

Caracterización geológica geoquímica en base a datos obtenidos en testigos de perforación, depósito El Domo

Geological Geochemical characterization based on data obtained in
drilling core, El Domo deposit

Daniilo León Maldonado^{1*} & César Fuentes²

¹Consultor, egresado de la Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil.
Av. Raúl Gómez Lince s/n y Av. Juan Tanca Marengo, Guayaquil, Ecuador.

²Docente Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil.

Recibido 7 de abril 2019; recibido en forma revisada 2 de mayo 2019, aceptado 1 de junio 2019
Disponible en línea 26 de junio 2019

Resumen

El depósito “El Domo” se encuentra ubicado en las estribaciones de la cordillera occidental de Ecuador, a 13 km del cantón Las Naves, provincia de Bolívar. Está formado por rocas correspondientes al arco de islas volcánico de la Fm Macuchi edad Paleoceno-Eoceno, se caracteriza por ser un depósito Sulfuro Masivo Vulcanogénico tipo Kuroko. La presente investigación se orientó en el estudio de datos obtenido en 30 sondajes para realizar una caracterización Geológica - Geoquímica que comprenda la relación entre las litologías, mineralización, resultados de laboratorio para 12 elementos; los principales de mena metálica Au, Ag, Cu, Pb, Zn y los elementos trazadores As, Ba, Cd, Hg, Mn, Sb, Sr; para el entendimiento geológico del yacimiento se elaboró 10 secciones Este-Oeste permitió crear un modelo geológico en 3 dimensiones de cómo están distribuidos litoestratigráficamente desde el inicio del sistema; a los elementos químicos se les sometió a tratamiento geoestadístico para sacar los rangos de fondo, umbral, subanomalía, anomalías y crear perfiles Geoquímicos, la correlación de los elementos ayudó a identificar los eventos de pulsación hidrotermal al formarse el Sulfuro Masivo; el depósito se originó durante un acontecimiento tectónico significativo provocado por volcanismo submarino que comenzó con la erupción de un complejo magmático ácido (Unidad Ácida Inferior) posteriormente este primer evento sirvió como zona de alimentación para el paso y depositación del Sulfuro Masivo seguido después de un tercer evento de sedimentación Tobácea (Unidad Tobácea Superior).

Palabras clave: El domo, secciones geológicas, modelo geológico 3d, correlación de elementos.

Abstract

The deposit “El Domo” is located in the foothills of the western rift of Ecuador, 13 km to Las Naves, province of Ecuador Bolívar. It is formed by rocks corresponding to the arc of volcanic islands of the Fm. Macuchi Paleocene-Eocene age, it is characterized for being a deposit Volcanogenic Massive Sulphide type Kuroko. The present investigation was oriented in the study of data obtained in 30 drillholes to perform a Geological - Geochemical characterization that includes the relationship between lithologies, mineralization, laboratory results for 12 elements; the main ones of metal ore Au, Ag, Cu, Pb, Zn and the tracer elements As, Ba, Cd, Hg, Mn, Sb, Sr; for the geological understanding of the site, 10 East-West sections were elaborated to create a 3D geological model of how they are distributed lithostratigraphically from the beginning of the system; to the chemical elements were subjected to geostatistical treatment to obtain the background, threshold, subanomaly, anomalies and geochemical profiles, the correlation of the elements helped to identify the events of hydrothermal pulsation when Massive Sulphide was formed; the deposit originated during a significant tectonic event caused by submarine volcanism that began with the eruption of an acidic magmatic complex (Lower Acid Unit) later this first event served as a feeding zone for the passage and deposition of the Massive Sulphide followed by a third tuff sedimentation event (Upper Tuff Unit).

Key words: El domo, geological sections, 3D geological model, correlation of elements.

* Correspondencia del autor:
E-mail: dany0992@hotmail.com



Introducción

La exploración minera ha evolucionado como una herramienta que comprende desde la selección e investigación de áreas con características geológicas interesantes para la concentración de minerales cuyo volumen, ley, mineralogía, permitan inferir que podría ser aprovechada con una ventaja económica. Luego, los esfuerzos de exploración se dirigirán a definir si esa concentración de minerales o parte de ella, constituirá un depósito mineral y, para finalizar, determinar si este incluye porciones técnica y económicamente explotables, que conformarán el depósito de mena a partir del cual se propondrá el paso a la etapa de producción.

Se toma como base para llevar a cabo trabajos realizados previamente por (Pratt, 2008; Franklin, 2009; Schandl, 2009; Vallejo and Salazar Resources LTDA, 2013; BISA, 2015). Que sirvieron principalmente en la comprensión de la geología local, superficial y tectónica del área de estudio.

En el inicio de la prospección se asume que, si el estudio de factibilidad es favorable, el gran salto en el nivel de inversiones tendrá lugar en la etapa de definición del depósito mineral ya que es en ella cuando se debe producir una gran cantidad de información de óptima calidad. Uno de los pilares de esta información es la geoquímica del depósito, que es el punto de eje principal en esta investigación, para determinar las características del depósito mineral se han realizado sondeos, los testigos de perforación obtenidos nos brindaran la información necesaria para estudiar la geología y consecuentemente se obtendrá los muestreos para poder realizar mediante un riguroso control de calidad los datos geoquímicos multielementos, se aplicaran tratamientos de estadística univariada, correlaciones y matrices para los datos de Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Ba, Hg, Sb, Cd, Mn, As, Sr.

Se espera como resultado final exponer un tratamiento de esos datos geoquímicos que nos permita entender su distribución, incrementar el conocimiento sobre su estructura e interpretar la génesis de estos, con el fin de lograr una mejor comprensión del arreglo geoquímico ocasionado por los procesos relacionados a la mineralización.

Ubicación y acceso

El Yacimiento el Domo pertenece al proyecto minero "Curipamba" el cual es dirigido por la empresa Curimining S.A, y forma parte de la compañía inversora Salazar Resources.

El Proyecto Curipamba está ubicado en la Cordillera Occidental (Cordillera Occidental) adyacente a las llanuras costeras occidentales. El acceso a la zona es excelente a lo largo de caminos pavimentados, que se ramifican en Ventanas y Zapotal desde la carretera principal que conecta Quito y Guayaquil (BISA, 2015), Para acceder al Domo que es el área de estudio es

accesible por caminos de tierra secundarios y una caminata a pie de 13Km desde las Naves, o en carro cuyo tiempo aproximado de viaje es 45 minutos (Fig.1).

Relieve e Hidrografía

El área del Proyecto se ubica donde los Andes se encuentran con las llanuras costeras. La fisiografía es caracterizada por llanuras de inundación al oeste y colinas moderadas a empinadas con pendiente hacia el este, con elevaciones que van desde 100 msnm hasta 1.000 msnm en menos de siete kilómetros de horizontal distancia. El drenaje corresponde a los fuertes Suquibí y Runayacu, que fluyen hacia el oeste también llamado Oncebí río.

Todas las corrientes y ríos desembocan en el Océano Pacífico y tienen incisiones profundas las laderas de las montañas para formar el este-oeste alargado Cerro Las Naves. Hacia el sur, una colina paralela-alargada separa el río Runayacu del Chazo Juan y Echeandía.

