

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



T E S I S

**Modelo estructural de Riedels en el análisis de las vetas mineralizadas
del proyecto Corona - Antimonio**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autor: Bach. Joel Jhonatan VILLENA OSCATEGUI

Asesor: Mg. Vidal Victor CALCINA COLQUI

Cerro de Pasco – Perú - 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



T E S I S

**Modelo estructural de Riedels en el análisis de las vetas mineralizadas
del proyecto Corona - Antimonio**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Julio Alejandro MARCELO AMES
PRESIDENTE

Mg. Luis Arturo LAZO PAGAN
MIEMBRO

Mg. Javier LOPEZ ALVARADO
MIEMBRO

DEDICATORIA

A Dios quien ilumina mi camino y
está siempre conmigo, a mis
Padres Pedro y Virginia por su
amor e incondicional apoyo, que
son fortaleza para lograr mis
objetivos.

AGRADECIMIENTO

El estudio titulado “**Modelo Estructural de Riedels en el Análisis de las Vetas Mineralizadas del Proyecto Corona - Antimonio**”, no habría sido posible sin el apoyo de Minera Bateas S.A.C. Por ello mi mayor agradecimiento al vicepresidente de Exploraciones del Directorio Ing. David F. Volkert y al Gerente de Exploraciones Brownfield Ing. Hans Silva Arana.

Al equipo de profesionales del área de Exploraciones Brownfields, que en cada momento del estudio estuvieron siempre con su apoyo incondicional.

A mi alma mater Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión y a mis docentes universitarios por sus enseñanzas impartidas durante mi formación profesional.

Al Ing. Jorge Quispe Cangana por impartirme sus conocimientos y experiencias la cual me ayudó mucho para realizar este estudio.

RESUMEN

El área de estudio es un yacimiento Epitermal de Intermedia Sulfuración que contiene mineralizaciones de Au, Ag, Pb, Zn hospedados en secuencias volcánicas pseudoestratificadas de andesitas porfiríticas y afaníticas, tobas de lapilli, tobas de brecha y tufos de grano fino a medio pertenecientes al Grupo Tacaza - formación Orcopampa (Miembro A).

El objetivo primordial del presente proyecto de investigación es plantear un modelo estructural en base a la zona de cizalla presente en el área de estudio, el cual está controlado por dos fallas paralelas con rumbo NE-SW; fallas Santiago y Trinidad las cuales actúan de forma sinestral. Los esfuerzos actuantes para la formación de las estructuras en la zona de cizalla esta representadas por (σ_1 , σ_2 y σ_3) mediante antecedentes tectónicos del Sur del Perú, y corroboradas mediante la toma de datos estructurales en campo (rumbo, buzamiento, dirección de buzamiento y pitch) y el posterior análisis para la determinación exacta de la dirección de esfuerzos principales con el software Dips.

El análisis de la generación de las estructuras se representa en 4 fases de deformación según el modelo de Riedel (1929), en el fase o estadio 1 se forman las fallas tipo R, riedel o sintéticas, en la fase 2 las fallas tipo R', antiriedel o antitéticas, en la fase 3 las fallas tipo T y en la fase 4 las fallas tipo P.

La mineralización de las estructuras se debe fundamentalmente por influencia de dos calderas; caldera Chonta ubicado al NE de la zona de estudio y la caldera Caylloma ubicado al SE, la primera mineraliza las estructuras tipo R', antiriedels o antintéticas las cuales a su vez por ser extensionales tienen mayor amplitud de veta, la segunda mineraliza las estructuras tipo R, riedels o sintéticas.

El análisis de estadios mineralógicos permitió entender el comportamiento mineralógico a profundidad de las vetas según los ensambles mineralógicos de menas y gangas, estilo de mineralización de mena y textura de ganga, esto mediante la determinación de 8 estadios mineralógicos, este análisis llevo a la construcción de una tabla guía para la ubicación de los diferentes estadios mineralógicos.

Palabras clave: Sistemas de fallas, modelo de Riedels, zona de cizalla, esfuerzo, modelo de Anderson, indicadores cinemáticos, estadios Mineralógicos, estilo de mineralización, alteración hidrotermal.

ABSTRACT

The study area is an Epithermal Intermediate Sulfur deposit containing Au, Ag, Pb, Zn mineralizations hosted in pseudostratified volcanic sequences of porphyritic and aphanitic andesites, lapilli tuffs, breccia tuffs and fine to medium grained tuffs belonging to the Orcopampa Formation (Member A) – Tacaza Group.

The primary objective of this research project is to propose a structural model based on the shear zone present in the study area, which is controlled by two parallel faults trending NE-SW; faults Santiago and Trinidad which act sinistrally. The acting efforts for the formation of the structures in the shear zone is represented by (σ_1 , σ_2 and σ_3) through tectonic antecedents of southern Peru, and corroborated by taking structural data in the field (strike, dip, dip direction). and pitch) and the subsequent analysis for the exact determination of the

The analysis of the generation of the structures is represented in 4 phases of deformation according to the Riedel model (1929), in phase or stage 1 the type R, riedel or synthetic faults are formed, in phase 2 the type R' faults, antiriedel or antithetical, in phase 3 type T faults and in phase 4 type P faults.

The mineralization of the structures is mainly due to the influence of two calderas; Chonta caldera located to the NE of the study area, and the Caylloma caldera located to the SE, the first mineralizes the R' type structures, antiriedels or antithetical, which in turn, because they are extensional, have a greater vein amplitude, the second mineralizes the structures type R, riedels or synthetic.

The analysis of mineralogical stages allowed us to understand the mineralogical behavior at depth of the veins according to the mineralogical sets of ores and gangues, ore mineralization style and gangue texture, this through the determination of 8

mineralogical stages, this analysis led to the construction of a guide table for the location of the different mineralogical stages.

Keywords: Fault systems, Riedel model, shear zone, stress, Anderson model, kinematic indicators, mineralogical stages, mineralization style, hydrothermal alterations.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de investigación pretende definir los principales estilos de deformación y fuente de mineralización de las vetas polimetálicas de intermedia sulfuración.

Para el tema de deformación se detalla el modelo de fracturación desarrollada en una zona de cizallamiento – Modelo de Riedel, en la cual se describe la secuencia de formación de cada una de las fallas y fracturas (fallas conjugadas R y R', fracturas tensionales T, fracturas tipo P), asiéndose a la vez la comparación con lo que sucede en el área de estudio, además de realizar el análisis estructural en base a las mediciones (azimut, buzamiento, dirección de buzamiento y Pitch) de las estructuras (fracturas, vetas) en campo para determinar la dirección de los esfuerzos principales (σ_1 , σ_2 y σ_3) responsables de la deformación. Así mismo establecer el análisis cinemático de fallas con el fin de determinar el sentido del movimiento (transcurrente, normal o inverso), a través de la interpretación de una variedad de pequeñas estructuras asociadas a las estrías en el plano de falla denominadas “tectoglifos”.

Para el tema de la mineralización, se detalla las principales estructuras responsables de la mineralización (calderas), así mismo se realiza los estadios mineralógicos basados en los datos históricos de perforación diamantina (loggeo geológico), análisis de los frentes que actualmente se encuentran en explotación, así como el cartografiado geológico en superficie.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y Determinación del Problema.	1
1.2. Delimitación de la Investigación.....	2
1.3. Formulación del Problema.	2
1.3.1. Problema General.....	2
1.3.2. Problemas Específicos.	2
1.4. Formulación de Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo General.	3
1.4.2. Objetivos Específicos.....	3
1.5. Justificación de la Investigación	3
1.6. Limitaciones de la investigación.....	3

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudio.	4
2.1.1. A nivel Nacional	4
2.1.2. A nivel Regional y/o Local	7
2.1.3. A nivel Internacional.....	10

2.2. Bases Teóricas – Científicas.	14
2.2.1. Evaluación estructural de la deformación.	14
2.2.2. Indicadores cinemáticos (Tectoglifos).	15
2.2.3. Método de Anderson	41
2.2.4. Fracturas desarrolladas en una Zona de Cizallamiento – Modelo de Riedel	41
2.2.5. Zonas De Transtensión ó Transpresión.....	47
2.3. Definición de Términos Básicos	47
2.4. Formulación de Hipótesis	48
2.4.1. Hipótesis General	48
2.4.2. Hipótesis Específicas	49
2.5. Identificación de Variables	49
2.5.1. Variables Independientes	49
2.5.2. Variables Dependientes.....	49
2.5.3. Variables Intervinientes	49
2.6. Definición Operacional de Variables e Endicadores	50

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación.....	51
3.2. Nivel de Investigación	52
3.3. Métodos de Investigación	52
3.4. Diseño de Investigación	52
3.5. Población y muestra	52
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	53
3.6.1. Técnicas.....	53

3.6.2. Instrumentos	53
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	53
3.7.1. Datos Estructurales.....	53
3.7.2. Procesamiento Informático	54
3.7.3. Análisis de los resultados	55
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	55
3.8.1. Técnicas de Procesamiento de Datos	55
3.8.2. Técnicas de Procesamiento Informático	56
3.9. Tratamiento Estadístico.....	56
3.10. Orientación Ética, filosófica y epistémica	56

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del Trabajo de Campo.....	57
4.1.1. Ubicación	57
4.1.2. Accesibilidad.....	57
4.1.3. Geología Regional.....	58
4.1.4. Geología Local	64
4.2. Presentación, Análisis e Interpretación de Resultados.....	111
4.3.1. Análisis de las Vetas Mineralizadas con el Modelo Estructural de Riedels	111
4.3.2. Interpretación de Resultados	125
4.4. Prueba de Hipótesis.....	133
4.5. Discusión de Resultados.	133

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Clasificación de los indicadores cinemáticos	36
Figura 2: Ejemplos de la aplicación de esta clasificación a superficies de fallas naturales a diferentes escalas	37
Figura 3: Tectoglífos - Criterios de sentido de movimiento de fallas (Modificado de Macharé, 2001).....	40
Figura 4: Experimento de Riedel.	43
Figura 5: Experimento de deformación progresiva en una banda de cizalla.	45
Figura 6: Modelos de Fracturación.	46
Figura 7: Ubicación del Proyecto Corona – Antimonio.....	58
Figura 8: Plano Geológico Regional – Proyecto Corona-Antimonio.	60
Figura 9: Plano Estructural Regional – Proyecto Corona-Antimonio	63
Figura 10: Columna Estratigráfica – Proyecto Corona-Antimonio.	67
Figura 11: Plano Geológico Local – Proyecto Corona-Antimonio.....	92
Figura 12: Plano de Alteración Hidrotermal – Proyecto Corona-Antimonio.	93
Figura 13: Sección del sondaje ANIS052917A – Veta Animas	103
Figura 14: Sección del sondaje LPLS002011 – Veta La Plata.	104
Figura 15: Sección del sondaje LPLS003011 – Veta La Plata.	105
Figura 16: Sección del sondaje CANS003506 – Veta C. Antimonio.	106
Figura 17: Sección del sondaje CANS003706 – Veta C. Antimonio.	107
Figura 18: Sección del sondaje CORS000111 – Veta Corona.....	108
Figura 19: Sección del sondaje SANS000111 – Veta San Antonio.....	109
Figura 20: Sección del sondaje SANS000211 – Veta San Antonio.....	110
Figura 21: Plano Estructural Local – Proyecto Corona-Antimonio.....	112
Figura 22: Modelo Esquemático Estructural – Proyecto Corona-Antimonio.....	114

Figura 23: Plano de ejes de Seccion – Proyecto Corona-Antimonio	115
Figura 24: Sección Geológica A - A' – Proyecto Corona-Antimonio	116
Figura 25: Sección Geológica B - B' – Proyecto Corona-Antimonio	117
Figura 26: Sección Geológica C - C' – Proyecto Corona-Antimonio	118
Figura 27: Sección Geológica D - D' – Proyecto Corona-Antimonio.....	119
Figura 28: Sección Geológica E - E' – Proyecto Corona-Antimonio.....	120
Figura 29: Diagrama de Rosetas – Familia de fracturas.	121
Figura 30: Contornos de densidad de polos – Familia de fracturas	122
Figura 31: Diagrama de rosetas – Vetas y Fallas	123
Figura 32: Contornos de densidad de polos – Vetas y Fallas	123
Figura 33: Determinación de Esfuerzos (σ_1 , σ_2 , σ_3).....	125
Figura 34: Sección Transversal F - F' – Estadios Mineralógicos – Proyecto Corona-Antimonio.....	131
Figura 35: Sección Transversal G - G' – Estadios Mineralógicos – Proyecto Corona-Antimonio.....	132

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Modelo del Zonamiento Mineralógico – Proyecto Corona-Antimonio.....	130
---	-----

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y Determinación del Problema.

En los yacimientos de minerales metálicos del Perú, es muy importante entender y conocer la persistencia de la mineralización tanto longitudinal como en profundidad, con el objetivo de incrementar los recursos (Quispe C., J., 2006).

En la exploración de minerales, se tiene que verificar la continuidad de la mineralización en forma vertical y longitudinal, una de las herramientas que se utiliza generalmente para lograr la verificación estructural es utilizar el modelo de Riedels, este modelo nos indica la conjugación de fallas creando un patrón que podemos utilizar para interpretar la amplitud de la mineralización, así como nuevas estructuras posiblemente económicas.

Cuando se requiere determinar los esfuerzos que contribuyeron a la formación de estructuras geológicas que posteriormente fueron mineralizadas, se utiliza el modelo de Riedels (Riedel, W., 1929).

Como es necesario determinar las zonas de mineralización, se utilizará este modelo como una posible explicación del origen de la mineralización.

Toda empresa minera requiere incrementar sus reservas de minerales, por lo tanto, se realiza esta exploración utilizando un modelo estructural, que nos dará indicios de la continuidad de la mineralización en base a los lineamientos estructurales.

1.2. Delimitación de la Investigación.

El estudio se llevó a cabo en Minera Bateas, en la concesión Corona – Antimonio durante el año 2019, definiendo características estructurales a las secuencias volcánicas presentes en el área de estudio las cuales se fundamentan con el modelo de Riedel.

El alcance de este estudio pretende ser referencia en el análisis de estructuras mineralizadas en zonas estructuralmente complejas de yacimientos tipo.

1.3. Formulación del Problema.

1.3.1. Problema General.

¿Cómo influye el modelo estructural de Riedels en el análisis de las vetas mineralizadas del proyecto Corona – Antimonio?

1.3.2. Problemas Específicos.

¿En qué grado las características geológicas influyen en el análisis de las vetas mineralizadas del proyecto Corona – Antimonio?

¿De qué manera las características estructurales determinan el análisis de las vetas mineralizadas del proyecto Corona – Antimonio?

1.4. Formulación de Objetivos.

1.4.1. Objetivo General.

Generar el modelo estructural de Riedels en el análisis de las vetas mineralizadas del proyecto Corona – Antimonio.

1.4.2. Objetivos Específicos.

Determinar las características geológicas que influyen en el análisis de las vetas mineralizadas del proyecto Corona – Antimonio.

Establecer las características estructurales que determinan el análisis de las vetas mineralizadas del proyecto Corona – Antimonio.

1.5. Justificación de la Investigación

Es justificable realizar el proyecto porque permite identificar el potencial de las estructuras mineralizadas tanto longitudinal y verticalmente, surge ante ello la necesidad de crear un modelo estructural y un modelo de estadios mineralógicos, así poder tener noción de la amplitud de las estructuras y el alcance de la mineralización, así como el posible descubrimiento de nuevas estructuras mineralizadas.

1.6. Limitaciones de la investigación

Las limitaciones frecuentes en el ámbito minero son: el uso del software y los datos de las muestras son de carácter privado, de la misma manera los resultados de laboratorio tienen la misma naturaleza.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudio.

2.1.1. A nivel Nacional

Caycho V., Y. (2019), en la Tesis “Análisis estructural de la configuración relacionada con la mineralización Cordillera Negra, región Ancash – Perú”, realiza un análisis de la configuración estructural de la cordillera Negra, relacionándolo con el origen de la mineralización de la zona.

Caycho V., Y. es una tesista de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, para optar el título de Ingeniero Geólogo, el principal objetivo de esta tesis es establecer el análisis estructural en base al modelo de Riedel, relacionando con la mineralización en el sector norte de la Cordillera Negra. Ello involucra, evidenciar que los grandes sistemas de fallas con rumbos NW – SE y NE – SW que han influenciado en la mineralización del sector norte de la Cordillera Negra, lo cual explicaría la presencia de yacimientos minerales en el área de estudio. Por lo tanto, el aporte principal de este trabajo de investigación consiste en generar un

modelo estructural denominado “Sistema Estructural Ancash” en el sector norte de la Cordillera Negra; este sistema está dado por un sigmoide de cinemática normal-siniestral que genera un graben o cuenca pull –apart con lineamientos principales en el sector occidental por el Sistema de fallas Huaraz – Recuay y en el sector oriental por el Sistema de fallas de la Cordillera Blanca.

Quispe C., J. (2006), en la tesis “Características Estructurales e Isótopos de Plomo de las Mineralizaciones Auríferas de la Franja Huaytara – Tantará, Huancavelica (Perú)”.

Quispe C., J. es una tesista de la Universidad Politecnica de Madrid, para optar el título de Master en “Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Minerales”, el principal objetivo de este proyecto de investigación es determinar las principales fases de deformación y controles estructurales de la franja epitermal de baja sulfuración Huaytará-Tantará y su relación con la mineralización. La franja Huaytará-Tantará con rumbo NW – SE, se extiende a lo largo del flanco W de la Cordillera Occidental de los Andes del Perú central. La mineralización principal contiene Au–Ag (Pb-Zn-Cu) alojadas en secuencias volcánicas del Eoceno al Mioceno, esta franja se encuentra afectada por seis fases de deformación establecidas mediante el análisis estructural de fallas y fracturas en cuatro estaciones de trabajo: Antapite, Jatun Orcco, Pampa Andino y Castrovirreyna.

Sacsi Umasi, M. E. (2016), en la tesis “Características geológicas principales de la mineralización cuprífera post – Jurásico del yacimiento Chavinchá (veta Las Águilas). Lucanas – Ayacucho – Perú”.

Sacsi Umasi, M. E. es una tesista de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, para optar el título de Ingeniero Geólogo, el principal objetivo de este

proyecto de investigación es analizar la litología, alteración y composición mineralógica del yacimiento y su correlación espacial con el control estructural. Las vetas se han emplazado dentro de un “corredor” tectónico cuyas fallas principales R-1 y R-8 se han desplazado dextralmente (Para la interpretación del yacimiento se ha utilizado el modelo estructural de Riedel, 1929). Las principales estructuras formadas son consecuencia de los esfuerzos compresivos y la reactivación de los mismos formando vetas principales con orientación NW-SE (Sistema Andino) y vetas tensionales con diferentes rumbos y buzamientos propios de sistemas “tipo rosario” formando grandes “lazos cimoides”,

Huillca Pantura, R. (2017), en la tesis “Geología, análisis y modelo estructural del sistema de vetas de la Empresa Minera Vicus SAC Barranca, Lima, Perú”

Huillca Pantura, R. es una tesista de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, para optar el título de Ingeniero Geólogo, el principal objetivo de este proyecto de investigación es plantear un modelo estructural que permita predecir el movimiento y distribución de las estructuras mineralizadas. Se evidencia que las estructuras en el área de estudio son de compresión y distensión de alto ángulo. El Sistema NE-SW son fallas compuestas de compresión de naturaleza dextral – normal, considerado como primer episodio de actividad tectónica y pre mineral, este sistema sirvió para el emplazamiento de los fluidos mineralizantes respectivos. El sistema NW-SE son fallas de distensión, entre ellas las fallas locales “FALLA A” y “FALLA B”, son fallas compuestas inversa-sinestral, considerádo como un segundo episodio postmineral de actividad tectónica, pues modifica la geometría inicial del yacimiento.

Machuca Cabrera, P. (2022), en la tesis “Control estructural en los procesos de mineralización del sistema de vetas Santa Rosa, Mompañía Minera Sotrami S.A. - Ayacucho.”

Machuca Cabrera, P. es un tesista de la Universidad Nacional de Cajamarca, para optar el título de Ingeniero Geólogo, el principal objetivo de este proyecto de investigación es determinar el modelo estructural mediante la interpretación de los esfuerzos principales y la cinemática de las fallas que ocasionaron la configuración estructural para una posterior mineralización. Con este estudio se pudo determinar la dirección del esfuerzo principal y la cinemática responsables de la mineralización. Se comprobó la existencia de jogs y dúplex extensionales. Para estos cálculos se tuvo en cuenta los indicadores cinemáticos o tectoglifos, se realizó la toma de estaciones estructurales a partir del Nv. 5 hasta el Nv. 8 para la veta Santa Rosa, y para la veta Santa Rosa piso entre el Nv. 5 y 7, de donde se concluye que la zona de estudio está en una zona transtensional de fallas dextrales y sinestrales - normales, los cuales fueron responsables de la mineralización de la veta Santa Rosa que está dada por una cinemática dextral normal y veta Santa Rosa ramal que es una estructura anti riedel respecto a ésta con una disposición sinistral – normal así también, se logró comprender las diferentes variaciones de los campos de esfuerzo.

2.1.2. A nivel Regional y/o Local

Chicana Castillo, I. (2013), en la tesis “Características geológicas y exploración del proyecto Azuca. Chumbivilca, Cuzco”, la zona de estudio ubicado entre las minas Arcata y Selene propiedad de Hoschschild Mining.

Chicana Castillo, I. es un tesista de la Universidad Nacional de Ingeniería, para optar el título de Ingeniero Geólogo, el principal objetivo de este proyecto de investigación es el análisis estructural, las correlaciones y texturas mineralógicas. La zona está caracterizada por estructuras secundarias denominadas también fracturas Riedel, el arreglo estructural está asociado a tres sistemas: E-W, ENE-WSW y NNW-SSE. Con el análisis estructural de McCoss (Angus M. McCoss, 1986) se ha determinado la cronología relativa de los tres sistemas de vetas. El sistema E-W, comprende a las estructuras principales (vetas Azuca, Azuca Oeste, Esperanza, Yola y Karina), que están relacionados a sistemas transtensivos de cinemática sinistral-normal con distensión regional N320° -N140°. El sistema ENE-WSW, asociados al régimen transtensivo del primer sistema, con cinemática sinistral-normal que corresponde a un sistema tensional y distensión regional con dirección N172° -N352° (vetas Ramal Karina, Canela, Chabela, Mariela, Zoila, y Carolina). El sistema NNW-SSE es responsable del desplazamiento de las estructuras del primer sistema con una cinemática normal-sinistral originando “stresses” transtensivos (vetas Yanamayo, Vivian y Minaspata) (Medina et al. 2008 y Echavarría, L. 2007).

Sarmiento Arias, J. (2008), en la tesis “Menas auríferas epitermales en Chipmo y Poracota, Arequipa - Perú. Inclusiones fluidas e isótopos de Plomo y Estroncio, aplicaciones para la exploración”.

Sarmiento Arias, J. es una tesista de la Universidad Politécnica de Madrid, para optar el título de Master en “Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Minerales”, el principal objetivo de este proyecto de investigación es entender la configuración estructural – mineralógica, con la aplicación de métodos de inclusiones fluidas, isótopos estables y estroncio. En el área de estudio se determinó

cinco fases de deformación (D1, D2, D3, D4 y D5), de las cuales las fases D2 y D3 están estrechamente relacionadas con la mineralización de Chipmo y Poracota. La fase D2 tiene el esfuerzo (σ_1) variable con dirección E–W y ENE–WSW; en Chipmo las principales vetas (Nazareno y Prometida) se formaron en fallas transcurrentes o de rumbo con movimiento dextral (algunas veces normal), tienen rumbos de N45 - 75E; por tanto, se determinó a esta fase transcurrente e intramineral, lo cual indica un régimen tectónico transtensivo. La deformación D3 es transcurrente, encontrados solo en Poracota, las fallas regionales andinas de tipo o movimiento sinestral, formaron fallas de rumbo sinestral E-W de buzamientos convergentes; estos a su vez originaron fallas con dirección NE con movimientos dextral y la posterior formación de las vetas 1900 y Soraya. Un régimen dominante tectónico transpresivo estuvo presente durante la actividad hidrotermal y posterior mineralización en Poracota.

Barrantes Huamán, R. (2016), en la tesis “Geología económica y estructural del depósito aurífero Alpacay Yanaquihua, Condesuyos - Arequipa”.

Barrantes Huamán, R. es una tesista de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, para optar el título de Ingeniero Geólogo, el principal objetivo de este proyecto de investigación es definir el sistema estructural que controla la mineralización mediante los controles y ensambles mineralógicos así definir guías de exploración para otros yacimientos de similares características. Las dos fallas mayores de la zona de cizalla son conocidas como Piñog y Chiuca que controlan las vetas del distrito minero con un rol importante en la configuración estructural receptor de la mineralización. Se evidencio 2 sistemas estructurales importantes; uno de rumbo N70°-80°E y el otro sistema con rumbo N70°-80°W, ambos sistemas se encuentran conjugados en forma de X sin evidenciar mayor

desplazamiento entre ellos. y un tercer sistema con rumbo N45°E. En las vetas se evidencia más de un pulso hidrotermal que ha dado lugar a rellenos mineralógicos de reemplazamiento y sobrepuestos. la ocurrencia de 2 sistemas estructurales conjugados en las vetas de Esperanza, en forma de X, son similares a las fallas conjugadas que ocurren entre dos fallas principales en zonas de transtension y transpresión de rumbo en el modelo de Riedel (1929).

Carpio Pizarro, D. (2017), en la tesis “Control geológico estructural de mineralización y correlación de flujos hidrotermales en Veta Mercedes Unidad Minera San Juan de Chorunga Condesuyos – Arequipa”.

Carpio Pizarro, D. es una tesista de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, para optar el título de Ingeniero Geólogo, el principal objetivo de este proyecto de investigación es establecer los controles estructurales que favorecieron la mineralización de la veta Mercedes correlacionándolo con los flujos hidrotermales. El estudio determinó que la Veta Mercedes, forma parte del yacimiento determinada como una estructura en donde coexisten zonas de transpresión y transtensión que son producto de deformaciones en rocas de comportamiento frágil analizados en base a las estrías de planos de fallas utilizando el modelo de Riedel, Ramsay y Anderson con los cuales se determinó que el relleno de vetas está asociado a estructuras de cizallamiento sinistral con una componente normal que luego fue cambiando a estructuras transcurrentes.

2.1.3. A nivel Internacional

Valenzuela Rentería, M. (2003), en la tesis “Sistema Riedel en la evolución tectónica Terciaria de Sonora, México”

Valenzuela Rentería, M. es una tesista de la Universidad de Sonora - México, para optar el título de Maestro en Ciencias - Geología, el principal objetivo de este proyecto de investigación es establecer por primera vez la existencia de tres sistemas Riedel de escala regional en Sonora que implican que la distensión Terciaria estuvo asociada a un régimen cizallante. Los sistemas Riedel descubiertos se nombraron con números del 1 al 3. El más antiguo es el 3 y es de tipo sinistral y los restantes son dextrales. El sistema 1 caracterizado por que sus fallas R varían en rumbo entre N35°W y N42°W en cambios las fallas R' lo hacen entre N24°E y N37°E y las de tipo T mayormente se orientan casi N-S. Las fallas tipo P y las maestras tienen el rumbo N60°W y N45°W respectivamente. Las fallas tipo T son muy conspicuas por lo que muchos geólogos han reconocidos fallas normales con rumbos N-S.

Echeverry C., S. et al. (2009), en la tesis “Aspectos estructurales y relaciones de algunos sistemas vetiformes del distrito minero Segovia-Remedios”

Echeverry C., S., Cárdenas V., A., Ordóñez C., O. y Muñoz A., O. son tesistas de la Universidad Nacional de Colombia para optar el título de Ingenieros Geólogos, el principal objetivo de este proyecto de investigación es plantear un modelo estructural donde se generan estructuras secundarias y terciarias tipo Riedel (R, R1, X, y P). Distinguiéndose dos momentos de generación de estructuras (Etapas 1 y 3) y dos momentos de generación de soluciones mineralizantes (Etapas 2 y 3) enmarcadas en las tres etapas relacionadas a la creación y movimiento de la falla Otú-Pericos.

En la etapa 1, se da origen a las fracturas de los sistemas Silencio, Vertical y Cogote y es en la etapa 2 donde forman los diques y fluidos mineralizantes que

mineralizan estas fracturas en estos Sistemas. En la etapa 3 se forman todo el sistema Providencia, que a su vez constituye el último evento mineralizante conocido en el DMSR.

Las dos primeras etapas se dan en condiciones de transición frágil-dúctil y la tercera etapa en un domino más frágil.

Ronda, G. et al. (2014), en la publicación “Sistemas de Riedel como mecanismo de deformación en los Andes Patagónicos, norte de Santa Cruz”.

Gonzalo Ronda, Matías C. Ghiglione y Vanesa Barberón son geólogos que presentaron este estudio en el XIX Congreso Geológico Argentino con el objetivo de la determinación de direcciones predominantes de fracturación, para a continuación proponer la cinemática para la formación de las mismas. Con la recopilación de trabajos previos se definió tres familias de fracturas existentes: una familia principal con rumbo NNW a N-S; una familia con dirección WNW; y por último una familia de lineamientos con rumbo ENE. Estos autores definieron las primeras dos familias como un sistema transtensivo jurásico y la familia ENE estaría configurado por un posterior cambio en el vector extensión. Con este análisis de autores predecesores se propuso que estas familias en conjunto conformen un sistema de tipo Riedel, tomando como componente principal Y a la Falla Cerro Colorado, actual frente orogénico, fallamiento con desplazamiento oblicuo, de tipo normal y sinistral.

Macias Vázquez, J. (2013), en la publicación “Estudio de Estratigrafía y Geología del Complejo Volcánico Tres Vírgenes, B.C.S.”

Macias Vázquez, J. es Dr. En geología que presenta este proyecto de investigación en colaboración con la Universidad Nacional Autónoma de México

con el objetivo de actualizar la configuración estratigráfica, estructural del Complejo Volcánico de Tres Vírgenes (CVTV) ubicado en la porción norte de Baja California Sur. El área de estudio comprende 28 km², mediante mapeo geológico y la ayuda de dataciones de ⁴⁰Ar/³⁹Ar permitió definir veinte unidades volcánicas. El CVTV está emplazado en un sistema de fallas laterales derechas NW-SE asociado a la apertura del Golfo de California, generando fallas de bajo ángulo (R) con comportamiento dextral (Sistema Bonfil) y fallas de ángulo alto (R') relacionadas con una zona de tensión, responsable de la formación del CVTV (Falla lateral sinistral Cimarrón).

Tobón Agudelo, J. (2021), en la tesis “Marco geológico y arquitectura estructural del Distrito Minero Segovia - Remedios (DMSR)”

Tobón Agudelo, J. es un tesista de la Universidad Nacional de Colombia, para optar el título de Magister en Ingeniería de los Recursos Minerales, el principal objetivo de este proyecto de investigación es establecer el marco geológico, identificar los procesos magmáticos e hidrotermales, y caracterizar estructuralmente los sistemas vetiformes del distrito minero Segovia - Remedios (DMSR). El estudio estructural permitió establecer la génesis y la historia de deformación basadas en evidencias de campo, correlación entre la disposición estructural y la mineralización en relación con los cuerpos plutónicos del área. El modelo estructural se determinó en base al análisis de los datos ponderados mediante el diagrama de rosas. Como resultado, se identificaron cinco familias de estructuras lineales en el DMSR: N30° - 60°E (sistema El Silencio), N30° - 70°W (sistema Cogote y Sistema Vertical), N10°W a N-S (sistema Córdoba) y N70°W a E - W (sistema Providencia).

Los sistemas de fracturas en el DMSR, se desarrollaron a partir de un evento compresivo de dirección SW-NE en niveles corticales con comportamiento frágil, en donde se emplazó la mineralización de las diferentes vetas. Primero se generaron las fracturas tipo Riedel o R (Sistema Córdoba), seguidas de las fracturas tensionales tipo (T) o diaclasas (Sistema El Silencio), después las fallas inversas (Sistema Providencia) y, por último, las estructuras principales o zonas de cizallas Y (Sistema Cogote).

2.2. Bases Teóricas – Científicas.

2.2.1. Evaluación estructural de la deformación.

El análisis cinemático de fallas radica en identificar el sentido de movimiento (normal, inverso o transcurrente) de fallas, a través de la interpretación de una diversidad de pequeñas estructuras ligadas a las estrías en el plano de falla, llamadas “tectoglifos” (Quispe C., J. 2006).

Las fallas son muy importantes, por que influyen en la deposición de menas y geometría de un yacimiento (si estas se encuentran activas durante la circulación de fluidos mineralizantes) o cambian la geometría inicial del yacimiento (si son posteriores al evento mineralizante).

Por ello, es de gran importancia conocer los diferentes modelos de fracturación y la cinemática de fallas, a fin entender los estilos de deformación espacial y temporal a los que está sujeto un determinado yacimiento; de manera que pueda ser una guía complementaria para la exploración (Quispe C., J. 2006).

Principio del análisis cinemático

El desplazamiento relativo entre dos bloques a ambos lados de un plano de falla es el dato esencial para todo análisis cinemático. Si bien de manera simple, se

dice que una falla es normal o inversa (si su desplazamiento es especialmente vertical) o que es dextral o siniestral (si el desplazamiento es especialmente horizontal), lo verdad es que la mayoría de las fallas tiene desplazamientos oblicuos. Así, las fallas resultan siendo normal-siniestral o todas las otras combinaciones (Quispe C., J. 2006).

La dirección de desplazamiento está dada por las estrías de fricción, cuyo pitch (ángulo entre la dirección de las estrías y la horizontal del plano de falla, medido sobre este plano) es fácilmente medido con brújula o transportador, en el campo.

Las mediciones de campo útiles para el análisis cinemático de fallas son las siguientes:

- Rumbo y buzamiento del plano de falla principal
- Sentido de movimiento de la falla
- Pitch y dirección de inclinación de las estrías de falla

Estos datos estructurales son plasmados en proyecciones estereográficas y permiten determinar la dirección e inclinación de los esfuerzos principales σ_1 (compresivo), σ_2 (intermedio) y σ_3 (tensional), responsables de la deformación (Quispe C., J. 2006).

2.2.2. Indicadores cinemáticos (Tectoglifos).

Los indicadores cinemáticos son estructuras pequeñas que se han originado por tectonismo que nos ayudan a determinar la dirección y sentido de desplazamiento de los bloques en zonas de falla y cizalla desarrollados en medio frágil. Estos aspectos pueden describirse desde una escala microscópica hasta megascópica. Actualmente se tiene un gran interés en utilizar criterios geológicos

en identificar el sentido de los desplazamientos de los bloques que conforman una falla. Diversos autores tienen artículos geológicos al respecto, entre los cuales los más usados son el de Petit (1987) y Petit, et al. (1983), por la facilidad que presentan para recordar los diferentes criterios. De este modo, criterios tales como el de la suavidad al tacto de una superficie de falla (Billings, 1954; pág. 150), se encuentran en total desuso.

Para criterios adicionales y acuñados en idioma español el lector es referido al artículo de Doblas (1987). Existen además algunos criterios observables en cortes transparentes (Doblas, 1991), pero que no se detallan en estos apuntes, por ser demasiado específicos.

2.2.2.1. Clasificación de los indicadores cinemáticos

Estos son los indicadores cinemáticos que se encuentran en el plano de desplazamiento de la falla que están divididos en once grupos principales (**Fig. 1**). Estos importantes indicadores se han determinado en grupos de acuerdo a una serie de características morfológicas y geométricas. Esta clasificación es aproximada en una escala de ocurrencia de las diferentes estructuras de planos de falla de desplazamiento (microscópicas a métricas), el grado de confianza que se aplica a cada indicador cinemático puede ser: bueno, regular o malo. (Doblas M., 1998).

Un 'buen' criterio debe ser si ha sido reconocido como tal con las referencias y/o corroborarse con los ejemplos en campo durante las investigaciones realizadas. Se considerará un criterio “regular” (incluso si ha sido citado en la literatura) si no ha sido corroborada en el campo durante el curso del estudio. Finalmente, un criterio "pobre" será definido si los

criterios son contradictorios de acuerdo a lo publicado u observado. (Doblas M., 1998).

La clasificación mostrada en la Fig. 1 describe los diferentes indicadores cinemáticos en el plano de deslizamiento como se describe a continuación:

a) “V” o marcas de media luna (CM)

Estas marcas se encuentran en las superficies de deslizamiento en el plano de falla (CM en la Fig. 1). Algunas de estas características tienen sus ángulos agudos o concavidades en contra al movimiento del bloque opuesto: **(Fig. 1 - 1CM)** senderos protectores generalmente denominados “senderos” (Willis y Willis, 1934), “crestas de arrastre” (Tjia, 1967), o “crestas de gubias” (Power y Tullis, 1989), también son similares a las “marcas de socavación” en el hielo (Allen, 1965). Estas figuras resultan del efecto adherencia de protuberancias que actúan como objetos duros. **(Fig. 1 - 2CM)** marcas de media luna escalonadas (Willis y Willis, 1934; Tjia, 1968) ocurren individualmente (en lugar de una serie, como marcas de vibración Tjia, 1968), y están formados por fracturas secundarias que interrumpen algunos sectores sobresalientes de las superficies de falla. **(Fig. 1 - 3CM)** Marcas de escombros (Doblas, 1987) corresponden a rayas de escombros en forma de V que se alejan de un grano o protuberancia visible. **(Fig. 1 - 4CM)** las marcas de arranque son buenos indicadores de fallas normales activas, y están constituidos por rasgos en forma de

zanahoria como resultado del efecto de arrastre de los granos arrancados (Doblas et al., 1995, 1997a).

Otras marcas tienen sus ángulos agudos o concavidades orientadas en la dirección opuesta: (Fig. 1 - 5CM) surcos de grano ranurado (Tjia, 1964, 1967; Jackson y Dunn, 1974; Doblas, 1985, 1987; Spray, 1989), “surcos moldeados” (Willis y Willis, 1934), “marcas de prod” (Tjia, 1968), o “ranuras de desgaste microscópicas” (Engelder, 1974a,b), son rasgos en forma de zanahoria que representan rastros dejados por granos en movimiento que finalmente se indentan en la superficie de falla (generalmente son de confianza). (Fig. 1 - 6CM) Las Espuelas (Willis y Willis, 1934; Tjia, 1967) o “parches triangulares de gubia” (Norris y Barron, 1969) están formadas por material de falla apilado contra protuberancias. (Fig. 1 - 7CM) Flautas tectónicas (Dzulynski y Kotlarczyk, 1965; Doblas et al., 1995, 1997a) o ‘nichos de corriente’ (Vialon et al., 1976) resultan del arranque del material de la falla dejando atrás características cóncavas complejas. (Fig. 1 - 8CM) Las marcas de vibración son buenos criterios cinemáticos constituidos por trenes de fracturas curvas en el fondo de los surcos (Tjia, 1967; Willis y Willis, 1934). (Fig. 1 - 9CM) Las grietas de tensión ocasionalmente muestran contornos en forma de media luna en la planta (Dzu Lynski y Kotlarczyk, 1965). (Fig. 1 - 10CM) Las depresiones en forma de cuchara son indicadores confiables que se han formado alrededor de pequeñas partículas duras en fallas normales activas (Power y Tullis, 1989).

