



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES

CARRERA DE INGENIERIA GEOLOGICA

Trabajo de titulación

Previo a la obtención de Título de Ingeniero Geólogo

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA GEOQUÍMICA EN BASE A
DATOS OBTENIDOS EN TESTIGOS DE PERFORACIÓN,
DEPÓSITO EL DOMO.**

Autor: Danilo John León Maldonado

Tutor: Geol. César Fuentes Campuzano MsC.

Guayaquil, Abril 2019

© DERECHO DE AUTOR

DANILO JOHN LEON MALDONADO

2019



Universidad de Guayaquil

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

CERTIFICACIÓN

En calidad de Tutor de esta Tesis Certifico que el presente trabajo ha sido elaborado por el señor Danilo John León Maldonado, por lo que autorizo su presentación

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'C. Fuentes', is written over the printed name of the director.

Geol. César Fuentes Campuzano MsC.

DIRECTOR DE TESIS



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERIA GEOLÓGICA
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO 4

Guayaquil, 22 de febrero de 2019

Señor Ingeniero
Richard Banda Gavilanes Ph.D.
DIRECTOR DE LA CARRERA INGENIERIA GEOLÓGICA
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
Ciudad.-

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la tutoría realizada al Trabajo de Titulación **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA GEOQUÍMICA EN BASE A DATOS OBTENIDOS EN TESTIGOS DE PERFORACIÓN, DEPÓSITO EL DOMO**, del estudiante **DANILO JOHN LEÓN MALDONADO**, indicando ha cumplido con todos los parámetros establecidos en la normativa vigente:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se adjunta el certificado de porcentaje de similitud y la valoración del trabajo de titulación con la respectiva calificación.

Dando por concluida esta tutoría de trabajo de titulación, **CERTIFICO**, para los fines pertinentes, que el estudiante está apto para continuar con el proceso de revisión final.

Atentamente,

CÉSAR OSWALDO FUENTES CAMPUZANO

TUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

C.I. 0907591937





UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERIA GEOLÓGICA
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO 5

RÚBRICA DE EVALUACIÓN TRABAJO DE TITULACIÓN

Título del Trabajo: **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA GEOQUÍMICA EN BASE A DATOS OBTENIDOS EN TESTIGOS DE PERFORACIÓN, DEPÓSITO EL DOMO.**

Autor(s): **DANILO JOHN LEÓN MALDONADO**

ASPECTOS EVALUADOS	PUNTAJE MÁXIMO	CALF.
ESTRUCTURA ACADÉMICA Y PEDAGÓGICA	4.5	4.5
Propuesta integrada a Dominios, Misión y Visión de la Universidad de Guayaquil.	0.3	0.3
Relación de pertinencia con las líneas y sublíneas de investigación Universidad / Facultad/ Carrera	0.4	0.4
Base conceptual que cumple con las fases de comprensión, interpretación, explicación y sistematización en la resolución de un problema.	1	1
Coherencia en relación a los modelos de actuación profesional, problemática, tensiones y tendencias de la profesión, problemas a encarar, prevenir o solucionar de acuerdo al PND-BV	1	1
Evidencia el logro de capacidades cognitivas relacionadas al modelo educativo como resultados de aprendizaje que fortalecen el perfil de la profesión	1	1
Responde como propuesta innovadora de investigación al desarrollo social o tecnológico.	0.4	0.4
Responde a un proceso de investigación – acción, como parte de la propia experiencia educativa y de los aprendizajes adquiridos durante la carrera.	0.4	0.4
RIGOR CIENTIFICO	4.5	4.5
El título identifica de forma correcta los objetivos de la investigación	1	1
El trabajo expresa los antecedentes del tema, su importancia dentro del contexto general, del conocimiento y de la sociedad, así como del campo al que pertenece, aportando significativamente a la investigación.	1	1
El objetivo general, los objetivos específicos y el marco metodológico están en correspondencia.	1	1
El análisis de la información se relaciona con datos obtenidos y permite expresar las conclusiones en correspondencia a los objetivos específicos.	0.8	0.8
Actualización y correspondencia con el tema, de las citas y referencia bibliográfica	0.7	0.7
PERTINENCIA E IMPACTO SOCIAL	1	1
Pertinencia de la investigación	0.5	0.5
Innovación de la propuesta proponiendo una solución a un problema relacionado con el perfil de egreso profesional	0.5	0.5
CALIFICACIÓN TOTAL *	10	10

* El resultado será promediado con la calificación del Tutor Revisor y con la calificación de obtenida en la Sustentación oral.

CESÁR OSWALDO FUENTES CAMPUZANO, M.Sc.
Docente Tutor de Trabajo de Titulación
No. C.I. 0907591937

fecha: 22 de Febrero del 2019.





UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA
UNIDAD DE TITULACIÓN

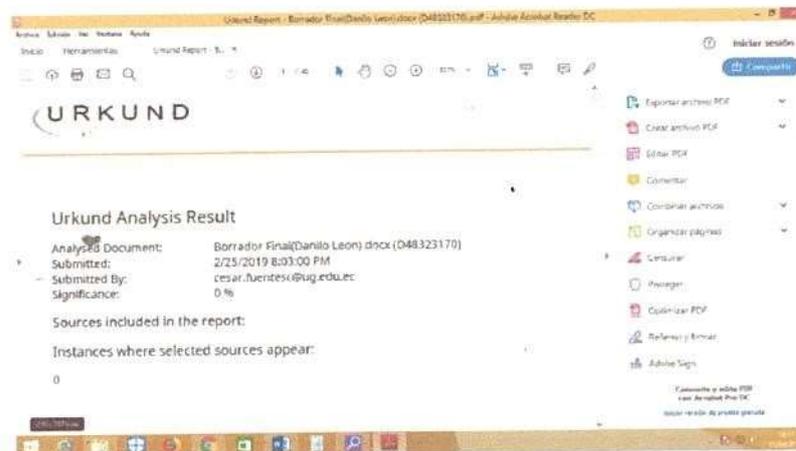


ANEXO 6 .

CERTIFICADO PORCENTAJE DE SIMILITUD

Habiendo sido nombrado **CESÁR OSWALDO FUENTES CAMPUZANO**, tutor del trabajo de titulación, certifico que el presente trabajo de titulación ha sido elaborado por **DANILO JOHN LEÓN MALDONADO**, C.C.:1721540332, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de INGENIERO GEÓLOGO.

Se informa que el trabajo de titulación: **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA GEOQUÍMICA EN BASE A DATOS OBTENIDOS EN TESTIGOS DE PERFORACIÓN, DEPÓSITO EL DOMO**, ha sido orientado durante todo el periodo de ejecución en el programa antiplagio **URKUND** quedando el 0% de coincidencia.



CÉSAR OSWALDO FUENTES CAMPUZANO, M.Sc.
Docente Tutor de Trabajo de Titulación
C.I.0907591937





UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO 7

Guayaquil, 15 de marzo de 2019

Señor Ingeniero

Ing. Banda Gavilanes Richard, Ph.D.

DIRECTOR (E) DE LA CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA

FACULTAD CIENCIAS NATURALES

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la **REVISIÓN FINAL** del Trabajo de Titulación: **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA GEOQUÍMICA EN BASE A DATOS OBTENIDOS EN TESTIGOS DE PERFORACIÓN, DEPÓSITO EL DOMO**, del estudiante **DANILO JOHN LEÓN MALDONADO**. Las gestiones realizadas me permiten indicar que el trabajo fue revisado considerando todos los parámetros establecidos en las normativas vigentes, en el cumplimiento de los siguientes aspectos:

Cumplimiento de requisitos de forma:

- El título tiene un máximo de 15 palabras.
- La memoria escrita se ajusta a la estructura establecida.
- El documento se ajusta a las normas de escritura científica seleccionadas por la Facultad.
- La investigación es pertinente con la línea y sublíneas de investigación de la carrera.
- Los soportes teóricos son de máximo 4 años.
- La propuesta presentada es pertinente.

Cumplimiento con el Reglamento de Régimen Académico:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se indica que fue revisado, el certificado de porcentaje de similitud, la valoración del tutor, así como de las páginas preliminares solicitadas, lo cual indica el que el trabajo de investigación cumple con los requisitos exigidos.

Una vez concluida esta revisión, considero que el estudiante **DANILO JOHN LEÓN MALDONADO** está apto para continuar el proceso de titulación. Particular que comunico a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,

Ing. Katty Fernanda López Escobar Ph. D.





UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA
UNIDAD DE TITULACIÓN



RÚBRICA DE EVALUACIÓN MEMORIA ESCRITA TRABAJO DE TITULACION

ANEXO 8

Título del Trabajo: CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA GEOQUÍMICA EN BASE A DATOS OBTENIDOS EN TESTIGOS DE PERFORACIÓN, DEPÓSITO EL DOMO

Autor(s): DANILO JOHN LEÓN MALDONADO

ASPECTOS EVALUADOS	PUNTAJE MÁXIMO	CALF.	COMENTARIOS
ESTRUCTURA Y REDACCIÓN DE LA MEMORIA	3	3	
Formato de presentación acorde a lo solicitado	0.6	0.6	
Tabla de contenidos, índice de tablas y figuras	0.6	0.6	
Redacción y ortografía	0.6	0.6	
Correspondencia con la normativa del trabajo de titulación	0.6	0.6	
Adecuada presentación de tablas y figuras	0.6	0.6	
RIGOR CIENTÍFICO	6	6	
El título identifica de forma correcta los objetivos de la investigación	0.5	0.5	
La introducción expresa los antecedentes del tema, su importancia dentro del contexto general, del conocimiento y de la sociedad, así como del campo al que pertenece	0.6	0.6	
El objetivo general está expresado en términos del trabajo a investigar	0.7	0.7	
Los objetivos específicos contribuyen al cumplimiento del objetivo general	0.7	0.7	
Los antecedentes teóricos y conceptuales complementan y aportan significativamente al desarrollo de la investigación	0.7	0.7	
Los métodos y herramientas se corresponden con los objetivos de la investigación	0.7	0.7	
El análisis de la información se relaciona con datos obtenidos	0.4	0.4	
Factibilidad de la propuesta	0.4	0.4	
Las conclusiones expresa el cumplimiento de los objetivos específicos	0.4	0.4	
Las recomendaciones son pertinentes, factibles y válidas	0.4	0.4	
Actualización y correspondencia con el tema, de las citas y referencia bibliográfica	0.5	0.5	
PERTINENCIA E IMPACTO SOCIAL	1	1	
Pertinencia de la investigación/ Innovación de la propuesta	0.4	0.4	
La investigación propone una solución a un problema relacionado con el perfil de egreso profesional	0.3	0.3	
Contribuye con las líneas / sublíneas de investigación de la Carrera/Escuela	0.3	0.3	
CALIFICACIÓN TOTAL*	10	10	

* El resultado será promediado con la calificación del Tutor y con la calificación de obtenida en la Sustentación oral.

Ing. Kathy Escobar López Escobar





**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA
UNIDAD DE TITULACIÓN**



ANEXO 10



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA		
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE GRADUACIÓN		
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA GEOQUÍMICA EN BASE A DATOS OBTENIDOS EN TESTIGOS DE PERFORACIÓN, DEPÓSITO EL DOMO.	
AUTOR(ES) (apellidos/nombres):	LEÓN MALDONADO DANILO JOHN	
REVISOR(ES)/TUTOR(ES) (apellidos/nombres):	LÓPEZ ESCOBAR KATTHY FERNANDA/ FUENTES CAMPUZANO CÉSAR OSWALDO	
INSTITUCIÓN:	UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL	
UNIDAD/FACULTAD:	CIENCIAS NATURALES	
MAESTRÍA/ESPECIALIDAD:		
GRADO OBTENIDO:	INGENIERO GEÓLOGO	
FECHA DE PUBLICACIÓN:	ABRIL 2019	No. DE PÁGINAS: 123
ÁREAS TEMÁTICAS:	CIENCIAS GEOLÓGICAS	
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	El domo, secciones geológicas, modelo geológico 3d, correlación de elementos. / El domo, geological sections, 3D geological model, correlation of elements.	
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):		
RESUMEN		
<p>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</p>		



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA
UNIDAD DE TITULACIÓN



servió como zona de alimentación para el paso y depositación del Sulfuro Masivo seguido después de un tercer evento de sedimentación Tobácea (Unidad Tobácea Superior).

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).

ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593996776384	E-mail: niloleonmaldonado@gmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES	
	Teléfono: (04) 3080777	
	E-mail: info@fccnuqye.com	





UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO 11

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR REVISOR

Habiendo sido nombrado, Kathy Fernanda López Escobar docente revisor del trabajo de titulación, **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA GEOQUÍMICA EN BASE A DATOS OBTENIDOS EN TESTIGOS DE PERFORACIÓN, DEPÓSITO EL DOMO**, certifico que el presente Trabajo de Titulación, elaborado por **DANILO JOHN LEÓN MALDONADO**, con C.I. No. 1721540332, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de **INGENIERO GEÓLOGO**, en la Carrera de Ingeniería Geológica/Facultad de Ciencias Naturales, ha sido **REVISADO Y APROBADO** en todas sus partes, encontrándose apto para su sustentación.

Guayaquil, 15 de marzo de 2019

Ing. Kathy Fernanda López Escobar, Ph.D.
FIRMA DEL DOCENTE TUTOR REVISOR

No. C.I. 0913804845





UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA **INGENIERIA GEOLÓGICA**
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO 12

**LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO EXCLUSIVA PARA EL USO
NO COMERCIAL DE LA OBRA CON FINES ACADÉMICOS**

Yo, **DANILO JOHN LEÓN MALDONADO** con C.I. No. **1721540332**, certifico que los contenidos desarrollados en este trabajo de titulación, cuyo título es **Caracterización Geológica Geoquímica en base a datos obtenidos en testigos de perforación, depósito El Domo**, son de mi absoluta propiedad y responsabilidad y **SEGÚN EL Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN***, autorizo el uso de una licencia gratuita intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la presente obra con fines académicos, en favor de la Universidad de Guayaquil, para que haga uso del mismo, como fuera pertinente.

DANILO JOHN LEÓN MALDONADO
C.I. No. 1721540332



*CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN (Registro Oficial n. 899 - Dic./2016) Artículo 114.- De los titulares de derechos de obras creadas en las instituciones de educación superior y centros educativos.- En el caso de las obras creadas en centros educativos, universidades, escuelas politécnicas, institutos superiores técnicos, tecnológicos, pedagógicos, de artes y los conservatorios superiores, e institutos públicos de investigación como resultado de su actividad académica o de investigación tales como trabajos de titulación, proyectos de investigación o innovación, artículos académicos, u otros análogos, sin perjuicio de que pueda existir relación de dependencia, la titularidad de los derechos patrimoniales corresponderá a los autores. Sin embargo, el establecimiento tendrá una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra con fines académicos.

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo a Ramiro y Jacqueline, mis padres que nunca me pusieron barreras y solo me impulsaron en poder formarme profesionalmente de la mejor manera.

A Bella, mi abuelita que me crío como uno más de sus hijos a temprana edad, y me mostros el verdadero rostro del amor y cariño en las primeras etapas de mi vida.

A mis hermanos y hermanas, que han sido una parte fundamental en mi vida, esperando siempre hacerlos sentir orgullosos y ser ejemplo para los que vienen formándose profesionalmente.

A la familia Ojeda Almagro, por convertirse en mi segundo hogar.

A Carlos, por mostrarme esta linda carrera y ser el primero en hacerme soñar en grande, esta aventura la terminamos juntos.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme salud y vida para compartir con mis familiares y amigos, sin Él no hubiera llegado a esta etapa.

A mis padres por su incondicional apoyo.

A la empresa Curimining S.A y Salazar Resources LTDA, por abrirme las puertas cuando más lo necesite, y al equipo de Geología por siempre brindarme total apoyo y respaldo en las etapas de elaboración de este proyecto, y de manera especial al Ing. Francisco Soria por su total confianza y amistad.

Al Ing. Cesar Fuentes por su aporte y total apoyo en la elaboración de este proyecto.

A la Dra. Tania Guevara, por haberme dado su amistad e impartido sus conocimientos cuando lo necesitaba.

A los CEPIFAN por siempre creer, y nunca dejarme atrás.

A las innumerables personas que siempre se han preocupado para que salga adelante y no caiga GRACIAS.



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERIA GEOLÓGICA
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO 13

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA GEOQUÍMICA EN BASE A
DATOS OBTENIDOS EN TESTIGOS DE PERFORACIÓN,
DEPÓSITO EL DOMO.**

Autor: Danilo León Maldonado.

Tutor: MsC. César Fuentes Campuzano.

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.



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERIA GEOLÓGICA
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO 14

**GEOLOGICAL GEOCHEMICAL CHARACTERIZATION BASED ON
DATA OBTAINED IN DRILLING CORE, EL DOMO DEPOSIT**

Author: Danilo León Maldonado.

Advisor: MsC. César Fuentes.

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.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Antecedentes	2
1.2	Planteamiento del problema.....	3
1.3	Justificación	3
1.4	Objetivo General	3
1.5	Objetivos específicos	3
1.6	Alcance	4
1.7	Ubicación del área de estudio	4
1.7.1	Límites.....	8
1.7.2	Actividad de la Población.....	9
1.7.3	Clima y Vegetación.....	9
1.7.4	Relieve e Hidrografía	10
2	MARCO TEÓRICO	11
2.1	Marco Geológico.....	11
2.1.1	Marco Tectónico	12
2.1.2	Basamento de la Cordillera Occidental.....	14
2.1.3	La Unidad Macuchi	16
2.1.4	Litología.....	16
2.1.5	Edad.....	17
2.1.6	Sulfuros masivos Vulcanogénico (VMS).....	18
2.1.7	Formación de un VMS	18
2.1.8	Tipos de VMS	21
2.2	Geología Local.....	23
2.3	Geología Estructural	25

3	MATERIALES Y METODOLOGÍA APLICADA.....	27
3.1	Materiales	27
3.2	Metodología	27
3.2.1	Recopilación de la información.	29
3.2.2	Trabajo de campo.....	29
3.2.2.4	Preparación y análisis de muestras.....	33
3.2.3	Secciones Geológicas	36
3.2.4	Geoquímica de los Testigos de perforación.	36
3.2.5	Correlación de Pearson	38
3.2.6	Tratamiento Geoestadístico.....	38
4	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	39
4.1.1	Unidad Ácida Inferior (LAU) o Félsica (Footwall).	39
4.1.2	Unidad de sulfuro masivo (MSU) o zona de mineralización.	41
4.1.3	Unidad Tobácea Superior (UTU) o Hanginwall.	58
4.1.4	Rocas Ígneas.....	60
4.1.5	Alteración Hidrotermal	62
4.2	Secciones Geológicas y Geoquímicas	63
4.3	Modelo Geológico 3D.....	85
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87
5.1	CONCLUSIONES	87
5.2	RECOMENDACIONES	89
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
	ANEXOS.....	94
	Anexo 1: Correlación de Pearson para las tobas lapilli y UTU	94
	Anexo 2: Matriz gráfica de correlación en la UTU y toba lapilli.....	95

Anexo 3: Valores Estadísticos para la UTU	96
Anexo 4: Tabla de rangos para Anomalías en la UTU, Toba Lapilli	97
Anexo 5: Correlación de Pearson para el Grainstone	98
Anexo 6: Matriz gráfica de correlación de Pearson para el Grainstone	99
Anexo 7: Tabla de rangos para Anomalías en el Grainstone	100
Anexo 8: Correlación de Pearson para el Masivo	101
Anexo 9: Matriz gráfica de correlación del Sulfuro Masivo	102
Anexo10: Tabla de rangos para Anomalías en el Sulfuro Masivo	103
Anexo 11: Tabla de correlación de Pearson para la brecha hidrotermal + yeso	104
Anexo 12: Matriz de Correlación entre elementos principales e indicadores en la Brecha Hidrotermal + Yeso.	105
Anexo 13: Tabla de rangos para Anomalías en la Brecha Hidrotermal + Yeso	106
Anexo 14: Tabla de correlación de Pearson para la dacita.	107
Anexo 15: Valores estadísticos para la Dacita	108
Anexo 16: Tabla de rangos para Anomalías en la Dacita.....	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del Proyecto Curipamba (BISA, 2015)	5
Figura 2 Mapa de Ubicación de área de estudio, Elaborado por el Autor	8
Figura 3 Mapa de Distritos VMS en el Ecuador modificado de Franklin, 2009.	11
Figura 4 Entorno geológico de Ecuador, batimetría simplificada y anomalías magnéticas de la placa de Nazca. Modificado de Spikings et al. (2001), Lonsdale (2005) y Vallejo (2007).	12
Figura 5 Mapa de la Cordillera de los Andes y sus características.	13
Figura 6 Mapa geológico regional que representa el área de estudio: la propiedad Minera Curipamba, Tomado de Vallejo et al., 2015.	15

Figura 7 Entorno tectónico extensional para la formación de depósitos VMS: expansión del fondo oceánico y ambientes de arco modificado de (Galley et al., 2013).....	19
Figura 8 Esquema de un depósito de sulfuro masivo típico en zonación de Calcopirita ± pirita ± pirrotina en la parte inferior, seguida de pirita ± esfalerita± galena en la zona intermedia y galena ±esfalerita ±pirita ±barita en la parte superior. Subyace el cuerpo de sulfuros una zona de rocas alteradas con cuarzo, sericita, clorita, esmectita, siderita en el stockwork en sulfuros.(Sillitoe et al., 1996).	21
Figura 9 Mapa Geológico de El Domo soportado en la Unidad Macuchi, modificado de Pratt, 2008.	24
Figura 10 Mapa de Fallas Y estructuras destacando el Graben de tendencia NNE-SSW modificado de (Mayor, 2011), el graben está limitado por las pronunciadas fallas Roble y El Domo. Se trunca en el límite sudoeste, contra las rocas del muro de contención, por la zona de falla Naves Chico con tendencia NW-SE.	26
Figura 11 Vista en 3 dimensiones de los sondeos exploratorios.	27
Figura 12 Flujograma de la metodología del Estudio	28
Figura 13 Plataforma de perforación.	30
Figura 14 Ejemplo de Quick Log.	31
Figura 15 Procedimiento de logueo (Gran Nacional Minera Mariscal Sucre, 2013).	32
Figura 16 Perfiles Geológicos para modelamiento 3D del depósito.....	36
Figura 17 Sondaje 1 @179m Riolita porfirítica con vetillas de cuarzo+Pirita+Esfalerita (zonas gris oscura-amarillento).....	39
Figura 18 Sondaje 1 vetilla de Cuarzo + Esfalerita en la Riolita.	40
Figura 19 Sondaje 1 @189.5m Se observa cómo se abren espacios entre la Dacita Brecha, rellenas de vetillas de cuarzo.	41
Figura 20 Sondaje 12 @98.9m Brecha Hidrotermal, matriz gris claro a oscuro silicificada, contiene Py+Sph+Cpy formando stockwork débil.	42
Figura 21 Sondaje 1 @223m Masivo de Yeso pseudobrechado.	43
Figura 22 (A) Sulfuro masivo de Esfalerita + Barita, (B) Lapilli tuff alterado por sulfuros de calcopirita + pirita.....	46
Figura 23 Sondaje 4 @60m. Secuencia volcano-sedimentaria de contacto del contacto de la sílica botroidal con el sulfuro y lodos tobáceos.....	47

Figura 24 Diagrama comparativos de los Elementos Zn-Cu y sus propiedades genéticas para mineralizarse en rocas permeables e impermeables.	49
Figura 25 (A) Sondaje 1 @64m Bornita+ Pirita. (B) Sondaje 3 @43.30m Testigo de masivo de solo Pirita.	50
Figura 26 Interpolación de todos los sondajes en la cota promedio del sulfuro masivo para los elementos metálicos.....	53
Figura 27 Grainstone sondaje 2 @49m. (A) Grainstone que ilustra la variación en los tamaños de los clastos, las bases localizadas y la alteración de los clastos más grandes. (B) Se observa que la base inferior está compuesta de limolita fina; la tope superior (arriba está a la izquierda) se clasifica, con clastos gruesos que ocupan un socavamiento en la cama inferior.	54
Figura 28 Sondaje 3 @30-33m. Grainstone. Composición polimíctica, textura clasto soportado, forma angulosa en algunos fragmentos.....	54
Figura 29 Sondaje 3 @52.6m Clastos de sulfuro masivo en la toba lapilli, posiblemente sulfuro por reemplazamiento?	57
Figura 30 Sondaje 16 @33.4m Matriz toba lapilli con clastos de sulfuro, (A) predominancia de la pirita (verde oscura) sobre la calcopirita (amarilla pardo). ..	57
Figura 31 Sondaje 19 @18.5m Fotografía Izquierda, Bioturbidita en tobas verdes de grano fino. Derecha, Lineamentos fallados en la depositación.	58
Figura 32 Foto Izquierda Toba brechada polimíctica, clastos mal sorteados subangulares, a la derecha se puede observar la textura vítrea volcánica color verde y fragmentos grises de clastos de andesita porfídica, Fotografía derecha; un clasto de amatista soportada en la matriz.	59
Figura 33 Sondaje 21 @82.70m Basalto con fenocristales de Plagioclasas, olivino, vetilla de calcita, y oquedades rellena de Clorita.	60
Figura 34 Sondaje 27 @117m Roca Andesítica porfirítica en los sondeos exploratorios, presenta la típica alteración propilítica compuesta de clorita, cuarzo, epidota.	61
Figura 35 Representación en vista de planta de las secciones Geológicas E-W.	63
Figura 36 Seccion Geologica A-A*	64
Figura 37 Seccion Geoquimica A-A*	65
Figura 38 Seccion Geologica B-B*	66
Figura 39 Seccion Geoquimica B-B*	67

Figura 40 Seccion Geologica C-C*	68
Figura 41 Seccion Geoquimica C-C*	69
Figura 42 Seccion Geologica D-D*	70
Figura 43 Seccion Geoquimica D-D*	71
Figura 44 Seccion Geologica E-E*	72
Figura 45 Seccion Geoquimica E-E*	73
Figura 46 Seccion Geologica F-F*	74
Figura 47 Seccion Geoquimica F-F*	75
Figura 48 Seccion Geologica G-G*	76
Figura 49 Seccion Geoquimica G-G*	77
Figura 50 Seccion Geologica H-H*	78
Figura 51 Seccion Geoquimica H-H*	79
Figura 52 Seccion Geologica I-I*	80
Figura 53 Seccion Geoquimica I-I*	81
Figura 54 Seccion Geologica J-J*	82
Figura 55 Seccion Geoquimica J-J*	83
Figura 56 Columna estratigráfica del sondaje 1, en general del depósito El domo.	84
Figura 57 Modelo Geologico en 3D, Depósito El Domo, Distribución litoestratigráfica desde la base al tope: (A) Riolita, (B) Dacita, (C) Brecha Hidrotermal+Yeso, (D) Sulfuro Masivo, (E) Grainstone/Lapilli+Basalto+UTU, (F) Andesita.	86

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Coordenadas UTM PSAD1956 de la zona de estudio	6
Tabla 2 Coordenadas UTM PSAD1956 de ubicación de los sondajes exploratorios	7
Tabla 3 Edades Radiométricas de la Unidad Macuchi	17
Tabla 4 Correlación de la Litoestratigrafía en el área de Estudio. Las unidades litológicas se agrupan desde abajo siendo la más antigua, hasta la más reciente en la parte superior (León, 2019)	23
Tabla 5 Medidas Estadísticas para la Brecha Hidrotermal +Yeso	44
Tabla 6 Medidas estadísticas para el Sulfuro Masivo.....	51
Tabla 7 Medidas estadísticas del Grainstone	55
Tabla 8.....	62

1 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.

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, Bi, As.

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.

1.1 Antecedentes

El depósito de sulfuro masivo volcánico (VMS) El Domo está ubicado en la zona occidental de la Cordillera Occidental de Ecuador, aproximadamente a 180 km al suroeste de Quito.

El depósito fue descubierto después de la conclusión de un extenso programa de exploración superficial, perforación y estudios geofísicos liderada por los geólogos de Salazar Resources Limited de 2007 a 2008. El Domo está asentado dentro de la Formación Macuchi de edad Paleoceno-Eoceno, originada por una sucesión volcánica submarina (Hughes and Pilatasig, 2002)

(Chiaradia et al., 2008) Afirmó que el más importante de cuerpos de sulfuro masivos en ese momento era el depósito de La Plata con un recurso inferido de 840,000 t con un promedio de 4.8 g / t Au, 54 g / t Ag, 4.1% Cu, 0.7% Pb, y 4.2% de Zn.

Los recursos minerales inferidos para El Domo tienen recientemente se ha estimado en 3.88 Mt con un promedio de 2.03 g / t Au, 42,92 g / t Ag, 1,56% Cu, 0,16% Pb y 2,19% (BISA, 2015)

Esto sugiere que El Domo es posiblemente el mayor depósito VMS de los Andes del Norte (Ecuador-Colombia-Venezuela). Los valores de oro están dentro del promedio rangos observados dentro de los depósitos VMS, la mayoría de los cuales típicamente contienen menos de 2.7 g / t (Mercier-Langevin et al., 2011)

1.2 Planteamiento del problema

El Domo presenta una oportunidad ideal para documentar la geología y geoquímica de un depósito sulfuro masivo volcánico (VMS) prácticamente sin forma (Vallejo et al., 2015). Esta caracterización no homogénea del depósito, nos hace especular en las posibles extensiones no detectadas.

La etapa de exploración del depósito VMS tiene más de 10 años desde descubrimiento en el año 2006 (Salazar Resources LTDA, 2018), esta investigación sería un aporte a la finalidad de la etapa exploratoria, impulsaría a que el proyecto "Curipamba" de inicio a la explotación del recurso.

1.3 Justificación

El trabajo de investigación se lo ha planteado para poder comprender mejor la tendencia anómala del masivo sulfúrico, poder detectar nuevos halos de difusión formada por trazas de minerales o elementos traza alrededor del depósito El Domo. La investigación de los elementos traza permitirá a la compañía poder desarrollar actividades de exploración más exhaustivas que determinara al final si el estudio de prefactibilidad de explotación al depósito, es rentable para la compañía.

1.4 Objetivo General

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

1.5 Objetivos específicos

- Caracterizar macroscópicamente la geología de la zona de estudio mediante los datos de sondeos.

- Detectar zonas anómalas para la evaluación geoquímica del depósito.
- Comprobar si el tipo depósito de Sulfuro masivo Vulcanogénico corresponde a las características Geoquímicas del tipo Kuroko.
- Proponer zonas potenciales de mineralización para la continuidad de las actividades exploración.

1.6 Alcance

La presente investigación tiene como propósito definir características geoquímicas y procesos geológicos, que ha dado origen al entorno adecuado para la formación del depósito El Domo.

Esta información servirá a la empresa Curimining S.A. para el impulso de la fase de factibilidad del proyecto, explotación y beneficio del mineral. Asimismo, este estudio contiene una primera etapa de carácter descriptivo, para posteriormente proponer futuras campañas de exploración.

Cabe destacar, que este proyecto expone la interpretación geológica mediante el análisis de los Quick Logs realizados durante varias campañas de perforación, y la caracterización del yacimiento realizando una estadística analítica a los elementos guías asociados a la mineralización en la roca. La interpretación de estos parámetros nos permitirá evaluar geoquímicamente el yacimiento.

1.7 Ubicación del área de estudio

El Yacimiento el Domo que es la zona de estudio del proyecto de tesis, esta zona de estudio pertenece al proyecto minero “Curipamba” el cual es dirigido por la empresa Curimining S.A, y forma parte de la compañía minera Salazar Resources.