Geología

El margen continental activo de Ecuador se caracteriza por la subducción de la placa de Nazca debajo de la placa de América del Sur, a una tasa media de 58 mm / año (Trenkamp et al., 2002). Al norte de la zona de fractura de Grijalva, la corteza oceánica joven (<25 Ma) producida por el centro de dispersión Cocos-Nazca se subduce en un ángulo de 25-35° (Lonsdale, 1978; Lonsdale y Klitgord, 1978), mientras que la corteza oceánica más antigua (> 25 Ma) se subduce en un ángulo de 15° (Lavenue, 2006), al sur de la escarpa. La Cordillera Occidental de Ecuador es parte de un bloque oceánico alóctono, que colisionó contra el margen de la Placa Sudamericana durante el Cretácico Superior (Goossens and Rose Jr, 1973; Feininger and Bristow, 1980; Jaillard et al., 1995). El desplazamiento transcurriente de fallas a lo largo de aproximadamente N-S, tendencias de fallas ha dado lugar a un conjunto complicado de unidades tectono-estratigráficas, que sobrepone sucesiones volcano-sedimentarias de litologías similares, pero de diferentes edades. El basamento alóctono de la Cordillera Occidental se define como el bloque Pallatanga, y está separado de la corteza continental por una zona de sutura deformada (Calacalí - Pujilí - Falla Pallatanga).

Expuesta a lo largo del borde oeste de la Cordillera Occidental, y su límite oriental coincide con la falla Chimbo Toachi a escala regional (Hughes and Bermúdez, 1997; Hughes and Pilatasig, 2002).

De acuerdo con los análisis petrográficos y geoquímicos de la Unidad Macuchi, se considera que las rocas volcánicas de esta secuencia se depositan en un arco de isla intraoceánico (Egüez, 1986; Aguirre and Atherton, 1987), posiblemente rocas suprayacentes de afinidad de la meseta oceánica (Chiriadia and Fontboté, 2000); (Vallejo, 2007). La Unidad de Macuchi ocupa grandes áreas a lo largo del borde occidental

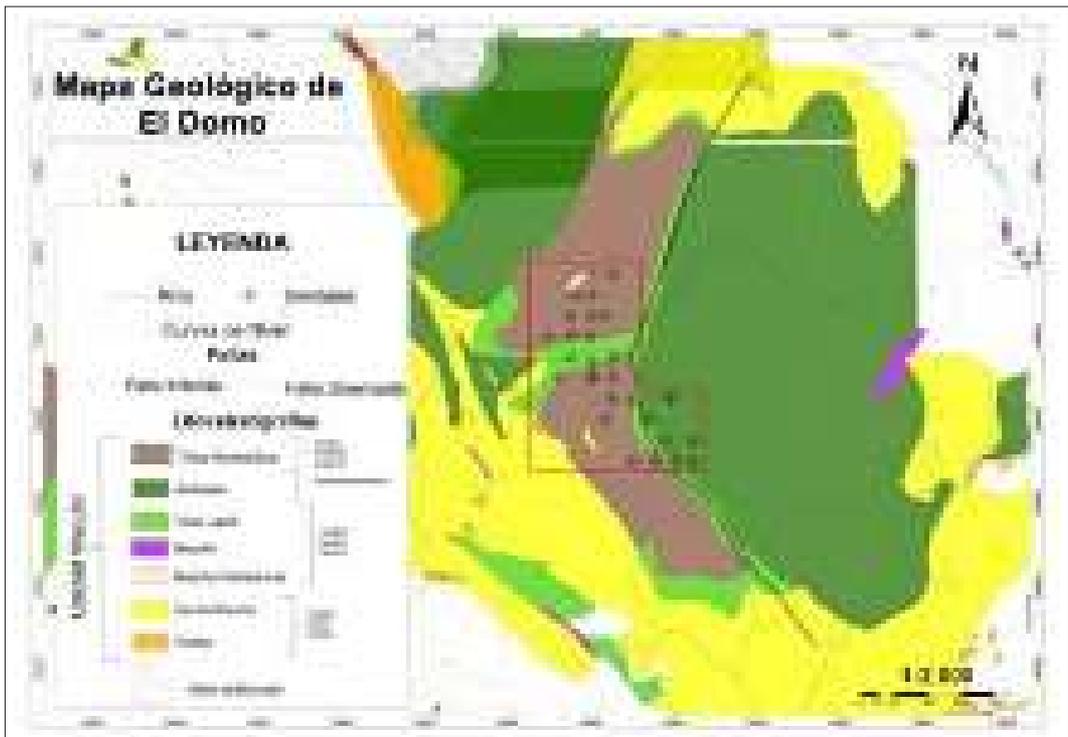


Figura 1. Mapa de Ubicación de área de estudio.

de la Cordillera Occidental, desde la frontera con Colombia hasta el sur del Valle de Pallatanga en el sur de Ecuador. Gruesos depósitos cuaternarios cubren su contacto occidental con el Bloque Piñón. es una serie principalmente volcano-sedimentaria compuesta principalmente por lavas de basaltos formando almohadillas, hialoclastitas, diabasa, andesitas, entremezclados con brechas volcánicas y pequeñas rocas riolíticas a dacíticas, en un espesor de al menos 2000 m (Aguirre and Atherton, 1987) , las brechas volcánicas son polimícticas incluyendo clastos angulares de basaltos, andesitas y dacitas en una matriz andesítica epidotizada con abundante vidrio. Las andesitas tienen una textura porfídica, con fenocristales de plagioclasa y piroxeno (Fig 2).

Objetivo general

Utilizar los datos Geológicos-Geoquímicos obtenidos en los sondajes, para caracterizar al depósito El Domo.

Objetivos específicos

1. Caracterizar macroscópicamente la geología de la zona de estudio mediante los datos de sondeos.
2. Detectar zonas anómalas para la evaluación geoquímica del depósito.
3. Comprobar si el tipo depósito de Sulfuro masivo Vulcanogénico corresponde a las características Geoquímicas del tipo Kuroko.
4. Proponer zonas potenciales de mineralización para la continuidad de las actividades exploración.

Materiales y Métodos

Materiales de campo

- Lupa 20x
- Lápiz de dureza
- Libreta de campo
- Cámara fotográfica
- Flexómetro o cinta métrica de unos 5 - 10 m.
- Ácido clorhídrico

Métodos

Para el desarrollo del estudio se realizaron análisis de testigos de perforación, e interpretación de resultados geoquímicos para los elementos metálicos principales como el Au, Ag, Cu, Pb y Zn, adicionalmente a los elementos traza de un masivo Kuroko como el Ba, Hg, Sb, Cd, Bi, As, Sr.

El presente estudio se ha considerado 30 sondeos exploratorios (Tabla 1), comprendiendo un total de 4721,40 metros perforados con recuperación de testigos continuos, en un mallado 50x50 metros, alcanzando profundidades que varían entre 107.95 a 270 metros.

Se procede a realizar los registros geológicos o quick log (logueos rápido), en donde se realiza la descripción metro a metro de los sondeos exploratorios. Lo primero que se realiza es una codificación de las unidades litológicas y zonas mineralizadas que vamos encontrar, además se realiza simbologías para fallas,