Finalmente, algunas otras marcas en forma de “V” o media luna estan orientadas en ambos sentidos y, por lo tanto, son malos indicadores cinemáticos: (Fig. 1 - 11CM) Se han descrito pequeños grupos de características en forma de “V” como: (i) Arañazos y estrías producidas al arrancar partículas duras (Willis y Willis, 1934; Tjia, 1967), y (ii) magulladuras causados por los escombros de la falla en forma de rayas alargadas (Willis and Willis, 1934; Tjia, 1967, 1968; Jack son and Dunn, 1974), también conocidos como elementos triturados (Vialon et al., 1976). (Fig. 1 - 12CM) Se citan una larga lista de microfracturas normales e inversas con marcas en su mayoría cóncavas: “fracturas o gubias en media luna”, “surcos hundidos”, “fracturas semilunares”, “lúnulas de pliegues tectónicos”, “medias lunas cóncavas”, etc. (Harris Jr., 1943; Dzulynski, 1953; Wegman y Schaer, 1957; Paterson, 1958; Tjia, 1968; Mattauer, 1976; Petit et al., 1983; Petit, 1987; Spray, 1989). (Fig. 1 - 13CM) De manera similar, se han descrito muchas secuencias diferentes de fracturas en forma de media luna: "fracturas en forma de media luna o gubia", "fracturas secundarias pinnadas curvas", “grietas semilunares por fricción”, “marcas parabólicas”, “fracturas en forma de peine”, “arcaturas”, “roturas”, etc. (Willis y Willis, 1934; Harris Jr., 1943; Tjia, 1967; Wardlaw et al., 1969; Hancock y Barka, 1987; Sellier y Bossiére, 1993; Ángelier, 1994). Estas secuencias de fracturas semilunares podrían estar orientados con sus concavidades mirando hacia el movimiento del bloque opuesto [(i) ‘arcaturas’; Sellier y Bossiére, 1993], o en sentido

contrario [(ii) “roturas”; Sellier y Bossiére, 1993]. En algunos casos, podría ser posible distinguirlos: las “arcaturas” se forman por deslizamiento y no se produce el desprendimiento del material de falla, mientras que las ‘roturas’ están relacionadas con objetos rodantes que provocan el desprendimiento del material de falla (Johnson, 1975; Lawson, 1983; Sellier y Bossiére, 1993). (Fig. 1 - 14CM) El último criterio de este grupo está constituido por la forma de espina de pescado slickenside (Dzulynski y Kotlarczyk, 1965) también llamados “grietas o estrías en forma de espina de pescado” (Vialon et al., 1976), que corresponden a surcos longitudinales relativamente anchos separados por estrechas crestas, dando lugar a “V” y marcas cóncavas que apuntan en direcciones opuestas.

b) Escalones (ST)

Los escalones se encuentran en secciones normales a las superficies de falla en la dirección del movimiento, y generalmente son subperpendiculares a las estrías (ST en la Fig. 1). Este criterio se basa en la orientación de las contrahuellas de los escalones (que pueden estar definidas por elementos planos, protuberancias o granos asimétricos), ya sea mirando en la misma dirección que el movimiento del bloque opuesto (“criterio de suavidad positiva”, Angelier, 1994; o, “escalones congruentes”, Norris y Barron, 1969), o lo contrario (“criterio de suavidad negativa”; Angelier, 1994; o, “escalones incongruentes”; Norris y Barrón, 1969). Este criterio podría describirse como “las cantidades relativas de fricción que se produce cuando la mano del observador se mueve en sentidos

opuestos sobre la falla paralela a una alineación del lado de deslizamiento" (Angelier, 1994). Hancock (1985) sugirió una clasificación de escalones que incluye seis variedades incongruentes producidas por desgaste de fricción y dos congruentes asociadas con fibras de crecimiento acumulativo. Sin embargo, esto es una simplificación excesiva, y el presente documento mostrará que las cosas son mucho más complejas, con al menos catorce tipos diferentes de escalones que involucran una amplia variedad de mecanismos de deformación. Varias características corresponden al clásico "criterio de suavidad positiva" (Billings, 1942) que fue ampliamente utilizado hasta tiempos recientes: (Fig. 1 – 1ST) Espuelas (Willis y Willis, 1934; Tjia, 1967, 1968). (Fig. 1 – 2ST) Elevaciones nudosas (Dzulynski y Kotlarczyk, 1965; Doblas, 1991) o 'slickenside rocas en forma de piel de oveja' (Tjia, 1967, 1968), que son elevaciones asimétricas formado directamente sobre la roca de la pared de una falla. (Fig. 1 – 3ST) Las fibras de cristal se encuentran entre los mejores indicadores cinemáticos y corresponden a minerales neoformados creciendo congruentemente en zonas de sombra (Durney y Ramsay, 1973; Hobbs et al., 1976; Mattauer, 1976; Vialón et al., 1976; Petit et al., 1983; Doblas, 1985, 1987, Doblas, 1991; Lee y Means, 1990; Lee, 1991). (Fig. 1 – 4ST) Tres tipos diferentes de características detalladas en relación a la tensión descritas en algunos escalones congruentes a las fallas normales activas constituyen excelentes criterios cinemáticos

(Doblas et al., 1995, 1997a): bordes afilados (i), fracturas por tensión (ii) y desprendimiento de fragmentos (iii).

Otras características corresponden a un "criterio de suavidad negativa" en el sentido de que las contrahuellas de los escalones están orientadas contra el movimiento del bloque opuesto (escalones incongruentes; Norris y Barron, 1969): (Fig. 1 – 5ST) Tres tipos excelentes de características detalladas relacionadas con la contracción se han descrito en algunos escalones incongruentes de fallas normales activas (Doblas et al., 1995, 1997a): bordes dañados (i), microescamas empujadas (ii), y microindentaciones en forma de flecha (iii). (Fig. 1 – 6ST) Senderos de Refugio (Willis y Willis, 1934; Tjia, 1967, 1968; Means, 1987; Power y Tullis, 1989). (Fig. 1 – 7ST) Surcos de granos ranurados (Tjia, 1967; Petit et al., 1983; Petit, 1987). (Fig. 1 – 8ST) fracturas P, que también se denominan “relieves entre las estrías” (Petit et al., 1983; Petit, 1987), y constituyen fracturas por cizallamiento estriadas secundarias de orientaciones P. (Fig. 1 – 9ST) Las grietas de tensión son buenos indicadores cinemáticos (Dzulynski y Kotlarczyk, 1965; Tjia, 1967; Vialon et al., 1976; Petit et al., 1983). (Fig. 1 – 10ST) Slickolitas (Arthaud y Mattauer, 1969; Mattauer, 1976; Means, 1987; Hancock, 1985) están formados por picos oblicuos estilizados, y se encuentran entre los mejores indicadores cinemáticos. Finalmente, algunos escalones pueden corresponder a un "criterio de suavidad positivo" o "negativo", y por lo tanto son malos indicadores cinemáticos: (Fig. 1 – 11ST) Los escalones en

desplume pueden ser congruentes o incongruentes, y muchos autores las han descrito (Dzulynski y Kotlarczyk, 1965; Ricker, 1965; Tjia, 1964, 1967; Norris y Barron, 1969; Hobbs et al., 1976; Vialón et al., 1976; Doblas, 1985, 1987; Lin y Williams, 1992). (Fig. 1 – 12ST) Lo mismo sucede con los escalones de acreción que se forman por el material defectuoso enlucido de fallas en zonas de sombra (Dzulynski y Kotlarczyk, 1965; Tjia, 1967; Norris y Barron, 1969; Spray, 1989). (Fig. 1 – 13ST) Se han reconocido muchas variedades de fracturas sintéticas y antitéticas, como las “fracturas pinnadas secundarias”, las “fracturas de Riedel”, las “fracturas en pluma”, “failles secundarias F”, “escalones de diaclasas pinnadas”, etc. (Harris Jr., 1943; Rod, 1966; Tjia, 1967; Curry, 1969; Norris y Barron, 1969; Vialón et al., 1976; Petit et al., 1983). (Fig. 1 – 14ST) El efecto de arrastre en elementos planos anteriores también podría desencadenar escalones congruentes (i) e incongruentes (ii) (Vialón et al., 1976). Sólo es posible utilizar estos escalones como indicadores cinemáticos fiables en el caso de los escalones congruentes de las milonitas SC (Lin y Williams, 1992).

Podría concluirse que la técnica clásica de la mano de suavidad-rugosidad de Billings (1942) para determinar el sentido de corte a partir de la orientación de las contrahuellas de los escalones todavía se puede utilizar con fiabilidad (ver también Rod, 1966) en dos específicos casos donde predominan los siguientes escalones: en rocas calcáreas deformadas en los niveles estructurales superiores con escalones congruentes relacionados con el

crecimiento de fibras de cristal (criterio ST3; Durney y Ramsay, 1973); y, en milonitas dúctiles SC fuertemente deformadas donde predominan los escalones toscos congruentes (criterio ST14i; Lin y Williams, 1992).

c) Fracturas (FR)

Las fracturas que podrían ser utilizadas como indicadores cinemáticos se observan en secciones perpendiculares a la superficie de falla en la dirección del movimiento (FR en la Fig. 1). El criterio en este caso se basa de la inclinación de estas fracturas. Alguna inmersión hacia el movimiento del bloque opuesto: (Fig. 1 – 1FR) Las grietas de tensión se encuentran entre los mejores criterios para deducir el sentido de movimiento en los planos de deslizamiento (Dzulynski y Kotlarczyk, 1965; Tjia, 1967; Vialon et al., 1976; Doblas, 1985, 1987; Petit, 1987), incluso en una escala microscópica (Lee, 1991) con "lentes en forma de escamas en gubia" (Norris y Barron, 1969) o "fracturas microscópicas en forma de plumas, mff" (Friedman y Logan, 1970; Conrado II y Friedman, 1976). (Fig. 1 – 2FR) fracturas híbridas sintéticas son buenos criterios cinemáticos en fallas normales activas (Doblas et al., 1995, 1997a, b). Podrían llamarse "fracturas híbridas" (siguiendo la nomenclatura de Hancock, 1985) ya que no son verdaderamente Fracturas de Riedel R1 (presentan ángulos entre 30 y 50°) y son sintéticos e inclinados hacia abajo. Las variedades en forma de cuchara a escala de un metro son comunes en fallas extensionales neotectónicas (Doblas et al., 1995, 1997a, b). (Fig. 1 – 3FR) Riedels

R1 sintéticos escalonados con compartimentos abultados son típicos de fallas hidroplásticas (Petit y Laville, 1987). (Fig. 1 – 4FR) R2 inversa Fracturas de Riedel (fracturas F1 o R0 de Petit et al., 1983; Petit, 1987). Sin embargo, algunas otras fracturas están inclinadas en la dirección opuesta: (Fig. 1 – 5FR) Los microempujes se encuentran entre los mejores indicadores cinemáticos (Doblas, 1987), y puede estar asociado con material arrastrado/ empujado (criterio TM3; Doblas et al., 1995, 1997a, b). (Fig. 1 – 6FR) fracturas P (Petit et al., 1983; Petit, 1987) podrían ser justos indicadores cinemáticos [cuando se encuentran fracturas aisladas (i)], o criterios de buen sentido de corte [cuando se encuentran en grupos, y forman un tejido penetrante en la superficie de falla (ii)].

Un amplio grupo de fracturas sintéticas y antitéticas (Fig. 1 – 7FR) que generalmente se encuentran solos, y que no tienen más características específicas, constituyen pobres indicadores cinemáticos, es decir, pueden estar inclinados en cualquier dirección (Harris Jr., 1943; Tjia, 1967; Currie, 1969; Norris y Barrón, 1969; Engelder, 1974b; Jackson y Dunn, 1974; Vialon et al., 1976; Logan et al., 1979; Petit et al., 1983; Pequeño, 1987; Lee y Medios, 1990; Lee, 1991; Doblas, 1991).

d) Secuencia de estructuras planas inclinadas (IS)

Una serie de criterios muy útiles está constituida por secuencias de estructuras planas inclinadas “en escalón” (IS en la Fig. 1) que se inclinan hacia el movimiento del bloque opuesto: (Fig.

1 – 1IS) Las geometrías tipo SC están constituidas por S sigmoides y C planos de corte (Planos P y Y en el campo frágil) y se encuentran comúnmente en rocas de fallas del lado de deslizamiento altamente deformadas (Petit et al., 1983; Doblas, 1985, 1987; Petit, 1987; Lee y Means, 1990; Lee, 1991; Crespi, 1993). (Fig. 1 – 2IS) Desplazamiento tipo dominó que muestra bloques inclinados con fracturas antitéticas (Doblas, 1985, 1987; Lee y Medios, 1990; Lee, 1991). (Fig. 1 – 3IS) Efecto de arrastre que dobla elementos planos anteriores (Doblas, 1987, 1991; Lee, 1991).

Otro grupo de estos criterios se caracteriza por inclinaciones en la dirección opuesta: (Fig. 1 – 4IS) Grietas de tensión sigmoidal (i), R1 Riedel o fracturas híbridas sintéticas (ii) también son buenos indicadores cinemáticos formando arreglos “en escalonamiento” (Doblas et al., 1995, 1997a). (Fig. 1 – 5IS) También se han descrito fracturas de Riedel R2 inversas en caras de deslizamiento (fracturas F1 o R0 de Petit et al., 1983; Petit, 1987). El último criterio se ha identificado con ambas inclinaciones, pero como dos tipos distintos: (Fig. 1 – 6IS) Las escamas del lado de deslizamiento se han descrito como material en forma de escamas parcialmente adherido que se sumerge en la dirección del movimiento del bloque faltante, asociado a la deformación de sedimentos blandos deformación cerca de ambientes superficiales (Spray, 1989). Este criterio (i) es excelente (aun si es inútil desde el punto de vista tectónico) en sedimentos blandos que han sufrido excavaciones mecánicas “antrópicas”, y que presentan abundantes

lascas. Sin embargo, también se han descrito inclinaciones contrarias (ii) en escamas microscópicas aisladas asociadas a planos de cizallamiento C en milonitas SC (Doblas, 1987) o a superficies deformadas generadas por la abrasión glacial (“microescalas”; Bossiére y Sellier, 1993).

e) Material de arrastre (TM)

El arrastre de material de falla en la dirección del movimiento del bloque opuesto ha sido demostrado ser un excelente indicador cinemático (TM en la Fig. 1): (Fig. 1 – 1TM) Rastros de escombros que se alejan de un elemento que sobresale (Doblas, 1985, 1987). (Fig. 1 – 2TM) Granos arrastrados que acompañan a los “surcos de grano ranurado” y que se caracterizan por un grano pegado al final de un rastro de gubia (Tjia, 1967; Jackson y Dunn, 1974; Mattauer, 1976; Doblas, 1985; Spray, 1989). (Fig. 1 – 3TM) Material arrastrado/empujado (Doblas et al., 1995, 1997a, b) constituyen escamas de material de falla arrancado y arrastrado en la dirección del bloque faltante con microcorrimientos frontales y fracturas por tracción (estas últimas características aparecen también en la parte posterior de las almohadillas empujadas). Los casos especiales observados en las fallas hidroplásticas son las “surcos cónicos” y “almohadillas empujadas” de Petit y Laville (1987). Ejemplos similares indicativos de algún tipo de imagen cinemática también se observan en surcos glaciares de sedimentos blandos (Savage, 1972), en moldes de estrías o surcos erosionales sinsedimentarios (Roberts, 1991), o en lava ranurada todavía

plástica (Nichols, 1938). (Fig. 1 – 4TM) Figuras de culminación/depresión (Doblas et al., 1995, 1997b) son características de escala métrica/forma ovalada donde el material ha sido removido por la depresión (d en la Fig. 1) y transportado por el movimiento de la falla para formar la culminación (c en la Fig. 1) por delante de la depresión. Estos dos últimos criterios (TM3 y TM4) se han observado en desprendimientos extensionales de bajo ángulo, y la morfología de las diferentes estructuras observado bajo el microscopio sugiere que se deformaron de una manera macroscópicamente dúctil por el proceso de flujo cataclástico, antes de que la deformación se localice en las superficies de falla (Doblas et al., 1995, 1997b). (Fig. 1 – 5TM) El último caso ha sido descrito bajo el microscopio y corresponde a minerales flexionados y desgarrados (i en la Fig. 1; Norris y Barron, 1969; Doblas, 1985) y compensaciones de grano (ii en la Fig. 1; Lee y Means, 1990; Lee, 1991).

f) Elevaciones asimétricas (AE)

Se observan elevaciones asimétricas en secciones perpendiculares a la superficie de la falla en la dirección del movimiento (AE en la Fig. 1). Algunas elevaciones tienen sus empinadas laderas frente al movimiento del bloque opuesto: (Fig. 1 – 1AE) senderos de refugio (Tjia, 1967; Gay, 1970). (Fig. 1 – 2AE) Parches triangulares de gubia (Norris y Barron, 1969). Algunas otras elevaciones tienen pendientes empinadas orientadas en la dirección opuesta: (Fig. 1 – 3AE) Las elevaciones rugosas se consideran

buenos indicadores cinemáticos (Dzulynski y Kotlarczyk, 1965; Tjia, 1967). (Fig. 1 – 4AE) Espuelas (Tjia, 1967).

g) Elementos deformados (DE)

Una serie de elementos deformados a lo largo de las superficies de falla constituyen excelentes indicadores cinemáticos (DE en la Fig. 1): (Fig. 1 – 1DE) Burbujas deformadas en rocas volcánicas mostrando un efecto de arrastre en la dirección del movimiento del bloque faltante (Angelier, 1994). (Fig. 1 – 2DE) También se han observado porfiroclastos de tipo σ o δ bajo el microscopio en las rocas de paredes rocosas de las fallas (Doblas, 1991). (Fig. 1 – 3DE) Los granos sobresalientes asimétricos con partes frontales dañadas (i) o sectores de sotavento pulidos (ii) constituyen excelentes criterios cinemáticos en fallas normales activas (Doblas et al., 1995, 1997a).

h) Orientaciones mineralógicas/cristalográficas (MC)

Las orientaciones específicas mineralógicas y cristalográficas observadas bajo el microscopio constituyen indicadores fiables de detección de cizallamiento (MC en la Fig. 1): (Fig. 1 – 1MC) Fibras lisas curvas (Twiss y Gefell, 1990); (Fig. 1 – 2MC) láminas gemelas en calcita E (Laurent, 1987); (Fig. 1 – 3MC) Orientaciones mineralógicas preferentes oblicuas de calcita o cuarzo (Doblas, 1991).

i) Características asimétricas de vista en planta (PW)

Existen dos características de vista en planta diferentes asimétricas/alargadas (PW en la Fig. 1): (Fig. 1 – 1PW) Las huellas de materiales han sido descrito como pendientes ascendentes más sinuosas en fallas normales activas (Hancock y Barka, 1987). Sin embargo, no son indicadores cinemáticos fiables ya que se han observado sentido contrario en fallas similares (Doblas et al., 1995, 1997a). (Fig. 1 – 2PW) El pulido diferencial de surcos de la parte frontal de cavidades o surcos alargados constituyen un buen indicador cinemático (Willis y Willis, 1934).

j) Cavidades asimétricas (AC)

Ciertas cavidades que se encuentran en las superficies de falla pueden ser utilizados como indicadores de sentido de cizalla (AC en la Fig. 1): (Fig. 1 – 1CA) Las depresiones asimétricas con sus contrahuellas mirando hacia el movimiento del bloque opuesto se describió en fallas normales activas (Hancock y Barka, 1987). Estas surgen del efecto de indentación de protuberancias o material suelto. Sin embargo, también se han observado sentidos contrarios en algunas fallas neotectónicas (Doblas et al., 1995, 1997a). (Fig. 1 – 2CA) Se han descrito cavidades asimétricas con pasos congruentes en fallas normales activas y desprendimientos extensionales de bajo ángulo (Doblas et al., 1995, 1997a, b). Estos pueden estar constituidos por agujeros de arranque, marcas de astillado (similares a las descritos por Hancock y Barka, 1987), y cavidades con escalones congruentes formadas por R1 Riedel o fracturas híbridas sintéticas (Doblas et al., 1995, 1997a, b). Contrariamente al anterior

criterio AC1, el indicador AC2 surge básicamente del arranque del material de falla dejando un escalón congruente detrás.

k) Pliegues asimétricos (AF)

Un buen criterio está constituido por pliegues asimétricos (AF en Fig. 1) como los descritos en las “plataformas cabalgadas” de fallas hidroplásticas (Petit y Laville, 1987), y en minerales deformados en la escala microscópica (Doblas, 1985, 1987). Podemos concluir que se pueden distinguir 61 indicadores cinemáticos del plano de deslizamiento, subdivididos en 11 grupos. No todos los criterios son igualmente útiles como indicadores cinemáticos: 34 podría considerarse confiables (algo más de la mitad de los existentes; Fig. 1). Además, algunos de los grupos de criterios tienen pocos indicadores buenos (CM, ST y AE) en comparación con los mejores grupos cuyos indicadores son todos fiables (IS, TM, DE, MC y AF). Los indicadores cinemáticos se pueden encontrar en una gran variedad de escalas, pero algunos de los grupos de criterios dependen de la escala: decenas de milímetros (MC) o metros (AE).

Algunos de los indicadores observados en campo podrían mostrar criterios mixtos (por ejemplo, un escalón que define un arca cóncava), y estos pueden ser útiles en ciertos casos. Un punto muy importante es que a veces la validez de un indicador cinemático específico podría depender de factores tales como la escala de observación, el tipo de roca, o su abundancia. Por ejemplo, el

criterio IS6 solo es fiable cuando muchos de ellos existen en un afloramiento de sedimentos blandos.

Es muy importante para la correcta aplicación de esta clasificación realizar un examen muy cuidadoso y detallado de cada uno de los indicadores del lado de deslizamiento observados en una determinada superficie de falla, ya que no es suficiente para reconocer un escalón o una fractura: se debe ser capaz de discriminar el tipo exacto de indicador. En este sentido, la aplicación de esta clasificación no siempre es fácil, ya que el observador tiene que aprender a reconocer exactamente las diferencias entre los múltiples criterios. En algunas superficies de falla incluso puede ser imposible obtener indicadores cinemáticos valiosos (por ejemplo, en superficies neotectónicas ligeramente erosionadas del lado de deslizamiento), en estos casos se debe utilizar una técnica adicional muy confiable: la petrografía de lado liso, o el análisis de secciones delgadas de los planos de desplazamiento (Lee y Means, 1990; Doblas, 1991; Lee, 1991).

La Fig. 2 muestra dos ejemplos de la aplicación de esta clasificación a superficies de fallas naturales a diferentes escalas: una muestra manual y un afloramiento. Se deben tomar varios pasos secuenciales para aplicar correctamente esta esta clasificación y poder determinar el sentido del desplazamiento: 1) realizar un estudio general y representación de la superficie de falla (condición, irregularidades, lineaciones, etc.); 2) analizar e identificar

cuidadosamente cada uno de los indicadores cinemáticos observados y representarlos en un mapa estructural detallado. Incluso los indicadores que no son definitivos como criterios cinemáticos deben ser representados, ya que podrían revelar otros datos importantes (condiciones de deformación, etc.); 3) sugerir el sentido de desplazamiento más probable del bloque faltante. Debe mencionarse que el sentido de movimiento deducido de una superficie de falla corresponde solo a una lineación del lado de deslizamiento. Muchas superficies de falla muestran varias alineaciones resultantes de diferentes movimientos en más de una dirección. En estos casos, el análisis cinemático detallado expuesto en el presente trabajo debe llevarse a cabo con cada plano de deslizamiento. El hecho de que a menudo se producen varios movimientos en una sola superficie de deslizamiento introduce una serie de complicaciones para la interpretación cinemática correcta: el último movimiento sobreimprimirá los criterios anteriores; los revestimientos de última etapa generalmente ocultan los lados de deslizamiento iniciales; etc. Surge un caso particularmente complejo se presenta cuando se ha producido un movimiento en ambos sentidos paralelos a una misma lineación, situación que parece ser común según las premisas de la tectónica de inversión. En este caso, uno podría encontrar sentidos de movimiento contradictorios y el escenario cinemático podría ser imposible de desentrañar.

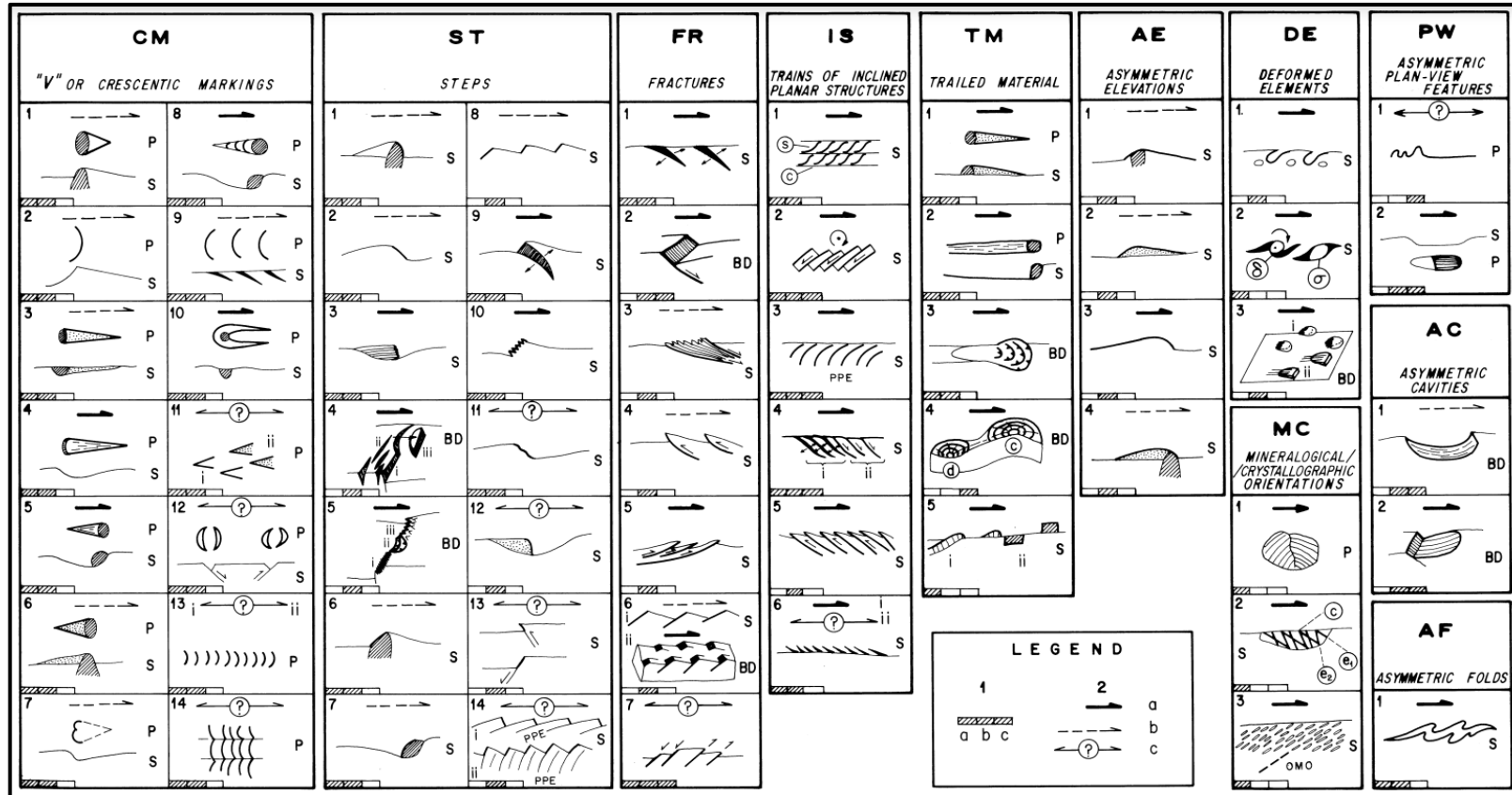
Esta clasificación morfológica y geométrica, que se basa esencialmente en ciertas características asimétricas de las características del plano de deslizamiento, no pretende abordar específicamente la cuestión de los mecanismos de deformación. Sin embargo, cabe mencionar que los principales mecanismos descritos en la literatura son los siguientes: 1) desgaste por fricción y pulido superficial (Hancock y Barka, 1987); 2) deslizamiento de la solución a presión con generación de cristales fibrosos (Durney y Ramsay, 1973); 3) rayas/arrastre de material de gubia (Tjia, 1968); 4) alineamientos de tensión de partículas de arcilla en los suelos (Gray y Nickelsen, 1989); 5) fluencia plástica y alineación de deformación (Will y Wilson, 1989); 6) flujo cataclástico (Doblas et al., 1995, 1997b); etc.

Algunos de los criterios descritos aquí parecen pertenecer a entornos muy específicos y, por lo tanto, podrían ser considerado indicativo de estas condiciones: fallas hidroplásticas (FR3, y algunos indicadores incluidos dentro TM3 y AF1), fallas normales activas (FR2, PW1, AC1, y algunos indicadores incluidos dentro de ST4, ST5, DE3 y AC2), desprendimientos extensionales de bajo ángulo (TM4, y algunos indicadores incluidos dentro de TM3, y AC2), etc.

El análisis detallado de las características del plano de deslizamiento parece ser un campo de estudio muy prometedor, y el trabajo experimental podría ser muy gratificante, en particular con

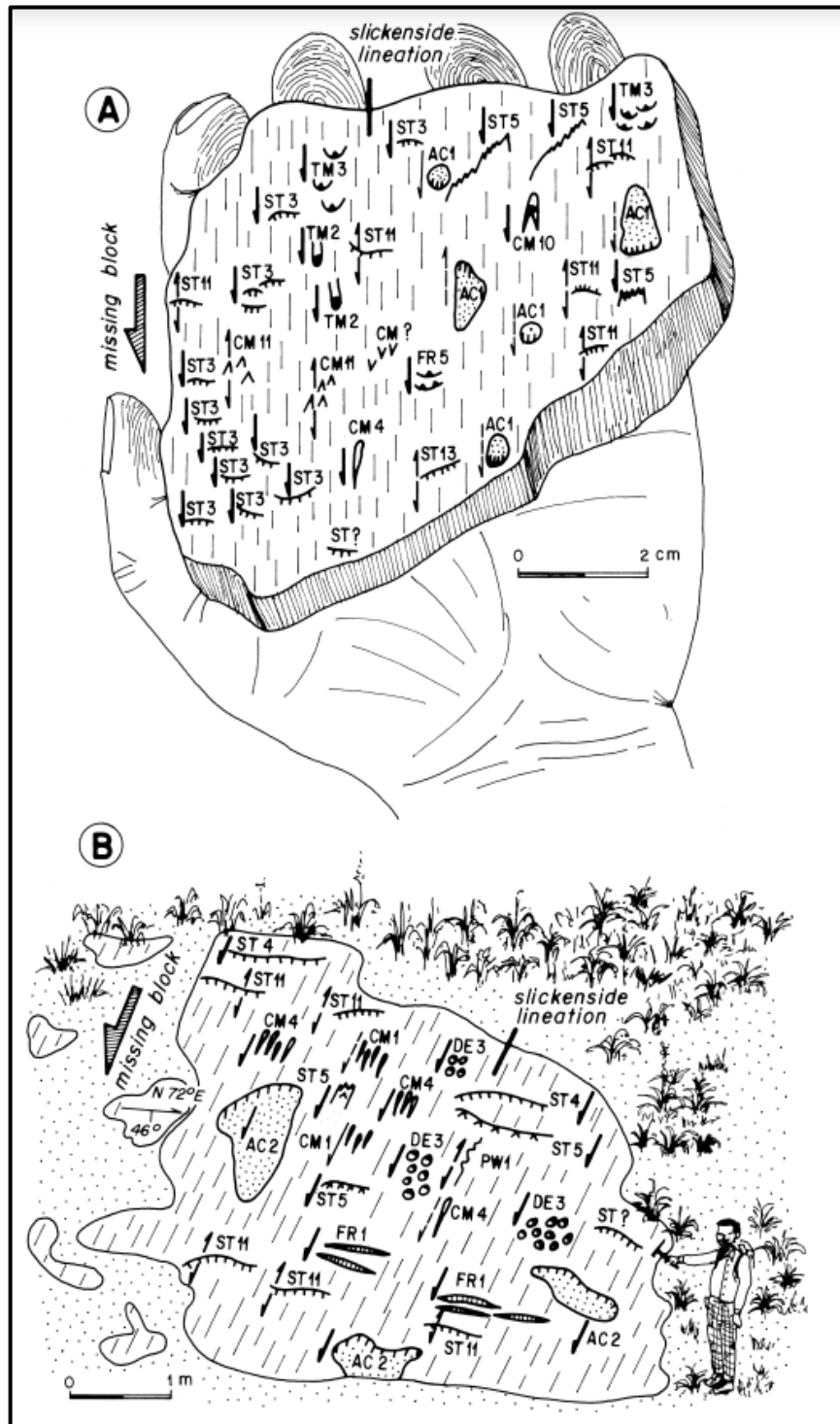
respecto a las características detalladas de la sísmica y contra sísmica (Means, 1993), o en forma de marcas de ranura 'V' a pequeña escala. En este sentido, es importante señalar que este campo de estudio gana mucho con el análisis de otras superficies de fricción completamente ajenas a las tensiones tectónicas: planos de abrasión glacial, superficies provocadas por la excavación mecánica de roca (Spray, 1989), o estructuras sinsedimentarias.

Figura 1: Clasificación de los indicadores cinemáticos



Leyenda: 1= escala de ocurrencia de los indicadores (a= microscópico; b= decenas de milímetros; c= métrico); 2= tres tipos diferentes de flechas (apunta en dirección de movimiento del bloque faltante), indica el grado de confianza en cada uno de los indicadores cinemáticos (a= buena; b= regular; c= mala); BD= diagrama de bloques; OMO= orientación mineralógica oblicua; PPE= elemento plano anterior; P= plano; S= sección. Tomado de Doblas, M. (1998).

Figura 2: Ejemplos de la aplicación de esta clasificación a superficies de fallas naturales a diferentes escalas



Una muestra manual (A) y un afloramiento (B). La terminología de los indicadores corresponde a la mostrada en la Fig. 1. El grado de confianza en cada uno de los indicadores cinemáticos es representado por diferentes tipos de flechas (ver también Fig. 1). Se muestra un signo de interrogación cuando un indicador no se ha identificado claramente. Tomado de Doblas, M. (1998).

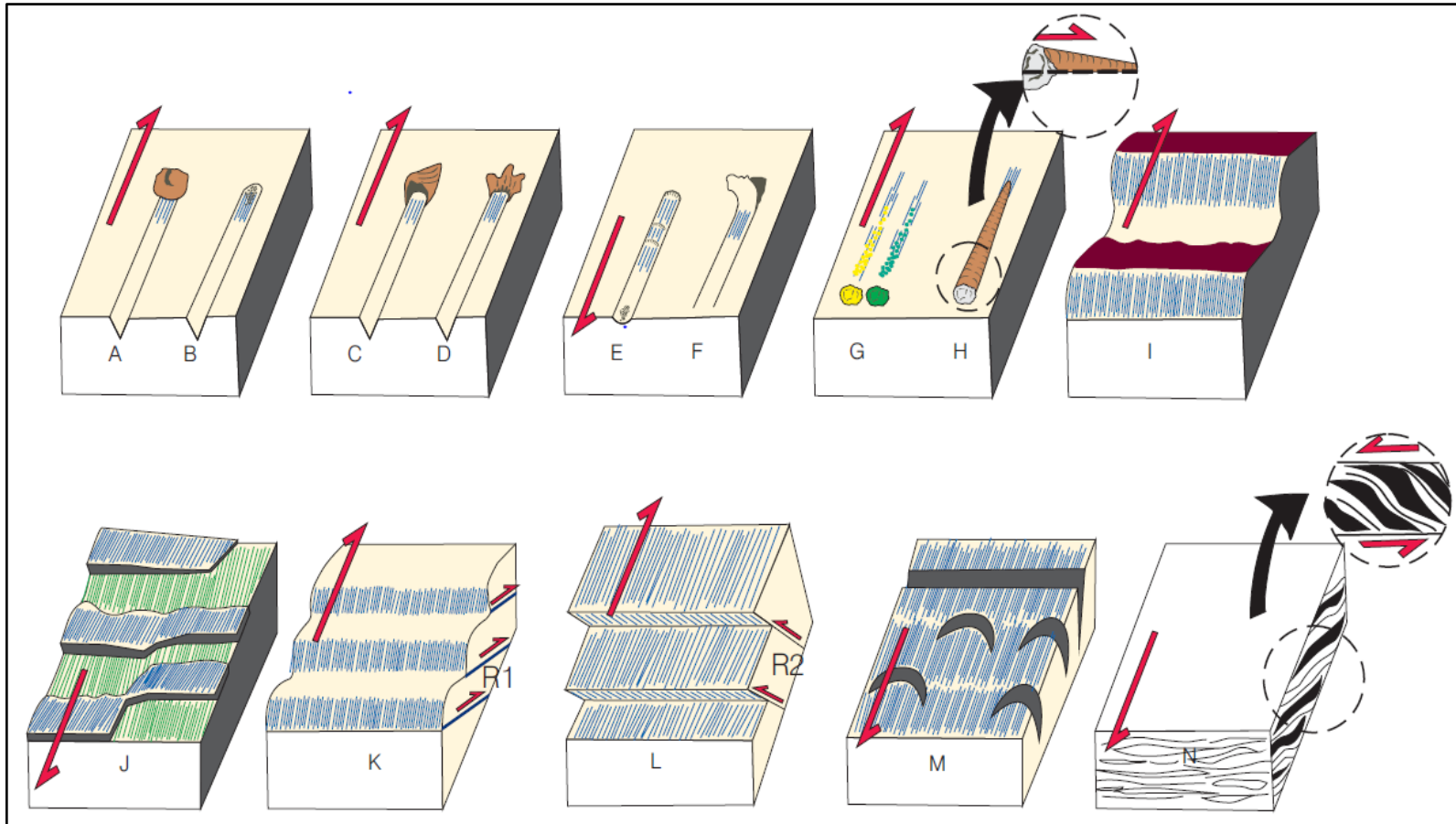
Principales tectoglifos según criterio de movimiento de fallas (Modificado de Macharé, 2001).

- **Elemento estriador al cabo de la estría.** Este puede ser un fragmento de roca.
- **Material triturado al cabo de la estría.** Está constituido por material arrancado del plano de falla y depositado a un extremo de la estría.
- **Banqueta al cabo de la estría.** En este caso, el material arrancado del plano de falla es acumulado al extremo de la estría en forma de un pequeño promontorio.
- **Escama de arrastre.** El material arrancado del plano de falla es depositado al extremo de la estría en forma de una escama.
- **Nichos de arranque.** Se manifiestan como microdeslizamientos.
- **Escama de arranque.** Cuando se presentan este tipo de tectoglifos, las estrías tienen uno de sus extremos levantados, arrancando material del plano de falla y dejando como resultado una superficie irregular.
- **Colas de mineral.** Durante este proceso se tiene presencia de minerales a un extremo de la estría, mientras que hacia el lado opuesto se tiene polvo de mineral, dispuesto a manera de microbandas.
- **Lomos al abrigo.** Para que se genere este tectoglifo se requiere de un elemento estriador endentado en el plano de falla, de tal manera que, durante el desplazamiento relativo de bloques, el material arrancado del plano de falla se deposita a manera de lomas y es protegido por el elemento estriador endentado.
- **Planos ondulados.** Según sea el movimiento, los planos de falla ondulados presentan facetas estriadas y lustradas o no estriadas y con presencia de óxidos. El sentido de movimiento, será determinado por la orientación de las facetas

estriadas.

- **Cristalización al abrigo.** Dentro de las estrías se producen ciertos desniveles y se produce el crecimiento de minerales como el cuarzo, calcita, zeolitas o sulfatos, en la dirección del movimiento.
- **Fallas de Riedel.** Este tipo de falla se producen por esfuerzos de cizalla en la proximidad del plano de falla. Se generan dos tipos de fallas una denominada R_1 y otra R_2 . Las R_1 forman un ángulo de 15° a 20° con el plano de falla principal y son sintéticas (movimiento en el mismo sentido que la fallamayor). Las fallas R_2 forman un ángulo de 70° a 80° con el plano de falla principal y son antitéticas.
- **Lúnulas de tracción.** Son fracturas abiertas algunas veces a manera de semi-círculos. La superficie de fractura es irregular y no presenta estrías. Forman un ángulo entre 30° y 40° con el plano de falla principal. La dirección de buzamiento de las fracturas o la parte cóncava de los semi-círculos nos indican el sentido de movimiento. **(Fig. 3M)**
- **Lenticulaciones.** Este tipo de tectoglífos son los únicos que se generan en medio dúctil entre los descritos. Son Microestructuras penetrativas con planos curvilineales que determinan la deformación de las rocas en lentes. La orientación de las lenticulaciones determinan el sentido de movimiento de la falla principal. **(Fig. 3N)**

Figura 3: Tectoglífos - Criterios de sentido de movimiento de fallas (Modificado de Macharé, 2001).



