



Trabajo final - Quintero Silvina

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PATAGONIA SAN JUAN BOSCO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y CIENCIAS DE LA SALUD
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**



TRABAJO FINAL

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOQUÍMICA DE LA VETA MICAELA
EN EL YACIMIENTO SAN JOSÉ, PROVINCIA DE SANTA CRUZ,
ARGENTINA.**

Alumna: Quintero Silvina.

Director: Dr. Navarrete César Rodrigo.

Co-directora: Dra. Cocola María Agustina.



PREFACIO

Este trabajo se presenta como parte de los requisitos para obtener el título de Geóloga de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco y no ha sido presentado previamente en esta universidad ni en otra. El mismo contiene resultados obtenidos en investigaciones realizadas en el Yacimiento San José, en el Departamento de Geología de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco y en el Departamento de Yacimientos Minerales de la Universidad Nacional del Sur (UNS-INGEOSUR-CONICET), durante el periodo comprendido entre el 02/06/21 y el 20/05/22.



RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo describir las características geológicas, mineralógicas y geoquímicas de la veta Micaela, ubicada en el Yacimiento San José, en el sector noroccidental del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz, Argentina. Esta región constituye una de las provincias metalogenéticas más importantes del país, caracterizada por la presencia de numerosos depósitos epitermales de metales preciosos asociados al magmatismo jurásico de la gran provincia ígnea silícea Chon Aike. En este contexto, la veta Micaela constituye una estructura de relevancia económica en el Yacimiento San José.

La veta Micaela se emplazó en rocas volcánicas andesíticas y presenta un rumbo general oeste-este. Se encuentra segmentada en dos sectores principales, Micaela Oeste y Micaela Este, separados por la falla Giovanna, una estructura de orientación norte-sur que controla la geometría y la continuidad de la mineralización. El estudio se desarrolló a partir del análisis de testigos de perforación de diamantina correspondientes a los niveles de 400 y 500 msnm, complementado con observaciones petrográficas y calcográficas, análisis mineralógicos mediante difracción de Rayos X y el procesamiento de datos geoquímicos de Au, Ag y metales base.

Las rocas de caja presentan textura porfírica, con fenocristales de plagioclasa, hornblenda y biotita inmersos en una matriz afanítica y muestran distintos grados de alteración hidrotermal. Las asociaciones de alteración identificadas incluyen silicificación, sericitización, cloritización y piritización, con una distribución heterogénea tanto lateral como vertical. En los niveles más someros, además, se reconocen procesos supergénicos de oxidación, representados por óxidos e hidróxidos de hierro, que afectan de manera diferencial a ambos segmentos de la veta.

El análisis de las texturas de cuarzo permitió identificar múltiples pulsos de mineralización. Entre las texturas primarias predominan las crustiformes, coliformes y bandeadas, indicativas de condiciones dinámicas de depósito asociadas a procesos de ebullición y a fluctuaciones en la composición de los fluidos hidrotermales. Asimismo, se identificaron texturas de recristalización, tales como mosaico, plumosa y llameante, que reflejan etapas posteriores de reorganización mineral. La presencia de brechas hidrotermales sugiere episodios reiterados de fracturación y de reactivación estructural durante la evolución del sistema.

La mineralogía de la mena está dominada por pirita, esfalerita, galena y calcopirita, acompañada de sulfosales de plata del grupo tetraedrita-tennantita, mientras que la ganga está constituida principalmente por cuarzo y carbonatos. Esta asociación mineralógica, junto con las características texturales y geoquímicas, permite clasificar la veta Micaela como un depósito epitermal de sulfuración intermedia.

Los resultados geoquímicos evidencian una correlación positiva entre Au y Ag, así como entre los metales base Cu, Pb y Zn, lo que sugiere un control durante los procesos de transporte y deposición. La distribución de las leyes es irregular, con zonas de enriquecimiento vertical discontinuo. A la cota de 400 msnm, Micaela Oeste presenta relaciones Ag/Au más elevadas que Micaela Este, mientras que, a la cota de 500 msnm, esta relación se invierte, lo que potencialmente podría relacionarse con la actividad de la falla Giovanna o bien con variaciones locales en las condiciones fisicoquímicas del sistema hidrotermal.



