – Trujillo, J. Espinosa 2003).

0.25 – 0.49 Moderada Correlación

0.50 – 0.74 Buena Correlación

0.75 – 1.00 Muy Buena Correlación

2.3. Definición de términos básicos.

- **Fluido Hidrotermal:** Son soluciones multicomponentes electrolíticos en la cual los solutos principales son cloruros alcalinos. Los metales están presentes a nivel traza en estas soluciones, predominantemente en forma de iones complejos. La Deposición resulta de la disociación de complejos metálicos y consecuente precipitación en respuesta a cambios en el ambiente hidrotermal. Por lo tanto, un entendimiento de la química y estabilidad de complejos metálicos a altas temperaturas es fundamental. (Barnes, 1967).
- **Andesita:** Roca ígnea volcánica (intermedia) de textura afanítica o porfirítica, generalmente de color verde, pudiendo variar a rojizo, violáceo u otros colores, adquiridos por la alteración de los ferromagnesianos que contiene. Sus minerales esenciales son plagioclasas y ferromagnesianos, el cuarzo puede presentarse hasta en un 10 % cuyo caso se denomina andesita cuarcífera. (Dávila, 2011). Esta composición varia de 5 a 20% Streckeisen, A. (1979).

- **Brecha Hidrotermal:** Brecha volcánica que se halla influenciada por una aureola de alteración hidrotermal y por lo tanto acompañada de disseminaciones de diferente tipo de mineralización. (Barnes, 1967).
- **Epigenética:** Minerales formados a partir de cualquier tipo de alteración de los minerales pre-existentes (Singénéticos o primarios), en la superficie terrestre o cerca de ella. Epi = encima, Génesis = Origen. Sinónimo: Secundario.
- **Época Metalogenética:** Es una unidad de tiempo geológico favorable para la depositación de menas o caracterizada por una agrupación particular de depósitos minerales. En una misma área pueden estar representadas varias épocas metalogenéticas. (Dávila, 2011).
- **Hipógeno:** Término relacionado a la zona de mineralización que se halla por debajo de la zona de oxidación o enriquecimiento supergénico, contiene mineral primario o que no ha sido alterado por la oxidación, formados por soluciones ascendentes (hidrotermales). (Barnes, 1967).
- **Metalotecto:** Todo tipo o rasgo geológico que influye en la formación de un depósito mineral, especialmente referido a la roca almacén y al proceso metalogenético. (Dávila, 2011).
- **Ocurrencia Mineral:** Es una concentración anómala de un mineral que se considera valiosa por alguien en alguna parte o que es de interés científico o técnico. (Dávila, 2011).
- **Roca Huésped:** Roca que contiene un depósito mineral (metálico, no metálico).
- **Singenética:** Mineral, agua o cualquier material formado coetáneamente con la roca que le contiene. Sin = coetáneo, Contemporáneo, génesis = origen. (Barnes, 1967).
- **Supérgena o Secundaria:** Mineralización o efectos exógenos sobre cuerpos mineralizados, como meteorización, descomposición de minerales y formación de nuevos minerales estables en el ambiente supérgeno. (Dávila, 2011).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN

El Sector California del Proyecto Huayrapongo se encuentra políticamente ubicado en:

- País : Perú
- Departamento : Cajamarca
- Provincia : San Pablo
- Distrito : San Bernardino
- Comunidad : San Bernardino y San Antonio de Cachis.

Este se halla dentro del cuadrángulo de Cajamarca (Hoja 15-F) y dentro de la franja metalogenética XXI. (Ver plano N° 01), además la zona de investigación se centrara en un área delimitada por las siguientes coordenadas UTM:

Tabla 4. Coordenadas UTM del área de investigación

	Este	Norte
1	740750	9205000
2	742800	9205000
3	742800	9203600
4	740750	9203600

3.1.1. ACCESIBILIDAD.

El acceso se realiza de acuerdo a la siguiente ruta:

Tabla 5 Acceso al Sector California, Proyecto Huayrapongo

Origen – Destino	Distancia (Km)	Estado de la carretera
Lima – Ciudad de Dios	756	Asfaltada
Ciudad de Dios – Chilete	98	Asfaltada
Chilete – Desvió a Paredones	17	Asfaltada
Desvió a Paredones – Sector California	16	Trocha - Afirmada
Total	887	

3.1.2. CLIMA Y VEGETACIÓN.

El clima por lo general es cálido y seco durante casi toda la mayor parte del año, con temperatura promedio anual que varía entre 18 y 28°C, presentándose entre los meses de junio y agosto las mayores temperaturas.

Muestra un microclima seco, caracterizado por la ausencia de precipitaciones pluviales, esto es influenciado por la basta cubierta rocosa permitiendo que la zona muestre escasos recursos vegetales y de poco aprovechamiento para los organismos residentes, en los meses de diciembre y enero se aprovecha la humedad y algunos hualangos, cactus y árboles de pate así como brotes de forrajes tienden a verdecer la cubierta superficial de esta zona.



Foto 1: Vista panorámica del Sector California (Enero 2016) mirando al SO.



Foto 2: Vista general del Sector California, muestra la típica vegetación (julio 2016).

3.2. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.

3.2.1. Etapa preliminar al trabajo de campo

3.2.1.1. Recopilación y procesamiento de información teórica.

Se recopiló toda la información necesaria previa al trabajo de campo mediante libros (con información relacionada al tema de investigación), boletines informativos, páginas en internet (de información teórica e información geográfica), revistas informativas, trabajos de investigación que se hayan realizado anteriormente en la misma área, etc. El procesar toda esta investigación garantiza que en campo se realice solo el trabajo necesario relacionado al tema de investigación.

3.2.1.2. Recopilación y procesamiento de información geográfica

En la actualidad existe abundante información geográfica que se utilizó para realizar aspectos básicos como determinar la ubicación exacta del área de investigación, ubicar los principales accesos (carreteras, caminos de herradura y trochas carrozables), identificar la topografía y ríos, quebradas y afloramientos rocosos.

Además se ubicó Centros poblados cercanos que pueden ser muy útiles en el caso de cualquier incidente que pueda ocurrir en el trabajo de campo.

Para el presente trabajo de investigación se utilizó información cartográfica obtenida de las siguientes fuentes:

- INGEMMET: a través de su portal en internet (GEOCATMIN) se obtuvo la geología básica del área (escala 1:100, 000).
- Global Mapper: topografía básica.
- SAS.Planet: es un satélite de origen que permite descargar imágenes satelitales de alta resolución de cualquier parte del planeta. La información obtenida de descargar imágenes satelitales del área de investigación fue la ubicación de los principales accesos (carreteras, y trochas carrozables), ríos, quebradas y afloramientos rocosos.
- ArcGIS v.10.2: mediante el cual se realizó la digitación y procesamiento de datos para la obtención de los planos.

3.2.1.3. Equipos y Materiales

Para la obtención de datos en campo y gabinete fue fundamental contar con los siguientes equipos y materiales:

- Picota de geólogo.
- GPS Garmin etrex c700.
- Brújula tipo Brúnton Azimutal.
- Lupas de 20x y 10x.
- Lápiz de dureza para determinar la dureza de las rocas y minerales.
- Lápiz magnético.
- Protactor de diferentes escalas.
- Flexómetro 3 - 5m.
- Bases topográficas a escala 1/3000.
- Colores.
- Lápices HB – 2B.
- Bolsas de muestreo.
- Precintos de seguridad.
- Etiquetas de identificación de muestras.
- Tablero de dibujo.
- Laptop.
- Impresora Epson tx105.
- Papel bond A3 / A4.
- Papel Myler transparente.
- EPP mínimo.
- Cámara fotográfica.
- Marcador para rocas Sharpie KING SIZE.

3.2.2. Etapa de Campo.

Se realizaron varias campañas de trabajo en el yacimiento donde se reconocieron todos los afloramientos litológicos mediante un cartografiado geológico realizado sobre una base a escala 1:3000, identificándose anomalías interesantes.

3.2.2.1. Universo.

El universo de la presente investigación es el yacimiento minero del Sector California, con una extensión de 520 hectáreas, donde se realizó trabajos exploratorios para poder determinar la presencia de mineral económicamente rentable.

3.2.2.2. Muestra.

Se recolectaron 146 muestras, todas ellas ubicadas en puntos estratégicos para encontrar una mejor representatividad de las zonas de interés (entre ellas incluye muestras de roca fresca y alterada), que fueron enviadas para su análisis al laboratorio SGS Perú con el método ICP 38 – MS-Scan.

3.2.2.3. Técnicas de muestreo usadas.

Para la toma de muestras se utilizó las siguientes técnicas:

- Muestras en chispas de roca (Rock Chips), en afloramientos visibles.
- Muestras en canales, cuando la mineralización está en venillas.
- Muestras en trincheras, para determinar la consistencia de las zonas mineralizadas.



Foto 3: Toma de Muestra por método Rock Chip en afloramientos.



Foto 4: Toma de muestra mediante realización de trincheras en veta.



Foto 5: Toma de muestra mediante canal en estructuras de venillas

3.2.2.4. Metodología.

La metodología seguida para el muestreo de rocas fue el siguiente:

- Ubicar el punto de muestreo más adecuado y representativo.
- Cuando la muestra es en afloramiento e hace un compósito en un radio de 2 a 4m sobre el afloramiento.
- Si se trata de rodados se muestrearon independientemente aquellos que presenten alteración y mineralización.
- El peso mínimo de cada muestra es de 500 gramos, el peso recomendado es 1.5 a 2 Kilogramos.
- Obtener una muestra de mano de cada muestra para realizar el análisis en gabinete.
- Anotar las coordenadas del GPS y llenar la tarjeta de muestreo considerando tipo de roca, mineralogía, alteración.
- Tomar muestras duplicadas en los lugares que se considere conveniente para el control de calidad del muestreo.



Foto 6: Recolección de muestras de mano en saquitos franeleados codificados, para su respectivo análisis.



Foto 7: Muestras en bolsas de polipropileno codificados, para su respectivo envío al laboratorio para un barrido de 38 elementos.

3.3. GEOLÓGIA DEL PROYECTO CALIFORNIA

3.3.1. GEOLOGÍA LOCAL

3.3.1.1. Estratigrafía:

El yacimiento está localizado en la faja volcánica cretácica – Neógeno de los Andes del Norte del Perú, que se extienden en dirección NW-SE y que regionalmente corresponderían al grupo Calipuy, que en esta parte del país toman el nombre de formaciones San pablo, Huambos, Tembladera y Chilete. Localmente las rocas aflorantes presentan flujos de composición andesíticas con intrusión Diorítica.

Volcánico Tembladera (Pe-Vt):

Consta de secuencias de rocas volcánicas de composición andesítica con matriz de color gris verdoso, presentan textura porfírica de grano fino a medio. Litológicamente la parte inferior se compone de bancos andesíticos que se intercalan con brechas de la misma naturaleza, con matrices grises verdosa y gris claro, hacia la parte superior abundan flujos piroclásticos pseudo estratificados en capas delgadas con presencia de flujos lávicos.

Edad y correlación.- En ausencia de datos paleontológicos y radiométricos, la edad del volcánico Tembladera pueden definirse en base a sus relaciones estratigráficas, la unidad reposa en discordancia angular sobre las series Cretácicas marinas en algunos lugares. Así mismo infrayace en discordancia al Volcánico Chilete, por lo que esta Formación corresponde a una de las primeras fases del vulcanismo Paleógeno-Eoceno (INGEMMET, 2007)



Foto 8: Vista panorámica del cerro la Unión, donde se aprecia los volcánicos San Pablo sobreyaciendo al Volcánico Tembladera.



Foto 9: Pseudo estratificación en flujos piroclásticos de composición andesítica color gris verduzcas, con poca presencia de minerales ferruginosos.

Volcánico Chilete: (Po-Vch)

Flujos, tobas y materiales volcánicos de color verde violáceo a gris claro, de composición andesítica, con clastos sub redondeados y transportados, cubren gran porcentaje del área de estudio, presenta hidrofracturamientos rellenos de sulfatos (Yeso, Baritina) y carbonatos (Malaquita) en las proximidades cercanas al cuerpo intrusivo.

Edad y correlación.- Por ausencia de datos paleontológicos y radiométricos, básicamente por sus relaciones estratigráficas, la edad de esta formación asignada es de Paleógeno, Oligoceno (INGEMMET, 2007).

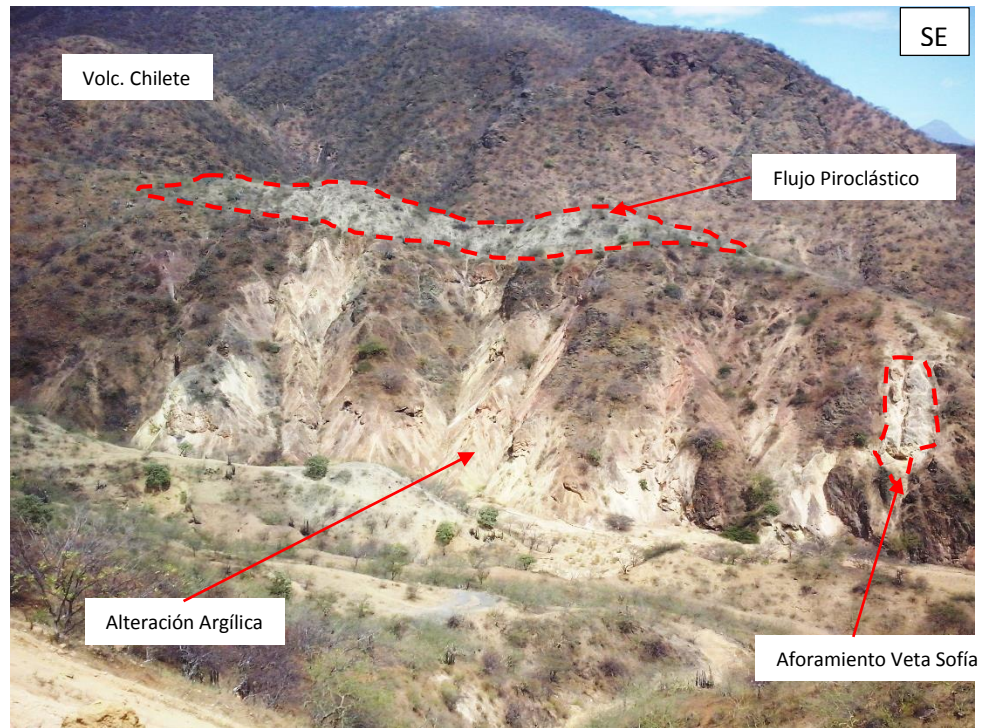


Foto 10: Se aprecia las rocas andesíticas pertenecientes al Volcánico Chilete, con una pequeña cubierta de flujos piroclásticos de la misma composición (gris), en las parte inferior de la foto se aprecia ligeramente la argilización, Qda. California.



Foto 11: Andesitas grises ligeramente meteorizadas por agentes superficiales, así mismo se aprecian algunos lineamientos de arcillas rellenando fracturas considerables (aluminosilicatos).



Foto 12: Andesitas gris violetas, silisificadas, con abundante presencia de óxidos ferruginosos así como presencia de kaolinita como relleno en algunas fracturas.

Volcánico San Pablo: (Po-VSp)

Esta unidad consiste en pseudo estratos gruesos de rocas volcánicas d composición andesítica, intercaladas en los niveles superficiales con flujos piroclásticos y tobas bien sedimentados. Los afloramientos de esta formación se hallan según la data del INGEMMET en la cima del cerro Huayrapongo. El volcánico San Pablo yace con suave discordancia erosional al volcánico Chilete e infrayace al volcánico Huambos en igual relación.

Edad y correlación.- Estimada en base a discordancias, mineralización e intensidad de deformación se postula que la edad de acumulación de este material lítico tuvo lugar durante el Paleógeno – Oligoceno. (INGEMMET, 2007).

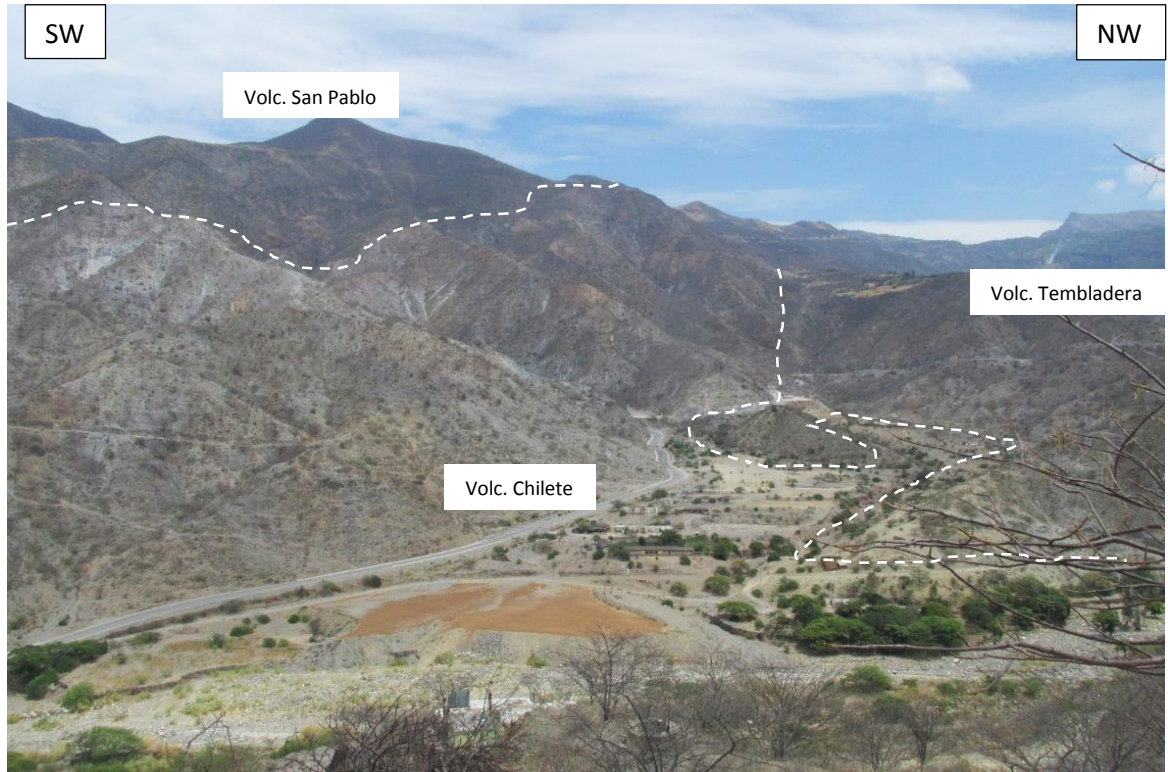


Foto 13: vista general donde se aprecia al Volcánico San Pablo (Andesitas grises) suprayaciendo al volcánico Chilete.

a) Subvolcánico Pórfido Diorita.

Dacita Porfirítica: (Po-Da)

En la Quebrada California, al este de las vetas explotadas por la mina antigua, se identificaron Apófisis subvolcánico fuertemente silificados con venillas y micro venillas de cuarzo, trazas de pirita diseminada envueltas en una matriz de composición dacítica, cubiertas superficialmente por depósitos coluviales y aluviales.

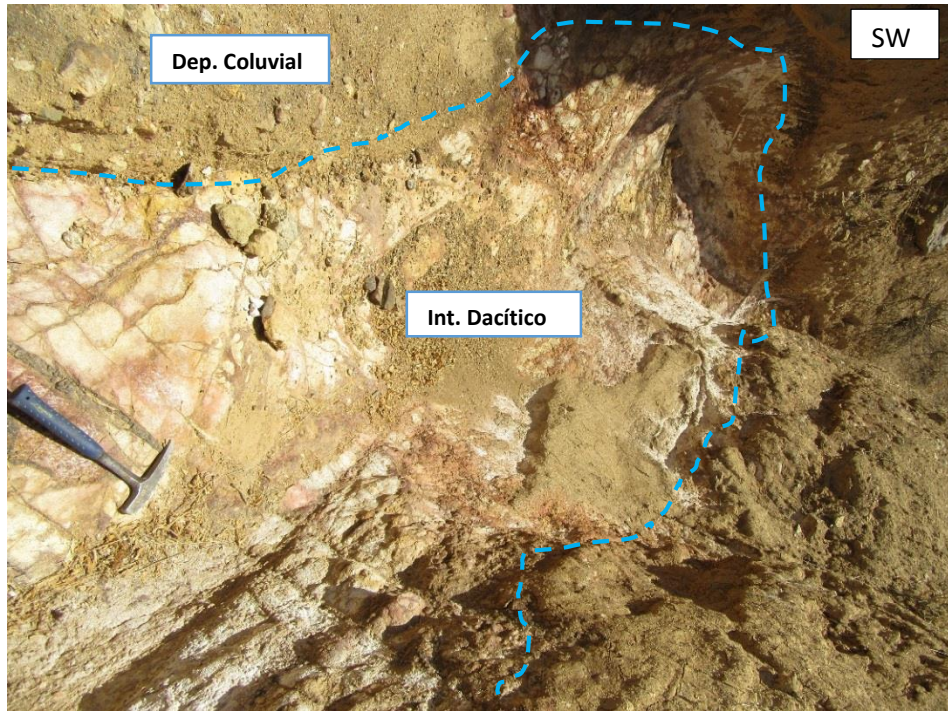


Foto 14: Pequeño apófisis aflorantes de composición Dacítica, con abundante venillas con óxidos ferruginosos, en algunas venillas aún se observan sulfuros (Py, Gln, Apy), la zona esta argilizada.



Foto 15: Muestra el intrusivo dacítico en la Qda California, con sistema de venillas de óxidosde hierro (hematita).

Intrusivo Diorítico (Po-Di)

En la parte Este de la Quebrada California, se ha logrado identificar pequeños Apófisis subvolcánico algo silisificados en tonalidades violetas con plagioclasas, presencia de biotitas y horblendas inmersas en una matriz del tipo diorítico, cubiertas superficialmente por depósitos coluviales. Estos afloramientos han sido vistos debido a la erosión fluvial resiente ocasionado en dicha quebrada.



Foto 16: Contacto entre las dacitas con el intrusivo diorítico en la quebrada California.

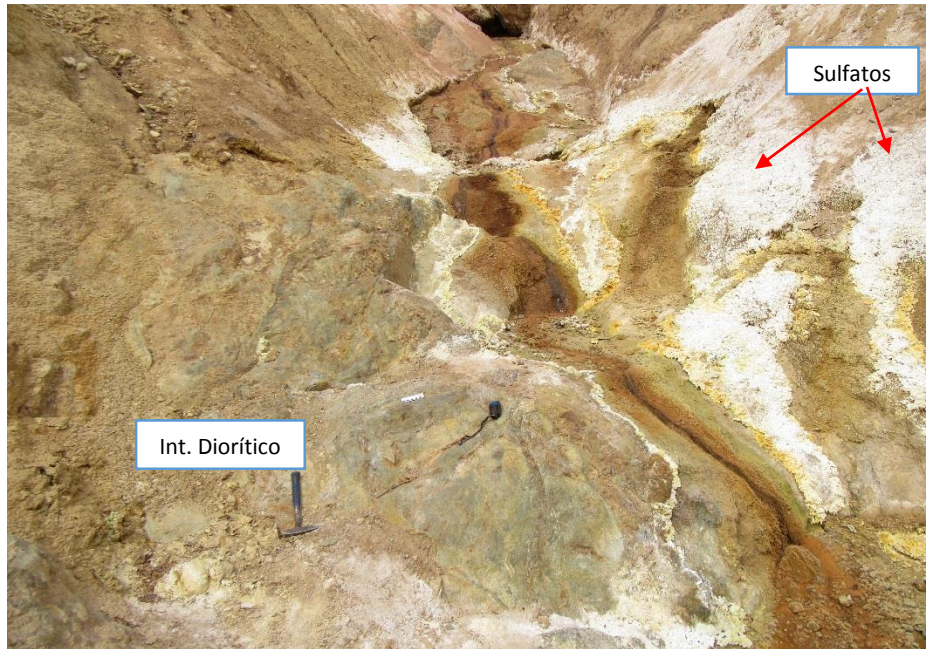


Foto 17: Se aprecia parte del afloramiento, algo silicificado así como se puede ver que debido a la exposición al agua se vienen desarrollando cristales de calcantita y goslarita (sulfatos), este afloramiento muestra una diseminación moderada en cuanto a sulfuros.