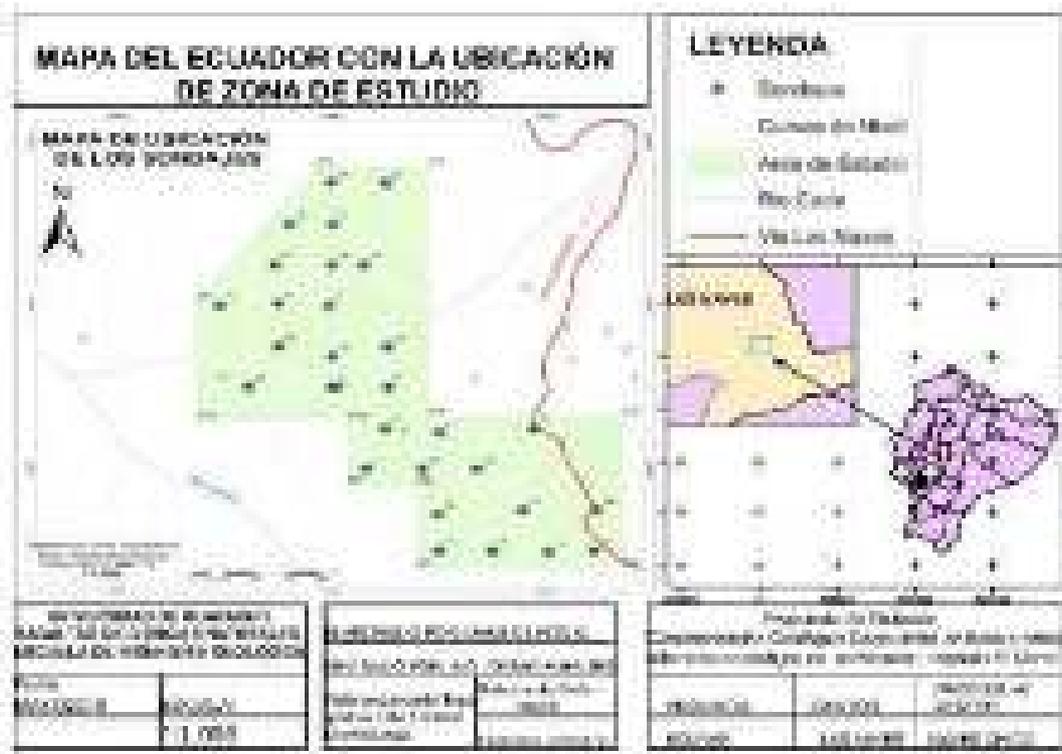


Figura 2. Geología local y ubicación de los sondajes en la zona de estudio, Modificado de Pratt, 2008.

facturas, el Quick log es un registro de manera general de la geología (unidades litológicas y alteraciones), mineralización y zonas de roca fallada. Las muestras de roca seleccionadas y llevadas al laboratorio fueron tomadas de los testigos de perforación de alrededor de 30 pozos de exploración.

Se elaboró secciones geológicas usando la extensión Target para ArcGis, fue generado con la creación de una base de datos en Excel, que fue compuesto de lo siguiente: Coordenadas de los sondeos, litologías, Survey y los resultados de laboratorio para elementos.

El análisis Geoestadístico realizado a los testigos de perforación se lo tomó, tomando en cuenta la litoestratigrafía del yacimiento, se agruparon los valores tomados en cada sondaje según el tipo de litología del que se realizó la muestra, en total 1804 muestras de roca tomados de los sondajes se mandaron analizar a laboratorio para el presente estudio y se dividen de la siguiente manera:

1. Unidad Tobácea Superior (UTU) y Toba Lapilli= 82 muestras
2. Grainstone= 118 muestras
3. Sulfuro Masivo= 176 muestras
4. Brecha Hidrotermal + Yeso= 847 muestras.
5. Dacita = 581 muestras

Se realizó un análisis más a detalle de los resultados obtenidos en el Grainstone, sulfuro masivo, Brecha

Hidrotermal-Yeso por considerarlos de mayor relevancia a la hora de poder evaluar geoquímicamente el yacimiento.

El análisis geoestadístico a cada sección Geoquímica elaborada aplicando el método de Lepeltier simplificado para los elementos Au, Ag, Cu, Pb y Zn, Para determinar los rangos background, threshold, subanomalía y anomalía, se realiza cálculos de medias (\bar{x}) y desviaciones estándar (σ) las cuales se explican a continuación:

- Background = (\bar{x})
- Threshold = (\bar{x}) + (σ)
- Subanomalía = (\bar{x}) + ($2^*\sigma$)
- Anomalía = (\bar{x}) + ($3^*\sigma$)

Correlación de Pearson: Pearson (r) nos demuestra mediante valores entre (-1 a +1) el grado de correlación de dos variables, en este caso la correlación entre los elementos principales del VMS, (Au, Ag, Cu, Pb, Zn) y la de elementos asociados al yacimiento como lo son el (As, Ba, Cd, Hg, Mn, Sb, Sr), las correlaciones son positivas (+1) cuando a medida que aumenta una variable, la otra variable también, y son negativas (-1) cuando a medida que aumenta una variable, la otra disminuye. A cada litología se le calculó el coeficiente de correlación de Pearson para determinar las asociaciones geoquímicas entre los elementos de mena metálica y los elementos indicadores de un VMS.

Tabla 1. Coordenadas de los Sondajes. Sistema UTM PSAD1956.

Sondaje	Este	Norte	Elevación (msnm)	Azimut	Dip	Prof.
1	695003.7	9855099.89	881.5	90	60	209.7
2	694.999.687	9855100.14	877.187	270	65	206.7
3	694997.13	9855199.96	895.25	90	75	188.7
4	695000.74	9855299.87	915	90	80	119.7
5	695052.55	9855099.98	894.31	90	60	171
6	695049.95	9855050.14	894.46	0	90	173.85
7	695031.87	9855000.3	887.08	90	70	206.7
8	694949.9	9855202.47	873.74	90	75	121.35
9	695.099.845	9855045.01	910.65	0	90	161.85
10	695.084.342	9854999.87	904.989	90	70	203.75
11	695099.51	9854900.08	906.811	270	85	121.1
12	695135.25	9854999.94	926.84	90	70	161.75
13	695.201.707	9854898.17	937.793	270	85	221.8
14	695.177.948	9854950.05	928.929	90	70	144.25
15	695.243.896	9854900.03	945.682	270	85	132
16	695052.58	9855149.84	892.895	90	75	107.95
17	694.895.226	9855199.98	858.293	90	75	128.95
18	695.000.432	9855138.09	881.918	90	75	125.95
19	695030.68	9855249.92	909.79	90	75	140.8
20	695.000.157	9855249.92	903.709	90	85	134.95
21	695050	9855350	929.182	90	75	149.95
22	694999.28	9855350.54	908.487	90	75	137.95
23	694946.79	9855249.95	875.97	90	75	143.95
29	695.149.267	9854899.84	924.063	270	85	125.95
24	694.950.318	9855150.43	854.807	90	75	122.95
25	694922.37	9855100.35	859.16	90	75	140.95
26	695.098.507	9854944.96	901.703	90	75	137.95
27	695187.37	9855049.96	957.77	90	85	270
28	695247.29	9854950.01	950.33	90	85	180
30	694960.37	9855299.85	884.415	90	75	128.95

Resultados

Unidad Ácida Inferior (LAU) o Félsica (Footwall).

Esta unidad de lavas ácidas da nombre a la zona considerada como "Footwall" y está conformado por la Riolita y la Dacita.

Riolita

La roca más antigua, de color blanco cremoso a verde claro, contiene fenocristales euhedrales de feldespato 8%(1-4 mm) y cuarzo 15% (1-5 mm). La roca era originalmente vidriosa, de grano muy fino y localmente muestra fracturas perlíticas que sobreimprimen la foliación de flujo. También muestra brechación generalizada en tramos. Presenta alteración illita-filica (Cuarzo, sericita, pirita) esto tiende a hacer que los feldespatos sean difíciles de ver, pero enfatiza los fenocristales de cuarzo.

Dacita Autobrecha

Tiene un espesor de aproximadamente de 100 metros. Es de color verde claro, de grano fino,

posee plagioclasas porfíricas en una matriz vítrea verde oscuro, textura brechiforme monomictica, con fragmentos de 5 mm a 5 cm. En sectores es más polimictica incluyendo fragmentos de jaspe, hematita, basaltos o andesitas basálticas (esporádicos). La brecha dacítica es un flujo de lava que emana del colapso y el flujo lateral de un domo submarino cercano; esto marca el final de la fase principal del volcanismo submarino ácido/félsico, aunque algunas dacitas sí ocurren por encima del horizonte de sulfuro masivo. En los lugares más frescos y menos afectados por la alteración hidrotermal, la roca es vidriosa, con fractura perlítica y hialoclastita.