A) Elemento estriador al cabode estría. B) Material triturado al cabo de estría. C) Banqueta al cabo de estría. D) escama de arrastre. E) Nichos de arranque. F) Escama de arranque. G) Colas de mineral. H) Lomos al abrigo. I) Planos ondulados: Faceta estriada VS. J) Cristalización al abrigo. K) Riedel R1. L) Riedel R2. M) Lúnulas de tracción. N) Lenticulaciones. Tomado de Quispe C., J (2006)

2.2.3. Método de Anderson

Este método se fundamenta en las relaciones geométricas que se observan entre las direcciones de esfuerzos principales y un sistema de fallas conjugadas, ya sea en experimentos con probetas de rocas o en casos de fallas naturales (Anderson, E., 1951). En la actualidad existen programas computacionales para el análisis cinemático de fallas basados directa o indirectamente en este método, como en el caso del programa del Dips. Las relaciones geométricas son las siguientes:

- La intersección de un par de fallas conjugadas define la orientación de σ_2 .
- El ángulo agudo entre un par de fallas conjugadas es 2θ , y se encuentra bisectado por σ_1 .
- La dirección de deslizamiento (estría de la falla) queda definida por la intersección entre el plano de falla y el plano (σ_1, σ_3).
- El sentido de deslizamiento es tal que la cuña de material contenida en el ángulo agudo se mueve hacia adentro.

2.2.4. Fracturas desarrolladas en una Zona de Cizallamiento – Modelo de Riedel

En la naturaleza, la deformación de las rocas no se produce siempre de una forma continua (como los pliegues) sino que frecuentemente se realiza mediante fracturación de una forma discontinua, a través de superficies discretas en las que se pierde la cohesión original de la roca. Las estructuras resultantes de este comportamiento frágil (frecuente en la corteza superior) por el cual los bloques de roca se diferencian de otros, son las diaclasas y las fallas (Hobbs *et al.*, 1981). Estas últimas son discontinuidades planas entre bloques de roca que se han desplazado uno respecto del otro en una dirección paralela a la discontinuidad. Atendiendo al

tipode movimiento relativo de los bloques respecto al plano de falla, se clasifican en fallas normales, in- versas y direccionales o de desgarre.

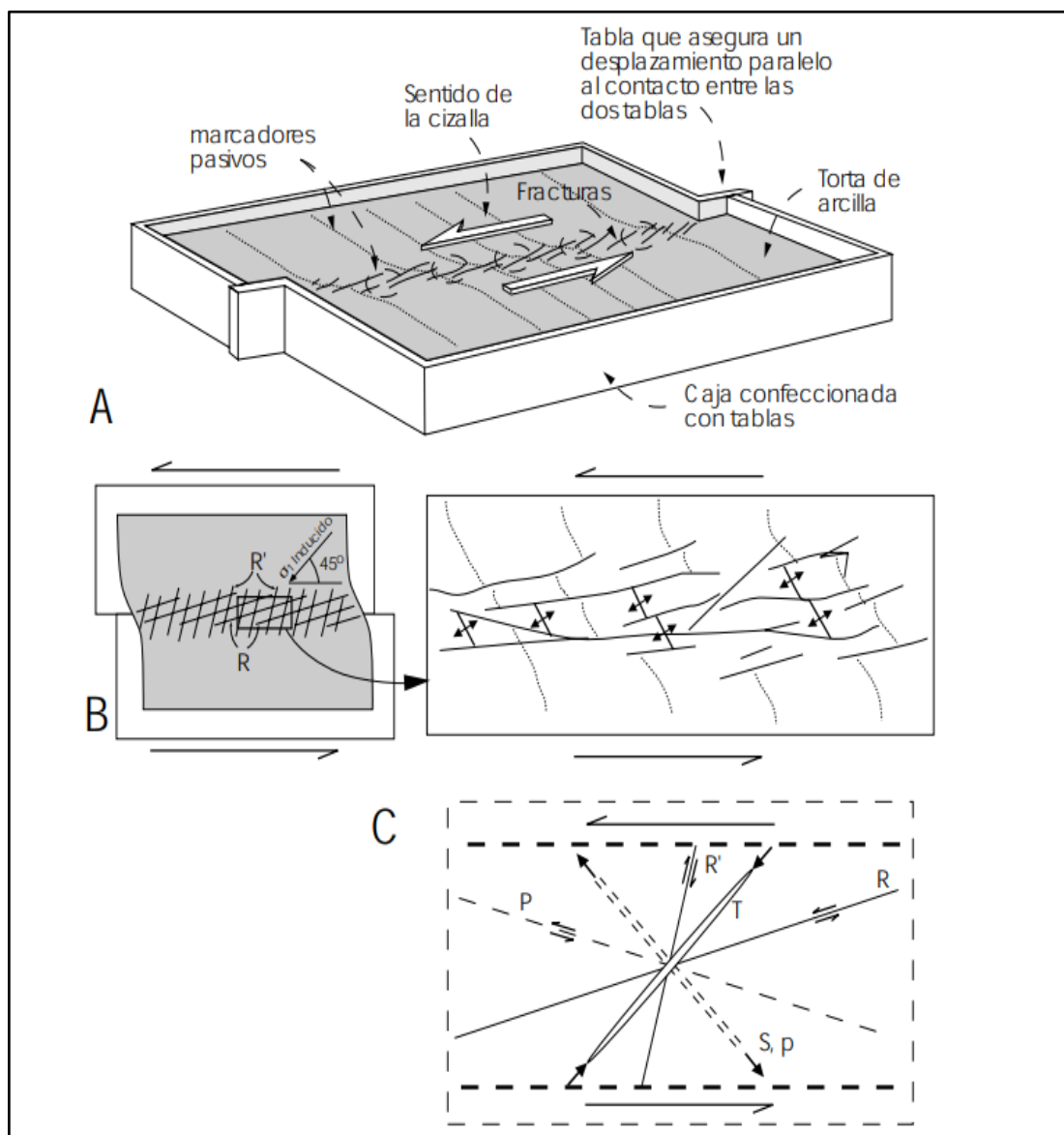
En cada uno de esos estadios se deberán observar las estructuras menores que aparecen en superficie y los efectos que producen sobre los marcadores, así como las variaciones que sufren las estructuras ya formadas al progresar la deformación.

2.2.4.1. Resultados

La cizalla inducida por el desplazamiento de las tablas (basamento) se puede manifestar en la torta de arcilla (cobertera) (**Fig. 4A**) por la aparición de los siguientes tipos de estructuras menores (**Fig. 4B y C**): **(1)** una familia de pequeñas fracturas, con igual sentido que el accidente de “zócalo”, que se forman a un ángulo de 15° respecto a ésta (fracturas R de Riedel, 1929); **(2)** otra familia de sentido contrario, a unos 75° del mismo (fracturas R’); posteriormente numerosos autores complementaron el modelo inicial, proponiendo otros tipos de deformación asociadas a zonas de cizallamiento en base a observaciones de campo (**Fig. 4C - 5A**); **(3)** grietas de extensión (fracturas T) a 45° de la banda de cizalla (Cloos, 1955 y Wilcox, 1973); **(4)** una familia de microfallas (P), con igual sentido de desplazamiento que la cizalla principal y con disposición simétrica respecto a las R (Skempton, 1966); **(5)** pliegues (p) a -45° de la fractura principal (Wilson, 1970); **(6)** planos de esquistosidad (S) con la misma orientación que los pliegues (Vialon, 1976). No obstante, en la mayoría de las experiencias, y dependiendo de las condiciones impuestas (esencialmente espesor y humedad de la torta de arcilla, diferenciación o no de capas en

ella y velocidad de la deformación), sólo aparecerán algunas de las estructuras anteriores (Liesa C. L, et al, 1997).

Figura 4: Experimento de Riedel.

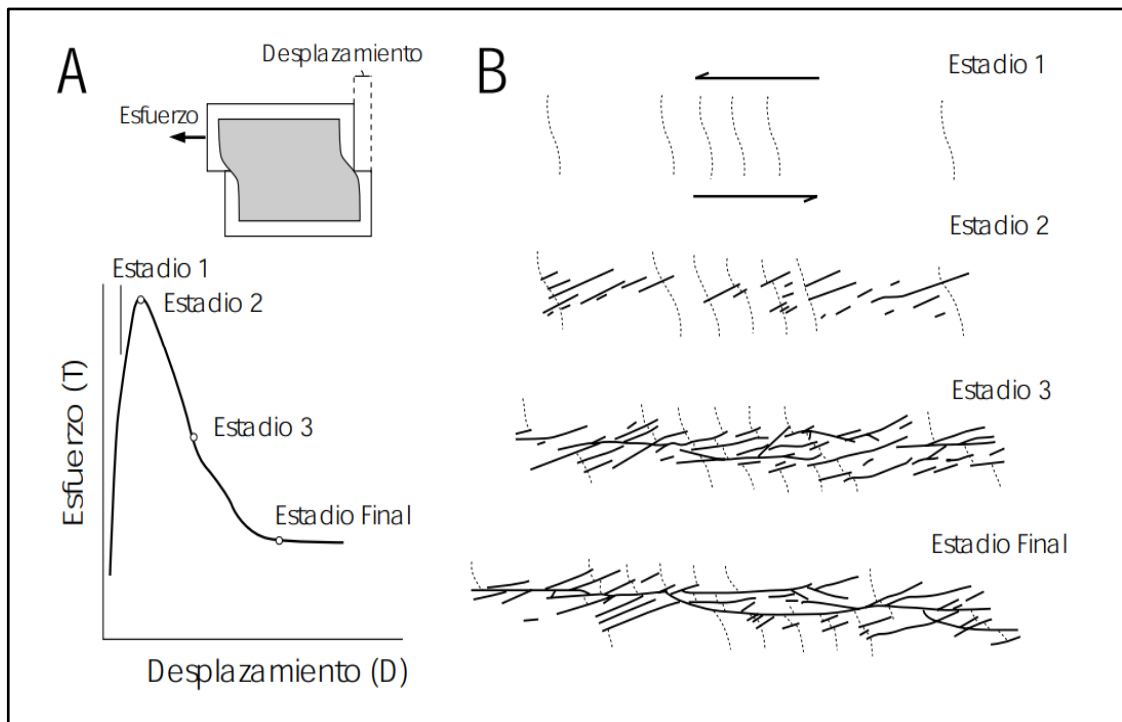


A- Dispositivo experimental utilizado en la reproducción del experimento de Riedel. B- Estructuras más frecuentes y detalle de las mismas. C- Conjunto de estructuras que pueden aparecer en una zona de cizalla. Tomado de Liesa C. L., et al, 1997.

En el experimento se va aumentando progresivamente el desplazamiento relativo de las dos tablas que sustentan la torta de arcilla

(Fig. 5). En el estadio 1 de evolución, no aparecen estructuras apreciables en la superficie de la torta de arcilla y la deformación se resuelve internamente en ella. En el estadio 2, aparecen la familia de fracturas de cizalla R bien desarrollada y, a continuación, la familia de fracturas R', normalmente menos desarrollada, que desplazarán los marcadores. Más tarde, estadio 3, se empiezan a desarrollar las microfallas P y las grietas tensionales (fracturas T). Así mismo, se podrán generar pliegues, reflejados en el experimento como crestas y valles de la torta de arcilla, y en situaciones especiales esquistosidad. A la vez que progresa el desplazamiento, y asociada a la cizalla inducida, las estructuras anteriores deberían sufrir una rotación ganando ángulo respecto del plano principal. Sin embargo, durante el procedimiento experimental es te giro se realiza en sentido contrario. En el estadio final, aparece la fractura principal, por rotura de los puentes de arcilla entre distintas fracturas, con la misma orientación que la fractura del zócalo (Liesa C.L. et al., 1997).

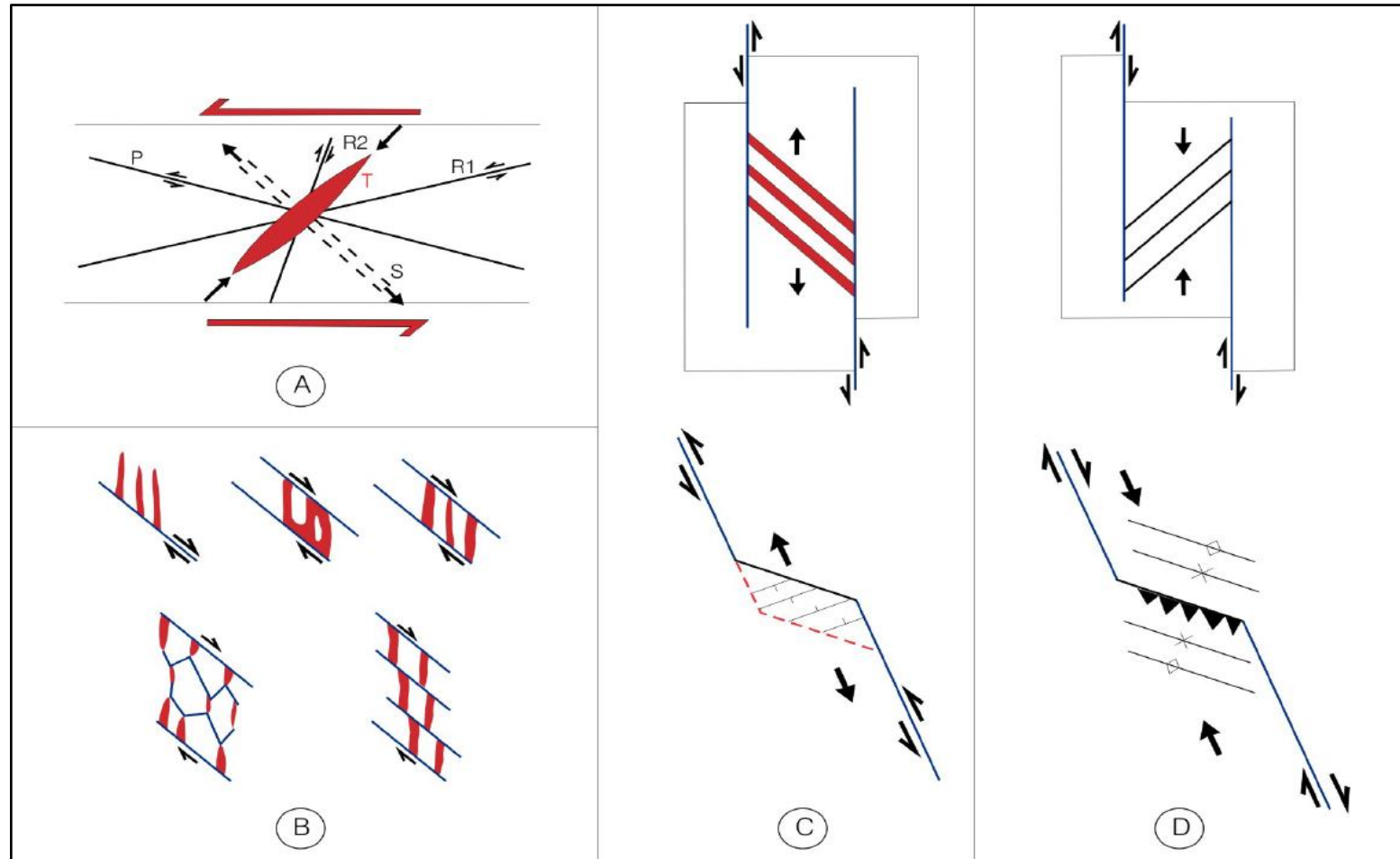
Figura 5: Experimento de deformación progresiva en una banda de cizalla.



A- Gráfico esfuerzo (T), desplazamiento (D). B- Cuatro estadios en el desarrollo de la cizalla: estadio I, deformación interna “pre-pico”; estadio II, estructura “de pico”; estadio III, estructura “post-pico” y estadio final, estructura residual. Modificado de Tchalenko (1970). Tomado de Liesa C.L., et al, 1997.

Por lo dicho en el modelo descrito, las fracturas tensionales asociadas a cizallamiento son muy significativos, debido a que son las más favorables para albergar mineralización, ocurren a diferentes escalas y pueden adoptar geometrías complejas.

Figura 6: Modelos de Fracturación.



A) Modelo de fracturación de Riedel, R1 y R2: fallas de Riedel, P: fallas de Skempton, T: fracturas por tracción y S: esquistocidad. B) Modelos de fracturación tensional en zonas de cizallamiento. C) Zonas de transtensión. D) Zonas de transpresión. Tomado de Quispe C., J. (2006).

2.2.5. Zonas De Transtensión ó Transpresión

Las zonas de transtensión o transpresión, están estrechamente relacionadas a fallas transcurrentes y el origen de una o la otra; va a depender principalmente del sentido de movimiento de las fallas transcurrentes. Por ejemplo, cuando una falla principal NW - SE, movimiento sinestral y con una inflexión E - W en su parte central; por el movimiento que tiene, produce desplazamientos normales que generan cuencas tipo “pull apart” o fracturas abiertas, denominadas zonas de transtensión (**Fig. 6C**). Mientras que, si el movimiento fuese dextral se producirían ejes de pliegues y fallas inversas, llamadas zonas de transpresión (**Fig. 6D**).

2.3. Definición de Términos Básicos

- **Falla:** Desplazamiento de un bloque rocoso con respecto a otro colindante a este o de ambos bloques.
- **Falla Normal:** Es cuando el techo baja con respecto al piso o el piso sube con respecto al techo.
- **Falla Inversa:** Es cuando el piso baja con respecto al techo o el techo sube con respecto al piso.
- **Zona de falla:** Superficie que ha sufrido un movimiento vertical u horizontal.
- **Plano de falla:** Plano del bloque de una falla que ha sufrido un desplazamiento con respecto a otro bloque.
- **Falla Dextral:** Falla en la que el bloque techo se ha desplazado a la derecha.
- **Falla Sinestral:** Falla en la que el bloque techo se ha desplazado a la izquierda.
- **Falla en Echelon:** Sistema de fallas que dan la sensación de un escalonamiento.
Fallas en escalera.

- **Gubia:** Material triturado que se encuentra en un plano de fallas se usa como un indicador cinemático del movimiento de una falla.
- **Material de arrastre:** Acumulación de material triturado que ha sido desplazado de su lugar de origen y que sirve como indicador cinemático.
- **Plegamiento o Pliegue:** Deformación de las rocas estratificadas, debido a los esfuerzos de compresión.
- **Litología:** Ciencia que estudia el origen, evolución y clasificación de las rocas.
- **Geoquímica:** Es la ciencia que estudia la distribución de los elementos químicos en la tierra.
- **Estría:** Surcos no muy profundos que aparecen en los minerales y en las rocas, siguiendo una determinada dirección.
- **Intrusión:** Penetración de las rocas ígneas plutónicas o volcánicas entre rocas preexistentes.
- **Caldera:** Son subsidencias, es decir, áreas que han descendido por efecto de regiones deprimidas, la mayoría de las cuales se ubican en regiones volcánicas, centros de erupción volcánicas o pipes (tubos) volcánicos.
- **Alteración Hidrotermal:** Proceso de metamorfismo, mediante el cual los minerales de las rocas se alteran por acción de las soluciones Hidrotermales a alta temperatura.
- **Epitermal:** Yacimientos minerales formados cerca de la superficie y a baja temperatura a partir de soluciones hidrotermales.

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

El modelo estructural de Riedels influye en el análisis de las vetas mineralizadas del Proyecto Corona – Antimonio.

2.4.2. Hipótesis Específicas

Las características geológicas influyen en el análisis de las vetas mineralizadas del Proyecto Corona – Antimonio.

Las características estructurales determinan el análisis de las vetas mineralizadas del proyecto Corona – Antimonio

2.5. Identificación de Variables

2.5.1. Variables Independientes

Modelo estructural de Riedels

2.5.2. Variables Dependientes

Análisis estructural de las vetas mineralizadas del proyecto Corona – Antimonio.

2.5.3. Variables Intervinientes

- Litología.
- Fallas.

2.6. Definición Operacional de Variables e Indicadores

VARIABLES	CONCEPTO	INDICADOR
Independiente: Modelo estructural de Riedels	Herramienta para determinar el modelo de fracturación y cinemática de fallas para entender los estilos de deformación.	Modelo de Fracturación. Cinemática de fallas. Estilos de deformación.
Dependiente: Análisis estructural de las vetas mineralizadas del Proyecto Corona – Antimonio.	Estudio e interpretación de las vetas mediante datos estructurales y cinemática de fallas, para obtener la dirección de esfuerzos y el sentido de movimiento de las fallas,	Orientación de las fallas Buzamiento de las fallas. Pitch. Inclinación de las estrías de fallas.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación

La investigación de tipo descriptivo y aplicativo.

Será descriptivo porque se determinará la descripción de las características geológicas y estructurales de las rocas y las estructuras mineralizadas de la zona del proyecto.

Será aplicada por que los datos son tomados en campo y la interpretación de los resultados son para determinar la influencia del modelo estructural en el origen de la mineralización de las vetas de la zona de trabajo.

Para tomar en cuenta el tipo de investigación tenemos la teoría de Hernández, et al. (2014, p.92) donde formula en forma literal “Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis”.

De la misma forma tomamos en cuenta la teoría formulada por Lozada que a la letra dice que “La investigación Aplicada se centra en la resolución de problemas en un contexto determinado, es decir, busca la aplicación o utilización de conocimientos, desde una o varias áreas especializadas, con el propósito de implementarlos de forma práctica para satisfacer necesidades concretas, proporcionando una solución a problemas del sector social o productivo”. (Lozada, 2014, p. 35).

3.2. Nivel de Investigación

La investigación tiene el nivel descriptivo y aplicativo.

3.3. Métodos de Investigación

En el proyecto se tienen el método de Analítico - Sintético, que se constituye primero en la desarticulación de un todo en sus elementos (toma de datos geológicos - estructurales) para evaluarlas en forma individual, cada una por separado y luego se les integra para realizar una interpretación buscando una solución global.

3.4. Diseño de Investigación

El diseño está basado en un análisis de datos geológicos y estructurales como una sola variable, que nos permite realizar una evaluación para solucionar el problema de determinar el origen de las estructuras mineralizadas, determinándose por ello una investigación de diseño pre-experimental.

3.5. Población y muestra

La población son todas las estructuras (vetas-fallas, fallas y fracturas) del área del proyecto y la muestra son los afloramientos de las vetas-fallas, fallas y

fracturas que se encuentran en la zona de estudio. El tipo de muestreo es aleatorio pues se aprovecha los puntos de afloramientos de las estructuras.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas

- Mediciones estructurales que contienen azimut, buzamiento del plano de falla, pitch, dirección e inclinación de las estrías de falla y sentido de movimiento de la falla.
- El sentido de movimiento de la falla ha sido determinado por el análisis de tectoglífos.
- La medición del pitch de la estría, está representado por el ángulo entre la dirección de las estrías y la horizontal del plano de falla; medido sobre el mismo plano y acompañado de la dirección de la inclinación.
- Logueo geológico de muestras recuperadas de las perforaciones diamantinas.

3.6.2. Instrumentos

- Mapas geológicos, escala 1:2000
- Mapas estructurales, escala 1:2000
- Formato de recolección de datos estructurales.
- Formato o hojas de logueo.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

3.7.1. Datos Estructurales

Los datos estructurales que estamos tomando son a partir de estructuras como fallas y vetas reconocidas en superficie, los cuales se están manejando de manera integrada en el software estructural.

Se han considerado solo fracturas que hayan sufrido desplazamiento y que presenten tectoglifos, para poder determinar eventos de deformación a partir del uso de un software especializado. Es por tal motivo que no se han considerado diaclasas.

Los datos estructurales de fallas y vetas contienen azimuth y buzamiento del plano de falla o veta, pitch, dirección e inclinación de la estría, sentido de movimiento de la falla o veta y calidad de dato.

El pitch de la estría está representado por el ángulo entre la dirección de las estrías y la horizontal del plano de falla; medido sobre el mismo plano y acompañado del azimuth de inclinación.

La calidad de dato tiene una valoración entre 1 y 3; el valor máximo representa a una falla con sentido de movimiento bien definido; mientras que, el valor mínimo corresponde a una falla con sentido de movimiento no preciso.

3.7.2. Procesamiento Informático

Para este trabajo se está empleando el programa estructural Dips, con la finalidad de determinar las direcciones e inclinaciones de los tres esfuerzos principales σ_1 (compresivo), σ_2 (intermedio) y σ_3 (tensional).

Las mediciones estructurales ingresadas a la base datos del programa, contiene: dirección de buzamiento y buzamiento del plano de falla o veta; dirección de inclinación y plunge de la estría, sentido de movimiento y calidad del dato estructural.

En tal sentido, nuestros datos iniciales de azimuth de los planos de falla y vetas tienen que ser cambiados a la forma de dirección de buzamiento.

3.7.3. Análisis de los resultados

Como resultado del procesamiento informático, se obtienen estereodigramas, en los que se grafican las mediciones de las estructuras frágiles y direcciones de esfuerzos principales σ_1 (compresivo), σ_2 (intermedio) y σ_3 (tensional); correspondientes a las diferentes fases de deformación interpretadas a partir de las distintas familias de fallas.

La dirección de esfuerzos principales graficada en los estereodigramas, van a definir el estado de esfuerzos a los que están sometidas las estructuras frágiles (figura 1), es así que:

- Cuando σ_2 y σ_3 son horizontales, el estado de esfuerzos efectivo es tipo tensional en la dirección de σ_3 .
- Cuando σ_1 y σ_2 son horizontales, el estado de esfuerzos efectivo es tipo compresivo en la dirección de σ_1 .
- Cuando σ_1 y σ_3 son horizontales, el estado de esfuerzos efectivo es tipo cizallante o transcurrente.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

3.8.1. Técnicas de Procesamiento de Datos

- Representación de los planos de falla en el sistema de azimuth en la mano derecha.
- No se han incluido datos de las estructuras cercanas a las gubias o gouges de fallas muy desarrolladas para evitar el efecto de la deformación plástica.
- Los datos estructurales han sido agrupados en base a las observaciones de campo como son fracturas y fallas, así como en el caso de las estrías superpuestas;

igualmente se eliminaron datos con incompatibilidades cinemáticas notables o muy fuertes.

3.8.2. Técnicas de Procesamiento Informático

- Se ha empleado el programa estructural Dips, con el propósito de determinar las direcciones e inclinaciones de los tres esfuerzos principales σ_1 (compresivo), σ_2 (intermedio), σ_3 (tensional).
- Las mediciones estructurales ingresadas a la base de datos del programa contienen: azimut y buzamiento de plano de falla, dirección de buzamiento y pitch de la estría.

3.9. Tratamiento Estadístico

En la investigación se utiliza la estadística descriptiva, para conocer el promedio de las leyes de minerales económicos de las estructuras mineralizadas.

3.10. Orientación Ética, filosófica y epistémica

La investigación se realiza sin crear ningún proceso que afecte o que cause impacto negativo en el ambiente donde se realiza el presente proyecto.

El proyecto se enmarca en el compromiso de no realizar actividades que involucren impactos negativos en el ambiente en la zona del proyecto.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del Trabajo de Campo

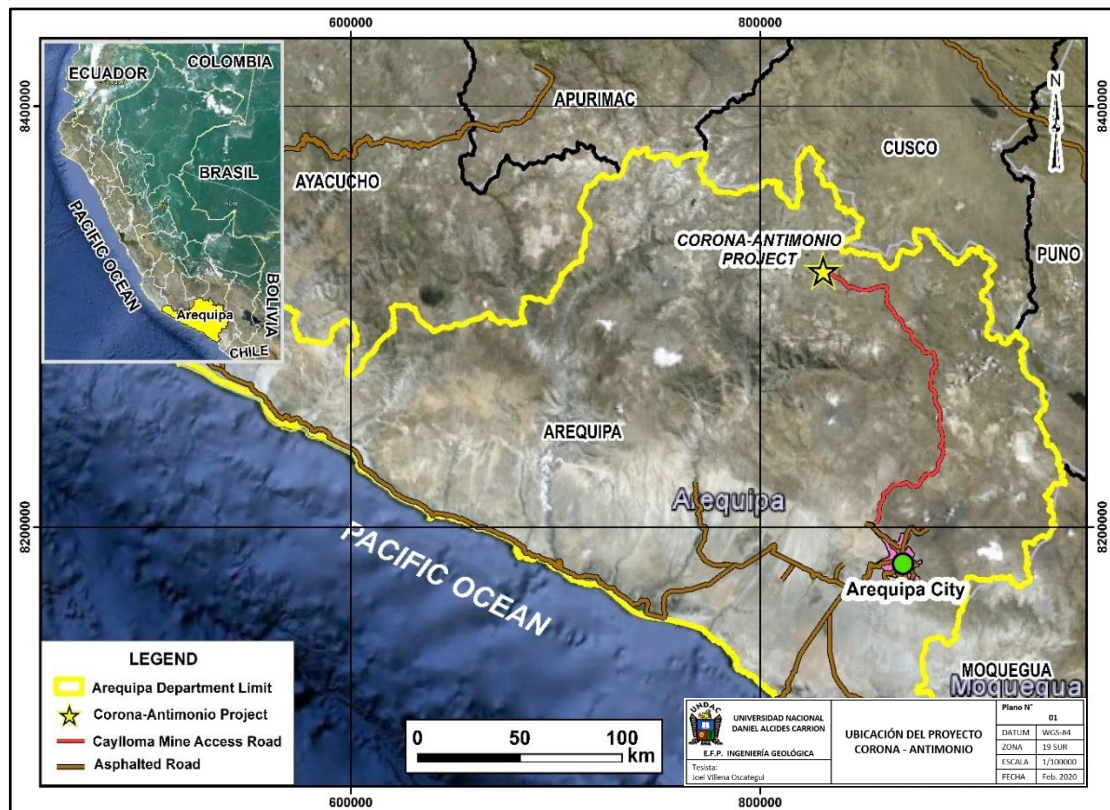
4.1.1. Ubicación

El proyecto está ubicado en el distrito Caylloma, provincia de Caylloma, departamento de Arequipa, a 225 km al N-NW de la ciudad de Arequipa, Perú. El proyecto se encuentra a 7.3 kilómetros al SW de la poblado Caylloma. Las coordenadas UTM del centro del proyecto son: 194700E, 8316873N (WGS84, UTM Zona 19S) y abarca un total de 625 hectáreas. **(Fig. 7).**

4.1.2. Accesibilidad

El acceso al proyecto desde la ciudad de Arequipa es por carretera, en parte por carretera asfaltada (218 Km) y luego por trocha carrozable (7.3 km); requiere un viaje de aproximadamente de 6 horas en vehículo.

Figura 7: Ubicación del Proyecto Corona – Antimonio.



Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN)

4.1.3. Geología Regional

4.1.3.1. Litología

El Distrito Caylloma se ubica en un amplio arco volcánico Mioceno, caracterizado por la presencia de edificios volcánicos de colapso; calderas, en partes superpuestas y que han evolucionado independientemente, separadas en el tiempo por varios millones de años.

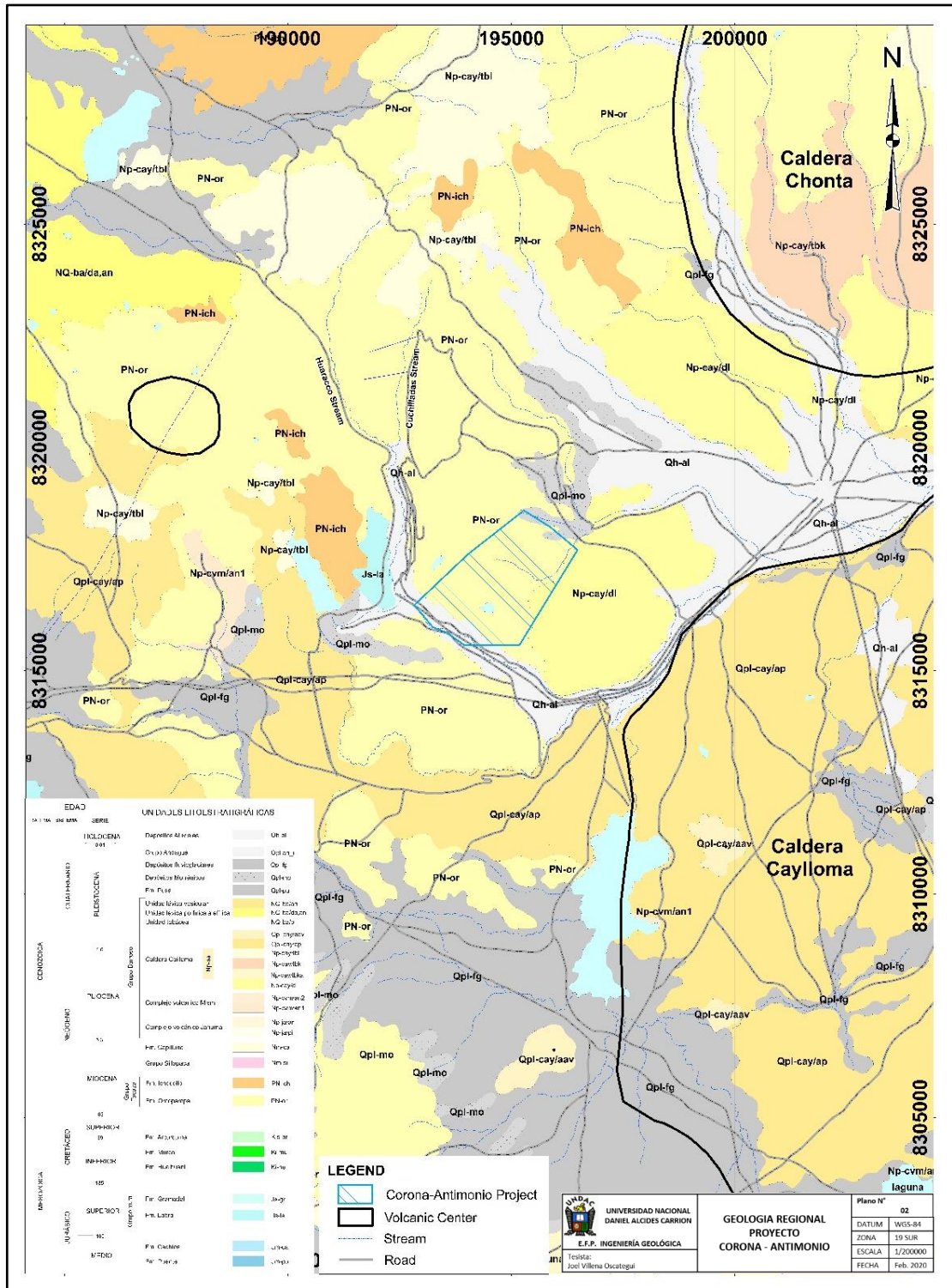
En este marco geológico se observa que directamente sobre rocas de edad jurásica-cretácica correspondientes al Grupo Yura, de origen marino, se deposita en discordancia una potente secuencia volcánica. Esta secuencia volcánica está formada por lavas calco-alcalinas, ignimbritas, tobas, rocas volcanoclásticas retrabajadas, etc.; en general de composición

intermedia a silícica (Eyzaguirre, V., 1981) y es la que alberga predominantemente la mineralización de Ag (Plata) en el distrito Caylloma.

Sobrepuestas al volcanismo mencionado se desarrollan dos calderas parcialmente superpuestas. La más antigua es la caldera Chonta, la que posee una forma circular de aproximadamente 18 km de diámetro. Las rocas que se disponen en el interior de la caldera de Chonta consisten mayoritariamente en ignimbritas bien soldadas, ricas en litoclastos, intercaladas con lavas que se disponen hacia la parte superior de la secuencia (Eyzaguirre, 1981, Peterson et al., 1983). Hacia los márgenes de la caldera se reconocen megabrechas relacionadas al colapso del margen de la misma, formadas por grandes bloques de sedimentitas mesozoicas.

Por su parte, la caldera Caylloma, de 25 km de diámetro, se desarrolla hacia el Sur y parcialmente superpuesta a la caldera de Chonta, ubicada al este de la mina de Caylloma. La caldera Caylloma se caracteriza por su forma subcircular, y la presencia de varios flujos piroclásticos silícicos (donde se reconocen cristaloclastos de cuarzo y sanidina), que se disponen tanto dentro como fuera de la caldera. También se han reconocido domos riolíticos, principalmente asociados a los márgenes de la misma. Mientras que la caldera es centrada por un flujo lávico andesítica pobre en fenocristales, representado por el Cerro Cosana. (Fig. 8)

Figura 8: Plano Geológico Regional – Proyecto Corona-Antimonio.



Fuente: INGEMMET.

4.1.3.2. Geología Estructural

En el marco regional se reconocen dos sistemas de lineamientos principales, los que presentan rumbos noreste y noroeste. El sistema con rumbo noroeste habría actuado de manera sinistral, mientras que el de rumbo noreste lo habría hecho de forma dextral. Ello estaría en relación a esfuerzos regionales con la tensión orientada aproximadamente en sentido norte-sur o NNW-SSE, mientras que la compresión estaría ubicada con dirección este-oeste o ENE-WSW. Ello estaría de acuerdo con lo generalmente postulado para el Mioceno inferior-medio del Sur de Perú (Cassard, D., et al., 2000).