El Proyecto Curipamba está ubicado en la Cordillera Occidental (Cordillera Occidental) adyacente a las llanuras costeras occidentales (Fig. 1). 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)

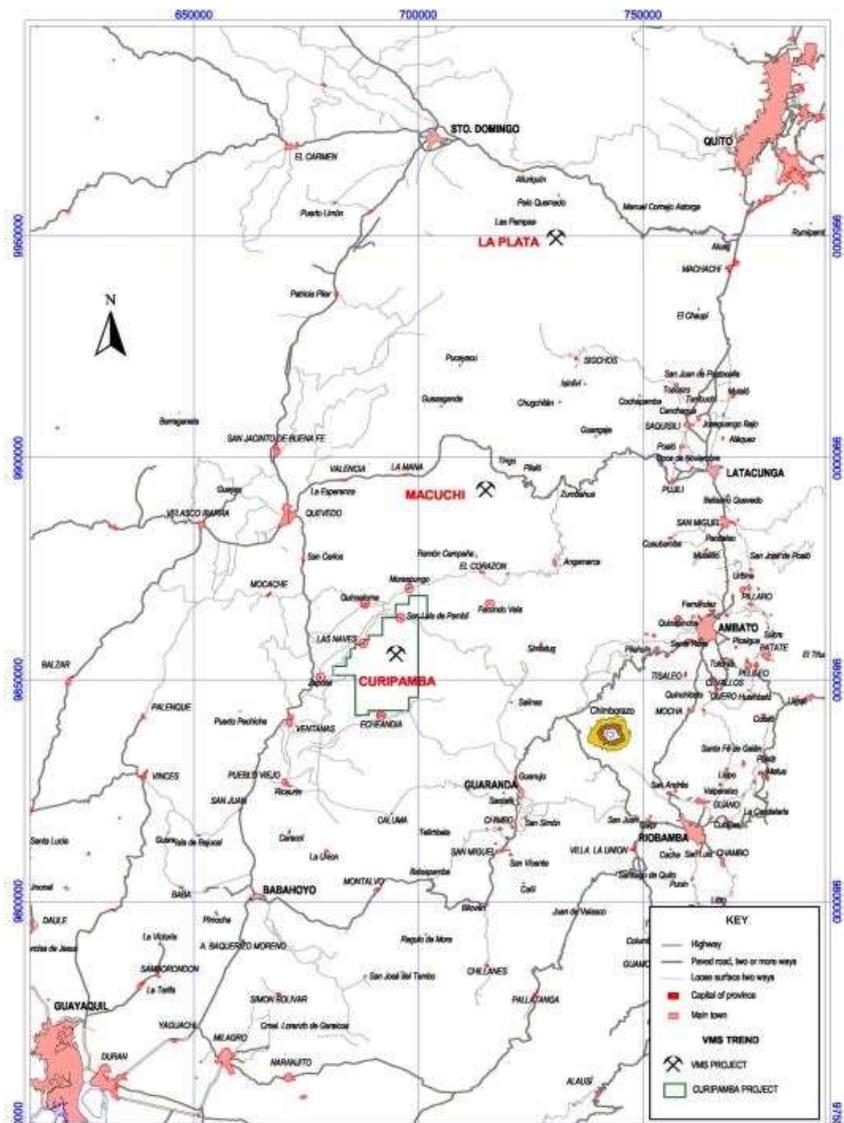


Figura 1 Ubicación del Proyecto Curipamba (BISA, 2015)

Tabla 1 Coordenadas UTM PSAD1956 de la zona de estudio

Código	X	Y
P1	694873	9855205
P2	694986	9855369
P3	695091	9855369
P4	695092	9855065
P5	695272	9855064
P6	695272	9854878
P7	695080	9854878
P8	695080	9854979
P9	695014	9854979
P10	695013	9855059
P11	694874	9855059

En la tabla 1 se georreferencia el polígono que abarca el área del estudio. 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. 2).

Se agrega la tabla 2 de sondajes con su respectivo código, coordenadas, dirección del sondaje, buzamiento del sondaje y la profundidad final.

Tabla 2 Coordenadas UTM PSAD1956 de ubicación de los sondajes exploratorios

Sondaje	Este	Norte	Elevación (msnm)	Azimut	Dip	Prof.
1	695003.7	9855099.89	881.5	90	60	209.7
2	694999.687	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	695099.845	9855045.01	910.65	0	90	161.85
10	695084.342	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	695201.707	9854898.17	937.793	270	85	221.8
14	695177.948	9854950.05	928.929	90	70	144.25
15	695243.896	9854900.03	945.682	270	85	132
16	695052.58	9855149.84	892.895	90	75	107.95
17	694895.226	9855199.98	858.293	90	75	128.95
18	695000.432	9855138.09	881.918	90	75	125.95
19	695030.68	9855249.92	909.79	90	75	140.8
20	695000.157	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	695149.267	9854899.84	924.063	270	85	125.95
24	694950.318	9855150.43	854.807	90	75	122.95
25	694922.37	9855100.35	859.16	90	75	140.95
26	695098.507	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

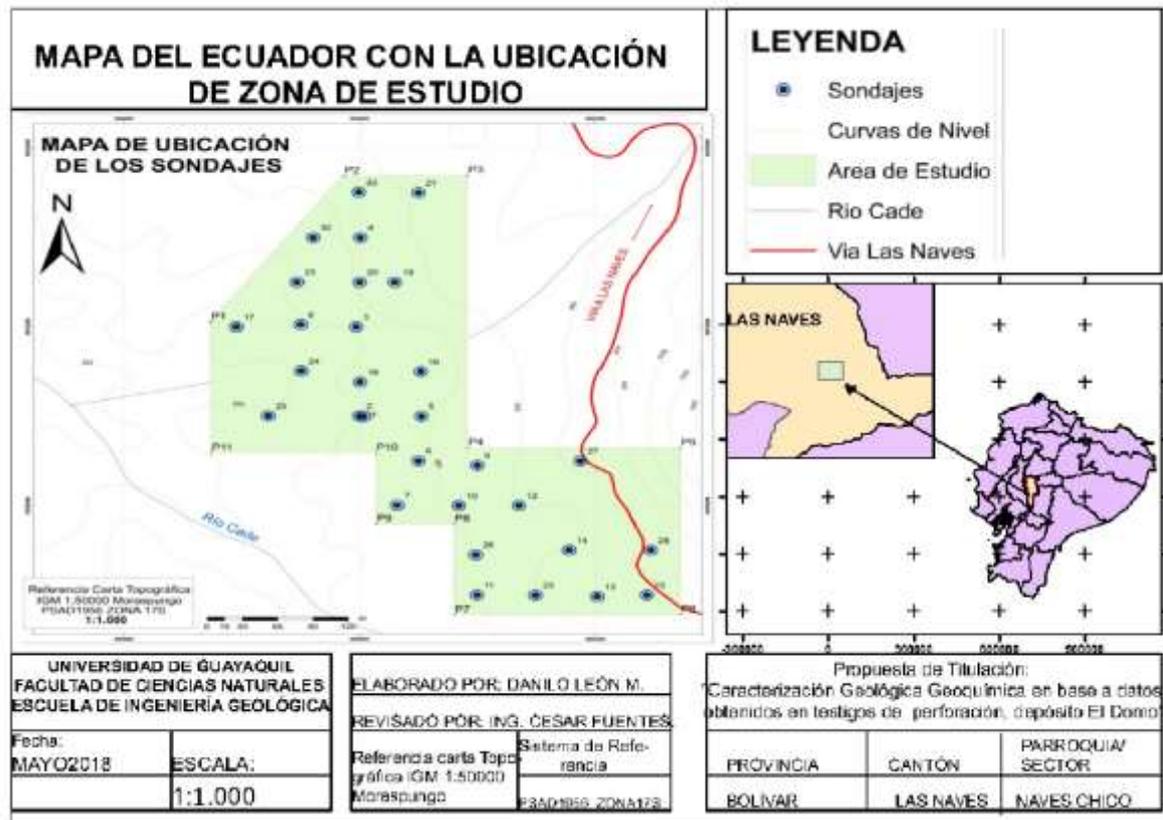


Figura 2 Mapa de Ubicación de área de estudio, Elaborado por el Autor

1.7.1 Límites

Norte: Cantón Quinsaloma, Provincia de Los Ríos

Sur: Parroquia Zapotal, Cantón Ventanas, Provincia de Los Ríos; y Cantón Echeandía, Provincia de Bolívar.

Este: Parroquia San Luis de Pambil, Cantón Guaranda, Provincia de Bolívar.

Oeste: Cantón Quinsaloma, Provincia de Los Ríos.

1.7.2 Actividad de la Población

Los habitantes se dedican principalmente a las actividades agrícolas y pecuarias, constituido por 3 zonas distribuidas en 14 comunidades y ordenadas según su altitud climática con variables ecológicas socioeconómicas, logísticas, que caracterizan y le dan un entorno particular a cada una de estas comunidades. En cada una de las comunidades, existen dificultades inherentes a la naturaleza espontánea de sus asentamientos lo que plantea un urgente reordenamiento territorial debido a la diversidad y fragilidad del ecosistema

1.7.3 Clima y Vegetación

El clima en el área de proyecto es tropical, húmedo y caliente la mayor parte del año, con una exuberante fauna y flora en el proyecto Curipamba. La temporada de lluvias es desde diciembre a mayo, con un promedio de precipitación entre 2200 y 2500 mm, y la temporada de sequía es desde junio a noviembre.

Por sus características bioclimáticas, este cantón corresponde a un clima verdaderamente ecuatorial. Con una temperatura promedio anual en la parte urbana entre 23 y 25°C y recibe una precipitación hasta 6.315 mm.

La precipitación siempre excede a la temperatura, por tanto, no existe estación seca ni días fisiológicamente secos. La temperatura promedio mensual es de 25°C, sin que se presenten variaciones extremas oscila entre los 24 a 26°C desde la parte baja de los flancos occidentales de la Cordillera de los Andes hasta las partes bajas de las llanuras costeras y de 18°C a 24°C en las partes medias de los flancos de la cordillera. La humedad relativa se mantiene en porcentajes altos y muy uniformes durante todo el año con un promedio anual de 87.1%.

1.7.4 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) ríos.

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.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Geológico

El distrito de Curipamba es el depósito de sulfuros masivo más importantes en el arco volcánico del Ecuador del Eoceno (Fig. 8), y es parte del conglomerado de distritos orógenos en la Cordillera Andina. Los depósitos del VMS varían en edad desde el Cretácico medio hasta el Eoceno temprano, y todos ocurren en cuencas dominadas por volcanes de arco posterior (extensional). Estas cuencas están dominadas por rocas máficas, pero generalmente cerca de los distritos VMS, los estratos félsicos son más prominentes (Sherlock and Michaud, 2000).

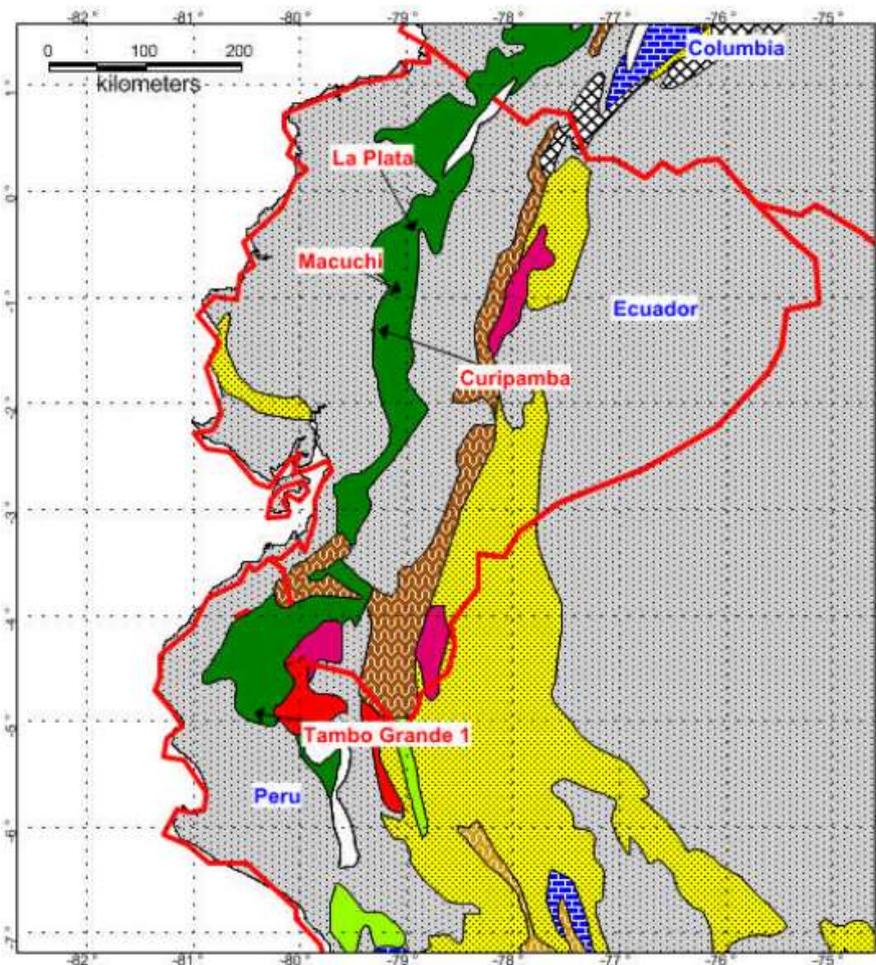


Figura 3 Mapa de Distritos VMS en el Ecuador modificado de Franklin, 2009.

2.1.1 Marco Tectónico

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 (Fig. 3), 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° (Lavenu, 2006), al sur de la escarpa (Trenkamp et al., 2002).

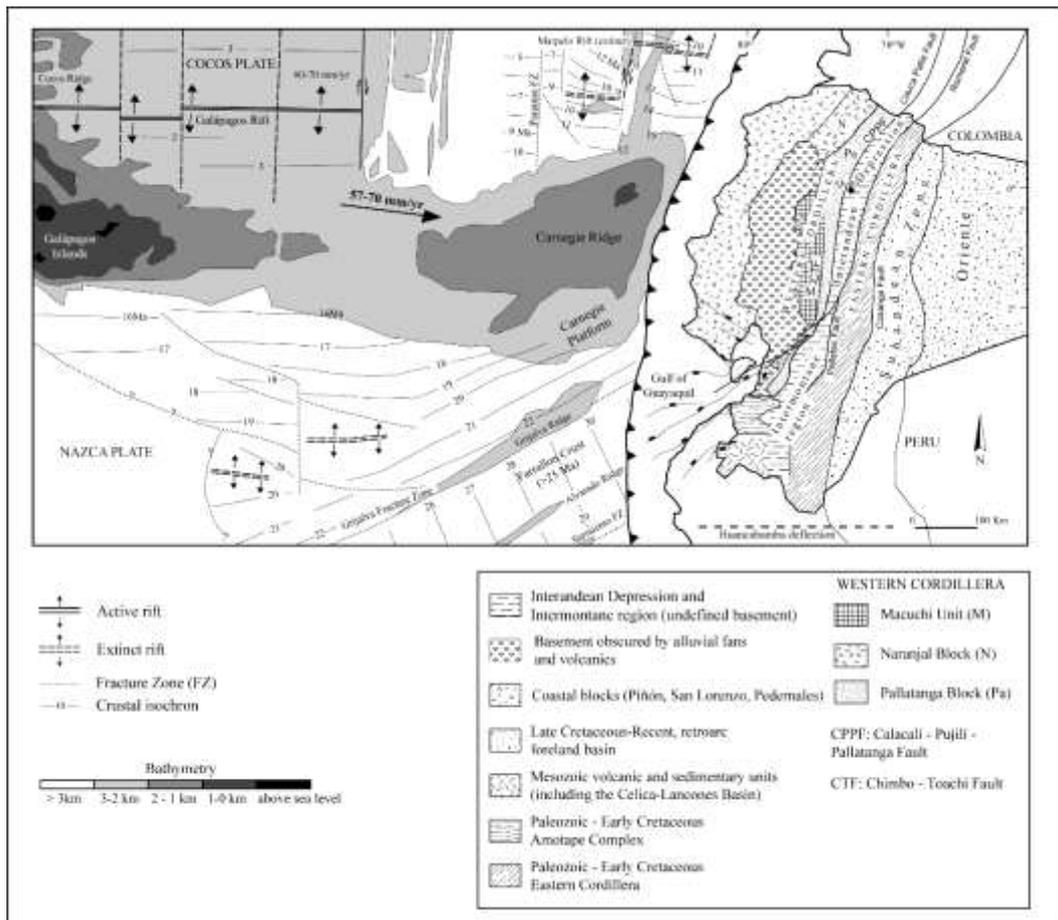


Figura 4 Entorno geológico de Ecuador, batimetría simplificada y anomalías magnéticas de la placa de Nazca. Modificado de Spikings et al. (2001), Lonsdale (2005) y Vallejo (2007).

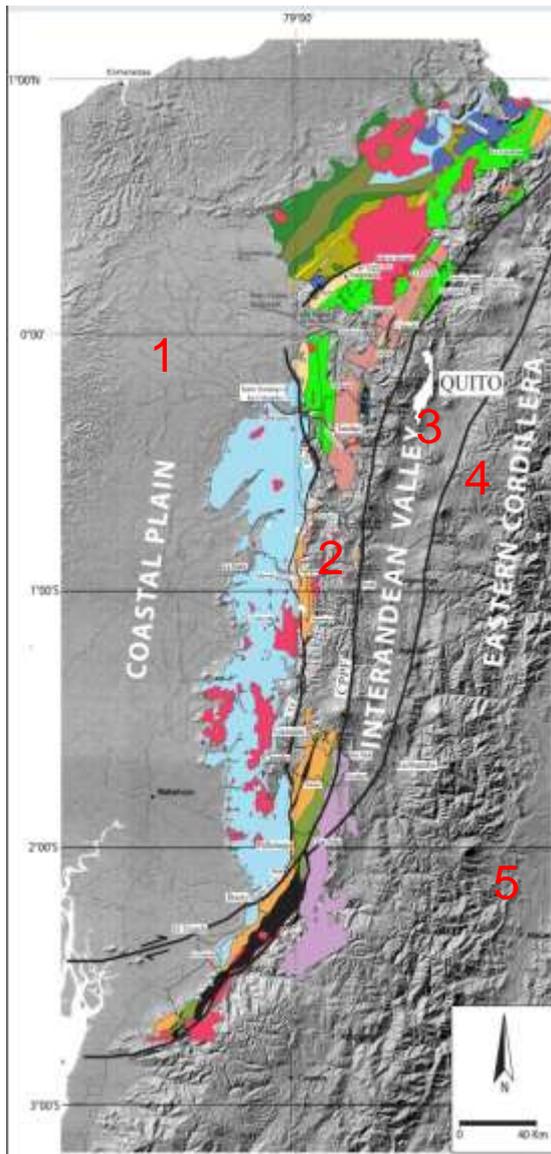


Figura 5 Mapa de la Cordillera de los Andes y sus características.

Ecuador se subdivide en cinco regiones morfotectónicas distintas (Fig. 5): (1) Las zonas bajas costeras, con un basamento formado con corteza oceánica (Feininger and Bristow, 1980; Reynaud et al., 1999; Jaillard et al., 2004) y cubierto por de los depósitos de antearco del Paleógeno al Neógeno.

(2) La Cordillera Occidental, interpretada como un fragmento de una meseta oceánica acrecida junto con el bloque costero durante el Cretácico Superior (Luzieux et al., 2006; Vallejo et al., 2006) En la Cordillera Occidental de lado Este se encuentra en un estrecho valle interandino, cubierto por gruesos depósitos volcánicos del Plioceno al Pleistoceno. Es probable que las rocas metamórficas y máficas estén formando el basamento del Valle Interandino, como lo indican las rocas máficas expuestas en las partes más profundas del Valle (vulcanitas de Quillan). (Vallejo, 2007)

(3) El Valle Interandino está limitado desde la Cordillera Occidental por la falla Calacalí - Pujilí, que representa la sutura océano-continente del Cretácico Superior, a lo largo de la cual el bloque norte andino está siendo desplazado hacia el noreste (Winkler et al., 2005). (4) La Cordillera Real está compuesta por rocas graníticas metamórficas del Paleozoico y Mesozoico (Litherland et al., 1994), y está separada del Valle Interandino por la falla Peltetec. La falla Cosanga que se encuentra buzando hacia el oeste representa el límite al Este de la Cordillera Oriental.

(5) La cuenca Oriente, incluida la zona subandina, es una cuenca plegada desarrollada entre el cratón sudamericano y la cordillera oriental, y consiste en secuencias sedimentarias paleozoicas a cuaternarias.

2.1.2 Basamento de la Cordillera Occidental.

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 transcurrente 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).

La Formación Pallatanga es más antigua que Campaniano, ya que está cubierta por los sedimentos pelágicos de Campaniano a Maastrichtiano (Jaillard et al., 2004). Los zircones extraídos de un gabro en capas, que se interpreta como las raíces ultramáficas de una secuencia de meseta oceánica, arrojaron una edad media ponderada U / Pb de 87.10 ± 1.66 Ma (1σ), que se interpreta como el tiempo de cristalización del máfico sótano de la Formación Pallatanga (Vallejo et al., 2006).

La Formación Pallatanga se define como el basamento oceánico de la Cordillera Occidental (Hughes and Pilatasig, 2002), se encuentra infrayaciendo a la Unidad Macuchi, y se expone como cortes tectónicos discontinuos de dirección NNE a lo largo del borde oriental de la Cordillera Occidental. A lo largo de la Cordillera Occidental, la Formación Pallatanga se encuentra en astillas tectónicas separado de rebanadas adyacentes por fallas de norte a sur. La Formación Pallatanga a menudo se asocia con las turbiditas del Maastrichtiano - Campaniano de la Formación Yunguilla, aunque el contacto entre estas dos formaciones es tectónico.

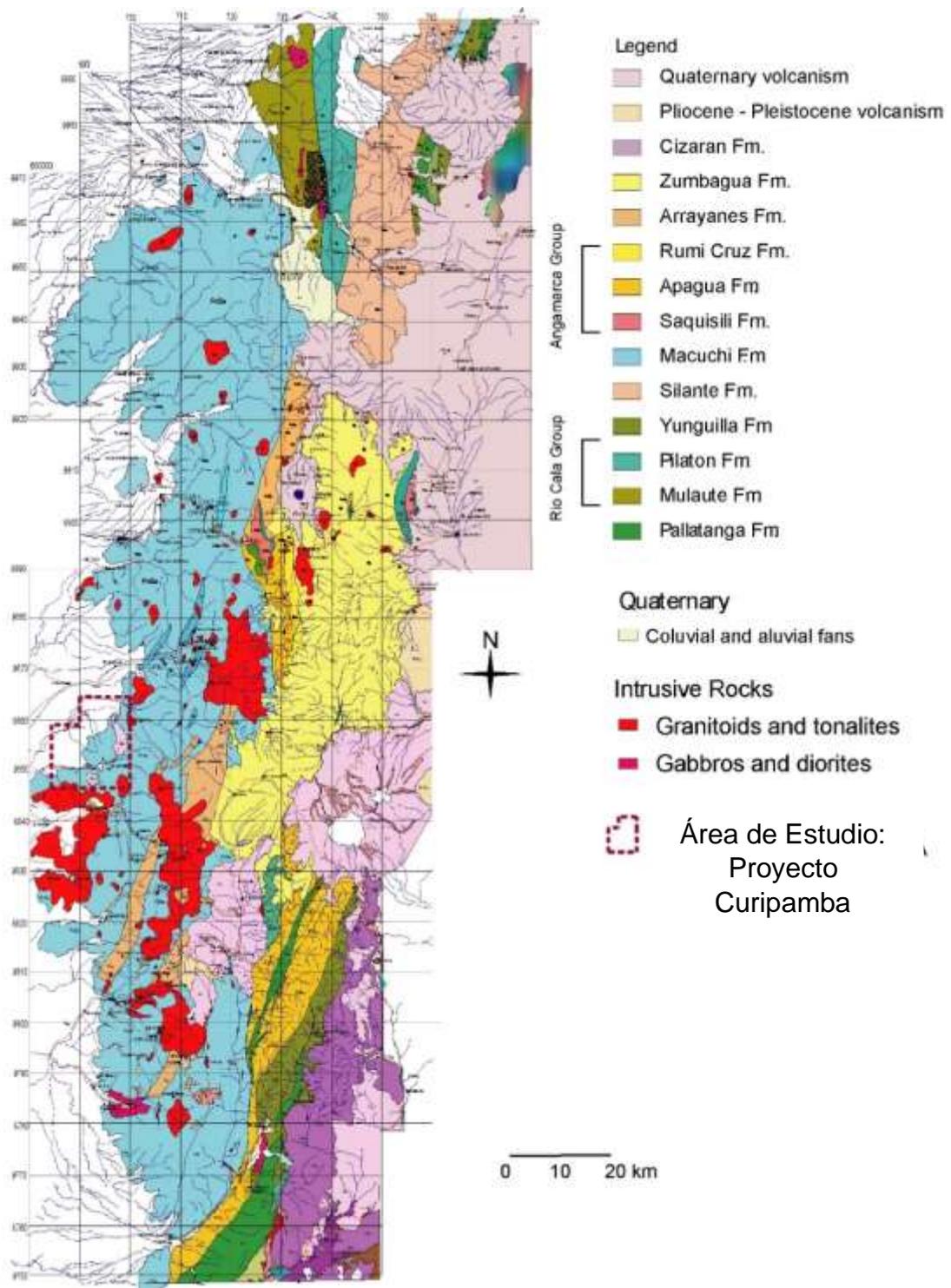


Figura 6 Mapa geológico regional que representa el área de estudio: la propiedad Minera Curipamba, Tomado de Vallejo et al., 2015.

2.1.3 La Unidad Macuchi

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 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.

2.1.4 Litología

La Unidad Macuchi 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.

Las facies de prehnita-pumpellyita a baja temperatura de la alteración del lecho marino son omnipresentes en toda la Unidad de Macuchi (Aguirre and Atherton, 1987). Hay algunas exposiciones de calizas recristalizadas que se interpretan como depositadas en un sistema de arrecife de borde de un entorno de arco de isla de baja latitud (Hughes and Pilatasig, 2002).

2.1.5 Edad

Según (Eguez, 1986; Hughes and Pilatasig, 2002; Spikings et al., 2005) en Vallejo, C. et al., 2009. La edad de la Unidad de Macuchi es escasamente limitada, pero probablemente varía desde el Paleoceno hasta el Eoceno Tardío, como se indica a partir de las edades radiométricas y bioestratigráficas (Tabla 3).

Edades de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ tomados de muestras de plagioclasas, respaldan que la Unidad Macuchi entró en erupción durante el Eoceno Temprano y Tardío (Vallejo, 2007).

Tabla 3 Edades Radiométricas de la Unidad Macuchi

Formacion/ intrusión	Localidad	Edad	Mineral Fase/ Fósil	Método	Referencia
Andesita Basáltica	Macuchi	41.6±2.1 Ma	Roca	K/Ar	(Eguez, 1986)
Basalto	Macuchi	35.8±1.8 Ma	Roca	K/Ar	(Eguez, 1986)
Andesita	Alluriquín	68±11Ma	Zircon	ZFT	(Spikings et al., 2005)
Andesita Basáltica	Este de Alluriquín	42.62±1.3 Ma	Plagioclasas	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	(Vallejo, 2007)
Andesita Basáltica	Lita	35.12±1.6 6Ma	Saprolita	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	(Vallejo, 2007)
Las Juntas Turbiditas	Unión del Toachi	Late Eocene	Foraminiferos	Bioestra tigrafía	(Eguez, 1986)

2.1.6 Sulfuros masivos Vulcanogénico (VMS).

La literatura sobre depósitos de sulfuro masivo alojado en un volcán acentuó el origen deposicional del VMS, ya sea depositado en el fondo marino (tipo exhalativo y de montículo), o por reemplazo debajo del fondo del mar. El VMS depositado en el fondo del mar puede originarse a partir de fluidos salinos que revirtieron la flotabilidad al mezclarse con agua de mar y cuencas llenas en el fondo marino, por ejemplo, varios minerales del Cinturón de Pirita Ibérica y la provincia Mount Read en Tasmania (Solomon and Quesada, 2003). Se ha demostrado que la sustitución de sulfuros por debajo del nivel del mar es un mecanismo efectivo de acumulación de sulfuros mediante el llenado y, reemplazo de espacios abiertos en depósitos volcánicos y sedimentarios (Doyle and Allen, 2003).

Por lo tanto, las rocas más favorables para albergar extensos cuerpos de reemplazamiento de sulfuro, son rocas volcanoclásticas que tenían altas porosidades iniciales y especialmente aquellas de composición originalmente vidriada, tales como los clastos que soportan la brecha polimíctica y los márgenes templados de las lavas.

2.1.7 Formación de un VMS

Se establece que todos los depósitos VMS pueden formarse en ambientes tectónicos extensionales (Fig. 7), centros de expansión del fondo oceánico, centros de expansión de antearco y rifts intracontinentales (Ohmoto, 1996).

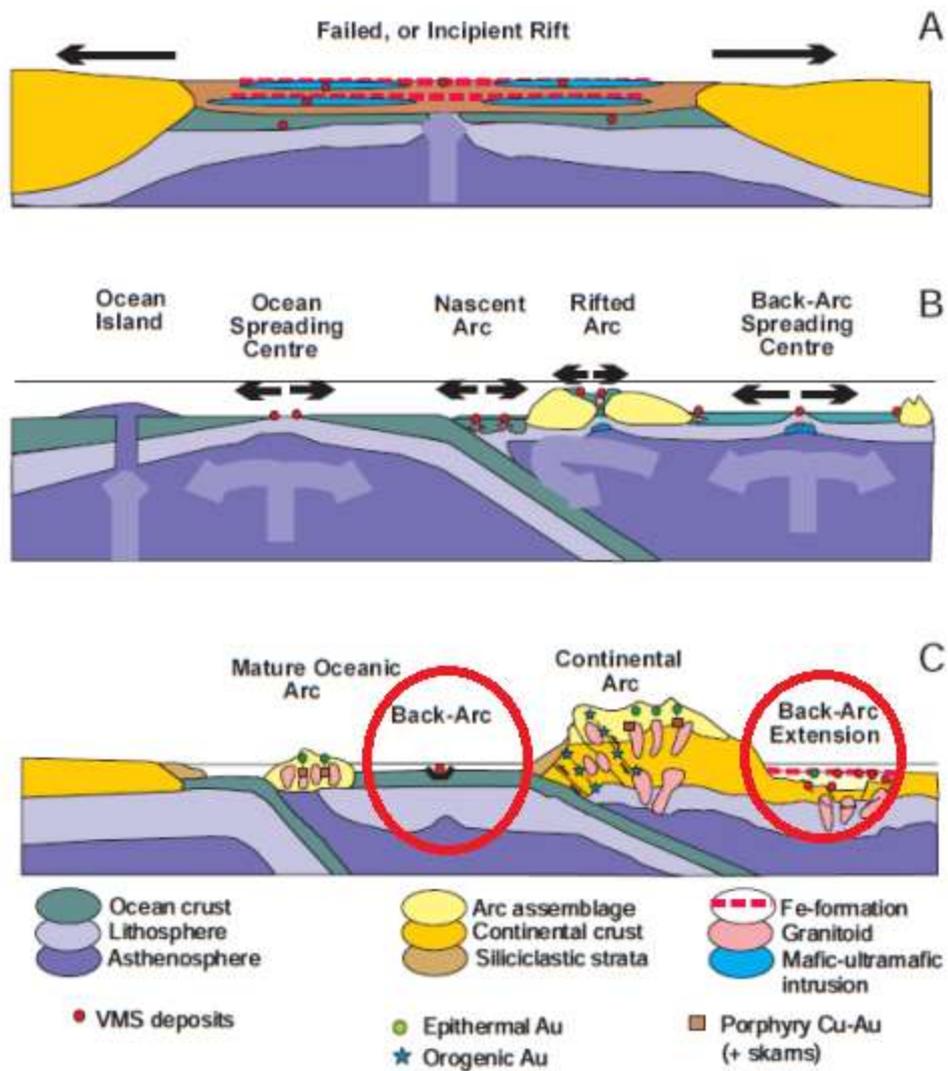


Figura 7 Entorno tectónico extensional para la formación de depósitos VMS: expansión del fondo oceánico y ambientes de arco modificado de (Galley et al., 2013).

Para la formación de depósitos VMS (Ohmoto, 1996) propone los siguientes procesos:

- La intrusión de una fuente de calor (típicamente un plutón de ~103 km de tamaño) en una corteza oceánica o una corteza continental submarina provoca una circulación convectiva profunda de agua de mar alrededor del plutón. El radio de una celda de circulación es típicamente ~5 km. La temperatura de los fluidos que se descargan en el piso marino aumenta con

el tiempo desde la temperatura ambiente hasta un máximo típico de ~350 °C, y luego disminuye gradualmente a la temperatura ambiente en una escala de tiempo de ~100 a ~10000 años. La mayoría de la mineralización de sulfuro y sulfato ocurre durante la etapa de encerado (waxing stage) de la actividad hidrotermal.