Unidad de sulfuro masivo (MSU) o zona de mineralización

Término usado para referirse a la zona encontrada entre los horizontes de la Unidad de Ácido Inferior y la base de la Unidad Tobácea Superior ('UTU'). Alberga al sulfuro masivos y se pirita localmente, por lo tanto, abarca el evento masivo de formación de sulfuro; incluye tanto el "Footwall como a la

Hanginwall” a la mineralización, el espesor total es de aproximadamente 50 m.

Brecha Hidrotermal

Se llama Brecha Hidrotermal a la zona caracterizada por la presencia de la zona de Stringer o stockwork está formada por vetillas de calcopirita, pirita, esfalerita y galena en menor cantidad. El stockwork está alojado dentro de la dacita-riolita (footwall), con un sobre de alteración de cuarzo-sercicitita. El diámetro aproximado de estos vetillos es desde 2mm hasta los 5cm. La zona de contacto entre el sulfuro masivo y la zona de stockwork están marcadas por vetas de anhidrita de un centímetro dentro de la alteración de cuarzo-sercicitita-pirita.

Yeso

Se encuentra generalmente debajo del sulfuro masivo. Se presenta en forma de vetillos moderados o también formando stockwork masivos (Fig. 21), reemplaza las tobas lapilli, de modo que > 90% del material comprende yeso de grano fino. El resto generalmente es una arcilla verde clara posible illita y pirita menormente. También se lo puede encontrar dentro de la dacita autobrecha. Debido a que es tan dúctil, el yeso ha sido removilizado por la actividad tectónica en algunos lugares. Básicamente, actuó como un lubricante. Cuando es fallada, se vuelve foliada. La anhidrita/yeso debe formar una “losa” subvertical que limita el área de descarga hidrotermal, y que debe estar subyacente al eje principal de la formación de VMS. La cantidad de desarrollo de anhidrita/yeso está, en cierta medida, relacionada con la longevidad del sistema hidrotermal y, por lo tanto, con el tamaño del depósito. Se forma mejor en los estratos debajo de aquellos depósitos que tienen la descarga más enfocada; Estos se encuentran típicamente en depósitos donde el footwall tiene una permeabilidad limitada no controlada por fractura, es decir, aquellos que se encuentran en regímenes dominados por el flujo.

Sulfuro Masivo

Esta parte alberga la mayor parte de los sulfuros masivos volcánogénicos (> 70% de Cu, Au, Zn y Ag), aunque parte de la mineralización también está alojada en la zona de Hanginwall o (UTU) sobrepuesta a los sulfuros semi-masivos y como stockwork y brechas hidrotermales en la Unidad de ácido inferior. Su grosor oscila entre 20 cm y 25 m y sigue estrictamente el contacto entre la unidad ácida inferior y la unidad Tóbacea superior. El contacto superior de los sulfuros masivos está marcado por una capa bastante continua, de varios metros de espesor, de sílice de grano fino de blanco a gris. A pesar de ser bastante masivo algunos autores como James Franklin o Warren Pratt lo han catalogado con el nombre chert o Grainstone.

Los sulfuros, el yeso y la barita se encuentran en varias lentes inmediatamente por encima de la Dacita Autobrecha y están alojados principalmente por lapilli tobas de la MSU. Comprende cuerpos concordantes,

se pueden dividir en al menos 5 tipos:

1. Sulfuro masivo con textura indistinta. En algunos lugares, se puede ver una textura fragmentaria dentro de los sulfuros, lo que sugiere que pueden formarse reemplazando la toba lapilli.
2. Lapilli toba y peperitas alteradas con sulfuro,
3. Fragmentos de sulfuro transportados dentro de tobas lapilli polimícticas.
4. Fragmentos de pseudo-sulfuro dentro de tobas de lapilli polimícticas.

Finas capas síliceas finamente estratificadas con sulfuros en bandas. Estos muestran textura botroidal.

Grainstone

Esta unidad, mejor conocida como brecha de “Grainstone” se compone de una unidad volcánoclastica pobremente clasificada, pero localmente encajado (origen máfico) que está soportada por fragmentos de roca. Los fragmentos son típicamente de 0,5 a 1,5 mm de diámetro, se alteran de forma irregular y se cementan localmente en sílice o sulfuro.

Se presenta en los sondeos con apariencia de un flujo Debris, fragmentos no consolidados, matriz carbonatada, ciertos clastos son reemplazados por sulfuros secundarios debido a la descarga de fluidos hidrotermales que continuó a lo largo de varios eventos hidrotermales, los metales quedaron atrapados en la matriz de grainstone. También puede ser que la presencia de mineralización del sulfuro pudo haber sido transportado desde la zona del Masivo.

Esto podría haber provenido de chimeneas, y que se desalojaron al mismo tiempo que el hialoclastito y otros escombros volcánogénicos que se movieron rápidamente, pero probablemente muy localmente.

Toba Lapilli

Este es el componente principal de la MSU. En comparación con tobas suprayacentes, que tienden a ser dominadas por andesitas, estas tobas lapilli distintivamente son polimícticas e incluyen un conjunto diverso de clastos. Éstas incluyen:

1. Abundante lava de andesita porfídica de color verde a púrpura y de grano muy fino.
2. Basalto color negro, magnetismo de grado moderado a alto, de forma vesicular o posiblemente lenticular.
3. Jaspe color rojo, se observa en sondeos a una proporción <1%, magnetismo débil.
4. Diorita, color gris a gris oscuro, magnetismo moderado a alto, compuesta mayormente de plagioclasas y cuarzo residual.
5. Riolita color blanca, porfídica de cuarzo y feldespato.

Estas tobas lapilli que a veces presentan sulfuros tienden a ser de color gris claro debido a la alteración débil de illita + pirita. Sin embargo, en algunos sondeos las tobas entre lentes de sulfuro son

relativamente frescas y tienen clorita + magnetita + epidota. Reaccionan fuertemente al imán lo que es un indicativo fuerte de la presencia de magnetita.

Unidad Tobácea Superior (UTU) o Hanginwall

Abarca todo el compuesto litológico ubicado en la parte superior de la MSU. El espesor de esta unidad tomando como referencia el medido el más largo medido desde un sondeo exploratorio es de 75m.

La unidad comprende lodos tobáceos verdes de capa delgada a mediana, tobas de cristal y lechos finos raros de tobas de lapilli de grano fino. La bioturbación está muy extendida. Estas rocas comúnmente muestran una caída fallada que se puede observar cuando está fresco, las rocas son duras y verdes. Sin embargo, son comúnmente de color marrón pálido y profundamente erosionadas en la superficie. Las rocas forman la mayor parte de la topografía suave y ondulada de Las Naves.

Se ha considerado a este tipo de roca como una brecha polimíctica, sostenida por clastos compuesta de fragmentos ígneos caóticos y no clasificados, que muestra una gran variación vertical, la forma de los clastos varía desde los fragmentos rocosos angulares hasta los subangulares (más comunes), lo que puede indicar que hay poco transporte. El tamaño de los fragmentos varía entre algunos milímetros hasta 5 cm.

Rocas máficas

Basalto: Estas rocas fueron ampliamente contemporáneas con la mineralización masiva de sulfuros, el basalto comprende una roca negra de grano muy fino con fenocristales de feldespato dispersos. Se caracteriza por una textura vesicular y abundantes amígdalas de calcedonia blanca azulada con bandas, clorita y/o calcita. Los fenocristales olivinos raros grandes ocurren en el basalto.

Esta roca es oscura, con solo algunos fenocristales de plagioclasa, piroxeno y olivino en una masa criptocristalina formada por plagioclasa euhedral, clinopiroxeno y magnetita; la roca se ve afectada por el metasomatismo submarino con reemplazo generalizado por clorito, óxidos de hierro, calcita, pumpellyita, piritita y cuarzo. Tiene abundantes vesículas rellenas con zeolitas, cuarzo, epidota o calcita.