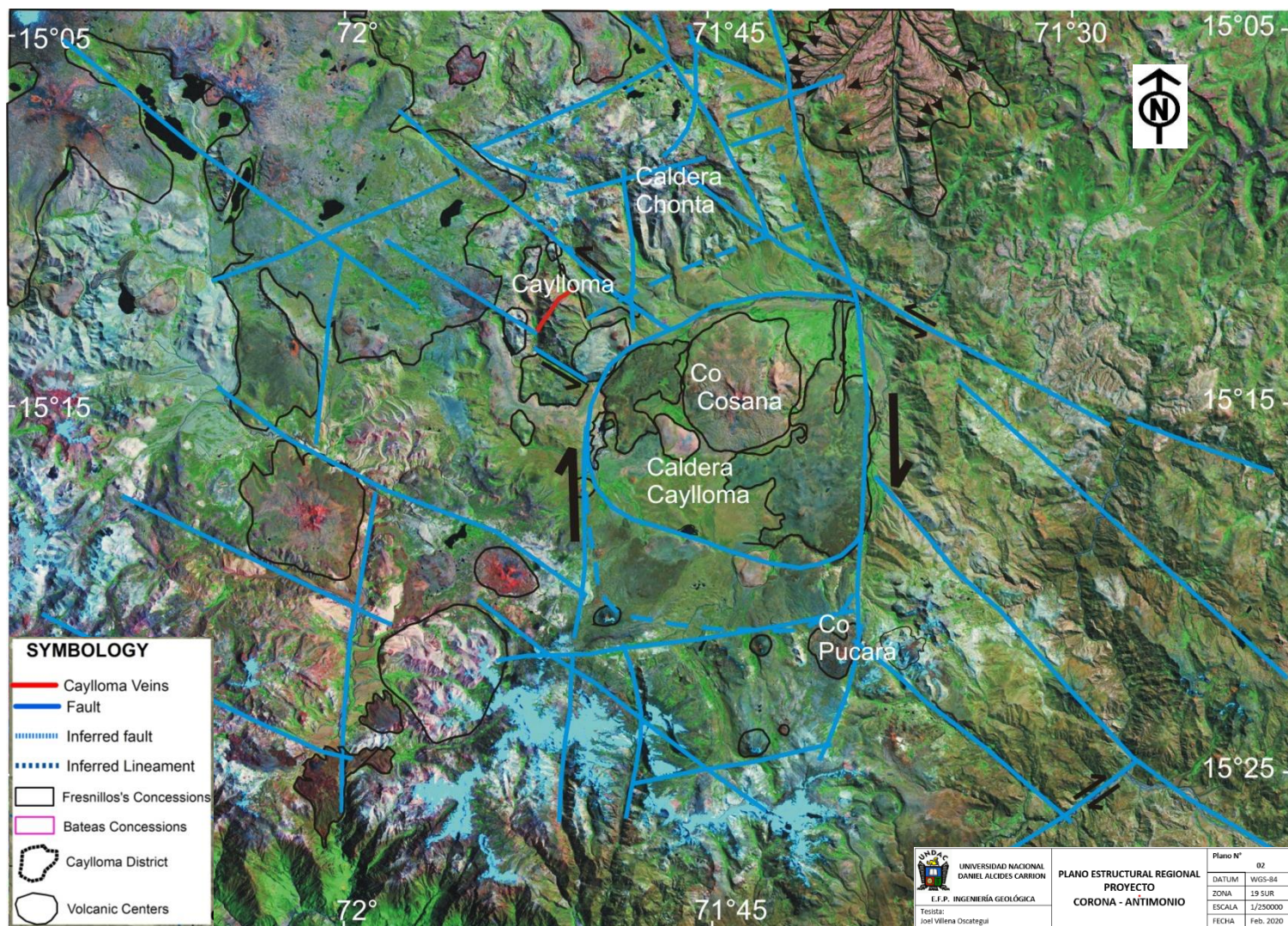
El sistema de fracturas de rumbo noroeste se encuentra más desarrollado, posiblemente habría prevalecido sobre su conjugado de dirección noreste. El sistema noroeste incluye al corredor estructural que hospeda la mineralización de Caylloma. Sobreimpuesto a dicho sistema conjugado de fracturas se observa un juego de lineamientos de gran longitud y continuidad de rumbo norte-sur. Estas fracturas están aparentemente limitando por su borde este y oeste a la caldera de Caylloma, que a su vez posee una forma alargada en sentido norte-sur. Si consideramos a estas fracturas contemporáneas con dicha caldera, entonces tendrían una edad entre 2 y 4.5 Ma. Dichas fallas tendrían un desplazamiento a lo largo del rumbo de tipo dextral, lo que produciría una situación tensional en la zona de salto desde la fractura este a la oeste, dicho lugar de tensión es donde finalmente se genera la caldera Caylloma. También ese sitio representaría una zona de debilidad preexistente ya que es el lugar de intersección del corredor estructural NW-SE que contiene la

mineralización del Distrito Caylloma y las fracturas más jóvenes de rumbo norte-sur. El movimiento dextral de las fracturas de rumbo norte-sur, así como la forma alargada en sentido norte sur de la caldera de Caylloma estarían en coincidencia con los esfuerzos compresivos de rumbo aproximado ENE-WSW propuestos para la época (Mercier et al., 1992).

En el modelo aquí presentado se postula que las fracturas de rumbo noroeste son anteriores a la caldera de Caylloma y a las fracturas norte-sur; por ello, podríamos pensar en encontrar la continuidad del corredor estructural que contiene la mineralización de Caylloma al sureste de la caldera. Posiblemente, este corredor estaría representado al sureste de la caldera por las sedimentitas jurásicas del Grupo Yura que afloran con rumbo noroeste-sureste en la Loma Panteón, o estaría aún más hacia el sur, posiblemente al sureste del Cerro Pucará.

Cabe destacar que las fracturas de rumbo noroeste y noreste están controlando la intrusión de cuerpos volcánicos de composición riolítica y andesítica más recientes, hasta plio-pleistocenos, hecho que manifiesta la actividad de dichas fracturas hasta tiempos recientes, debido a reactivaciones posteriores a su formación. (Fig. 9).

Figura 9: Plano Estructural Regional – Proyecto Corona-Antimonio



4.1.4. Geología Local

4.1.4.1. Litología

En el proyecto los afloramientos están representados por secuencias pseudoestratificadas y alternadas de andesitas porfíricas y afaníticas, tobas de lapilli, tobas de brecha y tufos de grano fino a medio pertenecientes a la formación Orcopampa (Miembro A) – Grupo Tacaza que fueron intruidos por un domo riolítico pleistocénico del grupo Barroso al Sureste del área de estudio y que está emplazado en la parte lateral de la caldera Caylloma (Echavarría L., 2006)

La descripción de las unidades litológicas en el área de estudio se divide en tres zonas: Norte, Centro y Sur; donde se identificaron cuatro horizontes estratificados e intercalados de andesitas porfíricas, toba de lapilli, toba de brecha, andesitas afaníticas y tufos. (Fig. 10).

En la zona Norte, hacia el Oeste afloran paquetes de andesitas afaníticas ferruginosas sin estratificación definida, perteneciente a la formación Ichicollo, infrayaciendo se encuentran andesitas porfíricas de tonalidad verdosa con fenocristales bien desarrollados presentando intercrecimientos de clorita producto de la alteración propilítica, con potencias que varían de 100 a 200 metros, infrayaciendo hacia el Este afloran secuencias estratificadas de tobas de lapilli con clastos y matriz andesítica, tobas de brecha y andesitas microporfíricas de tonalidad violácea – verdosa de 90 metros de potencia, esta última a la vez suprayaciendo a secuencias estratificadas de tufos de grano medio, tobas de lapilli de clastos andesíticos y matriz tufácea, andesita porfírica de grano

medio a microporfirítica y finalmente otras andesitas afaníticas ferruginosas que infrayacen a todas la secuencias ya descritas. (Fig. 11)

En la zona Centro, hacia el oeste afloran secuencias de tobas de lapilli de clastos polimícticos y matriz andesítica con intercalaciones de tobas de brecha con bloques polimícticos subredondeados y matriz tufácea, tufos de grano fino a medio, con potencias que difieren por erosión, que van desde 200 metros al oeste a 100 metros al este, infrayaciendo se encuentra secuencias de andesita porfirítica con fenocristales regularmente desarrollados de tonalidad violácea con potencia de 70 metros; en la zona de piroclastos erosionados se depositó andesitas afaníticas ferruginosas con fracturamiento fuerte y sin estratificación definida de la formación Ichicollo con una potencia de 60 metros. (Fig. 11)

En la zona Sur, hacia el Este aflora secuencias estratificadas de andesitas porfiríticas de tonalidad violácea – verdosa suprayaciendo a andesitas afaníticas de tonalidad violácea de 80 metros de potencia, tufos de grano fino a medio, infrayaciendo se encuentran andesitas microporfiríticas de tonalidad violácea – verdosa, intercalaciones de tobas de lapilli de clastos polimícticos subredondeados con matriz tufácea y tufos de textura afanítica y de grano medio, la secuencia más antigua que se logró identificar en la zona de estudio son andesitas afaníticas ferruginosas de tonalidad violácea con oxidación pervasiva y silicificación moderada. (Fig. 11)

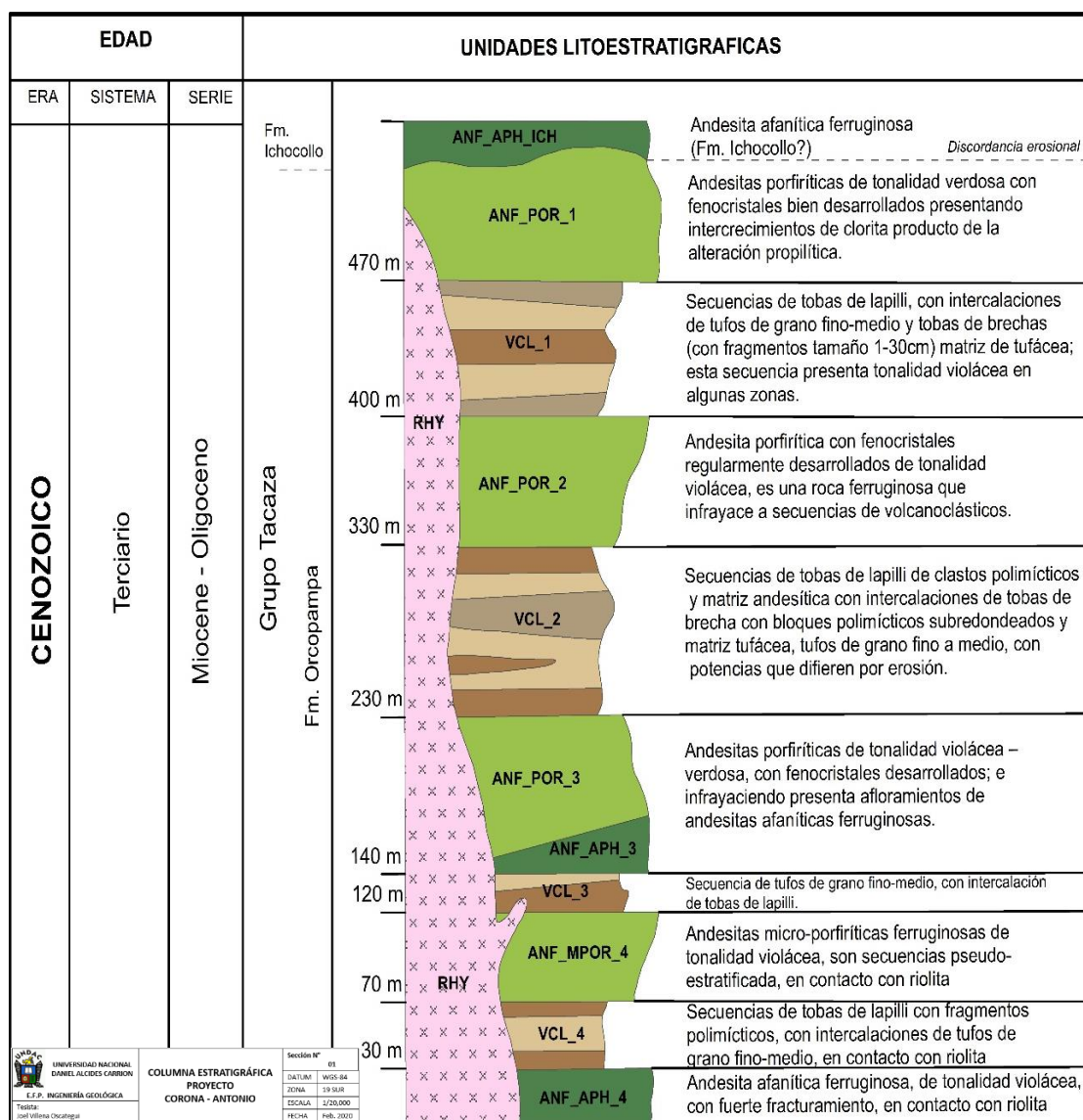
4.1.4.2. Alteración Hidrotermal

La alteración en el área de estudio está representada por la influencia y ascensión de fluidos hidrotermales y la percolación de estas hacia la roca, también por procesos o ciclos convectivos las cuales resultan en la alteración de rocas en grandes extensiones y por procesos supérgenos. Por influencia de fluidos hidrotermales la alteración viene dada por un halo de silicificación próximas a las vetas de cuarzo o cuarzo – carbonato, como también carbonatación en vetas de calcita principalmente, como es el caso de veta la plata al SW, gradando a alteración argílica la cual se presenta en todas las vetas del área de estudio, con halos de alteración variables en longitud, en la parte central, entre Veta Transversal Corona Antimonio y Veta Transversal Corona Antimonio 2 se puede observar muy desarrollado este tipo de alteración por la influencia de vetas entrecruzadas con el siguiente ensamble; caolinita, illita, esmectita, micas, montmorillonita y calcita, estos dos últimos representan la zona transición hacia la alteración propilítica con el siguiente ensamble; clorita, epidota, calcita, montmorillonita y biotita. **(Fig. 12)**

Por procesos o ciclos convectivos la alteración está representada en grandes secuencias de afloramientos básicamente en andesitas pofiríticas y tufos por el reemplazamiento de minerales preexistentes a otras más estables a las nuevas condiciones, como es el caso de la alteración propilítica por reemplazamiento de biotitas por clorita y plagioclasas por arcillas y calcita.

Por procesos supérgenos se identificó la oxidación en la alteración argílica, vetas como patinas, parches y relleno de oquedades, preferentemente óxido de hierro (hematita, limonita) y oxidación pervasiva en secuencias de andesitas afaníticas y porfíricas principalmente.

Figura 10: Columna Estratigráfica – Proyecto Corona-Antimonio.



Leyenda: ANF_APH_ICH: Andesita Afanítica Ichicollo, ANF_POR: Andesita Porfírica, VCL: Volcanoclastico, ANF_MPOR: Andesita Microporfírica

4.1.4.3. Geología estructural

El área de estudio es una zona con plegamientos secuenciales anticlinales y sinclinales, de las cuales se logró identificar dos muy relevantes, un anticlinal en la parte central del área cuyo eje de pliegue concuerda con la Veta Corona Antimonio, donde en las fracturas producidos en la charnela se emplaza parte de la mineralización de la Veta Corona-Antimonio así como la formación de vetas concéntricas de las cuales la más relevante es la Veta Cimoide Corona-Antimonio, un segundo pliegue anticlinal en la cual también en la charnela fracturada alberga a las Vetas Corona 3, Corona 4 y Corona 5, cuyo eje de pliegue tiene dirección noreste - suroeste.

4.1.4.4. Mineralización

La mineralización existente en el Proyecto Corona-Antimonio es de tipo epitermal de intermedia sulfuración compuesta de cuarzo, calcita, rodonita, pirita y estibina como minerales ganga y asociados a sulfuros como la galena, esfalerita y calcopirita en trazas como minerales económicos; con evidencia de mineralización en vetas y sistema de vetilleos de rumbo predominante al Noreste-Suroeste (NE-SW) y otras vetas y sistema de vetilleos al Noroeste-Sureste (NW-SE), muy marcados en el área de interés. Estas estructuras mineralizadas se comportan como tipo rosario y son consecuencias de los esfuerzos compresivos y extensivos.

Se identificaron las siguientes estructuras mineralizadas principales:

a) Veta Corona-Antimonio

Estructura mineralizada (veta-falla) emplazada por una falla normal, compuesta de cuarzo y sílice hialino-blanco de forma masiva y cristalizada (diente de perro y geodas), de textura bandeada, con tramos lixiviados débil en zonas puntuales, con sulfuros de pirita diseminada y estibina diseminada, masiva y cristalizada en algunos tramos a lo largo de la estructura, asociada a óxidos de hierro en pátinas y rellenando oquedades moderadamente; en promedio tiene un azimuth N45° y un buzamiento de 75°SE, además con potencias que varían entre 0.10 metros a 2.20 metros.

Se ha reconocido como afloramiento 1.2 kilómetros de estructura mineralizada, y como roca caja está conformada por andesita porfirítica, toba lapilli, tufo y brecha de toba, todas ellas son rocas obliteradas producto de la alteración hidrotermal originado por la estructura mineralizada; estas rocas obliteradas son halos de alteración, tiene un margen de halo entre 4 metros a 50 metros a lo largo de la estructura, y los principales tipos de alteración son silicificación moderada y argilización débil, identificadas alrededor en toda la estructura mineralizada.

A lo largo de la estructura mineralizada presentan diferentes tipos de texturas y composición, que lo detallaremos a continuación:

En la zona suroeste, la estructura mineralizada está compuesta por cuarzo blanco-hialino en forma masiva y cristalizada, de textura bandeada-brechada, con tramos lixiviados esporádicos a lo largo de la estructura y presencia de pirita diseminada (1%), asociado con óxido de hierro de intensidad moderada en pátinas y rellenando oquedades; presenta un azimuth N30° y buzamiento de 75°SE, con potencias que varía entre 0.10 metros a 0.50 metros a lo largo del afloramiento, comportándose como veta tipo rosario.

En la zona central la veta se caracteriza por dos zonas importantes; una en la parte central-suroeste donde se identificó varias estructuras mineralizadas (Corona-Antimonio, Tensional Corona-Antimonio y Cimoide Corona-Antimonio), compuestas por cuarzo y sílice blanco-hialino-gris en forma masiva y cristalizada, de textura bandeada con tramos lixiviados débil a lo largo de la estructura, tiene presencia de pirita diseminada (1%) y estibina diseminada-cristalizada (3-5%) identificadas en algunas vetas, asociado a óxidos de hierro de intensidad moderada en pátinas y rellenando oquedades; presenta un azimuth N50° y buzamiento de 75°SE, con potencias que varía entre 0.10 metros a 1.00 metro. Y en la central-noreste en la Trinchera-03, se identificó 01 estructura mineralizada, compuesta de cuarzo y sílice hialino-blanco en forma masiva y cristalizada, de textura bandeada con tramos lixiviados débil a lo largo de la estructura y presencia de pirita diseminada en trazas, asociado a óxidos de hierro de

intensidad moderada en pátinas y rellenando oquedades; presenta un azimut N40° y buzamiento de 60°SE, con potencia de 2.20 metros. La alteración de la roca caja en esta zona está representada por un halo de silicificación moderada gradando a alteración argílica fuerte, con óxidos de hierro en forma de pátinas, fracturas y rellenando oquedades.

En la zona noreste, se identificó 03 estructuras mineralizadas muy cercanas, compuesta por cuarzo blanco-hialino en forma masiva y cristalizada, de textura brechada-bandeada con tramos lixiviados débil, tiene presencia de pirita diseminada en trazas, asociado a óxidos de hierro de intensidad moderada en pátinas y rellenando oquedades; presenta un azimut de N35° y buzamiento de 75°SE, con potencias que varía entre 0.15 metros a 0.40 metros a lo largo del afloramiento. **(Fig. 11)**

b) Veta Corona

Estructura mineralizada (veta-falla) emplazada por una falla normal, compuesta por cuarzo y sílice hialino-gris-blanco en forma masiva y cristalizada en algunos tramos a lo largo de la estructura, tiene textura bandeada, con moderada presencia de bandeamiento de sílice gris y tramos lixiviados débil; presenta sulfuros de pirita diseminada y estibina diseminada-cristalizada, asociada a óxidos de hierro y óxidos de manganeso en pátinas y rellenando oquedades; en anteriores campañas se realizaron varias trincheras para identificar la continuidad de la estructura

mineralizada, que actualmente fueron tapadas, en promedio tiene un azimut N60° y buzamiento de 70°SE, con potencia que varía entre 0.20 metro a 3.00 metros a lo largo del afloramiento de la estructura.

En diferentes campañas antiguas de exploración (trincheras) se ha reconocido al Suroeste (SW) como afloramiento 100 metros de estructura mineralizada y al Noreste (NE) 700 metros de estructura mineralizada; la mayor parte de la continuidad de la estructura mineralizada está cubierta por cobertura. La roca caja está conformada por andesita porfirítica, andesita afanítica, toba lapilli, brecha de toba y tufos, todas ellas son rocas obliteradas producto de la alteración hidrotermal originado por la estructura mineralizada; estas rocas obliteradas son halos de alteración, y tienen un margen de halo entre 4 metros a 25 metros a lo largo de la estructura, y los principales tipos de alteración son argilización moderada y silicificación débil, identificadas alrededor en toda la estructura mineralizada.

A lo largo de la estructura mineralizada presentan diferentes tipos de texturas y composición, que lo detallaremos a continuación:

En la zona suroeste, se identificó por medio de trincheras antiguas 01 estructura mineralizada, que presenta una longitud de 100 metros aproximadamente, y está compuesta por cuarzo y sílice hialino en forma cristalizada y masiva, de textura bandeadas con

tramos lixiviados débil-moderada a lo largo de la estructura, tiene presencia de estibina y pirita diseminada (1%), asociado con óxido de hierro de intensidad moderada en pátinas y rellenando oquedades; presenta un azimuth N65° y buzamiento de 70°SE, con potencias que varía entre 0.70 metros a 3.00 metros a lo largo del afloramiento, comportándose como veta tipo rosario; actualmente estas trincheras de campañas anteriores están tapadas.

En la zona noreste, a 1 kilómetro al NE de la zona suroeste, se identificó la continuidad de la estructura mineralizada, que presenta una longitud de 700 metros, y está compuesta de cuarzo y sílice hialino-blanco en forma cristalizada y masiva, de textura bandeada con tramos lixiviados débil a lo largo de la estructura, tiene presencia de óxidos de hierro de intensidad moderada y óxidos de manganeso de intensidad débil en pátinas y rellenando oquedades; presenta un azimuth N55° y buzamiento de 70°SE, con potencias que varía entre 0.20 metros a 2.00 metros a lo largo del afloramiento. **(Fig. 11)**

c) Veta Corona 2

Estructura mineralizada (veta), se encuentra paralela y a 20 metros al SE de la Veta Corona, compuesta principalmente de sílice y cuarzo hialino-blanco-gris en forma masiva y cristalización débil, de textura bandeada y con tramos lixiviados débil a lo largo de la estructura, tiene presencia de sulfuros de pirita diseminada (1%) y están asociados a óxidos de hierro de intensidad moderada

en pátinas y rellenando oquedades; se tiene laboreos mineros a lo largo de la estructura, que aflora 70 metros de longitud, y tiene un azimut N240° y buzamiento 75°NW, con potencias que varía entre 0.40 metros a 1.50 metros a lo largo del afloramiento, comportándose como veta tipo rosario.

La roca caja está conformada por andesita porfirítica, andesita afanítica y toba de lapilli, todas ellas son rocas obliteradas producto de la alteración de la estructura mineralizada, con alteración hidrotermal que consiste en silicificación moderada y argilización débil; estas rocas obliteradas son halos de alteración, y tienen un margen de halo entre 4 metros a 15 metros a lo largo de la estructura. Dentro de los halos de alteración existen fuertes venillas milimétricas de sílice hialina, asociado a sulfuros de pirita diseminada débil y óxidos de hierro moderado en pátinas y rellenando fracturas. **(Fig. 11)**

d) Veta Corona 3

Estructura mineralizada (veta), ubicada a 50 metros al SE de la Veta Corona, compuesta principalmente por cuarzo y sílice hialino-blanco en forma masiva y cristalizada en algunos tramos a lo largo de la estructura, de textura bandeada y con tramos lixiviados débil, tiene presencia de sulfuros de pirita diseminada (5-8%) y están asociados a óxidos de hierro moderada en pátinas y rellenando oquedades; esta estructura aflora 75 metros de longitud y tiene un azimut N95° y buzamiento sub-vertical, con

potencias que varía entre 0.20 metros a 0.60 metros a lo largo del afloramiento.

La roca caja conformada por andesita porfirítica y toba de lapilli obliteradas, con alteración hidrotermal que consiste en silicificación moderada y argilización débil, en aproximadamente 2.00 a 5.00 metros de halo de alteración a lo largo de la estructura; dentro del halo de alteración se tiene la presencia de venillas milimétricas de sílice hialino, asociada con óxidos de hierro débil a moderado en pátinas y fracturas. **(Fig. 11)**

e) Veta Corona 4

Estructura mineralizada (veta)-falla, ubicada a 75 metros al S de la Veta Corona, compuesta principalmente de cuarzo y sílice blanco-hialino de forma cristalizada y masiva, de textura bandeada con tramos lixiviados débil, tiene presencia de caolinita, sulfuros de estibina diseminada - cristalizada (6%) y pirita diseminada (2%) dispersos a lo largo de la estructura, asociados a óxidos de hierro moderada en pátinas y rellenando oquedades; esta estructura mineralizada tiene una longitud aproximada de 170 metros, presenta un azimuth N60°-100° y buzamiento 70°SE, con potencias que varía entre 0.20 metros a 1.00 metro a lo largo del afloramiento.

La roca caja conformada por andesita porfirítica obliterada, con alteración hidrotermal que consiste en silicificación moderada y argilización débil, presenta un halo de alteración con potencias

que varía entre 2.00 metros a 5.00 metros; la roca caja obliterated tiene presencia de venillas milimétricas de sílice hialino, con sulfuros de piritita diseminada en trazas, asociada con óxidos de hierro moderado. **(Fig. 11)**

f) Veta Corona 5

Estructura mineralizada (veta), ubicada a 115 metros al S de la Veta Corona, compuesta de cuarzo hialino de forma cristalizada (geodas), de textura bandeada con tramos lixiviados débil, tiene presencia de sulfuros de piritita diseminada en trazas dispersos a lo largo de la estructura, asociado a óxidos de hierro moderado en pátinas y rellenando oquedades; hacia el NE, la estructura mineralizada se comporta en vetillas-venillas de cuarzo y sílice hialino, con tramos lixiviados débil y óxidos de hierro moderado en pátinas. La veta aflora con una longitud aproximada de 150 metros, presenta un azimuth N60°-80° y buzamiento subvertical, y con potencias que varía entre 0.10 metros a 0.30 metros.

La roca caja conformada por andesita porfirítica obliterated, con alteración hidrotermal que consiste en silicificación moderada y argilización débil, presenta un halo de alteración con potencias que varía entre 4.00 metros a 7.00 metros; esta roca caja obliterated tiene presencia de venillas esporádicas de sílice hialino y asociado a piritita diseminada en trazas, con óxidos de hierro moderado en pátinas y rellenando oquedades (tipo boxwork). **(Fig. 11)**

g) Veta Corona 6

Estructura mineralizada (veta), ubicada aproximadamente a 145 metros al S de la Veta Corona, conformada de vetillas-venillas de cuarzo y sílice hialino a blanco en forma masiva y cristalizada, de textura bandeada con tramos lixiviados débil; presenta roca obliterada (caballos) entre las vetillas-venillas, tiene presencia de sulfuros de pirita diseminada en trazas dispersos a lo largo de la estructura, están asociados a óxidos de hierro moderado en pátinas y rellenando oquedades (tipo boxwork). La veta aflora con una longitud aproximada de 99 metros, tiene un azimut N75° y buzamiento 80°SE, con potencias que varía entre 0.50 metros a 0.60 metros.

La roca caja conformada por andesita porfirítica obliterada, con alteración hidrotermal que consiste en silicificación moderada y argilización débil, presenta un halo de alteración con potencias que varía entre 3.00 metros a 6.00 metros; esta roca caja obliterada tiene presencia de venillas esporádicas de sílice hialino y asociado a pirita diseminada en trazas, con óxidos de hierro moderado en pátinas y rellenando oquedades (tipo boxwork). **(Fig. 11)**

h) Veta Corona 7

Estructura mineralizada (veta), ubicada aproximadamente a 160 metros al S de la Veta Corona, conformada por vetillas-venillas de cuarzo y sílice blanco-hialino en forma masiva y cristalizada, de textura bandeada con tramos lixiviados débil;

presenta roca obliterated (caballos) entre vetillas-venillas, tiene presencia de óxidos de hierro moderado en pátinas y rellenando oquedades. La veta aflora con una longitud aproximada de 100 metros, tiene un azimut N75° y buzamiento 80°SE, con potencias que varía entre 0.15 metros a 0.30 metros, a lo largo de la estructura.

La roca caja conformada por andesita porfirítica obliterated, con alteración hidrotermal que consiste en silicificación débil y propilitización débil, presenta un halo de alteración con potencias que varía entre 1.00 metros a 3.00 metros aproximadamente; esta roca caja obliterated presenta óxidos de hierro moderado en pátinas y rellenando oquedades. **(Fig. 11)**

i) Veta Tensional Corona

Esta estructura mineralizada (veta), es una extensión de la Veta Corona, y compuesta de cuarzo y sílice blanco-hialino de forma masiva y cristalizada (geodas), de textura bandeadabrechada con tramos lixiviados débil-moderado; a lo largo de la estructura en algunas zonas, se comportan como vetillas-venillas, tiene presencia de sulfuros de pirita diseminada (1%), asociado a óxidos de hierro moderada en pátinas y rellenando oquedades (tipo boxwork). La veta aflora con una longitud aproximada de 180 metros, tiene un azimut N190° y buzamiento 85°NW, con potencias que varía entre 0.25 metros a 1.00 metro, a lo largo de la estructura.

La roca caja conformada por andesita porfirítica obliterada, con alteración hidrotermal que consiste en silicificación moderada y argilización débil, presenta un halo de alteración con potencias que varía entre 4.00 metros a 10.00 metros aproximadamente; esta roca caja obliterada tiene pirita diseminada en trazas, asociada a óxidos de hierro moderada en pátinas y rellenando oquedades (tipo boxwork). Esta estructura mineralizada (Veta Tensional Corona), se comporta cortando transversalmente a las demás vetas paralelas a la Veta Corona (Vetas Corona 2, Corona 3, Corona 4, Corona 5, Corona 6 y Corona 7), originando una zona de mucha alteración sílica-argílica, con fuerte presencia de óxidos. **(Fig. 11)**

j) Veta San Antonio

Estructura mineralizada (veta) de brecha hidrotermal emplazada por una falla normal-inversa, compuesta de cuarzo blanco-hialino como clastos y matriz de sílice oqueroso, presenta textura brechada con tramos lixiviados moderados; a los 160 metros al SW de la brecha hidrotermal, se identificó la continuidad de la estructura con diferente característica, compuesta de cuarzo blanco-hialino en forma masiva y cristalizada con tramos oquerosos. Tiene presencia de sulfuros de pirita diseminada (1%), asociada a óxidos de hierro moderada a fuerte en pátinas y rellenando oquedades, a lo largo del afloramiento de la estructura. La veta aflora con una longitud aproximada de 200 metros, tiene un azimut N70° y buzamiento de 78°SE, con potencias que varía entre 0.80 metros a 2.50 metros, a lo largo de la estructura.

La roca caja obliterated, conformada por andesita porfirítica, andesita afanítica y tufos, con alteración hidrotermal que consiste en argilización moderada y silicificación débil, presenta un halo de alteración con potencias que varía entre 8.00 metros a 20.00 metros aproximadamente; tiene presencia de sulfuros de pirita diseminada (1%), con óxidos de hierro de intensidad moderada en ambas partes, en pátinas y rellenando oquedades; con los detalles del mapeo, esta veta tiene continuidad al SW, por la presencia de óxidos en la roca caja, y también tiene continuidad al NE, por los rodados de cuarzo blanco-hialino encontrados en el suelo. Se ha interpretado que la estructura mineralizada, se corta por la presencia del domo riolítico que aflora alrededor de la caldera Caylloma, ubicada al E-SE del proyecto. **(Fig. 11)**

k) Veta San Antonio 2

Esta estructura mineralizada (veta), es una paralela ubicada a 100 metros al SE de la Veta San Antonio, compuesta de cuarzo hialino-blanco en forma masiva y cristalizada (geodas), de textura bandeada-brechada con tramos lixiviados débil a moderada (oqueroso); tiene presencia de sulfuros de pirita diseminada en trazas, asociada a óxidos de hierro de intensidad moderada en pátinas y rellenando oquedades, a lo largo del afloramiento de la estructura. La veta aflora con una longitud aproximada de 150 metros, tiene un azimut N70°-90° y buzamiento de 70°SE-S, con

potencias que varía entre 0.60 metros a 1.40 metros, a lo largo de la estructura, comportándose como una veta tipo rosario.

La roca caja, conformada por andesita afanítica obliterada, con alteración hidrotermal que consiste en silicificación moderada y propilitización débil, presenta un halo de alteración con potencias que varía entre 10.00 metros a 30.00 metros aproximadamente, tiene presencia de venillas-vetillas de cuarzo hialino (tipo stockwork), asociada sulfuros de pirita diseminada en trazas, con óxidos de hierro de intensidad moderada en pátinas, rellenando oquedades y fracturas; con los detalles del mapeo, esta veta podría tener continuidad al SW, y también tiene continuidad al W, por los rodados de cuarzo blanco-hialino encontrados en la quebrada. Se ha interpretado que esta estructura mineralizada, se corta por la presencia del domo riolítico que aflora alrededor de la caldera Caylloma, ubicada al W del proyecto. **(Fig. 11)**

l) Veta San Antonio 3

Esta estructura mineralizada (veta), es otra paralela ubicada a 150 metros al SE de la Veta San Antonio, compuesta de cuarzo blanco-hialino-gris en forma masiva y cristalizada, de textura bandeada-brechada con tramos lixiviados débil, tiene presencia de sulfuros de pirita diseminada (1%), asociada a óxidos de hierro de intensidad moderada, en pátinas y rellenando oquedades. La veta aflora con una longitud aproximada de 120 metros, y se forma otras 3 vetas con diferentes direcciones (tipo cola de caballo); estas

vetas tienen varios azimuts N250°-130°- 280° y buzamientos de 75°NW-75°SW-80°NE respectivamente, con potencias que varía entre 0.30 metros y 1.20 metros, a lo largo de las estructuras, comportándose como vetas tipo rosario.

La roca caja, conformada por andesita afanítica obliterada, con alteración hidrotermal que consiste en argilización moderada y silicificación débil, presenta un halo de alteración con potencias que varía entre 8.00 metros a 40.00 metros aproximadamente, tiene presencia de venillas de cuarzo hialino-blanco (tipo stockwork), asociada sulfuros de pirita diseminada en trazas, con óxidos de hierro de intensidad moderada en pátinas y fracturas; con los detalles del mapeo, la veta principal podría tener continuidad al SW, y las 3 vetas podrían tener continuidad al W, por los rodados de cuarzo hialino-blanco encontrados en la quebrada. Se ha interpretado que estas estructuras mineralizadas, se corta por la presencia del domo riolítico que aflora alrededor de la caldera Caylloma, ubicada al W del proyecto. **(Fig. 11)**

m) Veta San Antonio 4

Esta estructura mineralizada (veta), que podría ser una extensión de la Veta San Antonio, compuesta de cuarzo hialino-blanco en forma masiva y cristalizada, de textura bandeada-brechada con tramos lixiviados débil; tiene presencia de sulfuros de pirita diseminada en trazas, asociada a óxidos de hierro de intensidad moderada en pátinas y rellenando oquedades, a lo largo

del afloramiento de la estructura. La veta aflora con una longitud aproximada de 5 metros, tiene un azimuth N120° y buzamiento de 72°SW, con potencia de 0.80 metros.

La roca caja obliterada, conformada por andesita afanítica y andesita porfirítica, con alteración hidrotermal que consiste en silicificación moderada y argilización débil, presenta un halo de alteración con potencias que varía entre 4 metros a 6 metros aproximadamente, tiene presencia de pirita diseminada en trazas, con óxidos de hierro de intensidad moderada en pátnas y rellenando oquedades; con los detalles del mapeo, la veta podría tener continuidad al NW (posible extensión de la Veta San Antonio) y tener continuidad al SE. Se ha interpretado que estas estructuras mineralizadas, se corta por la presencia del domo riolítico que aflora alrededor de la caldera Caylloma, ubicada al W del proyecto. **(Fig. 11)**

n) Veta La Plata

Estructuralmente se emplaza sobre una falla normal con azimuth N 60°, buzamiento 50° SE, litológicamente al suroeste se emplaza en secuencias de andesitas porfiríticas y en la parte central y al noreste en andesitas porfiríticas, andesitas afaníticas, tufos y tobas de lapilli, todas ellas del grupo Tacaza formación Orcopampa.

La mineralización se presenta en tres zonas muy marcadas:

En la zona suroeste, la estructura mineralizada (veta) está controlada por una falla reciente con azimuth N100°, la cual representa también un segundo pulso o evento de mineralización, caracterizada por calcita cristalizada y masiva con oxidación preponderante pervasiva de óxido de manganeso, con venillas esporádicas de cuarzo hialino al piso de la veta, esta última característica representa la mejor zona de mineralización, con una potencia promedio total de veta de 15 metros y zona económica con potencias que varían de 4.00 a 6.00 metros y anomalías de, 0.132 ppm Au, 248.85 g/t Ag. La alteración de la roca caja en esta zona está representada íntegramente por argilización fuerte (con reconocimiento del protolito) a intensa (textura obliterada), con parches y patinas de óxidos (óxido de hierro – hematita y limonita).

En la zona central, la estructura mineralizada (veta) se caracteriza por dos zonas; una en la parte central suroeste compuesta por cuarzo hialino – blanco con restos ínfimos de calcita, de textura lattice con pequeñas oquedades rellenas de cuarzo hialino cristalizado (Geodas) y oxidados (Óxido de hierro – hematita) en patinas, con una potencia promedio de 1.00 metro, siendo también zona de apertura de la Veta Cimoide La Plata al piso de la veta. En esta zona se explotó Veta La plata y Veta Cimoide La Plata con 3 niveles con una extensión lateral de 200 metros, con mineralización de sulfosales (proustita, pirargirita) y valores de plata muy altos que alcanzaron los 1000 g/t Ag con potencia que varía de 1.50 a 2.00 metros. Hacia el noreste se tienen

sondajes diamantinos los cuales nos indican la extensión lateral de 250 a 300 metros del zoneamiento de plata, con una profundidad aproximada de 200 metros. La parte central Noreste compuesta por cuarzo hialino – blanco con bandas ínfimas de calcita, textura lattice, con presencia brecha hidrotermal de clastos argilizados y matriz de cuarzo hialino oxidado (Óxido de hierro – hematita) presente en el borde de veta, intercalado con roca caja argilizado, disseminación de pirita 0.5%, con una potencia promedio de 0.35 metros. La alteración de la roca caja en esta zona está representada por un halo de silicificación moderada gradando a alteración argílica fuerte con óxidos (óxido de hierro – limonita y hematita).

En la zona noreste, la estructura mineralizada (veta) se caracteriza por la presencia de falla panizada al piso, calcita cristalizada con venillas de óxido de manganeso, con una potencias que varían de 0.60 a 1.00 metros, con evidencias de sondajes diamantinos disminuye el contenido de plata a lo largo de la extensión lateral y zonas someras pero en profundidad (cota 4540) se evidencia leyes de 2.02 % Zn con una potencia de 0.75 metros, indicador de la apertura del estadio polimetálico en profundidad. La alteración de la roca caja está representada íntegramente por argílica fuerte (con reconocimiento del protolito), a intensa (textura obliterada). **(Fig. 11)**

o) Veta Antimonio Bajo

Estructuralmente se emplaza sobre una falla inversa con azimut N130° y buzamiento 50°SW, tiene potencia entre 0.30 a 1.50 metros, y longitud de la estructura mineralizada aproximada es de 530 metros, litológicamente se emplaza en el contacto entre tufo de grano fino a medio intercalado con andesita porfírica y toba de lapilli con intercalación de toba de brecha; la alteración de la roca caja está representada por alteración hidrotermal y supérgena, la cual está representada preponderantemente por una alteración silicificada y argílica moderada, en toda la extensión de la veta la cual abarca de 10 a 15 metros de potencia de halo de alteración, producto de venillas milimétricas de sílice hialino.

La veta está compuesta de cuarzo blanco-hialino en forma masiva y cristalizada (geodas), de textura bandeada-brechada, con patinas y rellenando oquedades (tipo boxwork) de óxido de hierro moderada y óxidos de arsénico-antimonio débil, tiene presencia de sulfuros como la pirita diseminada (1%) y estibina diseminada cristalizada (1-2%) a lo largo de la estructura mineralizada. Hacia el SE, no se observa la continuidad debido a que presenta cobertura; pero en campañas anteriores se reconoció la veta con trincheras, identificando rocas alteradas con vetillas y venillas de sílice hialino, asociado a óxidos de hierro. **(Fig. 11)**

p) Veta Transversal Corona-Antimonio

Estructuralmente se emplaza sobre una falla inversa con azimut N320°, buzamiento 50°NE, la longitud de la estructura mineralizada (veta) aproximada es de 900 metros, litológicamente se emplaza al NW en el contacto entre andesita porfírica – tufo y toba de lapilli, la parte central se encuentra cubierto con cuaternario y material coluvial, al SE emplazado en tufos y tobas de lapilli.

La alteración de la roca caja está representada por alteración hidrotermal y supérgena, la cual está representada preponderantemente por alteración argílica en toda la extensión de la veta la cual abarca de 10 a 15 metros de potencia de halo de alteración.