- Las reacciones entre rocas de baja temperatura ($T < 150$ °C) con agua de mar que se filtra hacia abajo provocan la precipitación del SO_2 de agua de mar como yeso diseminado y anhidrita en las rocas.
- Las reacciones del agua de mar "modificada" con rocas de mayor temperatura en las profundidades durante la etapa de encerado causan la transformación del "agua de mar" en fluidos formadores de minerales ricos en metales y H_2S . Los metales y sulfuro de azufre se lixivian de las rocas; el yeso y la anhidrita previamente formados son reducidos por los minerales que contienen Fe^{2+} y la materia orgánica, proporcionando H_2S adicional. La masa de rocas de alta temperatura que proporcionan los metales y el azufre reducido es típicamente $\sim 10^{11}$ toneladas (~ 40 km³ en volumen). Las funciones de los fluidos magmáticos o los gases son menores en la mayoría de los sistemas de sulfuros masivos, a excepción del SO_2 para producir alteraciones de tipo ácido en algunos sistemas.
- Las reacciones entre los fluidos formadores de mineral y las rocas más frías en la zona de descarga causan la alteración de las rocas y la precipitación de algunos minerales de mena en los stockwork de minerales (Fig. 8).
- La mezcla de los fluidos formadores de mineral con agua de mar local dentro de los sedimentos no consolidados y/o en el piso marino provoca la precipitación de "minerales primitivos" con la mineralogía de mena negra (esfalerita + galena + pirita + barita + anhidrita).
- Las reacciones entre los "minerales primitivos" con fluidos hidrotermales posteriores y más calientes causan la transformación de "minerales primitivos" en "minerales maduros" que están enriquecidos en calcopirita y pirita.

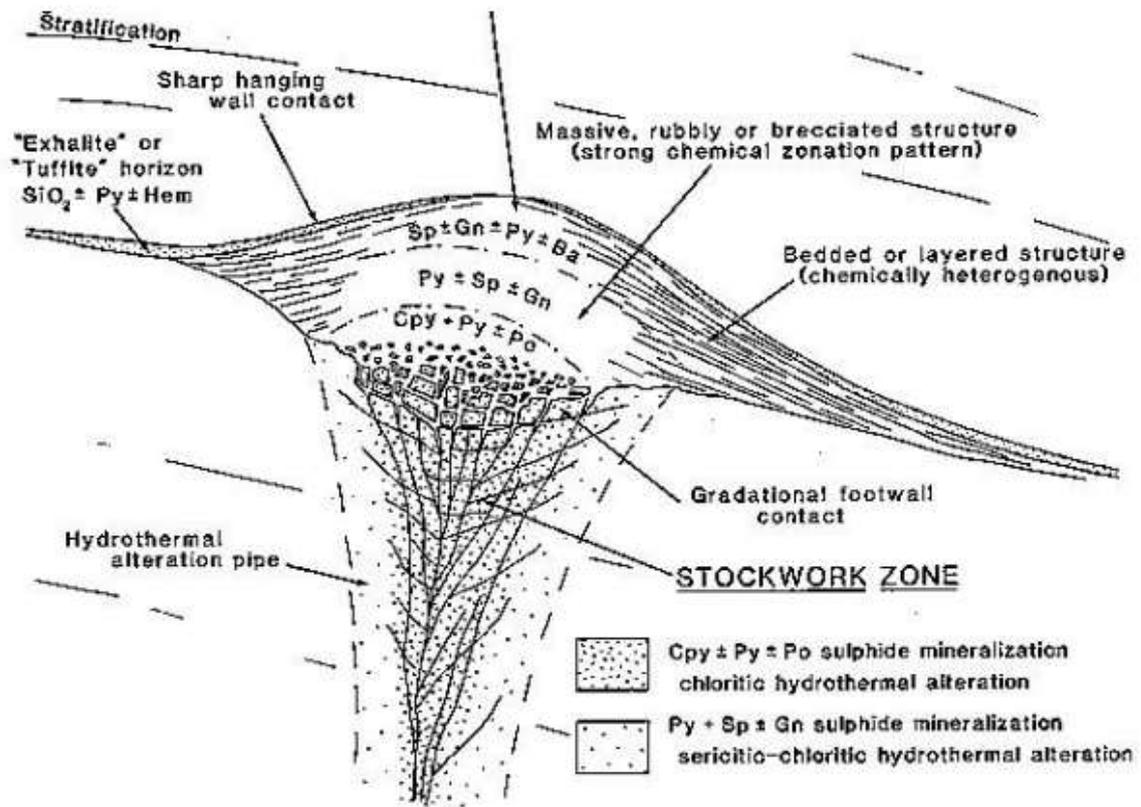


Figura 8 Esquema de un depósito de sulfuro masivo típico en zonación de Calcopirita ± pirita ± pirrotina en la parte inferior, seguida de pirita ± esfalerita ± galena en la zona intermedia y galena ± esfalerita ± pirita ± barita en la parte superior. Subyace el cuerpo de sulfuros una zona de rocas alteradas con cuarzo, sericita, clorita, esmectita, siderita en el stockwork en sulfuros. (Sillitoe et al., 1996).

2.1.8 Tipos de VMS

Los depósitos de sulfuros volcanogénicos presentan una división geoquímica en hierro, hierro-cobre y hierro-cobre-zinc, pero debe destacarse que, si bien existen depósitos de pirita sin cobre, nunca se encuentran exclusivamente sulfuros de cobre, sino que siempre acompañados de sulfuros de Fe. Desde el punto de vista económico existen solo dos grupos los de Cu-Zn y los de Zn-Pb-Cu. Algunos depósitos pueden contener cantidades importantes de Ag y/o Au. Si bien en términos generales existen esos dos grupos principales de sulfuros masivos, existen varios tipos en la literatura dependiendo del marco tectónico y las rocas volcánicas asociadas a saber (Franklin, 1993; Sillitoe et al., 1996).

2.1.8.1 VMS TIPO NORANDA

Cuerpo mineral compuesto de Cu-Zn±Au±Ag, asociados a rocas volcánicas totalmente diferenciadas desde basaltos a riolitas en cuencas marinas de <1 km de profundidad. Actualmente presentes en las fajas de rocas verdes en los escudos precámbricos (como en Canadá). Su marco tectónico es materia de debate, pero parecen haberse formado en cuencas subsidentes limitadas por fallas, posiblemente en secciones de tras-arco.

2.1.8.2 VMS TIPO CHIPRE

Mineralización compuesta de Cu (±Zn) ±Au, asociados a basaltos toleíticos de conjuntos ofiolíticos (generación de corteza oceánica). Formados en fondos oceánicos profundos con volcanismo basáltico. Los ejemplos típicos se presentan en la isla de Chipre en el mar Mediterráneo.

2.1.8.3 VMS TIPO KUROKO

Composición polimetálica de Cu-Zn-Pb±Au±Ag, asociados a volcanismo bimodal con lavas toleíticas, lavas y piroclastos calco-alcalinios. Formados en cuencas marinas someras con volcanismo explosivo con formación de calderas en sectores de tras-arco. Los ejemplos típicos se encuentran en Japón formados en una cuenca marginal.

2.1.8.4 VMS TIPO BESSHI

Cuerpo mineral de Cu-Zn±Au±Ag, asociados a rocas sedimentarias con aporte terrígeno, grauvacas y turbiditas asociadas con basaltos de intraplaca. Formados en cuencas sedimentarias marinas profundas con volcanismo basalto.

2.2 Geología Local

Como se observa en la figura 9 a nivel regional, el depósito el Domo está siendo constituido por las rocas de la Unidad Macuchi consisten principalmente de basalto, andesita y Riolita-dacita, ambas de característica volcanoclásticas.

Las rocas volcánicas incluyen una gran variedad de litofacies bien conservadas, por el ambiente de formación de Unidad Macuchi se puede deducir que el Domo se atribuye a la secuencia de arco volcánico submarino (McCourt et al., 1997; Vallejo, 2007). Existen algunos reportes científicos que han descrito las unidades litológicas en el depósito el Domo (Tabla 4) reconocidas dentro del área de Curipamba.

Tabla 4 Correlación de la Litoestratigrafía en el área de Estudio. Las unidades litológicas se agrupan desde abajo siendo la más antigua, hasta la más reciente en la parte superior (León, 2019)

Litologías	Pratt (2008)	Franklin (2009)	Vallejo (2013)
Suelo			Depósitos Cuaternarios
Domo Andesítico	Andesita	Andesita	Andesita Porfída
Basalto	Basalto	Basalto	Unidad Máfica
Brecha Volcanoclástica rica en cristales	Unidad Tobácea Superior (<i>UTU, siglas en ingles</i>)	Unidad Epiclástica	Unidad Volcanoclástica
Brecha Volcanoclástica polimíctica	Unidad de Sulfuros masivos, incluyendo Grainstone (<i>MSU, siglas en ingles</i>)	Flujo de escombros o Unidad de Brecha incluyendo Grainstone	Brecha Polimíctica
Semi-masivo de Sulfuros			
Masivo de Sulfuros		Sulfuros masivos	Sulfuros masivos
Riodacita	Unidad Ácida Inferior (<i>LAU, siglas en ingles</i>)	Unidades de brecha hidroclástica y flujos masivos o un complejo de domo de flujo	Unidad Félsica
Stockwork de Cuarzo-Pirita		Stockwork	Stockwork

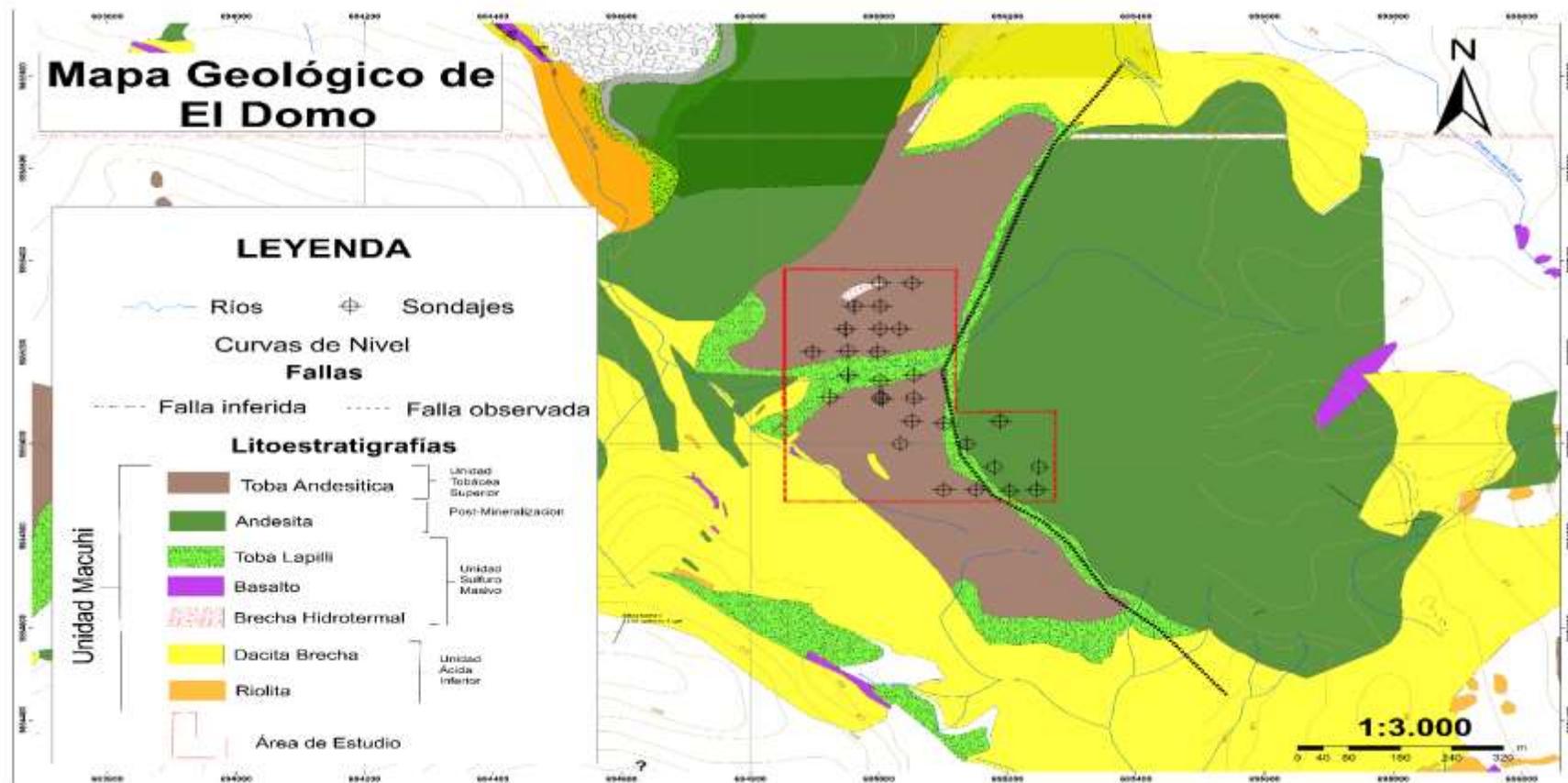


Figura 9 Mapa Geológico de El Domo soportado en la Unidad Macuchi, modificado de Pratt, 2008.

2.3 Geología Estructural

Según (Mayor, 2010), El área de estudio se ubica en un graben de tendencia NNE-SSW. El marco estructural y la orientación de las fallas son consistentes con un patrón de fractura asociado con las fallas de deslizamiento lateral derecho y la apertura sincrónica de las cuencas extensibles. La deformación mayor fue acomodada por las fallas NNE-SSW.

El último evento estructural significativo en El Domo es el desprendimiento de fallas. La deformación a lo largo del borde occidental de la andesita es un evento local de compresión relacionado con el emplazamiento de la andesita.

Por lo tanto, el modelo estructural en El Domo es una configuración de falla de desprendimiento extensional. La tendencia dominante es N 30 E a lo largo de fallas normales de ángulo bajo apiladas con una inclinación promedio de 25 grados a lo largo de una dirección S 60 E.

Las principales fallas son: El Gallo, El Domo, Naves Chico y Roble (fig., 10). La falla de El Gallo puede haber marcado el límite del probable graben en el que se acumularon los sulfuros masivos de Las Naves (Pratt, 2008).

En las zonas de falla se evidencia material arcilloso y en ciertos sectores existen clastos de sulfuro masivo. Cerca de los contactos con las intrusiones andesíticas de El Domo, los sulfuros masivos se vuelven sub verticales y fallados(BISA, 2015).

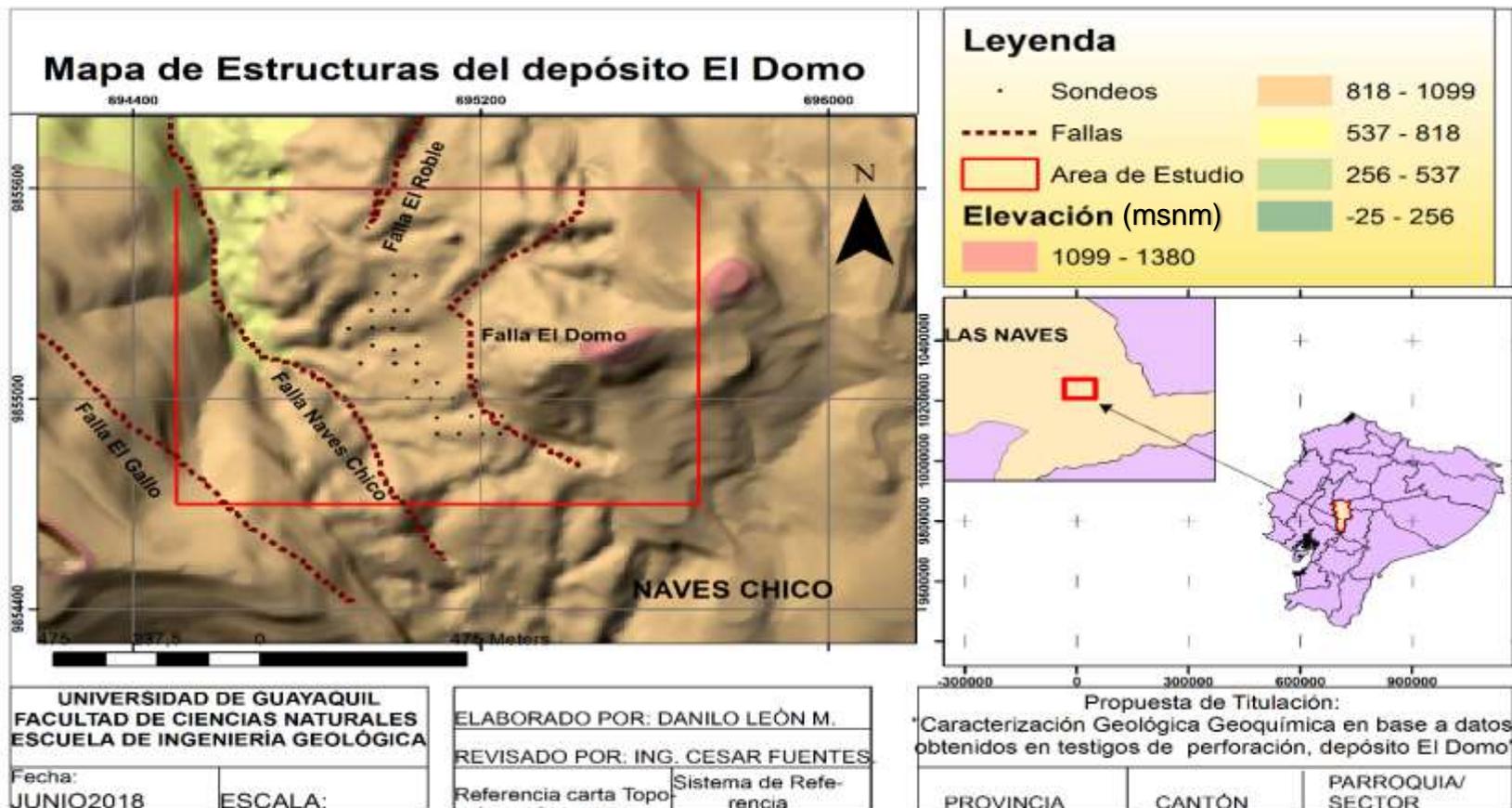


Figura 10 Mapa de Fallas Y estructuras destacando el Graben de tendencia NNE-SSW modificado de (Mayor, 2011), el graben está limitado por las pronunciadas fallas Roble y El Domo. Se trunca en el límite sudoeste, contra las rocas del muro de contención, por la zona de falla Naves Chico con tendencia NW-SE.

3 MATERIALES Y METODOLOGÍA APLICADA.

Los materiales usados en la presenta Investigación.

3.1 Materiales

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

3.2 Metodología

El presente estudio se ha considerado 30 sondeos exploratorios (Fig. 11), 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 como se indica en la tabla 2.

El procedimiento utilizado en el presente estudio se basa en el flujograma (Fig.12) descrito comprendiendo tres etapas principales: 1) trabajo de campo, 2) descripción geológica, 3) Evaluación Geoquímica.

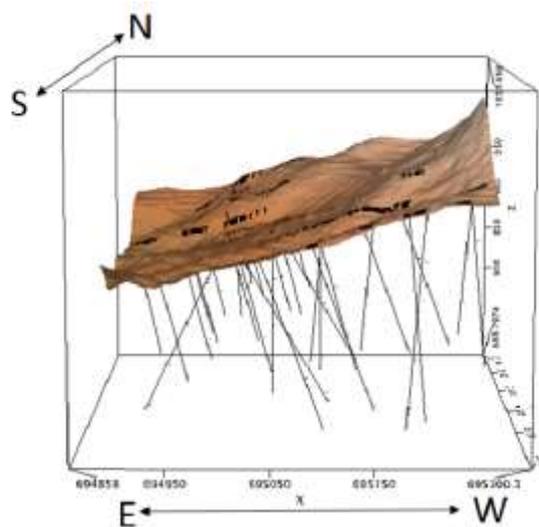


Figura 11 Vista en 3 dimensiones de los sondeos exploratorios.

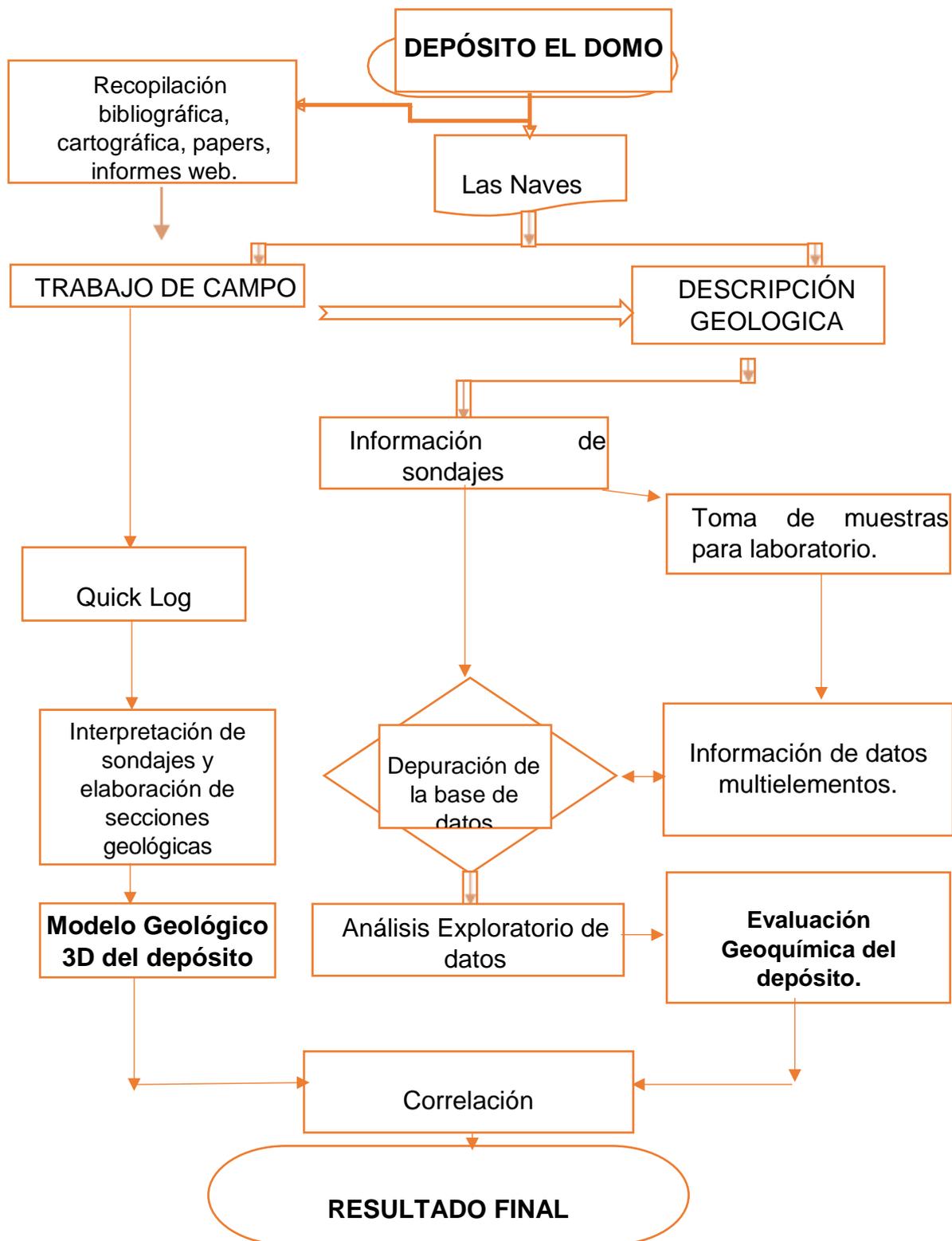


Figura 12 Flujograma de la metodología del Estudio

3.2.1 Recopilación de la información.

Recopilación de información existente en libros, informes técnicos, publicaciones científicas, sitios web de Geología, tesis de grados, para la elaboración de mapas se recopiló información de cartografía digital y bases topográficas.

3.2.1.1 Cartografía Digital

Para la elaboración de mapas temáticos, se la ha generado de la Cartografía de acceso libre del Instituto Geográfico Militar, la Secretaria Nacional de Información, del Instituto Espacial Ecuatoriano y también la información digital propiamente de la empresa Curimining S.A.

3.2.2 Trabajo de campo

- Comprobación de los afloramientos que describen principalmente al depósito El Domo.
- Trabajo de comprobación en los protocolos de perforación realizados en la toma de la información geológica y posterior muestreo para análisis de los datos multielementos.

3.2.2.1 Procedimientos para la perforación

La plataforma se construye de forma manual (con pico y pala), tiene una dimensión de 5 x 5 metros, Los equipos de perforación utilizados son: Perforadoras Hydracore 2000 y Hydracore 4000 + accesorios, con capacidad para perforar hasta 1000 metros de profundidad, y los diámetros de core perforados son: HQ (63.5 mm), NTW (56.0 mm), NQ2 (50.6 mm) y BTW (42.0 mm).

Para ubicar las coordenadas de las plataformas se utiliza estación total, y para poner la dirección (azimut e inclinación de la perforación) se utiliza una brújula Brunton en superficie y en profundidad se utiliza un equipo electrónico REFLEX que mide la desviaciones de azimut e inclinación en profundidad, se puede calibrar para medir automáticamente cada 3 metros, los datos son

bajados automáticamente al software EZ TRACK para luego transformar a Excel y utilizar en las secciones e interpretación de los resultados.



Figura 13 Plataforma de perforación.

Iniciada la perforación y a medida que avanza se observa in situ los testigos de roca provenientes de los diferentes sondeos, los testigos son almacenados en cajas que contienen 4 divisiones con una capacidad para captar 4.5 metros de núcleos de rocas.

3.2.2.2 Registro Geológico o logueo rápido (Quick log).

En la Ciudad de Ventanas, se encuentra el laboratorio donde llegan las cajas con los testigos de perforación, después de hacer una rápida limpieza y metraje de los núcleos, 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 (Fig. 14, 15). Lo primero que se realiza es una codificación de las unidades litológicas y zonas mineralizadas que vamos encontrar, además se realiza simbologías para fallas,

facturas, el Quick log es un registro de manera general de la geología (unidades litológicas y alteraciones), mineralización y zonas de roca fallada.

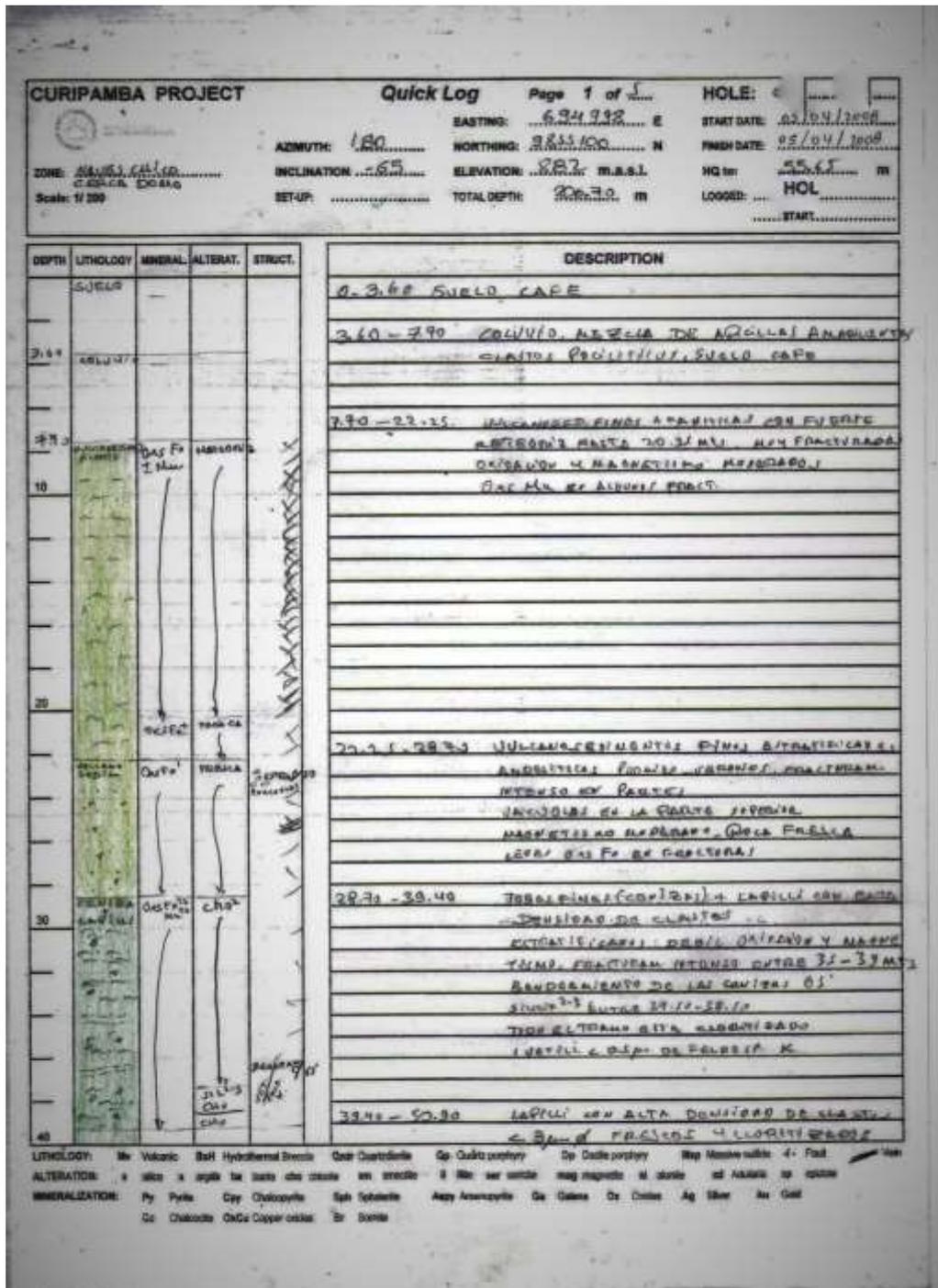


Figura 14 Ejemplo de Quick Log.

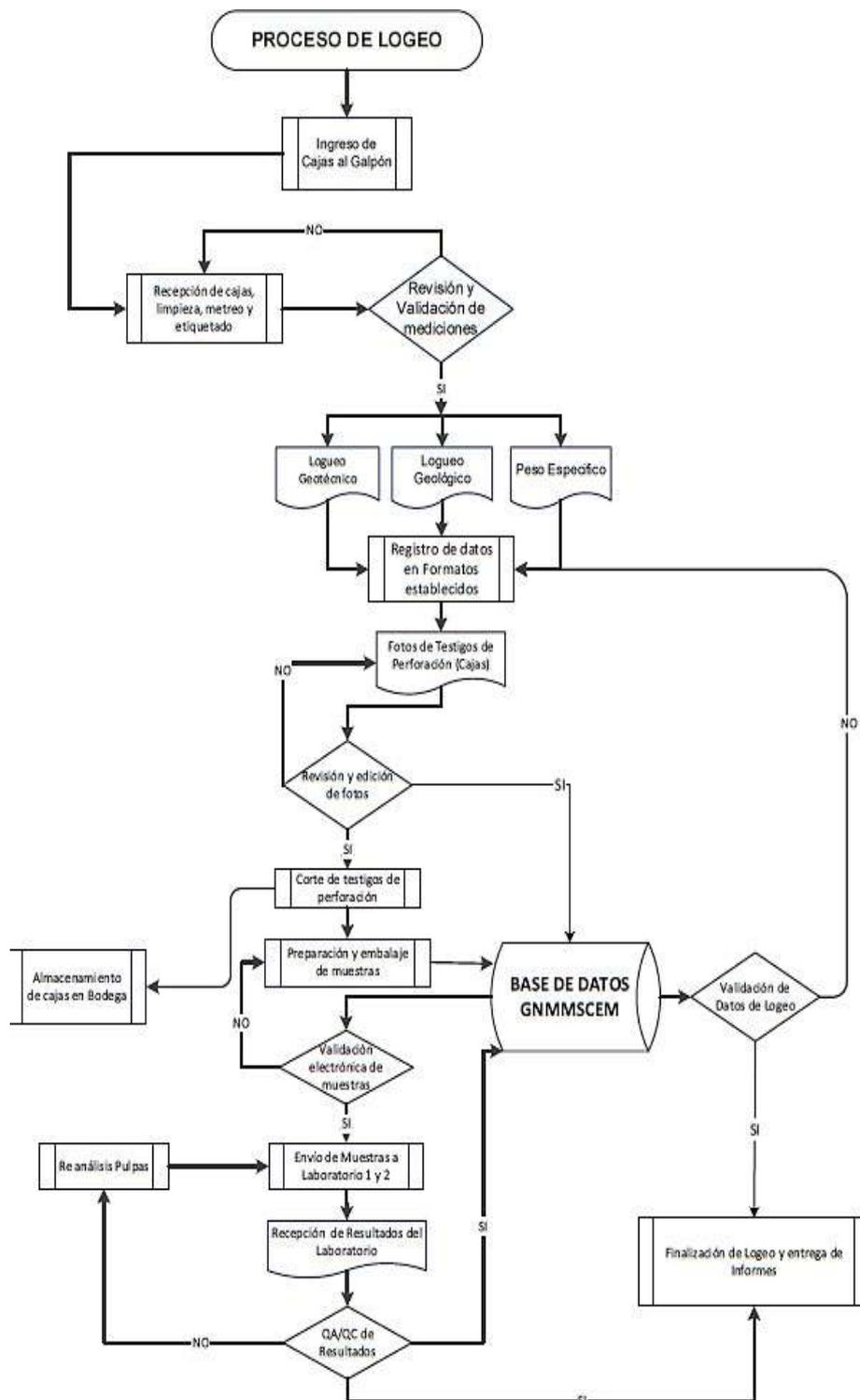


Figura 15 Procedimiento de logeo (Gran Nacional Minera Mariscal Sucre, 2013).