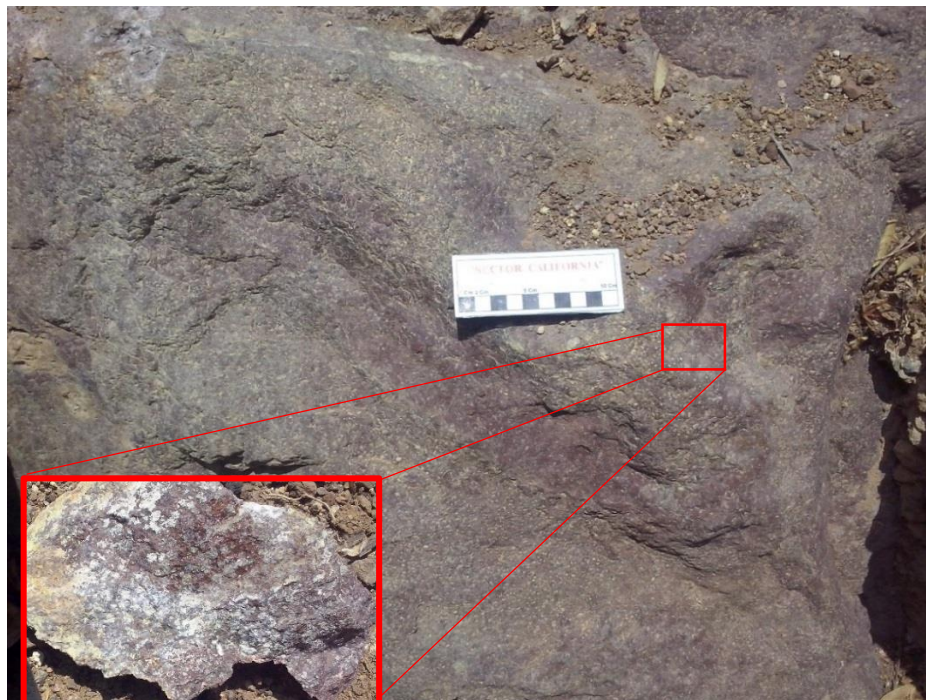


Foto 18: Se muestra parte de un afloramiento del int. Diorítico, así mismo se aprecian las plagioclasas y horblendas inmersos en la matriz ligeramente silicificada.

3.3.1.2. Alteraciones Hidrotermales

Las diferentes alteraciones en el Proyecto California evidenciadas en las etapas de campo son zonas de silicificación moderada a intensa con pocas ocurrencias de venillas (cuarzo-limonita) inmersas en los depósitos volcánicos ya mencionados, así mismo en el núcleo se aprecian zonas de Argílico avanzado (Cuarzo – Alunita) con algunas variaciones típicas de cuarzo-caolín y poco en cuarzo-dickita, estos contactos están definidos principalmente por fracturas o fallas subverticales. La alteración Argílica se manifiesta en su mayor cantidad alrededor de los márgenes derecho de a quebrada California con su ensamble normal de Caolinita, Montmorillonita y Sericita con esmectica acompañada de arcillas amorfas, por último la alteración Propilítica con presencia de cloritas y algunos cristales de Eclogita.

Los flujos Andesíticos diferenciados por una secuencia de facies que sobreyacen las zonas alteradas no muestran indicadores claros como para indagar sobre la expansión de la zona en dirección N-NE.

a) Alteración Argílica

Se encuentra ampliamente distribuida en gran parte del prospecto, se ha evidenciado que está afectando tanto a la secuencia piroclástica de los volcánicos descritos. Así también se ha logrado diferenciar importantes cantidades de caolinita, montmorillonita, y arcillas amorfas, principalmente remplazando a las plagioclasas así como el feldespato potásico se encuentra argilizado, tal es la evidencia superficial que es la alteración más representativa indicando un alto grado de hidrólisis en este sector del área de investigación.



Foto 19: Muestra en tonalidades amarillentas y rosáceas las zonas de mayor abundancia de arcillas, quebrada California.

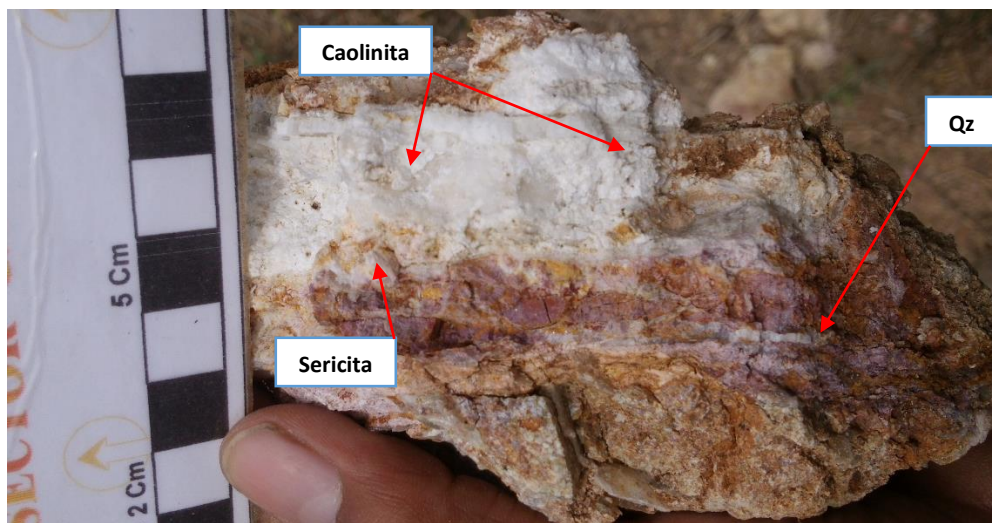


Foto 20: Muestra de mano donde se aprecia la alteración Argílica mostrando algunos minerales característicos y venillas de cuarzo.

b) Alteración Argílica Avanzada

Sectores menores han sido expuestos debido a las condiciones climáticas recientes, dejando zonas donde se evidencia la alteración de los minerales, principalmente el reemplazamiento de feldespatos, esencialmente como rosetas rellenas de cavidades en cristales mayores a los 2 mm, el ensamble como Cuarzo-Alunita con menores cantidades de caolinita y dickita se pueden evidenciar en la parte media de la quebrada

California, dándonos así una idea de la disposición de esta alteración como zonamiento focal directamente relacionado con el intrusivo diorítico tal como se muestra en la siguiente imagen.



Foto 21: Imagen general de las zonas donde se presenta la alteración descrita.



Foto 22: Muestra de mano, se puede apreciar los minerales típicos de la Alteración Argílica Avanzada, como Dickita, y el Cuarzo-Alunita.



Foto 23: Se muestra a la alteración Argílica Avanzada.

c) Silicificación

Esta alteración se caracteriza por un remplazamiento general de los cristales precedentes, remplazando y alterando toda la matriz dejando bandas grises a claras, nos indica una fuerte hidrólisis ocurrida en el lado Este de la quebrada California.

El grado de intensidad de esta alteración es moderado a fuerte, llegando en algunas partes a obliterar totalmente la textura primaria de las andesitas, esta se presenta y manifiesta cerca del cuerpo diorítico con una tendencia SW-NE según los mapeos realizados.



Foto 24: Se aprecia bandas de color gris claro fuertemente silisificadas, con algunas oquedades como huella de la pre-existencia de sulfuros.



Foto 25: Muestra una Andesita fuertemente silisificada, con algunos cristales de pirita y venillas de Qz.

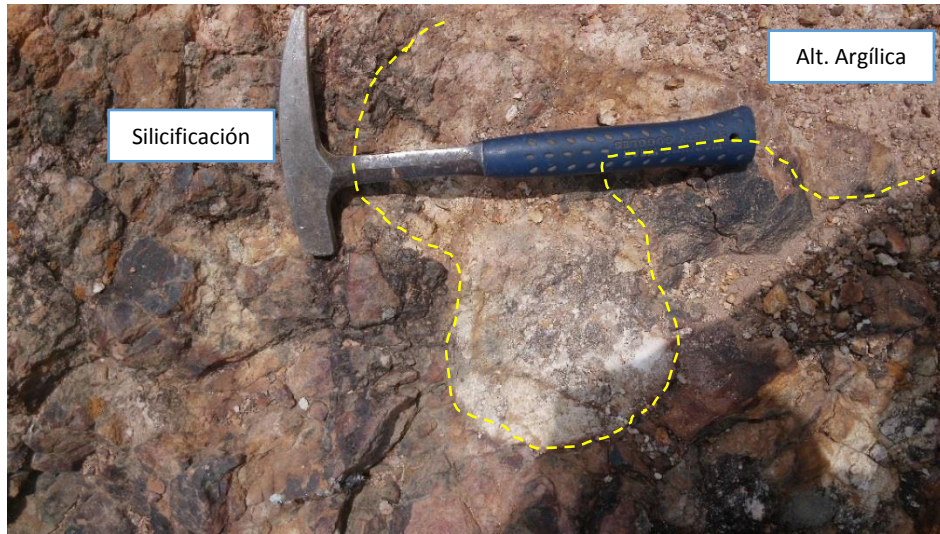


Foto 26: Muestra de roca moderadamente silisificada con presencia de óxidos de hierro, y así mismo una relación directa con la alteración argílica, al NW de la quebrada californiana.



Foto 27: Se distingue una pervasión moderada por la silicificación transformando la matriz andesítica así como venillas de Qz rellenos de óxidos de hierro.

3.4. ANÁLISIS DE DATOS GEOQUÍMICOS.

3.4.1. Prospección Geoquímica

3.4.1.1. Geoquímica Superficial

El muestreo aleatorio geoquímico de superficie se realiza para tener una idea inicial de posibles zonas con anomalías por elementos buscando minerales económicos y sus posibles correlaciones geoquímicas de los distintos elementos guías con los cuales está asociado. La geoquímica permite poder definir este comportamiento.

Los parámetros geoquímicos – estadísticos para establecer los niveles de abundancia (Background, Threshold y Anomalías), correlaciones bivariada, determinar también la dispersión y elaborar mapas por isovalores.

Hallar anomalías geoquímicas mediante el Kriging (utilizando el ArcGis 10.3) relacionadas a la mineralización, mediante el procesamiento geoestadístico de las muestras adquiridas en la zona explorada denominada Sector California, obteniendo un procesamiento estadístico local.

Los muestreos iniciales de superficie se efectuaron dentro de los afloramientos alterados y oxidados así como en algunas trincheras realizadas; se realizó muestreo tipo rock chips y canales, así como muestreo selectivo que permita definir los posibles controles de mineralización. Todas estas muestras fueron enviadas y analizadas por el ICP-MS 38 multielemento, en el laboratorio SGS, con fin de determinar la lito geoquímica de las muestras.

3.4.1.2. Análisis de Geoquímica de Superficie.

3.4.1.2.1. Metodología.

Para obtener rangos propios del “Proyecto Huayrapongo - Sector California” de los 38 elementos, seleccionaremos 22 elementos para dicho estudio, los cuales son: Au, Ag, As, Ba, Bi, Ca, Cu, Co, Fe, Hg, K, Mn, Mo, P, Pb, Sb, Sn, S, Sr, V, W, Zn., con la data obtenida se realizó el tratamiento estadístico y ploteo en planos geoquímicos. En el tratamiento estadístico se utilizaron 146 muestras sistemáticas (muestreo por rock chips y por canales) que se recolectaron con la empresa SMRL Occidental 2 de Cajamarca, siendo analizadas por espectrometría de masa (ICP-MS) por el método de

Plasma Acoplado inductivamente con digestión de agua regia a excepción del Au que fue analizado por el método de espectrometría de absorción atómica (AAS).

3.4.1.2.2. Análisis Estadístico de los resultados de las muestras de roca.

Normalización de las muestras.

Estadísticamente la población presenta una distribución normal con curvas leptocurticas, con la finalidad de eliminar los datos erróneos y evitar el efecto pepita, los datos fueron transformados a base logarítmica (Log_normal) para obtener valores más precisos y con esto obtener valores cercanos a 1 en la desviación estándar para luego definir las poblaciones estadísticas en las anomalías marcadas. Existen varios métodos para investigar si una distribución es normal, en esta oportunidad utilizaremos el método de histogramas.

A. Método de los Histogramas:

El método de histogramas basados en que la distribución puede considerarse como Gaussiana si el coeficiente de variación es inferior a 0.5 en caso contrario indica un carácter Log-normal o un conjunto de datos con distribución errática.

Los gráficos tendrán datos de la media y la desviación estándar obteniendo de esta manera el coeficiente de variación ya que es igual al cociente entre la desviación estándar y a media.

Para la aplicación de este método se eliminaron todos los datos que estuvieron por debajo del límite de detección o llevándolos a cero.

B. Comprobación de la Normalidad de los elementos.

De acuerdo a la normalización los resultados muestran que los valores son de carácter Log-normal debido a la cantidad de muestras tratadas, cabe resaltar que este método busca con mucho más detalle, por lo que tendría que realizarse un tratamiento con mucho más detalle, lo que buscamos es acercarnos a la normalidad, por lo que verificaremos la normalidad de estas muestras por el método de histogramas para los valores $\ln(x)$, ya que también podemos obtener los resultados de normalidad pero con mayor precisión.

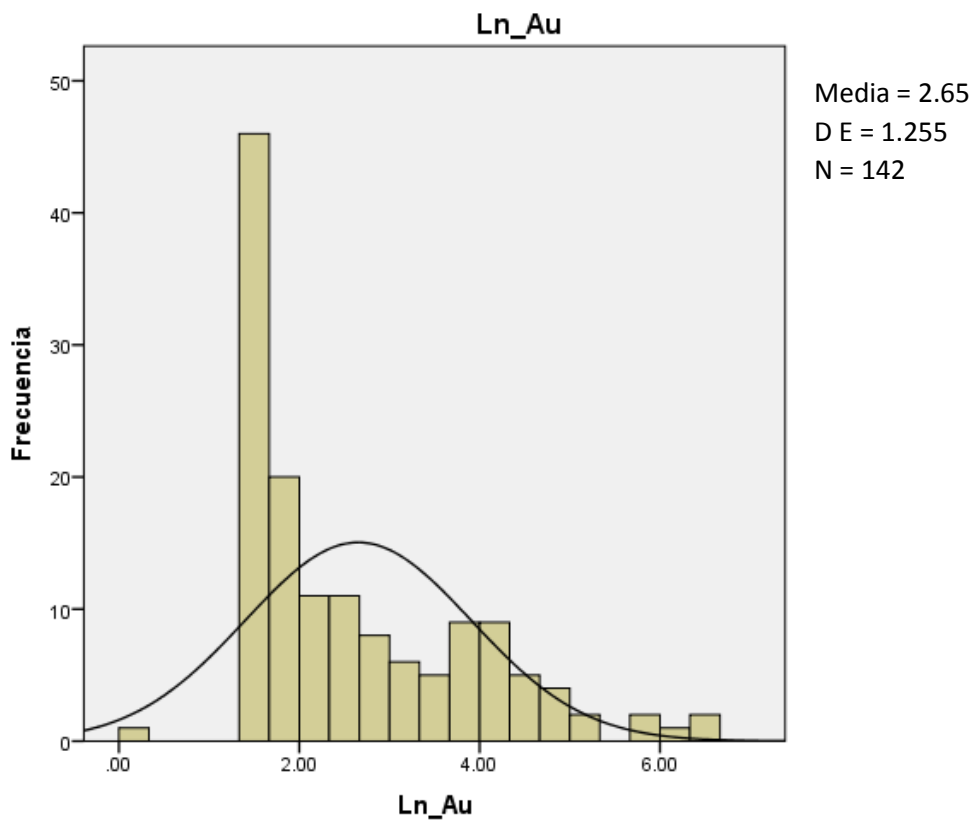
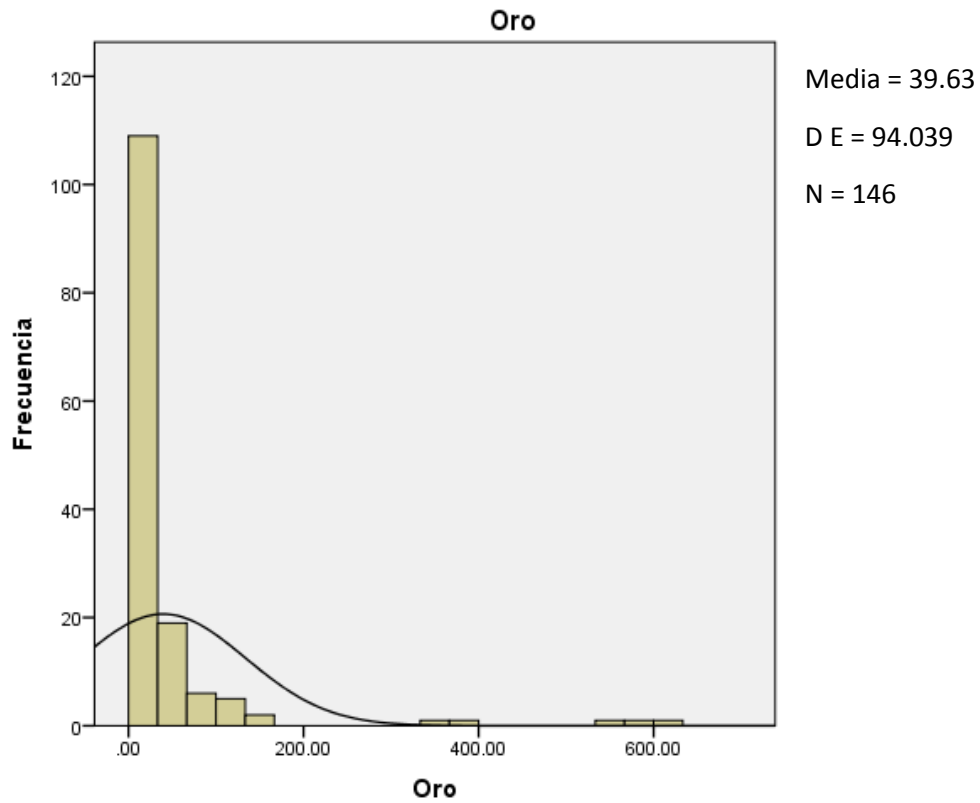


Figura 6: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Au.

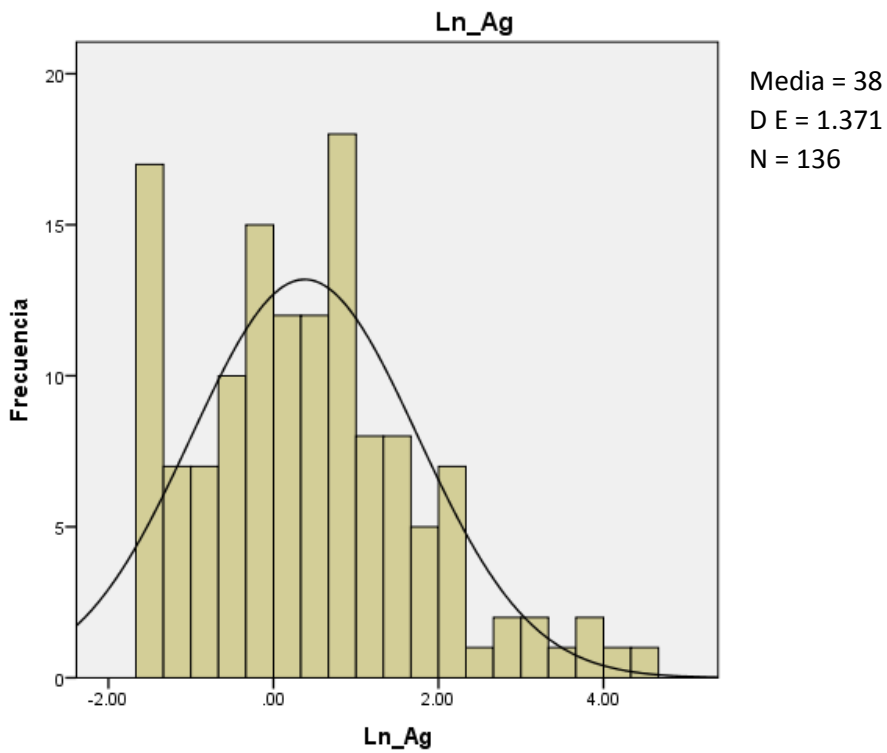
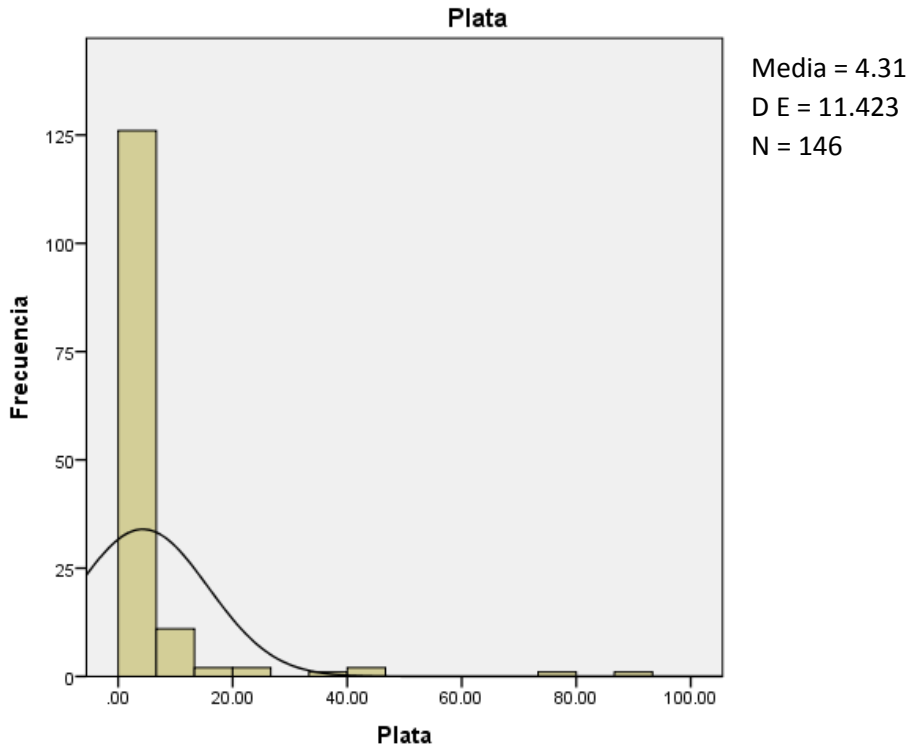


Figura 7: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Ag.