Al noroeste, la estructura mineralizada (veta) está compuesta de cuarzo hialino – blanco masivo con patinas de óxido de hierro de textura bandeada intercalado con roca caja argilizado, con brecha hidrotermal al borde de la veta con clastos andesíticos argilizados, matriz de cuarzo hialino – blanco de tonalidad violácea – oxidado (Óxido de hierro – hematita); azimut N320°, buzamiento 50°NE, información de datos geoquímicos antiguos en superficie registran valores anómalos de 0.346 g/t Au en potencias que varían entre 1.00 a 3.50 metros.

Al sureste, la estructura mineralizada (veta) está compuesta de cuarzo hialino – blanco masivo con patinas de óxido

de hierro, de textura bandeada intercalado con roca caja argilizado, con trazas y disseminación de pirita; azimuth N320°, buzamiento 55°NE, información de datos geoquímicos antiguos en superficie registran valores anómalos de 0.209 ppm Au ,114.52 g/t Ag, en potencias que varían de 0.60 a 1.20 metros. **(Fig. 11)**

q) Veta Transversal Corona-Antimonio 2

Estructuralmente se emplaza en una falla inversa con azimuth N110°, buzamiento 75°SW, la longitud de la estructura mineralizada (veta) aproximada es de 850 metros, litológicamente se emplaza sobre secuencias de andesitas porfíricas, toba de lapilli y andesitas afaníticas a lo largo de toda la estructura.

La alteración hidrotermal de la roca caja está representado en el halo de la veta por silicificación moderada gradando a argílica fuerte (con reconocimiento del protolito) y de textura obliterada.

La veta está compuesta de brechas hidrotermales con clastos andesíticos argilizados y matriz de cuarzo hialino - blanco oxidado (óxido de hierro – hematita) intercaladas con roca caja argilizada y venillas de cuarzo hialino, información de datos geoquímicos antiguos en superficie registran; al noroeste valores anómalos de 0.109 ppm Au, 416.70 ppm As en potencias que varían de 1.50 a 2.40 metros, al sureste valores anómalos de 0.075 ppm Au, 682.5 ppm As en potencias que varían de 0.50 a 1.30 metros, estas leyes tanto al noroeste como sureste es indicativo que

la veta se encuentra en la parte somera de la mineralización a lo largo de la veta. **(Fig. 11)**

r) Veta Antimonio 1

Estructuralmente es una tensional entre veta la Plata y Corona Antimonio, con azimuth N125°, buzamiento 65°SW, la longitud de la estructura mineralizada (veta) aproximada es de 450 metros, litológicamente se emplaza sobre secuencias de tufos y tobas de lapilli a lo largo de toda la estructura.

La alteración en la roca caja, que está afectada por la acción de fluidos hidrotermales y agentes supérgenos (intemperismo), presenta alteración argílica fuerte con notoriedad del protolito, como también zonas con rocas argilizadas de textura obliterada con oxidación moderada presente como patinas y parches.

La veta está compuesta de calcita cristalizada casi en su totalidad en algunos tramos masiva, con presencia de pequeñas geodas rellenas de cuarzo hialino cristalizado y oxidado pervasivamente (óxido de hierro – hematita), con venillas esporádicas de cuarzo hialino con oxidación (óxido de hierro - hematita y óxido de manganeso), información de datos geoquímicos antiguos en superficie no registran valores anómalos en ningún elemento en la zona noroeste, hacia el sureste no hay evidencia de afloramiento de la veta. **(Fig. 11)**

s) Veta Antimonio 2

Estructuralmente es una tensional entre veta la Plata y Corona Antimonio, con azimut N110°, buzamiento 70°SW, la longitud de la estructura mineralizada (veta) aproximada es de 400 metros, litológicamente se emplaza sobre tufos y tobas de lapilli a lo largo de toda la estructura y localmente al noroeste se emplaza sobre una secuencia de andesita afanítica.

La alteración en la roca caja, que está afectada por la acción de los fluidos hidrotermales, en la cual el primer evento de alteración está representado por la silicificación débil en el halo de la veta y gradando hacia afuera presenta argilización fuerte y obliterada.

La veta está compuesta de cuarzo hialino – blanco con pequeñas oquedades rellenas de óxidos (óxido de hierro – hematita) intercalado con roca caja silicificado y argilizado con venillas de cuarzo hialino, presencia de patinas de óxidos - hematita, presencia de diseminado de piritita 1%, información de datos geoquímicos antiguos en superficie registran; al noroeste valores anómalos de 0.222 ppm Au, 1732.01 ppm As en potencias que varían de 0.50 a 1.70 metros, estas anomalías es indicativo que la veta se encuentra parte somera de la mineralización, hacia el sureste no hay evidencia de afloramiento de la veta. **(Fig. 11)**

t) Veta Antimonio 3

Estructuralmente se emplaza sobre una falla inversa con azimut N155°, buzamiento 55°SW, la longitud de la estructura mineralizada (veta) aproximada es de 880 metros, litológicamente se emplaza sobre andesita afanítica – porfirítica y tobas de lapilli.

La alteración de la roca caja está representada por un halo de silicificación moderada gradando a argilización fuerte (reconocimiento del protolito), a intensa (textura obliterada).

La veta está compuesta de cuarzo hialino – blanco, con oquedades rellena de óxidos (óxido de hierro – limonita y hematita), intercalado con roca caja argilizada con venillas de cuarzo hialino con patinas y parches de óxidos (óxido de hierro – limonita y hematita, información de datos geoquímicos antiguos en superficie registran anomalías de 0.247 ppm Au, 89.07 g/t Ag, 323.73 ppm As y 3962.92 ppm Sb. **(Fig. 11)**

Figura 11: Plano Geológico Local – Proyecto Corona-Antimonio.

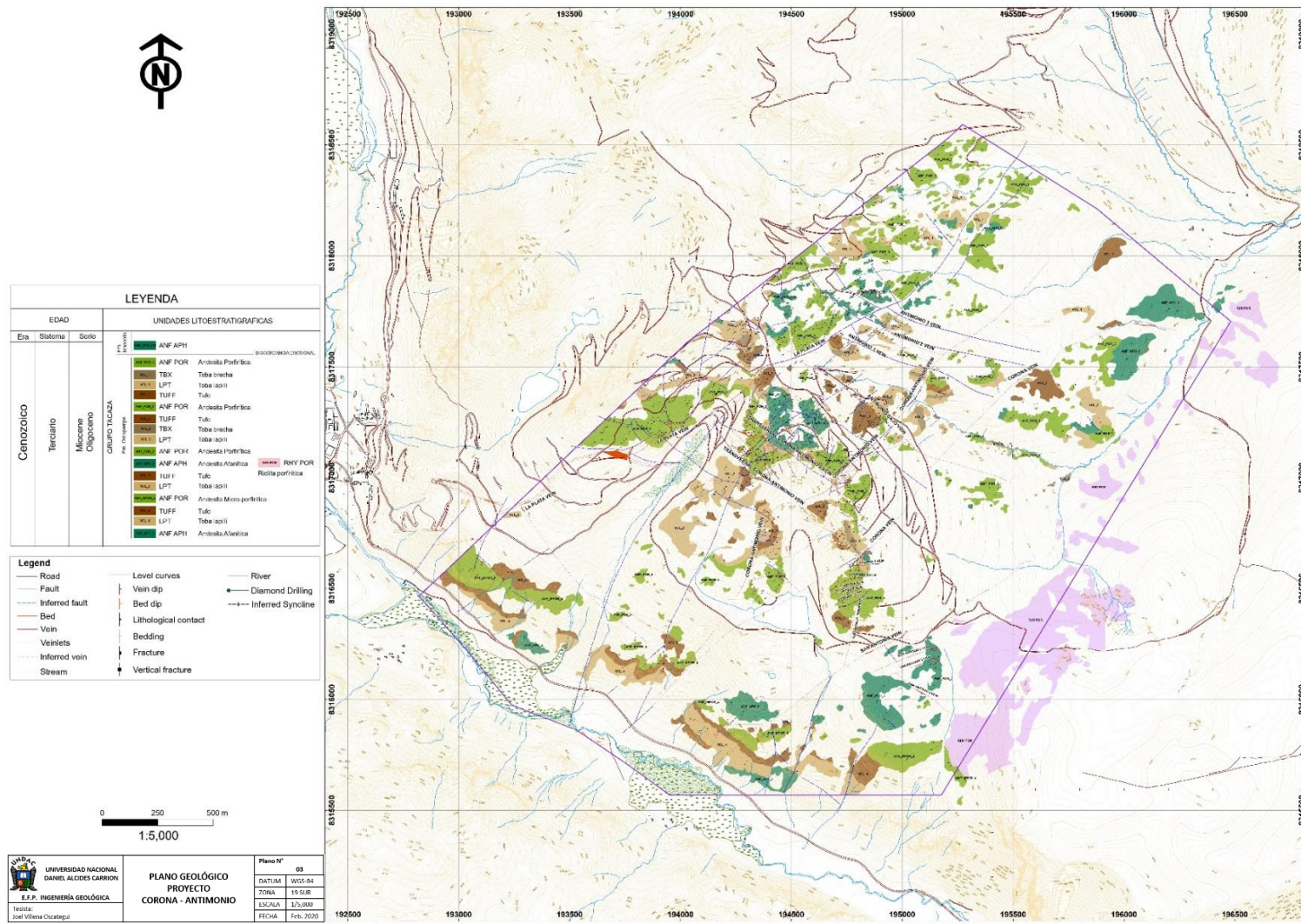
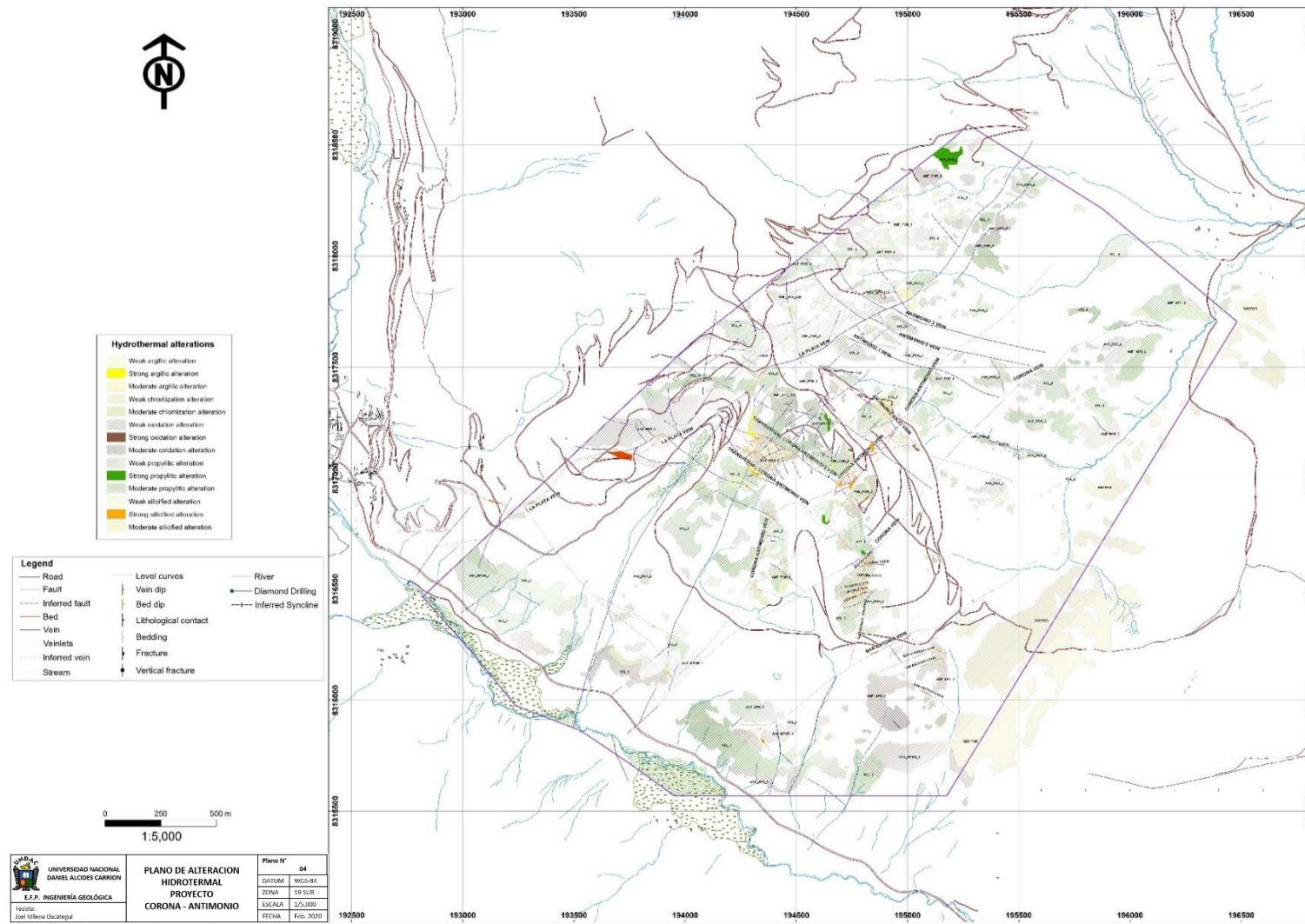


Figura 12: Plano de Alteración Hidrotermal – Proyecto Corona-Antimonio.



4.1.4.5. Estudios Minerográficos

a) Veta Corona-Antimonio

Muestra 349901

En la zona NE de la veta, microscópicamente se identificó trazas de **rutilo** (TiO₂) como cristales anhedrales a subhedrales de hábitos prismáticos y reticulares, trazas de **magnetita** presente como relictos reticulares, trazas de **pirita** de hábitos cúbicos que se hallan dispersos en oquedades y como inclusiones en los minerales de gangas no metálicas, trazas de **calcopirita** de formas anhedrales, ocurre como relleno de oquedades, 2% de **hematita** que reemplaza a pirita y por sectores intercrecida por goethita este último se presenta relleno oquedades por toda la muestra, por sectores esta intercrecida por hematita, presentando una textura de relleno y reemplazamiento.

Muestra 349903

En la parte central de la veta, microscópicamente se identificó trazas de **pirita** como cristales subhedrales a euhedrales de hábitos cúbicos, 0.5% de **estibina** presente como cristales euhedrales a subhedrales de hábito prismáticos alargados, algunos son reemplazados por goethita, trazas de **electrum** se muestran de formas irregulares, trazas de **hematita** se presentan como cristales subhedrales de hábito prismáticos se encuentran como relleno de porosidades, todos los minerales descritos ocurren como inclusiones en los minerales de gangas no metálicas, 2.5% de **goethita** presente como agregados concéntricos y coloformes,

también adoptan pseudoformas cubicas de minerales preexistente completamente reemplazados presentando texturas de relleno y reemplazamiento.

Muestra 349908

En la parte NW de la veta, microscópicamente se identificó trazas de rutilo (TiO_2) presente como cristales anhedrales a subhedrales de hábitos prismáticos, por sectores se presentan como agregados reticulares, trazas de pirita presente como formas irregulares, ocurren como inclusiones en los minerales de gangas no metálicas y por sectores como relleno de oquedades, trazas de arsenopirita presente como cristales euhedrales de hábitos rómbicos, se halla como inclusiones en los minerales de gangas no metálicas y por ultimo 0.5% goethita como agregados concéntricos y coloformes rellenando cavidades en toda la muestra, presentando textura de relleno y reemplazamiento.

b) Veta La Plata

Muestra 349904

En la parte central de la veta, microscópicamente se identificó trazas de rutilo (TiO_2) de forma anhedral de habito prismático, ocurren como relleno de porosidades en los minerales de gangas no metálicas, trazas de magnetita de formas irregulares y relictas reemplazadas por hematita, trazas de pirita de forma euhedral a subhedral de habito cubico y dodecaedro, se encuentran como inclusiones en los minerales de gangas no metálicas, trazas

de hematita de forma anhedral reemplazando a la magnetita, ocurre como diseminada y relleno de oquedades, 1.5% de goethita como agregados coloformes y concéntricos presente en los bordes de oquedades y reemplazando a cristales de pirita, con texturas de relleno y reemplazamiento.

Muestra 349905

En la parte SW de la veta, microscópicamente se identificó trazas de pirita de forma subhedral a euhedral de hábito cúbico, en algunos lugares se presenta casi completamente reemplazados por goethita, trazas de calcopirita se presenta de formas irregulares encontrándose como inclusiones en los minerales de gangas no metálicos, 5.5% de óxidos de manganeso presentes como agregados aciculares radiados y como diseminados en los minerales de gangas no metálicos, por último 2.5% de goethita como agregados coloformes y concéntricos presentes desde los bordes de oquedades y también reemplazando a cristales de pirita, de textura de relleno y reemplazamiento.

c) Veta Antimonio Bajo

Muestra 349902

En la parte central de la veta, microscópicamente se identificó trazas de pirita como cristales anhedrales de hábitos cúbicos, trazas de calcopirita de formas irregulares, trazas de estibina como cristales subhedrales a euhedrales de hábito prismático que ocurren como inclusiones en los minerales de

gangas no metálicos, trazas de electrum en formas irregulares, 2% de goethita se presenta como agregados concéntricos y coloformes, ocurren como inclusiones y relleno de oquedades en los minerales de gangas no metálicos, de textura de relleno y reemplazamiento.

d) Veta Transversal Corona-Antimonio

Muestra 349907

En la parte NW de la veta, microscópicamente se identificó trazas de rutilo (TiO_2) como cristales subhedrales a euhedrales, ocurren en forma de diseminados, con dos eventos de mineralización de pirita siendo; pirita I presentándose de forma irregular como relleno de oquedades en minerales de gangas no metálicos y pirita II presente como agregados de cristales euhedrales a subhedrales, presente en venillas asociada a cuarzo de relleno, goethita presente como agregados concéntricos y coloformes rellenando espacios vacíos, trazas de esfalerita en formas irregulares que ocurren como inclusiones en algunos cristales de pirita II, todos ellos de textura de relleno y reemplazamiento.

4.1.4.6. Perforación Diamantina Histórica

En el proyecto Corona-Antimonio se realizaron 54 sondajes exploratorios entre los años 2005 y 2013, distribuidos de la siguiente manera:

Con objetivo a la Veta La Plata se realizaron 46 sondajes, de los cuales 23 fueron desde superficie en los años 2006 (11 sondajes), 2011 (12 sondajes) y 23 sondajes desde interior mina en los años 2005 (10 sondajes), 2006 (8 sondajes), 2011(1 sondaje), 2012(3 sondajes) y 2013(1 sondaje), de los cuales los sondajes más relevantes son: en la parte central de la veta el sondaje LPLS001506 con una longitud total de 223.65 m, ANIS052917A con una longitud total de 569.1 y LPLS002011 con una longitud total de 260 m, al NE el sondaje LPLS003011 con una longitud total de 160 m y LPLS003411 con una longitud total de 300 m, y se detalla a continuación:

- **LPLS001506:** Litológicamente compuesto por tobas de lapilli, tufos de grano fino y medio, y en menor proporción andesitas porfíricas, correspondiente a la formación Orcopampa (miembro A), intercepta a la Veta La Plata en la cota 4735 m.s.n.m. con una potencia de 3.65 m y se caracteriza por presentar una zona fallada con abundante óxido (OxFe) – hematita, limonita, óxido de manganeso, con clastos de cuarzo-calcita, con leyes de: **498.0 g/t Ag; 0.190 ppm Au; 0.10 % Pb; 0.69 % Zn** y su valor de punto es de \$205.3.
- **ANIS052917A:** Litológicamente compuesto por andesitas porfíricas, tobas de lapilli y tufos, correspondiente a la formación Orcopampa (miembro A), intercepta a la Veta La Plata en la cota 4735 m.s.n.m. con una potencia de 1.89 m y se caracteriza por presentar calcita de textura masiva con oquedades rellenas de óxidos (OxMn), intercalado con zonas brechadas y óxido de manganeso pervasivo, con leyes de:

966.0 g/t Ag; 7.688 ppm Au; 0.50 % Pb; 1.10 % Zn y su valor de punto de **\$523. (Fig. 13)**

- **LPLS002011:** Litológicamente compuesto por andesitas porfiríticas intercaladas con tobas de lapilli y tufos correspondiente a la formación Orcopampa (miembro A), intercepta a la Veta La Plata en la cota 4670 m.s.n.m. con una potencia de 2.49 m y se caracteriza por presentar calcita de textura masiva intercalado con roca caja y venillas de calcita-cuarzo, con leyes de: **192.1 g/t Ag; 4.226 ppm Au; 0.09 % Pb; 0.21 % Zn** y su valor de punto de **\$120.2. (Fig. 14)**
- **LPLS003011:** Litológicamente compuesto por andesitas porfiríticas, con intercalaciones de toba lapilli, tufos de grano fino a medio, correspondiente a la formación Orcopampa (miembro A), intercepta a la Veta La Plata en la cota 4660 m.s.n.m. con una potencia de 0.60 m y se caracteriza por presentar calcita de textura masiva con bandas de cuarzo ínfimas retemplando a la calcita, intercalado con roca caja, venillas de calcita, con leyes de: **90.7 g/t Ag; 0.046 ppm Au; 0.02 % Pb; 0.04 % Zn** y su valor de punto de **\$38.5. (Fig. 15)**
- **LPLS003411:** Litológicamente compuesto por andesitas porfiríticas con intercalaciones de toba de lapilli, tufos de grano fino, correspondiente a la formación Orcopampa (miembro A), intercepta a la Veta La Plata en la cota 4540 m.s.n.m. con una potencia de 0.59 m y se caracteriza por presentar estructura de cuarzo-calcita de textura lattice en bandas intercalado con rocas caja, óxido de manganeso

pervasivo presente en partes con leyes de: **39.4 g/t Ag; 0.021 ppm Au; 0.50 % Pb; 2.02 % Zn** y su valor de punto de \$55.6.

Con objetivo a la Veta Corona Antimonio se realizaron 2 sondajes en el año 2006; CANS003506 con una longitud total de 243.85 m y CANS003706 con una longitud total de 280 m, y se detalla a continuación:

- **CANS003506:** Litológicamente compuesto por andesitas porfíricas con intercalaciones pseudoestratificadas de toba de lapilli, tufos de grano fino y toba de brecha, correspondiente a la formación Orcopampa (miembro A), intercepta a la Veta Corona-Antimonio en la cota 4689 m.s.n.m. con una potencia de 1.45 m y se caracteriza por presentar estructura de cuarzo sílice hialino-blanco de textura brechada intercalado con rocas caja, óxido de hierro moderado presente en partes; toda la estructura tiene leyes de: **10.9 g/t Ag; 0.035 g/t Au; 0.003 % Pb; 0.01 % Zn** y su valor punto es de \$5.0. (Fig. 16)
- **CANS003706:** Litológicamente compuesto por andesitas porfíricas con intercalaciones pseudoestratificadas de toba de lapilli, tufos de grano fino y toba de brecha, correspondiente a la formación Orcopampa (miembro A), es una zona con fuerte fallamiento y alteración argílica moderada; este sondaje interceptan a las Vetas Cimoide Corona-Antimonio y Corona Antimonio en las cotas 4818 m.s.n.m. y 4732 m.s.n.m. respectivamente, con potencias de 1.30 m en ambas estructuras, y se caracteriza por presentar estructura de cuarzo-sílice blanco-hialino-gris de textura brechada, con óxidos de hierro moderado a fuerte en toda la estructura; presentan leyes en la parte

económica: **130 g/t Ag; 0.123 g/t Au; 0.01 % Pb; 0.01 % Zn** y su valor punto es de **\$54.8** para la Veta Cimoide Corona-Antimonio, y leyes en la parte económica: **111 g/t Ag; 0.484 g/t Au; 0.03 % Pb; 0.03 % Zn** y su valor punto es de **\$ 51.2** para la Veta Corona-Antimonio. (Fig. 17)

Con objetivo a la Veta Corona se realizó 1 sondaje en el año 2011; CORS000111 con una longitud total de 344.6 m, y se detalla a continuación:

- **CORS000111:** Litológicamente compuesto por andesitas porfíricas con intercalaciones pseudoestratificadas de toba de lapilli, tufos de grano finomedio y toba de brecha, correspondiente a la Formación Orcopampa (miembro A), intercepta principalmente a la Veta Corona en la cota 4548 m.s.n.m., con una potencia de 4.47 m y se caracteriza por presentar estructura de cuarzo-sílice hialino-blanco en forma masiva y cristalizada, de textura bandeada intercalado con roca caja alterada, tiene óxidos de hierro moderado a fuerte en toda la estructura; tiene leyes de: **0.9 g/t Ag; 0.009 g/t Au; 0.002 % Pb; 0.01 % Zn**, y su valor punto es de **\$0.6**. (Fig. 18)

Con objetivo a la Veta San Antimonio se realizaron 2 sondajes en el año 2011; SANS000111 con una longitud total de 201 m y SANS000211 con una longitud total de 190.5 m, y se detalla a continuación:

- **SANS000111:** Litológicamente compuesto por andesitas afaníticas con intercalaciones pseudoestratificadas de tobas de lapilli y tufos de grano

fino-medio, correspondiente a la Formación Orcopampa (miembro A), intercepta principalmente a la Veta San Antonio en la cota 4645 m.s.n.m., con una potencia de 14.49 m y se caracteriza por presentar estructura de cuarzo-sílice hialino-blanco en forma masiva y cristalizada, de textura bandeada intercalado con roca caja alterada, tiene óxidos de hierro moderado a fuerte en toda la estructura; y tiene leyes de: **4.2 g/t Ag; 0.136 g/t Au; 0.002 % Pb; 0.04 % Zn**, y su valor punto es de **\$3.6. (Fig. 19)**

- **SANS000211:** Litológicamente compuesto por andesitas porfiríticas y afaníticas con intercalaciones pseudoestratificadas de tufos de grano finomedio, correspondiente a la Formación Orcopampa (miembro A); este sondaje intercepta principalmente a la Veta San Antonio en la cota 4586 m.s.n.m., con una potencia de 2.53 m; también intercepta otras vetas, como San Antonio 2 y San Antonio 3 de potencias menores. La Veta San Antonio se caracteriza por presentar cuarzo-sílice blanco-hialino en forma cristalizada y masiva de textura bandeada, tiene óxidos de hierro moderado y óxidos de manganeso débil, y tiene leyes de: **1.2 g/t Ag; 0.014 g/t Au; 0.001 % Pb; 0.001 % Zn**, y su valor punto es de **\$0.7. (Fig. 20)**

Figura 13: Sección del sondaje ANIS052917A – Veta Animas

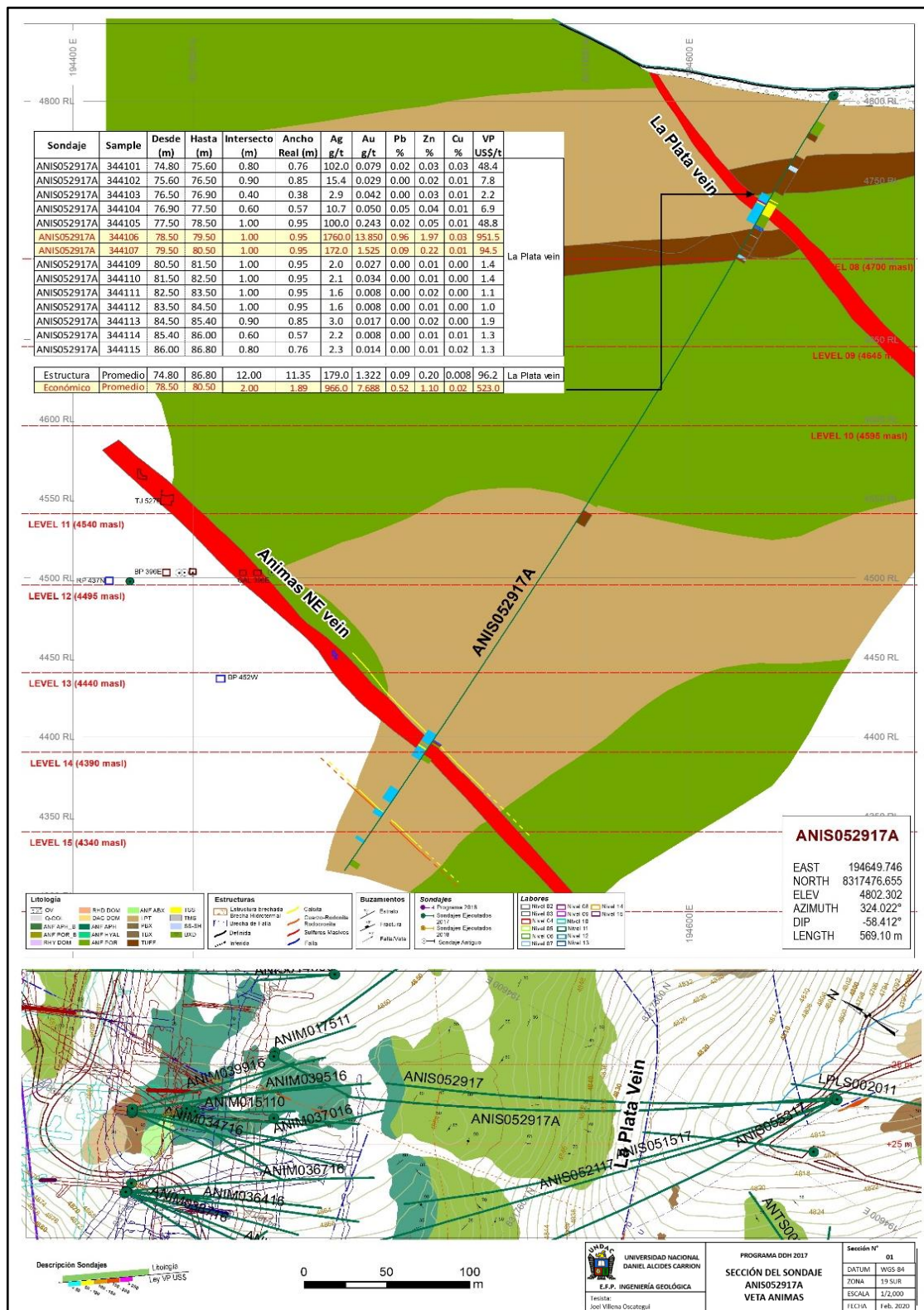


Figura 14: Sección del sondeo LPLS002011 – Veta La Plata.

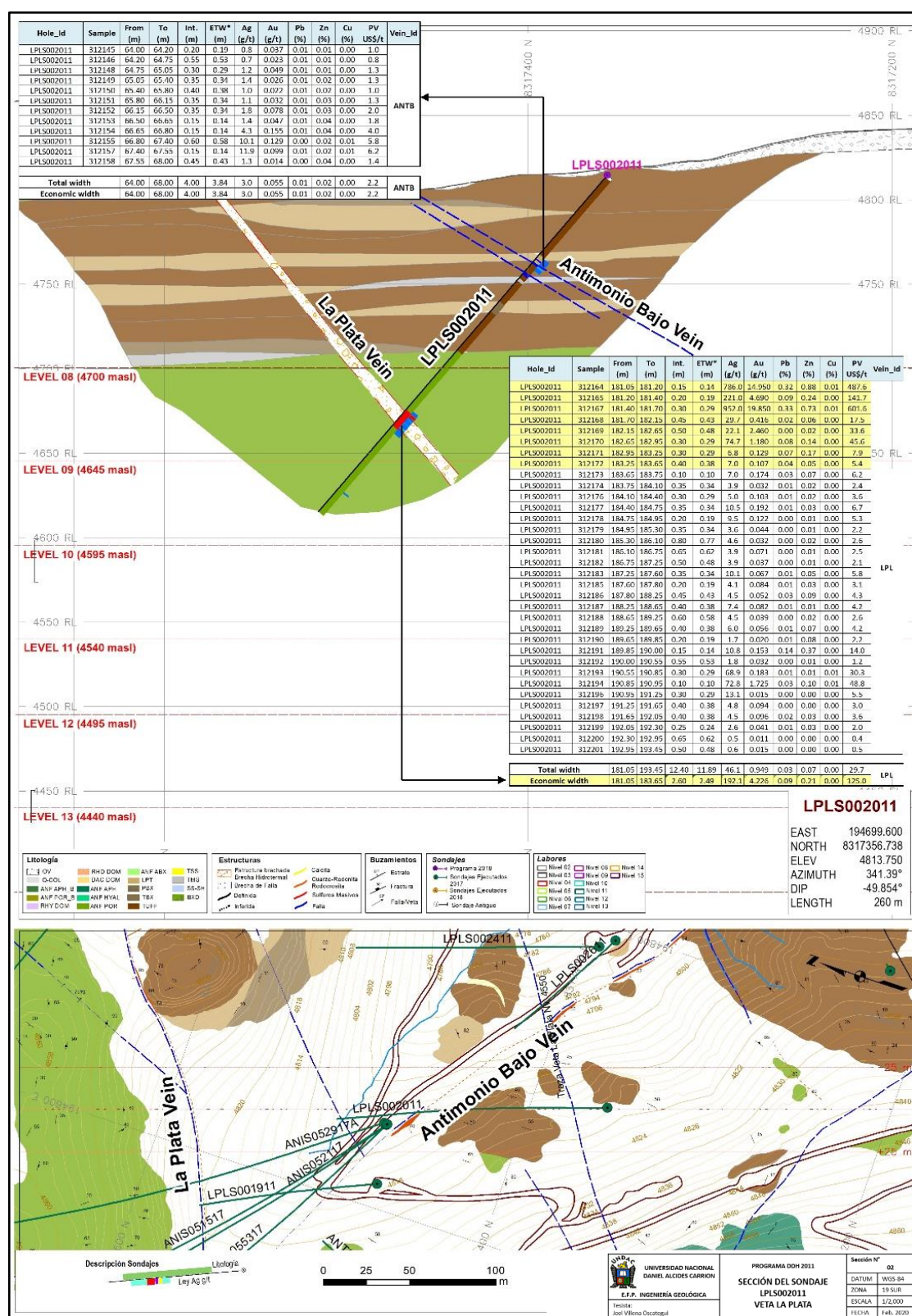


Figura 15: Sección del sondaje LPLS003011 – Veta La Plata.

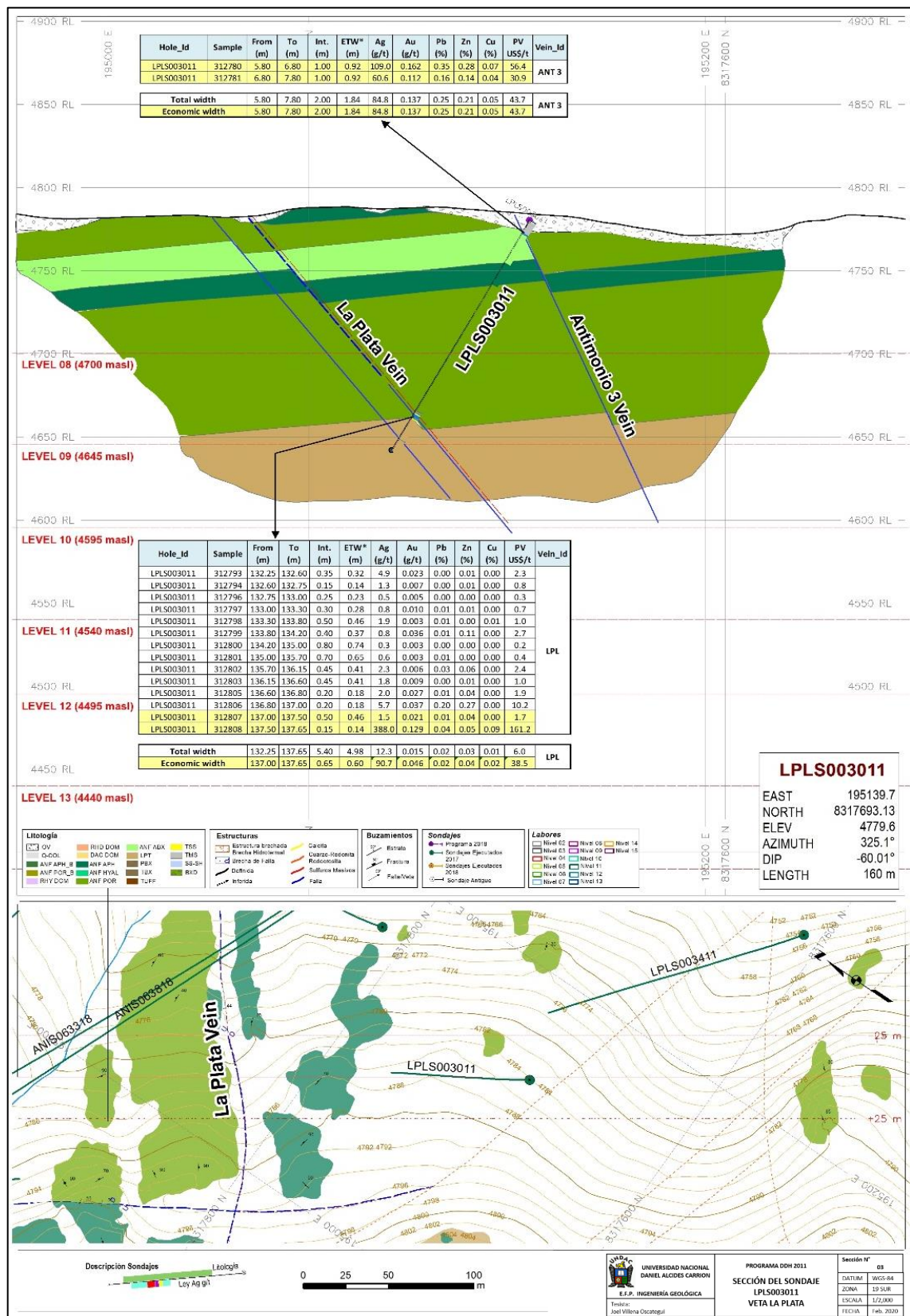


Figura 16: Sección del sondaje CANS003506 – Veta C. Antimonio.

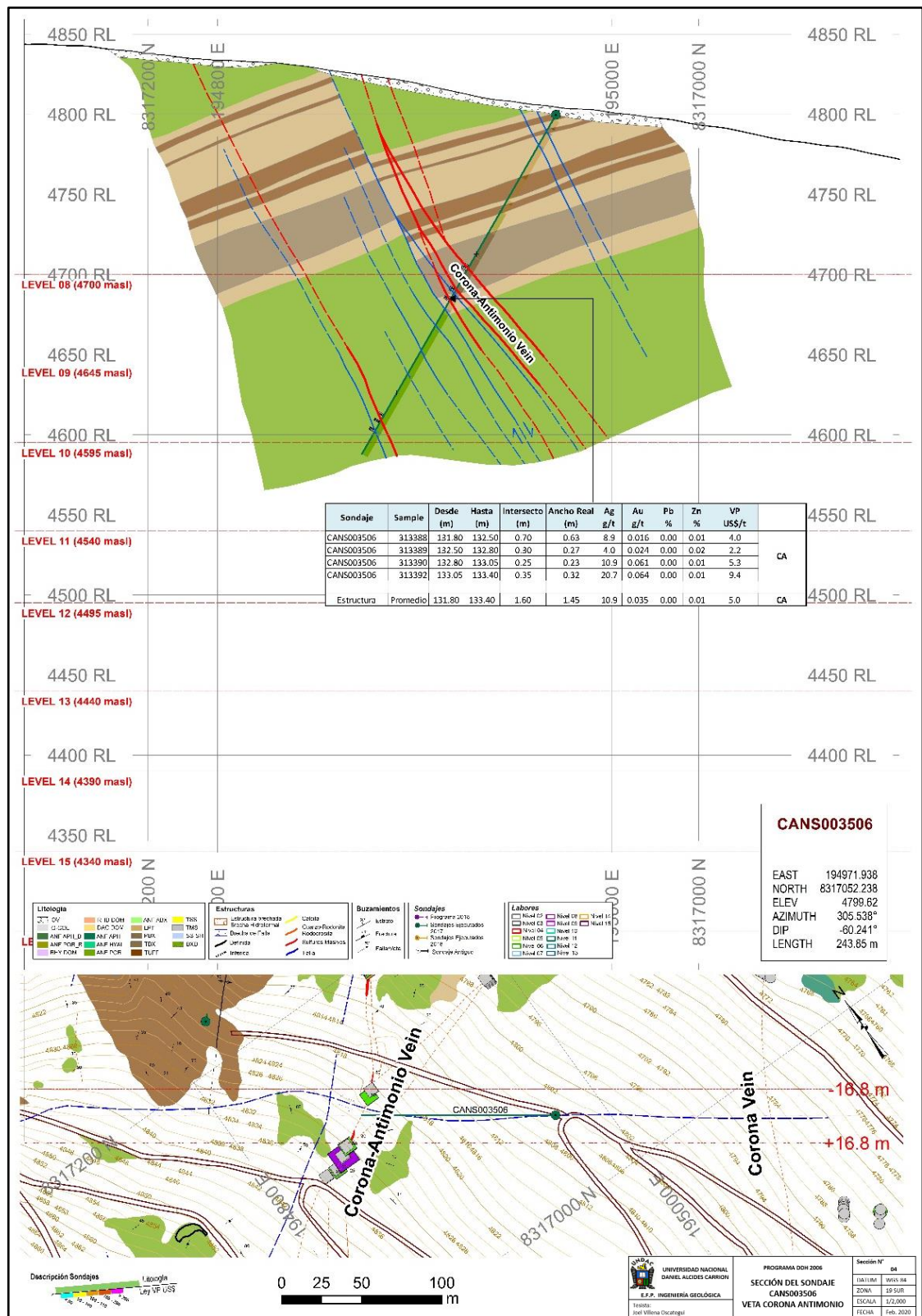


Figura 17: Sección del sondaje CANS003706 – Veta C. Antimonio.