3.2.2.3 Ensayos en laboratorio.

Se cuenta con los análisis de las muestras ya tomadas por la compañía minera Curimining S.A, la información será procesada para el respectivo análisis y elaboración de los resultados, que incluirá mapas de zonificación y distinción de zonas anómalas para el desarrollo del estudio.

Las muestras de roca seleccionadas y llevadas al laboratorio fueron tomadas de los testigos de perforación de alrededor de 30 pozos de exploración.

Curimining S.A. ha desarrollado e implementado los protocolos de perforación, de muestreo y control de calidad (QA/QC), con la finalidad de garantizar que los datos recogidos sean de total confiabilidad y aceptables, siguiendo los estándares internacionales de la industria minera. Los métodos de muestreo utilizados a través del desarrollo de un proyecto se dividen en muestreo en superficie y muestreo en perforación, a continuación, se detallará el paso a paso del método realizado.

3.2.2.4 Preparación y análisis de muestras

Las muestras de rocas (Rocas en Superficie, y Testigos de Perforación) se envían a dos laboratorios: ALS Chemex y BSI Inspectorate. Estos laboratorios preparan las muestras en Quito y envían la muestra de aproximadamente 100 gramos a los laboratorios de Lima-Perú para el análisis; el transporte lo realizan utilizando DHL para Chemex y TNT Courier para Inspectorate.

PREPARACIÓN DEL LABORATORIO:

- BSI INSPECTORATE

Para rocas en superficie y testigos de perforación, la preparación solicitada por Curimining S.A., es generalmente PREP-01; que consiste en secado, chancado, homogenizado (hasta 8 kilogramos) y pulverizado de 300 gramos (malla #150).

Para el oro es determinado usando el ensayo al fuego (AA) con acabado de espectroscopia de absorción atómica. La plata y los metales base son determinados por dilución con agua regia con un acabado de plasma acoplado inductivamente (ICP).

Para el análisis de oro se utilizó 30 gramos de muestra y para los metales base + Ag, se utilizó 30 gramos de muestra. Los tipos de análisis ordenados por Curimining S.A. son: Au30 Fire Assay/AA (0.005- 5ppm); Ag AA (0.2 - 300ppm) e ICP32 Elementos /AQR. Para sobre límites se utilizó los tipos de análisis Au FA/ Grav. (>5ppm); Ag FA / Grav. (>300ppm); Cu AA (1 – 10 %) y Cu Volumetría (> 10%); Zn AA (1 – 10 %) y Zn Volumetría (> 10%); y Pb AA (1 – 10%) y Pb Volumetría (> 10%).

- ALS CHEMEX

Para rocas en superficie y testigos de perforación, la preparación solicitada por Curimining S.A., es PREP-31b; que consiste en secado, chancado total de la muestra a >70% - 2mm (malla #10), y cuarteo representativo con cuarteador de ranuras, fracción de 1000 gramos para pulverizar a >85% (malla #200).

Para el oro es determinado usando el ensayo al fuego y acabado con espectroscopia de absorción atómica (AAS); la plata por dilución en agua regia y acabado con espectroscopia de absorción atómica (AAS); y los metales base por dilución en agua regia asociado con plasma inductivamente (ICP).

Los tipos de análisis ordenados por Curimining S.A. son:

- Au-AA25 (0.01 - 100 g), ensayo al fuego y análisis por AAS. Peso nominal 30g.
- Au-AA26 (1.01 - 100 g), ensayo al fuego y análisis por AAS. Peso nominal 50g.

3.2.3 Secciones Geológicas

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 datos multielementos.

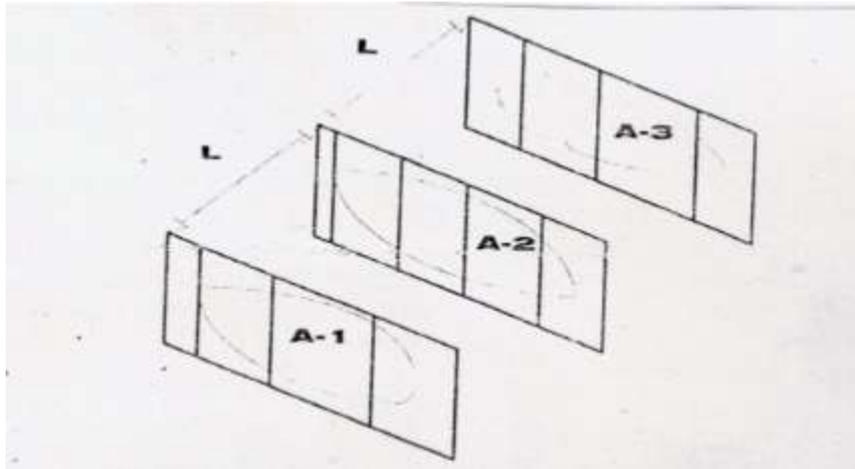


Figura 16 Perfiles Geológicos para modelamiento 3D del depósito.

La correlación geológica entre las secciones y la información geológica recogida de trabajos previos investigados.

3.2.3.1 Modelo Geológico en 3D

Con la información geológica de los sondeos de exploración cargada en una base de datos previamente construida, con la ayuda del programa Geosoft, se creó un modelo digital que permite la visualización en un bloque 3D del depósito El Domo.

3.2.4 Geoquímica de los Testigos de perforación.

Para la caracterización Geoquímica del depósito, se realizó un estudio minucioso estadístico en la que se procedió de la siguiente manera.

3.2.4.1 Análisis de datos Geoestadísticos

El estudio se enfocó en 12 elementos Au, Ag, Cu, Pb, Zn, As, Ba, Cd, Hg, Mn, Sb y Sr obtenido en los núcleos de perforación que fueron analizados en los laboratorios.

Estadística Básica:

- Media muestral: es una medida de localización. Para los datos de la i-ésima variable se define como:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ji}$$

- Desviación estándar muestral: Es otra medida de dispersión tiene la ventaja de que posee las mismas unidades de medición de los datos. Para los datos de la i-ésima variable se define como:

$$s_i = +\sqrt{s_i^2}$$

Sé realizó un 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 (**x**) y desviaciones estándar (**σ**) las cuales se explican a continuación:

- Background = (**x**)
- Threshold = (**x**) + (**σ**)
- Subanomalía = (**x**) + (**2*σ**)
- Anomalía = (**x**) + (**3*σ**)

3.2.5 Correlación de Pearson

Se realizó el análisis del comportamiento Geoquímico de Rocas realizando el procedimiento propuesto por Karl Pearson (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.

3.2.6 Tratamiento Geoestadístico

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:

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

A los resultados analizados se les calculo sus estadísticas básicas como promedio, desviación estándar, máximos y mínimos cuyas tablas estarán en los Anexos.

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.

4 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.1 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.

4.1.1.1 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-fílica (Cuarzo, sericita, pirita) (Fig. 17,18), esto tiende a hacer que los feldespatos sean difíciles de ver, pero enfatiza los fenocristales de cuarzo.



Figura 17 Sondaje 1 @179m Riolita porfírica con vetillas de cuarzo+Pirita+Esfalerita (zonas gris oscura-amarillento)

La orientación de la foliación de flujo en los flujos de riolita, esto se debe a que estos flujos altamente viscosos tienden a tener foliaciones empinadas, el grosor de la riolita es mayor a 50 m.

Se interpreta a la Riolita como un flujo de lava submarino, no se observaron diques transversales aflorando de Riolita en el área de estudio. Los flujos de lava de Riolita son demasiado viscosos para fluir lejos de su fuente, lo cual se deduce que es una cúpula, Probablemente sea parte de un complejo de domo de flujo, que marca un ciclo de volcanismo submarino ácido.



Figura 18 Sondaje 1 vetilla de Cuarzo + Esfalerita en la Riolita.

4.1.1.2 Dacita Autobrecha.

Tiene un espesor de aproximadamente mayor de 100 metros. Es de color verde claro, de grano fino, posee plagioclasas porfiríticas en una matriz vítrea verde oscuro, textura brechiforme monomíctica, con fragmentos de 5 mm a 5 cm. En sectores es más polimíctica 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.

La brecha comúnmente contiene "clastos" grises oscuros dispersos de un basalto andesítico o basalto de grano fino (Fig. 19). Los bordes de estos "clastos" son sinuosos. El basalto localmente tiene lenticulos de cuarzo y está enriquecido con pirita diseminada. Se los interpreta como clastos intrusos en lugar de clastos transportados, están mejor desarrollados cerca de umbrales y diques menores del mismo tipo de roca, que admite un origen intrusivo.



Figura 19 Sondaje 1 @189.5m Se observa cómo se abren espacios entre la Dacita Brecha, rellenas de vetillas de cuarzo.

4.1.2 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.

El vidrio volcánico es abundante inmediatamente arriba de los horizontes masivos de sulfuro. Comúnmente muestra fracturación perlítica, el vidrio disminuye hacia arriba en la MSU y las tobas lapilli se vuelven progresivamente más dominadas por fragmentos líticos que por vidrio.

4.1.2.1 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-sericita. El diámetro aproximado de estos vetilleos 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-sericita-pirita.



Figura 20 Sondaje 12 @98.9m Brecha Hidrotermal, matriz gris claro a oscuro silicificada, contiene Py+Sph+Cpy formando stockwork débil.

4.1.2.2 Yeso

Se encuentra generalmente debajo del sulfuro masivo. Se presenta en forma de vetilleos 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 piritita 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.



Figura 21 Sondaje 1 @223m Masivo de Yeso pseudobrechado.

La anhidrita/yeso debe formar una "losa" sub-vertical 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.

Tabla 5 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	46900.000	5.000
Pb(ppm)	676.3	2964.5	41100.000	3.000
Zn(ppm)	5480	14129.8	104500.000	8.000
As(ppm)	219.2	510.5	5728.000	3.000
Ba(ppm)	495.8	981.3	5679.000	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

Al ser la zona de Yeso y la brecha hidrotermal, la zona de Stringer o “Feeder zone” del yacimiento, los datos fueron muestreados en conjunto y los valores estadísticos se resumen en la tabla 5.

Brecha Hidrotermal + Yeso

La parte de 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 5).

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 (Anexo 11),

La correlación del Cu-As ($r=0.4$) llama la atención al ser este la única que se asociación 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 + Pirita + Calcopirita diseminada, Pirita + 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) como se puede observar en la figura 8.

4.1.2.3 Sulfuro Masivo

Esta parte alberga la mayor parte de los sulfuros masivos volcanogénicos (> 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 ácida inferior.

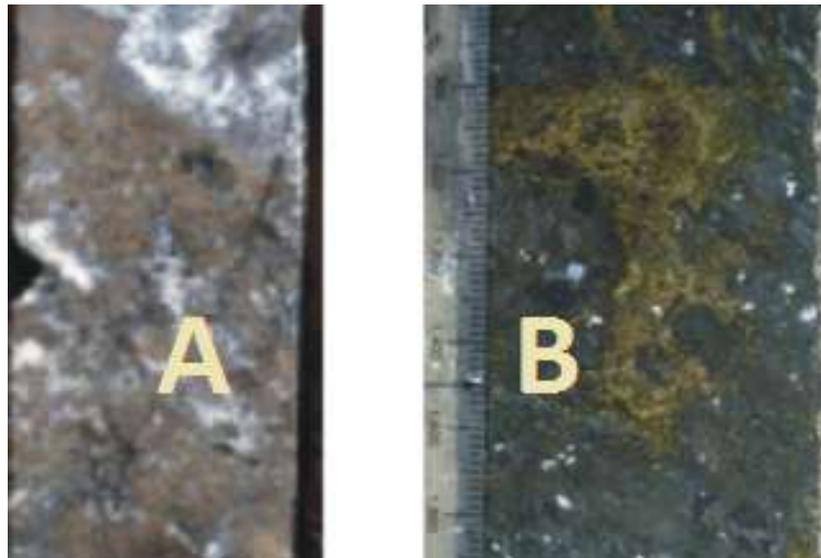


Figura 22 (A) Sulfuro masivo de Esfalerita + Barita, (B) Lapilli tuff alterado por sulfuros de calcopirita + pirita.

Dado que esta unidad está formada exclusivamente por material mineralizado (Fig. 22), se describe con más detalle a continuación. Su grosor oscila entre 20 cm y 25 m y sigue estrictamente el contacto entre la unidad ácida inferior y la unidad Tobácea 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. Comprenden 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 polimíctica (fig.26).
4. Fragmentos de pseudo-sulfuro dentro de tobas de lapilli polimícticas.
5. Finas capas silíceas finamente estratificadas con sulfuros en bandas. Estos muestran textura botroidal (fig.23).

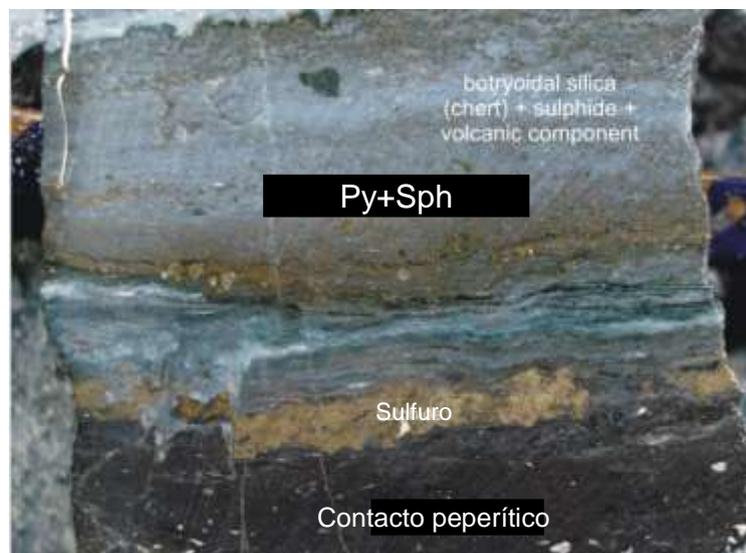


Figura 23 Sondaje 4 @60m. Secuencia volcano-sedimentaria de contacto del contacto de la sílica botroidal con el sulfuro y lodos tobáceos.

Para la unidad de Sulfuro Masivo se comprueba la presencia de valores anómalos tanto en sus elementos polimetálicos, y en sus elementos indicadores (tabla 6), 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)+ Galena (PbS)+ Esfalerita (ZnS) y en menor cantidad de Tetraedrita (Cu,Fe,Ag) Sb_4S_3) 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 6).

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. (fig. 24) El gráfico de la izquierda ilustra el entorno de deposición típico donde la descarga hidrotermal se realiza en medios porosos, como los estratos volcanoclásticos, o en horizontes turbidíticos. El gráfico de la derecha ilustra el entorno de depósito donde los estratos se componen de medios no porosos, como los flujos volcánicos.

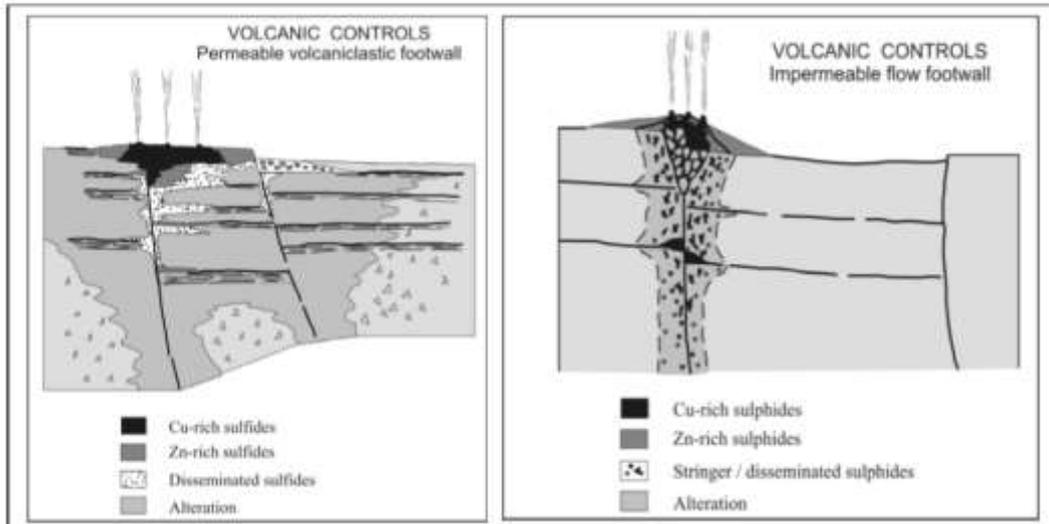


Figura 24 Diagrama comparativos de los Elementos Zn-Cu y sus propiedades genéticas para mineralizarse en rocas permeables e impermeables.

(Schandl, 2009) Realizo un estudio de varias muestras en los sondajes (1 y 3). El cual comprobó petrográfica y químicamente la composición de sus fórmulas, minerales como la Tennantita, Esfalerita, Bornita, Barita fueron investigados a detalle, muchas de sus observaciones las comparo con mis correlaciones para poder definir una evaluación más eficaz del sistema de un Sulfuro Masivo Vulcanogénico.



Varias características importantes son evidentes en los datos de composición presentados en un reporte en la que analizo lo siguiente:

- a) La muestra de esfalerita no tiene hierro. Típicamente, la esfalerita contiene entre 5 y 20% de Fe. Su contenido de hierro es una función de la actividad de azufre del fluido formador de mineral. La actividad de alto contenido de azufre es generalmente un fuerte indicador de un sistema de ebullición y, en tal sistema, la plata de oro y algo de cobre ya no se transportan como complejos

de cloruro, sino como complejos de bisulfuro como lo detalla conceptualmente James Franklin.

- b) La Bornita (Fig. 25A) observada en el sondaje 1, a 64.0m de profundidad, así como la presencia anómala de valores altos en Arsénico (revisar Tabla 6) nos indicaría la presencia del mineral Tennantita asociada al Cu; Este conjunto de sulfosal también es típico de los ambientes con alta actividad de sulfuro, y puede haberse formado en parte a partir de un sistema hipersalino (o incluso magmático) como sugiere. Claramente, la abundancia de Sb es un indicador importante de la presencia de depósitos de VMS.

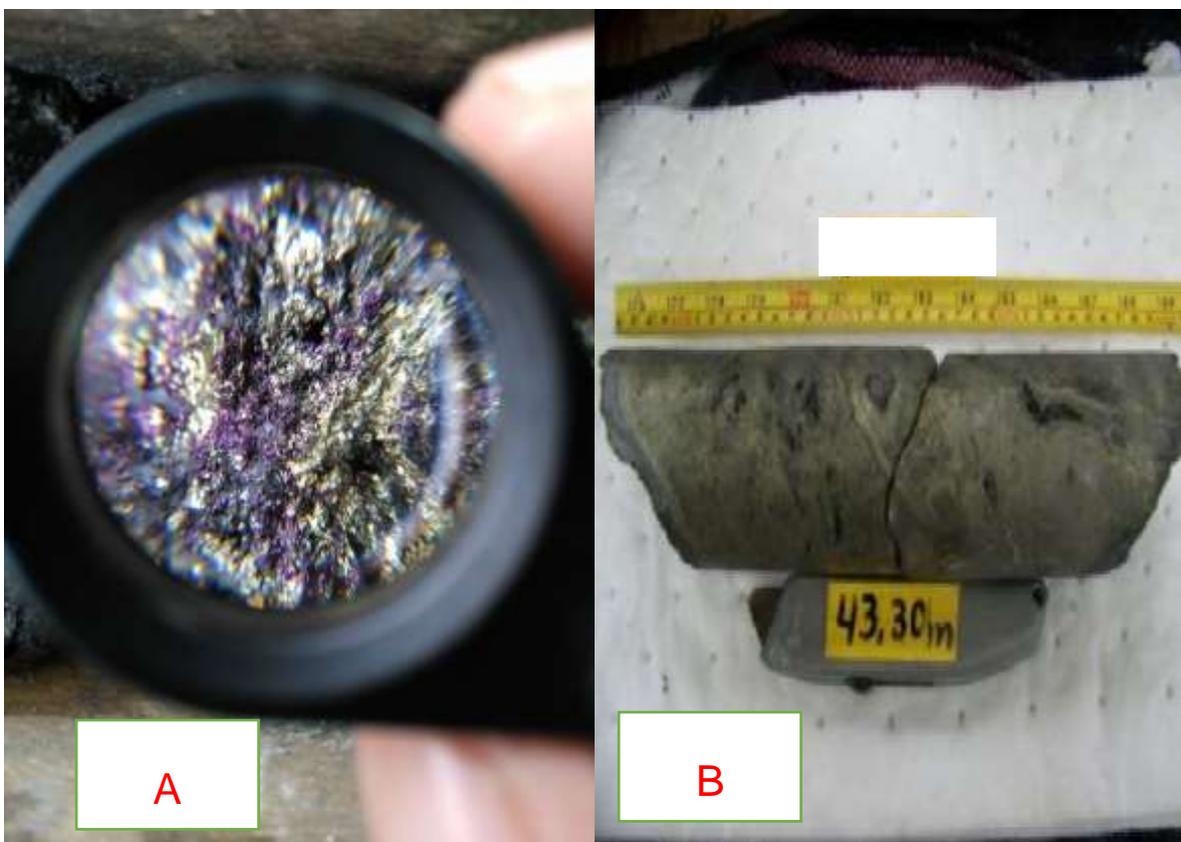


Figura 25 (A) Sondaje 1 @64m Bornita+ Pirita. (B) Sondaje 3 @43.30m Testigo de masivo de solo Pirita.

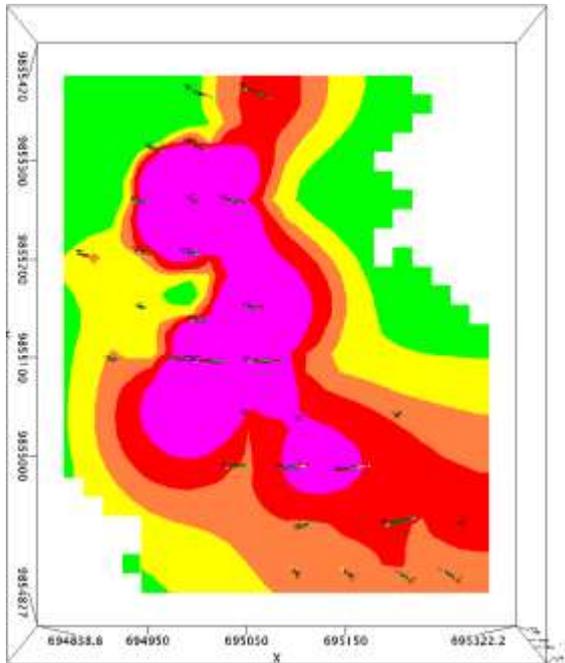
Tabla 6 Medidas estadísticas para el Sulfuro Masivo

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)	4457.392	15538.89	172000.0	25.0
Zn(ppm)	48679.03	87802.68	487000.0	88.0
As(ppm)	968.483	1423.662	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

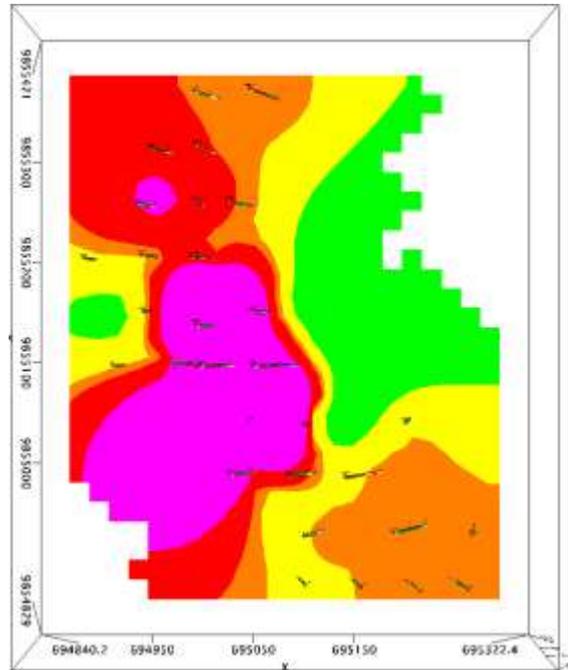
Los mapas de interpolación de los elementos Au, Ag, Cu, Pb, Zn se realizaron tomando como referencia la cota del sulfuro masivo en el yacimiento que oscila entre los 820-845 msnm (Fig.26), los colores de los elementos están clasificados según el rango de valores para anomalías que se muestra en el Anexo 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.

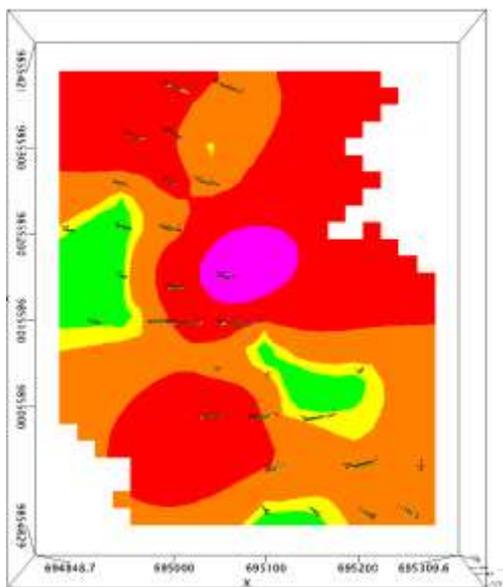
Au



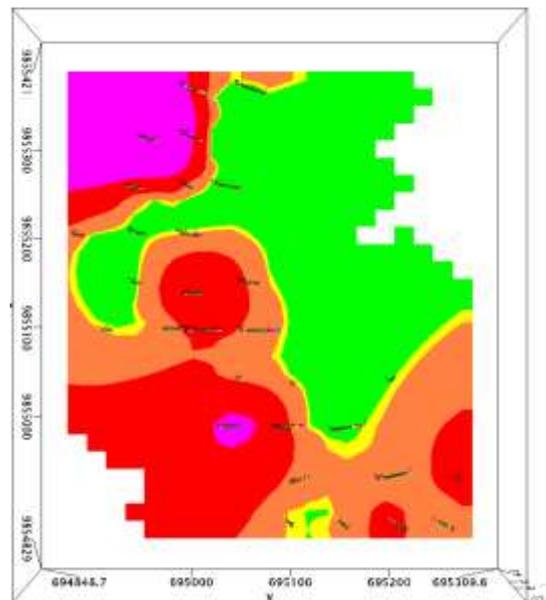
Ag



Cu



Zn



Pb

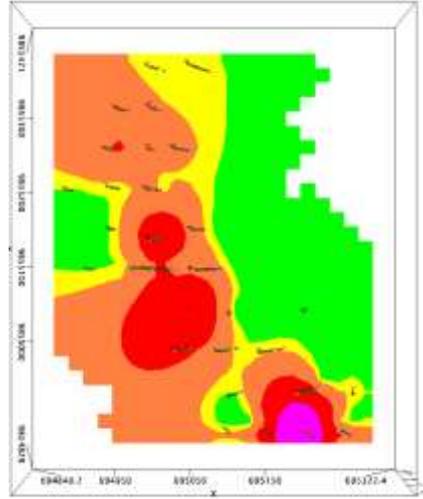


Figura 26 Interpolación de todos los sondajes en la cota promedio del sulfuro masivo para los elementos metálicos

4.1.2.4 Grainstone

Esta unidad, mejor conocida como brecha de "Grainstone" (Fig. 28) se compone de una unidad volcanoclástica 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 sondajes con apariencia de un flujo Debris (fig. 27), 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 proveniendo de chimeneas, y que se desalojaron al mismo tiempo que el hialoclastito y otros

escombros volcanogénicos que se movieron rápidamente, pero probablemente muy localmente.



Figura 27 Grainstone sondaje 2 @49m. (A) Grainstone que ilustra la variación en los tamaños de los clastos, las bases localizadas y la alteración de los clastos más grandes. (B) Se observa que la base inferior está compuesta de limolita fina; la tope superior (arriba está a la izquierda) se clasifica, con clastos gruesos que ocupan un socavamiento en la cama inferior.



Figura 28 Sondaje 3 @30-33m. Grainstone. Composición polimíctica, textura clasto soportado, forma angular en algunos fragmentos.

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 (tabla 7), ($r < 0.4$) 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.

Tabla 7 Medidas estadísticas del Grainstone

Variable	Media	Desv.Est.	Max	Min
Au (g/t)	1.196	2.658	19.4	0.003
Ag (g/t)	24.076	93.252	734	0.1
Cu(ppm)	3416.701	8488.649	55600	5
Pb(ppm)	1986.624	9118.115	76100	3
Zn(ppm)	11056.19	49181.37	414000	66
As(ppm)	361.38	512.478	3240	2.5
Ba(ppm)	659.786	1321.506	9216	5
Cd(ppm)	35.896	133.112	1001	0.3
Hg(ppm)	5.197	21.772	173	0.5
Mn(ppm)	496.479	383.927	1910	22
Sb(ppm)	21.803	51.72	529	1
Sr (ppm)	86.06	54.997	292	21

4.1.2.5 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 sondajes 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 (Fig. 28) que a veces presentan sulfuros tienden a ser de color gris claro debido a la alteración débil de illita + pirita. Sin embargo, en algunos sondajes 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.



Figura 29 Sondaje 3 @52.6m Clastos de sulfuro masivo en la toba lapilli, posiblemente sulfuro por reemplazamiento?

Por encima del horizonte de sulfuro masivo más alto, las tobas lapilli se vuelven verdes y ricas en magnetita y clorita, en la mayoría de los sondajes de perforación, los pocos metros de toba sobre el sulfuro masivo contienen clastos de sulfuro masivo (pirita + calcopirita + esfalerita). También contienen probables parches de sulfuro que crecieron in situ dentro de la toba.

Esto es sugerido por la forma irregular de algunos de los sulfuros. (Fig. 29)

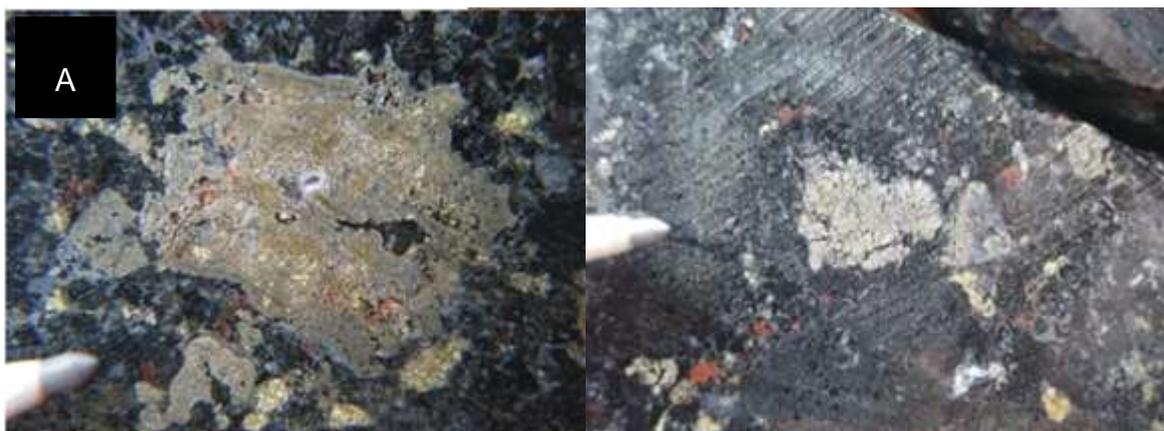


Figura 30 Sondaje 16 @33.4m Matriz toba lapilli con clastos de sulfuro, (A) predominancia de la pirita (verde oscura) sobre la calcopirita (amarilla pardo).