Domo de Andesita

El área del proyecto recibe su nombre debido a la presencia de una estructura similar a un domo al este del depósito. Está dominado por facies masivas altamente homogéneas que muestran solo foliación magmática local.

Tiene una matriz color verde clara de granos muy finos con fenocristales de plagioclasa clastos soportados en vidrio. Las andesitas porfíricas también se encuentran en afloramientos al Noroeste del depósito en forma de diques, con una alteración propilitica regional. Posee vacuolas y vetillas de zeolita, las

andesitas representan varios eventos eruptivos en un ambiente de puntos calientes.

La extrusión de las rocas andesíticas produjo la ruptura de la lente de sulfuro masiva y su cubierta sedimentaria. Esto se observa claramente en el borde este del sulfuro masivo donde la unidad volcánica fue levantada y se sumerge casi verticalmente. La extrusión de la andesita porfídica fue presumiblemente controlada por la falla orientada NE que limita con el depósito hacia el este.

Geoquímica del depósito

La Brecha Hidrotermal + Yeso se comprueba la presencia de valores anómalos tanto en sus elementos polimetálicos, y en sus elementos indicadores, como indica la tabla 8 en la parte de Anexos, el promedio de Au es de 0.3 g/t llegando a un valor máximo de 7.790 g/t, para la Ag el promedio es 9.3 g/t con un máximo de 590 g/t, para el Cu el valor promedio obtenido fue de 0.3% con un máximo de 4.7%, para el Zn se promedió 0.6% con un máximo de 10.5% y para el Pb se obtuvo en promedio 0.06% con un máximo de 4.1%(Tabla 2).

Las asociaciones Geoquímicas más importantes que supera el valor $(r) > 0.9$ fueron las del Ag-Pb-, Zn-Cd; mientras que otro grupo de asociación con el valor $(r) > 0.5$ fueron las del Au-Ag, Au-Pb, Ag-Zn-Hg, As-Hg-Cd (Tabla3), la correlación del Cu-As ($r=0.4$) llama la atención al ser esta la única que se asoció detectada del Cu en esta parte del sistema (Footwall), lo que posiblemente tenemos la ocurrencia no detectada del mineral Tennantita, al ser un sulfuro de Cobre y Arsénico ($Cu_{12}As_4S_{13}$) a veces este mineral suele encontrarse con impurezas asociadas como el Sb, Ag, Zn, Pb, elementos que presentan valores promedios de *Background* superiores a los límites detectados.

Minerales como la Esfalerita + Piritita + Calcopiritita diseminada, Piritita + Galena + Esfalerita en trazas y parches esta parte del sistema, el principal motivo es por ser considerado como la zona de alimentación del Fluido Hidrotermal (Feeder Zone o Stringer Zone).

Tabla 2. Medidas Estadísticas para la Brecha Hidrotermal + Yeso.

Variable	Media	Desv.Est.	Max	Min
Au (g/t)	0.3	0.7	7.790	0.003
Ag (g/t)	9.3	40.6	590.000	0.100
Cu(ppm)	2647.6	7419.1	46.900.000	5.000
Pb(ppm)	676.3	2964.5	41.100.000	3.000
Zn(ppm)	5480	14129.8	104.500.000	8.000
As(ppm)	219.2	510.5	5.728.000	3.000
Ba(ppm)	495.8	981.3	5.679.000	0.500
Cd(ppm)	22.3	59.5	451.000	0.300
Hg(ppm)	1.6	4.2	54.000	0.500
Mn(ppm)	64	67.5	492.000	5.000
Sb(ppm)	17	60.5	934.000	1.000
Sr (ppm)	63.2	95.8	956.000	2.000

Tabla 3. Correlación de Pearson en BxH+Yeso

	Au (g/t)	Ag (g/t)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	As (ppm)	Ba (ppm)	Cd (ppm)	Hg (ppm)	Mn (ppm)	Sb (ppm)
Ag (g/t)	0.602										
Cu (ppm)	0.275	0.097									
Pb (ppm)	0.619	0.952	0.003								
Zn (ppm)	0.389	0.616	0.111	0.624							
As (ppm)	0.233	0.251	0.432	0.236	0.441						
Ba (ppm)	-0.108	-0.047	-0.104	0.034	0.013	-0.038					
Cd (ppm)	0.22	0.344	0.129	0.356	0.947	0.451	0.009				
Hg (ppm)	0.412	0.543	0.16	0.581	0.782	0.71	-0.06	0.73			
Mn (ppm)	-0.054	-0.036	-0.074	-0.013	-0.04	-0.094	0.178	-0.042	-0.059		
Sb (ppm)	0.103	0.205	0.123	0.153	0.515	0.315	0.034	0.534	0.423	-0.064	
Sr (ppm)	-0.091	-0.027	-0.116	0.002	0.029	0.015	0.135	0.038	0.034	-0.008	0.023

Para la unidad de Sulfuro Masivo se comprueba la presencia de valores anómalos tanto en sus elementos polimetálicos, y en sus elementos indicadores (tabla 4), el promedio de Au es de 4.577 g/t llegando a un valor máximo de 60.6 g/t, para la Ag el promedio es 74.047 g/t con un máximo de 1340 g/t, para el Cu el valor promedio obtenido fue de 4.6% con un máximo de 20.9%, para el Zn se promedió 4.8% con un máximo de 48.7% y para el Pb se obtuvo en promedio 0.4% con un máximo de 17.2%.

Las asociaciones Geoquímicas más importantes fueron las del Au-Ag-Pb-Zn, Au-Cu, Sb-As-Cd-Hg-Au-Ag-Zn (Anexo 8), las asociaciones Au-Ag-Pb-Cu-Zn debe estar directamente relacionado a la presencia de minerales de Calcopirita aurífera (CuFeS)₂+ Galena (PbS)+ Esfalerita (ZnS) y en menor cantidad de Tetraedrita (Cu,Fe,Ag)Sb₄S₃ destacando el antimonio aparece correlacionando positivamente a los elementos polimetálicos a excepción del Cobre (r=0.1), presenta valores considerados anómalos con un promedio de 221.4 ppm con un máximo de 5330 ppm.

Tabla 4. Medidas Estadísticas para el sulfuro Masivo.

Variable	Media	Desv.Est.	Max	Min
Au (g/t)	4.577	7.165	60.6	0.2
Ag (g/t)	74.047	141.896	1340.0	1.0
Cu(ppm)	46240.58	49743.36	209000.0	104.0
Pb(ppm)	4.457.392	15538.89	172000.0	25.0
Zn(ppm)	48679.03	87802.68	487000.0	88.0
As(ppm)	968.483	1.423.662	10001.0	52.0
Ba(ppm)	280.716	625.794	4254.0	3.0
Cd(ppm)	184.839	301.611	1595.0	0.3
Hg(ppm)	10.085	20.502	182.0	0.5
Mn(ppm)	79.702	86.432	732.0	2.5
Sb(ppm)	221.415	620.904	5330.0	2.0
Sr (ppm)	65.585	85.352	565.0	1.0

Tabla 5. Correlación Pearson para el Sulfuro Masivo.