Trabajo final - Quintero Silvina

En conjunto, este trabajo contribuye a una mejor comprensión del sistema hidrotermal del Yacimiento San José y aporta criterios relevantes para la exploración de nuevas mineralizaciones en el Macizo del Deseado.



INDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	3
1.2 Ubicación del área de estudio	4
2. MATERIALES Y MÉTODOS	4
2.1 Trabajos de gabinete	4
2.2 Estudios petrográficos y calcográficos	5
2.3 Estudios de Rayos X	6
2.4 Geoquímica	6
3. ANTECEDENTES	7
3.1 Geología Regional del Macizo del Deseado	7
3.2 Geología y antecedentes locales del Yacimiento San José	11
3.3 Contexto estructural de las mineralizaciones jurásicas	13
4. RESULTADOS	16
4.1 Caracterización de la roca de caja	17
4.1.1 Formación Bajo Pobre	17
4.1.2 Alteración hidrotermal de la roca de caja	22
4.2 Estructura interna y textura de la veta Micaela	27
4.2.1. Texturas de crecimiento primario:	28
4.2.2. Texturas de recristalización:	29
4.2.3. Texturas de reemplazo:	32
4.2.4. Otras texturas observadas:	32
4.3 Mineralogía de mena	34
4.3.1 Mineralización a la cota de 500 msnm	34
4.3.2 Mineralización a la cota de 400 msnm	35
4.4 Geoquímica	37
4.4.1 Geoquímica de metales preciosos (Au y Ag)	37
4.4.1.a Micaela Oeste	37
4.4.1.b. Micaela Este	39
4.4.2 Cociente metálico de Micaela Oeste y Micaela Este	41
4.4.3 Geoquímica de metales base: Fe, Cu, Pb y Zn	42
5. DISCUSIONES	45
5.1 Clasificación del depósito	45
5.2 Secuencia Paragenética	45
5.3 Distribución de las alteraciones hidrotermales	46



5.5 Zonación textural.....	47
5.6 Variaciones composicionales de los segmentos este y oeste de la veta Micaela y su potencial vinculación con la falla Giovanna.....	48
5.7 Modelo metalogénico propuesto.....	50
6. CONCLUSIONES.....	51
7. AGRADECIMIENTOS	522
8. BIBLIOGRAFIA.....	533
9. ANEXOS	600
9.1 Difracción de Rayos X (Anexo I).....	600
9.2 Geoquímica de metales preciosos (Anexo II).....	633
9.3 Geoquímica de metales pesados (Anexo III).....	677



1. INTRODUCCIÓN

El Macizo del Deseado es una provincia geológica definida por Harrington (1962) y ubicada en el centro-sur de la Patagonia argentina, en la provincia de Santa Cruz. Esta unidad morfoestructural abarca un área de 60.000 km², extendiéndose de norte a sur entre los ríos Deseado y Chico, y en sentido este-oeste desde la costa atlántica hasta los Andes Patagónicos Australes.

Esta región morfoestructural se caracteriza por poseer un excelente registro de un evento volcánico de gran escala ocurrido en el Jurásico, el cual se extendió por todo el sudoeste de Gondwana y dio origen a la gran provincia ígnea silíceo (SLIP) de Chon Aike (Kay *et al.*, 1989; Pankhurst *et al.*, 1998; Bryan y Ernst, 2008). Esta provincia, una de las más extensas del planeta, se desarrolló en un contexto tectónico extensional vinculado a las primeras etapas de la apertura del océano Atlántico (Uliana *et al.*, 1985; Pankhurst *et al.*, 1998; Féraud *et al.*, 1999; Lovecchio *et al.*, 2019). Se caracteriza por el gran volumen de rocas volcánicas félsicas e intermedias extruidas durante el Jurásico Inferior a Superior. Revisiones recientes han indicado que el magmatismo comenzó aproximadamente a los 193 Ma y se habría extendido hasta los 150 Ma (Navarrete *et al.*, 2024 y citas allí incluidas).