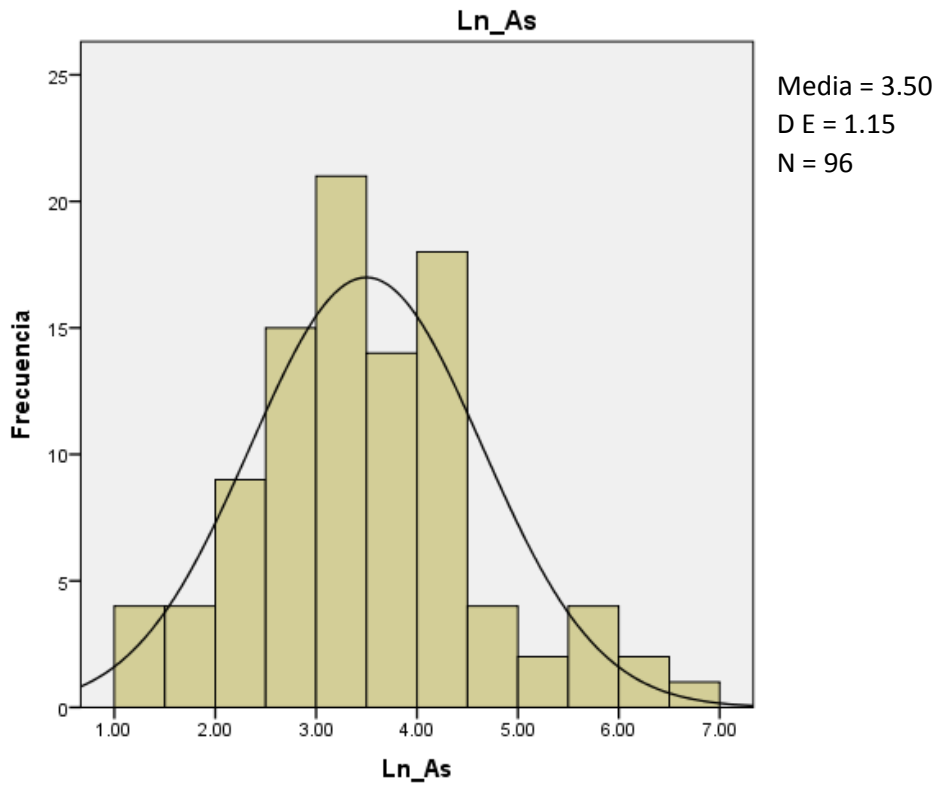
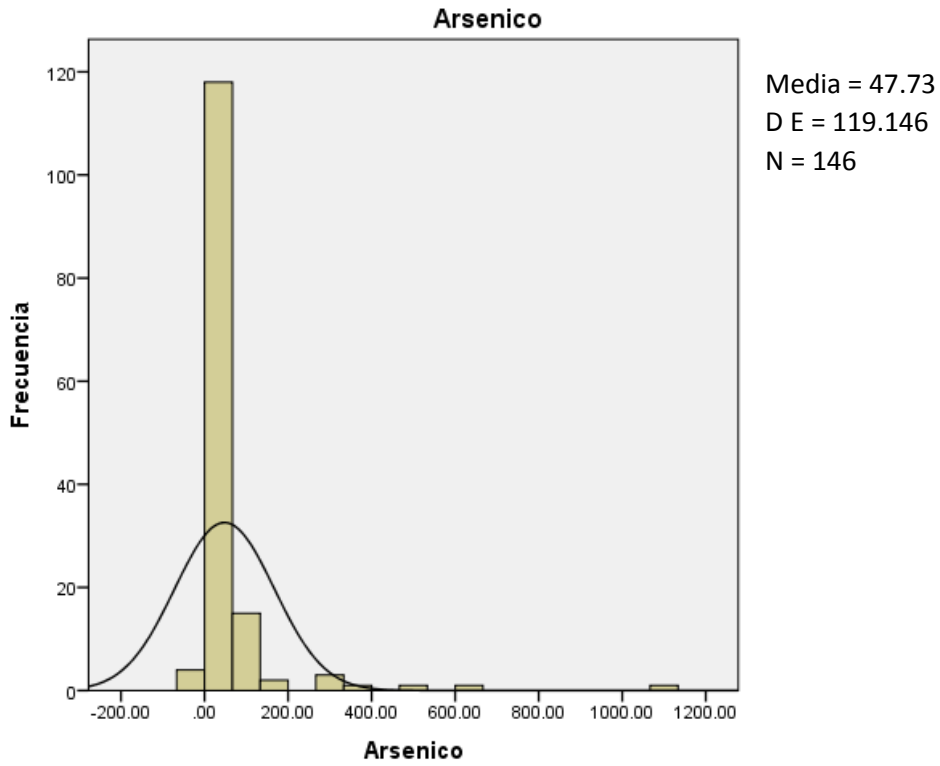


Figura 8: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el As.

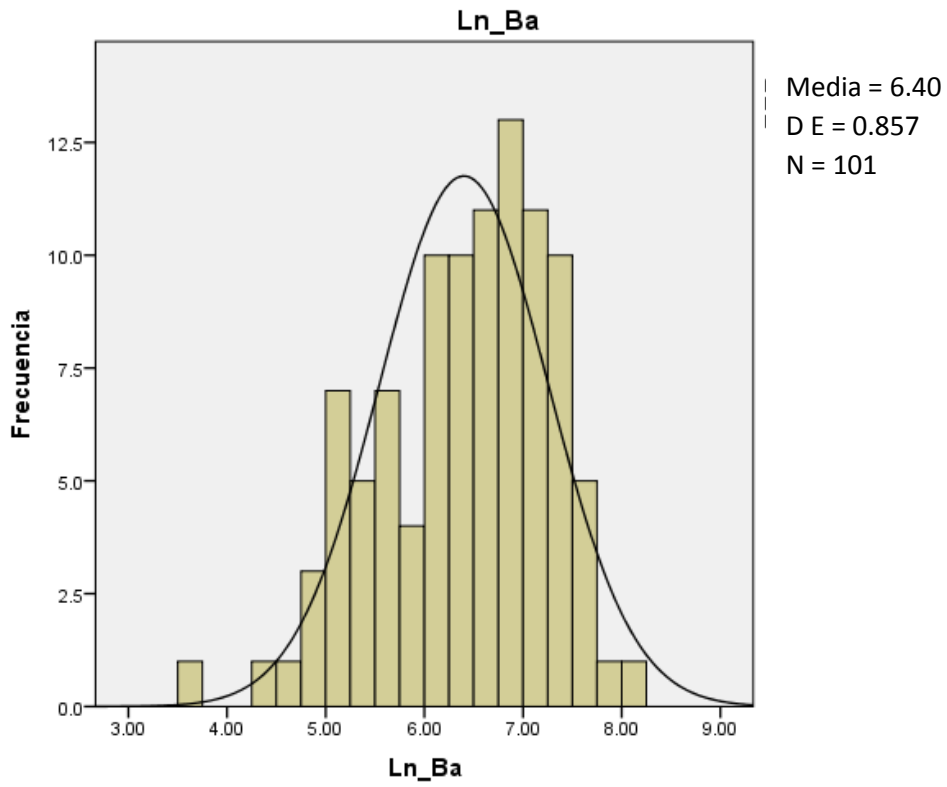
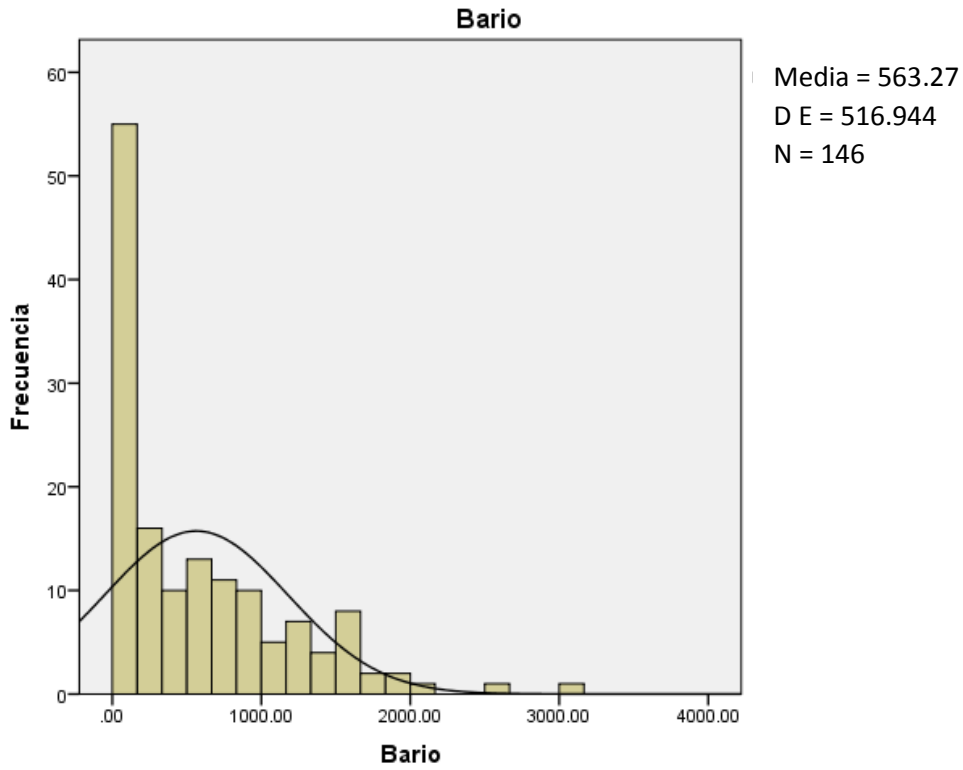


Figura 9: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Ba.

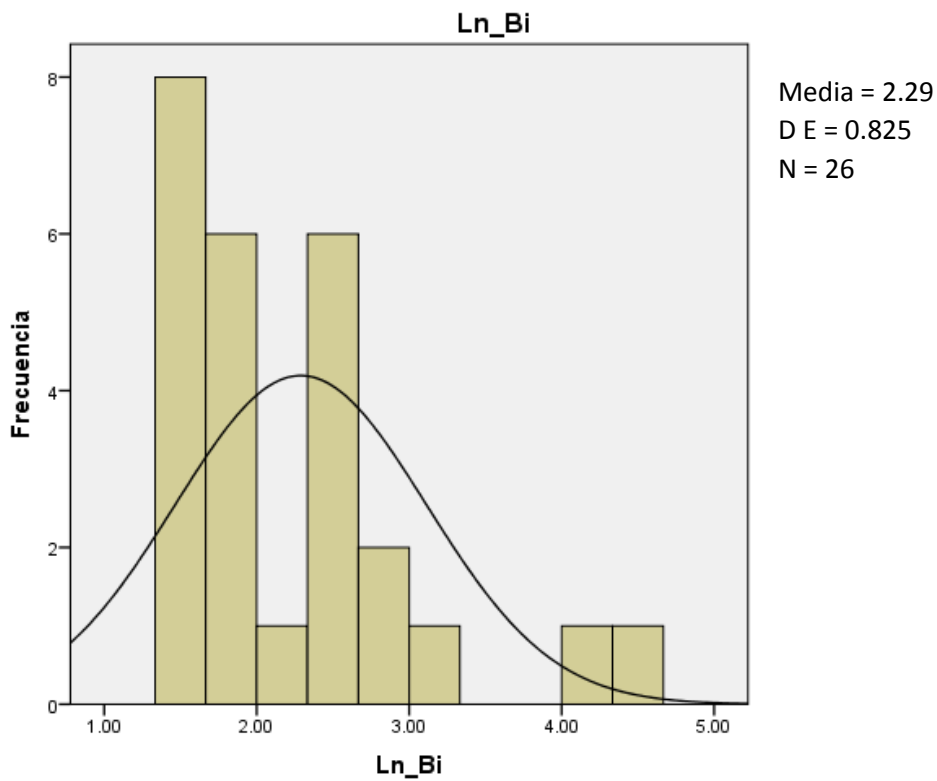
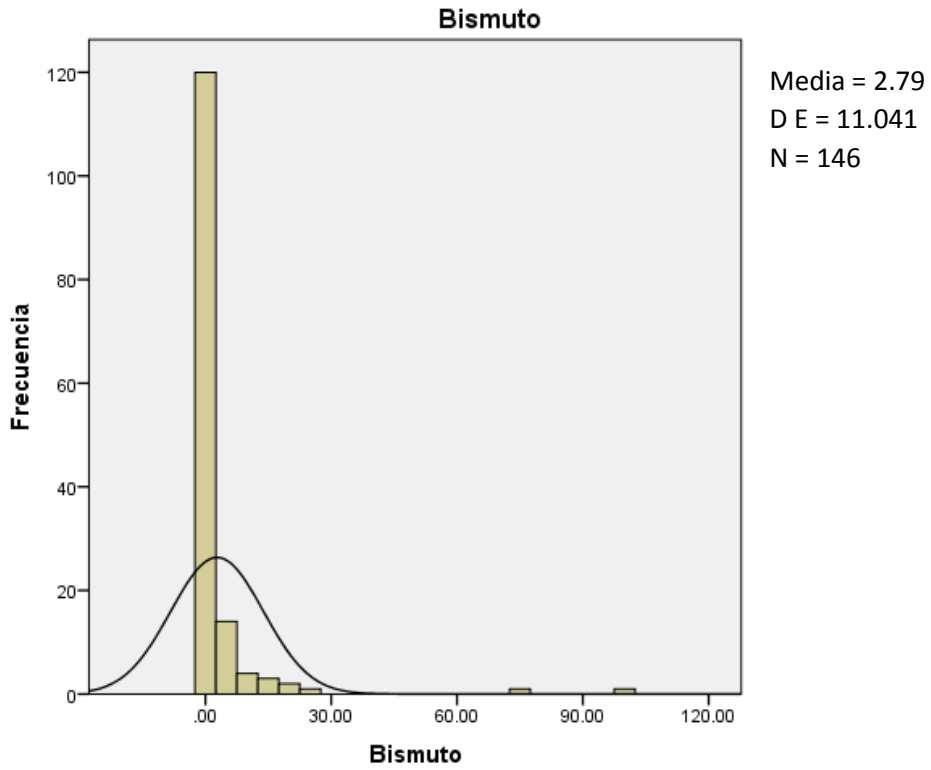


Figura 10: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Bi.

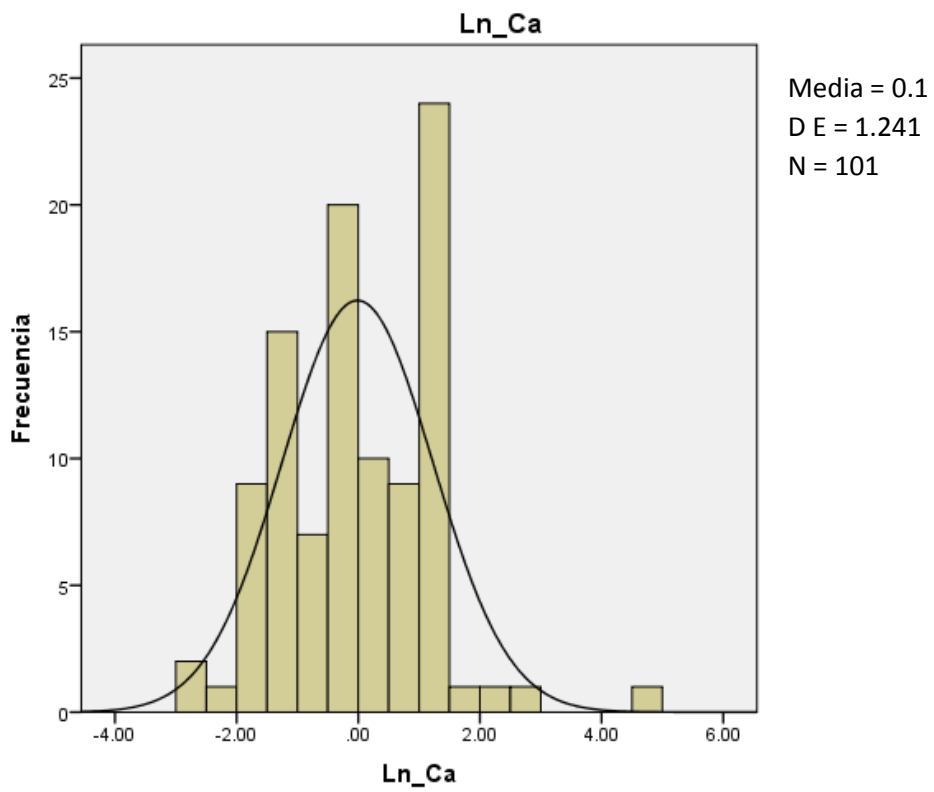
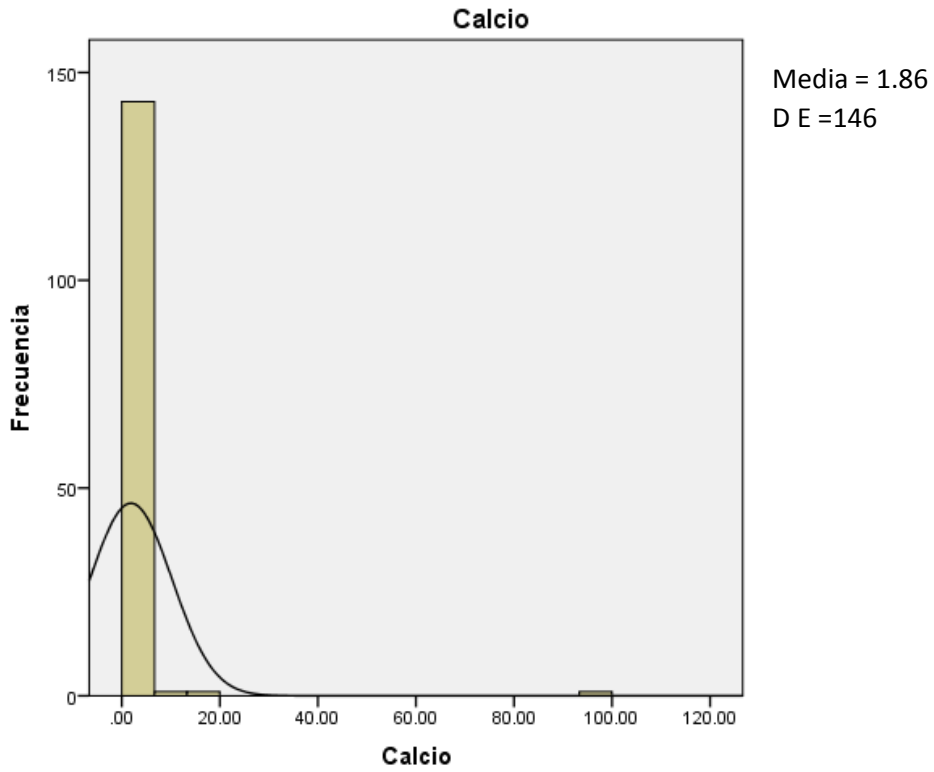


Figura 11: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Ca.

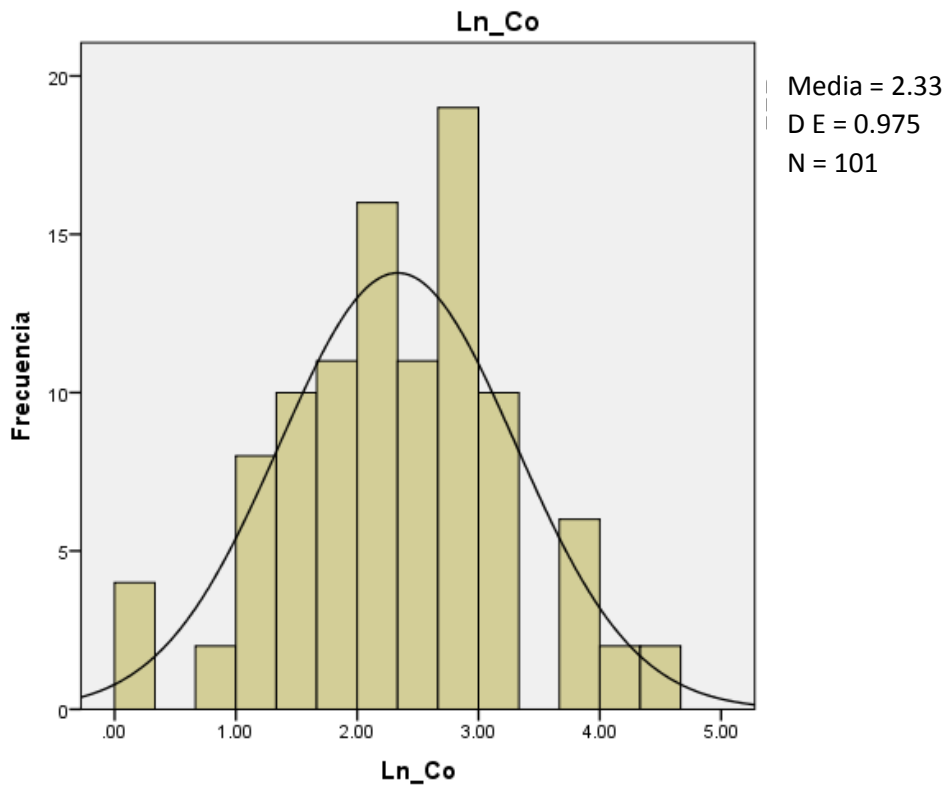
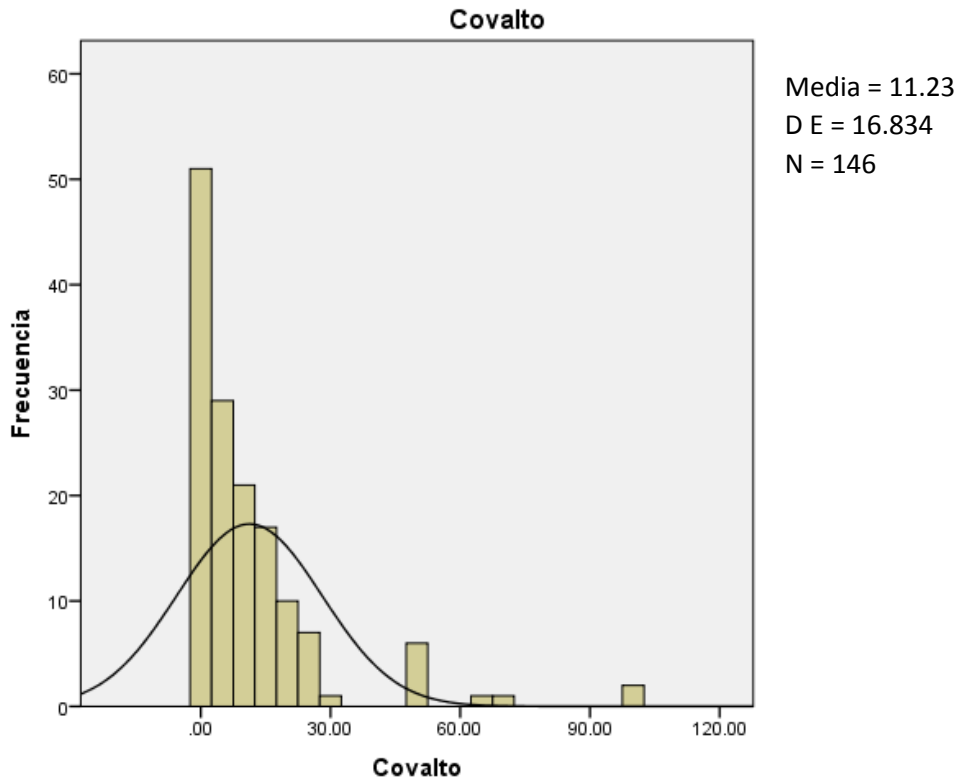


Figura 12: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Co.

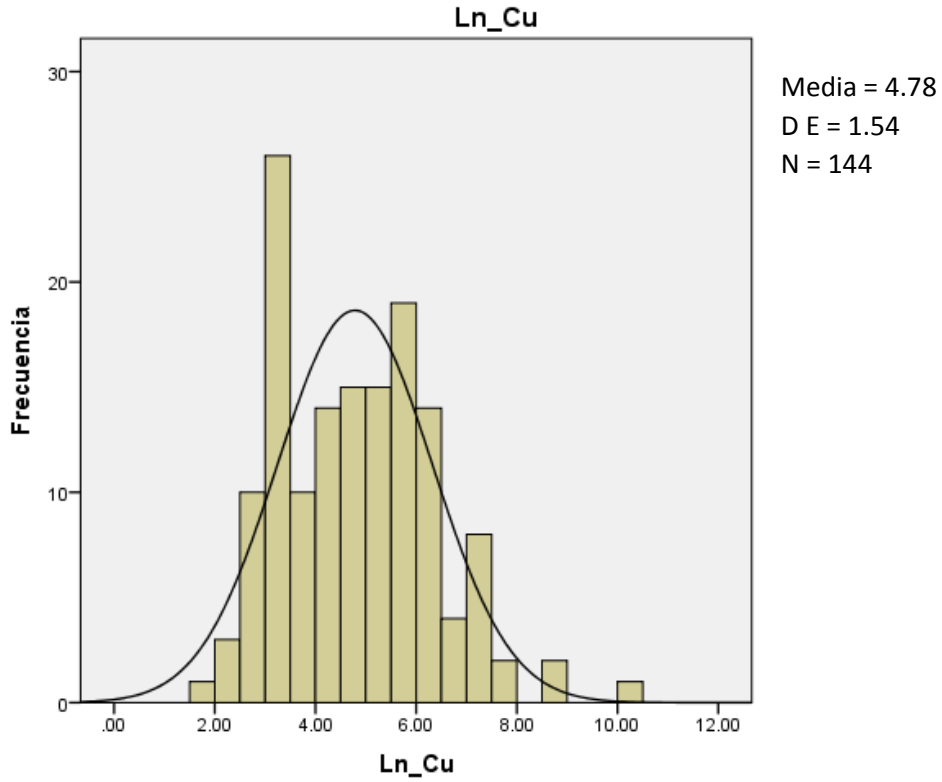
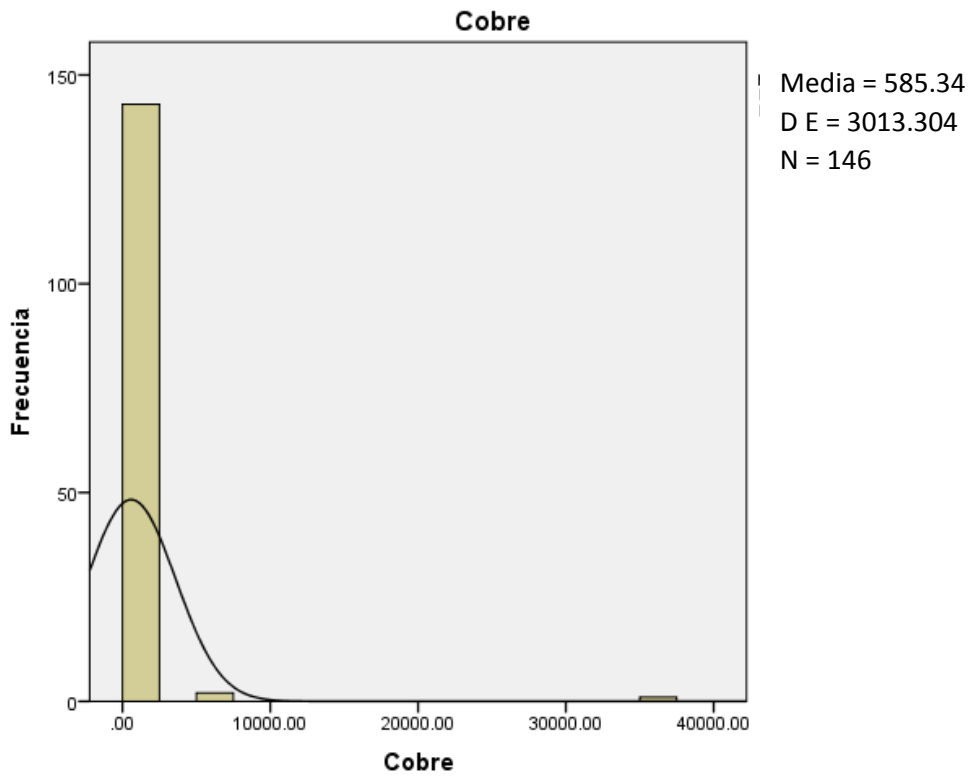


Figura 13: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Cu.