	Au (g/t)	Ag (g/t)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	As (ppm)	Ba (ppm)	Cd (ppm)	Hg (ppm)	Mn (ppm)	Sb (ppm)
Ag (g/t)	0.824										
Cu (ppm)	0.305	0.157									
Pb (ppm)	0.64	0.755	-0.045								
Zn (ppm)	0.491	0.677	0.096	0.511							
As (ppm)	0.429	0.531	0.115	0.262	0.396						
Ba (ppm)	-0.124	-0.03	-0.303	0.054	-0.002	-0.081					
Cd (ppm)	0.523	0.691	0.131	0.521	0.939	0.438	0.04				
Hg (ppm)	0.555	0.79	0.03	0.509	0.775	0.594	0.02	0.76			
Mn (ppm)	-0.104	-0.094	-0.232	-0.013	-0.052	-0.101	0.422	-0.066	-0.081		
Sb (ppm)	0.791	0.842	0.142	0.522	0.627	0.476	-0.038	0.634	0.689	-0.104	
Sr (ppm)	-0.011	0.202	-0.143	0.236	0.315	0.246	0.423	0.398	0.281	0.215	0.114

Es de importancia la correlación entre los elementos Au-Ag-Hg debido a que están claramente relacionados con un proceso de fraccionamiento hidrotermal dominante en estado de vapor, esto se debe a que el oro y la plata son muy móviles en el ambiente de ebullición que resultaría en que su movilidad se encuentra en el vapor y precipitan solo en la oxidación del fluido (es decir, cerca del fondo paleo-marino). Se sabe que el Hg se transporta preferentemente en la fase de vapor y claramente se ha amalgamado con oro. Hg sería un poderoso indicador de la proximidad a los sistemas de limitación del depósito VMS.

La asociación entre el Zn-Cu ($r=0.096$) y Au-Cu ($r=0.305$) nos demuestra que ambos elementos ocurrieron en momentos de pulsación hidrotermal diferentes, denotando la característica del elemento Zinc de mineralizarse en estratos porosos del sistema y diseminarse bajando su concentración (tabla 5).

Los mapas de interpolación de los elementos Au, Ag, Cu, Pb, Zn se realizaron tomando como referencia la cota del sulfuro masivo en el yacimiento que oscila entre los 820-845 msnm (Fig. 3), los colores de los elementos están clasificados según el rango de valores para anomalías que se muestra en el Anexo 10, el color verde se le asigna al background o fondo, el amarillo al threshold o umbral, el rojo a la subanomalía y el morado a las zona de mayor anomalía.

Claramente para elementos como el Au, Ag, Zn y Pb nos muestra un halo de dispersión caótico en donde la mineralización se encuentra en todo el yacimiento con un ligero sesgo hacia el NNO y SSO del yacimiento, el Cu se encuentra disperso en todo el yacimiento, sesgándose ligeramente hacia el Noreste.

Para el Grainstone, El coeficiente de correlación Pearson y las matrices generadas (Anexo 5 y 6) muestran una asociación directa entre los elementos Au-Ag-Pb-Zn-Cd-Hg-Sb, As-Hg-Cd-Sb. Considerando que el valor (r) de Pearson es una asociación positiva cuando es mayor a 0.9.

La asociación geoquímica Au-Ag-Pb-Cd-Hg-Zn son las de mayor grado de correlación al tener un valor mayor a 0.9, lo que nos indica que la mineralización de estos elementos sucedió en el mismo pulso hidrotermal, no obstante la anomalía del Cu que presenta un valor promedio de 0.3%, valor máximo de 55600 ppm, ($r<0.4$) debió ser consecuencia de otro pulso secundario hidrotermal debido a la escasa presencia de minerales de cobre (calcopirita, bornita, calcosina) y al no tener una asociación lineal directa creciente con el Au-Ag-Pb-Zn.

Elementos indicadores muestran promedios elevados superando su contenido promedio en rocas félsicas y máficas destacando las anomalías del As, Hg, Cd y Sb.

Discusión

Desde el Perfil A-A* al J-J* (Fig. 4) nos permite observar una litoestratigrafía completa de un tipo de Yacimiento Sulfuro Masivo hospedado en rocas volcánicas tipo Kuroko (fig. 4), la secuencia volcano-sedimentaria se ha ido formando de casi del manera subhorizontal en donde la potencia del masivo de Sulfuro varía desde 5 metros de espesor en el perfil A-A*, hasta unos 25m en el perfil C-C* ubicado a 100m en dirección al Sur.

En el caso de los perfiles G-G*, H-H*, I-I*, J-J*, el sulfuro Masivo se encuentra atravesado por la falla mapeada en superficie por Pratt, este ha sido provocado por los esfuerzos resultantes de la intrusión de un cuerpo Andesítico **post-mineralización** y depositación en la cuenca, al intruírse este Domo Andesítico en superficie, este ha desplazado en profundidad la secuencia sedimentaria que originalmente se ha formado en el momento de la mineralización, los sondajes 14, 15, 27, 28 ubicados en los perfiles mencionados nos indican un espesor promedio de 100-120m de Andesita porfirítica, y después encontramos el contacto de la Andesita con la UTU, Sulfuro masivo, Brecha Hidrotermal-Yeso, Dacita y Riolita.

La correlación entre los perfiles Geológicos y Geoquímicos, han decantado anomalías evidentes para la zonas de Au, Ag, Cu, Pb y Zn, en su mayoría han coincidido con el espesor de la unidad del sulfuro masivo definiendo el espesor de esté con más precisión, y en la zona de la Brecha Hidrotermal + Dacita se observan anomalías menores para el Cu-Zn.

Se observa un espesor signficante en la zona de la base del Sulfuro masivo que es la ocurrencia del Yeso dando la característica principal de este elemento que es de dureza débil e inherentemente dúctil debido al acompañamiento de minerales arcillosos como es la illita-sericita. Esto permitió al ocurrir la intrusión de la falla sea desplazado con facilidad en profundidad durante el posterior emplazamiento de la Andesita post-mineralización.

El modelo Geológico 3D (Fig. 5) indica como el yacimiento se encuentra formado en el subsuelo, el color purpura es el indicador de la zona mineralizada y se observa en perspectiva desde el Sur como el sulfuro ha disminuido su espesor debido a estar en la zona de mayor movimiento por la falla El Domo, determinando posiblemente como su límite geométrico en la línea N9854900 y al E694900 (perfil J-J*), mientras que al Norte queda abierta una posible tendencia de extensión del cuerpo a explorar.

Conclusiones

El desarrollo de esta investigación se ha realizado con el absoluto detenimiento en la obtención de

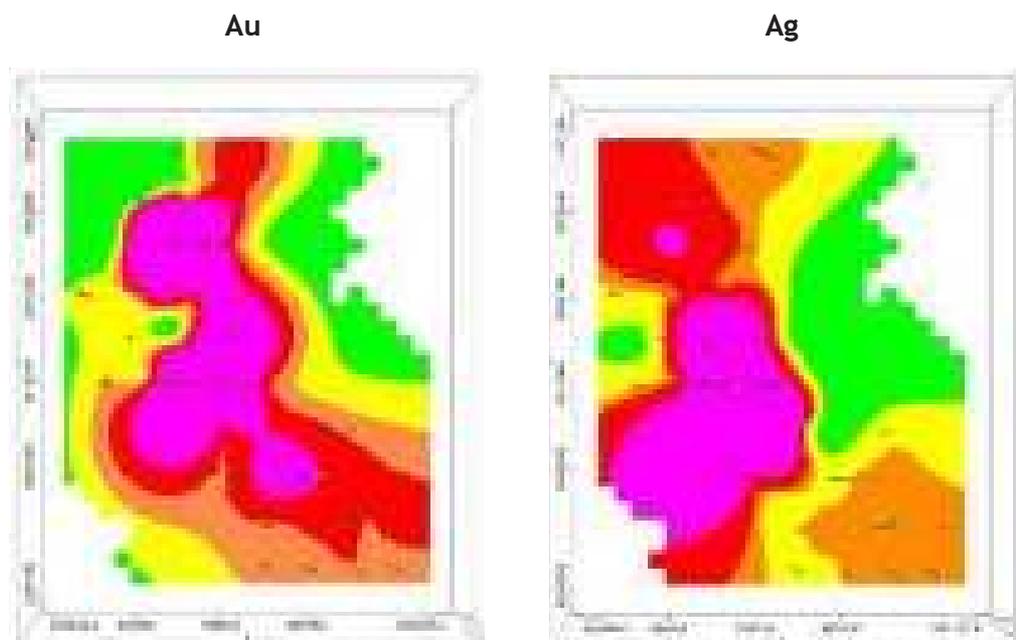


Figura 3. Interpolación de todos los sondajes en la cota promedio del sulfuro masivo para los elementos metálicos. (parte1)