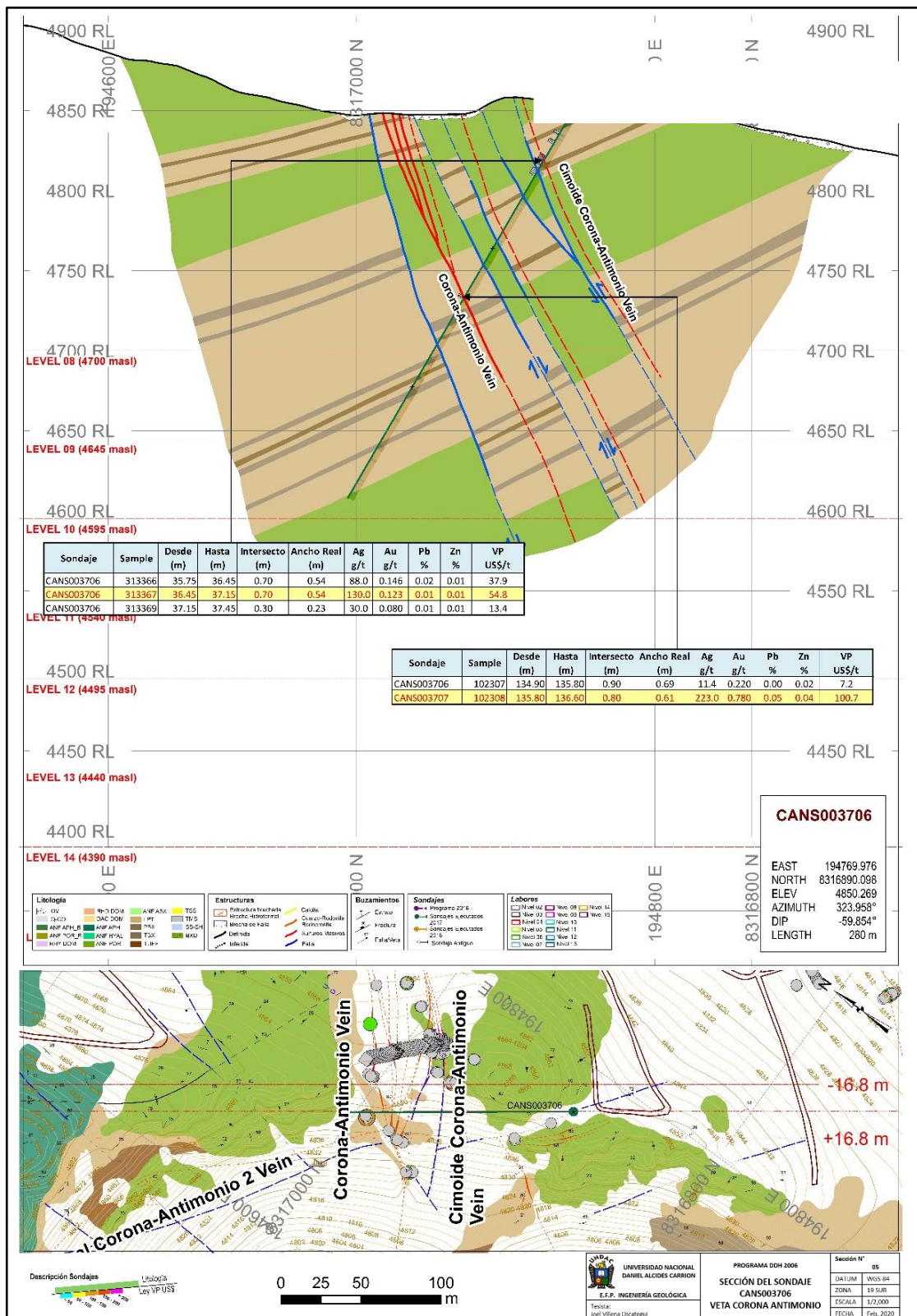


Figura 18: Sección del sondaje CORS000111 – Veta Corona.

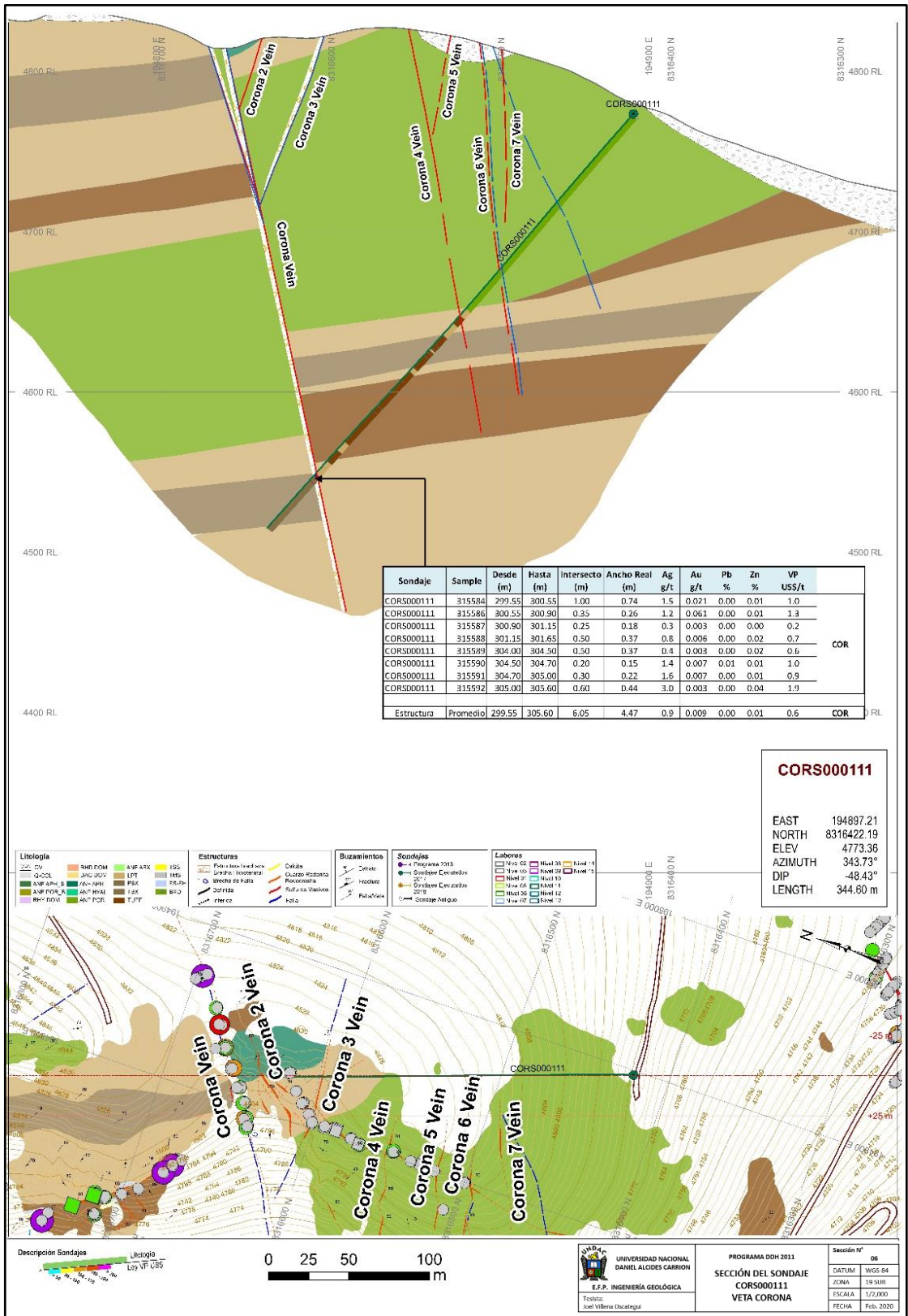


Figura 19: Sección del sondaje SANS000111 – Veta San Antonio.

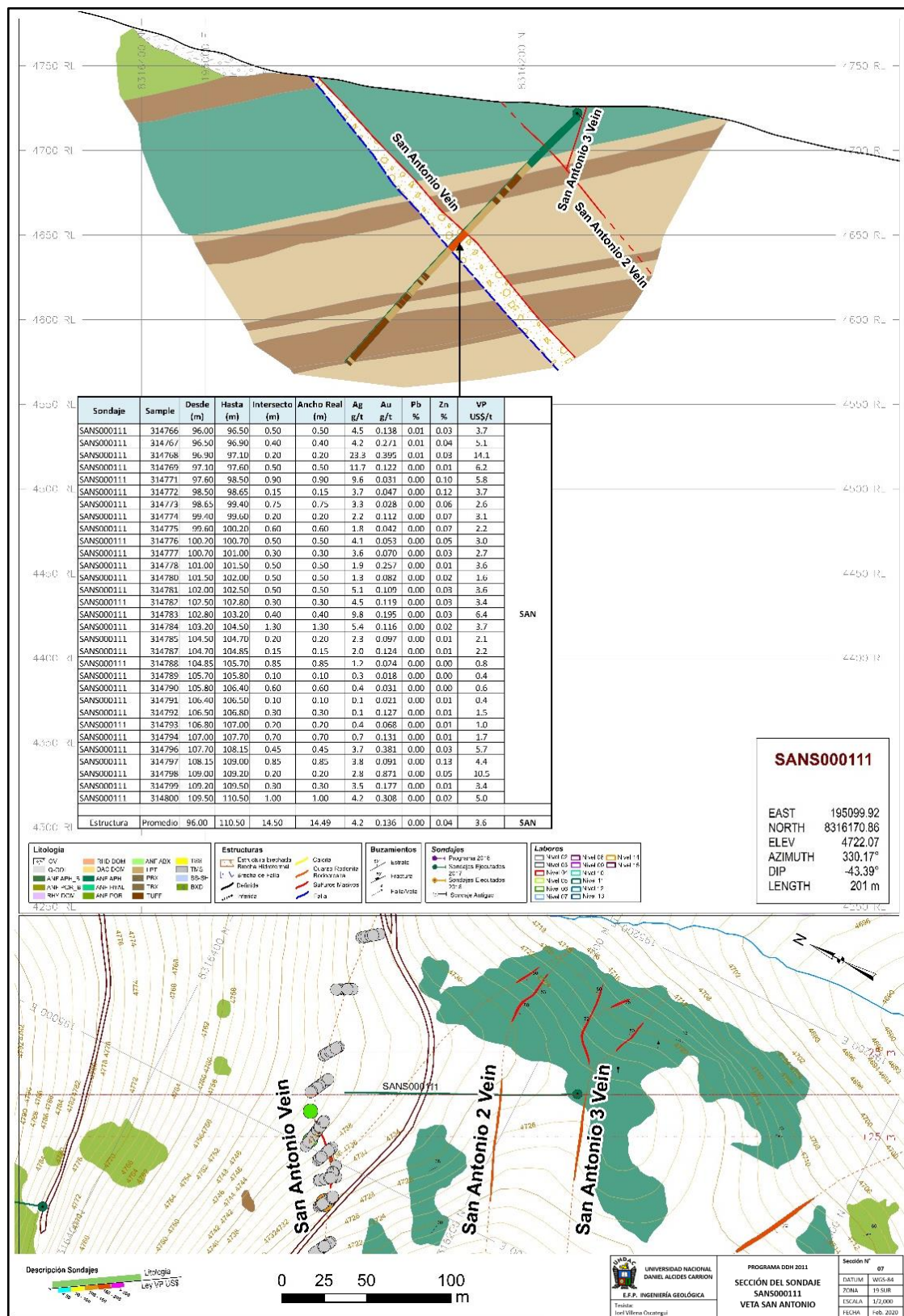
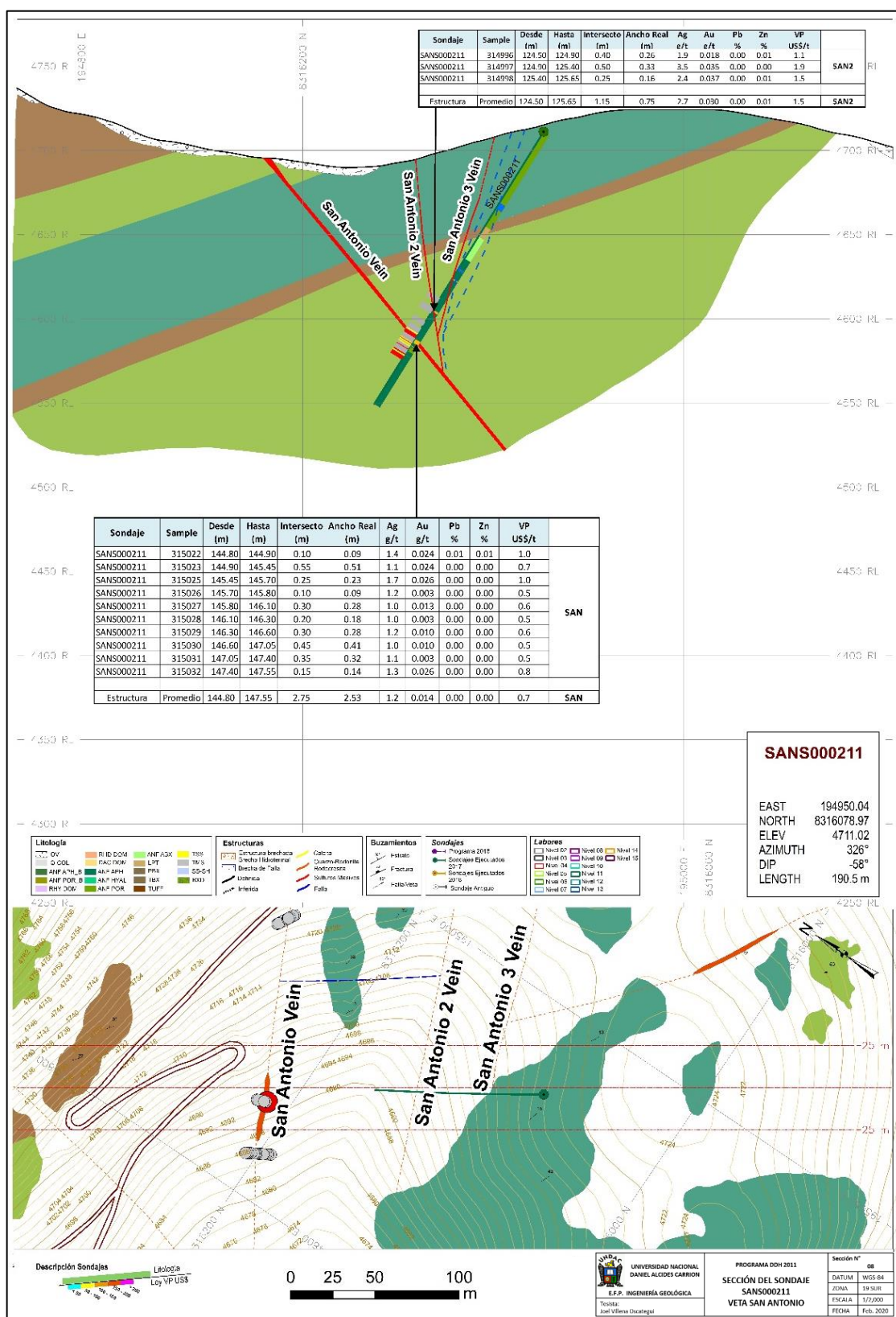


Figura 20: Sección del sondaje SANS000211 – Veta San Antonio.



4.2. Presentación, Análisis e Interpretación de Resultados

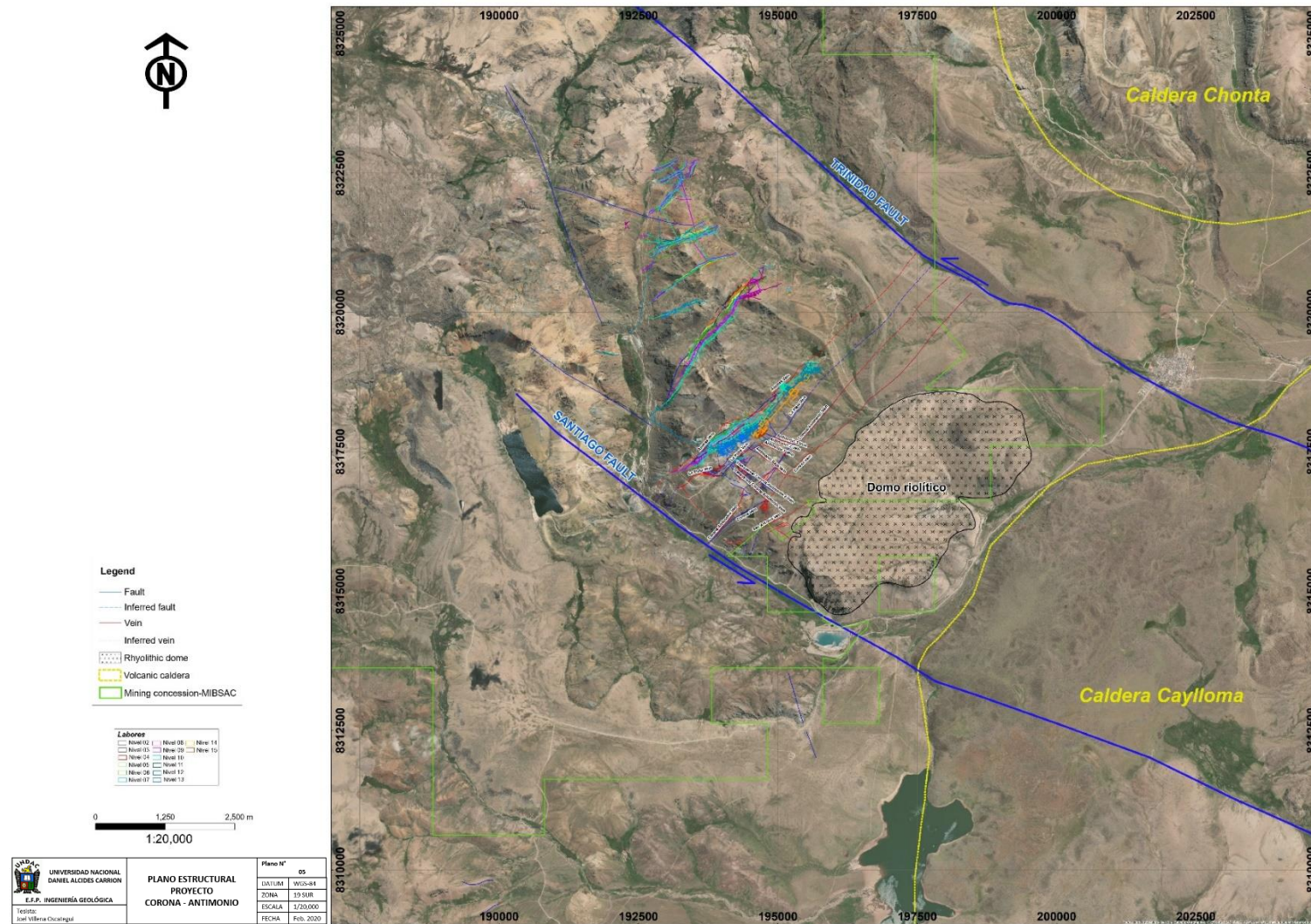
4.2.1. Análisis de las Vetas Mineralizadas con el Modelo Estructural de Riedels

El área de estudio es una zona de cizalla que está controlado por dos fallas mayores paralelas; fallas Santiago y Trinidad de rumbo NW-SE, las cuales tienen un movimiento sinistral, dentro de este sistema cizallante se encuentran estructuras compatibles al esfuerzo (σ_1 , σ_2 y σ_3) que generan las fallas inversas, normales y sinestrales, lo cierto es que la mayoría de las fallas tiene desplazamientos oblicuos, así las fallas resultan siendo normal-sinistral o todas las otras combinaciones. (Fig. 21)

Los esfuerzos actuantes presente para la formación de las estructuras en la zona de cizalla vienen representados por los esfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), mediante antecedentes tectónicos, se reconocen 3 esfuerzos, 2 horizontales y 1 vertical: esfuerzo σ_1 (principal) con dirección NE-SW, esfuerzo σ_3 con dirección NW-SE y esfuerzo σ_2 representada verticalmente. (Fig. 22)

Según el modelo de Riedel (1929), mientras en la zona de cizalla va actuando esfuerzos compresivos, en el **estadio 1** aparecen familias de fallas o fracturas tensionales tipo R, riedels o sintéticas con ángulos menores a 30° con respecto a las fallas mayores, las cuales están representadas por la Veta Transversal Corona Antimonio 2, Veta Antimonio Bajo, Veta antimonio 1, Veta Antimonio 2 y Veta Antimonio 3, con dirección NW-SE, que inclinan hacia el SW con ángulos de 60° y 75° que a su vez por los mismos esfuerzos compresivos estas estructuras forman fallas inversas - sinestrales, a continuación en el **estadio 2** aparecen

Figura 21: Plano Estructural Local – Proyecto Corona-Antimonio.



familias de fallas o fracturas de extensión tipo R', antiriedels o antitéticas, con ángulos mayores a 70° con respecto a las fallas mayores, las cuales están representadas por la Veta La Plata, Veta Corona-Antimonio, Veta Corona y Veta San Antonio, con dirección NE-SW, que inclinan hacia el SE con ángulos entre 50° y 75° los cuales son producidos por esfuerzos extensionales y por consiguiente forman fallas normales - dextrales; mientras continúan los esfuerzos compresionales, en el **estadio 3** aparecen las tensionales tipo T que forman 45° en promedio con las fallas mayores, las cuales están representadas por la Veta Corona 3, Veta Corona 4 y Veta Corona 5 que se originan a partir de la Veta Corona y como **estadio final** se forman fallas tipo P con el mismo movimiento que las fallas mayores y de igual disposición simétrica a las fallas o fracturas tipo R o riedel y con ángulos menores a 30°, la cual está representada principalmente por la Falla La Plata que es una falla inversa sinistral. (**Fig. 21, Fig. 22, Fig 23, Fig. 24, Fig. 25, Fig. 26, Fig. 27 y Fig. 28**)

La cinemática estructural corrobora que las vetas principales de dirección NE-SW (Vetas La Plata, Corona-Antimonio, Corona y San Antonio) se formaron durante un evento de extensión como lo evidencia los grandes espesores de vetas, las texturas bandeadas y crustiformes los cuales han tenido espacio para desarrollarse de tal manera, que a la vez mineralizaron por influencia de la caldera Chonta (11.5 Ma) con dirección de flujo del NE hacia el SW. Las vetas de dirección NW-SE (Vetas Antimonio 1, Antimonio 2, Antimonio 3, Antimonio Bajo, Transversal Corona-Antimonio y Transversal Corona-Antimonio 2), se formaron durante un evento de tensión lo que corrobora el reducido espesor de las vetas, las texturas masivas y en ocasiones bandeadas, que a la vez mineralizaron por influencia de la caldera Caylloma (2.4 Ma) con dirección de flujo SE hacia el NW.

La intrusión del domo riolítico trajo consigo la generación de nuevos esfuerzos compresionales en dirección NW-SE misma que en algún momento fue extensional afectando a las fallas normales tipo R' o antiriedels con una reactivación de las mismas, resultando en fallas inversas las cuales por salto de falla menor a las que en un inicio fueron las normales, en campo se sigue visualizando fallas normales, con excepción de la Veta San Antonio que ahora es falla inversa. (Fig. 21, Fig. 23, Fig. 24, Fig. 25, Fig. 26, Fig. 27 y Fig. 28)

Figura 22: Modelo Esquemático Estructural – Proyecto Corona-Antimonio

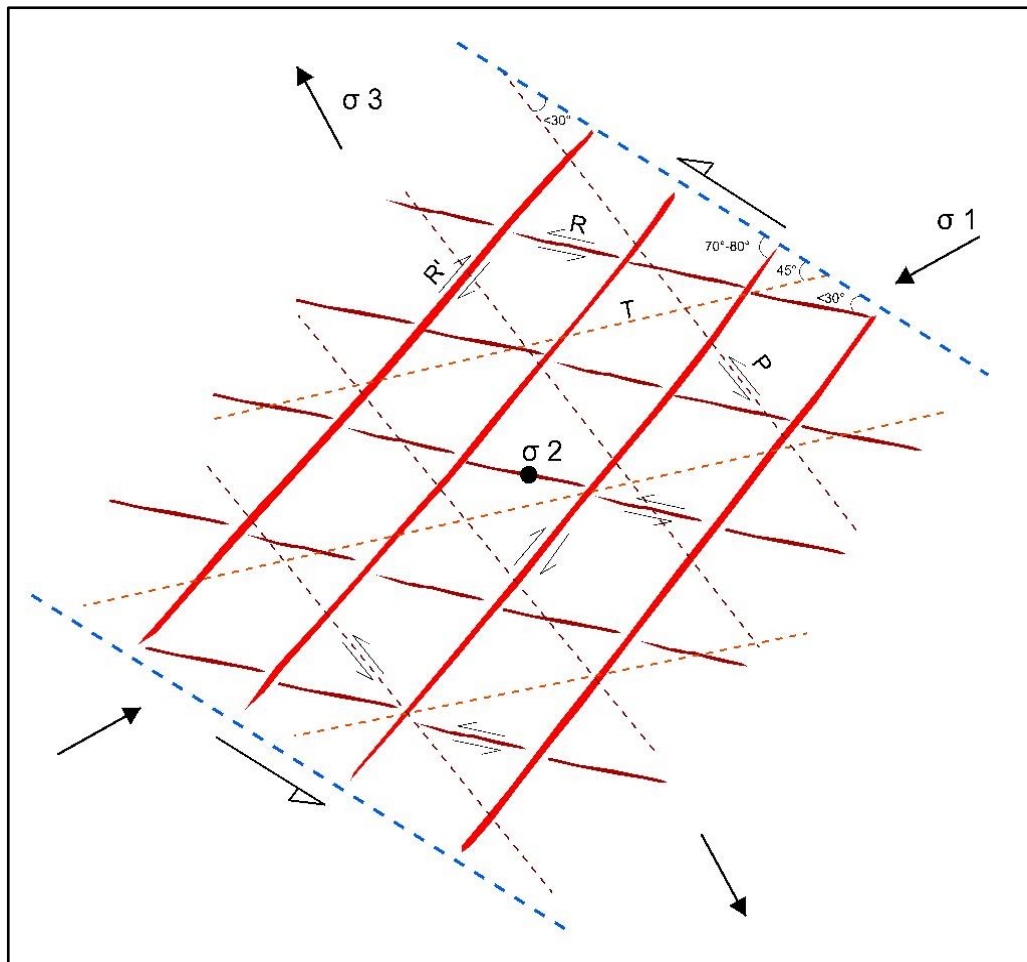


Figura 23: Plano de ejes de Seccion – Proyecto Corona-Antimonio

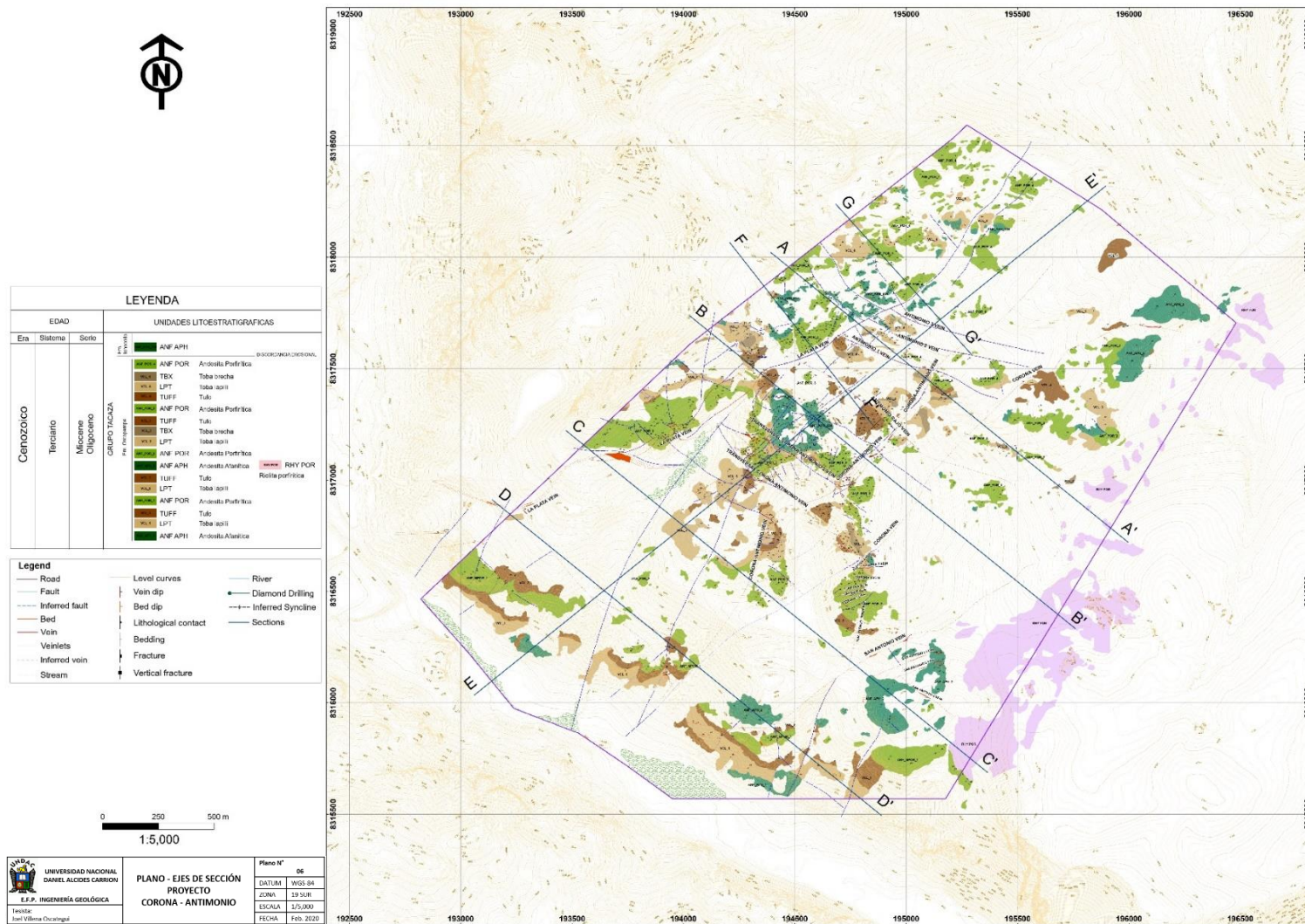


Figura 24: Sección Geológica A - A' – Proyecto Corona-Antimonio.

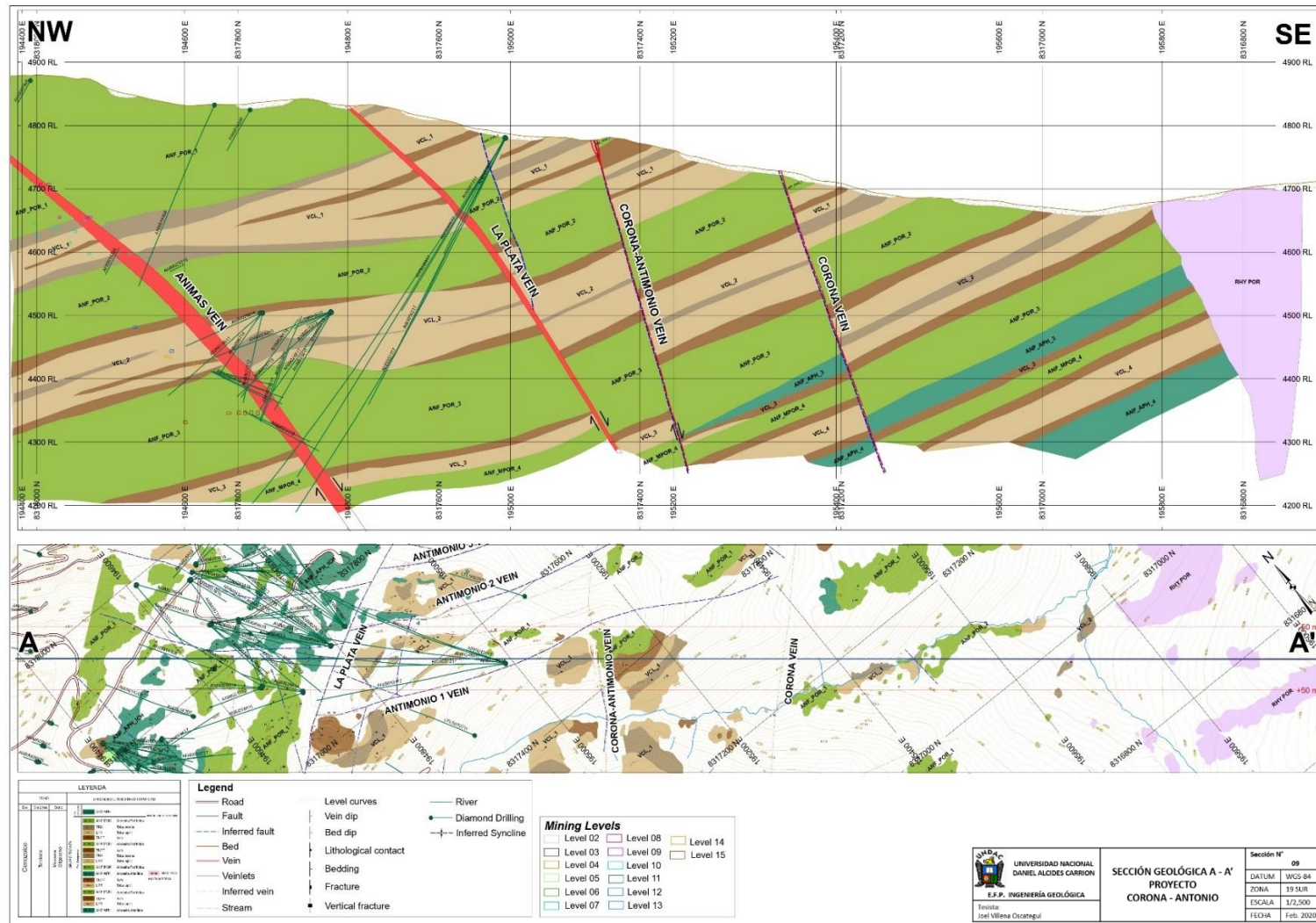


Figura 25: Sección Geológica B - B' – Proyecto Corona-Antimonio.



Figura 26: Sección Geológica C - C' – Proyecto Corona-Antimonio.



Figura 27: Sección Geológica D - D' – Proyecto Corona-Antimonio.

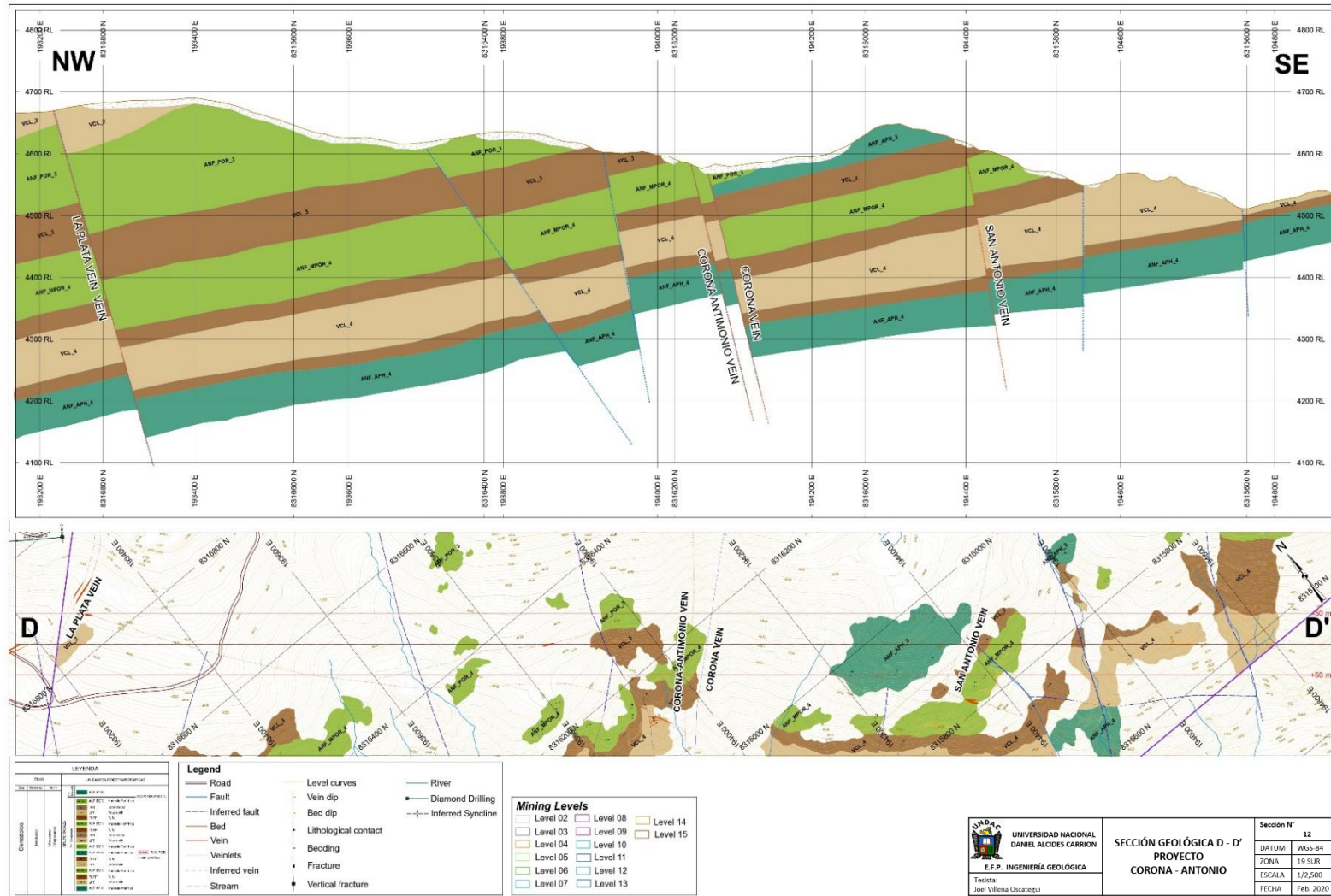
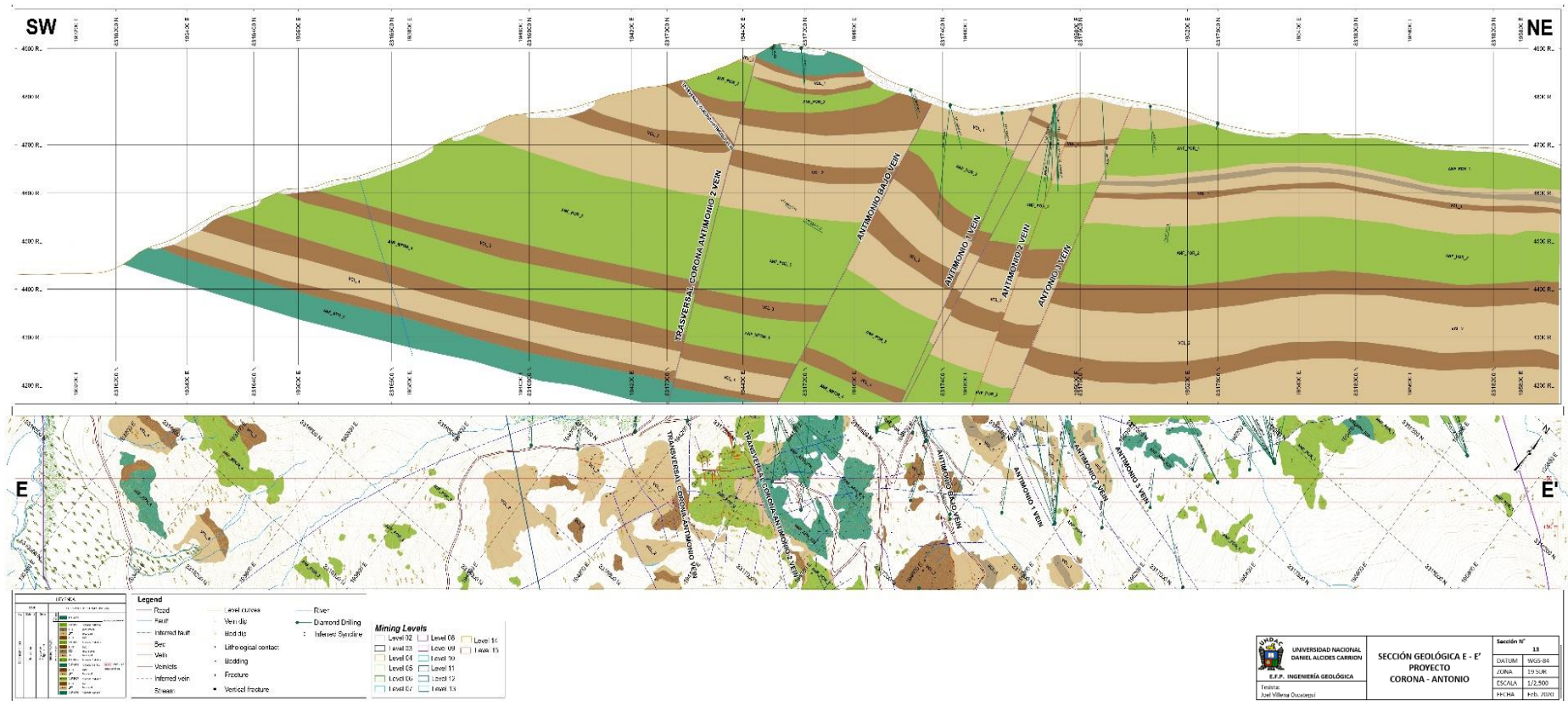


Figura 28: Sección Geológica E - E' – Proyecto Corona-Antimonio.