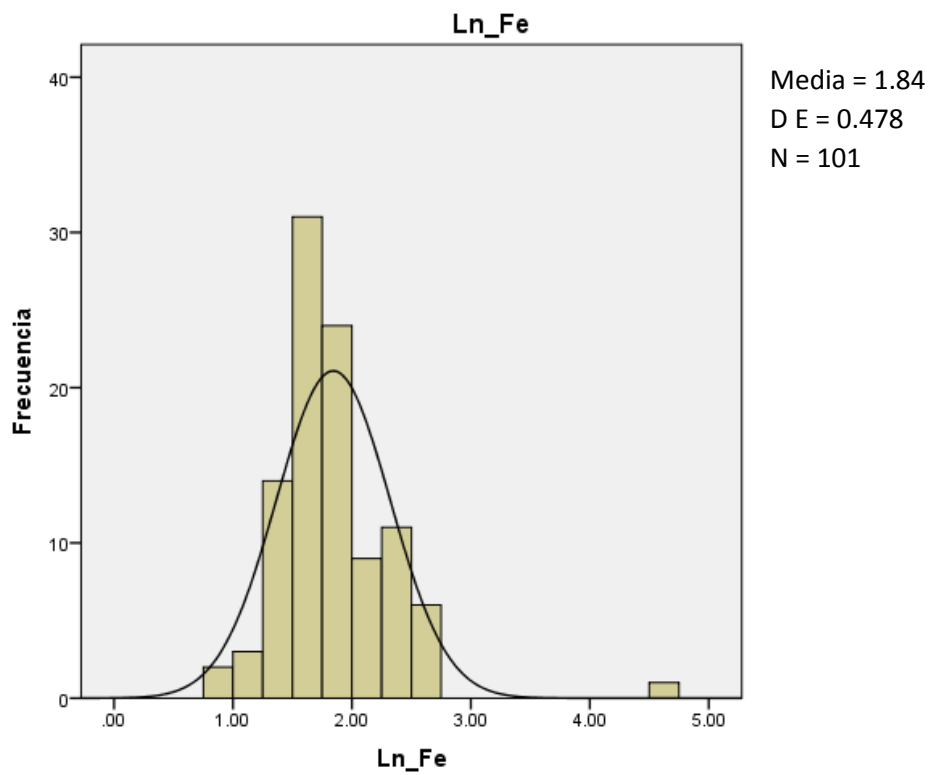
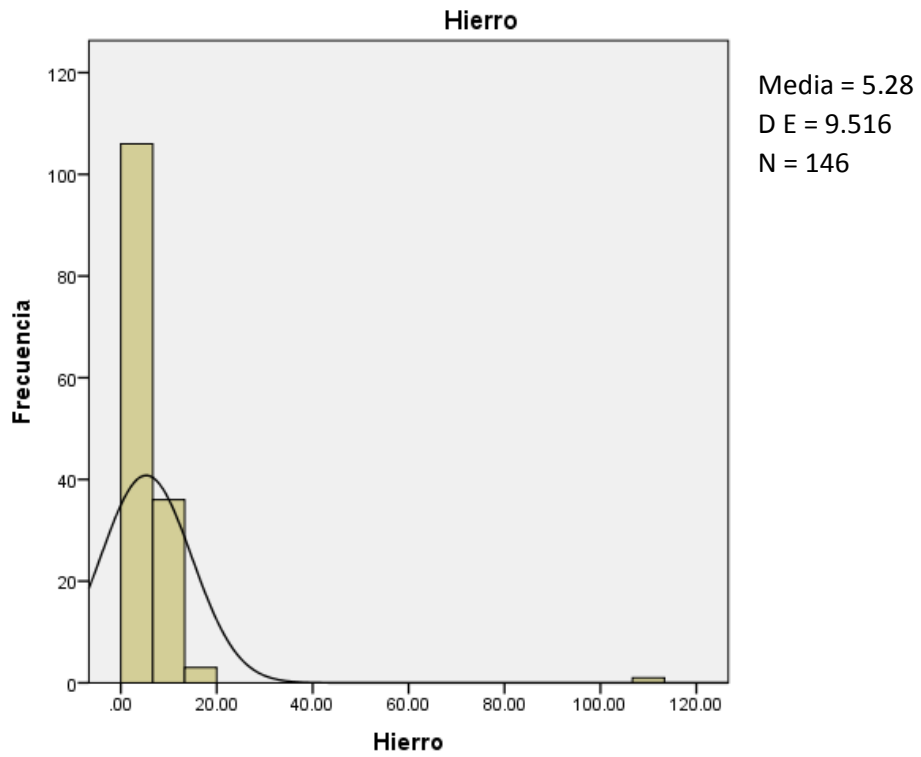


Figura 14: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Fe.

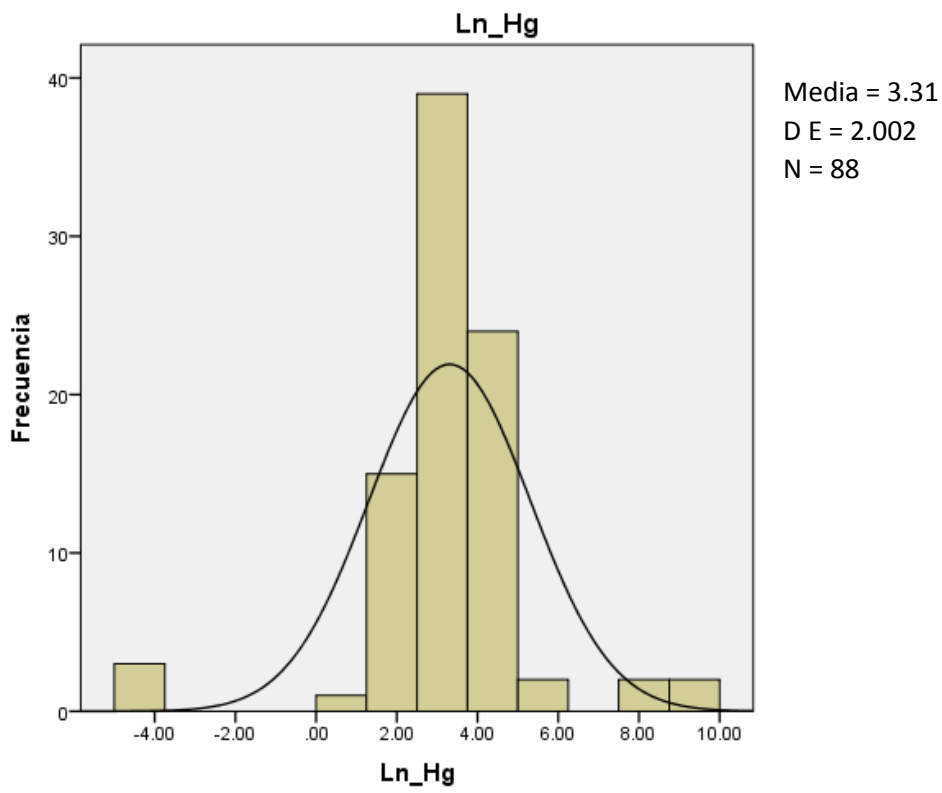
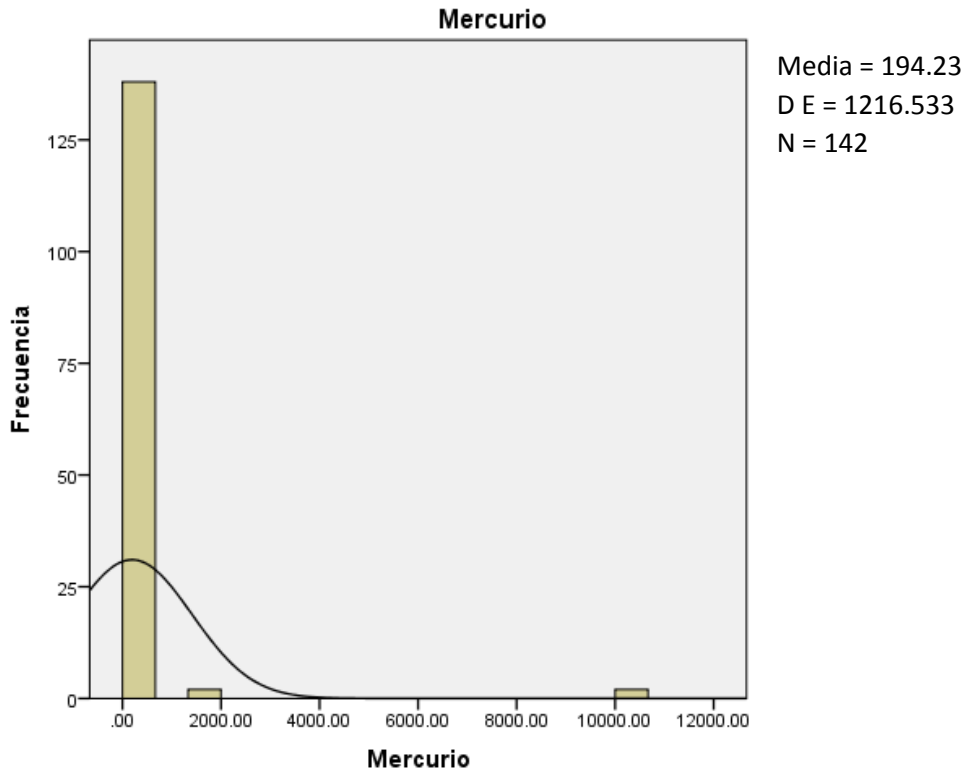


Figura 15: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Hg.

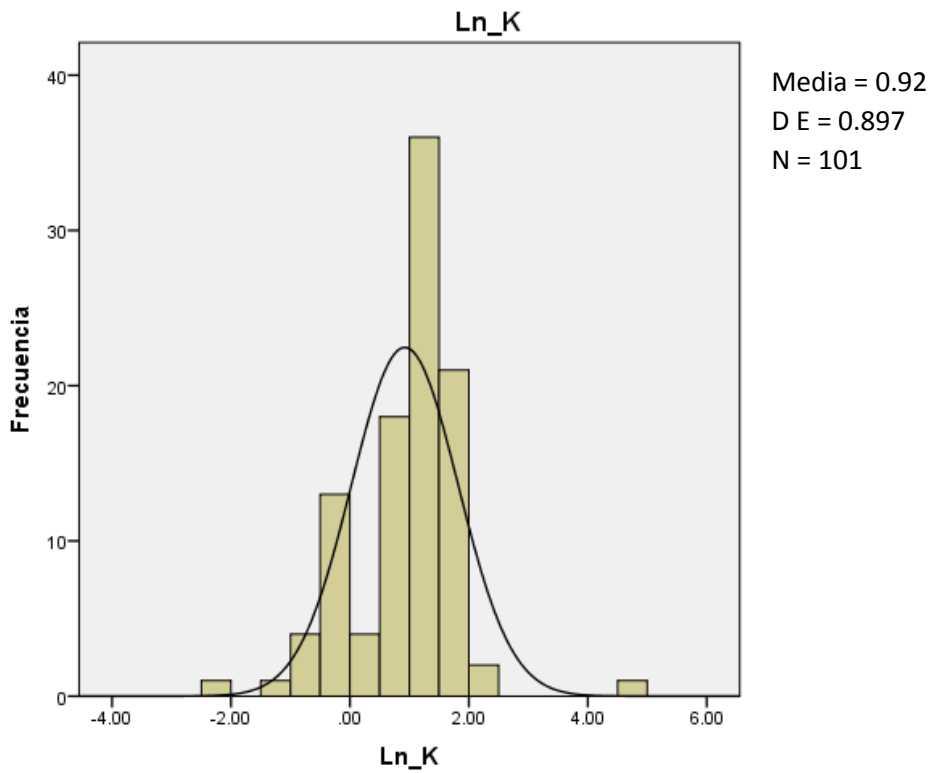
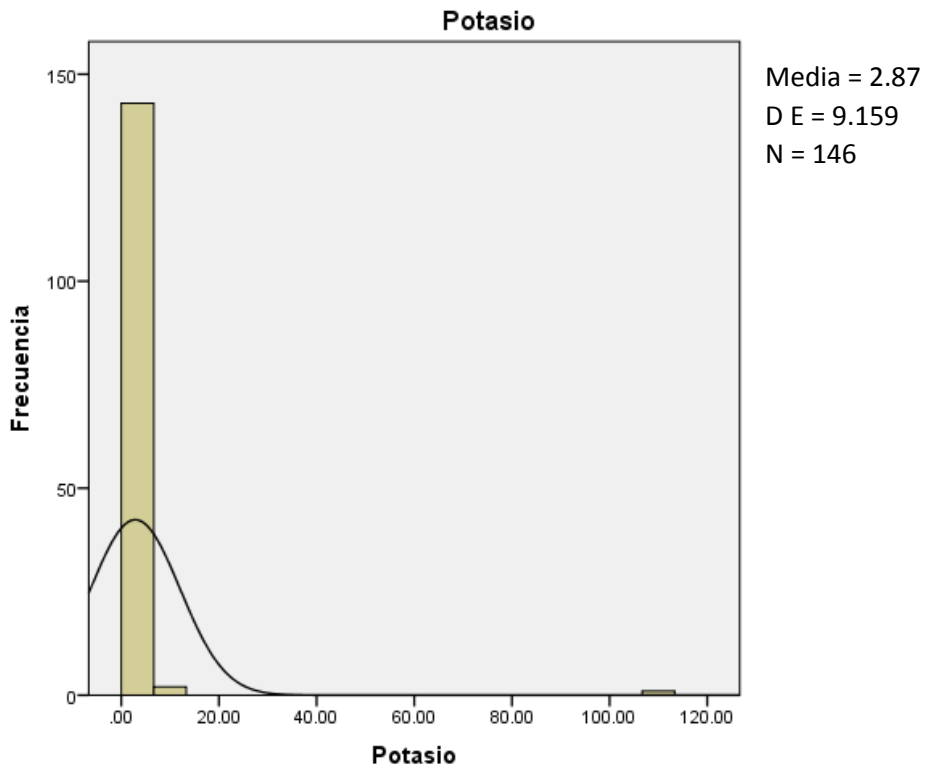


Figura 16: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el K.

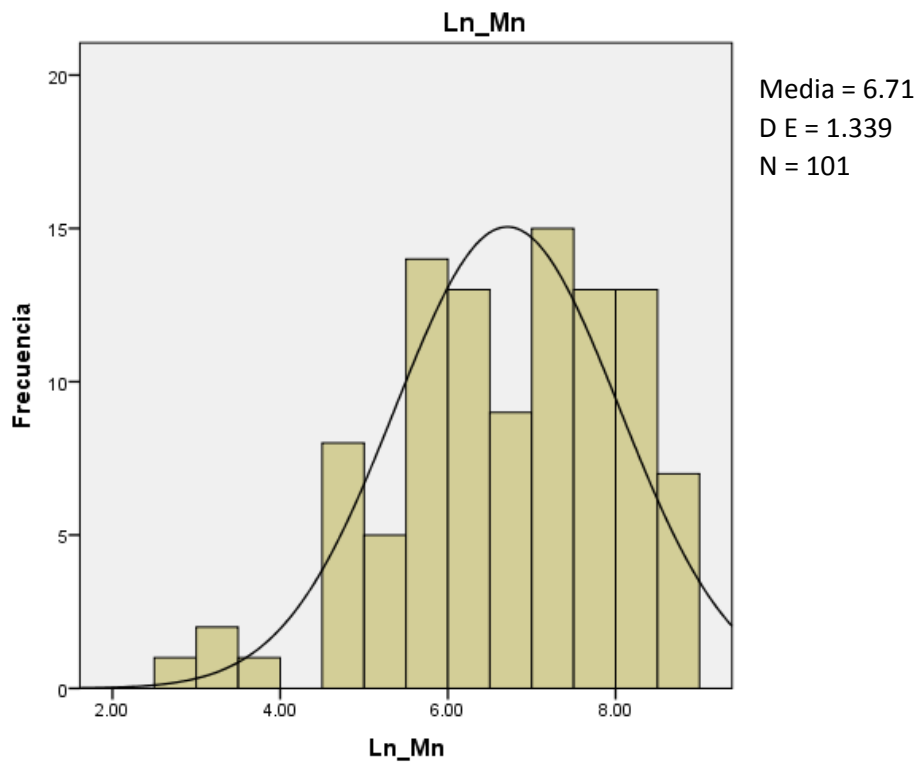
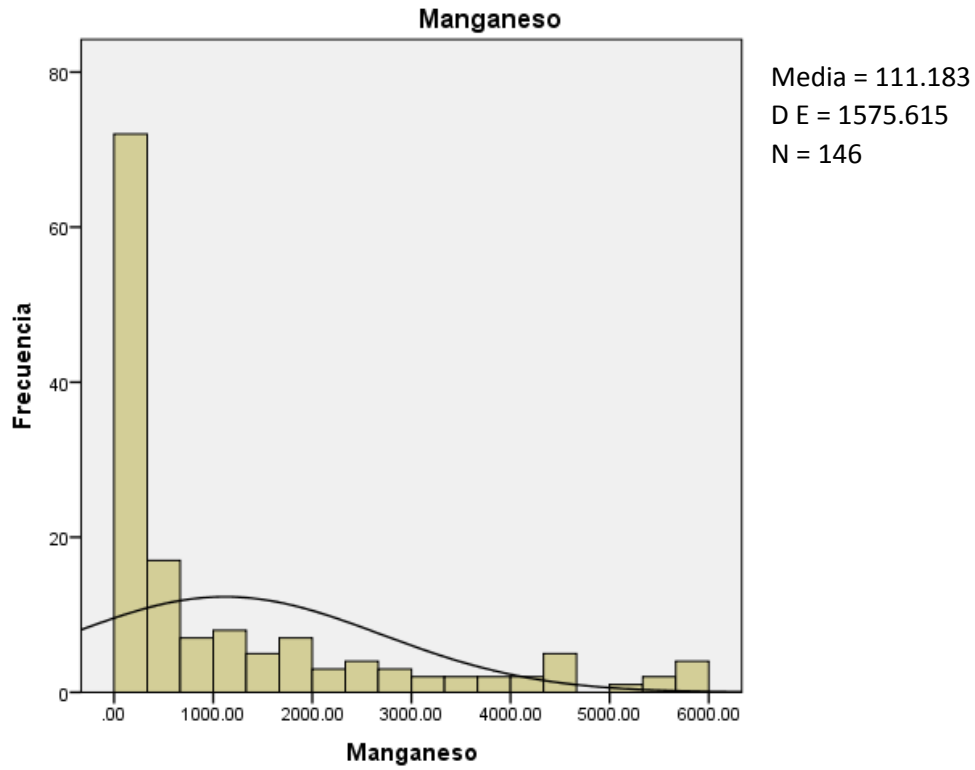


Figura 17: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Mn.

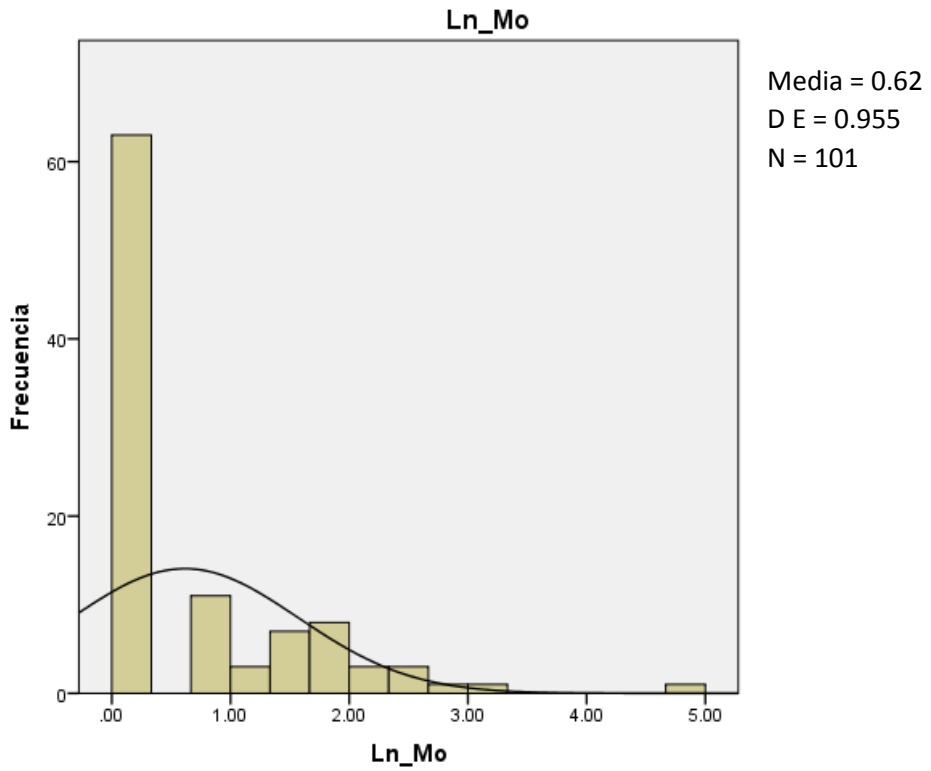
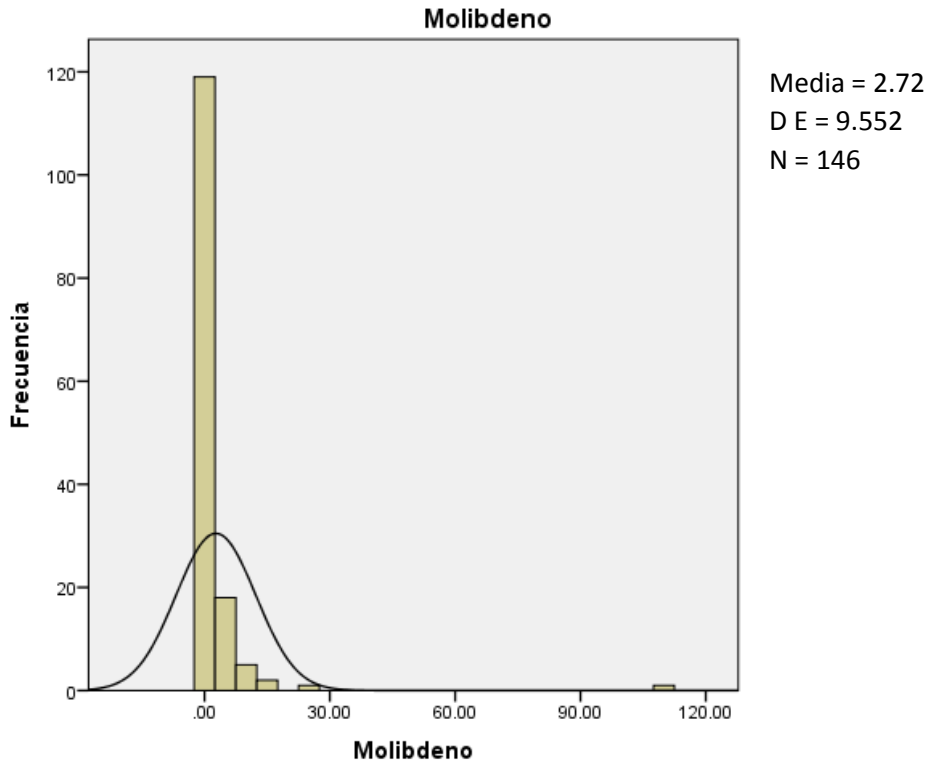


Figura 18: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Mo.