4.1.3 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 (Fig. 30). 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 en Las Naves.



Figura 31 Sondaje 19 @18.5m Fotografía Izquierda, Bioturbidita en tobas verdes de grano fino. Derecha, Lineamentos fallados en la depositación.

Estas capas representan un período de relativa paz y acumulación distal de sedimentos tobáceos después de la fuerte actividad tectónica durante el desarrollo de los sulfuros masivos), los sedimentos y tobas de grano fino llenaron la topografía del graben, la bioturbación indica condiciones propicias para la presencia de óxidos.

Se ha considerado a este tipo de roca como una brecha polimíctica, sostenida por clastos compuesta de fragmentos ígneos caóticos y no clasificados (Fig. 31), 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.

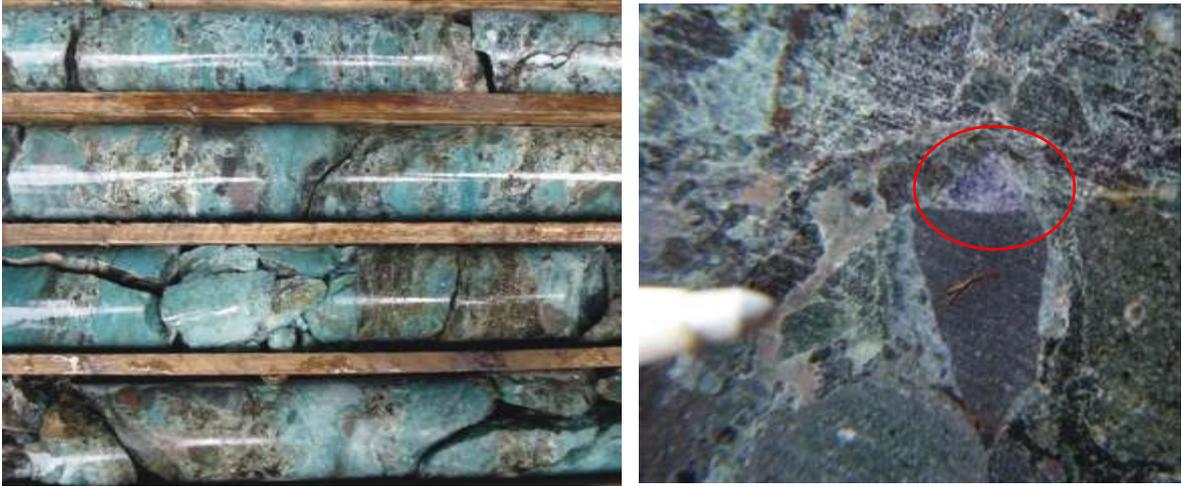


Figura 32 Foto Izquierda Toba brechada polimíctica, clastos mal sorteados subangulares, a la derecha se puede observar la textura vítrea volcánica color verde y fragmentos grises de clastos de andesita porfídica, Fotografía derecha; un clasto de amatista soportada en la matriz.

La litología de los fragmentos en la brecha: (a) andesitas porfídicas de color gris oscuro a verdoso con fenocristales de plagioclasa; (b) areniscas volcánicas, (c) riódacíticas a riolitas ricas en cuarzo con bandas de flujo, que se asemejan a fragmentos de la unidad félsica subyacente; (d) fragmentos de basalto afírica gris oscuro, con pirita diseminada; (e) fragmentos masivos de sulfuro formados por calcopirita, pirita.

4.1.4 Rocas Ígneas.

4.1.4.1 Roca 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 (Fig. 32) 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, pirita y cuarzo. Tiene abundantes vesículas rellenas con zeolitas, cuarzo, epidota o calcita.

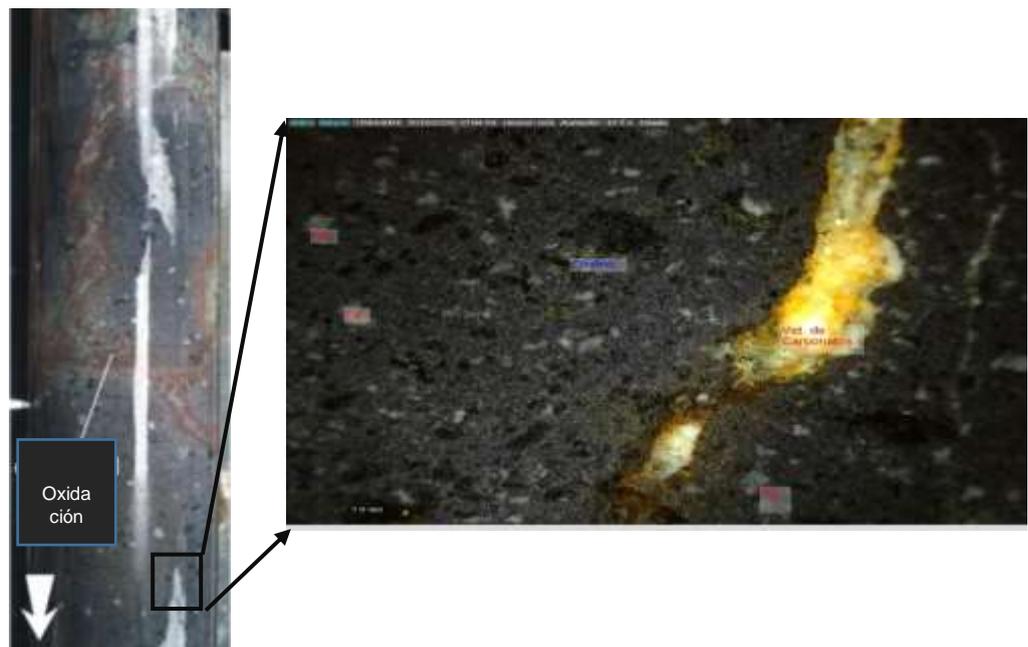


Figura 33 Sondaje 21 @82.70m Basalto con fenocristales de Plagioclasas, olivino, vetilla de calcita, y oquedades rellena de Clorita.

Este basalto fue la fuente original de los clastos máficos en la Brecha polimíctica Volcanoclástica subyacente. Sé observa que el flujo de lava está cubierto por brechas con fragmentos de basalto y hay una notable disminución al alza en los

clastos de basalto dentro de la brecha. La unidad basáltica parece engrosarse hacia el norte, pero localmente se aplasta en la brecha.

4.1.4.2 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 porfiríticas también se encuentran en afloramientos al Noroeste del depósito en forma de diques, con una alteración propilítica regional. Posee vacuolas y vetillas de zeolita, las andesitas representan varios eventos eruptivos en un ambiente de puntos calientes.



Figura 34 Sondaje 27 @117m Roca Andesítica porfirítica en los sondeos exploratorios, presenta la típica alteración propilítica compuesta de clorita, cuarzo, epidota.

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.

4.1.5 Alteración Hidrotermal

Tabla 8

Unidad Tobácea Superior o Hanginwall	Argílica	Dominado por el reemplazo del vidrio máfico por arcilla y filosilicatos. principalmente esmectita, illita, carbonato y clorita, con cantidades variables de cuarzo y pirita y cantidades menores de magnetita, notable presencia de Mn.
	Sulfuro semi-masivo	Mineralización diseminada en las zonas más alteradas y sustitución preferencial de fragmentos máficos y masa de tierra.
Sulfuro Masivo	Chert	Capa de sílice continúa limitada por una zona de alteración argílica
	Barita	Zona de barita maciza de grano grueso con sulfuros diseminados
	Sulfuro Masivo	Reemplazo en la Riolita-Dacita por $Cu > Zn + Pb + Au + Ag$
Unidad Ácida Inferior o Zona Félsica o Footwall	Hematización	Presencia irregular de vetillas de hematita.
	Propilítica	Alteración irregular apenas definida de clorita - esmectita - cuarzo y posicionamiento de la pirita
	Sericita	Sustitución generalizada de feldespatos de la masa basal por sericita (illita).
	Cuarzo - Sericita	Reemplazo generalizado por sílice y sericita (illita).
	Cuarzo - Pirita - Sericita	Zona de alteración interna, texturalmente destructiva.
	Stockwork de Cuarzo - Pirita	Zona de stockwork en la zona de cuarzo-pirita-sericita.
	Stockwork de Yeso - Anhidrita	Zona masiva de yeso y vetilleos de la anhidrita

4.2 Secciones Geológicas y Geoquímicas

Como se puede observar en la los sondeos no se encuentran alineados en un mismo sentido N-S, se muestra el cuerpo en sentido NNE-SSW entre los perfiles (A-A*, B-B*, C-C*, D-D*), a continuación la orientación del cuerpo cambia en sentido NNW-SSE en los siguiente perfiles (E-E*, F-F*, G-G*, H-H*, I-I*, J-J*).