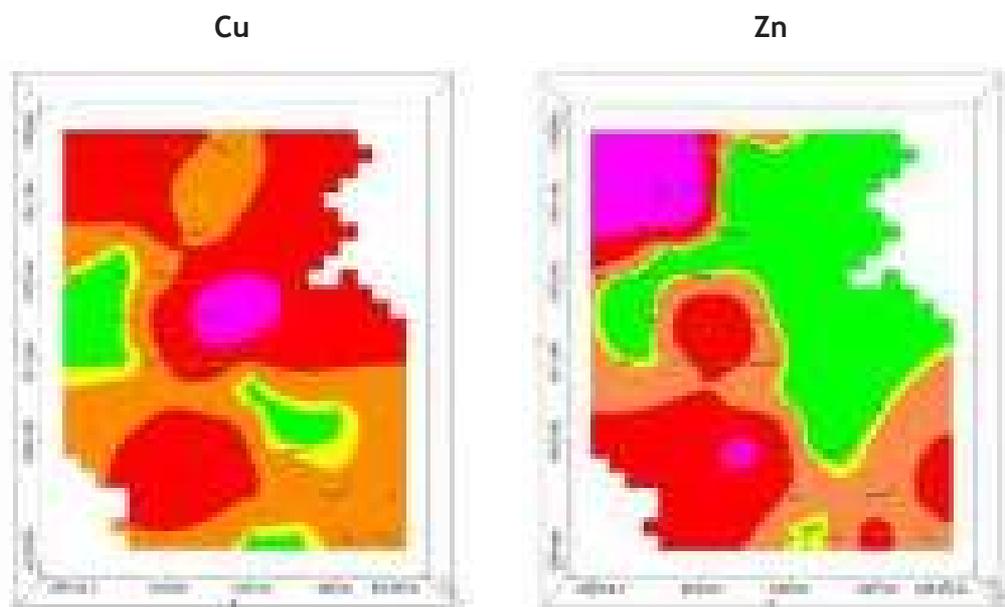


Figura 3. Interpolación de todos los sondajes en la cota promedio del sulfuro masivo para los elementos metálicos. (parte 2)

resultados concluyentes, la información generada en los diferentes capítulos de este proyecto ha sido analizada y acoplada obteniendo los siguientes resultados.

El depósito “El Domo” es uno de los principales exponentes de un VMS (Sulfuro Masivo Vulcanogénico) en los Andes ecuatorianos, los cuales están separados en 50-60 km. Es una distancia típica entre sistemas hidrotermales del Paleoceno-Eoceno.

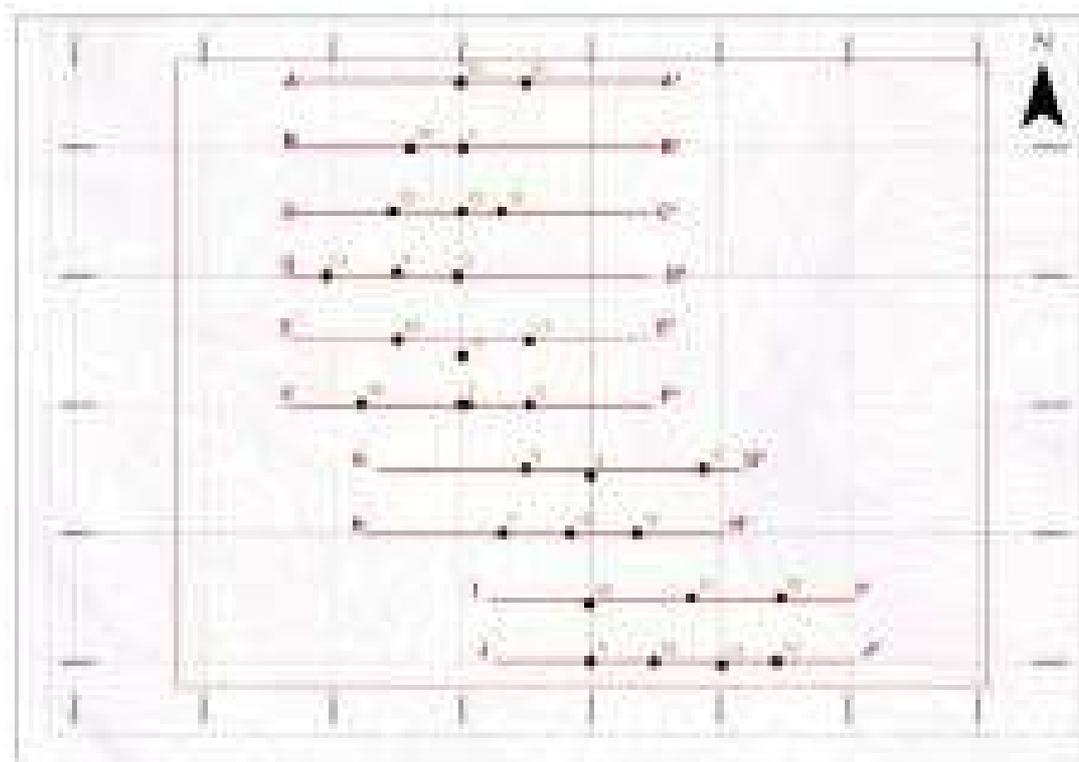


Figura 4. Representación en vista de planta de las secciones Geológicas E-W.

Mediante la elaboración de las Secciones Geológicas-Geoquímicas Este-Oeste se generó un modelo digital en 3D del yacimiento mineralizado., observamos en el perfil A-A* que se encuentra en la línea Norte 9855350, el cuerpo mineralizado no nos delimita su extensión, el mapa geoquímico de esta sección nos indica regularidad total de valores como el Au, Ag, Cu, Pb y Zn, en el sondaje 21 se observa un espesor de alrededor de 4m de Masivo y 20m de Brecha Hidrotermal, por lo tanto la mineralización y tendencia de este yacimiento debe extenderse en sentido NE-NO caso contrario al Sur en el perfil J-J* donde se pierde espesor de masivo.

En las Secciones Geológicas - Geoquímicas G-G*, I-I*, J-J*, obtenemos que la falla El Domo, parte divide al sistema y rompe la secuencia litoestratigráfica, al ocurrir el emplazamiento de la Andesita, dejando abierta la opción de que el cuerpo mineralizado desplazado por la falla, tenga su continuación en el lado Este y la zona actual investigada.

El Yeso + Brecha Hidrotermal es un indicador clave del tamaño potencial. Las zonas de yeso o anhidrita dan origen a zonas de gran descarga Hidrotermal y es una característica común en los depósitos tipo Kuroko.

El análisis de los elementos resultaron positivas para las correlaciones entre Au-Ag-Cu-Pb-Zn, para las litologías conocidas como horizonte marcador

(Grainstone), horizonte mineralizado (Masivo), y la zona de alimentación o paso del fluido Hidrotermal (Brecha Hidrotermal + Yeso).

Las concentraciones anómalas en los sondajes para el Au 4.577g/t - Ag 74.047g/t - Cu 4.6% -Pb 0.4% - Zn 4.9%, As 968.483ppm-Hg 10.085 ppm -Mn 79.702 ppm - Cd 184.839 ppm - Sb 221.415 ppm-Sr 65.585 ppm en la zona del Masivo, junto con las texturas de alteración observadas en los testigos de perforación en las zonas félsicas o Footwall félica-illita (illita, cuarzo, pirita) y la alteración argílica/propílica en la Hanginwall (clorita, esmectita, illita, pirita y ciertas zeolitas), más el origen tectónico de estar formado en una zona de islas de ante-arco proporcionan una clara evidencia de que el depósito “El Domo” es parte de un importante y enjambroso sistema hidrotermal capaz de formar una serie de depósitos similares a los del distrito de Kuroko en Japón.