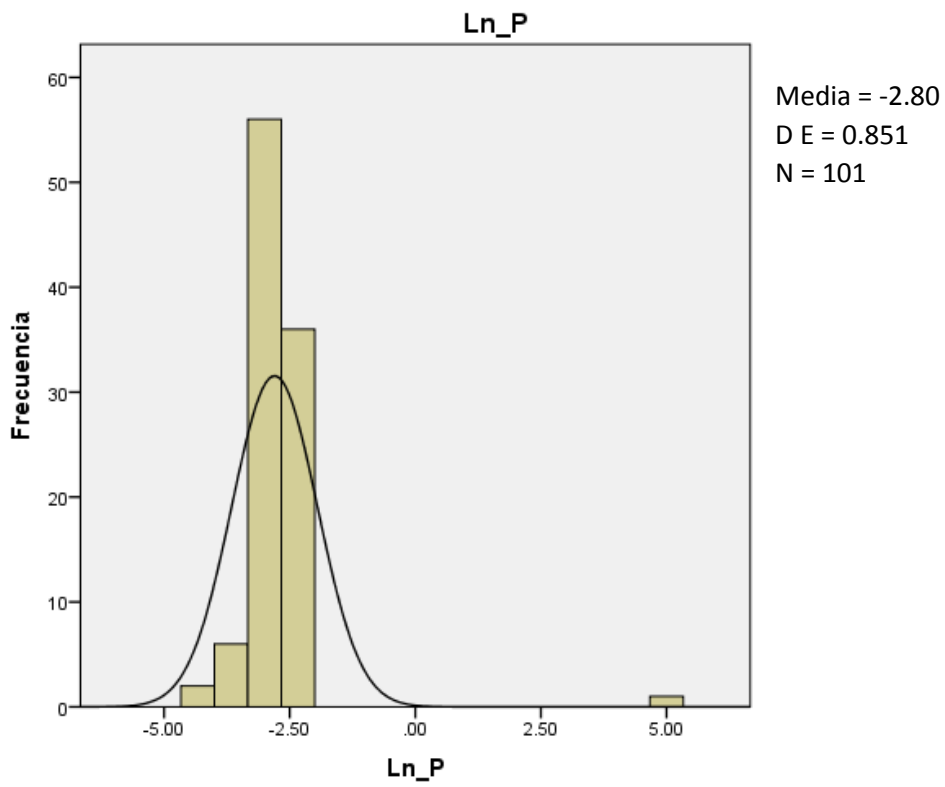
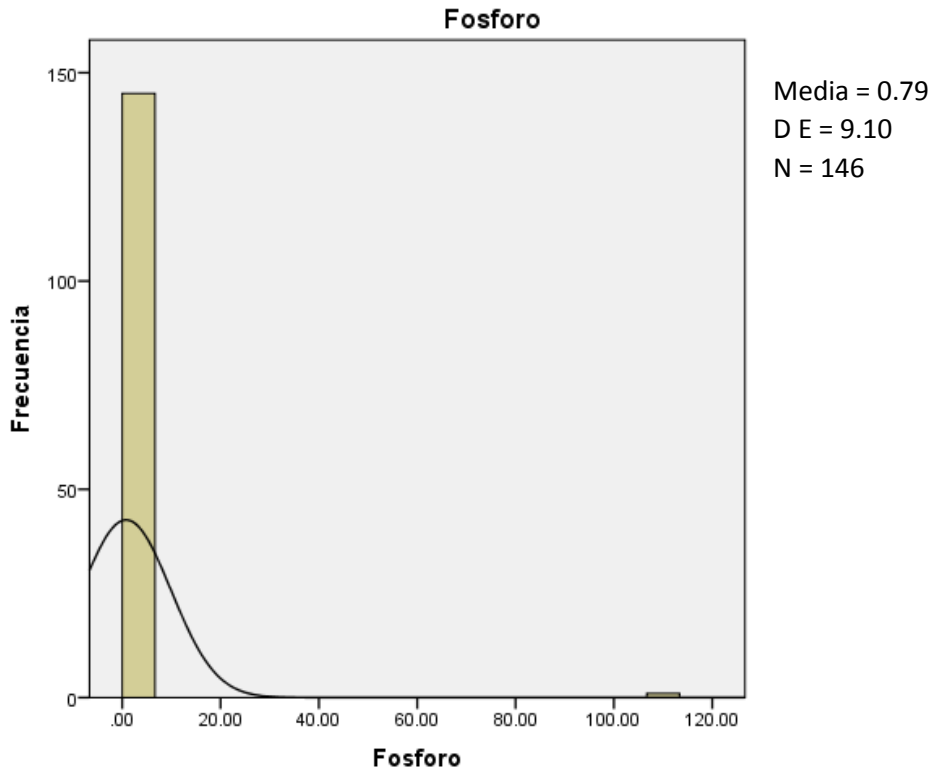


Figura 19: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el P.

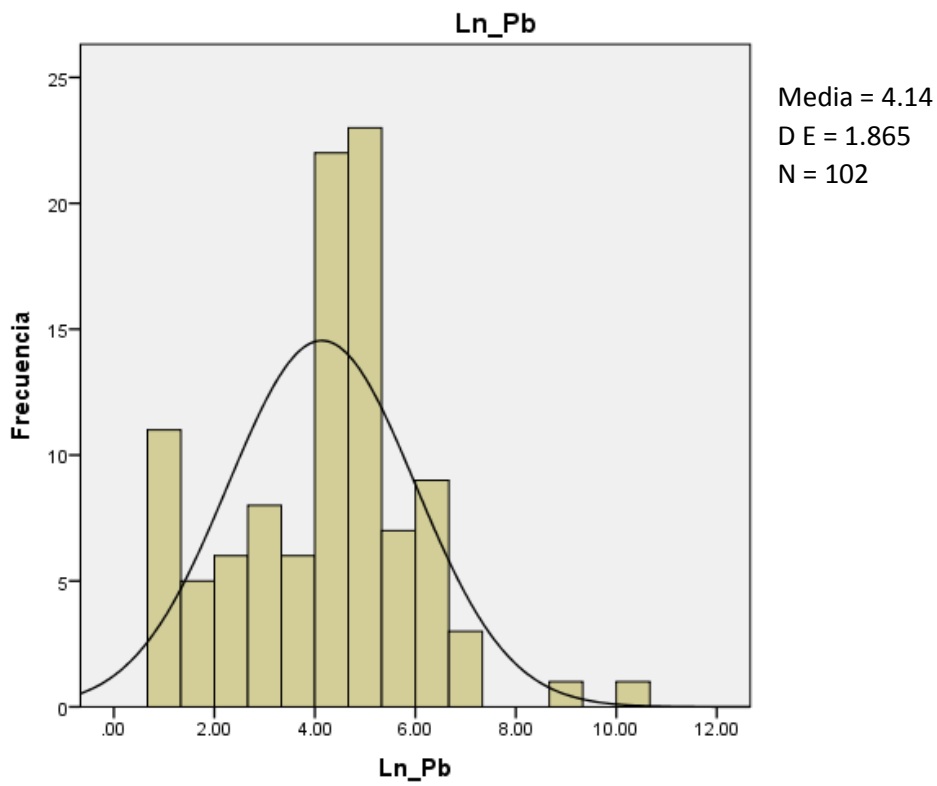
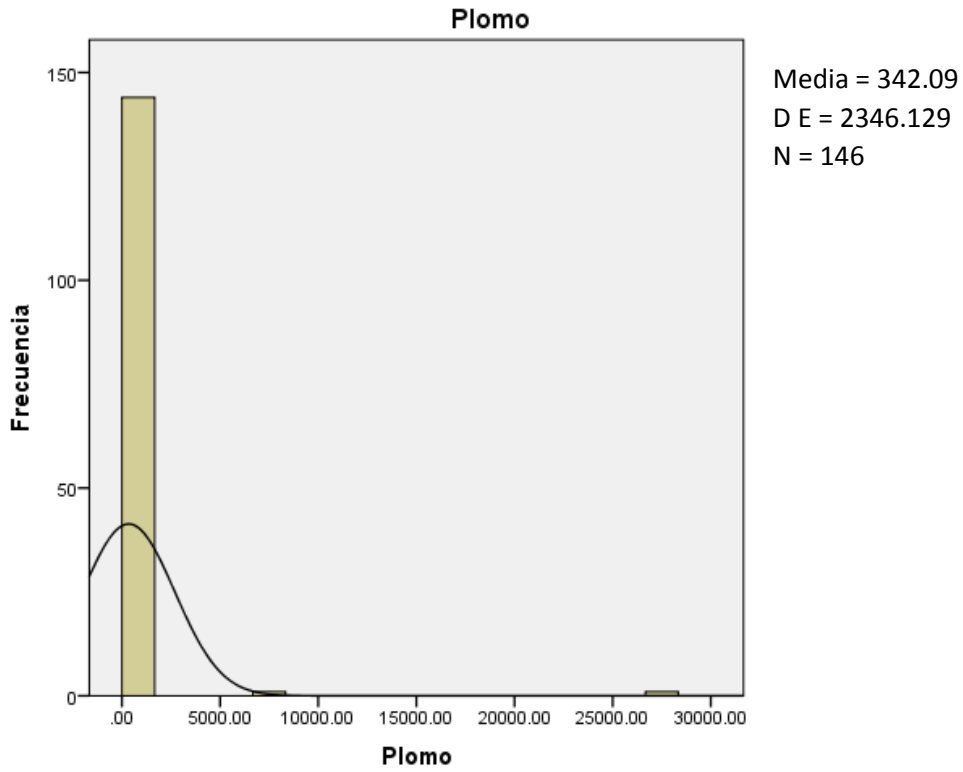


Figura 20: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Pb.

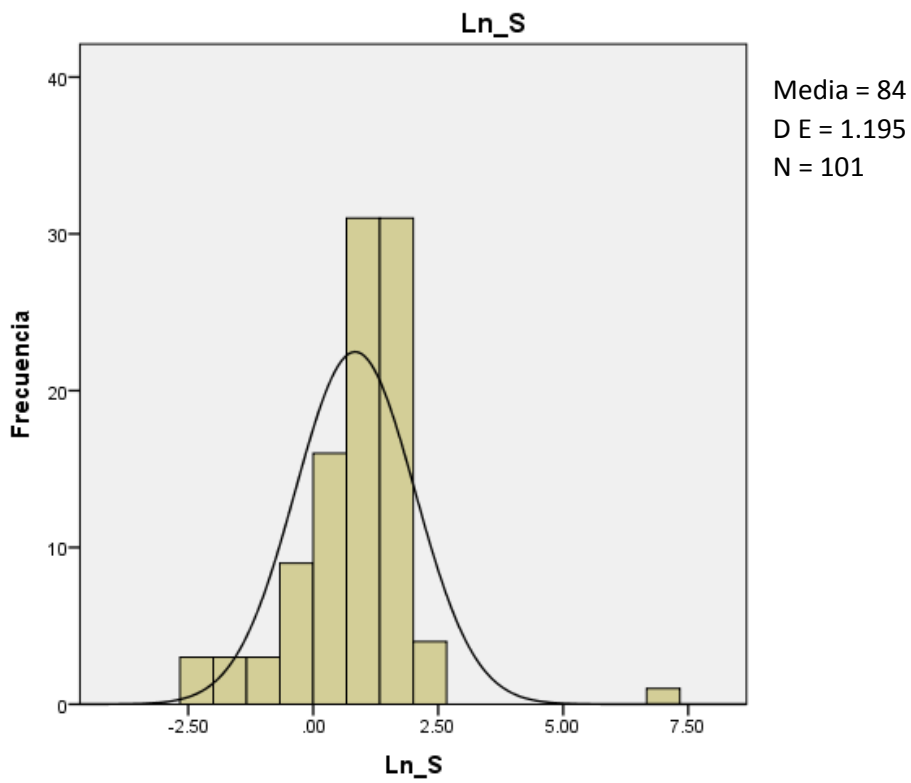
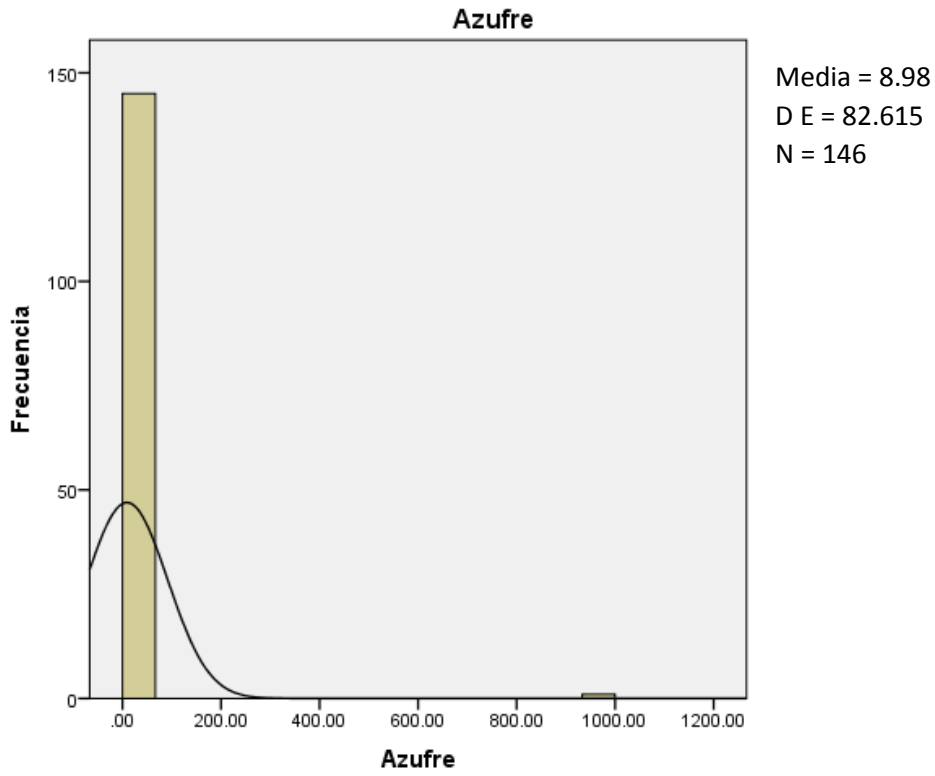


Figura 21: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el S.

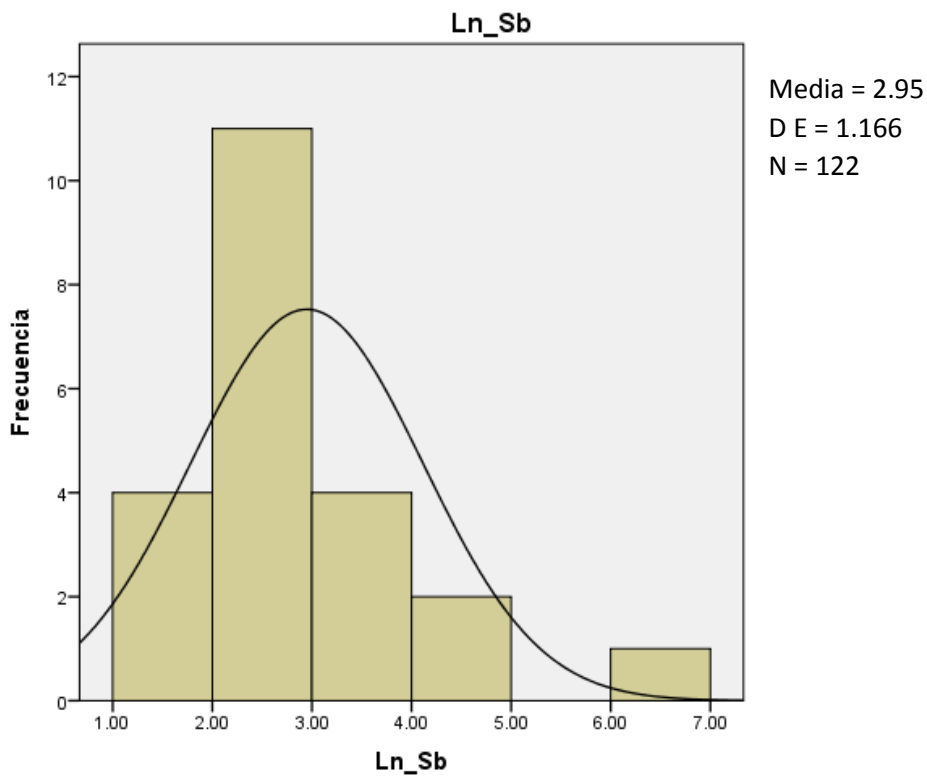
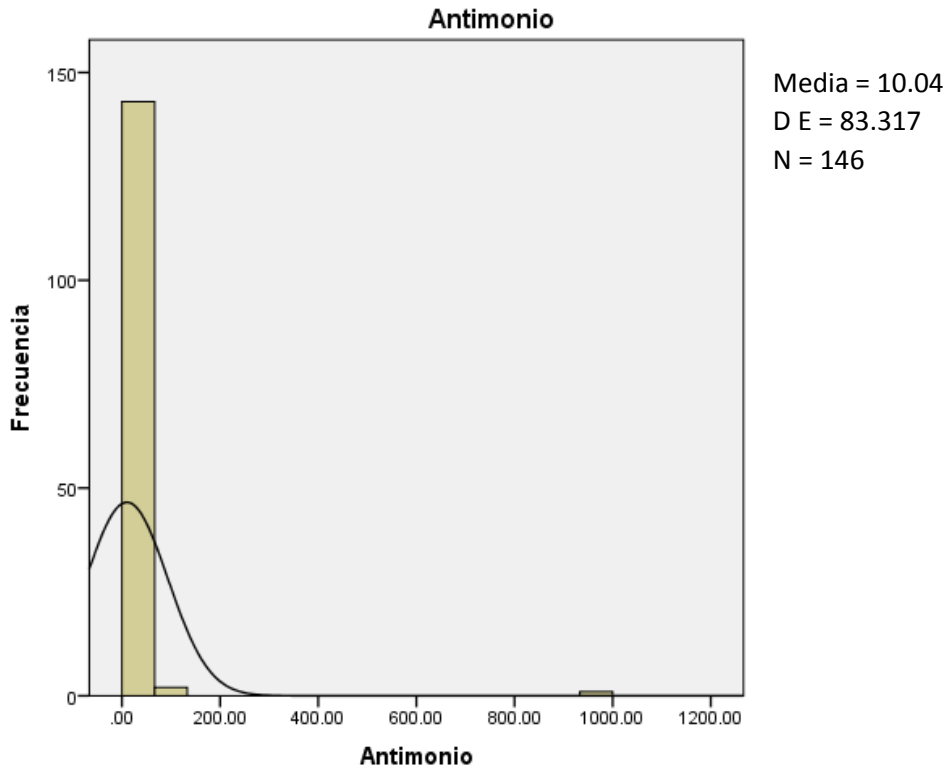


Figura 22: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Sb.

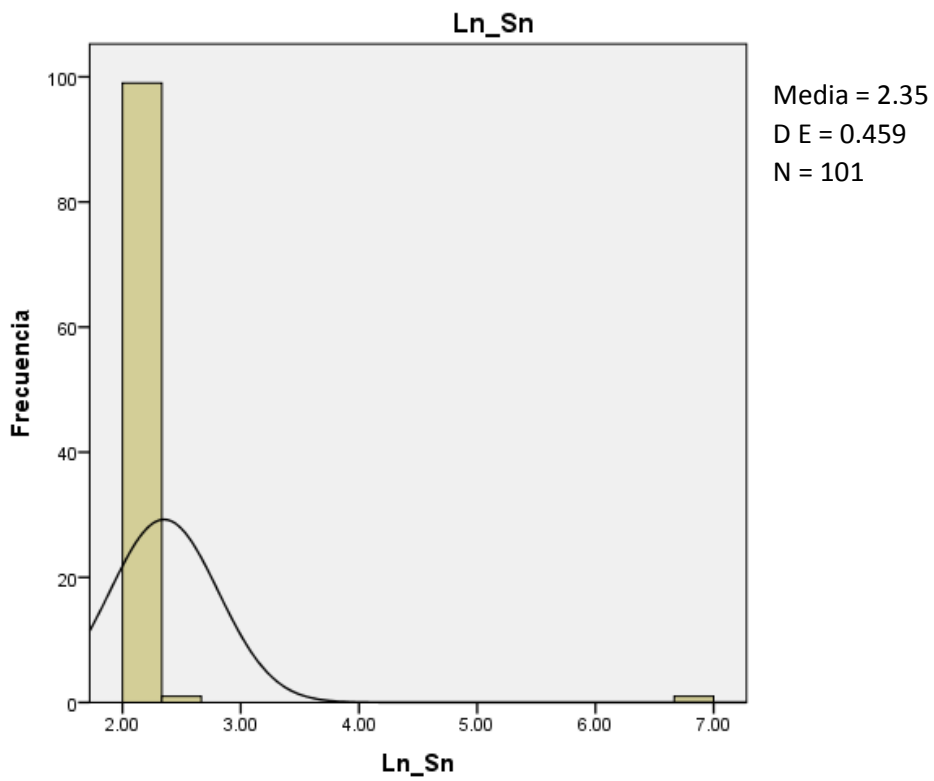
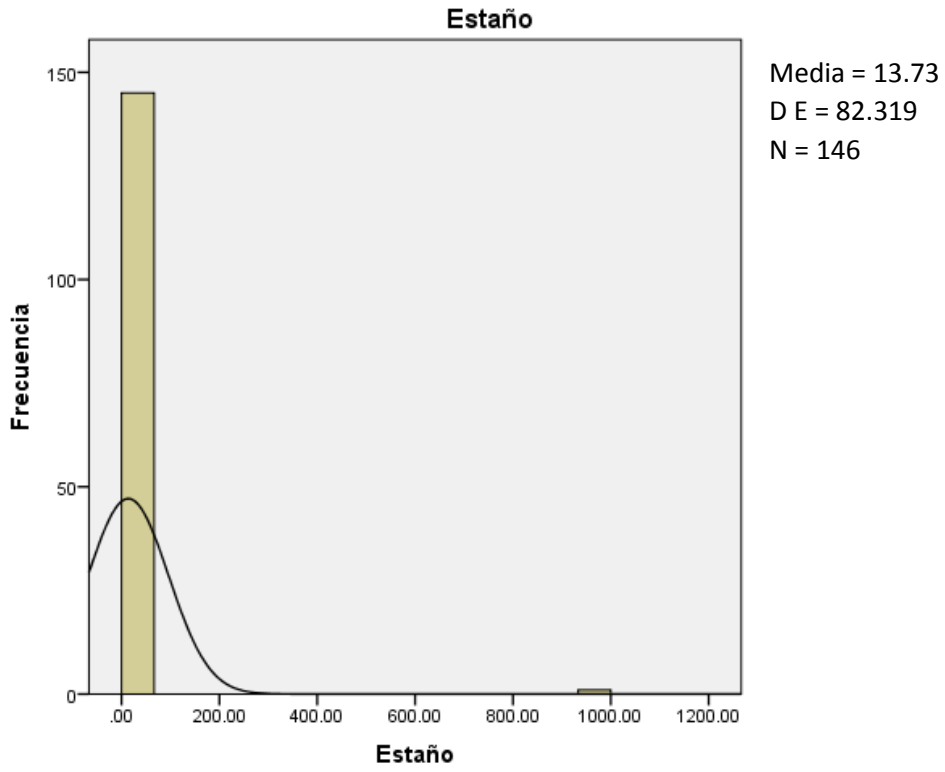


Figura 23: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Sn.