Además del interés académico y científico que despiertan estas rocas volcánicas, son importantes desde el punto de vista socio-económico, debido a que están espacial y genéticamente vinculadas a mineralizaciones epitermales de metales preciosos (Au y Ag), presentándose mayormente como depósitos vetiformes, brechas, *stockworks* y diseminados (Schalamuk *et al.*, 1995, 1997; Fernández *et al.*, 2008 y citas allí incluidas). La mayoría de las mineralizaciones de la región se alojan en rocas volcánicas y sedimentarias jurásicas de la SLIP Chon Aike, denominadas Formación Roca Blanca, Formación Chon Aike, Formación Bajo Pobre y Formación La Matilde (Fernández *et al.*, 2008 y citas allí incluidas). En menor medida, se encuentran en rocas sedimentarias triásicas del Grupo El Tranquilo, así como en rocas ígneas y metamórficas paleozoicas del Complejo Río Deseado y de la Formación La Modesta (Fernández *et al.*, 2008 y citas allí incluidas).

Debido a la presencia de un gran número de depósitos de interés económico en esta región, Schalamuk *et al.* (1999) definieron al Macizo del Deseado como la Provincia Auroargentífera del Deseado. Entre estos depósitos se destacan Cerro Vanguardia, Manantial Espejo, Mina Martha, La Josefina, El Dorado-Montserrat, San José (Huevos Verdes), Cerro Negro y Cerro Moro (Fig. 1.0. Genini, 1990; Schalamuk *et al.*, 1995, 1997, 1999; Fernández *et al.*, 2008); los cuales, en su mayoría, han sido interpretados como depósitos epitermales de baja sulfuración (Fernández y de Barrio, 1994; Schalamuk *et al.*, 1995, 1997). También se han descrito yacimientos de sulfuración intermedia (Guido y Schalamuk, 2003; Echavarría *et al.*, 2005; Fernández *et al.*, 2008; Rodríguez, 2012) y depósitos polimetálicos (González Guillot *et al.*, 2004; Jovic, 2009).

Según Hedenquist *et al.* (2000), los yacimientos de baja sulfuración se forman en sistemas hidrotermales someros, dominados por fluidos de pH neutro a levemente alcalino, de baja salinidad y con condiciones químicas reducidas, en los que existe una fuerte interacción fluido-roca. Estos depósitos se desarrollan generalmente entre 50 y 700 m por debajo del paleonivel freático, a temperaturas entre 160 y 270 °C, siendo la ebullición un proceso



fundamental para la precipitación del Au. La mineralización se presenta típicamente en vetas, enjambres de vetas o *stockworks* estructuralmente controlados, con texturas características como bandeamiento crustiforme y coliforme, cuarzo en peine y brechas hidrotermales. La ganga está dominada por cuarzo, adularia y calcita, mientras que la mineralogía de mena corresponde a sulfuros de bajo estado de sulfuración, principalmente pirita, con Au o electrum y escasa participación de metales base. La alteración hidrotermal asociada es moderada, con desarrollo de illita, sericita, carbonatos y silicificación localizada, y puede estar cubierta por una alteración ácido-sulfato de origen *steam-heated*, no directamente vinculada a la mineralización profunda.

De acuerdo con Wang *et al.* (2019), las vetas de los yacimientos de sulfuración intermedia constituyen un subtipo de depósitos epitermales, asociados principalmente a arcos magmáticos de subducción y a cinturones orogénicos postcolisionales, y representan un objetivo relevante para la exploración de sistemas pórfido–epitermales ricos en Au, Ag y metales base. Estos depósitos suelen estar vinculados a rocas volcánicas y subvolcánicas de composición andesítica a dacítica; se forman a profundidades del orden de 0,3 a 1 km y están relacionados con magmatismo cálcico oxidado a calcoalcalino. Los fluidos mineralizantes presentan temperaturas de 150 a 350 °C y salinidades variables, con evidencias de mezcla entre aguas magmáticas y meteóricas. Mineralógicamente, se caracterizan por sulfuros de estado de sulfuración intermedio, como pirita, calcopirita, esfalerita pobre en Fe, galena y sulfosales del grupo tetraedrita–tennantita, así como por la frecuente presencia de carbonatos de Mn en etapas hidrotermales medias y tardías, rasgo distintivo frente a los depósitos de baja sulfuración.