Recomendaciones

Se recomienda orientar los sondajes explorativos hacia al Este de la Andesita que aflora en superficie, para poder identificar la continuación o erosión total del sistema Sulfuro Masivo Vulcanogénico.

Se recomienda realizar un estudio más a detalle de las alteraciones hidrotermales en la zona de la Dacita, Yeso y Brecha Hidrotermal, elaborar perfiles E-O que

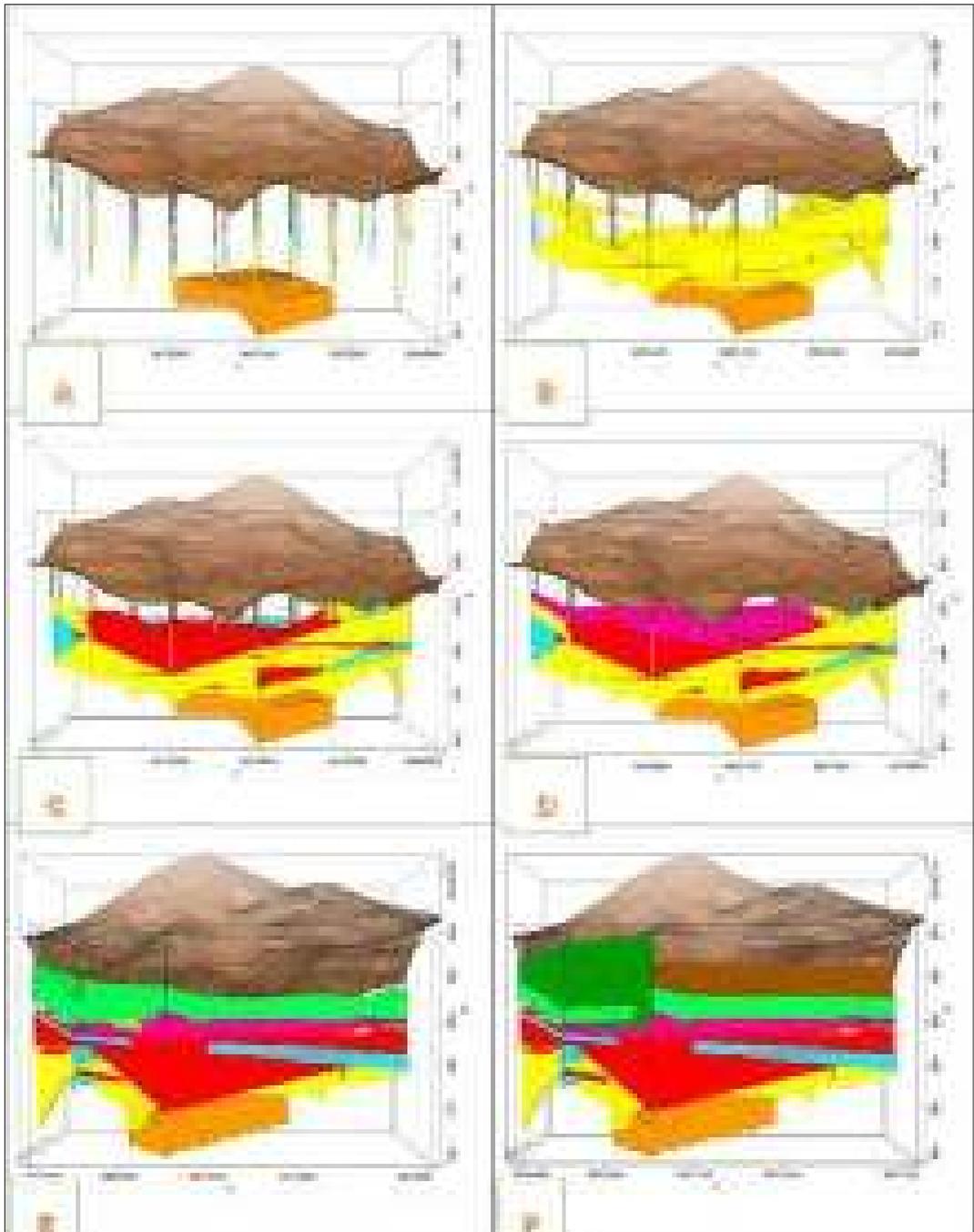


Figura 5. Modelo Geológico 3D

permitan direccionar el objetivo de exploración zonas que contengan las mismas características petrográficas y para tomar muestras que puedan ser analizadas por espectrometría, que ayudará a distinguir con exacta precisión el tipo de mineral que compone la alteración hidrotermal y su zonificación en todo El Domo.

Que se realice un mapa 3D más detallado exclusivamente de las zonas de yeso/anhidrita encontradas en los sondajes, para determinar su forma y distribución. Esto debe proporcionar una aproximación de la orientación de la estructura de la descarga, y determinar la duración de la actividad hidrotermal.

Referencias

- Aguirre, L., and Atherton, M., 1987, Low-grade metamorphism and geotectonic setting of the Macuchi Formation, Western Cordillera of Ecuador.: *Journal of Metamorphic Geology*, v. 5(4), p. 473-494.
- BISA, 2015, Curipamba Project - El Domo deposit amended and restated preliminary economic assessment central Ecuador. NI 43-111 Report.: https://www.salazarresources.com/projects/curipamba/BISA_N_43_101_EL_Domo.pdf.
- Chiriadia, M., and Fontboté, L., 2000, Gold-rich VHMS deposits of the Western Cordillera of Ecuador: mineralogy, lead isotope and metal geochemistry.:
- Eguez, A., 1986, Evolution Cénozoïque de la Cordillère Occidentale septentrionale d'Equateur (0 15'S-1 10'S): les minéralisations associées.: Unpublished thesis University Paris VI.,.
- Feininger, T., and Bristow, R., 1980, Cretaceous and Paleogene geologic history of coastal Ecuador.: *Geologische Rundschau*, v. 69(3), p. 849-874.
- Franklin, J., 2009, Observations on the Curipamba Massive Sulfide District Ecuador For Salazar Resources Ltd.:
- Goossens, P.J., and Rose Jr, W.I., 1973, Chemical composition and age determination of tholeiitic rocks in the basic igneous complex, Ecuador.: *Geological Society of America Bulletin*, v. 84(3), p. 1043-1052.
- Hughes, R., and Bermúdez, R., 1997, Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 0 00' and 1 00' S: Quito, Ecuador, Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental.: Programa de Información Cartográfica y Geológica Report, v. 4, p. 75.
- Hughes, R., and Pilatasig, L., 2002, Cretaceous and Tertiary terrane accretion in the Cordillera Occidental of the Andes of Ecuador: Tectonophysics.
- Jaillard, E., Ordoñez, M., Benitez, S., Berrones, G., Jimenez, N., Montenegro, G., and Zambrano, I., 1995, Basin development in an accretionary, oceanic-floored fore-arc setting: southern coastal Ecuador during late Cretaceous-late Eocene time: , p. 615-631.
- Pratt, W., 2008, Las Naves project, Bolívar, Ecuador.:
- Schandl, E.S., 2009, Petrographic and mineralogical study of the curipamba project, central west Ecuador.:
- Trenkamp, R., Kellogg, J., Freymueller, J., and Mora, H., 2002, Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 15(2), p. 157-171.
- Vallejo, C., 2007, Evolution of the Western Cordillera in the Andes of Ecuador (Late Cretaceous-Paleogene): ETH Zurich.