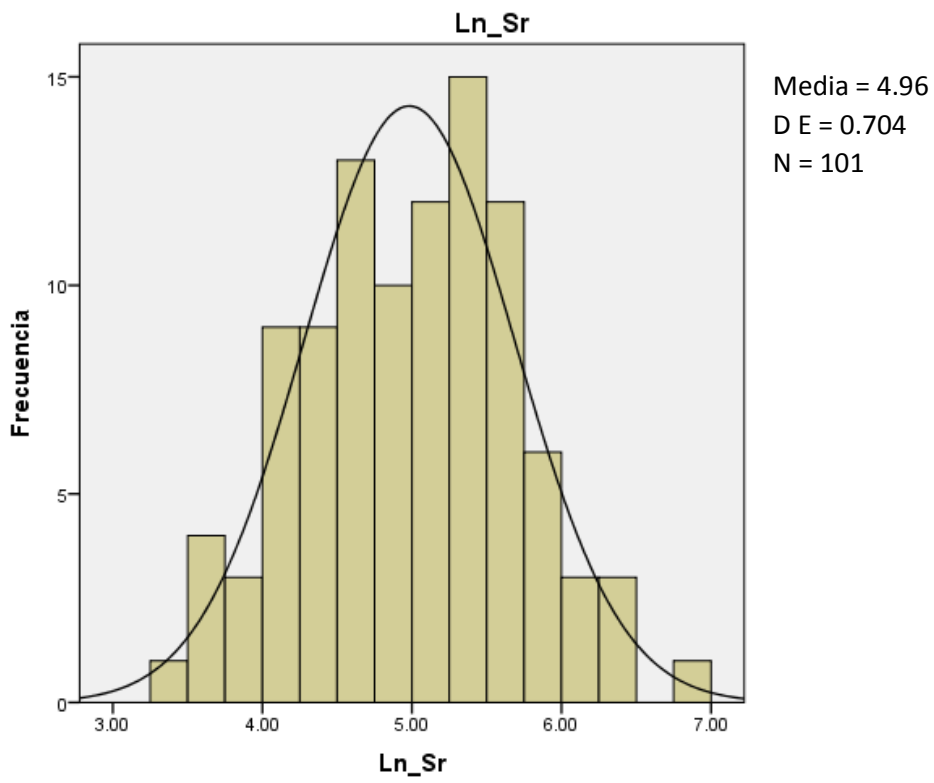
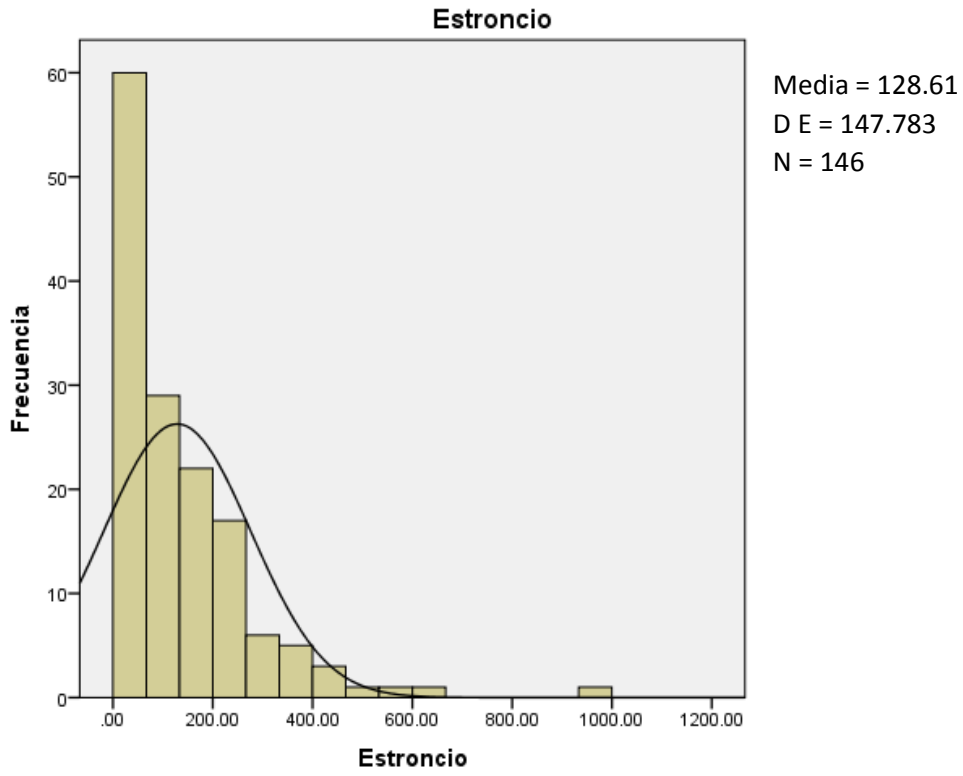


Figura 24: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Sr.

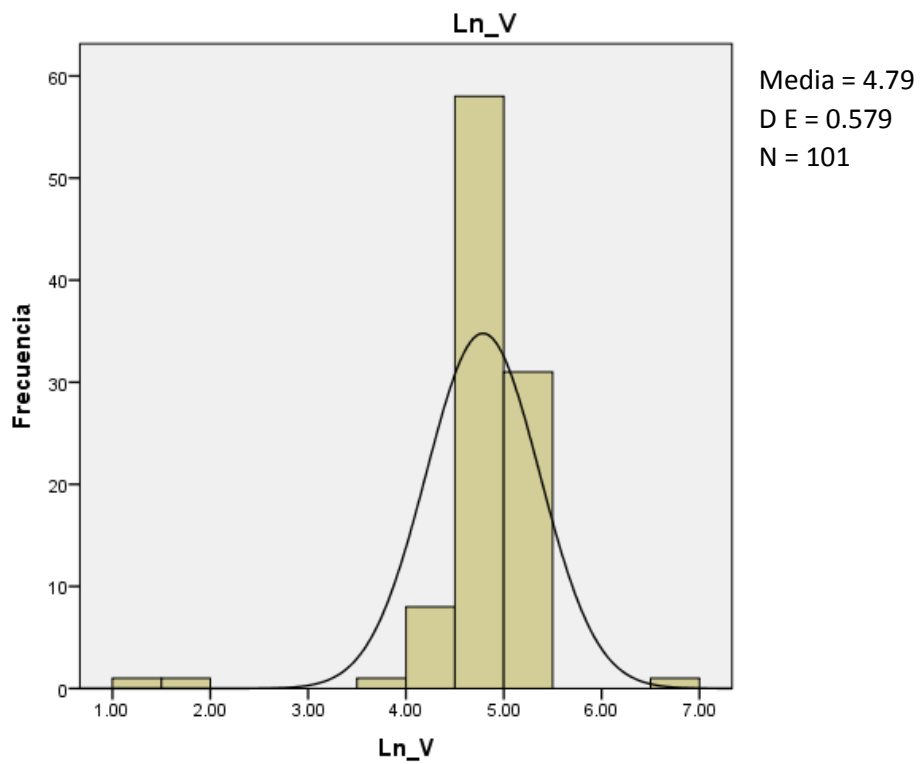
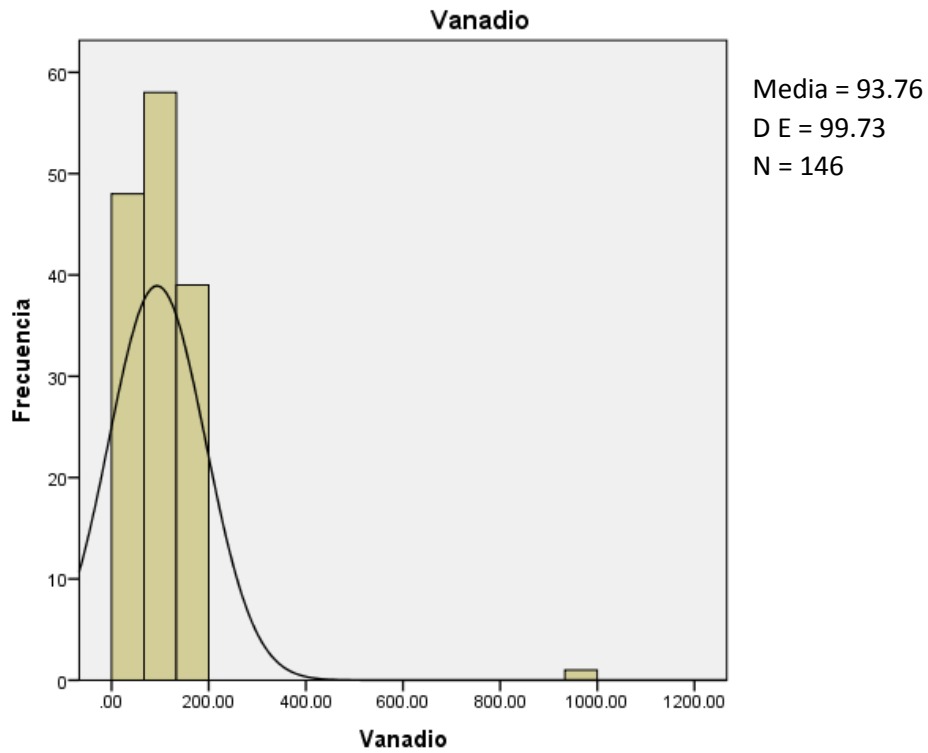


Figura 25: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el V.

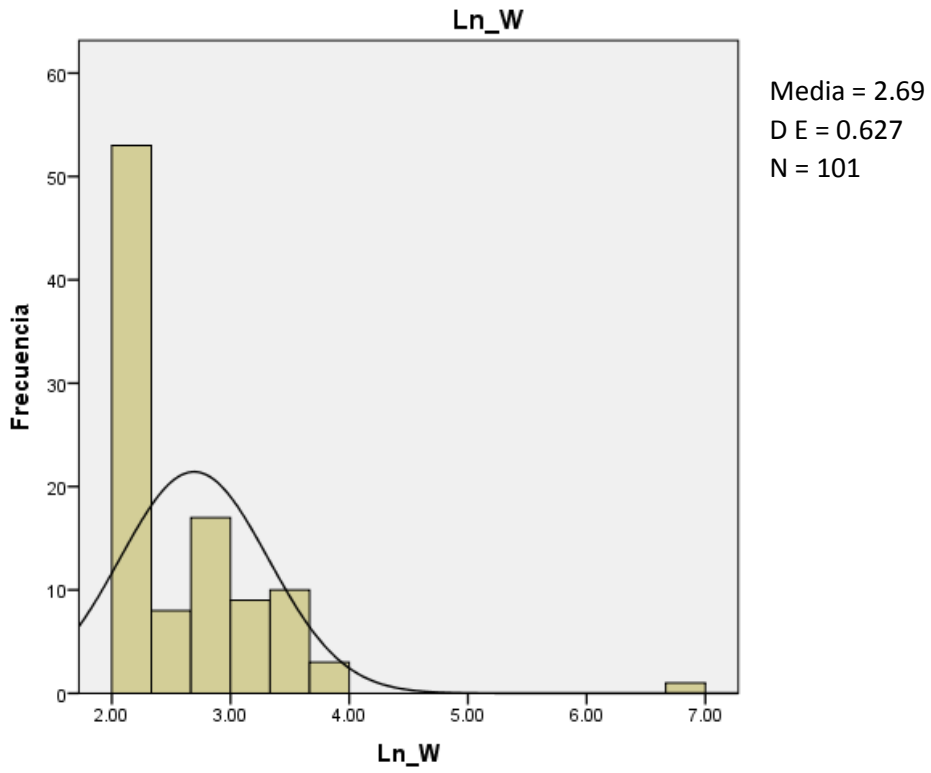
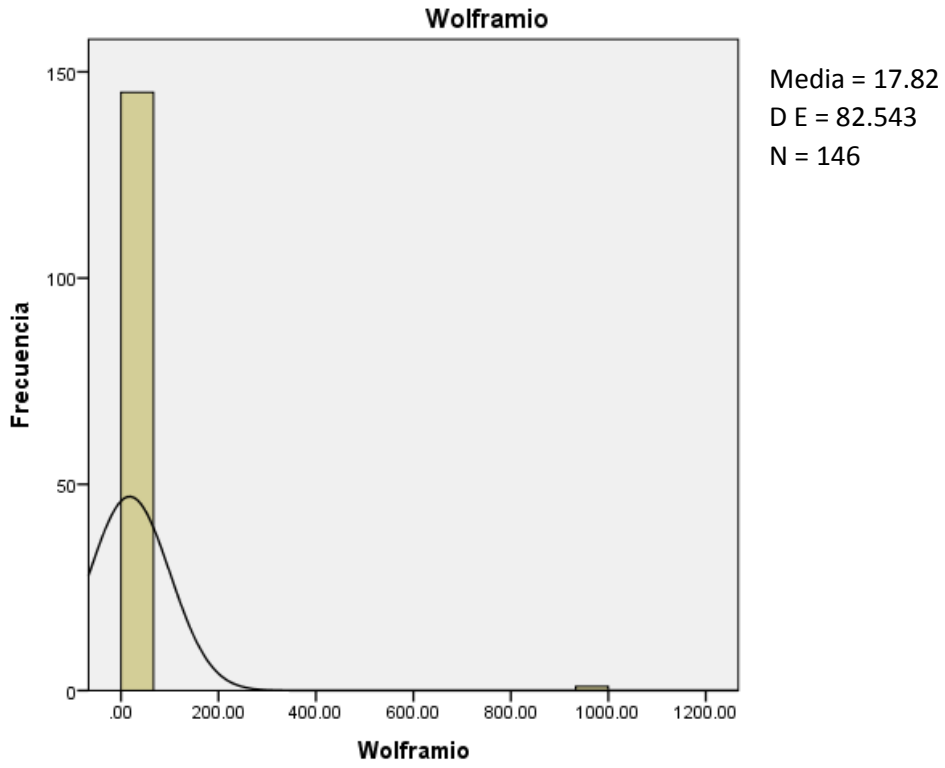


Figura 26: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el W.

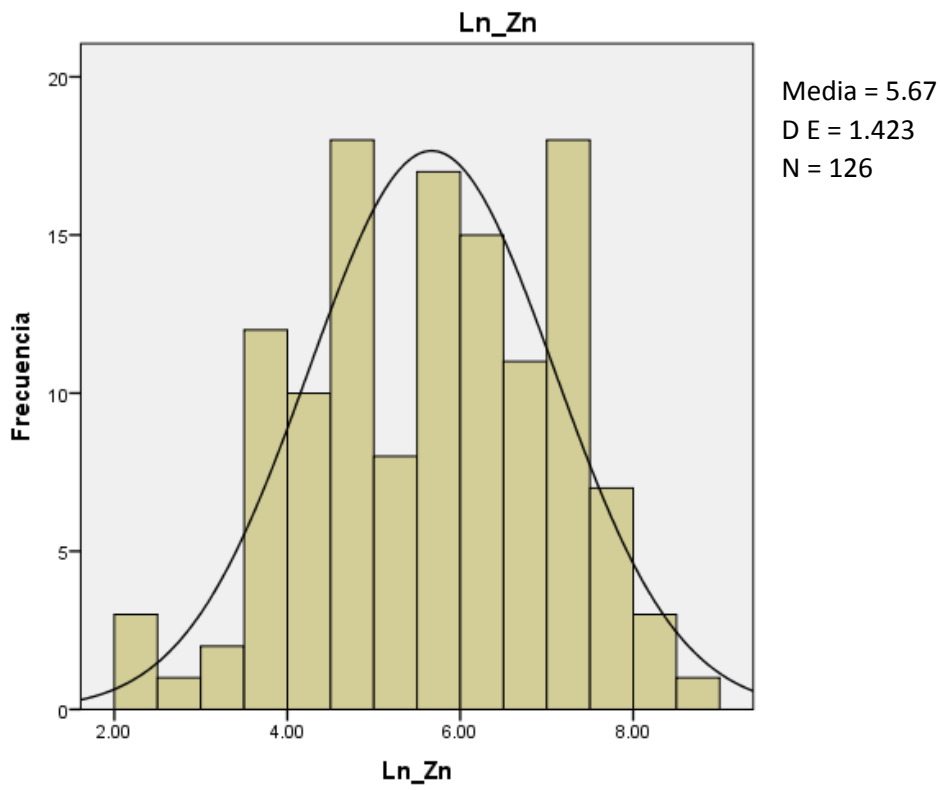
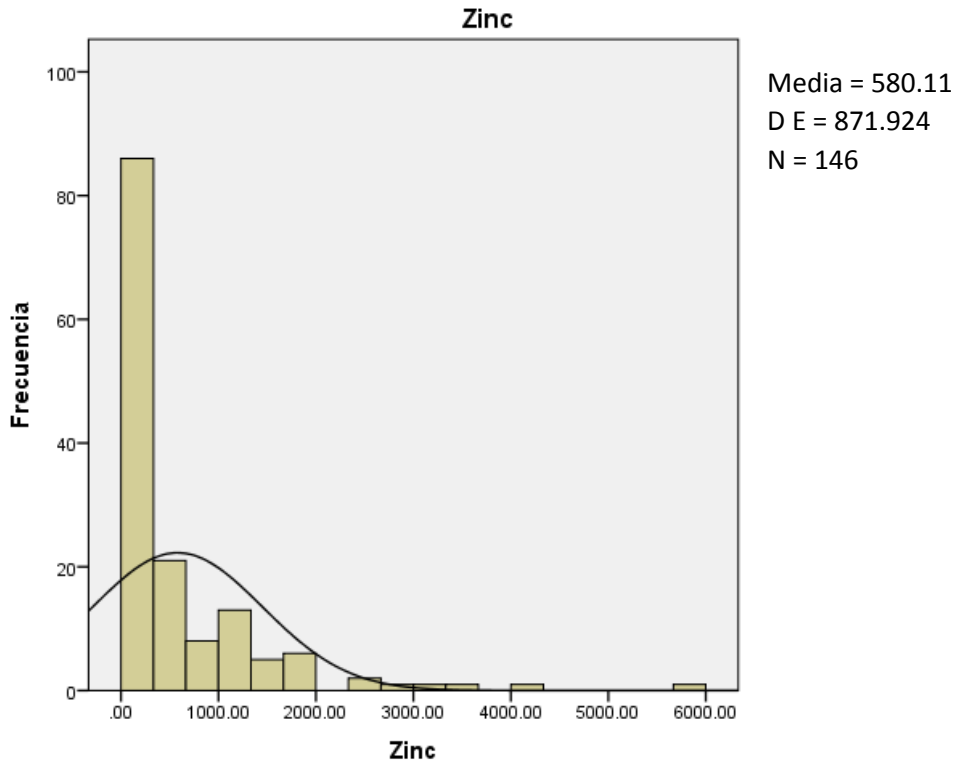


Figura 27: Histogramas de elementos geoquímicos Normales y Log_normal para el Zn.

3.4.1.3. Correlación de Pearson.

El coeficiente de correlación de Pearson es un parámetro que se utiliza en prospección geoquímica para establecer la relación existente entre un par de factores (o dos grupos de valores), este puede tener valores entre -1 y +1-

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

Se ha elaborado una matriz de correlación de Pearson por la base de datos de geoquímica superficial, previamente definido por el comportamiento de los elementos tratados.

Para el estudio de la correlación se ha utilizado el software SPSS V.23. a partir de esta matriz se observa lo siguiente:

- Los elementos de correlación directa con el Au: son Cu (0.55) > Pb (0.52) > P, S, Sb, W (0.51) > Sn (0.5), estos son elementos más afines, manteniendo una buena correlación.
- Elementos de correlación directa con la Ag: Sb (0.63) > P (0.62) > Cu (0.62) = Pb (0.62) = S (0.62) > Sn (0.61) > W (0.60) > Ca (58) > Mo (56) > Bi (54). Elementos que presentan una buena correlación por lo que podrían comportarse como elementos guías, y en profundidad podrían presentar buena correlación con el Oro.
- Elementos de correlación directa con el Bi: son Fe (0.78) > Sb (0.77) > Pb (0.75) > W (0.75), estos elementos tienen una Muy buena Correlación, los cuales nos servirán para poder establecer vectores, relacionados con las posibles zonas de interés económico para futuras perforaciones.
- Elementos de correlación directa con el Cu: son P (0.97) = S (0.97) = S (0.97) = W (0.97) > Sb (0.96) > K (0.95) > Pb (0.94) > Mo (0.92) > Fe (0.91) > V (0.75), estos elementos tienen una Muy buena correlación con el Cu, relacionado a la migración constante del fluido mineral indicando mejoras a profundidad.
- Elementos de correlación directa con el Mo: P (0.94) = S (0.94) = Sb (0.94) = Sn (0.94) = W (0.94) > Pb (0.93) > V (0.78); estos elementos tienen una Muy buena correlación lo que verifica la migración del fluido puesto que el Mo precipita a mayores temperatura y condiciones dadas.

- Elementos de correlación Inversa con el Au son: Ba (-0.10) = Mn (-0.10) < Hg 0.01; esta correlación representa a las rocas aledañas frescas o con alteración argílica y/o Propilítica (Roca Andesita).

Tabla 6. Matriz de correlación de Pearson para 22 elementos (Geoquímica superficial).

Matriz de Correlación de Pearson (22 Elementos) Geoquímica Superficial - Sector California																						
	Au	Ag	As	Ba	Bi	Ca	Co	Cu	Fe	K	Hg	Mn	Mo	P	Pb	S	Sb	Sn	Sr	V	W	Zn
Oro	1.00																					
Plata	0.35	1.00																				
Arsénico	0.35	0.25	1.00																			
Bario	-0.10	-0.16	0.07	1.00																		
Bismuto	0.44	0.54	0.47	0.01	1.00																	
Calcio	0.46	0.58	0.37	-0.07	0.72	1.00																
Cobalto	0.19	0.17	0.14	0.25	0.33	0.46	1.00															
Cobre	0.55	0.62	0.40	-0.03	0.74	0.94	0.52	1.00														
Hierro	0.47	0.52	0.54	0.17	0.78	0.91	0.50	0.91	1.00													
Potasio	0.47	0.57	0.40	0.13	0.72	0.95	0.51	0.95	0.95	1.00												
Mercurio	0.01	-0.04	0.04	0.04	-0.03	-0.03	-0.05	-0.02	0.04	0.00	1.00											
Manganeso	-0.10	-0.15	-0.06	0.58	-0.01	-0.04	0.57	-0.01	0.11	0.06	-0.07	1.00										
Molibdeno	0.47	0.56	0.42	0.04	0.74	0.92	0.46	0.92	0.92	0.93	0.00	0.00	1.00									
Fosforo	0.51	0.62	0.39	-0.06	0.73	0.98	0.44	0.97	0.92	0.98	-0.01	-0.05	0.94	1.00								
Plomo	0.52	0.62	0.48	-0.02	0.75	0.94	0.43	0.94	0.91	0.95	-0.01	-0.04	0.93	0.97	1.00							
Azufre	0.51	0.62	0.39	-0.06	0.74	0.98	0.45	0.97	0.92	0.98	-0.01	-0.05	0.94	0.99	0.97	1.00						
Antimonio	0.51	0.63	0.42	-0.06	0.77	0.96	0.43	0.96	0.92	0.96	-0.02	-0.06	0.94	0.99	0.97	0.99	1.00					
Estaño	0.50	0.61	0.40	-0.03	0.74	0.98	0.46	0.97	0.93	0.98	-0.01	-0.03	0.94	0.99	0.97	1.00	0.99	1.00				
Estroncio	0.12	0.14	0.17	0.31	0.34	0.58	0.54	0.48	0.58	0.56	-0.01	0.36	0.50	0.49	0.47	0.50	0.48	0.52	1.00			
Vanadio	0.29	0.32	0.40	0.31	0.59	0.79	0.59	0.75	0.88	0.84	0.02	0.22	0.78	0.76	0.76	0.77	0.75	0.79	0.71	1.00		
Wolframio	0.51	0.60	0.44	0.00	0.75	0.97	0.46	0.97	0.95	0.98	-0.01	-0.01	0.94	0.99	0.97	0.99	0.98	0.98	0.53	0.81	1.00	
Zinc	0.34	0.25	0.19	0.39	0.39	0.47	0.65	0.56	0.57	0.59	-0.07	0.53	0.53	0.50	0.52	0.50	0.51	0.52	0.42	0.60	0.53	1.00

0.25 - 0.49 Moderada Correlación

0.5 - 0.74 Buena Correlación

0.75 - 1.0 Muy buena Correlación

3.4.1.4. Análisis de Planos Geoquímicos.

Para la elaboración de los mapas geoquímicos de la interpretación del kriging e Isovalores, se ha usado el software ArcGis 10.3 con su extensión de Geosoft (Target), con la data trabajada según el SPSS, estos han sido adaptados en función a las características geológicas que se requiere.