En este sentido, las principales diferencias entre los depósitos epitermales de baja e intermedia sulfuración radican en: a) el contenido de Sfe (*mol %*) de esfalerita, siendo 1-20 para los de sulfuración intermedia y 20-40 para depósitos de baja sulfuración; b) salinidad (*wt. % NaCl eq.*) en inclusiones fluidas, valores <1 para depósitos de baja sulfuración y >3 para depósitos de sulfuración intermedia; c) abundancia de sulfuros, los cuales se presentan con concentraciones de entre 1 y 2 % vol. en los depósitos de baja sulfuración, y aproximadamente un 5 % vol. para depósitos de sulfuración intermedia (Hedenquist *et al.*, 2000, Wang *et al.*, 2019).

Este trabajo final de grado se realizó en el Yacimiento San José (Fig. 1.0), situado en el sector noroccidental del Macizo del Deseado, incluido en la Hoja Geológica 4769-IV El Pluma (Cobos *et al.*, 2003), y cuya cota al nivel de la superficie es de 560 msnm. Este yacimiento posee un total aproximado de 200 vetas, de las cuales, hasta el momento de este análisis, sólo una, conocida como veta Huevos Verdes, ha sido previamente estudiada en detalle (Gutiérrez, 2006; Rodríguez, 2012), la cual sirvió de estructura precursora de los descubrimientos posteriores. La escasez de información y análisis sobre las demás estructuras ubicadas dentro del yacimiento ha motivado la realización de este trabajo, cuyo objetivo es caracterizar la veta Micaela desde el punto de vista geológico y geoquímico, enriqueciendo el conocimiento sobre las mineralizaciones del yacimiento. Esta veta presenta una orientación general oeste-este y fue descubierta fortuitamente durante una labor subterránea (túnel de integración) para conectar dos minas del yacimiento, conocidas como Kospi y Frea. Posteriormente, fue reconocida a partir de sondajes de exploración realizados en superficie y luego identificada mediante sondajes de tipo *infill*, tanto en superficie como desde el interior de la mina (E. Pavetti, comunicación personal, 5 de enero de 2023).

Actualmente, la compañía que opera el yacimiento es Minera Santa Cruz S.A., que autorizó el uso de la información necesaria para realizar este trabajo.