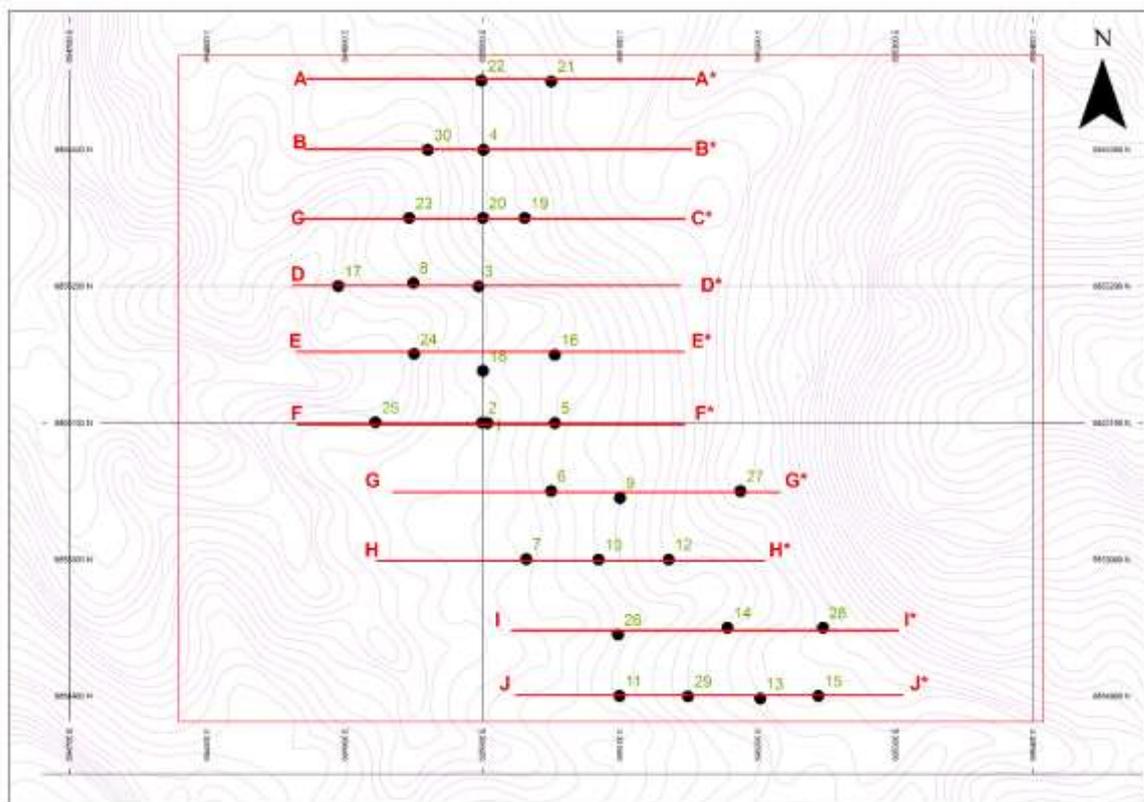


Figura 35 Representación en vista de planta de las secciones Geológicas E-W

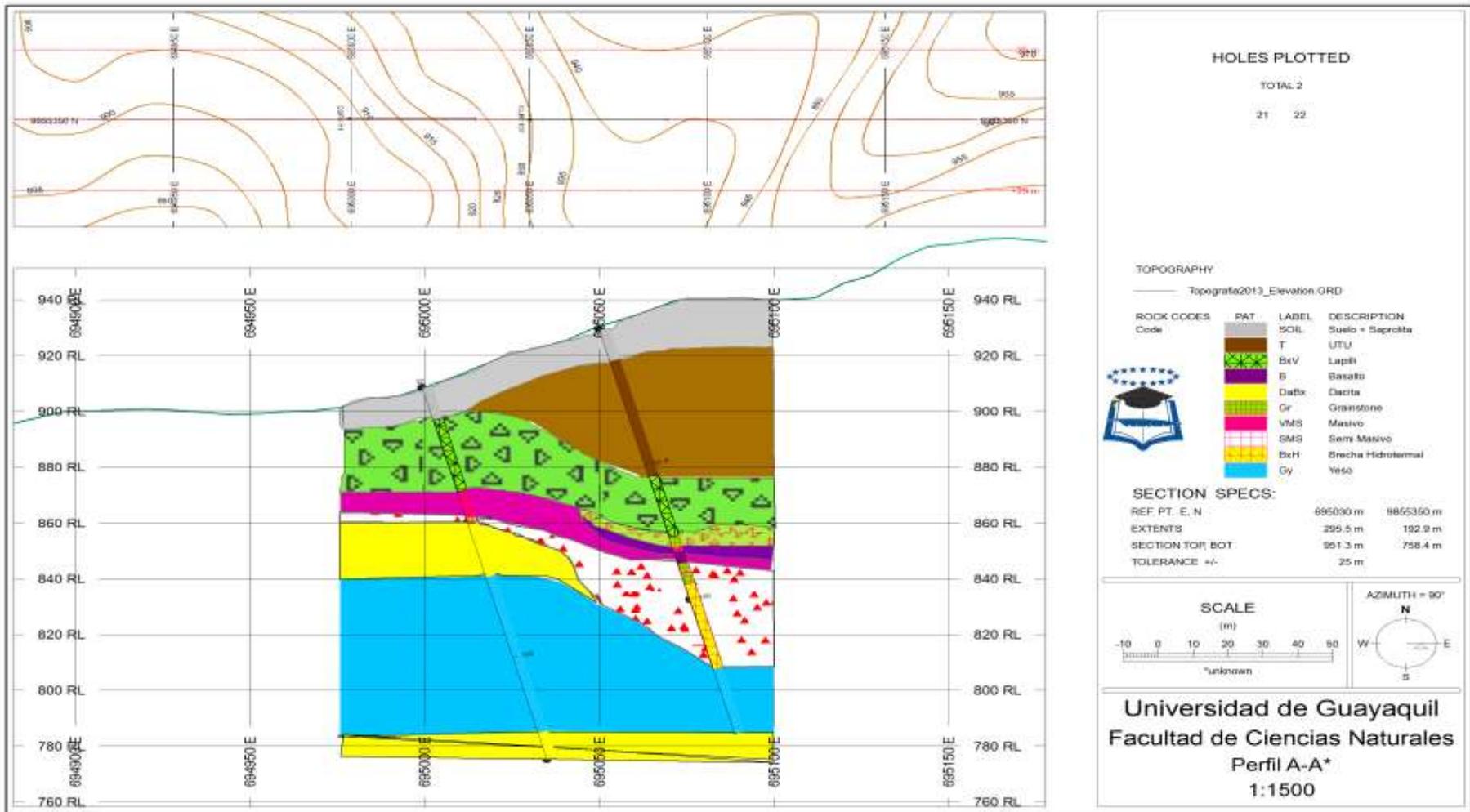


Figura 36 Seccion Geologica A-A*

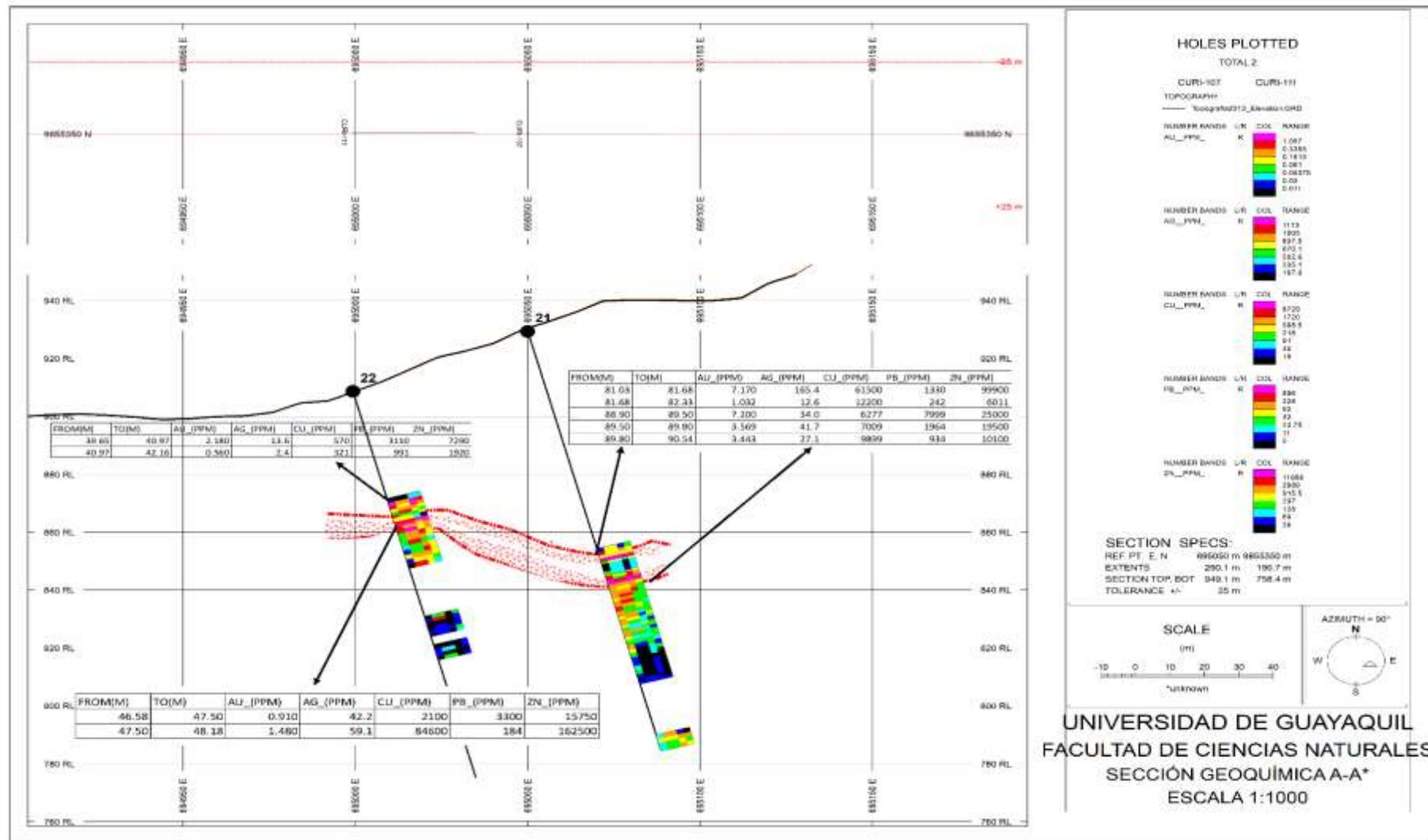


Figura 37 Seccion Geoquimica A-A*

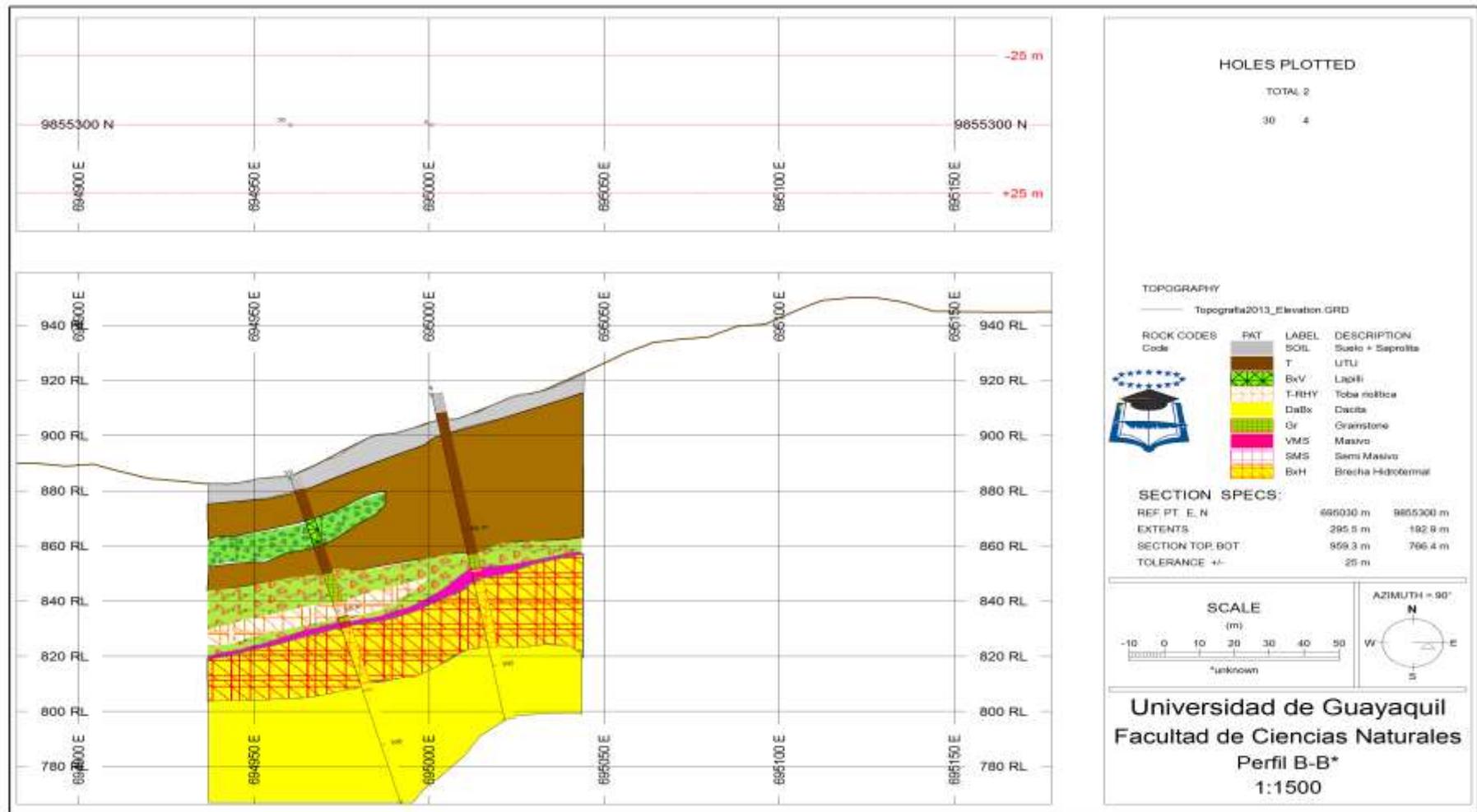


Figura 38 Sección Geológica B-B*

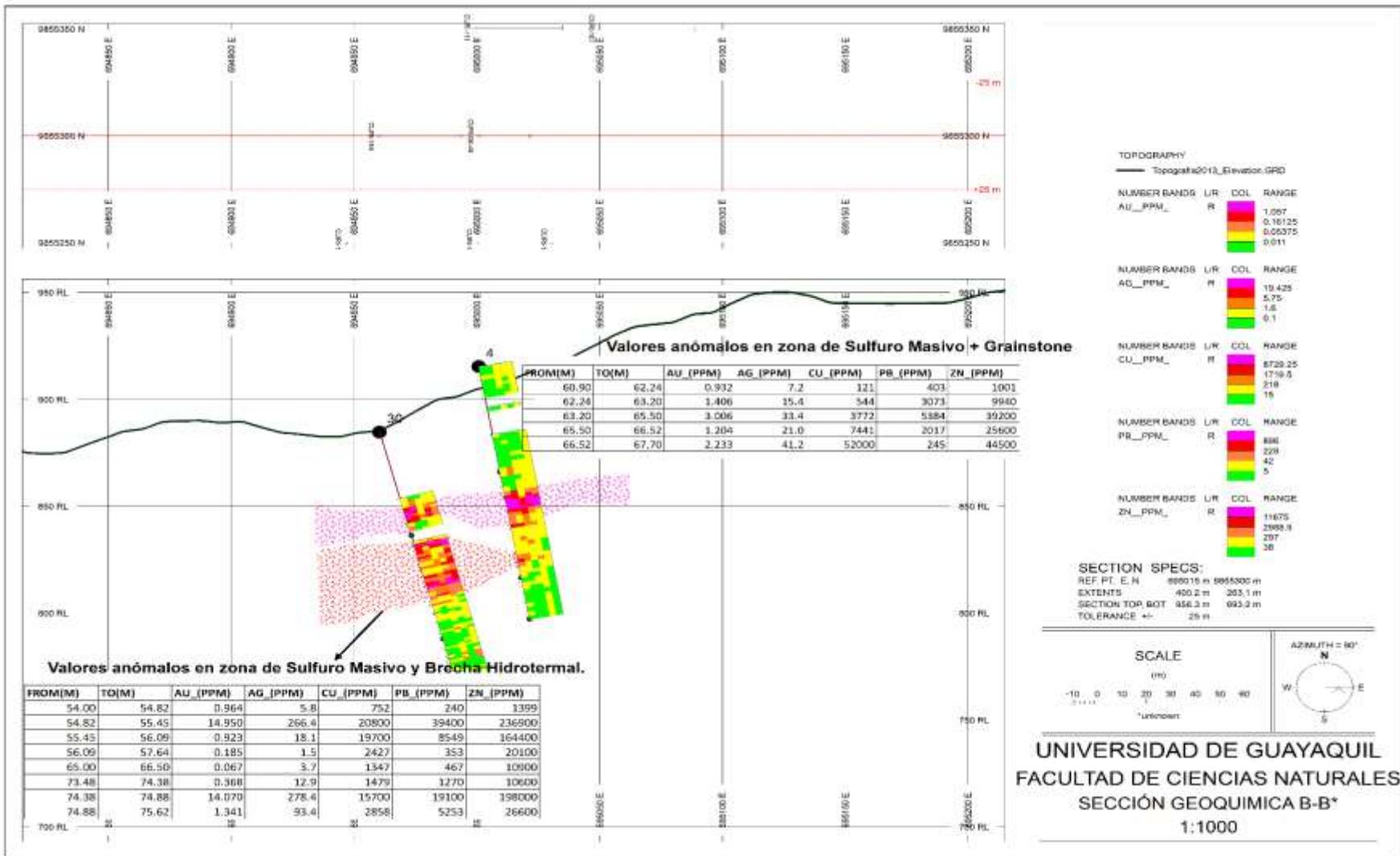


Figura 39 Seccion Geoquimica B-B*

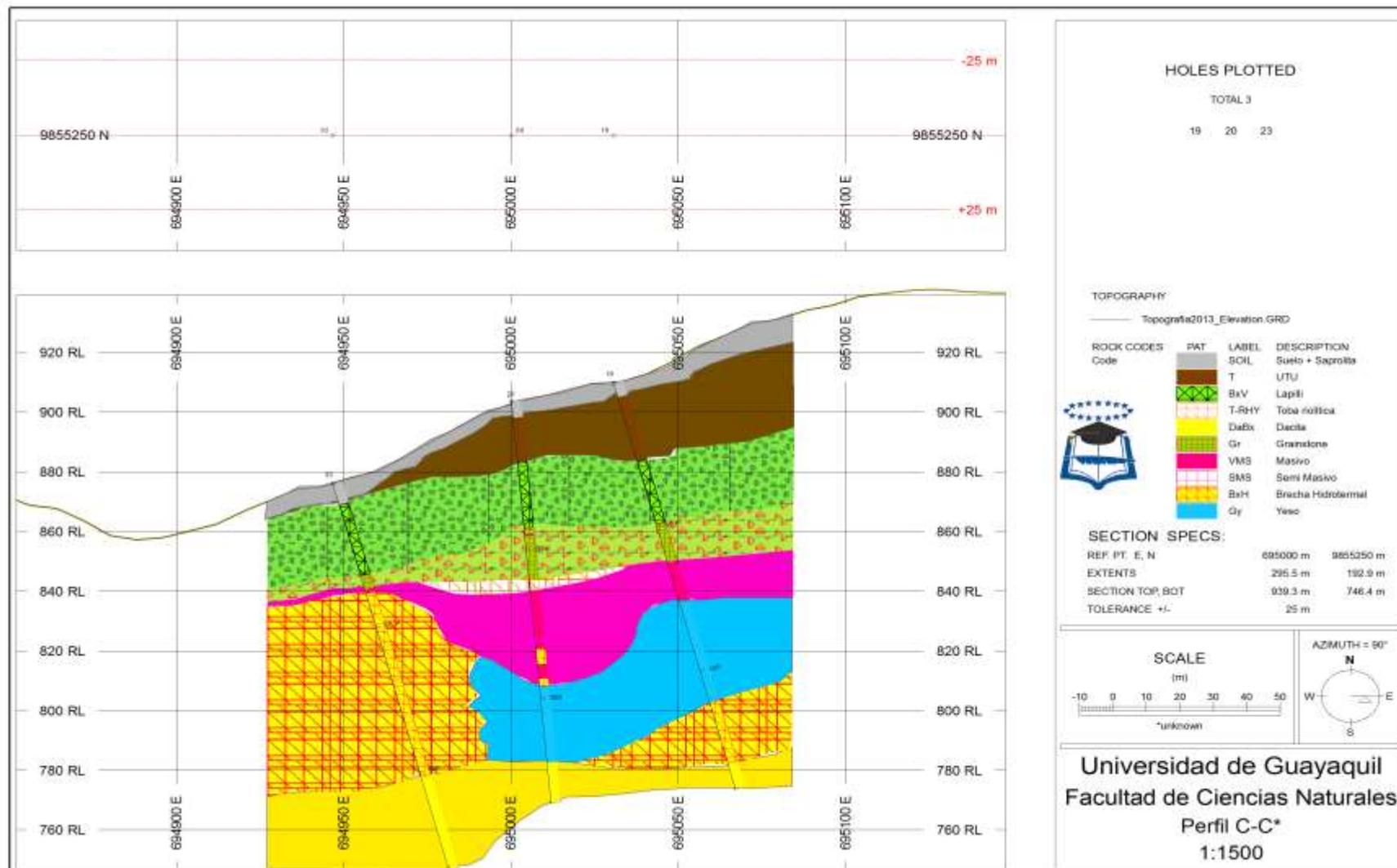


Figura 40 Seccion Geologica C-C*

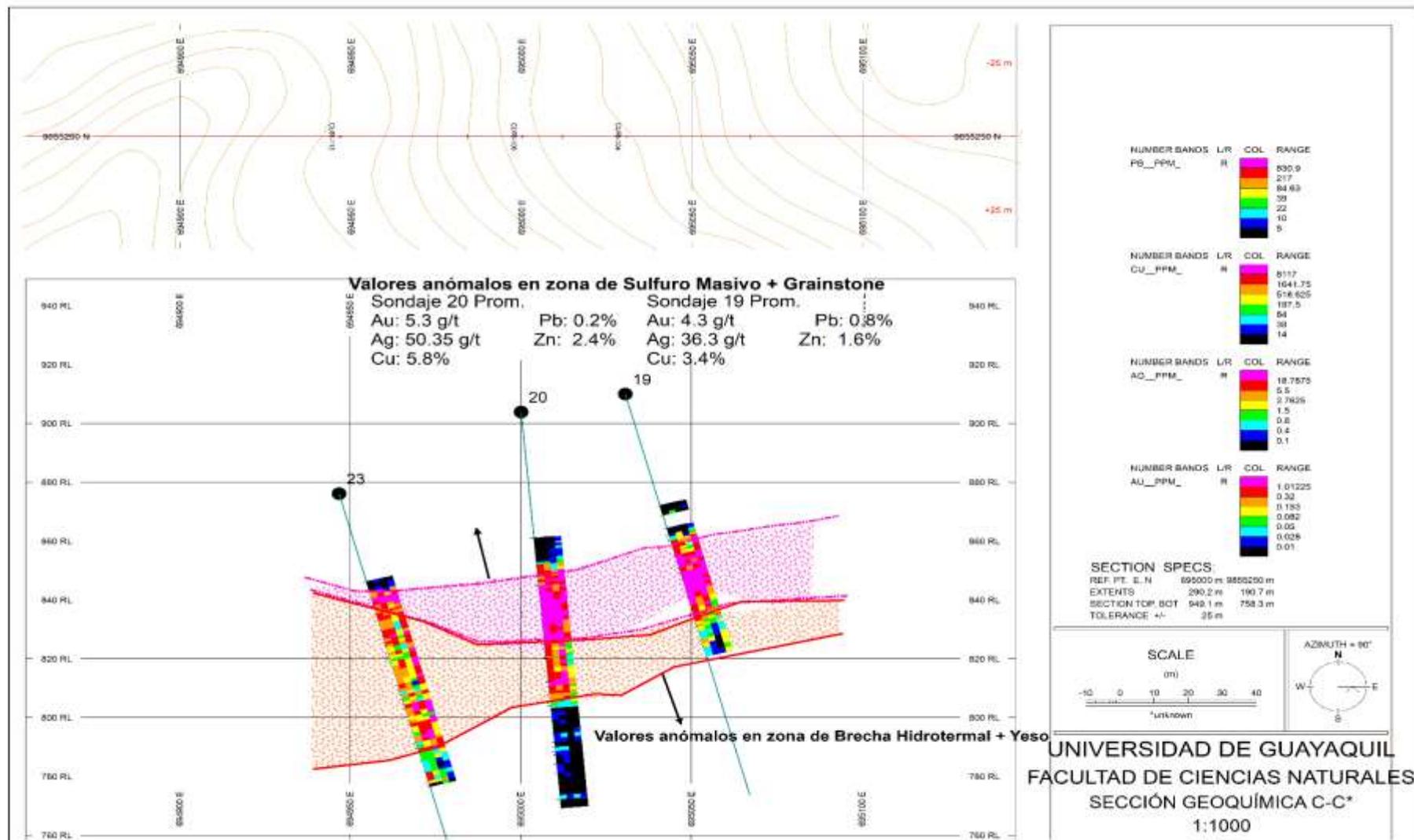


Figura 41 Seccion Geoquimica C-C*

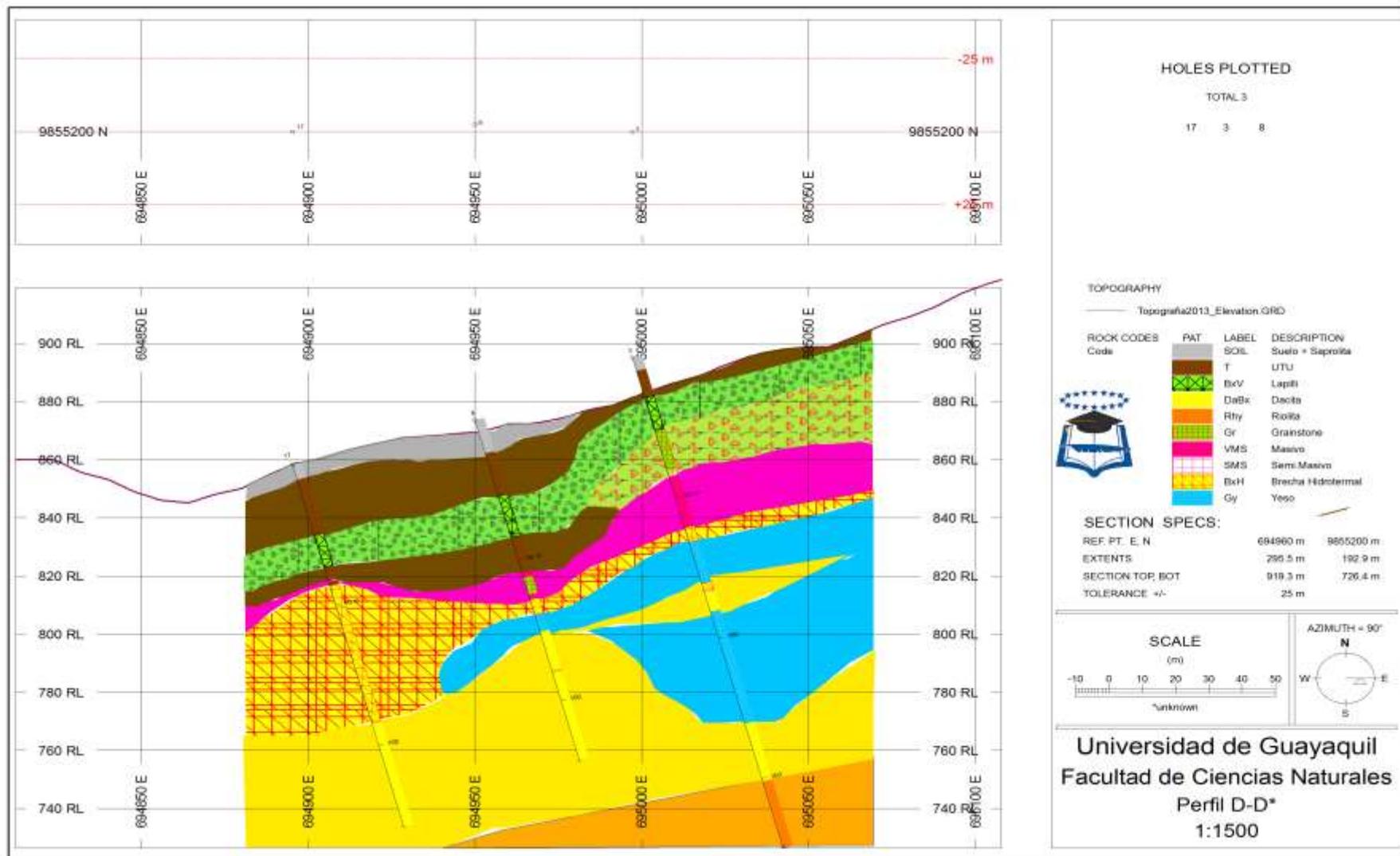


Figura 42 Seccion Geologica D-D*

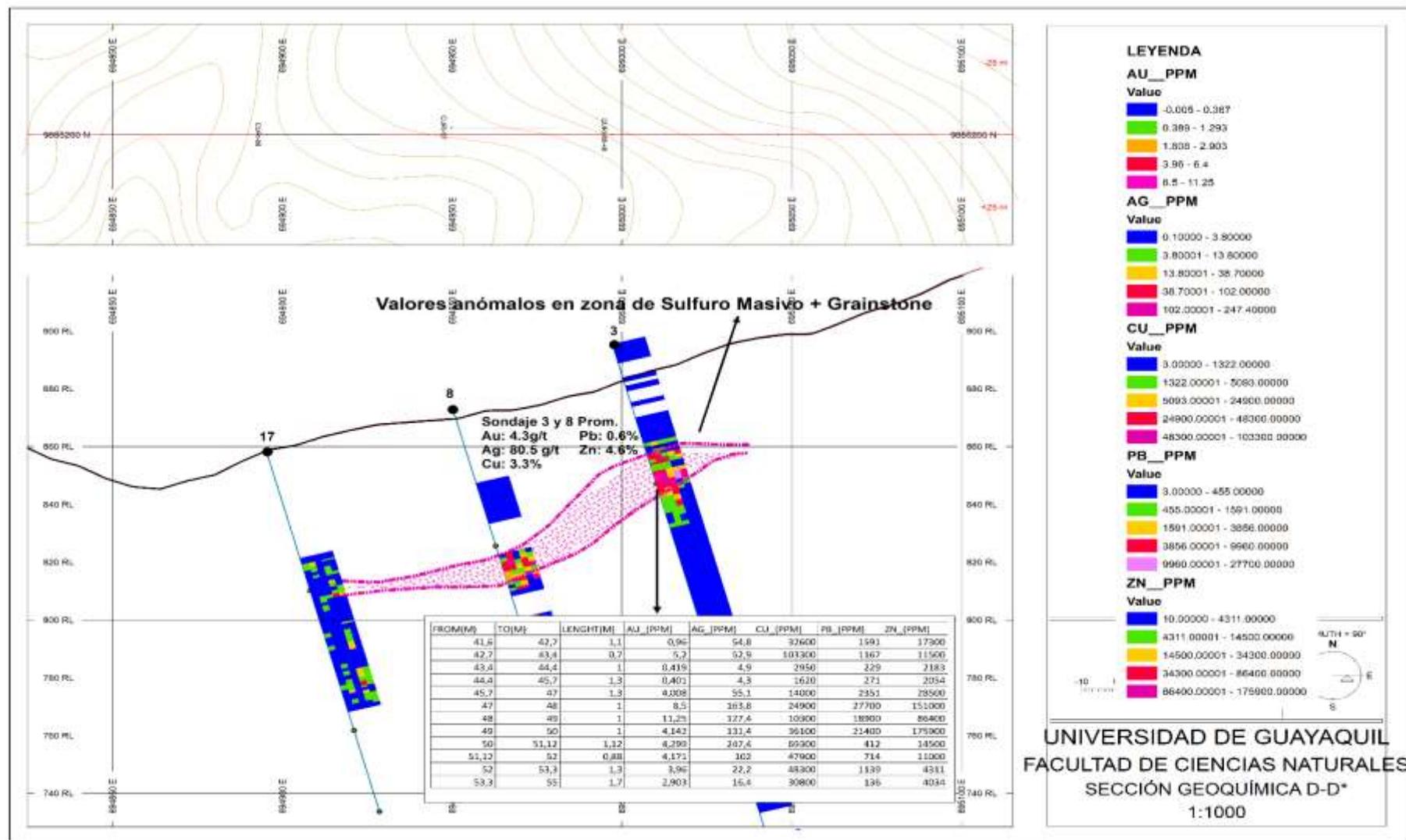


Figura 43 Seccion Geoquimica D-D*

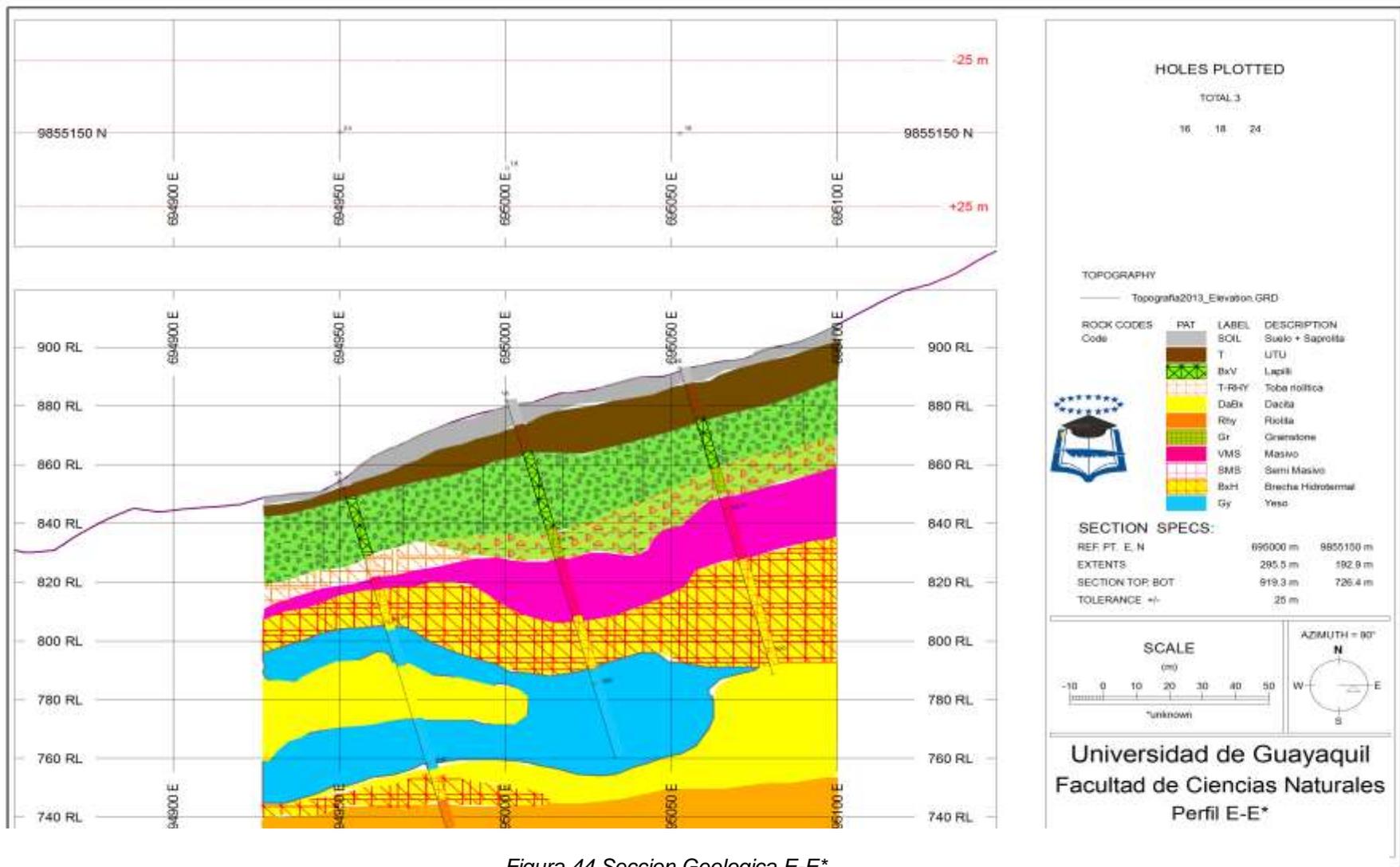


Figura 44 Seccion Geologica E-E*

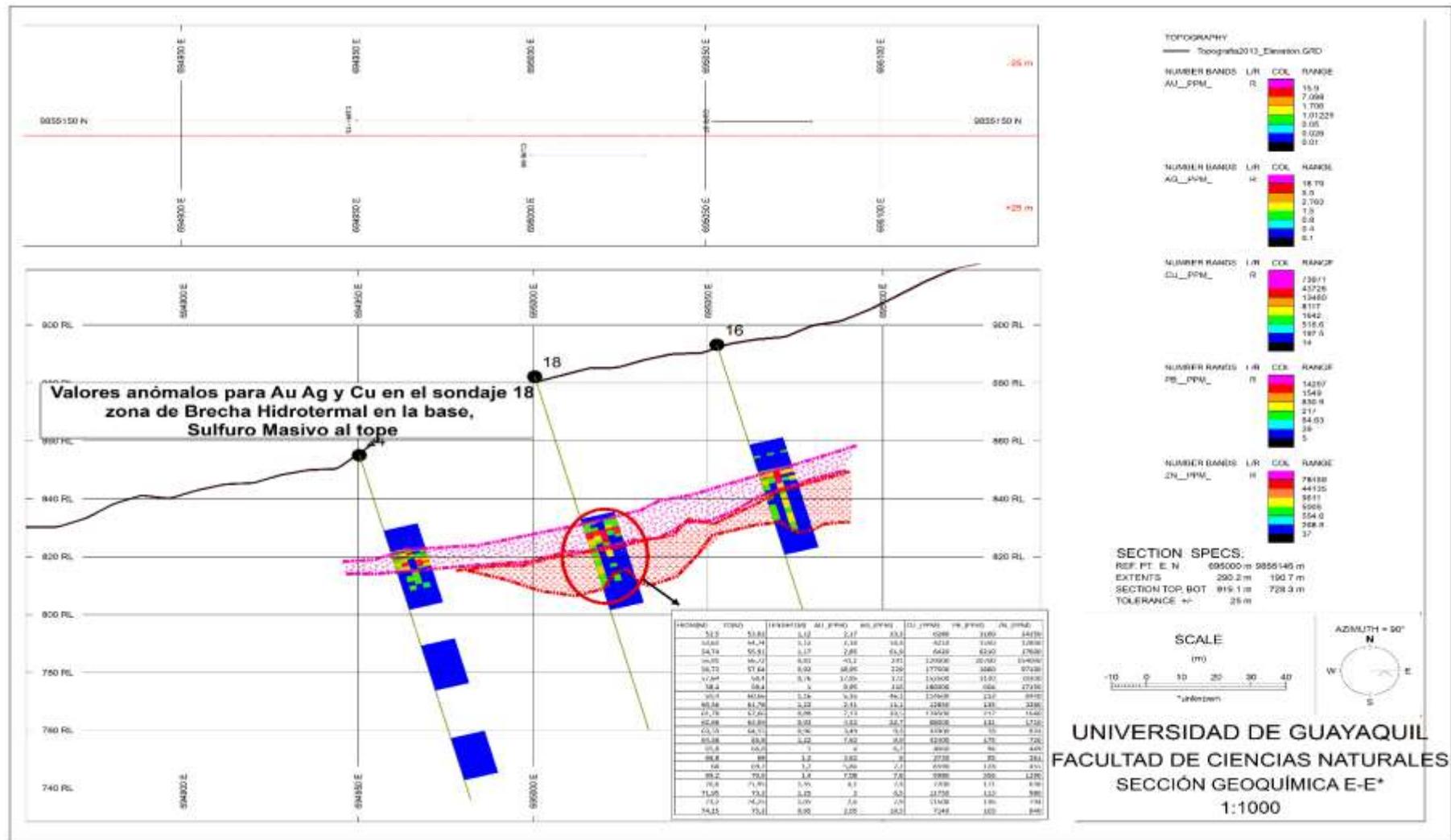


Figura 45 Seccion Geoquimica E-E*

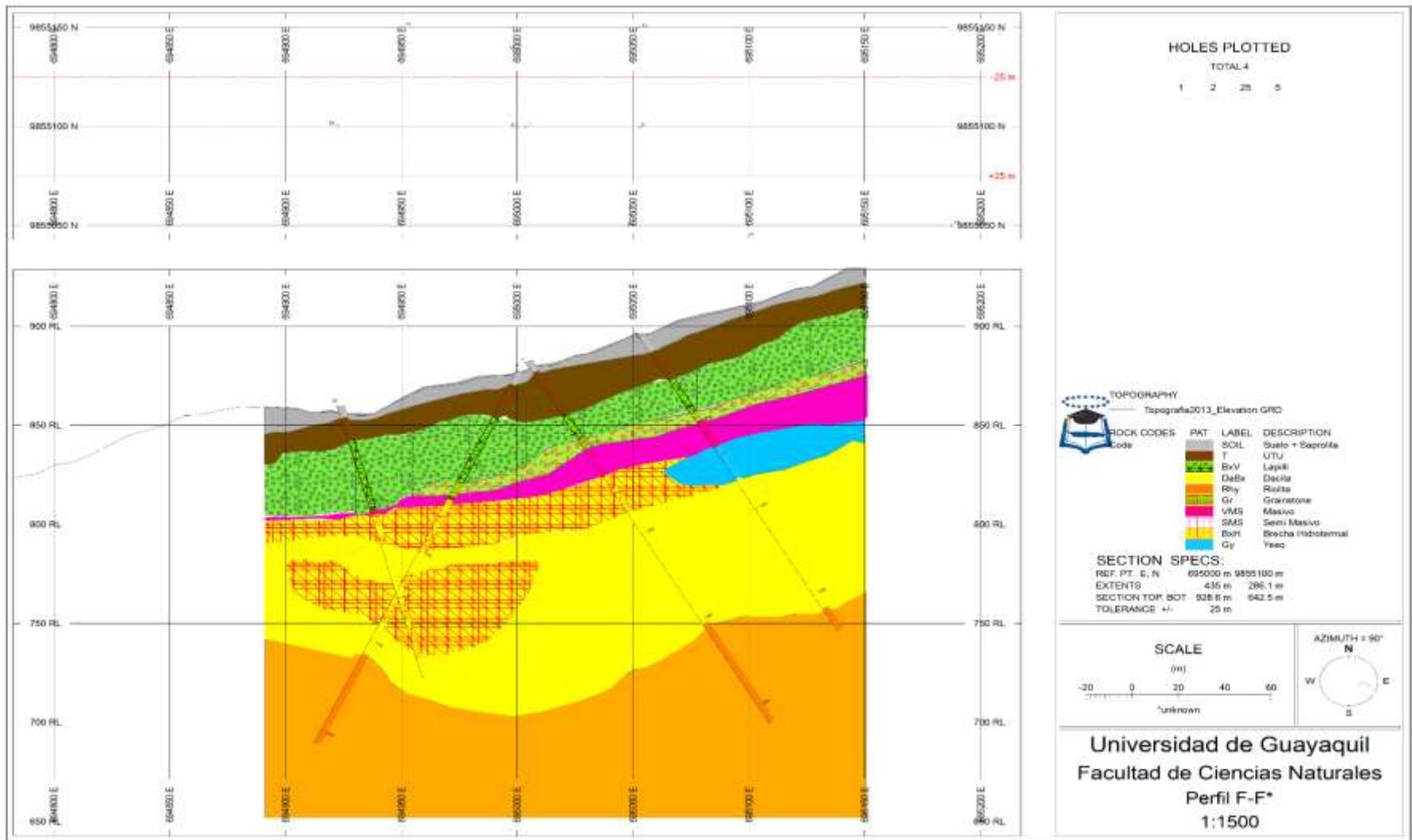


Figura 46 Seccion Geologica F-F*

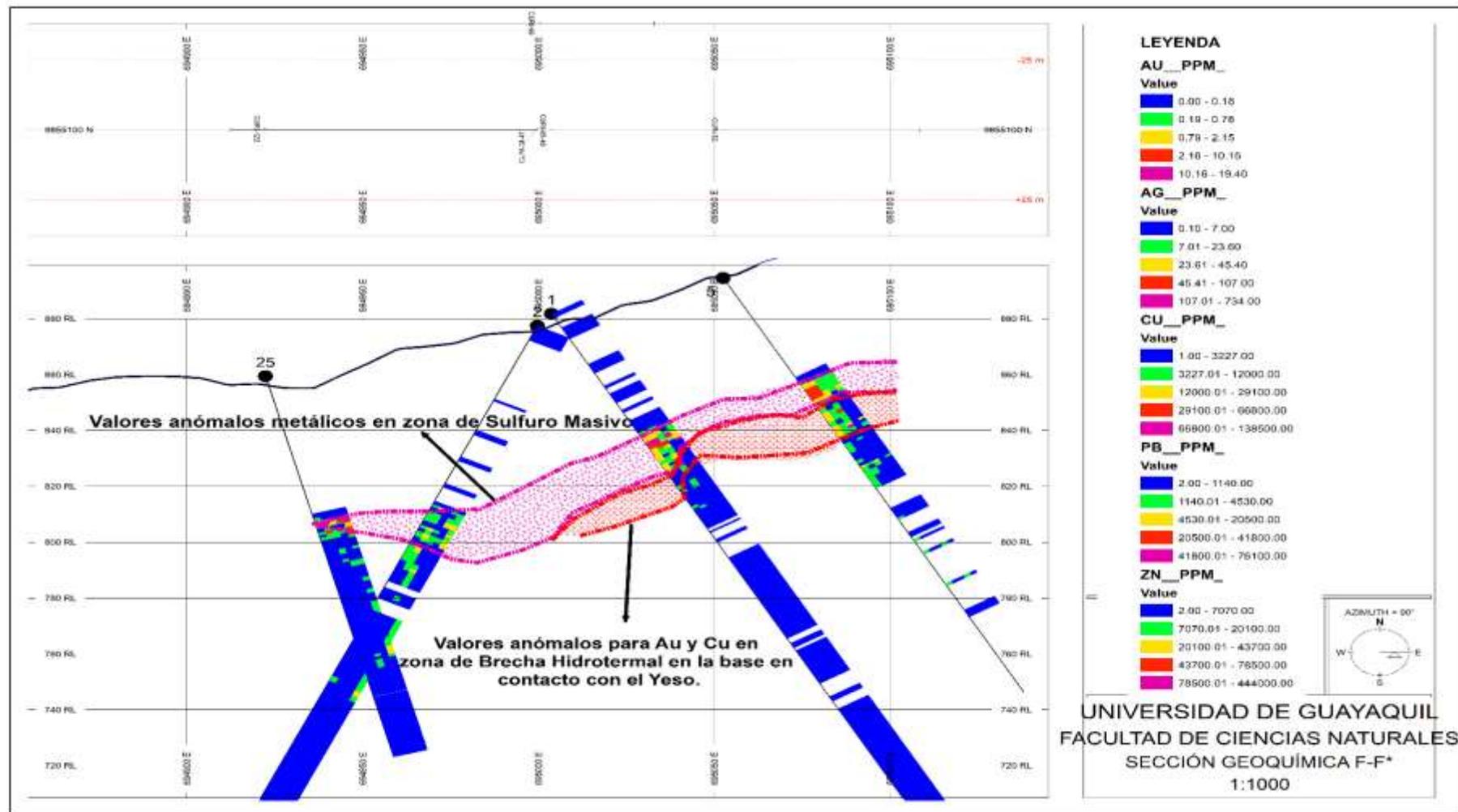


Figura 47 Seccion Geoquimica F-F*

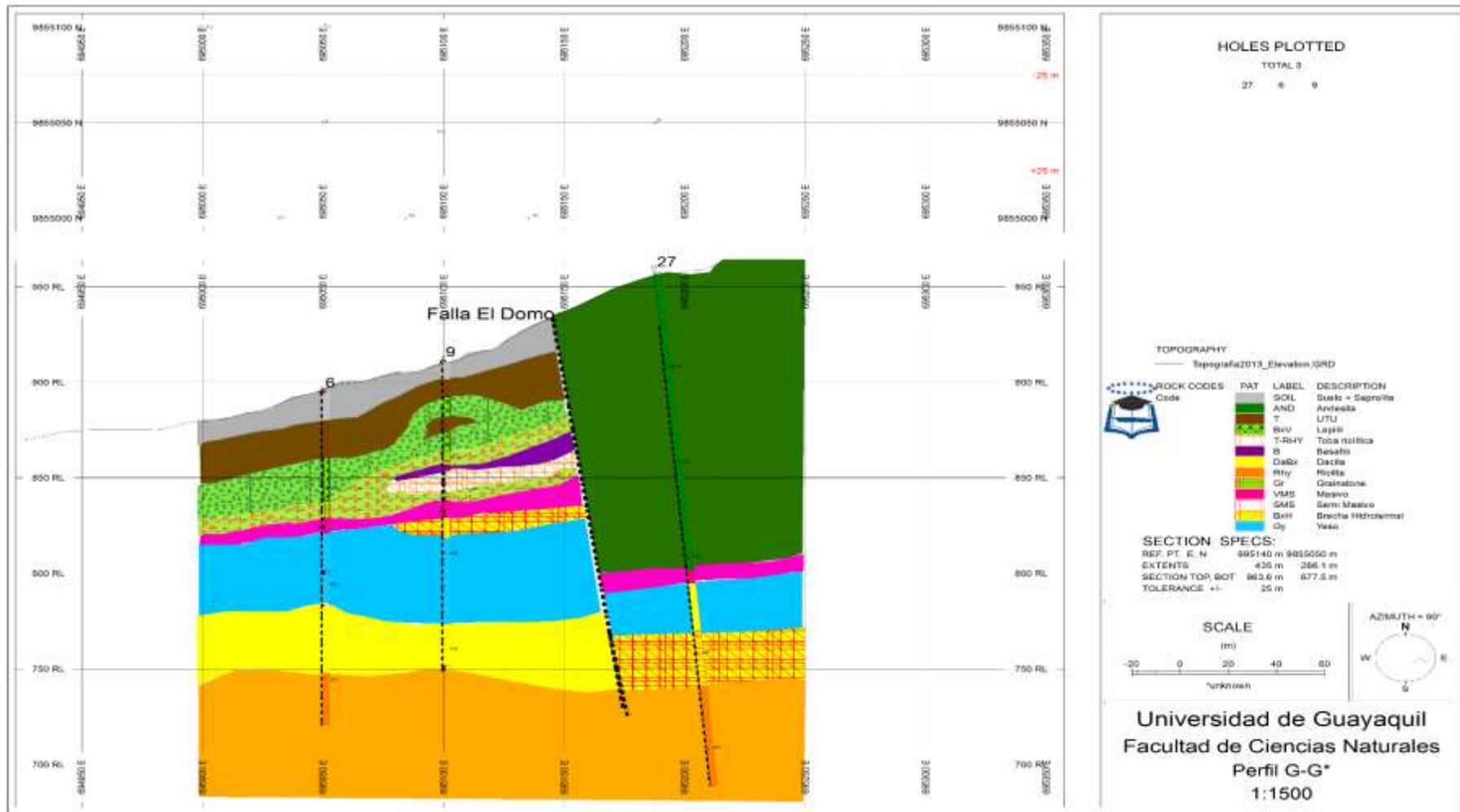


Figura 48 Seccion Geologica G-G*

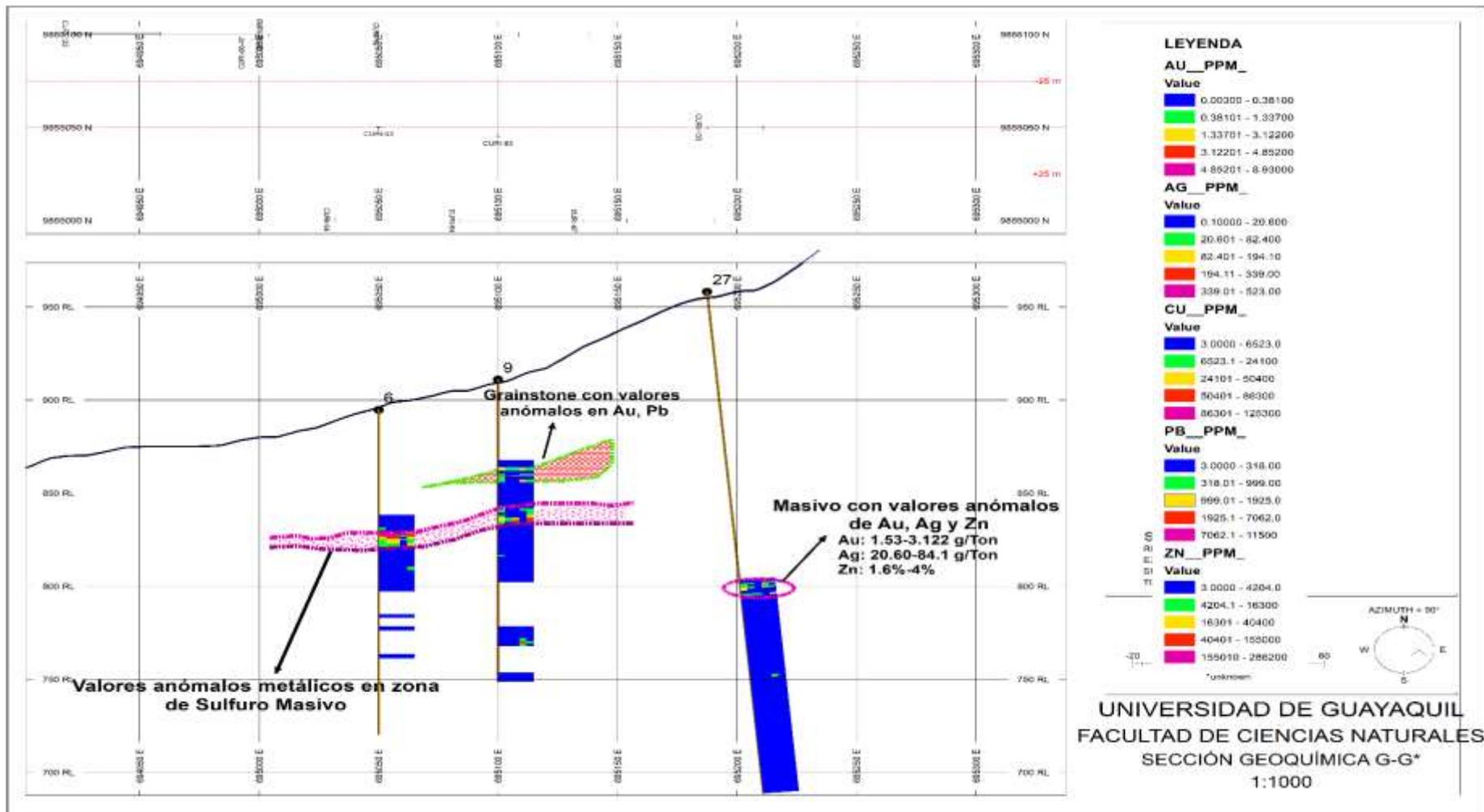


Figura 49 Seccion Geoquimica G-G*

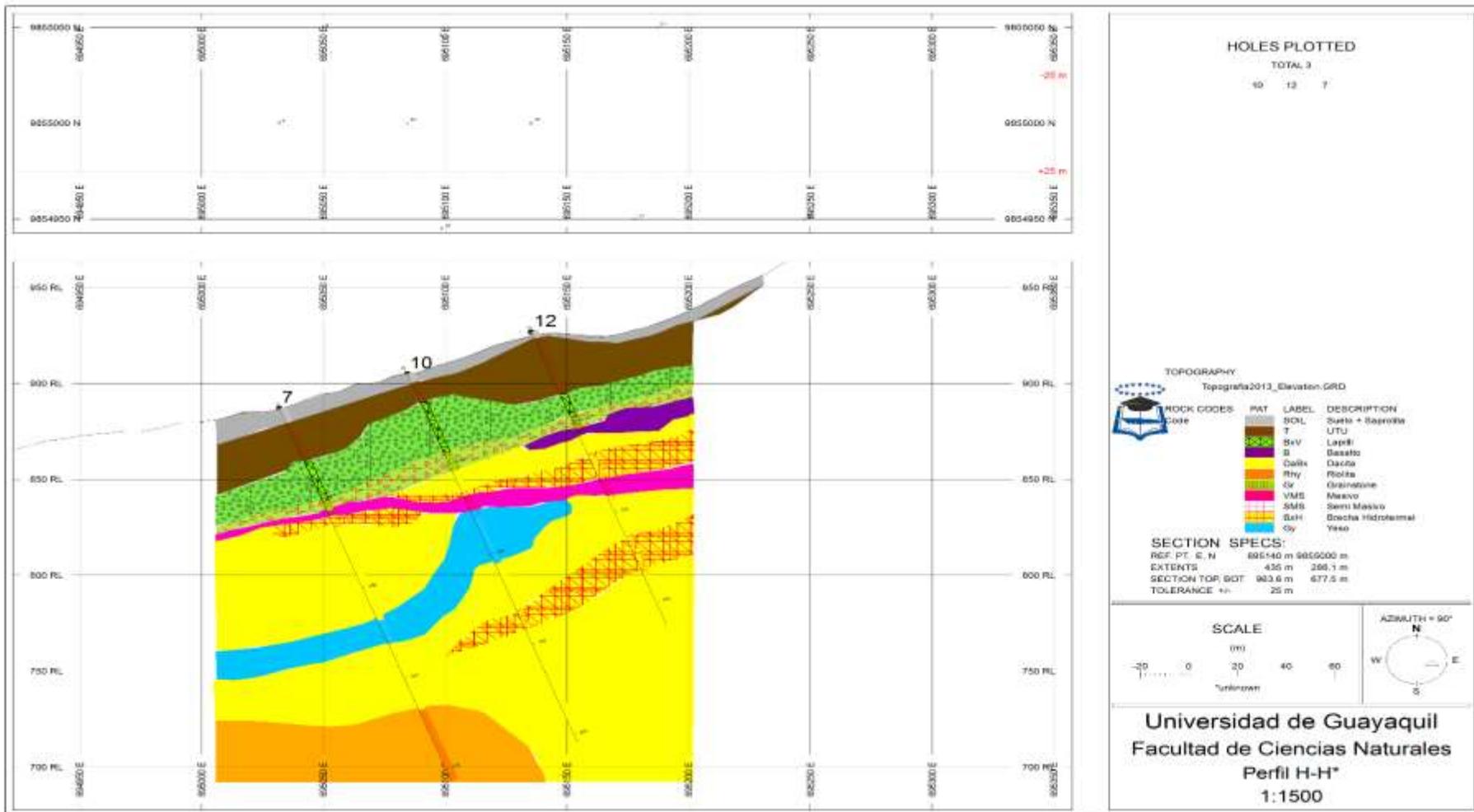


Figura 50 Seccion Geologica H-H*

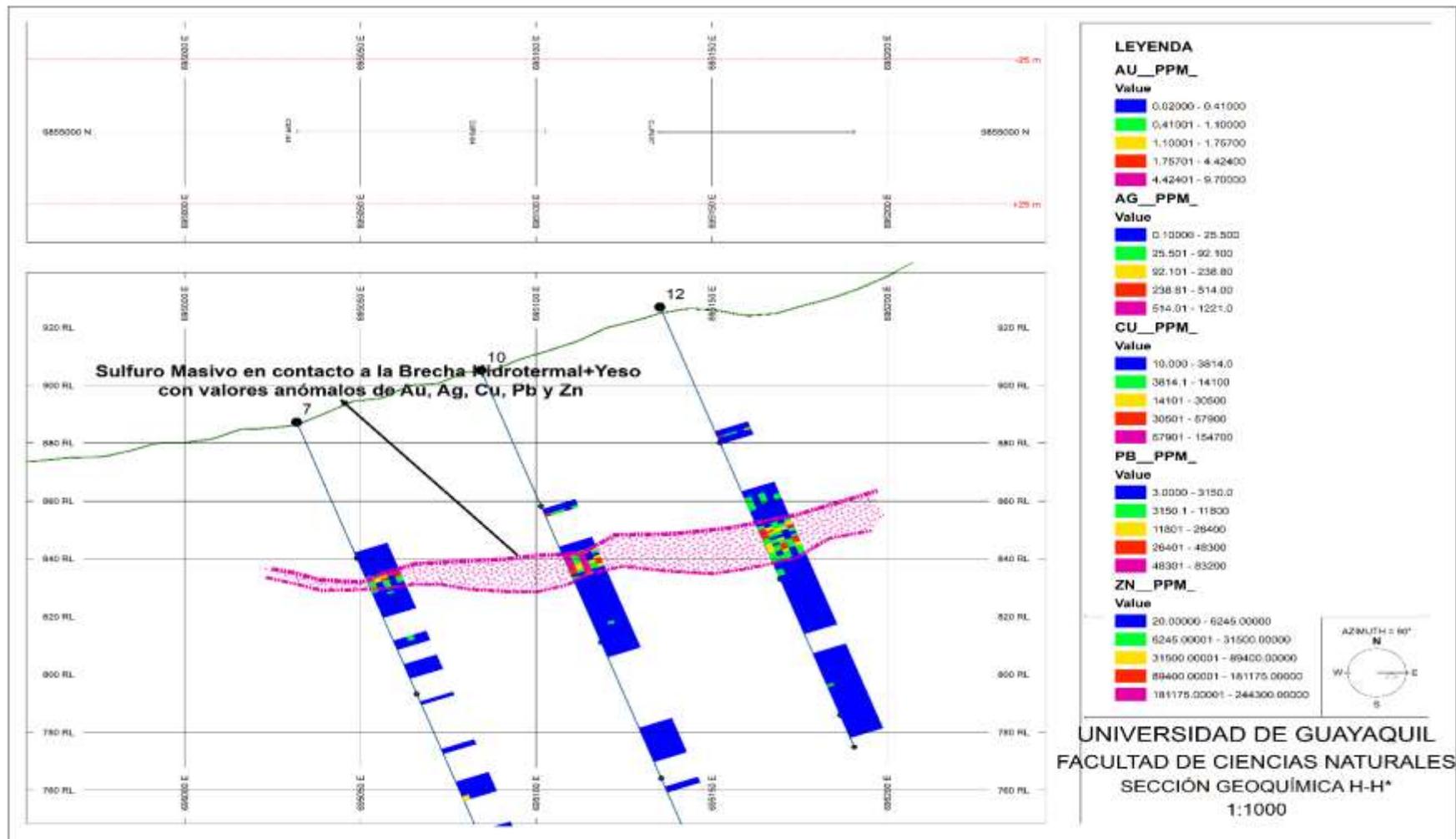


Figura 51 Seccion Geoquimica H-H*

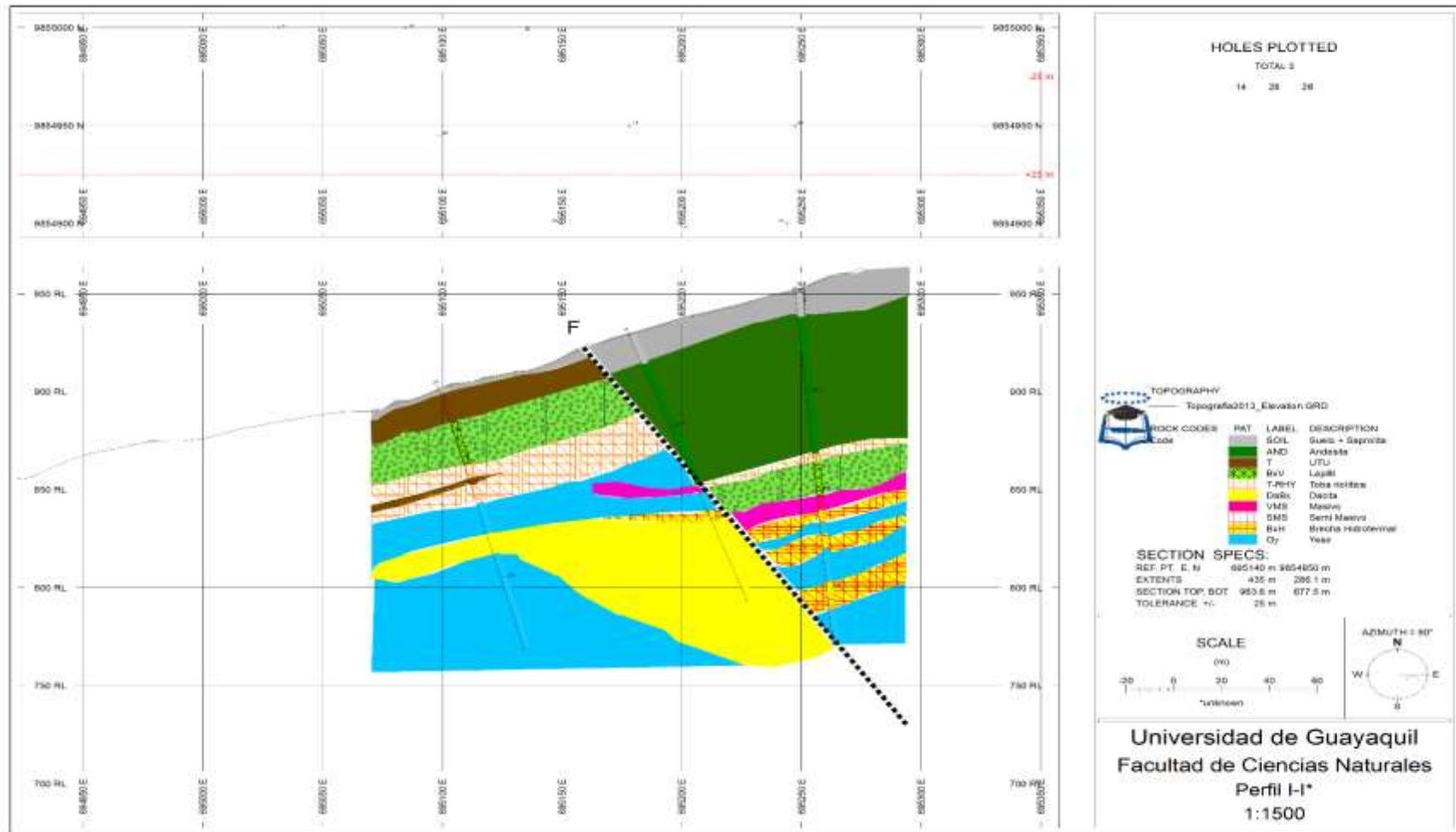


Figura 52 Seccion Geologica I-I*

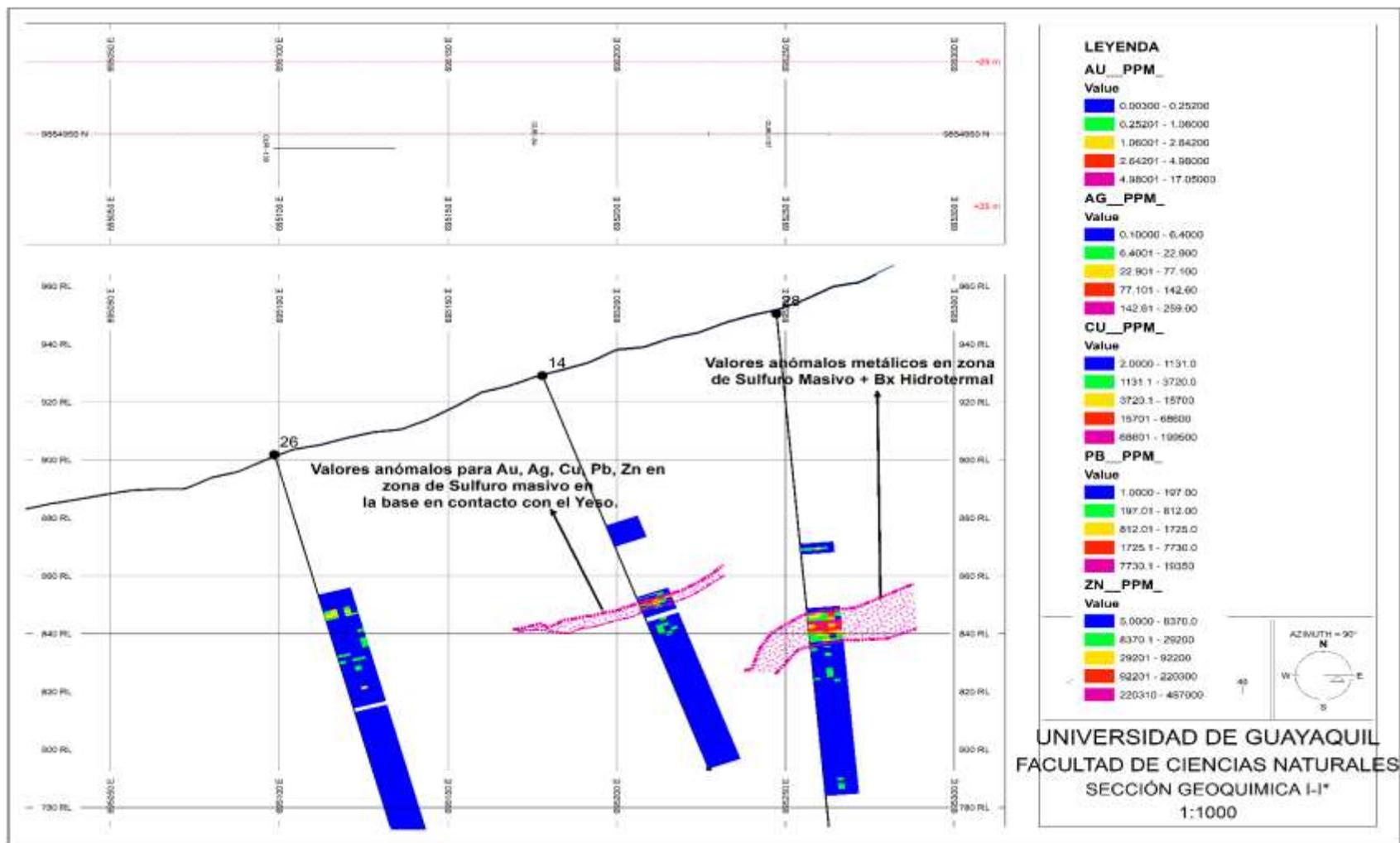


Figura 53 Seccion Geoquimica I-I*

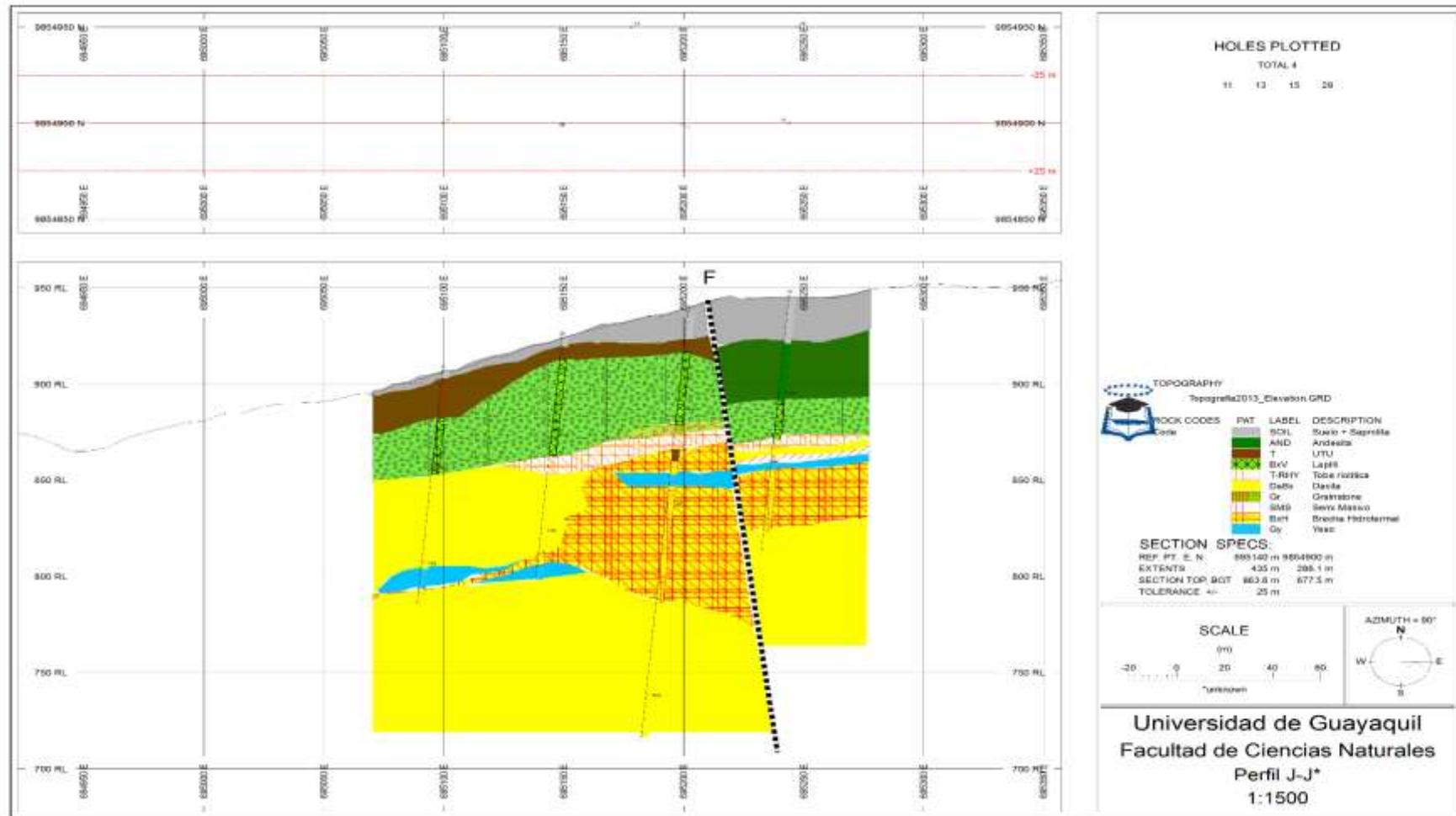


Figura 54 Seccion Geologica J-J*

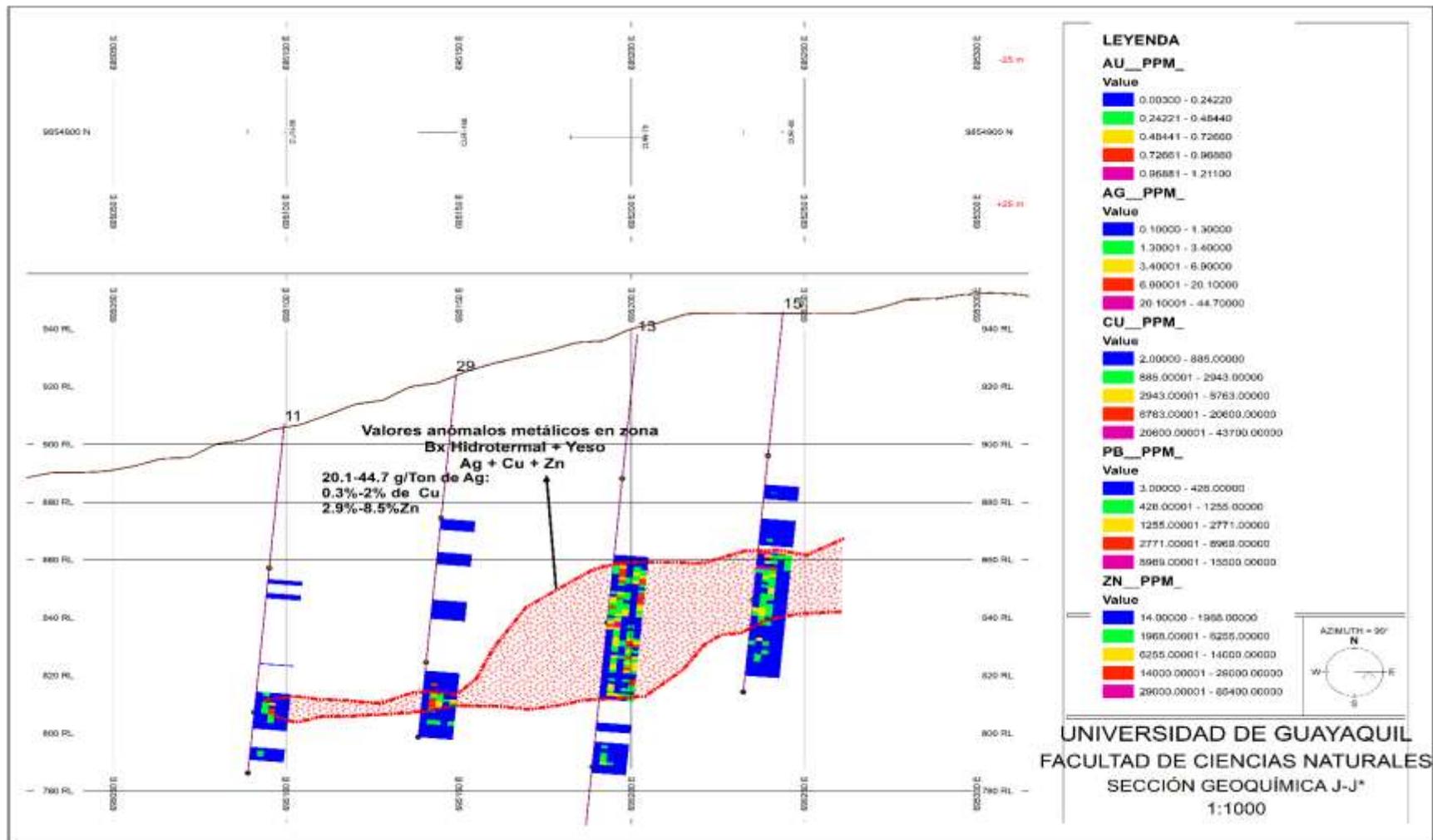


Figura 55 Sección Geoquímica J-J*

Interpretación de las Secciones

- Desde el Perfil A-A* al J-J* (Fig 36-55) nos permite observar una litoestratigrafía (Fig. 56) completa de un tipo de Yacimiento Sulfuro Masivo hospedado en rocas volcánicas tipo Kuroko, 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.

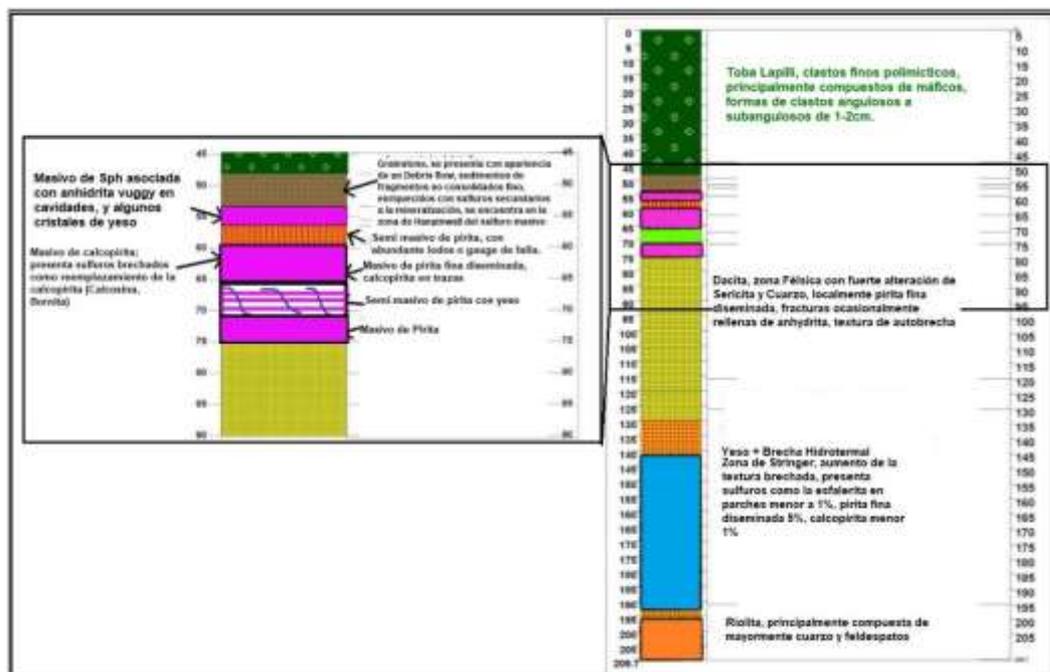


Figura 56 Columna estratigráfica del sondaje 1, en general del depósito El domo.

- 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 intruirse 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 éste con más precisión, y en la zona de la Brecha Hidrotermal+Dacita se observan anomalías menores para el Cu-Zn.
- Se observa un espesor significativo 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.
- En los perfiles Geoquímicos, se tomó como rangos para determinar como valor anómalo usando el método de Lepeltier modificado explicado previamente en la metodología, como se observa en los perfiles A-A*, al J-J, la zona mayoritariamente de coloración azul se la ha designado al valor promedio de la roca, (Anexos 7, 10, 13).
- El modelo Geológico 3D (Fig. 57) 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.

4.3 Modelo Geológico 3D