Del total de muestras (146 muestras) tomadas todas han sido analizadas por oro, pero no todas tienen análisis de los elementos guías (Pathfinder), debido a que algunas de las muestras obtenidas por presupuesto no fueron analizadas por el método ICP-38 DMA, Según los resultados apreciados en los mapas de interpretación se identifican 03 zonas de mayor importancia como prospectables en cuanto a elementos coincidentes para la identificación del yacimiento tipo pórfido. (Véase: Anexo A)

3.4.2. Prospección geofísica.

El estudio Geofísico de Polarización Inducida, Polo Dipolo y el estudio magnético fue desarrollado por **Fugro Ground Geophysics Perú** para la compañía S.M.R.L. LUMINOSA, en el proyecto de California. Fueron cubiertas 13.65 Km. lineales para el estudio de Magnetometría. Para el estudio de IP fueron cubiertas 13.2 Km. lineales.

El estudio fue diseñado para que las líneas tengan un rumbo de NS; la información fue procesada e interpretada en coordinación con en el Centro de procesamiento de datos de Lima y Perth en Australia.

Las anomalías magnéticas bajas en señal analítica están asociadas a la presencia de la alteración fílica y las de alta señal analítica probablemente a la presencia del núcleo de pórfido.

Se han identificado anomalías de cargabilidad resistividad asociadas a la presencia de un yacimiento tipo pórfido de Cu Mo. Formando dos cuerpos polarizables importantes de altas cargabilidades relacionadas a una baja resistividad y otro cuerpo polarizable relacionado a una alta cargabilidad.

3.4.2.1. Adquisición de la Data

Adquisición de la Data Magnética

Las líneas de la grilla fueron diseñadas en su localización (campo) y orientación con un rumbo NS por la S.M.R.L Luminosa.

En el área del Proyecto California fueron cubiertas 13.65 Km. lineales en Prospección Magnética.

La separación entre líneas fue de 100 m y la toma de datos es continua cada 3 segundos. El equipo utilizado fue el Magnetómetro Newmont Systems el cual tiene su sistema de GPS incorporado.

Adquisición de Datos IP

La grilla de IP fue diseñada en su localización y orientación por la Compañía S.M.R.L Luminosa Las líneas tenían un rumbo de NS

En el área del Proyecto California fueron cubiertas 12 Líneas de IP, con un total de 13.2 de Km. lineales.

Los datos fueron registrados en dos *receptores ELREC PRO*. Las Medidas de Voltaje, Cargabilidad y Resistividad Aparente (derivado por IRIS firmware) fueron registradas en libretas de campo como un procedimiento primario de control de calidad. La data es transferida de los receptores ELREC PRO al computador al finalizar cada día de trabajo y finalmente la información es enviada a las oficinas de Fugro Ground Geophysics en Perú y Lima para su control de calidad final.

3.4.2.2. Procedimiento de los Estudios

Procedimiento estudio de prospección Magnética

La estación base magnética fue situada a 1.3 Km. de la Grilla en el área, esta estación base fue seteada para tomar lecturas cada 3 segundos, luego esta información es utilizada para realizar la corrección diurna de la data de las estaciones móviles Una batería de 12 volt tipo truck fue usado para suplir de energía al magnetómetro esta

batería fue cargada todos los días por la noche los magnetómetros fueron sincronizados cada mañana.

La unidad móvil fue usada en el campo del estudio, las lecturas fueron tomadas cada 10 metros. Lecturas con bajo indicador de señal fueron también repetidas hasta tener una buena lectura. Toda la data fue descargada por la noche haciendo el control de calidad diario.

Cada noche la data no corregida de la estación móvil y la estación base fueron transferidas vía puerto serial RS232 del magnetómetro a la laptop.

Una vez que la data fue trasferida usando MagMap2000 y Geosoft, la data fue corregida por la corrección diurna así también las coordenadas fueron adicionadas utilizando el Geoide (WGS-84).

Procedimiento estudios IP

El estudio de IP se realizó en el dominio tiempo utilizando: La corriente fue transmitida usando un transmisor ELLIOT 4.5 alimentado por un Generador Kohler de 110V, 400 Hz. La corriente fue transmitida a una frecuencia de 0.125 Hz. Los electrodos de Corriente fueron cuidadosamente preparados usando papel aluminio para tener una correcta continuidad entre electrodo y el terreno.

Como electrodos no polarizables se utilizaron vasos con base porosa estos fueron cuidadosamente preparados usando una solución de sulfato de cobre para cerrar la continuidad entre el electrodo y el terreno.

3.4.2.3. Presentación de la Data

Presentación de la Data Magnética

En general la data fue procesada utilizando el programa GEOSOFT La intensidad del Campo Magnético Total fueron reducidos, grillados luego contorneados para una presentación final los contornos fueron luego coloreados. Se utilizó la usual convención para el coloreado tal como sigue los amarillos y rojos corresponden a regiones donde la cantidad es alta y regiones azules donde la cantidad es baja los verdes representan zonas intermedias.

Presentación del Estudio IP

En general la data fue procesada usando los programas de inversión resis3dinv para luego exportarlo a Geosoft para su presentación final. Datos de Resistividad Aparente, cargabilidad fueron reducidos, grillados para ser contorneados y tener su presentación final el coloreado fue para las secciones horizontales y verticales de resistividad y cargabilidad considerando el coloreado convencional de acuerdo al espectro visible donde los colores rojos a amarillos para valores altos mientras los colores violeta a azul para los valores bajos.

3.4.2.4. Procesamiento Data Geofísica

Corrección Diurna

La corrección diurna fue aplicada a toda la data observada. Esta corrección por efecto de la variación del campo magnético de la tierra en el tiempo. Una estación base es floteada en la siguiente figura demostrando las variaciones observadas, como se puede apreciar aquí existe una variación de 30 nanoteslas de no ser corregida este puede llevar a falsas apreciaciones de las anomalías magnética locales.

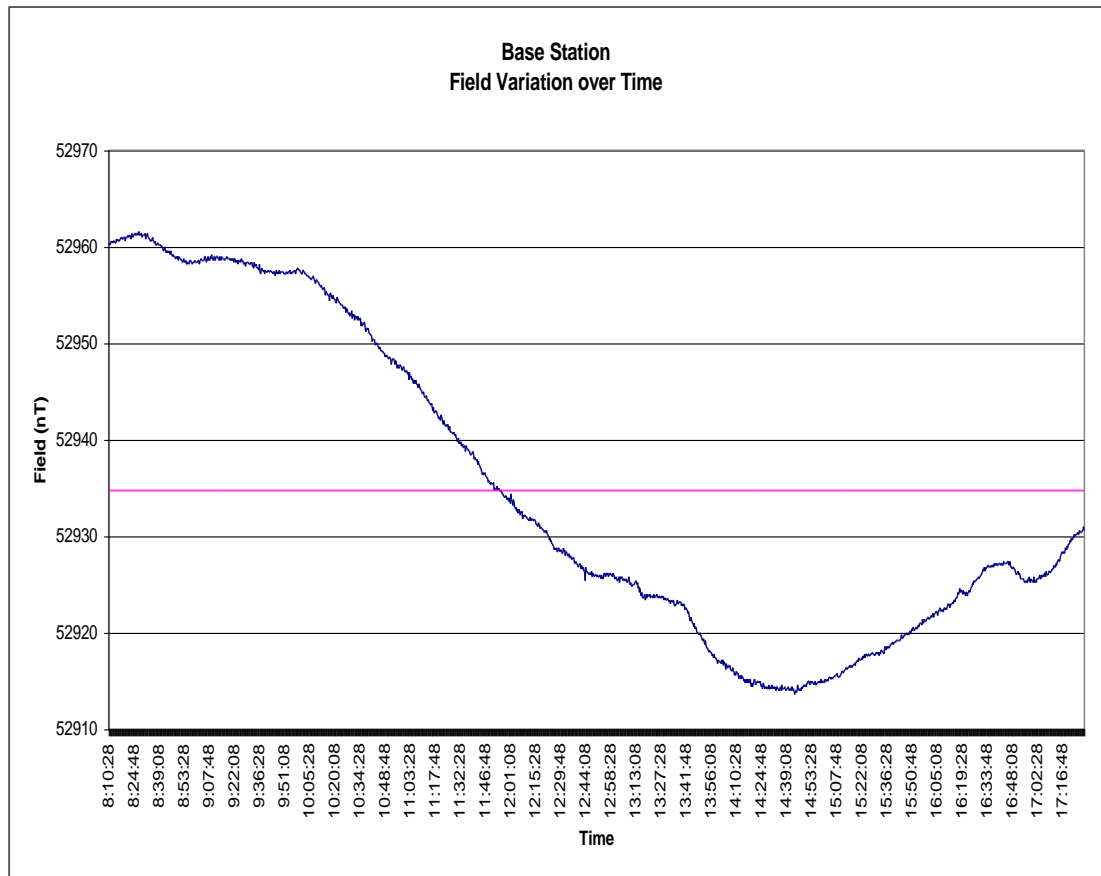


Figura 28: Gráfico de corrección diaria de la variación del campo magnético.

Corrección de Encabezado

El error de encabezado es una desviación de la medida como función de la orientación del sensor fuentes de este error pueden ser generadas por contaminación del sensor por inclusiones magnéticas fuentes magnéticas en el operador etc. El error de encabezado puede ser removido con el diseño de un test en el cual se hace diferentes medidas en diferentes orientaciones a un mismo punto. Diseñando este test el cual es ingresado en el programa Oasis Montaj para efectuar esta corrección. Una tabla típica para la corrección de encabezado es mostrado en la siguiente tabla:

Tabla 7: corrección de encabezado

Dirección Corrección	
0	-0.735
20	-0.884
65	-0.204
110	-0.174
155	0.237
200	0.947
245	0.684
290	-0.039
335	-0.586
0	-0.735

Fuente: Fugro Ground Geophysics, 2008

Luego el mapa de intensidad de campo Total se le aplicó una reducción al Polo y el Análisis de Señal Analítica para identificar cuerpos magnetizados, estos mapas fueron filtrados utilizando el filtro de continuación ascendente

3.4.2.5. Interpretación de la data geofísica

Estudio de Prospección Magnética

Para el análisis de las anomalías magnéticas se tomó como referencia los mapas de señal analítica, esta técnica permite discriminar la extensión y morfología de cuerpos mineralizados con minerales ferromagnéticos que producen las anomalías magnéticas, dentro del estudio se ha distinguido un halo de bajos por el orden de 0.3 nT/m delineado con líneas rojas en el mapa de anomalías magnéticas en los mapas de señal analítica, este se encuentra relacionado con la fuerte alteración presente en la zona que hace que los minerales ferromagnéticos pierdan sus propiedades magnéticas. Las que guardan estrecha relación con la presencia alteración filica como control geológico están marcado por la presencia de pórfido feldespático.

Se observa anomalías positivas que oscilan entre 2.2 nT/m a 3.5 nT/m lo cual estaría relacionado a la zona de alteración potásica profunda del núcleo del pórfido mostrado en el mapa de señal analítica.

Estudio de Polarización Inducida

La interpretación del IP se ha realizado tomando en cuenta la intensidad de las anomalías a través de los resultados de campo y de las inversiones 3D.

Los resultados en el área del Proyecto California, presentan contactos definidos, mostrando una correlación con sus unidades litológicas y/o estructuras existentes causadas por el contraste de resistividades.

Se ha identificado tres anomalías de cargabilidad las que superan los 37 mV/V, la disposición espacial de esta forma una aureola hacia un centro con bajas cargabilidades.

Estas anomalías en cargabilidad estarían asociadas principalmente con la presencia del alto contenido de sulfuros (pirita), la cual se encuentra estrechamente relacionada a una zona de alteración con grandes posibilidades que sobre estas anomalías se encuentre mineralización económica.

La zona central de bajas cargabilidades estaría asociada a la zona de alteración potásica donde probablemente se encuentren sulfuros de una ley mucho más baja.

Las Anomalías de Resistividad fueron mapeadas por debajo de los 200 ohm-m estas anomalías están relacionadas directamente con la presencia la mineralización de baja ley y la presencia de arcillas las que se encuentra relacionadas a la alteración fílica.

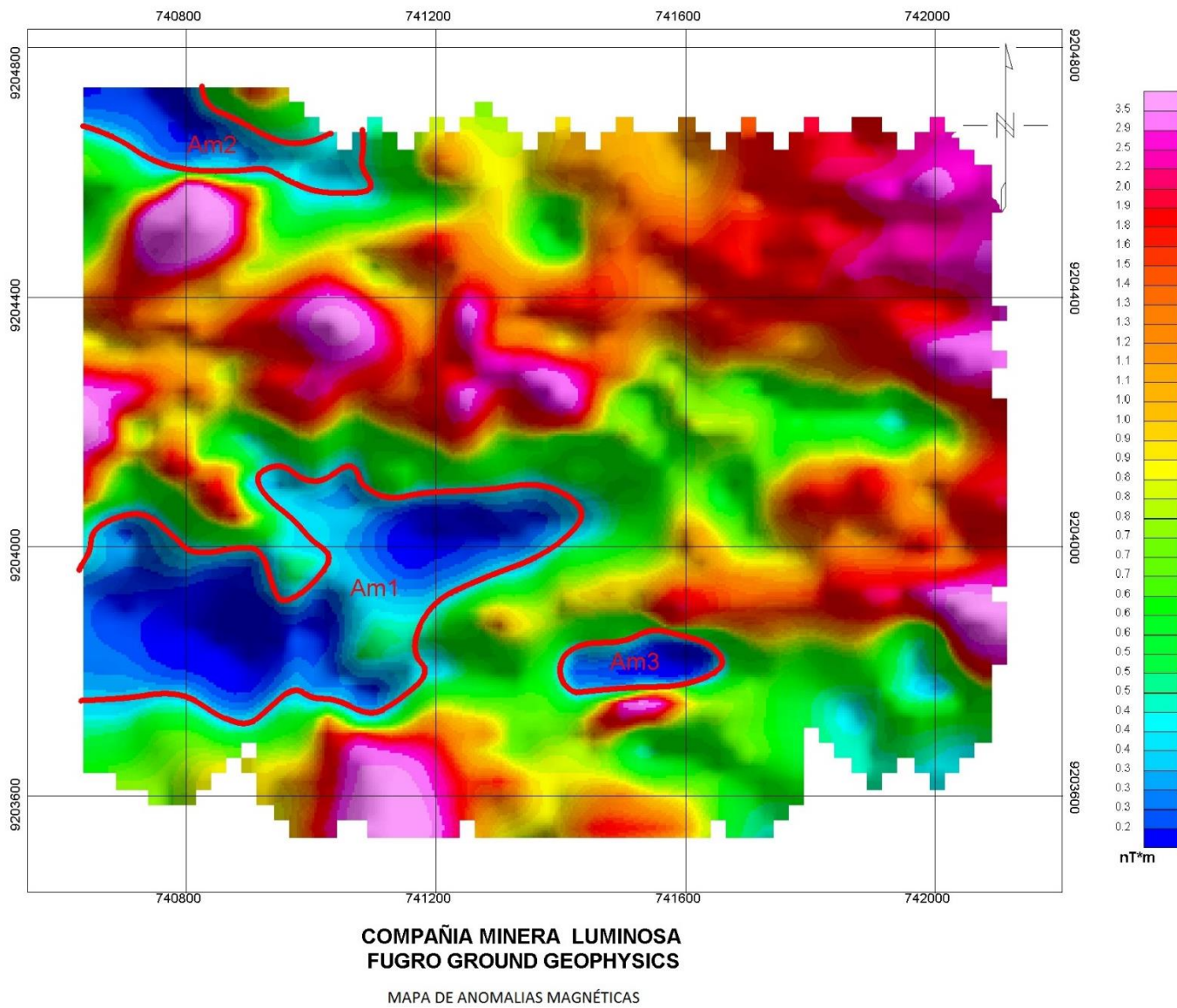
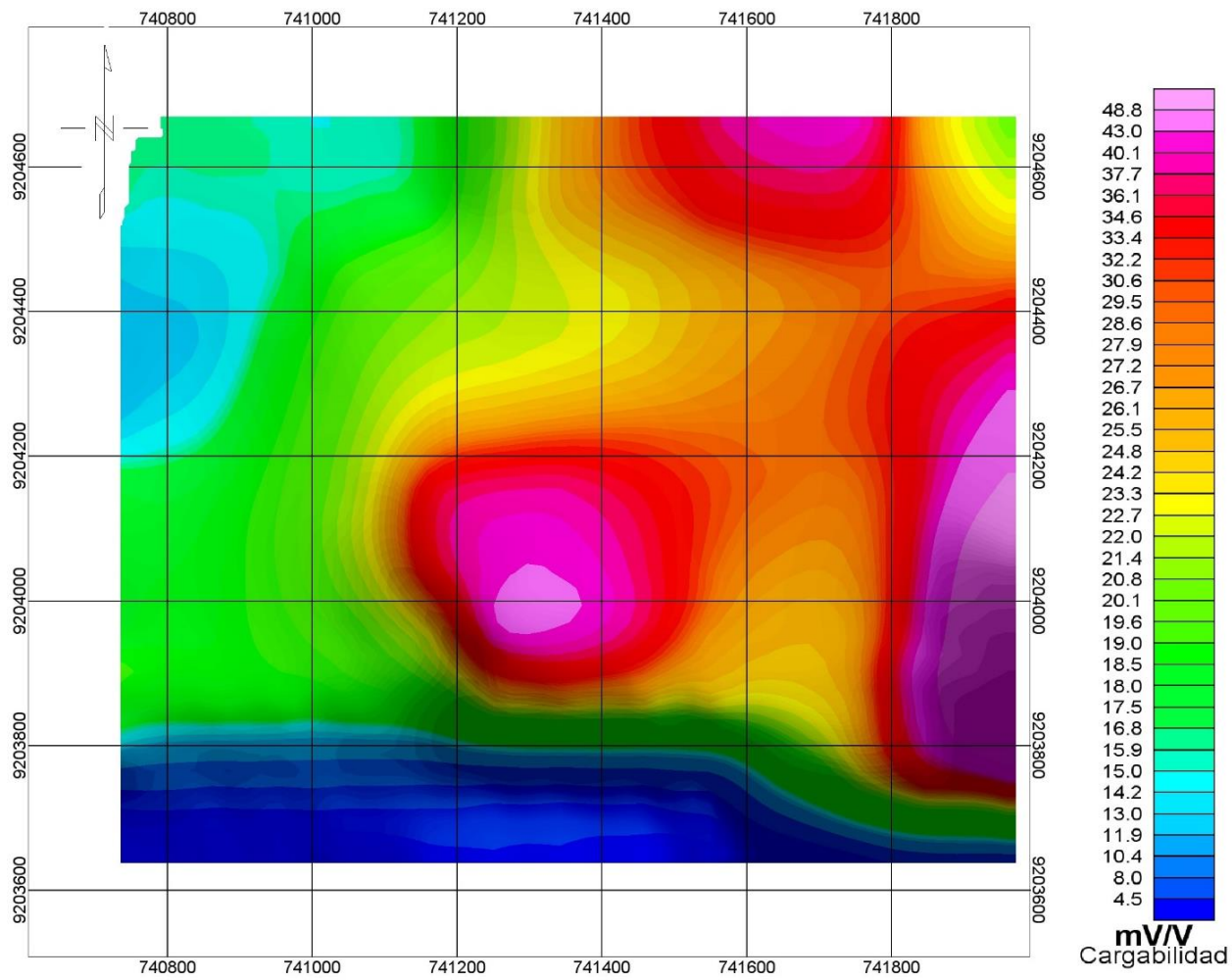
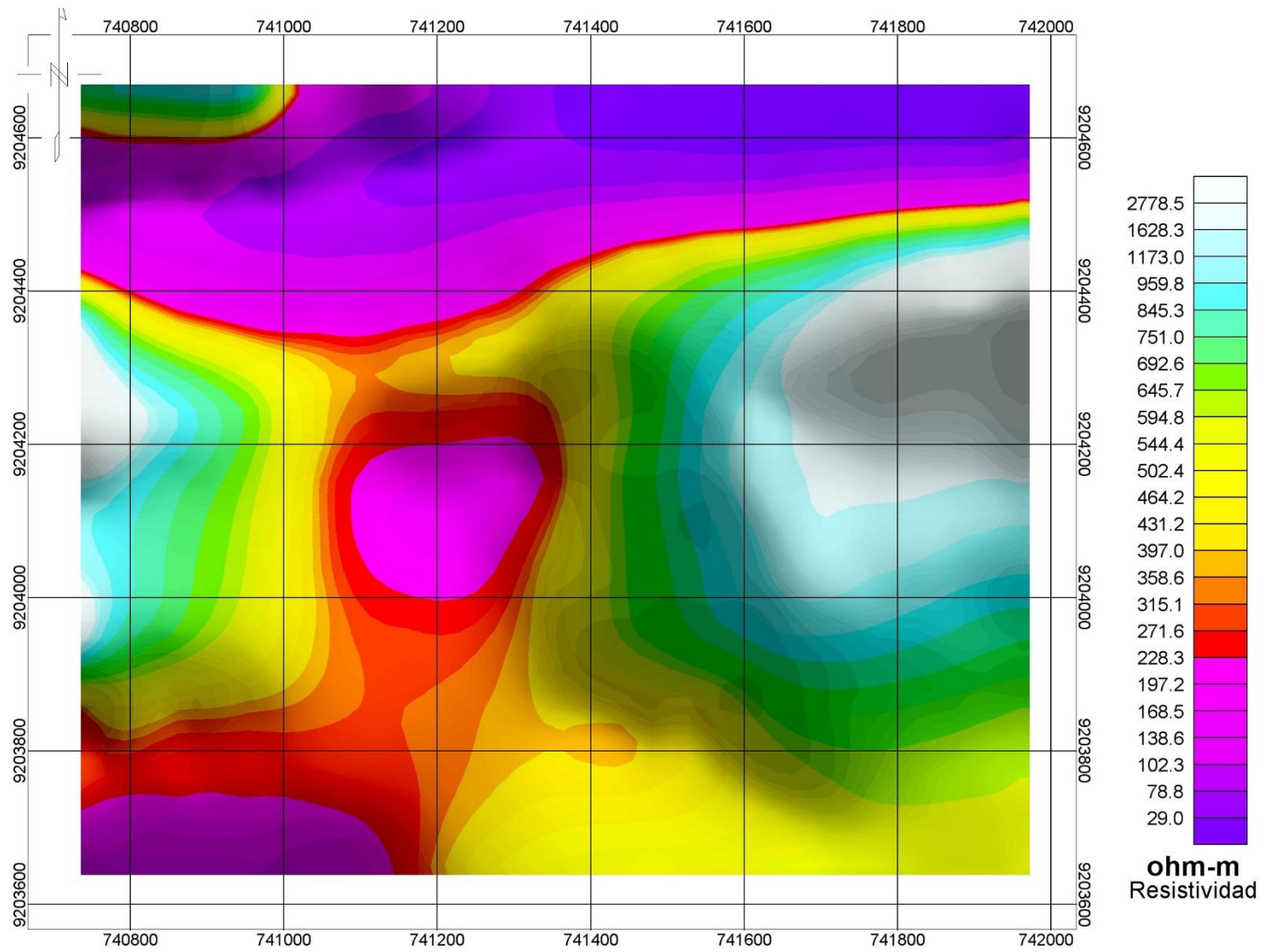


Figura 29: Mapa de Anomalías Magnéticas. (Estudio por Fugro Ground Geophysics)



COMPAÑIA MINERA LUMINOSA
FUGRO GROUND GEOPHYSICS
 PROYECTO OCCIDENTAL SECTOR CALIFORNIA
 Mapa de Cargabilidad 300 m. de profundidad

Figura 30: Mapa de Cargabilidad Nt 300m.