4.2.1.1. Análisis de diagrama estructural

Se tomaron una población total de 749 mediciones estructurales tomadas en toda el área del proyecto.

a) Fracturas

El diagrama de roseta, muestra una dominante familia de fracturas con azimut N 40°-80°, seguido de otros dominios menores de familia de fracturas con azimut N100°-150° (**Fig. 29**). Y en el diagrama de contornos de densidad de polos, indican dirección de buzamientos sub-verticales en su mayoría hacia el NW-SE. (**Fig. 30**)

Figura 29: Diagrama de Rosetas – Familia de fracturas.

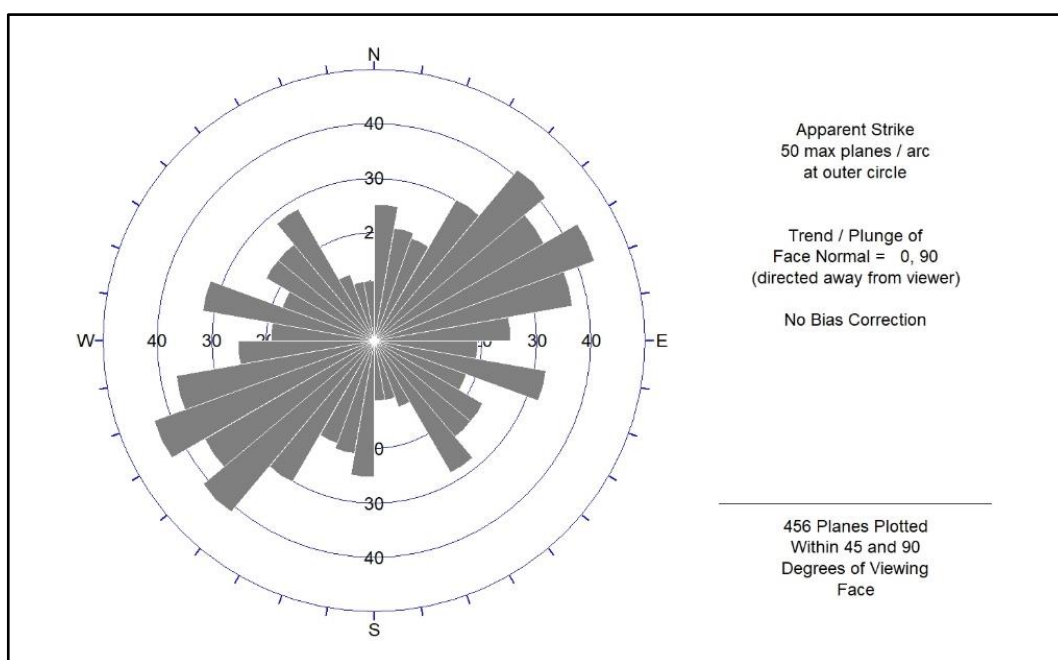
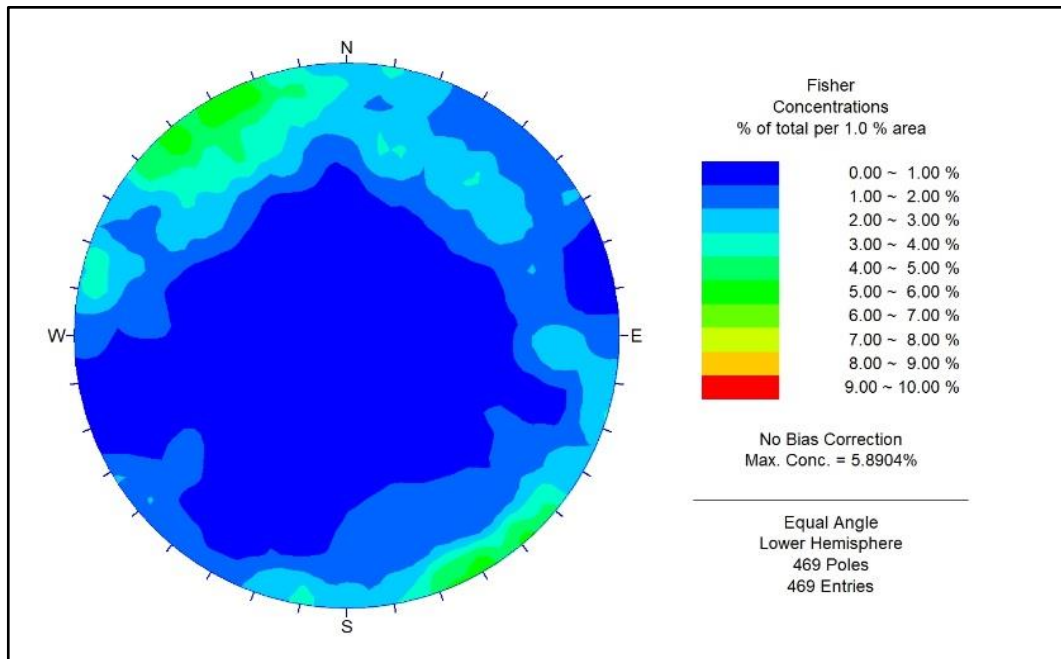


Figura 30: Contornos de densidad de polos – Familia de fracturas.



b) Vetos-Fallas

El diagrama de roseta, muestra un dominio estructural de vetas-fallas con azimuth N120°-140°, seguido de otros dominios estructurales menores de vetas-fallas con azimuth N60°-90° (**Fig. 31**). Y en el diagrama de contornos de densidad de polos, indican dirección de buzamientos sub-verticales en su mayoría y bajo ángulo hacia el NW-SE y otros menores al NE. (**Fig. 32**)

Figura 31: Diagrama de rosetas – Vetas y Fallas.

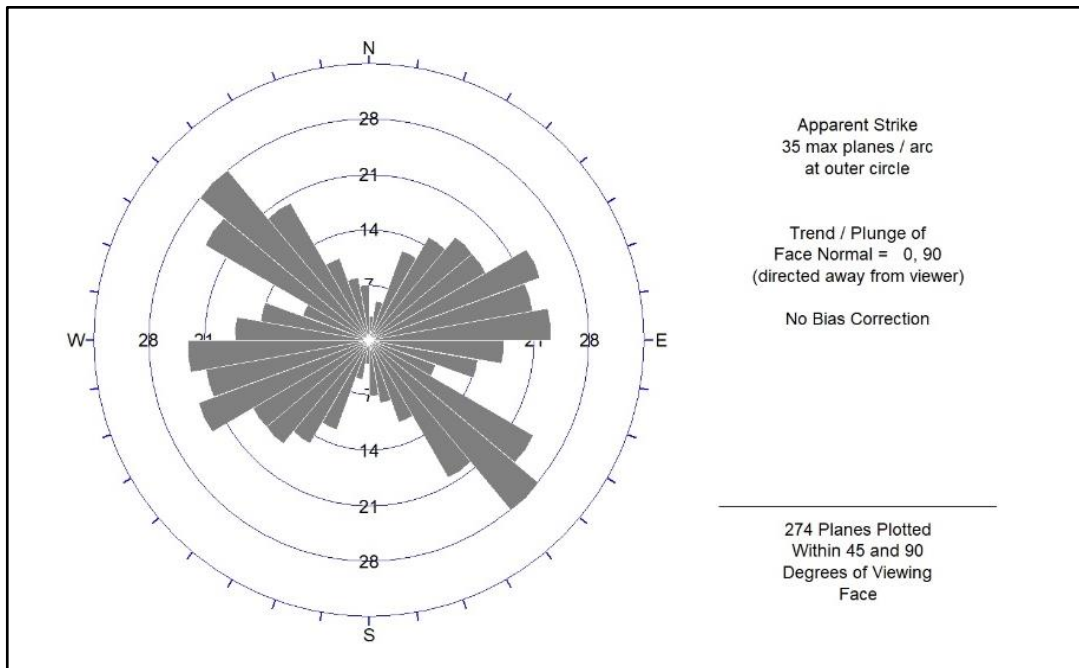
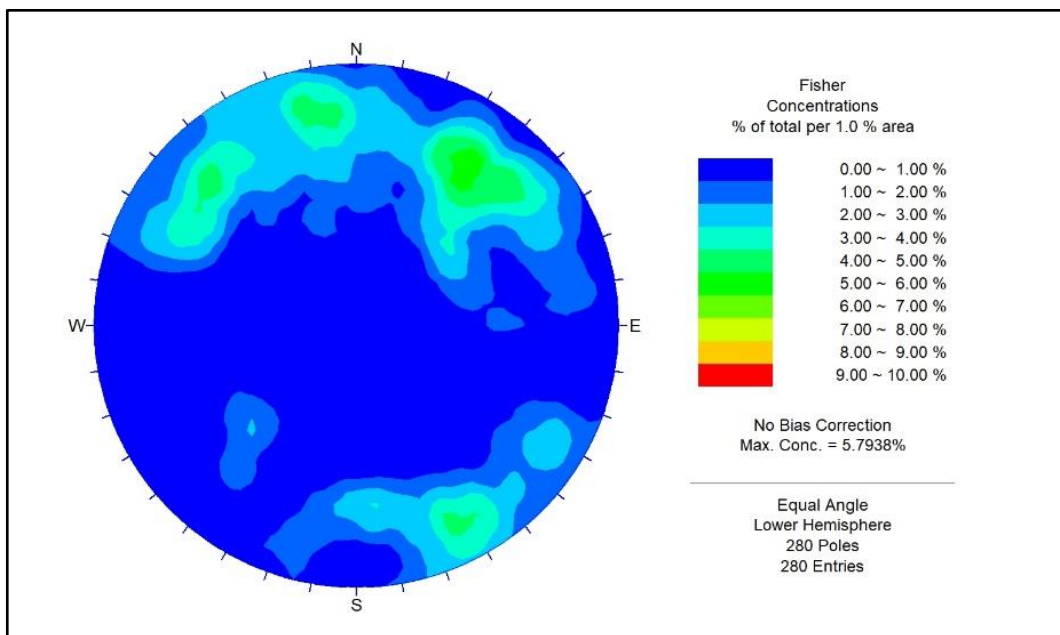


Figura 32: Contornos de densidad de polos – Vetas y Fallas.



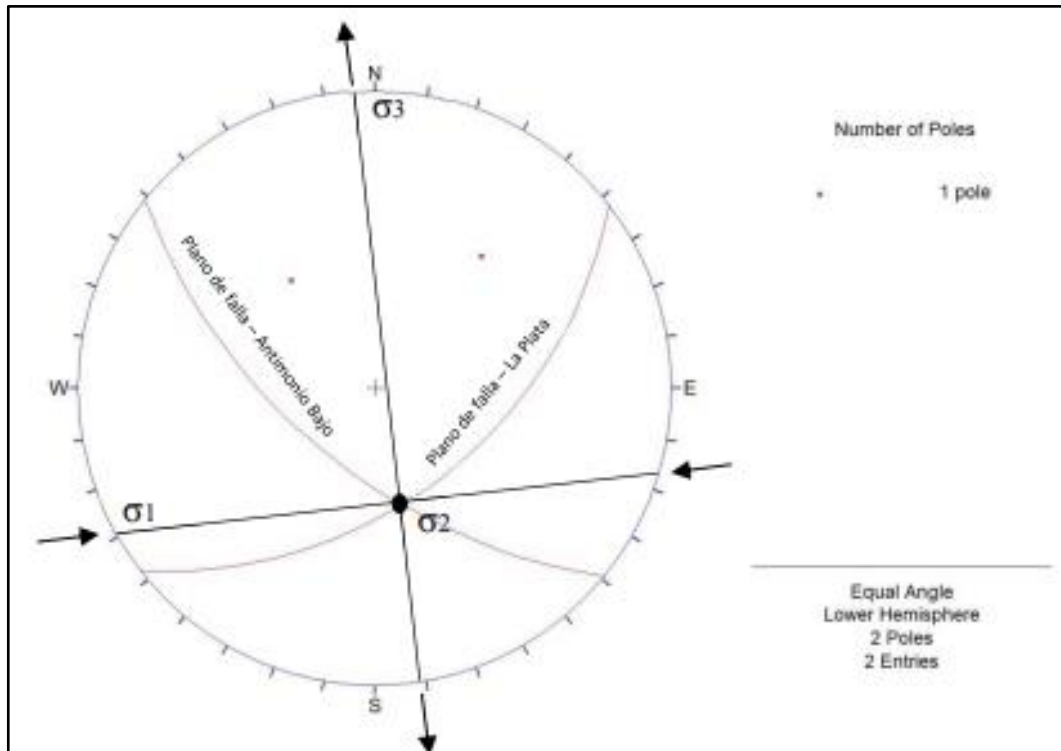
4.2.1.2. Determinación de esfuerzos de deformación

Para la interpretación de la dirección de los principales esfuerzos de deformación, se considerará dos fallas conjugadas (fallas que se originan entre dos sistemas principales) representativos como son; Veta La Plata (R') y Antimonio Bajo (R), las cuales representan la respuesta mostrada por la roca a las tensiones aplicadas.

Las fallas conjugadas son fallas ampliamente contemporáneas que se formaron bajo condiciones de deformación similares. Tales fallas se disponen de forma simétrica respecto a los ejes principales de las tensiones aplicadas. La intersección de los dos círculos máximos de las fallas, representa la dirección del esfuerzo intermedio (Esfuerzo 2 - σ_2) en este caso vertical a la superficie. Por definición los tres ejes de deformación son mutuamente perpendiculares. Los ejes de esfuerzos de deformación σ_1 y σ_3 , se localizan dentro del círculo máximo como bisectrices de los ángulos obtusos y agudos que se forman entre las intersecciones de los planos de falla, la designación de cada eje como σ_1 ó σ_3 viene dada por el tipo de falla que se presenta, para fallas normales el esfuerzo de deformación está representado por σ_3 al ser extensional y para fallas inversas el esfuerzo de deformación está representado por σ_1 al ser compresionales. **(Fig. 33)** Por lo tanto, la dirección de esfuerzos de deformación está representada de la siguiente manera:

- Esfuerzos compresionales con azimuth NE-SW (Esfuerzo 1 - σ_1).
- Esfuerzos gravitacionales vertical a la superficie (Esfuerzo 2 - σ_2).
- Esfuerzos extensionales con azimuth NW-SE (Esfuerzo 3 - σ_3).

Figura 33: Determinación de Esfuerzos (σ_1 , σ_2 , σ_3).



4.2.2. Interpretación de Resultados

Litológicamente el área de estudio está representado por cuatro horizontes estratificados de la formación Orcopampa (Miembro A), compuesta por andesita porfirítica de tonalidad violácea y verdosa con fenocristales bien desarrollados y micro-porfiríticos, tufos de grano fino a medio, tobas de brecha con bloques polimícticos subredondeados y matriz tufácea, tobas de lapilli de clastos polimícticos y monomícticos (andesíticos) con matriz andesítico y tufáceo y andesita afanítica ferruginosa, suprayaciendo a todas las descritas y en discordancia aparecen las andesitas afaníticas ferruginosas sin estratificación definida de la formación Ichicollo.

Estructuralmente todas estas secuencias litológicas se encuentran en una zona de cizalla limitado por dos fallas regionales, al NE por la falla Trinidad y hacia el SW la falla Santiago ambos con dirección NW-SE, y actúan de forma

sinestral; lo que da a lugar una interpretación del modelo de Riedel (1929), que define el origen de las estructuras contenidas dentro de la zona de cizalla por la actuación constante de esfuerzos compresivos las cuales hacen que se formen estructuras de primer, segundo, tercer y cuarto orden representados por fallas tipo riedels, antiriedels, tipo T y tipo P respectivamente, y son en estas estructuras donde se emplazaron la mineralización, provenientes de la caldera Chonta y caldera Caylloma. **(Fig. 21 y Fig. 22)**

Las estructuras de mayor valor económico son las antiriedels o extensionales con dirección NE-SW, que inclinan hacia el SE con ángulos entre 50° y 75°, de movimiento normal – dextral como son las vetas La Plata, Corona-Antimonio, Corona, San Antonio y Animas, que mineralizaron por influencia de la caldera Chonta con dirección de flujo del NE hacia el SW. Las estructuras riedels o tensionales con dirección NW-SE, que inclinan hacia el SW con ángulos de 60° y 75°, de movimiento inversa – sinestral como son las vetas Transversal Corona-Antimonio, Transversal Corona-Antimonio 2, Antimonio bajo, Antimonio 1, Antimonio 2 y Antimonio 3, que mineralizaron por influencia de la caldera Caylloma con dirección de flujo SE hacia el NW.

La cinemática de formación de estructuras hace corroborar que las vetas principales de dirección NE-SW (La Plata, Corona-Antimonio, Corona, San Antonio y Animas), se formaron durante un evento de extensión como lo evidencia los grandes espesores de vetas, las texturas bandeadas y crustiformes los cuales han tenido espacio para desarrollarse de tal manera. Las vetas de dirección NWSE (Transversal Corona-Antimonio, Transversal Corona-Antimonio 2, Antimonio bajo, Antimonio 1, Antimonio 2 y Antimonio 3) se formaron durante un evento de

compresión lo que corrobora el reducido espesor de las vetas, las texturas masivas y en ocasiones bandeadas.

La mineralización existente en el Proyecto es de origen hidrotermal de tipo epitermal de intermedia sulfuración compuesta de cuarzo, calcita, rodonita, pirita y estibina como minerales ganga y como minerales económicos asociados a galena, esfalerita y calcopirita en trazas; las vetas extensionales de dirección NESW con mejor espesor y valor económico fueron mineralizados por influencia de los fluidos de la caldera Chonta y para vetas tensionales de dirección NW-SE, la mineralización viene dada por la influencia de la caldera Caylloma. **(Fig. 21)**

El zonamiento de estadios mineralógicos en el área de estudio se va caracterizar de la siguiente manera; ensambles mineralógicos de menas y gangas, estilo de mineralización de mena y textura de ganga. La secuencia de los estadios mineralógicos (Dominios) se realizó en base a información del mapeo en superficie y sondajes diamantinos tanto de Veta Ánimas, Veta La plata y Veta Corona-Antimonio, las cuales representan el mismo sistema y por lo tanto de alguna manera los mismos estadios de mineralización.

En el **primer estadio (Dominio 1)** encontramos carbonatos (calcita) de textura masiva y cristalizada, asociada a óxidos de manganeso y sulfuros de Sb/As; en el **segundo estadio (Dominio 2A)** encontramos carbonatos (calcita>rodocrosita) y cuarzo de textura lattice o de reemplazamiento y granular, asociado a poca presencia de rodonita y sulfuros de Sb/As cristalizada; en el **tercer estadio (Dominio 2B)** se tiene la presencia de carbonatos (rodocrosita>calcita) y cuarzo en la misma proporción, asociado a rodonita débil a moderada, de textura lattice y granular, con venillas y disseminación de sulfuros de Zn>> y Pb>, con

fuerte sulfosales de Ag; en el **cuarto estadio (Dominio 3)** se evidencia la mineralización masiva, en bandas, diseminados y venillas de sulfuros de Zn>>>, Pb>>> y en menor proporción a los sulfosales de Ag, los minerales de ganga como cuarzo y carbonatos poseen la misma proporción con texturas granular y lattice; el **quinto estadio (Dominio 4A)** se presenta en mayor proporción el cuarzo con respecto al carbonato (rodocrosita>calcita), asociado a rodonita débil a moderado, de textura granular y sub-cristalizado, con venillas y diseminación de sulfuros de Pb>> y Zn>.

Con respecto al **sexto estadio (Dominio 4B)** contiene cuarzo>>>, rodonita>> y carbonatos (rodocrosita>) de textura cristalizado, crustiforme, coloforme con venillas marginales de sulfuros de Pb>Zn y Cu débil; por último, el **séptimo estadio (Dominio 5)** la cual está caracterizada por cuarzo de textura cristalizada, crustiforme, asociada a pirita cristalizada, sulfuros de Cu y clorita diseminada débil. Estos últimos **estadios (Dominio 4B y 5)** actualmente no tiene representación en el distrito minero de Caylloma, pero se tiene modelos actuales de epitermales de intermedia sulfuración donde en profundidad está representado por minerales económicos y ganga. **(Tabla 1)**

En la Veta La Plata hacia el SW presenta calcita cristalizada con oxidación pervasiva de óxido de manganeso y óxidos de hierro, con venillas ínfimas de cuarzo hialino cristalizado, esto dado por un segundo pulso mineralizante en la cota 4780 m.s.n.m. lo que representa al **primer estadio (Dominio 1)**; en la parte central de la estructura mineralizada en superficie presenta cuarzo hialino – blanco intercalado con venillas ínfimas de calcita, de textura lattice o de reemplazamiento en la cota 4830 m.s.n.m. lo que nos ubica en el **segundo estadio (Dominio 2A)**; y hacia el

NE presenta calcita cristalizada con venillas ínfimas de óxido de manganeso lo cual nos ubica en el **primer estadio (Dominio 1)**. Con la información de sondajes diamantinos antiguos hacia el SW, el sondaje más profundo LPLS002206 intercepto a la Veta La Plata en la cota 4500 m.s.n.m. con las siguientes características; veta formada por vetillas y venillas de cuarzo hialino – blanco de textura lattice reemplazando a calcitas preexistentes, con leyes medias de Ag>> y Au>, perteneciente al **segundo estadio (Dominio 2A)**.

En la parte central el sondaje LPLS002011 intercepto a la Veta La Plata en la cota 4660 m.s.n.m. con las siguientes características; veta de cuarzo>>, calcita>, rodocrosita> y rodonita> de textura lattice donde el cuarzo viene reemplazando a la calcita, con disseminación de galena> y sulfosales de plata, presentado leyes considerables de Ag>>> y Au>> perteneciente al **segundo estadio (Dominio 2A)**, en la misma zona central el sondaje LPLS002611 intercepto a la Veta La Plata en la cota 4570 m.s.n.m. con las siguientes características; veta de calcita>>>, cuarzo> y rodonita> de textura lattice donde el cuarzo viene reemplazando a la calcita, con venillas y disseminación esporádica de pirita>> y galena>, sin leyes considerables perteneciente al **segundo estadio (Dominio 2A)** posiblemente ubicado en la transición al **tercer estadio (Dominio 2B)**.

Hacia el NE, el sondaje más profundo LPLS003411 intercepto Veta La Plata en la cota 4540 m.s.n.m. con las siguientes características; veta de calcita>> y cuarzo>> de textura lattice (de reemplazamiento), con venillas de esfalerita>>, galena>> y pirita>, con leyes medias de Zn> y Ag>, perteneciente al **tercer estadio (Dominio 2B)**. (Tabla 1, Fig. 34 y Fig. 35)

Tabla 1: Modelo del Zonamiento Mineralógico – Proyecto Corona-Antimonio

VETA						VETA	CAJA	
NIVEL VETA	DOMINIO EN VETA	ENSAMBLE EN LA VETA POR EVENTO MINERALIZANTE	ESTILO MINERAL MENA	TEXTURA GANGA	Elementos	NIVEL VETA	ALTERACIONES HIDROTHERMALES	
							ARGILICA	PROPILITICA
ALTO	1	Carbonatos (calcita)-Oxs Mn±sulfuros de Sb/As	Diseminado (anómalo)	Masiva, carbonate bladed (lamelar).	Sb, As - Au, Ag, Mn	ALTO	Haloisita-caolinita± esmectita-carbonatos - vermiculita++	Clorita-carbonatos - pirita
ZONA MINERALIZADA	2A	Carbonatos (rodocrosita)>cuarzo+sulfuros de Sb/As	Venillas (marginal)	Lattice bladed, moss, granular.	Sb, As - Ag, Au, Mn	ZONA MINERALIZADA	Caolinita-dickita-cuarzo-carbonatos± illita - vermiculita+++ dickita++	Clorita-cuarzo-carbonatos.
	2B	Carbonatos (rodocrosita)-cuarzo-sulfuros/Sulfosales Plata>>>	Venillas+diseminado (económico)	Lattice, granular.	Zn, Pb, Ag, Au			
	3	Mineralización masiva de sulfuros/Sulfosales de Plata>	Bandas+venillas+diseminado (alta ley)	Granular, lattice.	Zn, Pb, Ag			
	4A	Cuarzo>carbonatos (rodocrosita)±rodonita??-sulfuros	Venillas+diseminado (económico)	Cuarzo granular a sub-cristalizado.	Pb, Zn			
	4B	Cuarzo>carbonatos (rodocrosita)-rodonita??	Venillas (marginal)	Cuarzo cristalizado, crustiforme, comb, cocada.	Pb, Zn, Cu			
INFERIOR	5	Cuarzo-pirita-sulfuros cobre±clorita	Venillas (marginal)	Cuarzo cristalizado crustiforme, brechada.	Cu, Pb, Zn	INFERIOR	Pirofilita-dickita+++ - caolinita-cuarzo.	Epidota-albita-cuarzo-clorita-carbonatos.

Los Dominios 4B* y 5** actualmente no tienen representación en el distrito minero de Caylloma; sin embargo, actuales modelos de epitermales de intermedia sulfuración en profundidad están representados por estos dominios.

Figura 34: Sección Transversal F - F' – Estadios Mineralógicos – Proyecto Corona-Antimonio

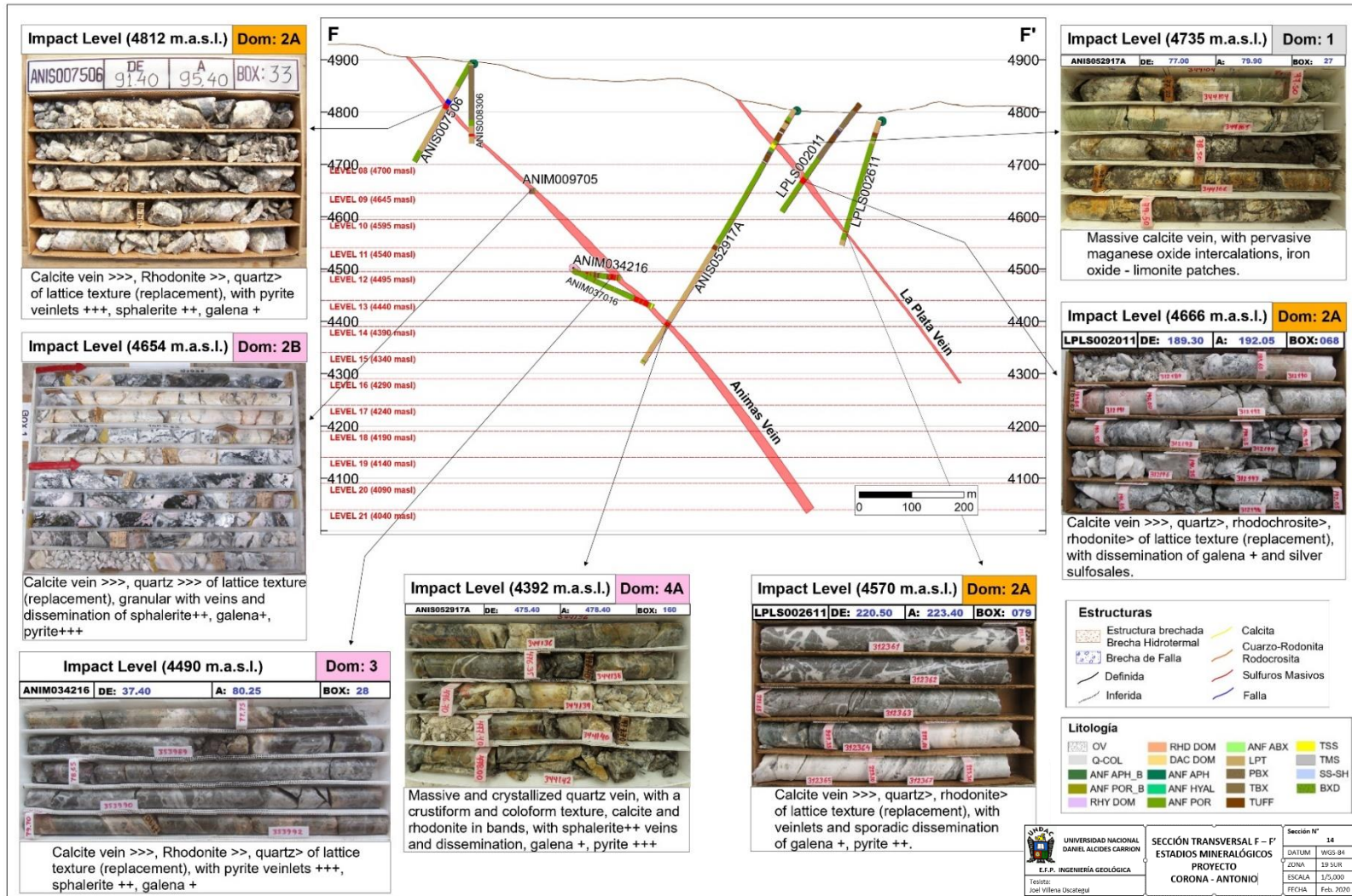
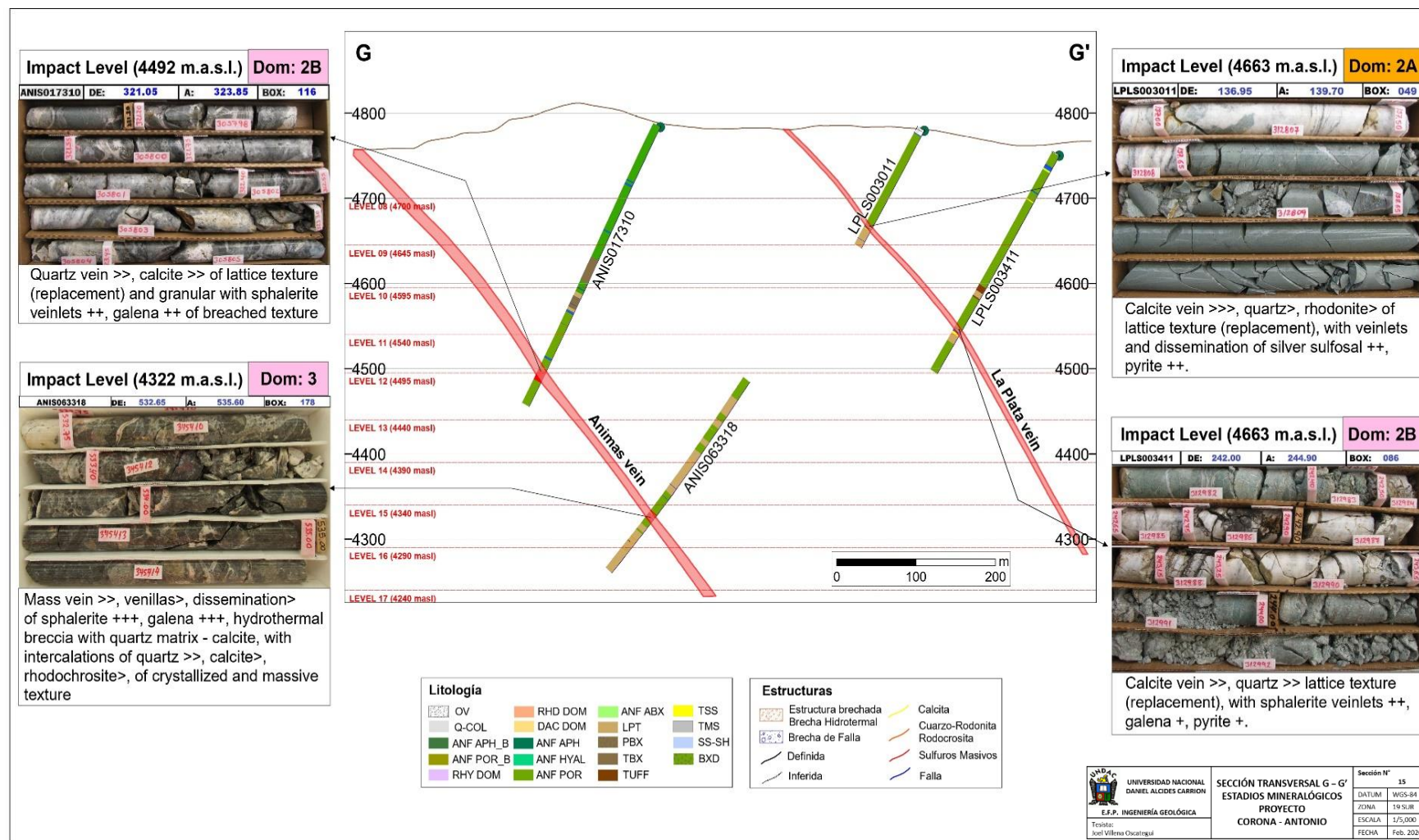


Figura 35: Sección Transversal G - G' – Estadios Mineralógicos – Proyecto Corona-Antimonio.



4.3. Prueba de Hipótesis.

Sobre la Hipótesis *“Las características geológicas influyen en el análisis de las vetas mineralizadas del Proyecto Corona – Antimonio”* SI existe una relación directa y significativa entre las características para el análisis e interpretación de las vetas mineralizadas, pues determinan geológicamente el tipo de roca; en este caso andesitas, tufos y tobas de lapilli, para que suceda la deformación frágil, así mismo también los estadios mineralógicos la cual tiene una amplia relación el el tipo de roca siendo estos muy buenos metalotectos para el emplazamiento de la mineralización.

Sobre la hipótesis *“Las características estructurales determinan el análisis de las vetas mineralizadas del proyecto Corona – Antimonio”* SI existe una relación directa y significativa, esto debido a que las características estructurales ya sean geométricas o cinemáticas determinan el análisis de las estructuras mineralizadas, pues con el estudio e interpretación de los planos o mapeos estructurales, así como la corroboración del modelo experimental de Riedel se analizó y verifíco el cumplimiento estricto de la formación de las fallas las cuales posteriormente fueron mineralizadas, en el caso del análisis cinemático de fallas mediante péquelas estructuras llamadas tectoglífos determinaron el sentido de movimiento de las fallas, las cuales también fueron muy relevantes para comprobar que el modelo estructural de Riedel tiene mucha relación con el distrito minero.

4.4. Discusión de Resultados.

- A partir de los hallazgos encontrados, se acepta la hipótesis General que establece que *“El Modelo Estructural de Riedels influye en el análisis de vetas mineralizadas del proyecto Corona – Antimonio”*.

Estos resultados guardan relación con lo que sostienen: W. Riedel y H. Cloos (1929 – 1928) al determinar dos tipos de fallas conjugadas R y R', Cloos (1995) y Wilcox (1973) al determinar las Fracturas tensionales (T), Skempton (1966) y al establecer las fracturas tipo (P). Cada una de estas estructuras mencionadas son acorde con lo que en este estudio se halla.

- Según el experimento de W. Riedel y H. Cloos (1929 – 1928) sostiene sobre una torta de arcilla de comportamiento dúctil.

No concuerda con la litología del área de estudio ya que es en una zona netamente volcánica (andesita, tobas), pero de igual forma el material volcánico es de comportamiento frágil – dúctil, es ahí donde guarda relación al momento de la cinemática de fallas.

- Sobre la hipótesis específica que establece que “Las características estructurales determinan el análisis de las vetas mineralizadas del proyecto Corona – Antimonio”.

Los resultados guardan relación con lo que sostiene; J. Quispe (2006), las fallas son muy importantes, debido a que influyen en la deposición de menas y geometría de un yacimiento (si estas se encuentren activas durante la circulación de fluidos mineralizantes) o cambian la geometría inicial del yacimiento (si son posteriores al evento mineralizante).

- El modelo estructural propuesto en el Sistema Estructural Ancash, en el cual sus bordes o lineamientos extremos se distribuyen en el sector occidental por el Sistema de Falla Huaraz – Recuay y en el sector oriental por el Sistema de Fallas de la Cordillera Blanca. (Villarreal & Rivera, 2007). Dicho sistema estructural

de cinemática sinistral ha dado origen a fallas y fracturas Riedel conjugadas R1 y R2). En la intersección de las dos fracturas de Riedel R1 (NW-SE) y R2 (SW-NE) se ha desarrollado la mayor mineralización debido a que se encuentra altamente fracturado, donde se ubica el yacimiento epitermal HS Pierina. (Y. Caycho, 2019).

No guarda relación dado que a diferencia del yacimiento epitermal HS Pierina, en el proyecto Corona - Antimonio el sistema de fallas tipo R o Riedels la mineralización está influenciada por la caldera Caylloma, mientras que el sistema de fallas tipo R' o antiriedels la mineralización esta influenciada por la caldera Chonta, que cronológicamente ambas calderas son de diferentes edades.