Se elaboró un modelo digital geológico de la zona de estudio con la ayuda de la herramienta Target for ArcGis y Geosoft, para la creación de este modelo se tuvo que procesar la información recolectada en los Quick Logs, se creó un archivo Excel que constaba de los sondeos (Tabla 2), litologías y también de simbologías que se le otorgo a la litología para ayudar al programa con la diferenciación de capas litológicas.

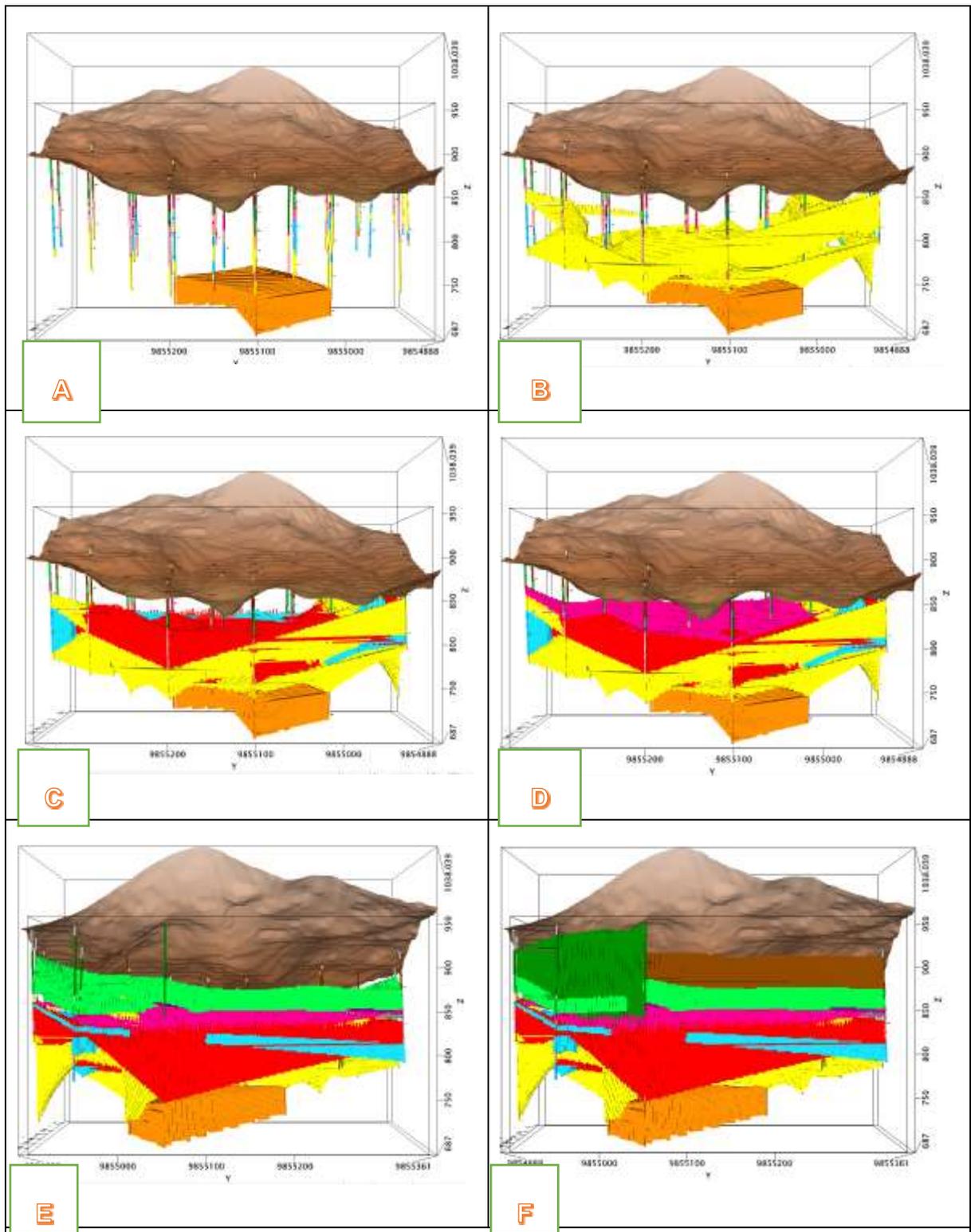


Figura 57 Modelo Geologico en 3D, Depósito El Domo, Distribución litoestratigráfica desde la base al tope: (A) Riolita, (B) Dacita, (C) Brecha Hidrotermal+Yeso, (D) Sulfuro Masivo, (E) Grainstone/Lapilli+Basalto+UTU, (F) Andesita.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El desarrollo de esta investigación se ha realizado con el absoluto detenimiento en la obtención de 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.
- 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 fílica-illita (illita, cuarzo, pirita) y la alteración argílica/propilítica 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 deposito “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.

5.2 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 permitan direccionar el objetivo de exploración zonas que contengan las mismas características petrográficas y para tomar muestras que puedan ser analizados 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 BIBLIOGRÁFICAS

- 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_EI_Domo.pdf.
- Chiaradia, M., Tripodi, D., Fontboté, L., and Reza, B., 2008, Geologic setting, mineralogy, and geochemistry of the early tertiary Au-Rich volcanic-hosted massive sulfide deposit of La Plata, Western Cordillera, Ecuador: *Economic Geology*, v. 103, p. 161–183, doi:10.2113/gsecongeo.103.1.161.
- Chiriadia, M., and Fontboté, L., 2000, Gold-rich VHMS deposits of the Western Cordillera of Ecuador: mineralogy, lead isotope and metal geochemistry.:
- Doyle, M., and Allen, R., 2003, Subsea-floor replacement in volcanic-hosted massive sulfide deposits.: *Ore Geology Reviews*, v. 23(3-4), p. 183–222.
- 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.:
- Franklin, J., 1993, Volcanic-associated massive sulfide deposits: *Geol. Asso. Canada Spec. Paper*, v. 40, p. 315–334.
- Galley, A., Hannington, M.D., and Jonasson, I., 2013, Volcanogenic Massive Sulfide Deposits: *Treatise on Geochemistry: Second Edition*, v. 13, p. 463–488, doi:10.1016/B978-0-08-095975-7.01120-7.
- 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.

Gran Nacional Minera Mariscal Sucre, 2013, No Title:, <http://www.grannacionalminera.com/>.

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.

Jaillard, E., Ordoñez, M., Lugo, W., Iza, D., Toro, J., and Suárez, J., 2004, Stratigraphy of the late Cretaceous–Paleogene deposits of the cordillera occidental of central Ecuador: geodynamic implications: Journal of South American Earth Sciences, v. 17, p. 49–58, doi:10.1016/j.jsames.2004.05.003.

Litherland, M., Aspden, J.A., and Jemielita, R., 1994, The metamorphic belts of Ecuador: British Geological Survey Overseas Memoir, v. 11, p. 147.