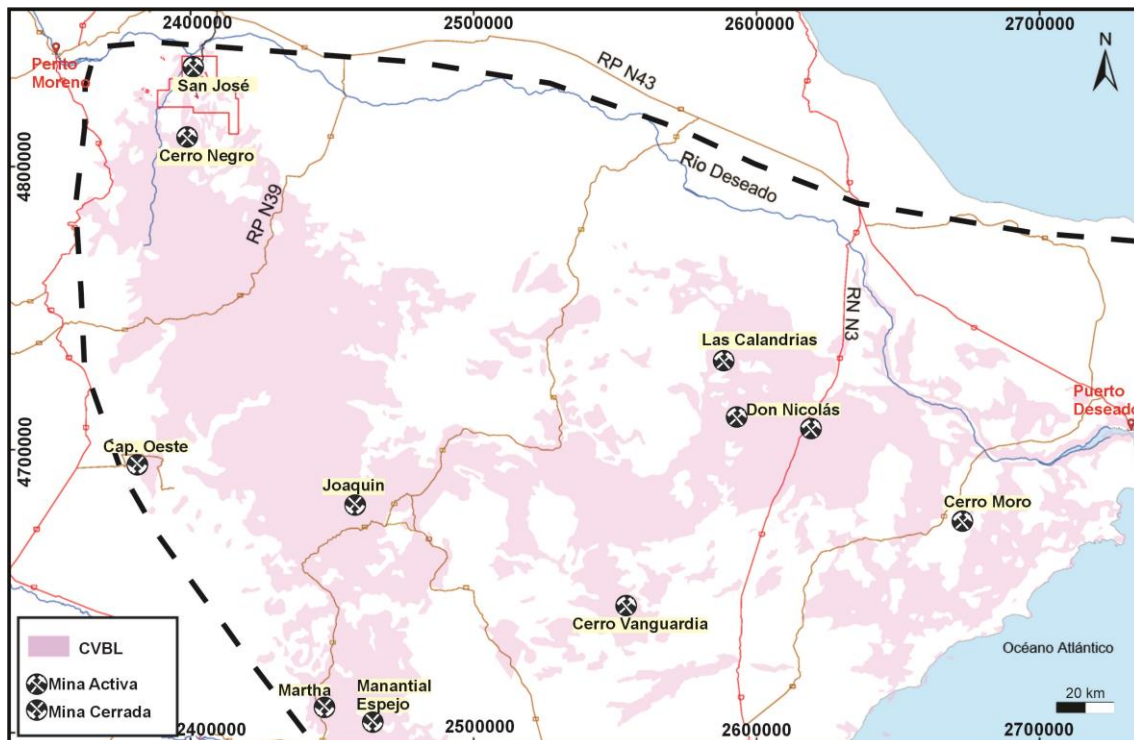


Figura 1.0. Ubicación de la Provincia Geológica Macizo del Deseado (línea punteada negra). En el recuadro rojo se ubica el Yacimiento San José. Asimismo, se indica la ubicación de los yacimientos mineros más relevantes de la zona. Abreviatura: CVBL: Complejo Volcánico Bahía Laura.

1.1 Objetivos

El objetivo general es el estudio geológico y geoquímico de la veta Micaela del Yacimiento San José.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Mediante la descripción de muestras de testigo de perforación diamantina y/o muestras tomadas en interior de mina, se pretende definir la mineralogía de la mena y ganga de la veta, estableciendo las asociaciones paragenéticas y caracterizando la roca de caja y su alteración hidrotermal.
- Con la información de las leyes de Au y Ag, se busca realizar diagramas de cocientes metálicos con el fin de establecer una posible zonación metalífera vertical.
- Relacionar la información estructural existente con los nuevos datos obtenidos y proponer un modelo cinemático posible para la falla que atraviesa la veta y su relación de temporalidad con esta.

1.2 Ubicación del área de estudio

El Yacimiento San José (Fig. 1.1), al cual se accede por la ruta provincial N° 43, comprende una superficie de 500 km². Se ubica a unos 50 km al oeste de la localidad de Perito Moreno y a 4 km al oeste del río Pinturas, en la provincia de Santa Cruz.