Mapa de Resistividad 300 m. de profundidad

Figura 31: Mapa de Resistividad hasta los 300m.

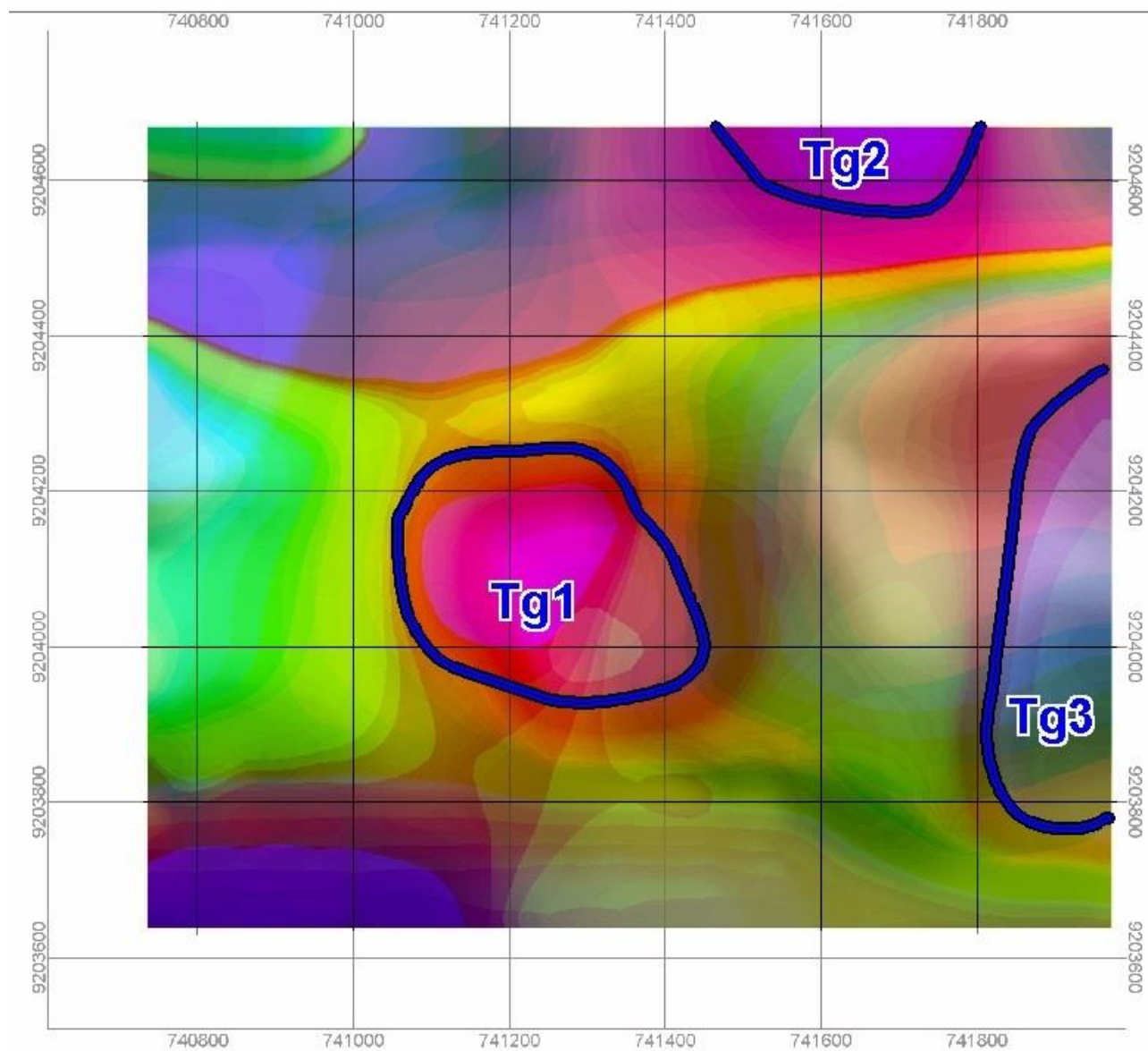


Figura 32: Mapas superpuestos, para determinación de Targets Geofísicos.

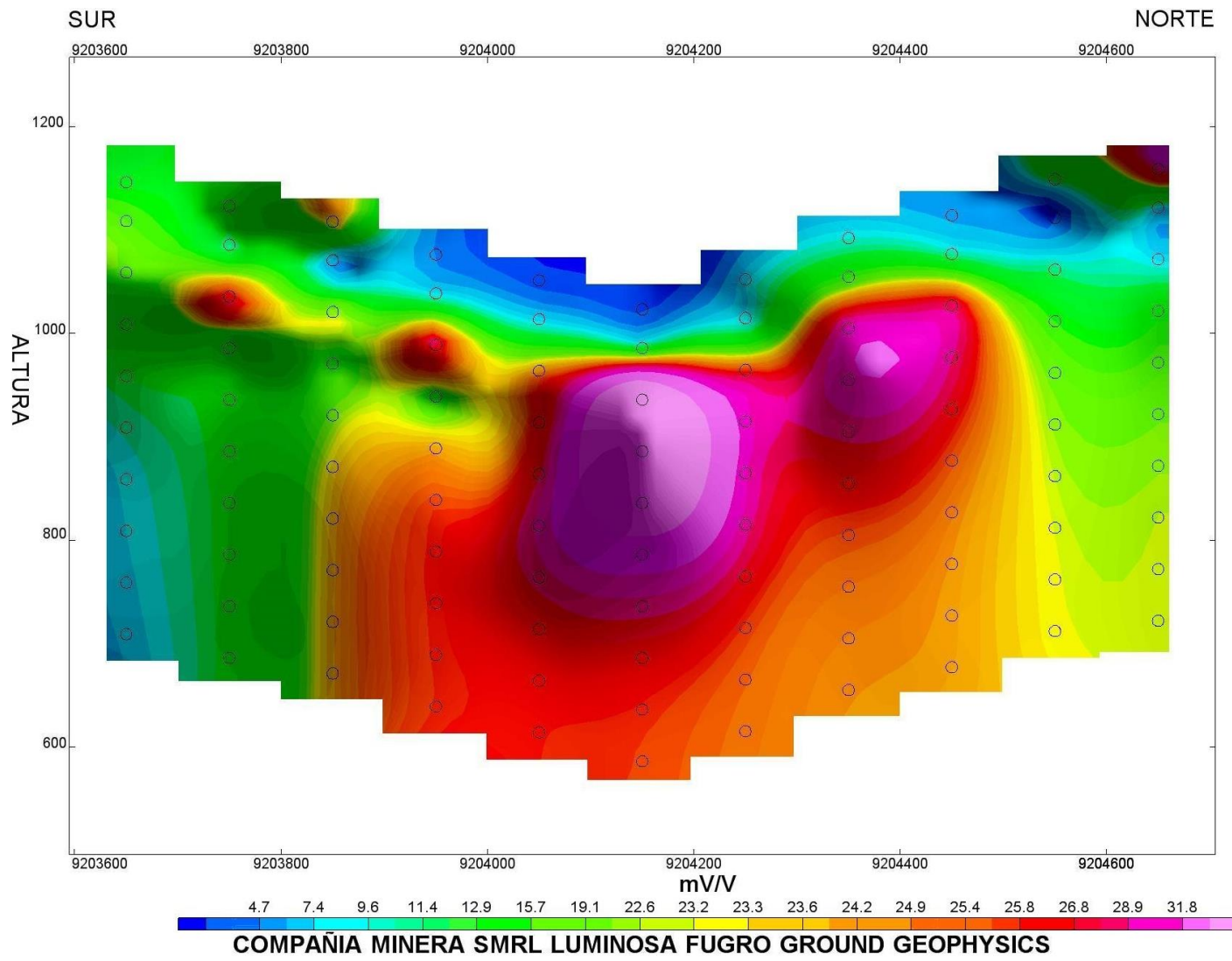


Figura 33: Sección Ideal sobre el área de estudio (Se observa el cuerpo polarizable)

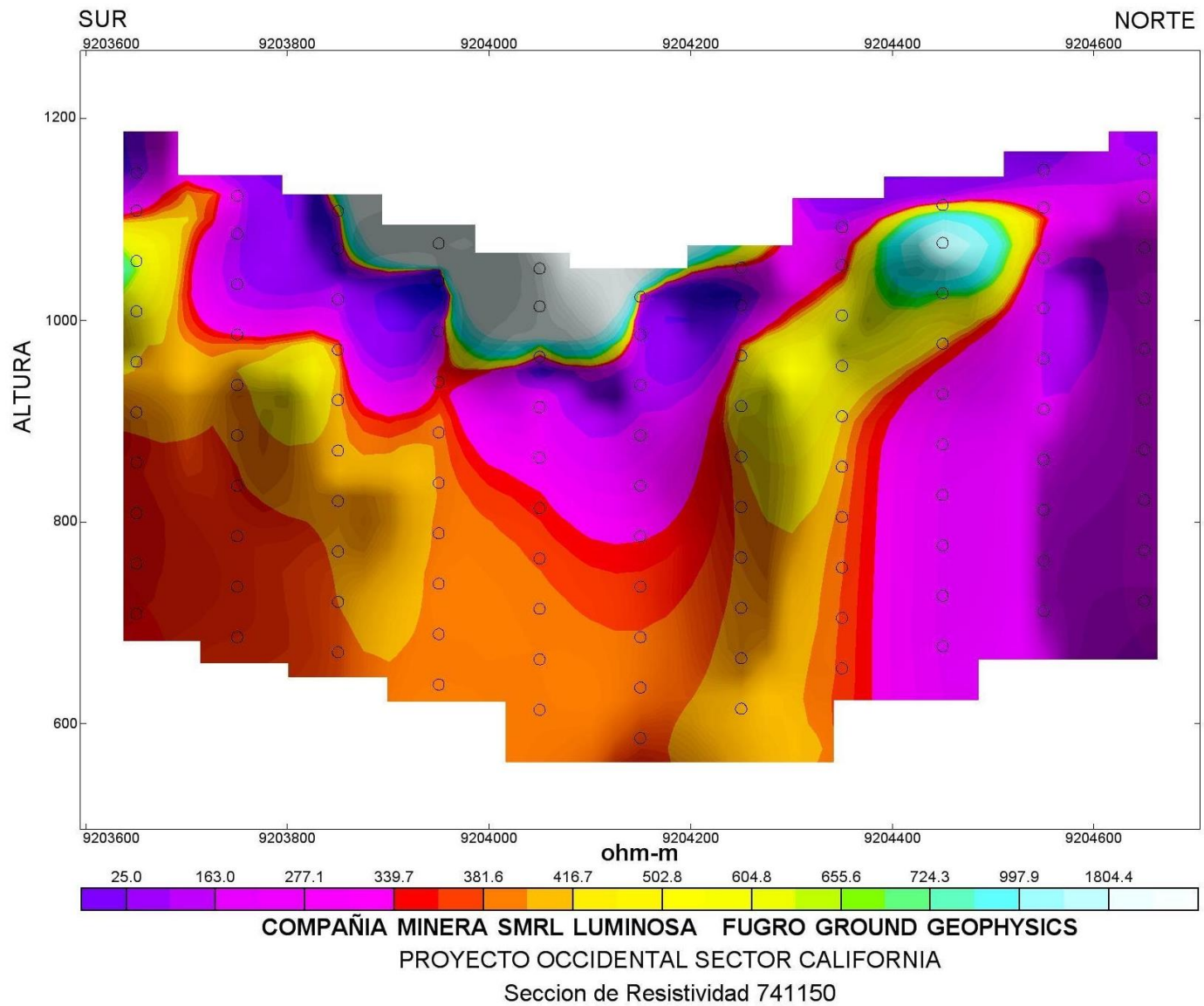


Figura 34: Sección Ideal de resistividad sobre el área de estudio (Se observa el cuerpo polarizable)

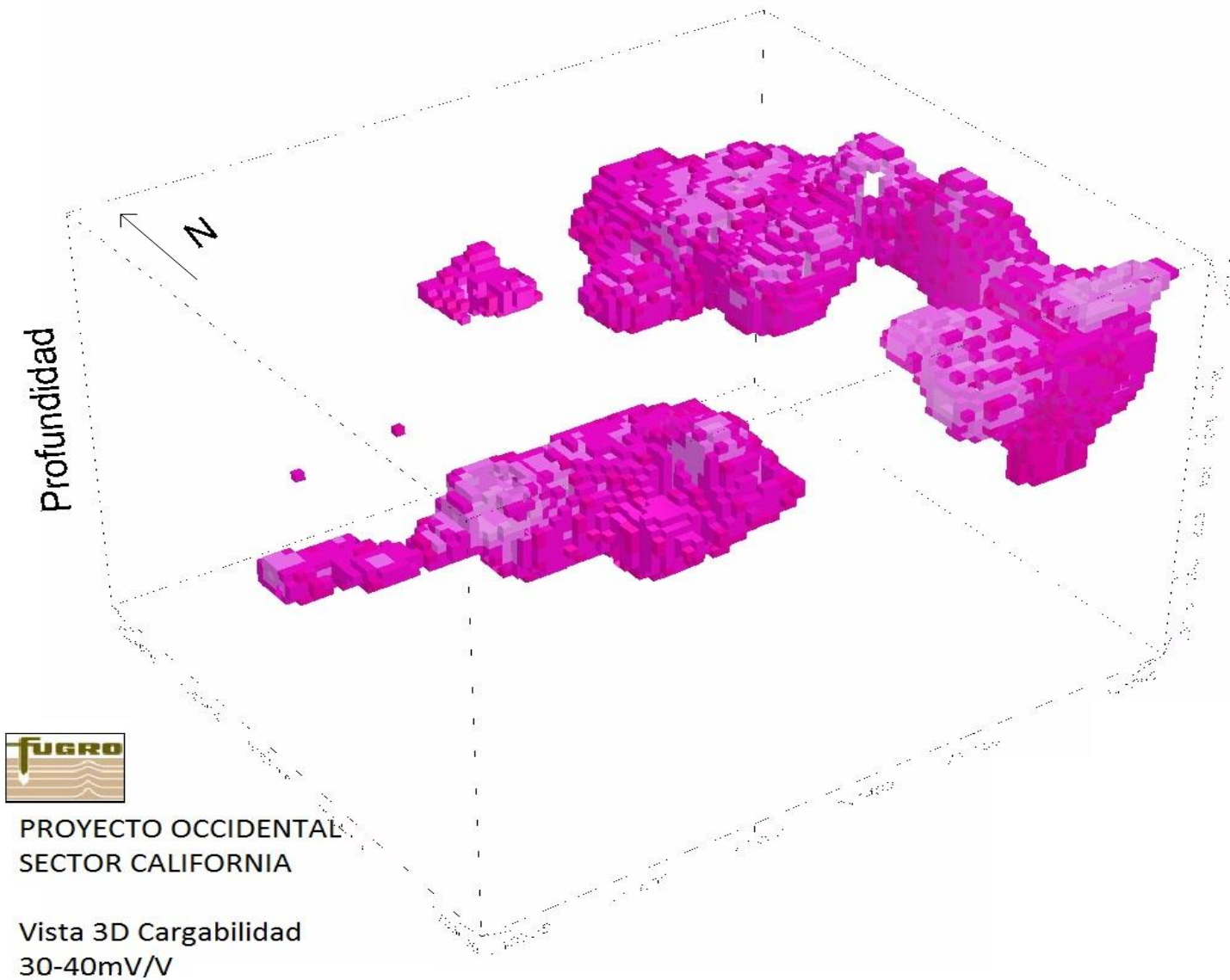


Figura 35: Vista en 3D de los Targets geofísicos determinados.

CAPÍTULO IV.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente estudio se realizaron los procedimientos superficiales necesarios para cumplir con los objetivos planteados, uno de estos fue determinar la correlación proximal de la geoquímica superficial junto con la geofísica y con esta definir los posibles puntos para realizar la siguiente etapa que es de perforación diamantina para corroborar los datos obtenidos del yacimiento planteado.

4.1. Comportamiento Geológico.

A través del cartografiado geológico se determinaron las secuencias volcánicas presentes en el área del proyecto, compuestas esencialmente por depósitos volcánicos diferenciados por sus características de composición y formación, como se evidencia en el volcánico tembladera como piso con una secuencia lávica (procedencia indeterminada), suprayaciendo al volcánico Chilete de andesitas gris pardas a violetas, también una pequeña parte al lado Oeste del mapa donde se pudo localizar un flujo Piroclástico gris. El intrusivo Diorítico diferenciado del dacítico ha sido evidenciado en el centro de la quebrada California, razón por la cual se sectoriza el proyecto, este se encuentra piritizado y argillizado en las zonas expuestas guardando relación hacia el SE; finalmente al lado NE aún se evidencia una cubierta perteneciente la volcánico Huambos como techo del área de investigación.

Se presume que las evidencias tipo Stockwork y la presencia de la zona brechada hacia el NE guarda relación directa con las facies del cuerpo intrusivo.

Dado este caso las vetas identificadas hacia los lados NW y SW dan a entender que los controles estructurales principales están dados por una dirección NW – SE tal y como se aprecia en los planos. (Vease Plano N° 03 A y 03 B)



Figura 36: Evidencias de Stockwork zona NW de la quebrada California.

4.2. Alteraciones Hidrotermales.

La alteración principal y con mayor desarrollo, es la alteración Argílica que se genera cerca del centro del sistema, esta alteración está asociada a las facies de intrusión y se distribuyen hacia el NE.

La silicificación va gradando desde núcleos silisificados a zonas del argílico avanzado con tendencia hacia el SE, dentro de esta encontramos crestones restringidos con presencia de goethita, hematita limonita y jarosita con orientación principal NW-SE, mostrando cierto paralelismo con las vetas del lado NW del proyecto. Esas zonas generalmente se ensanchan en profundidad pasando a estructuras filoneas controladas por sistemas estructurales. El argílico avanzado está relacionado hacia el núcleo del cuerpo mostrando una hidrolisis prógrada inmersa a los intrusivos identificados controladas de igual modo por sistemas estructurales regidos al NW-SE. Tal y como se muestra en el plano de alteraciones hidrotermales. (Véase Plano N° 04), se evidencia una silicificación demarcada por controles estructurales y no litológicos como se pensó en un inicio (Véase Plano N° 05).

4.3. Correlación Geoquímica Superficial con Geofísica.

Inicialmente se ha tenido que georreferenciar las etapas de estudio geofísico sobre el plano de alteraciones identificadas para poder determinar que existe una fuerte correlación entre los targets sugeridos por la empresa consultora que realizó los ensayos geofísicos con las zonas demarcadas como silicificación, es decir que a nivel de cargabilidad y resistividad superior a los 40 Ohmios normalmente representa cuerpos piritizados o cuerpos de características parecidas a la alteración filica, esta alteración no ha sido diferenciada en el cartografiado, sin embargo es notable que guarda mayor semejanza con una pequeña distribución de los fluidos hidrotermales. Como se muestra en la imagen siguiente las anomalías de resistividad y cargabilidad están limitadas a la extensión de las líneas y distancia medidas en campo, dejando así estas anomalías abiertas hacia el SE y NE del proyecto

La silicificación está altamente relacionada con los targets propuestos por las imágenes de cargabilidad de 40 MV/V y resistividad de 130 ohm-m mientras que los argílicos están relacionados a una cargabilidad promedio de 23 mV/V y una resistividad de 500 ohm-m. (Véase plano N° 06 y plano N° 07).

Como se desarrolla en las superposiciones se corrobora la correlación proximal entre la geoquímica superficial y la geofísica del proyecto California, en dirección NW-SE se evidencia que estas están abiertas y continua tal como continua el desarrollo de la hidrolisis transformando los minerales base y permitiéndonos comprender el modelo geológico del Proyecto California.

4.4. Determinación de Puntos y posibles coordenadas de las zonas a perforar.

Para la determinación de los puntos en donde se prevé se realizará la campaña de perforación diamantina se han usado los diferentes criterios, geológicos, geofísicos y topográficos, sumados en reunión entre los especialistas hemos dirigido este proyecto, quedando así resumido en la siguiente tabla, (Véase plano N° 07):

Tabla 8 Coordenadas planteadas para la campaña de perforación diamantina.

Puntos Sugeridos para DDH - Exploratorios		
ID	Este	Norte
1	741179.126	9204271.126
2	741422.014	9204323.514
3	741523.6142	9203922.934
4	741644.2644	9204115.022
5	742034.7902	9203889.596
6	740909.2505	9203740.371
7	741306.1262	9203586.383
8	741636.3269	9203656.233
9	741460.1141	9203441.921
10	741172.776	9203430.808
11	741985.1807	9203313.597

4.5. Contrastación con la Hipótesis.

Los diferentes estudios realizados en el Sector "California" tales como: Estudios Geológico, Estudio Geofísico IP (Resistividad y Cargabilidad), Estudio Geoquímico; debido a los cuales, se pudo encontrar evidencias de alteración hidrotermal en las secuencias volcánicas, controladas con una dirección NW-SE, relacionándose y definiéndose una alta probabilidad de un Pórfido Cu-Mo en profundidad de no grandes dimensiones.

También por intermedio de los resultados se determina un incremento en el potencial económico del Proyecto Huayrapongo con este sector denominado California.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Con el detalle del cartografiado geológico y de alteraciones superficial se ha visualizado zonas de alteración hidrotermal y zonas de mineralización en vetas al SW.

La zona mineralizada del yacimiento se localiza en la parte central del área determinada para el proyecto, relacionada a una mineralización de los intrusivos subvolcánico que permitieron cierto alojamiento para la precipitación del mineral económico.

La data procesada y representada de 22 en histogramas normales y Log_normal de los elementos relacionados a la mineralización de un yacimiento tipo Pórfido asumen la presencia de dicho yacimiento, supuesto corroborado según la correlación de Pearson y anomalías encontradas.

La información geofísica muestra zonamientos favorables relacionados a las zonas de silicificación demarcadas por el cartografiado de alteraciones.

Dadas las características del proyecto se determinó realizar 11 plataformas para la etapa de perforación DDH exploratorios de profundidades superiores a la demarcada por el IP (300m).

5.2. RECOMENDACIONES

A la empresa, se sugiere realizar los taladros de diamantina, con profundidades superiores a los 300 m.

Se recomienda profundizar y realizar un muestreo intenso al SE del proyecto, donde las anomalías se muestran abiertas al SE y SW.

Realizar estudios petrográficos y de minerales densos (Microscopía) como el Au, W, Hg, Pb y Mn para obtener información relacionada a las litologías en el área fuente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENAVIDES, A. 1956. Estudio geológico de la región Cajamarca.
- CASTILLO, R. 1979. Geología de la mina Paredones. LIMA: Boletín 62 parte III SGP.
- CARAMBÚLA, M, 1993. Interpretación estadística de datos geoquímicos.
- CHIRA, J., et al. 2007. Geología Económica en las Regiones Lambayeque y Cajamarca. Boletín N° 17 Serie B. Dirección de Recursos Minerales y Energéticos (INGEMMET) Recuperado de: <http://es.scribd.com/doc/166146297/boletin-n%C2%BA-017-prospeccion-geoquimica-regional-de-la-cuenca-del-rio-jequetepeque>
- DÁVILA J. 1999. Diccionario Geológico - INGEMMET. Lima, Perú
- ENRÍQUEZ, J et al., 2003. Características Estructurales y Estratigráficas de los Yacimientos Epitermales de Baja Sulfuración, Corredor Estructural San Pablo-Porculla. Recuperado de: <http://www.teomallqui.com/yacimientos%20epitermales.pdf>
- GONZÁLEZ, E & VASSALLO, L. 2001. Geoquímica de elementos mayores de los cuerpos intrusivos terciarios de Tierra Caliente, Edo. de México, México, boletín de la sociedad geológica mexicana, tomo liv, 2001, p. 1-9.
- LOBO-GUERRERO L. 1999, Brechas Relacionadas a Mineralización. México DF-México.
- RIVERA, H.1980. Boletín N° 31, Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba, editado por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

SILLITOE, R. 1993. Epithermal Models: Genetic Types, Geometrical Controls and Shallow Features; in Mineral Deposit Modeling, Kirkham, R.V.

VIRRUETA, J. 1998. Evaluación geoeconómica de la Mina Paredones. Sociedad Geológica del Perú.

ANEXOS: A