Luzieux, L.D.A., Heller, F., Spikings, R., Vallejo, C., and Winkler, W., 2006, Origin and Cretaceous tectonic history of the coastal Ecuadorian forearc between 1 N and 3 S: Paleomagnetic, radiometric and fossil evidence: Earth and Planetary Science letters, v. 249(3-4), p. 400–414.

Mayor, J.N., 2011, TRIP REPORT CURIPAMBA PROJECT MAY 19 TO JUNE 5 , 2011.:

McCourt, W.J., Duque, P., and Pilatasig, L.F., 1997, Geology of the Western Cordillera of Ecuador between 1–2 S.: Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Programa de Información Cartográfica y Geológica, CODIGEM–BGS, Quito, Informe, 3.,.

Mercier-Langevin, P., Hannington, M.D., Dubé, B., and Bécu, V., 2011, The gold content of volcanogenic massive sulfide deposits.: Mineralium Deposita, v. 46(5-6), p. 509–539.

Ohmoto, H., 1996, Formation of volcanogenic massive sulfide deposits: the Kuroko perspective: Ore Geology Reviews, v. 10(3-6), p. 135–177.

Pratt, W., 2008, Las Naves project, Bolívar, Ecuador.:

Reynaud, C., Jaillard, É., Lapierre, H., Mamberti, M., and Mascle, G., 1999, Oceanic plateau and islands arcs of southwestern Ecuador: their place in the geodynamic evolution of northwestern South America: *Tectonophysics*, v. 307(3-4), p. 235–254.

Salazar Resources LTDA, 2018, Curimining S.A., <http://www.salazarresources.com/projects/curipamba/eldomo/>.

Schandl, E.S., 2009, Petrographic and mineralogical study of the curipamba project, central west Ecuador.:

Sherlock, R., and Michaud, M., 2000, Volcanogenic massive sulfide deposits of Latin America—An overview: *Volcanogenic massive sulfide deposits of Latin America*. Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, v. 2, p. 19–46.

Sillitoe, R., Hannington, M.D., and Thompson, J., 1996, High sulfidation deposits in the volcanogenic massive sulfide environment.: *Economic Geology*, v. 91(1).

Solomon, M., and Quesada, C., 2003, Zn-Pb-Cu massive sulfide deposits: Brine-pool types occur in collisional orogens, black smoker types occur in backarc and/or arc basins.: *Geology*, v. 31(12), p. 1029–1032.

Spikings, R., Winkler, W., Hughes, R., and Handler, R., 2005, Thermochronology of allochthonous terranes in Ecuador: Unravelling the accretionary and post-accretionary history of the Northern Andes: *Tectonophysics*, v. 399(1-4), p. 195–220.

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.

Vallejo, C., Soria, F., Tornos, F., Naranjo, G., Rosero, B., Salazar, F., and Cochrane, R., 2015, Geology of El Domo deposit in central Ecuador: a VMS formed on top of an accreted margin: *Mineralium Deposita*, v. 51, p. 389–409, doi:10.1007/s00126-015-0616-x.

Vallejo, C., Spikings, R., Luzieux, L., Winkler, W., Chew, D., and Page, L., 2006, The

early interaction between the Caribbean Plateau and the NW South American Plate: *Terra Nova*, v. 18(4), p. 264–269.

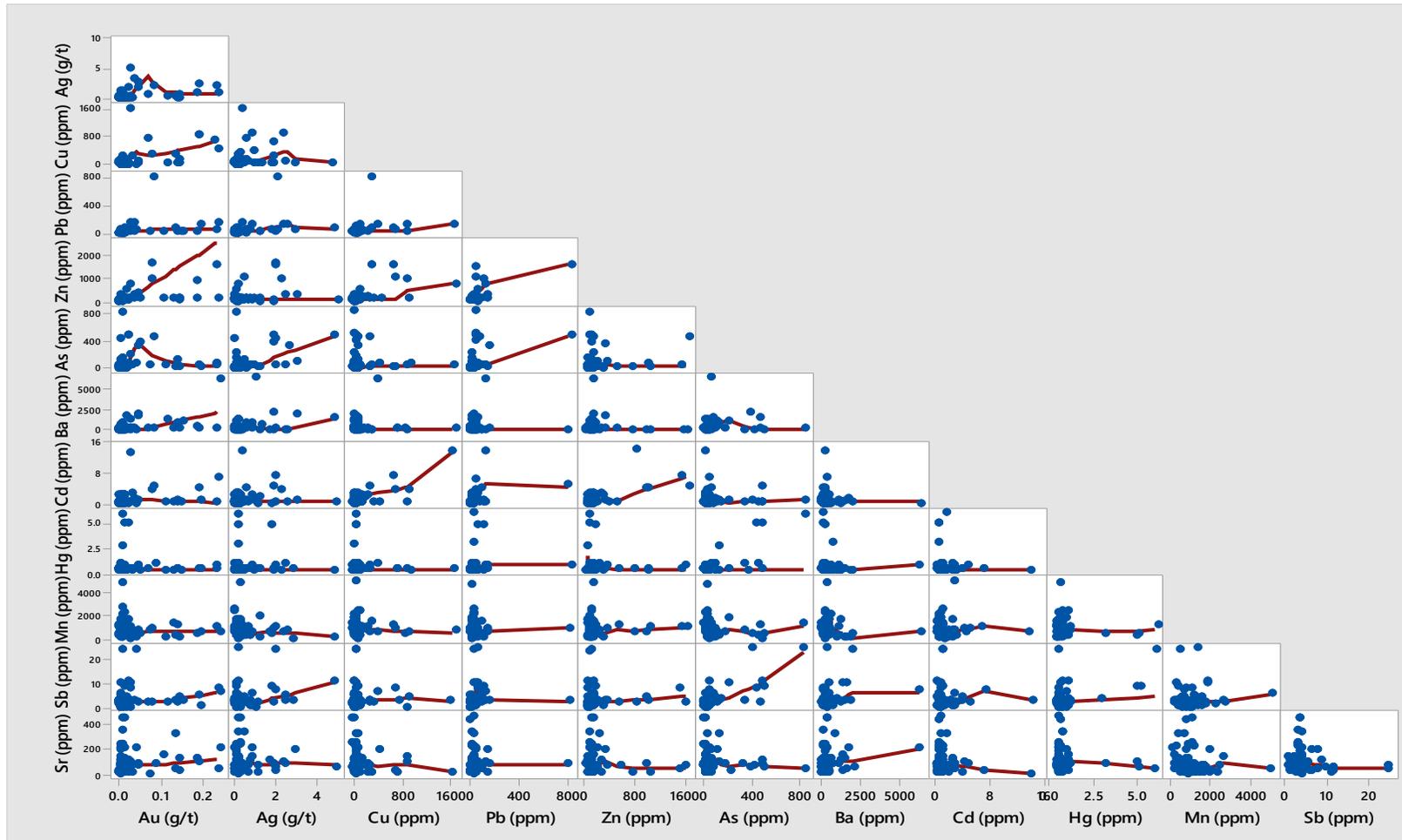
Winkler, W., Villagomez, D., Spikings, R., Abegglen, P., and Egeuz, A., 2005, The Chota basin and its significance for the inception and tectonic setting of the inter-Andean depression in Ecuador.: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 19(1), p. 5–19.

ANEXOS

Anexo 1: Correlación de Pearson para las tobas lapilli y UTU

	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)	0.332										
Cu (ppm)	0.52	0.186									
Pb (ppm)	0.237	0.325	0.242								
Zn (ppm)	0.494	0.386	0.625	0.659							
As (ppm)	0.034	0.476	-0.055	0.377	0.147						
Ba (ppm)	0.476	0.286	0.069	0.067	-0.045	0.119					
Cd (ppm)	0.226	0.159	0.796	0.332	0.649	-0.004	-0.093				
Hg (ppm)	-0.055	0.051	-0.07	0.084	-0.04	0.754	-0.011	-0.059			
Mn (ppm)	-0.148	-0.214	-0.087	-0.029	-0.018	-0.098	-0.127	-0.038	-0.053		
Sb (ppm)	0.116	0.303	-0.01	0.023	0.042	0.745	0.286	-0.005	0.53	0.055	
Sr (ppm)	0.096	-0.01	-0.112	-0.035	-0.11	-0.085	0.18	-0.14	-0.054	-0.196	-0.09

Anexo 2: Matriz gráfica de correlación en la UTU y toba lapilli



Anexo 3: Valores Estadísticos para la UTU

Variable	Media	Desv.Est.	Max	Min
Au (g/t)	0.0271	0.054	0.237	0.0025
Ag (g/t)	0.4402	0.808	5	0.1
Cu (ppm)	96.5000	244.347	1633	1
Pb (ppm)	27.2805	92.808	823	2
Zn (ppm)	179.987	281.615	1630	39
As (ppm)	61.8476	141.990	839	2
Ba (ppm)	314.695	798.085	6439	10
Cd (ppm)	1.1976	1.845	14	0.3
Hg (ppm)	0.7561	0.953	0.5	0.5
Mn (ppm)	940.073	688.106	4990	120
Sb (ppm)	3.7683	4.056	25	1
Sr (ppm)	97.9024	93.179	473	11

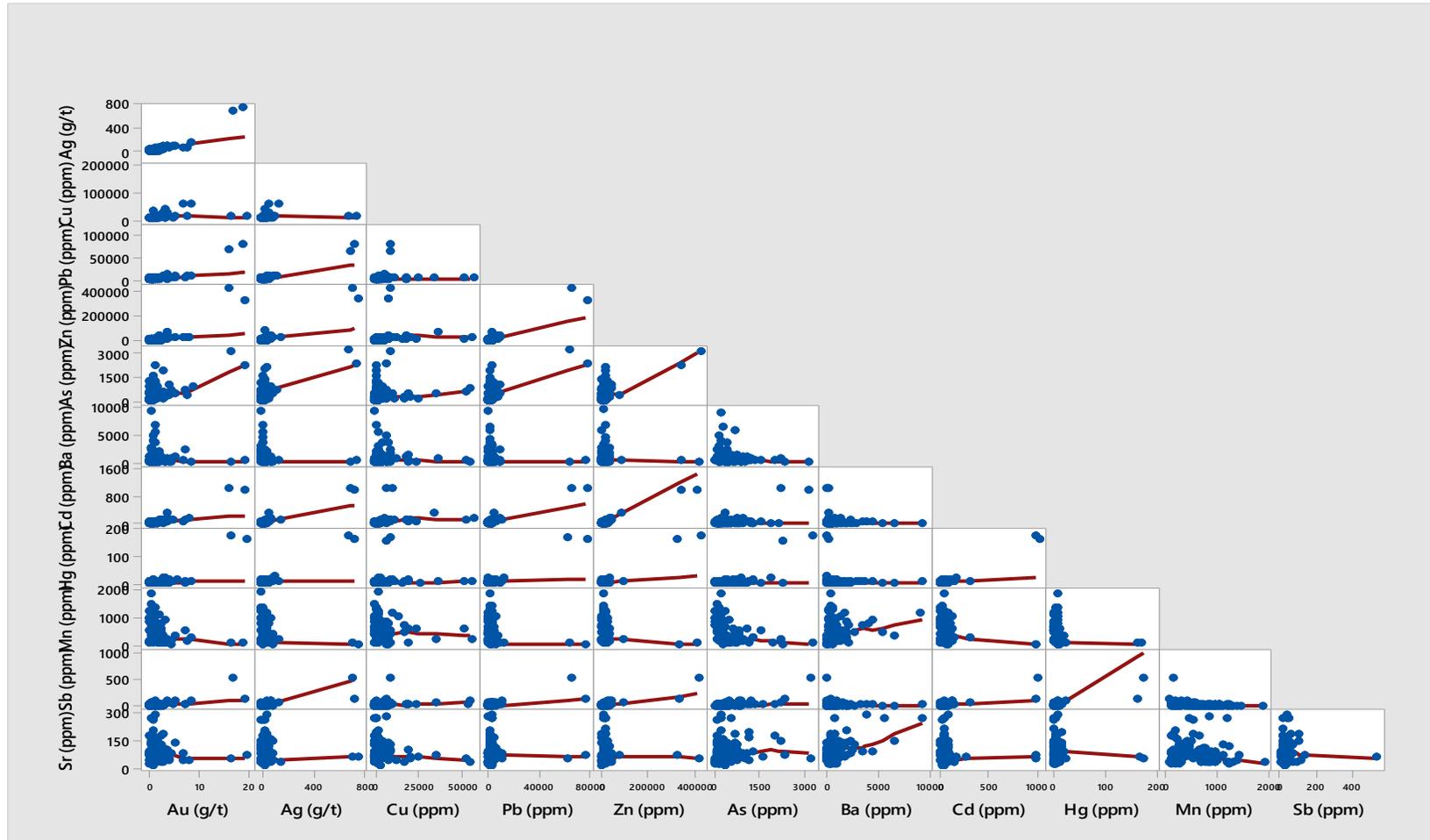
Anexo 4: Tabla de rangos para Anomalías en la UTU, Toba Lapilli

Au		Ag		Cu		Pb	
Media	0.0271		0.4402		96.5000		27.2805
ST	0.0536932		0.808268956		244.3469629		92.8084812
background	0.0000	0.0271	0.0000	0.4402	0.0000	96.5000	0.0000 27.2805
threshold	0.0271	0.0808	0.4402	1.2485	96.5000	340.8470	27.2805 120.0890
subanomalía	0.0808	0.1345	1.2485	2.0568	340.8470	585.1939	120.0890 212.8975
Anomalía	>0,1345		>2,0568		>585,1939		>212,8975
Zn		As		Ba		Cd	
Media	179.9878		61.8476		314.6951		1.1976
ST	281.6150728		141.989799		798.0854666		1.844509745
background	0.0000	179.9878	0.0000	61.8476	0.0000	314.6951	0.0000 1.1976
threshold	179.9878	461.6029	61.8476	203.8374	314.6951	1112.7806	1.1976 3.0421
subanomalía	461.6029	743.2180	203.8374	345.8272	1112.7806	1910.8661	3.0421 4.8866
Anomalía	>743,2180		>347,7812		>1910,866		>4,8866
Hg		Mn		Sb		Sr	
Media	0.7561		940.0732		3.7683		97.9024
ST	0.953369277		688.1064514		4.056084533		93.17878868
background	0.0000	0.7561	0.0000	940.0732	0.0000	3.7683	0.0000 97.9024
threshold	0.7561	1.7095	940.0732	1628.1796	3.7683	7.8244	97.9024 191.0812
subanomalía	1.7095	2.6628	1628.1796	2316.2861	7.8244	11.8805	191.0812 284.2600
Anomalía	>2,6628		>2316,2861		>11,8805		>284,260

Anexo 5: Correlación de Pearson para el Grainstone

	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)	0.913										
Cu (ppm)	0.441	0.191									
Pb (ppm)	0.89	0.987	0.105								
Zn (ppm)	0.876	0.977	0.178	0.967							
As (ppm)	0.607	0.644	0.062	0.62	0.627						
Ba (ppm)	-0.088	-0.083	-0.074	-0.078	-0.072	-0.133					
Cd (ppm)	0.907	0.979	0.245	0.972	0.99	0.606	-0.073				
Hg (ppm)	0.86	0.982	0.094	0.98	0.981	0.679	-0.08	0.97			
Mn (ppm)	-0.306	-0.212	-0.093	-0.208	-0.192	-0.487	0.146	-0.197	-0.202		
Sb (ppm)	0.728	0.796	0.197	0.745	0.854	0.672	-0.053	0.806	0.819	-0.23	
Sr (ppm)	-0.064	-0.058	-0.12	-0.067	-0.073	0.109	0.575	-0.078	-0.048	-0.122	0.01

Anexo 6: Matriz gráfica de correlación de Pearson para el Grainstone



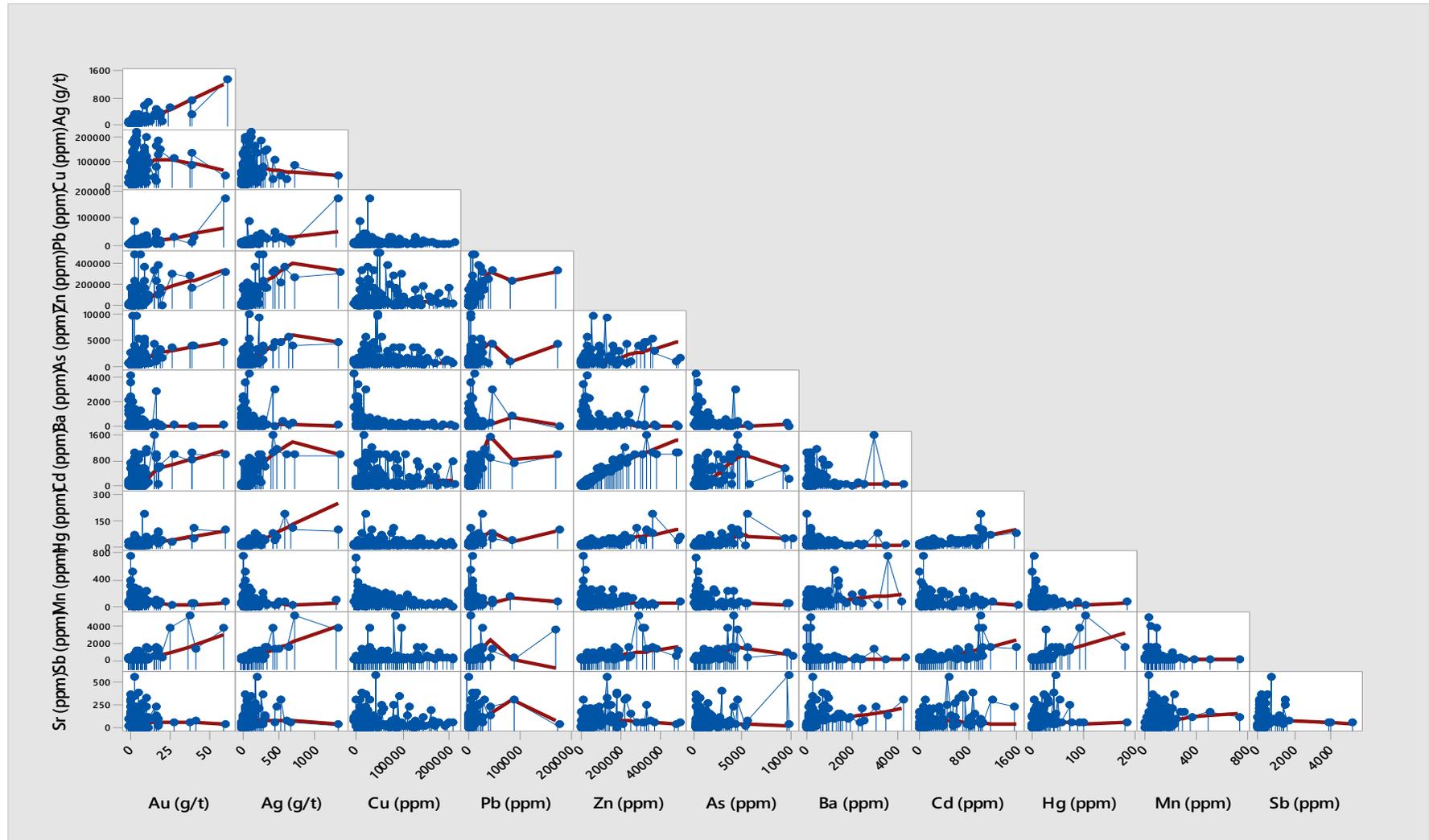
Anexo 7: Tabla de rangos para Anomalías en el Grainstone

Au		Ag		Cu		Pb		
Media	1.1958		24.0761		3416.7009		1986.6239	
ST	2.657968888		93.25246474		8488.649404		9118.114746	
background	0.0000	1.1958	0.0000	24.0761	0.0000	3416.7009	0.0000	1986.6239
threshold	1.1958	3.8538	24.0761	117.3285	3416.7009	11905.3503	1986.6239	11104.7387
subanomalía	3.8538	6.5117	117.3285	210.5810	11905.3503	20393.9997	11104.7387	20222.8534
Anomalía	>6,5117		>210,5810		>20393,997		>20222,8534	
As		Zn		Sb		Sr		
Media	361.3803		11056.1880		21.8034		86.0598	
ST	512.4782445		49181.36771		51.71990034		54.99691067	
background	0.0000	361.3803	0.0000	11056.1880	0.0000	21.8034	0.0000	86.0598
threshold	361.3803	873.8586	11056.1880	60237.5557	21.8034	73.5233	86.0598	141.0567
subanomalía	873.8586	1386.3368	60237.5557	109418.9235	73.5233	125.2432	141.0567	196.0537
Anomalía	>1386,3368		>109418,9235		>125,2432		>196,0537	
Cd		Ba		Hg		Mn		
Media	35.8957		659.7863		5.1966		496.4786	
ST	133.1119152		1321.506115		21.77222975		383.9274716	
background	0.0000	35.8957	0.0000	659.7863	0.0000	5.1966	0.0000	496.4786
threshold	35.8957	169.0076	659.7863	1981.2924	5.1966	26.9688	496.4786	880.4061
subanomalía	169.0076	302.1196	1981.2924	3302.7986	26.9688	48.7410	880.4061	1264.3336
Anomalía	>302,1196		>3302,7986		>48,7410		>1264,3336	

Anexo 8: Correlación de Pearson para el 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

Anexo 9: Matriz gráfica de correlación del Sulfuro Masivo



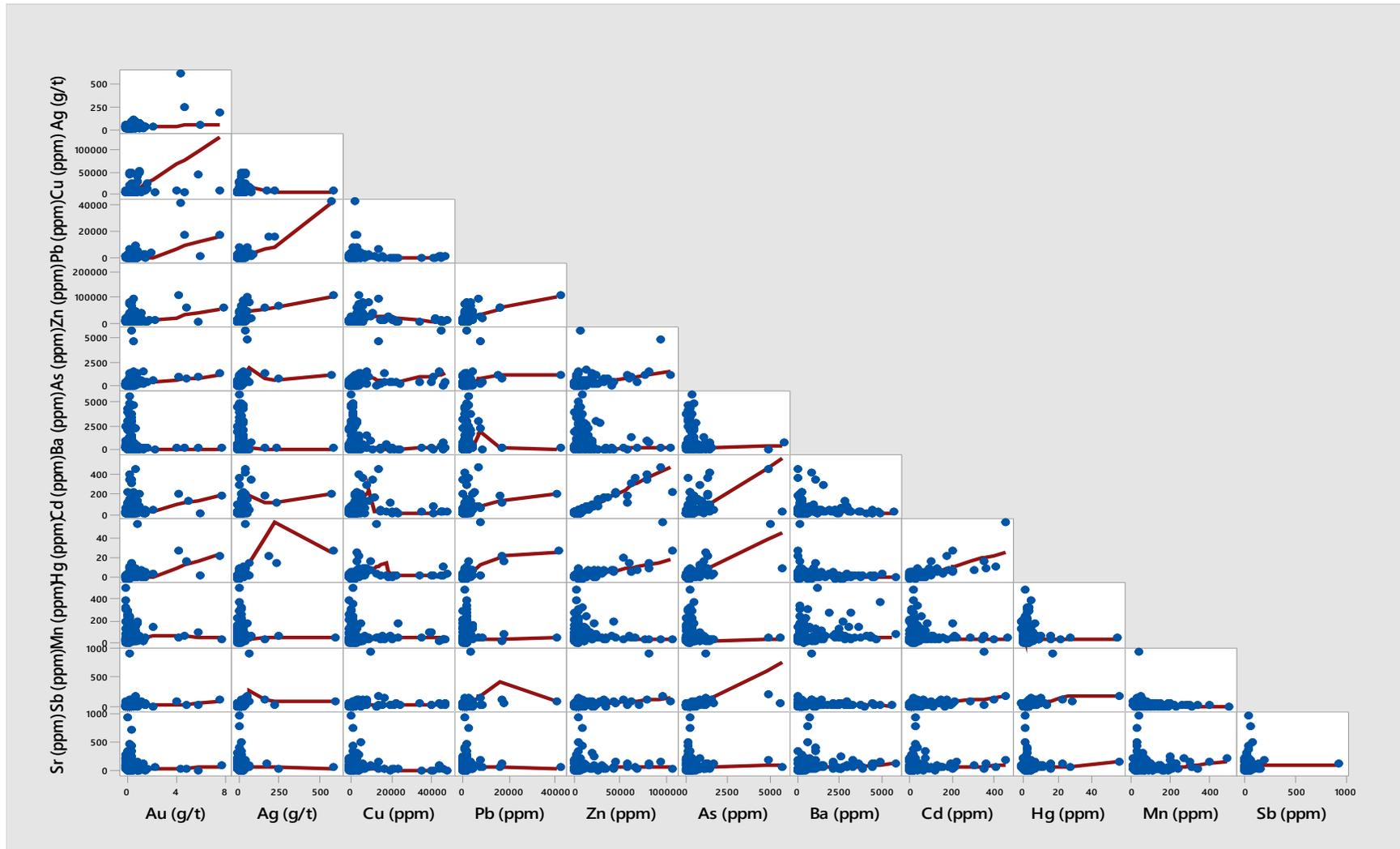
Anexo10: Tabla de rangos para Anomalías en el Sulfuro Masivo

Au		Ag		Cu		Pb	
Media	4.5773		74.0472		46240.5795		4457.3920
ST	7.165416312		141.895868		49743.36422		15538.88797
background	0.0000	4.5773	0.0000	74.0472	0.0000	46240.5795	0.0000 4457.3920
threshold	4.5773	11.7428	74.0472	215.9430	46240.5795	95983.9438	4457.3920 19996.2800
subanomalía	11.7428	18.9082	215.9430	357.8389	95983.9438	145727.3080	19996.2800 35535.1680
Anomalía	>18,9082		>357,8389		>145727,3080		>35535,1680
Zn		As		Ba		Cd	
Media	48679.0278		968.4830		280.7159		184.8395
ST	87802.6841		1423.661685		625.7938948		301.6113078
background	0.0000	48679.0278	0.0000	968.4830	0.0000	280.7159	0.0000 184.8395
threshold	48679.0278	136481.7119	968.4830	2392.1446	280.7159	906.5098	184.8395 486.4508
subanomalía	136481.7119	224284.3960	2392.1446	3815.8063	906.5098	1532.3037	486.4508 788.0621
Anomalía	>224284,3960		>3815,8063		>1532,3037		>788,0621
Hg		Mn		Sb		Sr	
Media	10.0852		79.7017		221.4148		65.5852
ST	20.50215621		86.43169357		620.9038698		85.35226908
background	0.0000	10.0852	0.0000	79.7017	0.0000	221.4148	0.0000 65.5852
threshold	10.0852	30.5874	79.7017	166.1334	221.4148	842.3186	65.5852 150.9375
subanomalía	30.5874	51.0895	166.1334	252.5651	842.3186	1463.2225	150.9375 236.2898
Anomalía	>51,0895		>252,5651		>1463,2225		>236,2898

Anexo 11: Tabla de correlación de Pearson para la brecha hidrotermal + 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

Anexo 12: Matriz de Correlación entre elementos principales e indicadores en la Brecha Hidrotermal + Yeso.



Anexo 13: Tabla de rangos para Anomalías en la Brecha Hidrotermal + Yeso

Au		Ag		Cu		Pb	
Media	0.3244		9.3184		2651.6255		673.8577
ST	0.73888278		40.52250744		7405.422963		2959.194363
background	0.0000	0.3244	0.0000	9.3184	0.0000	2651.6255	0.0000 673.8577
threshold	0.3244	1.0633	9.3184	49.8409	2651.6255	10057.0484	673.8577 3633.0520
subanomalía	1.0633	1.8022	49.8409	90.3634	10057.0484	17462.4714	3633.0520 6592.2464
Anomalía	>1,8022		>90,3634		>17462,4714		>6592,2464
Zn		As		Ba		Cd	
Media	5459.7228		218.8315		493.9419		22.2019
ST	14107.13366		509.543823		979.9545819		59.41088572
background	0.0000	5459.7228	0.0000	218.8315	0.0000	493.9419	0.0000 22.2019
threshold	5459.7228	19566.8565	218.8315	728.3753	493.9419	1473.8965	22.2019 81.6128
subanomalía	19566.8565	33673.9902	728.3753	1237.9191	1473.8965	2453.8511	81.6128 141.0236
Anomalía	>33673,9902		>1237,9191		>2453,8511		>141,0236
Hg		Mn		Sb		Sr	
Media	1.6217		63.9812		16.9476		62.9888
ST	4.237007566		67.5058881		60.39622511		95.67863988
background	0.0000	1.6217	0.0000	63.9812	0.0000	16.9476	0.0000 62.9888
threshold	1.6217	5.8587	63.9812	131.4871	16.9476	77.3438	62.9888 158.6674
subanomalía	5.8587	10.0957	131.4871	198.9930	77.3438	137.7400	158.6674 254.3460
Anomalía	>10,0957		>198,9930		>137,7400		>254,3460

Anexo 14: Tabla de correlación de Pearson para la dacita.

	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)	0.53										
Cu (ppm)	0.337	0.392									
Pb (ppm)	0.154	0.306	0.052								
Zn (ppm)	0.188	0.405	0.186	0.43							
As (ppm)	0.324	0.518	0.276	0.29	0.354						
Ba (ppm)	0.227	0.232	0.039	0.26	0.306	0.092					
Cd (ppm)	0.183	0.393	0.195	0.354	0.989	0.35	0.283				
Hg (ppm)	0.259	0.42	0.151	0.34	0.414	0.695	0.06	0.415			
Mn (ppm)	-0.229	-0.15	-0.105	-0.052	-0.086	-0.154	-0.067	-0.083	-0.069		
Sb (ppm)	0.231	0.341	0.415	0.126	0.158	0.263	0.081	0.158	0.262	-0.097	
Sr (ppm)	-0.011	-0.047	-0.031	-0.028	-0.052	-0.006	-0.077	-0.047	-0.03	-0.161	-0.023

Anexo 15: Valores estadísticos para la Dacita

Variable	Media	Desv.Est.	Max	Min
Au (g/t)	0.1	0.1	1.757	-
Ag (g/t)	2.1	5.3	93.400	0.01
Cu(ppm)	813	2707.2	39800.000	1.00
Pb(ppm)	153.3	793.9	15500.000	0.00
Zn(ppm)	1616.9	4529.5	43700.000	2.00
As(ppm)	70.5	163.1	1942.000	2.00
Ba(ppm)	324.3	715	7312.000	0.50
Cd(ppm)	6.6	19	218.000	0.25
Hg(ppm)	0.7	1.1	17.000	0.50
Mn(ppm)	117.6	139.7	934.000	1.00
Sb(ppm)	7.5	27.4	717.000	1.00
Sr (ppm)	152.6	263.6	2300.000	2.00

Anexo 16: Tabla de rangos para Anomalías en la Dacita

Au		Ag		Cu		Pb		
Media	0.0871		2.0552		813.0410		153.2532	
ST	0.139665186		5.332971532		2707.226956		793.9149119	
background	0.0000	0.0871	0.0000	2.0552	0.0000	813.0410	0.0000	153.2532
threshold	0.0871	0.2267	2.0552	7.3881	813.0410	3520.2679	153.2532	947.1681
subanomalía	0.2267	0.3664	7.3881	12.7211	3520.2679	6227.4949	947.1681	1741.0830
Anomalía	>1,0862		>23,8344		>6333,6231		>2211,9529	
Zn		As		Ba		Cd		
Media	1616.8902		70.5046		324.2634		6.6417	
ST	4529.492989		163.112691		715.0213549		19.00138256	
background	0.0000	1616.8902	0.0000	70.5046	0.0000	324.2634	0.0000	6.6417
threshold	1616.8902	6146.3832	70.5046	233.6172	324.2634	1039.2847	6.6417	25.6431
subanomalía	6146.3832	10675.8762	233.6172	396.7299	1039.2847	1754.3061	25.6431	44.6445
Anomalía	>17879,7955		>424,8375		>1753,3880		>73,2008	
Hg		Mn		Sb		Sr		
Media	0.7076		117.6439		7.4636		152.6394	
ST	1.054526489		139.7201708		27.41462903		263.6077509	
background	0.0000	0.7076	0.0000	117.6439	0.0000	7.4636	0.0000	152.6394
threshold	0.7076	1.7621	117.6439	257.3641	7.4636	34.8782	152.6394	416.2471
subanomalía	1.7621	2.8167	257.3641	397.0843	34.8782	62.2929	416.2471	679.8549
Anomalía	>3,1705		>397,1103		>151,0691		>679,4825	