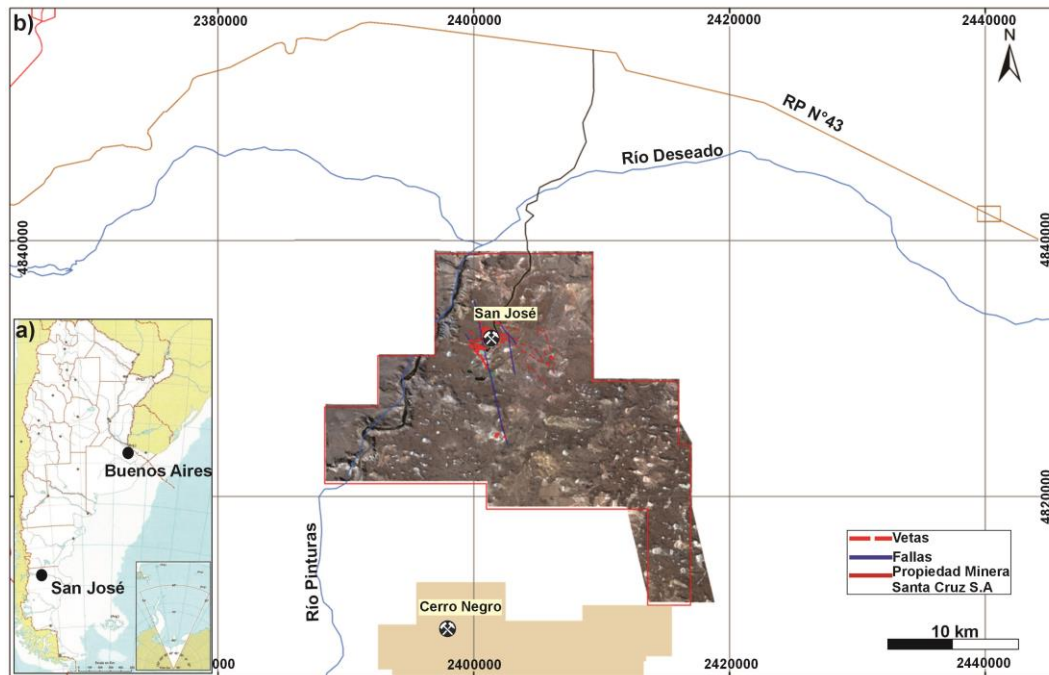


Figura 1.1. Ubicación y acceso al área de estudio. a) Ubicación del Yacimiento San José al sur de la Patagonia argentina. b) Rutas y vías de acceso principales al yacimiento.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Con el fin de lograr los objetivos propuestos, se diagramó un plan de trabajo que comprendió tres etapas: la recolección de muestras y la compilación de datos geoquímicos para su posterior procesamiento; los estudios de laboratorio (estudios petrográficos y calcográficos, difracción de rayos X); y, por último, la descripción e interpretación de la veta Micaela.

2.1 Trabajos de gabinete

Entre junio del año 2021 y marzo del 2022, se buscaron y seleccionaron testigos de perforación que interceptaron la veta Micaela a ambos lados de la falla Giovanna, tomando como referencia las cotas 400 y 500 msnm, con fines comparativos entre ambos segmentos de la veta (cota de la superficie del yacimiento a 560 msnm). Una vez obtenidos, se llevaron a cabo la descripción detallada y la captura fotográfica de las porciones de veta interceptadas y de la roca de caja. Posteriormente, se seleccionaron muestras representativas para estudios petrográficos y calcográficos.

Para la ubicación de las muestras obtenidas de los sondeos realizados, tanto desde superficie como de interior de mina, se realizaron mapas y secciones elaboradas con el software Mineplan V15.8, programa otorgado por la empresa Minera Santa Cruz, S.A, cuyas licencias son renovadas anualmente.

Las ilustraciones de este trabajo fueron realizadas con el software CoreIDRAW 2025 y las secciones longitudinales, transversales y en planta fueron generadas con el software Leapfrog 2022.1. En cuanto a la generación de mapas e imágenes satelitales, se utilizaron ArcGIS 10.1 y *Google Earth Pro*. Tanto Leapfrog 2022.1 como Mineplan V15.8 y ArcGIS fueron provistos y autorizados para su uso por Minera Santa Cruz, S.A.

2.2 Estudios petrográficos y calcográficos

Las secciones delgadas fueron realizadas por el laboratorio privado Tecterra de Bahía Blanca, mientras que los estudios petro-calcográficos se llevaron a cabo en el laboratorio de Yacimientos Minerales del Departamento de Geología-INGEOSUR de la Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca.

Se estudiaron un total de 8 secciones delgadas provenientes de sondeos de superficie e interior de mina (Tabla 1). Dos de las cuales fueron estudiadas para describir petrográficamente la roca de caja de la veta Micaela, mientras que las 6 secciones restantes fueron analizadas petrográficamente y calcográficamente del relleno de la veta Micaela (Fig. 2.0).

	MICAELA OESTE		MICAELA ESTE	
COTA 500	SJD-2257 (M1-M2)	SJD-2236	SJD-1838 (M8)	SJM-202 (M6)
COTA 400	SJD-2258 (M3)	SJM-343	SJM-477 (M4-M5)	SJD-1579 (M7)

Tabla 1. Ubicación de los sondeos en función de la cota; además, se especifica el número de muestras obtenidas en cada sondeo.