CONCLUSIONES

1. Litológicamente compuesta por secuencias pseudo-estratificadas y alternadas de andesitas porfiríticas y afaníticas, tobas de lapilli, tobas de brecha y tufos de grano fino a medio pertenecientes a la formación Orcopampa (Miembro A) – Grupo Tacaza que fueron intruidos por un domo riolítico pleistocénico del grupo Barroso al Sureste del área de estudio y que está emplazado en la parte lateral de la caldera Caylloma.
2. El área de estudio es una zona de cizalla que está controlado por dos fallas mayores paralelas; fallas Santiago y Trinidad de rumbo NW, las cuales tienen un movimiento sinistral, dentro de este sistema cizallante se encuentran estructuras compatibles al esfuerzo (σ_1 , σ_2 y σ_3) que generan las fallas inversas, normales y sinestrales, lo cierto es que la mayoría de las fallas tiene desplazamientos oblicuos, así las fallas resultan siendo normal-sinistral o todas las otras combinaciones.
3. La mineralización existente en el Proyecto es de origen hidrotermal de tipo epitermal de intermedia sulfuración compuesta de cuarzo, calcita, rodonita, pirita y estibina como minerales ganga y como minerales económicos asociados a galena, esfalerita y calcopirita en trazas; con evidencia de mineralización en vetas y sistema de vetilleos de rumbo predominante al Noreste-Suroeste (NE-SW) y otras vetas y sistema de vetilleos al Noroeste-Sureste (NW-SE), muy marcados en el área de interés.
4. Las estructuras de mayor valor económico son las antiriedels o extensionales con dirección NE-SW, que inclinan hacia el SE con ángulos entre 50° y 75°, de movimiento normal – dextral como son las Vetas La Plata, Corona-Antimonio,

Corona, San Antonio y Animas, que mineralizaron por influencia de la caldera Chonta con dirección de flujo del NE hacia el SW.

5. Las estructuras Riedels o tensionales con dirección NW-SE, que inclinan hacia el SW con ángulos de 60° y 75°, de movimiento inversa – sinistral como son las Vetas Transversal Corona-Antimonio, Transversal Corona-Antimonio 2, Antimonio bajo, Antimonio 1, Antimonio 2 y Antimonio 3, que mineralizaron por influencia de la caldera Caylloma con dirección de flujo SE hacia el NW.
6. La secuencia de los 5 estadios mineralógicos (Dominios 1, 2A, 2B, 3 y 4A) se realizó en base a información del mapeo en superficie y sondajes diamantinos tanto de Veta Ánimas, Veta La Plata y Veta Corona-Antimonio, las cuales representan el mismo sistema y por lo tanto de alguna manera los mismos estadios de mineralización.
7. Existen 2 estadios mineralógicos adicionales (Dominio 4B y 5), que no tiene representación en el distrito minero de Caylloma, pero se tiene modelos actuales de epitermales de intermedia sulfuración donde en profundidad está representado por minerales económicos y ganga.
8. En el primer estadio (Dominio 1) encontramos carbonatos (calcita) de textura masiva y cristalizada, asociada a óxidos de manganeso y sulfuros de Sb/As.
9. En el segundo estadio (Dominio 2A) encontramos carbonatos (calcita>rodocrosita) y cuarzo de textura lattice o de reemplazamiento y granular, asociado a poca presencia de rodonita y sulfuros de Sb/As cristalizada.
10. En el tercer estadio (Dominio 2B) se tiene la presencia de carbonatos (rodocrosita>calcita) y cuarzo en la misma proporción, asociado a rodonita débil a

moderada, de textura lattice y granular, con venillas y diseminación de sulfuros de Zn>> y Pb>, con fuerte sulfosales de Ag.

11. En el cuarto estadio (Dominio 3) se evidencia la mineralización masiva, en bandas, diseminados y venillas de sulfuros de Zn>>>, Pb>>> y en menor proporción a los sulfosales de Ag, los minerales de ganga como cuarzo y carbonatos poseen la misma proporción con texturas granular y lattice.
12. En el quinto estadio (Dominio 4A) se presenta en mayor proporción el cuarzo con respecto al carbonato (rodocrosita>calcita), asociado a rodonita débil a moderado, de textura granular y sub-cristalizado, con venillas y diseminación de sulfuros de Pb>> y Zn>.
13. En el sexto estadio (Dominio 4B) probablemente contiene cuarzo>>>, rodonita>> y carbonatos (rodocrosita>) de textura cristalizado, crustiforme, coloforme con venillas marginales de sulfuros de Pb>Zn y Cu débil.
14. Y el séptimo estadio (Dominio 5) probablemente está caracterizada por cuarzo de textura cristalizada, crustiforme, asociada a pirita cristalizada, sulfuros de Cu y clorita diseminada débil.
15. En el proyecto Corona-Antimonio se realizaron 54 sondajes exploratorios entre los años 2005 y 2013. Con objetivo a la Veta La Plata se realizaron 46 sondajes, de los cuales 23 fueron desde superficie en los años 2006 (11 sondajes), 2011 (12 sondajes) y 23 sondajes desde interior mina en los años 2005 (10 sondajes), 2006 (8 sondajes), 2011(1 sondaje), 2012(3 sondajes) y 2013(1 sondaje). Con objetivo a la Veta Corona-Antimonio se realizaron 2 sondajes en el año 2006; CANS003506 con una longitud total de 243.85 m y CANS003706 con una longitud total de 280

m. Con objetivo a la Veta Corona se realizó 1 sondeaje en el año 2011. Con objetivo a la Veta San Antimonio se realizaron 2 sondeos en el año 2011.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar dataciones radiométricas de las vetas mineralizadas por efecto de la caldera Chonta y Caylloma para correlacionar las edades, con esta evidencia ya se puede corroborar científicamente el modelo estructural de Riedel.
2. Realizar el uso de la tabla de Estadios Mineralógicos, para una buena ubicación espacial y así discriminar zonas sin mucho potencial mineralógico con el propósito de evitar gastos subsecuentes.
3. Se recomienda obtener el permiso de servidumbre en el área del Fundo La Plata, para los trabajos de perforación diamantina en el futuro.
4. Teniendo en cuenta las interpretaciones y conclusiones de los trabajos geológicos y geoquímicos, se sugiere un programa de perforación en el área de estudio, con un presupuesto dividido en prioridad 1, 2 y 3, con un total de US\$ 1, 034,550.
5. Si en la primera campaña de 07 sondajes diamantinos que pertenecen a la prioridad 1, los resultados son satisfactorios se continuará con la segunda campaña de 09 sondajes diamantinos que pertenecen a la prioridad 2 y finalmente se continuará con la tercera campaña de 06 sondajes diamantinos que pertenecen a la prioridad 3.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, J. (1965). Scour marks in snow. *J. Sediment. Petrol.* 35.
- Anderson, E. (1951). The dynamics of faulting and dyke formation with applications to Britain. Oliver and boyd, 2nd Edition, Edinburgh.
- Angelier, J. (1994). Fault slip analysis and paleostress reconstruction. In: Hancock, P.L. (Ed.), *Continental Deformation*.
- Billings, M. (1942). *Structural Geology*. Prentice-Hall, New York, NY.
- Carpio Pizarro, D. (2017). Control geológico estructural de mineralización y correlación de flujos hidrotermales en Veta Mercedes Unidad Minera San Juan de Chorunga Condesuyos – Arequipa. UNSAA.
- Cassard, D., et al. (2000). Structural control and K/Ar dating of the Au-Ag epithermal veins in the Shila Cordillera, southern Perú.
- Caycho V., Y. (2019). Análisis estructural de la configuración relacionada con la mineralización Cordillera Negra, región Ancash – Perú. UNMSM.
- Cloos, H. (1928). Experiment zur inneren Tektonik. *Centralbl. f. Mineral u. Pal*
- Cloos, H. (1955). Experimental análisis of fracture patterns. *Geol. Soc. Am' Bull'*.
- Doblas, M. (1987). Criterios del sentido del movimiento en espejos de fricción: Clasificación y aplicación a los granitos cizallados de la Sierra de San Vicente (Sierra de Gredos). *Estud. Geol.* 43.
- Doblas, M. (1991). Criterios del sentido del movimiento e historia deformativa en fallas a partir de la petrografía de espejos de fricción: Aplicación a fallas alpinas del Sistema Central. *Geogaceta* 10.
- Doblas, M. (1998). *Slickenside Kinematic Indicators*. Tectonophysics, Elsevier.

- Doblas, M., et al. (1995). Slickenside kinematic indicators in high and low - angle normal faults in the Alpine Betic Cordilleras, southern Spain. Geol. Soc. Am. Penrose Conference on 'finegrained fault rocks', Leavenworth, WA.
- Doblas, M., et al. (1997a). Slickenside and fault surface kinematic indicators on active normal faults of the Alpine Betic cordilleras, Granada, Southern Spain. J. Struct. Geol. 19.
- Durney, D., Ramsay, J. (1973). Incremental strains measured by syntectonic crystal growths. In: De Jong, K.A., Scholten, R. (Eds.), Gravity and Tectonics. Wiley.
- Dzulynski, S. (1953). Tektonika pd. czesci wyzyzny Krakowskiej. Acta Geol. Pol. 3.
- Dzulynski, S., Kotlarczyk, J. (1965). Tectoglyphs on slickensided surfaces. Bull. Acad. Pol. Sci. 13.
- Echavarria L. (2006). Geological evolution of the Caylloma epithermal vein district, Southern Peru. Journal of Economic Geology.
- Echeverry C., S. et al. (2009). Aspectos estructurales y relaciones de algunos sistemas vetiformes del distrito minero Segovia-Remedios. Universidad Nacional de Colombia
- Estudio de los recursos minerales del Perú franja N°2 (2002) – Boletín N° 11, Serie B: Geología Económica – Autor: Dirección de Geología Económica y Prospección Minera – Lima-Perú Mayo.
- Eyzaguirre, V. (1981). A resurgent mineralized caldera in southern Peru: Preliminary Report. EOS (American Geophysical Union Transactions).
- Friedman, M., Logan, J. (1970). Microscopic feather fractures. Geol. Soc. Am. Bull. 81.
- Gray, M., Nickelsen, R. (1989). Pedogenic slickensides: indicators of strain and deformation processes in redbed sequences of the Appalachian foreland. Geology 17.

- Hancock, P. (1985). Brittle microtectonics: principles and practices. *J. Struct. Geol.* 7.
- Hancock, P., Barka, A. (1987). Kinematic indicators on active normal faults in western Turkey. *J. Struct. Geol.* 9.
- Harris Jr., S. (1943). Friction cracks and the direction of glacial movement. *J. Geol.* 51.
- Hobbs, B., et al. (1976). *An Outline of Structural Geology*. Wiley.
- Huillca Pantura, R. (2017). *Geología, análisis y modelo estructural del sistema de vetas de la Empresa Minera Vicus SAC Barranca, Lima, Perú*. UNSAA.
- Jackson, R., Dunn, D. (1974). Experimental sliding friction and cataclasis of foliated rocks. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geol.*
- Johnson, C. (1975). Characteristics and mechanics of formation of glacial arcuate abrasion cracks. Ph.D. Thesis, Pennsylvania State Univ.
- Laurent, P. (1987). Shear-sense determination on striated faults from e twin lamellae in calcite. *J. Struct. Geol.* 9.
- Lee, Y. (1991). Slickenside petrography: slip-sense indicators and classification. M.Sc. Thesis, State Univ. New York, Albany, NY.
- Lee, Y., Means, W. (1990). Slickenside petrography: sense-of-slip indicators. *Geol. Soc. Am. Abstr. Progr. Annu. Meet.*, Dallas.
- Liesa, C.L. et al., (1997) *El uso de modelos experimentales en la enseñanza de geología estructural*. España.
- Lin, S., Williams, P. (1992). The origin of ridge-in-groove slickenside striae and associated steps in an S-C mylonite. *J. Struct. Geol.* 14.
- Mattauer, M. (1976). *Les déformations des matériaux de l'écorce terrestre*. Herman, Paris.
- Means, W. (1987). A newly recognized type of slickenside striation. *J. Struct. Geol.* 9.

- Macias Vázquez, J. (2013). Estudio de Estratigrafía y Geología del Complejo Volcánico Tres Vírgenes, B.C.S. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Norris, D., Barron, K. (1969). Structural analysis of features on natural and artificial faults. In: Baer, A., Norris, D.K. (Eds.), Research in Tectonics. Geol. Surv. Can.
- Paterson, M. (1958). Experimental deformation and faulting in Wombeyan marble. Bull. Geol. Soc.
- Petit (1987). Criteria for the sense of movement on fault surfaces in brittle rocks. J. Struct. Geol. 9.
- Petit et al. (1983). Critères du sens du mouvement sur les miroirs de failles en roches non calcaires. Bull. Soc. Geol.
- Petit, J., Laville, E. (1987). Morphology and microstructures of hydroplastic slickensides in sandstones. In: Jones, M.E., Preston, R.M.F. (Eds.), Deformation of Sediments and Sedimentary Rocks. Geol. Soc. Spec.
- Power, W., Tullis, T. (1989). The relationship between slickenside surfaces in fine-grained quartz and the seismic cycle. J. Struct. Geol. 11
- Quispe C., J. (2006). Características Estructurales e Isótopos de Plomo de las Mineralizaciones Auríferas de la Franja Huaytara – Tantará, Huancavelica (Perú).
- Ramsay, J. (1977). Plegamiento y fracturación de las rocas. H. Blume ediciones. Madrid.
- Riedel, W. (1929). Zur mechanik geologischer Brucherscheinungen. Centralbl. f. Mineral. u. Pal.
- Roberts, J. (1991). Geological Structures. MacMillan, London.
- Ronda, G. et al. (2014). Sistemas de Riedel como mecanismo de deformación en los Andes Patagónicos, norte de Santa Cruz. XIX Congreso Argentino de Geología.
- Savage, N. (1972). Soft-sediment glacial grooving of Dwyka age in South-Africa. J. Sediment. Petrol. 42.

- Sellier, D., Bossi re, G. (1993). Apport de la microscopie électronique à balayage à l'analyse des surfaces d'abrasion glaciaire sur les roches quartzitiques. Z. Geomorphol. N. F.37
- Skempton, A. (1966). Some Observations on Tectonic Shear Zones. Proceedings of 1st International Congress on Rock Mechanics, Vol. 1, Lisbon.
- Sacsi Umasi, M. E. (2016). Características geológicas principales de la mineralización cupr fera post – Jur sico del yacimiento Chavinch  (veta Las  guilas). Lucanas – Ayacucho – Per . UNSAA.
- Spray, J. (1989). Slickenside formation by surface melting during the mechanical excavation of rock. J. Struct. Geol. 11.
- Tjia, H. (1964). Slickensides and fault movements. Geol. Soc. Am. Bull. 75.
- Tjia, H. (1967). Sense of fault displacements. Geol. Mijnbouw 46.
- Tjia, H. (1968). Fault-plane markings. XXIII Int. Geol. Congr. 13.
- Tobón Agudelo, J. (2021), Marco geológico y arquitectura estructural del Distrito Minero Segovia - Remedios (DMSR). Universidad Nacional de Colombia.
- Valenzuela Rentería, M. (2003). Sistema Riedel en la evolución tectónica Terciaria de Sonora, México. Universidad de Sonora.
- Vialon, P., et al. (1976). Eléments de t ctonique analytique. Masson.
- Wardlaw, N., et al (1969). Striations, giant grooves, and superposed drag folds, Interlake area, Manitoba. Can. J. Earth Sci. 6.
- Wegman, E., Schaer, J. (1957). Lunules t ctoniques et traces de mouvements dans les plis du Jura. Eclogae Geol. Helv. 50.
- Wilcox, R., Harding, T. and Seely, D. (1973). Basic wrench tectonics. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 57.
- Willis, B., Willis, R. (1934). Geologic Structures. McGraw-Hill.

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

MODELO ESTRUCTURAL DE RIEDELS EN EL ANÁLISIS DE LAS VETAS MINERALIZADAS DEL PROYECTO CORONA - ANTIMONIO			
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS Y VARIABLES	METODOLOGÍA
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA ¿Cómo influye el modelo estructural de Riedels en el análisis de las vetas mineralizadas del proyecto Corona – Antimonio? PROBLEMAS ESPECÍFICOS - ¿En qué grado las características geológicas influyen en el análisis de las vetas mineralizadas del proyecto Corona – Antimonio? - ¿De qué manera las características estructurales determinan el análisis de las vetas mineralizadas del proyecto Corona – Antimonio?	OBJETIVO GENERAL Generar el modelo estructural de Riedels en el análisis de las vetas mineralizadas del proyecto Corona – Antimonio. OBJETIVOS ESPECÍFICOS - Determinar las características geológicas que influyen en el análisis de las vetas mineralizadas del proyecto Corona – Antimonio. - Establecer las características estructurales que determinan el análisis de las vetas mineralizadas del proyecto Corona – Antimonio.	HIPÓTESIS GENERAL El modelo estructural de Riedels influye en el análisis de las vetas mineralizadas del Proyecto Corona – Antimonio. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS - Las características geológicas influyen en el análisis de las vetas mineralizadas del Proyecto Corona – Antimonio. - Las características estructurales determinan el análisis de las vetas mineralizadas del proyecto Corona – Antimonio. VARIABLES Variables Independientes: Modelo estructural de Riedels. Variables Dependientes: Análisis estructural de las vetas mineralizadas del proyecto Corona – Antimonio.	TIPO DE INVESTIGACIÓN Descriptivo y aplicativo. NIVEL DE INVESTIGACIÓN Descriptivo y aplicativo. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN Analítico – Sintético. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN Pre - experimental. POBLACION Y MUESTRA Población: todas las estructuras (vetas-fallas, fallas y fracturas) del área de estudio. Muestra: todos los afloramientos de las estructuras (vetas-fallas, fallas y fracturas) del área de estudio. TECNICAS E INSTRUMENTOS Técnicas: mediciones estructurales, análisis de tectoglifos, logueo geológico Instrumentos: mapas geológicos – estructurales, formatos de logueo.

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Formato de Loqueo Geológico

[illegible]

Formato de toma de datos Estructurales

Formato toma de datos estructurales					
N°	Tipo de Estructura*	Azimut	Bz	Dir. Bz	Pitch - Estria
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					

Tipo de estructura*	Fractura
	Falla
	Veta -Falla

PROCESDIMIENTO DE VALIDACION Y CONFIABILIDAD

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES

- 1.1. **Apellidos y nombres del informante:** Pedro Luis Trujillo Hermitaño
- 1.2. **Grado académico:** Ingeniero Geólogo
- 1.3. **Cargo e institución donde labora:** Geólogo de Logueo / Anglo Peruana Terra SA
- 1.4. **Título de investigación:** “Modelo estructural de Riedels en el análisis de las vetas mineralizadas del proyecto Corona – Antimonio”
- 1.5. **Autor del instrumento:** Villena Oscategui Joel Jhonatan
- 1.6. **Nombre del Instrumento:**
 - Formato de Logueo Geológico
 - Formato de toma de datos estructurales

II. ASPECTOS DE VALIDACION

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0 - 20%	Regular 21 - 40%	Buena 41 - 60%	Muy Buena 61 - 80%	Excelente 81 - 100%
CARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado.					X
OBJETIVIDAD	Cumple su fin de determinar el análisis e interpretación de deformación					X
ACTUALIDAD	Usa instrumentos y métodos actuales					X
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica					X
SUFICIENCIA	Comprende a los aspectos de cantidad y calidad				X	
INTENSIONALIDAD	Es adecuado para poder determinar los aspectos del estudio					X
CONSISTENCIA	Basado en aspectos teórico científico					X
COHERENCIA	Lleva relación cada aspecto el formato				X	
METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito de la investigación					X
OPORTUNIDAD	Genera nuevas pautas en la investigación y construcción de teorías					X

III. PROMEDIO DE VALIDACION: 96%

IV. OPINION DE APLICACIÓN: - Los instrumentos aplicados en el estudio, son idóneos para realizar la recolección de datos estructurales, así como para la descripción geológica de los testigos de perforación diamantina, la cual fortalece el objetivo de la determinación del modelo estructural de Riedel.

Cerro de Pasco, 26 de diciembre de 2022	42910078	 CIP 243951	975096736
Lugar y Fecha	Nº DNI	Firma del experto	Nº Celular

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES

- 1.1. **Apellidos y nombres del informante:** Pomacino Angel Ana Melva
- 1.2. **Grado académico:** Ingeniero Geólogo
- 1.3. **Cargo e institución donde labora:** Geólogo de Modelamiento / Minera Boroo SAC
- 1.4. **Título de investigación:** “Modelo estructural de Riedels en el análisis de las vetas mineralizadas del proyecto Corona – Antimonio”
- 1.5. **Autor del instrumento:** Villena Oscategui Joel Jhonatan
- 1.6. **Nombre del Instrumento:**
 - Formato de Logueo Geológico
 - Formato de toma de datos estructurales

II. ASPECTOS DE VALIDACION

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0 - 20%	Regular 21 - 40%	Buena 41 - 60%	Muy Buena 61 - 80%	Excelente 81 - 100%
CARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado.					X
OBJETIVIDAD	Cumple su fin de determinar el análisis e interpretación de deformación					X
ACTUALIDAD	Usa instrumentos y métodos actuales				X	
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica					X
SUFICIENCIA	Comprende a los aspectos de cantidad y calidad				X	
INTENSIONALIDAD	Es adecuado para poder determinar los aspectos del estudio					X
CONSISTENCIA	Basado en aspectos teórico científico					X
COHERENCIA	Lleva relación cada aspecto el formato				X	
METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito de la investigación					X
OPORTUNIDAD	Genera nuevas pautas en la investigación y construcción de teorías					X

III. PROMEDIO DE VALIDACION: 94%

IV. OPINION DE APLICACIÓN: - Los instrumentos aplicados en el estudio, son idóneos para realizar la recolección de datos estructurales, así como para la descripción geológica de los testigos de perforación diamantina, la cual fortalece el objetivo de la determinación del modelo estructural de Riedel.

Lima, 23 de diciembre de 2022	71332904	 CIP: 234627	916724244
Lugar y Fecha	Nº DNI	Firma del experto	Nº Celular

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES

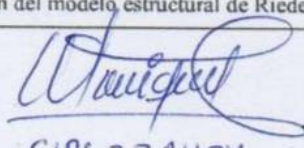
- 1.1. **Apellidos y nombres del informante:** Juan Roque Manrique Corso
- 1.2. **Grado académico:** Ingeniero Geólogo
- 1.3. **Cargo e institución donde labora:** Supervisor Geotécnico / Metrixperu SAC
- 1.4. **Título de investigación:** "Modelo estructural de Riedels en el análisis de las vetas mineralizadas del proyecto Corona – Antimonio"
- 1.5. **Autor del instrumento:** Villena Oscategui Joel Jhonatan
- 1.6. **Nombre del Instrumento:**
 - Formato de Logueo Geológico
 - Formato de toma de datos estructurales

II. ASPECTOS DE VALIDACION

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0 - 20%	Regular 21 - 40%	Buena 41 - 60%	Muy Buena 61 - 80%	Excelente 81 - 100%
CARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado.					X
OBJETIVIDAD	Cumple su fin de determinar el análisis e interpretación de deformación					X
ACTUALIDAD	Usa instrumentos y métodos actuales				X	
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica					X
SUFICIENCIA	Comprende a los aspectos de cantidad y calidad					X
INTENSIONALIDAD	Es adecuado para poder determinar los aspectos del estudio					X
CONSISTENCIA	Basado en aspectos teórico científico				X	
COHERENCIA	Lleva relación cada aspecto el formato				X	
METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito de la investigación					X
OPORTUNIDAD	Genera nuevas pautas en la investigación y construcción de teorías					X

III. PROMEDIO DE VALIDACION: 94%

IV. OPINION DE APLICACIÓN: - Los instrumentos aplicados en el estudio, son idóneos para realizar la recolección de datos estructurales, así como para la descripción geológica de los testigos de perforación diamantina, la cual fortalece el objetivo de la determinación del modelo estructural de Riedel.

Lima, 26 de diciembre de 2022	42584362	 CIP: 231427	963537160
Lugar y Fecha	N° DNI	Firma del experto	N° Celular

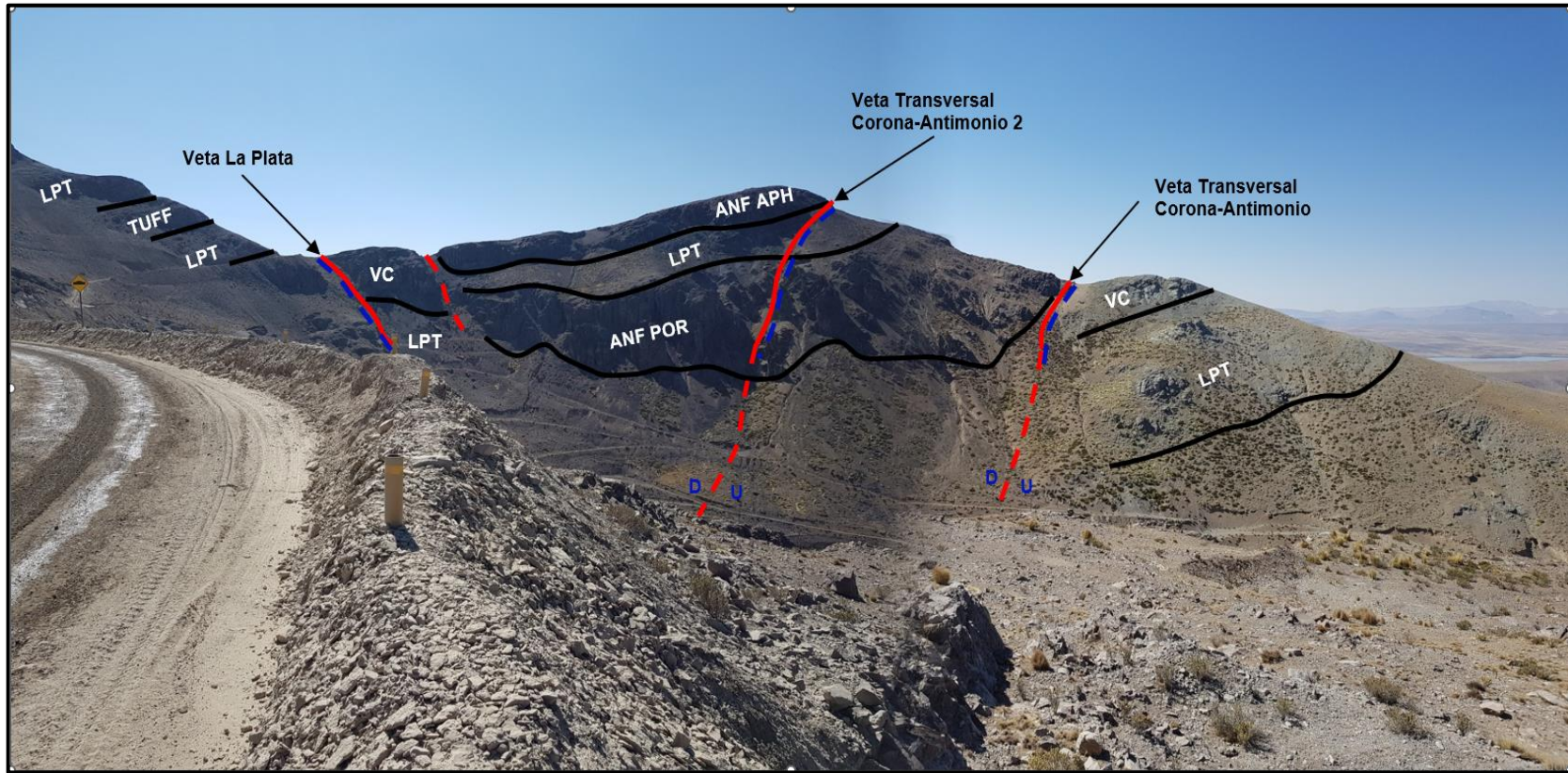


Foto 1: Vista al NE, se observa secuencias de ANF APH (Andesita afanítica), ANF POR (Andesita porfirítica), LPT (Toba lapilli), VC (Conglomerado volcánico) y TUFF (Tufo), interceptados por vetas-fallas; Veta Transversal Corona Antimonio 2 (Riedels - R) falla inversa y Veta la Plata (Antiriedels - R') falla normal.

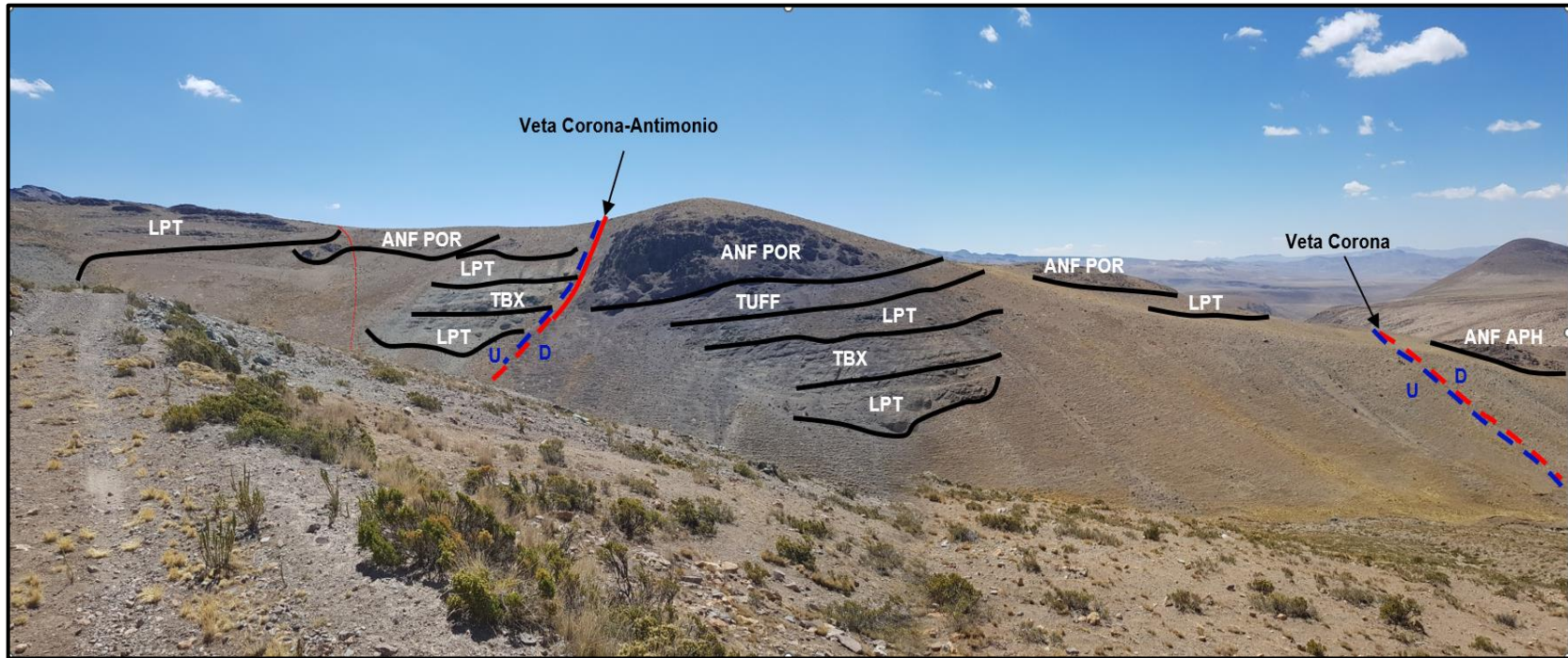


Foto 2: Vista al NE, se observa secuencias de ANF POR (Andesita porfirítica), ANF APH (Andesita afanítica), LPT (Toba lapilli), TBX (Toba de brecha) y TUFF (Tufo), interceptados por 2 vetas-fallas normales; Corona-Antimonio y Corona (Antiriedels – R')

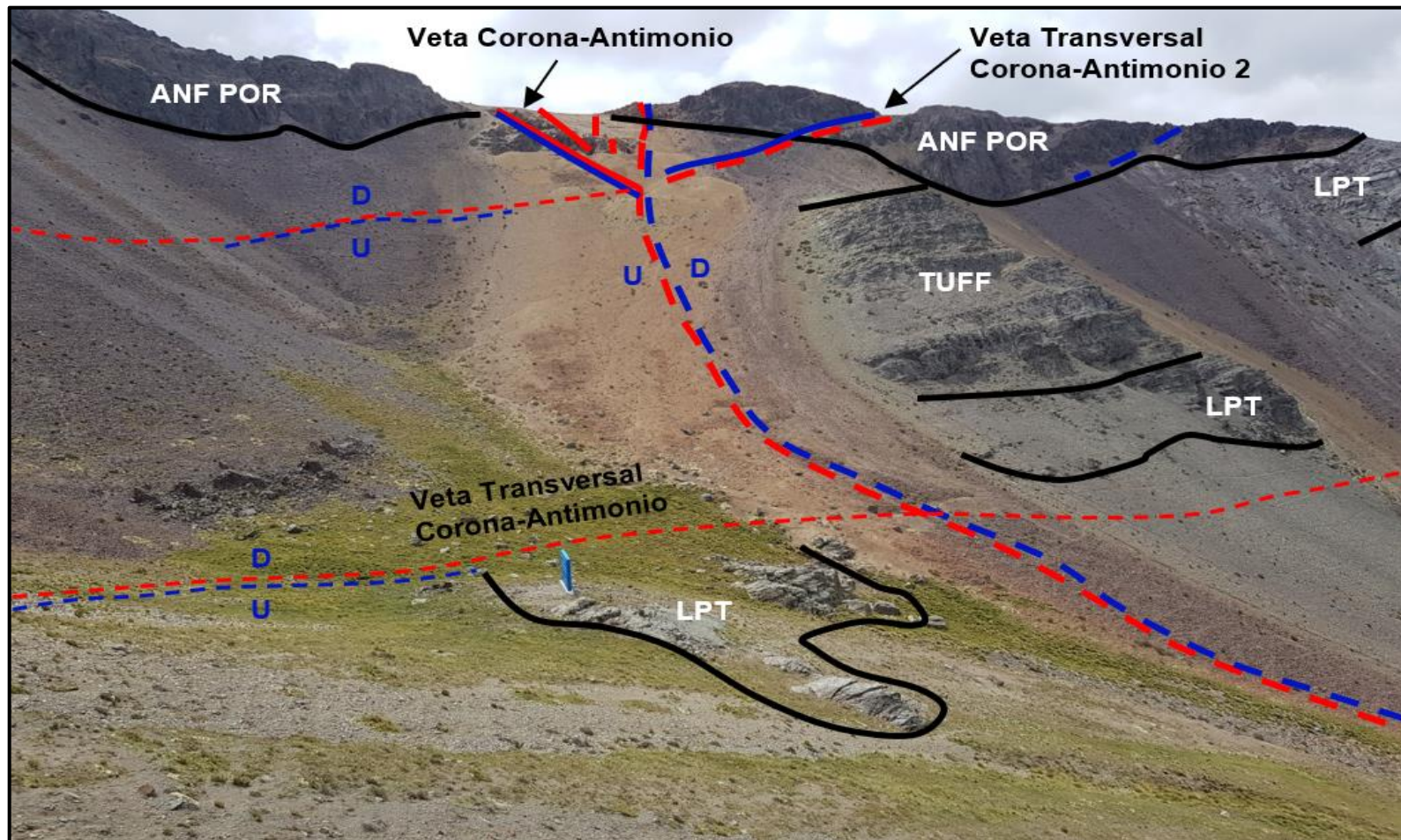


Foto 3: Vista al NE, se observa secuencias de ANF POR (Andesita porfirítica), LPT (Toba lapilli) y TUFF (Tufo), interceptados por 3 vetas-fallas; Corona-Antimonio (Antiriedel – R') falla normal, Transversal Corona-Antimonio y Transversal Corona-Antimonio 2 (Riedels - R) fallas inversas.

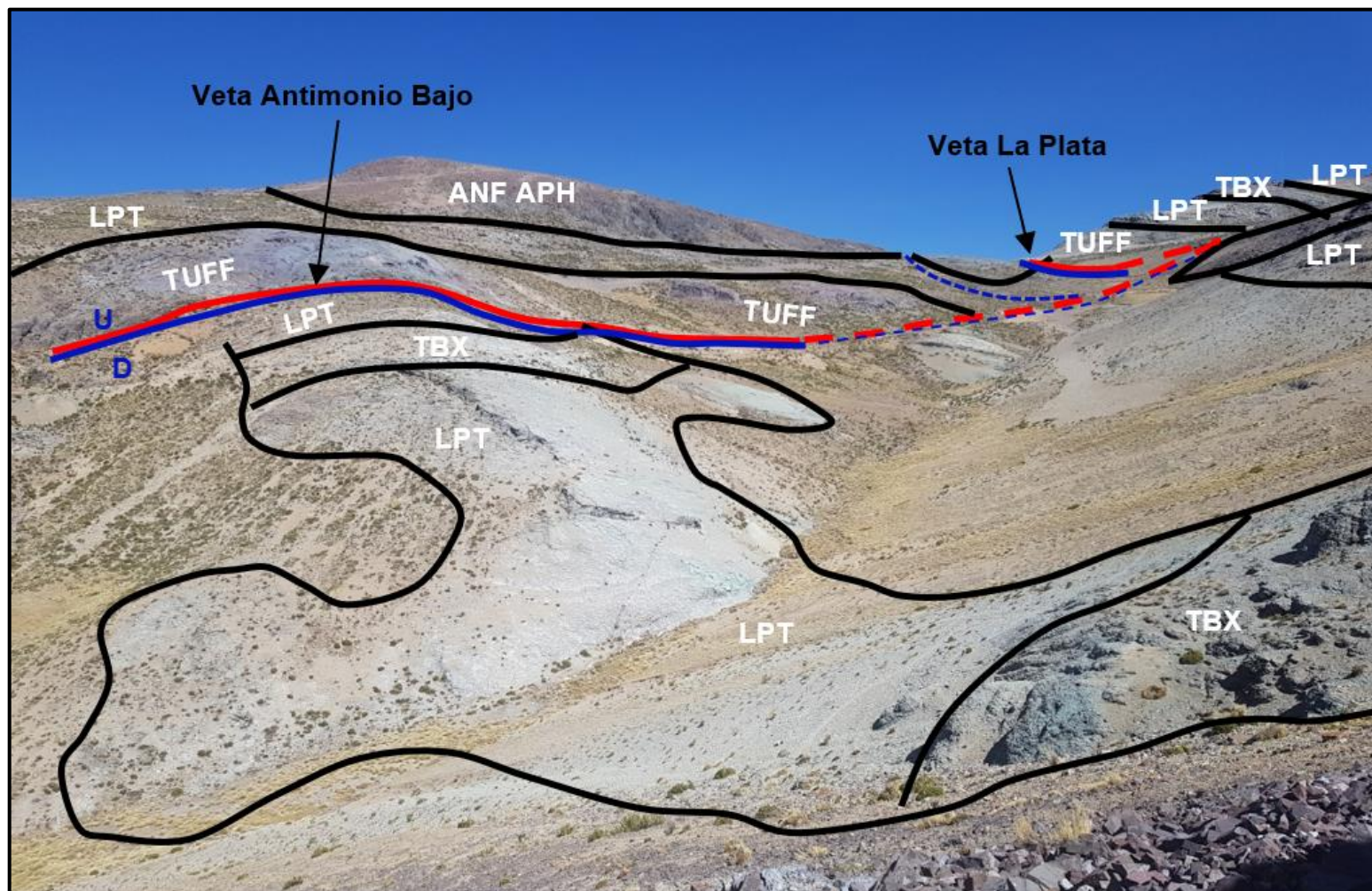


Foto 4: Vista al SW, se observa secuencias de ANF APH (Andesita afanítica), TBX (Toba de brecha), TUFF (Tufos) y LPT (Toba lapilli), interceptados por las Veta-fallas; Antimonio Bajo (Riedel – R) falla inversa y Veta La Plata (Antiriedel – R') falla normal.