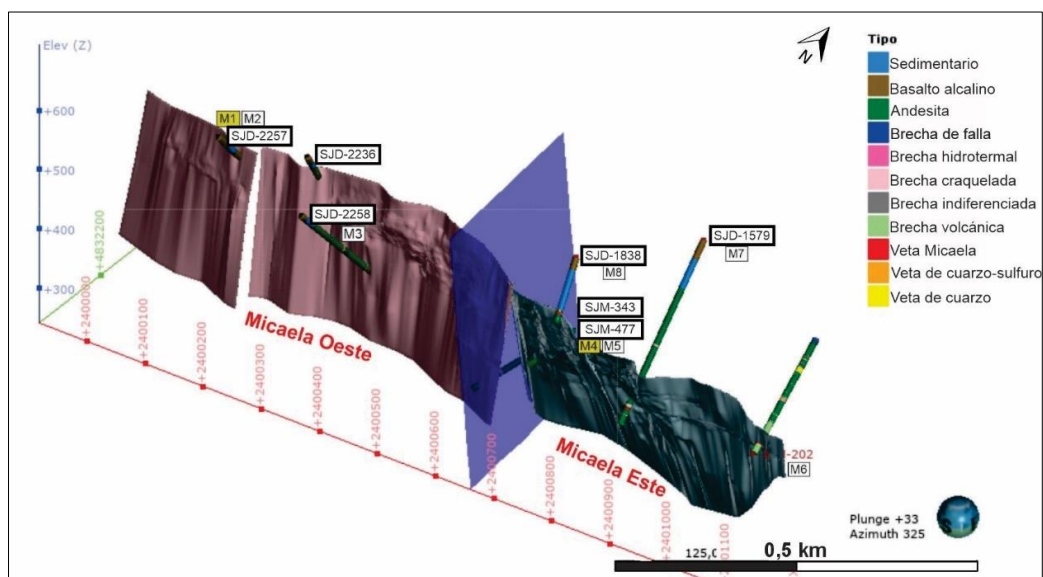


Figura 2.0. Vista general de los sondeos analizados con su respectiva posición respecto a las vetas de interés. Se detalla el número de muestra en cada uno; las muestras M1 y M4 corresponden a la roca de caja (Formación Bajo Pobre), mientras que las restantes son de la estructura mineralizada. En esta sección, además, se observa el buzamiento de cada segmento de la veta: Micaela Oeste con buzamiento al sur y Micaela Este con buzamiento al norte. Sección realizada con el programa Leapfrog 2022.1.



Para el estudio de las muestras se utilizó el microscopio óptico de transmisión y reflexión Leica DM750P de luz transmitida y reflejada. Se utilizaron las abreviaturas sugeridas por Whitney y Evans (2010) para referirse a los silicatos, óxidos y sulfuros indicados en las fotografías.

La clasificación de la roca de caja se realizó según la composición modal de los fenocristales siguiendo los criterios de Streckeisen (1979). El conteo de cristales se efectuó mediante la estimación visual del porcentaje (%) de acuerdo con Dorado (2015) y la clasificación litológica en función de la granulometría de los cristales según Hibbard (1995).

Se optó por utilizar la clasificación de la alteración hidrotermal con base en el mineral más abundante, propuesta originalmente por Corbett y Leach (1998) y ampliamente empleada por investigadores de la región (Zubia *et al.*, 1999; Lafont *et al.*, 2003; Rubinstein y Morello, 2006; Sillitoe, 2010; Pons, 2018). La descripción del grado de alteración (leve, moderada, intensa) se basa en Meyer y Hemley (1967).

La clasificación de las texturas de cuarzo es de carácter descriptivo y se realizó con base en Dong *et al.* (1995), en concordancia con otros estudios sobre las mineralizaciones jurásicas de la Patagonia (Echavarría, 1997; López *et al.*, 2008; Condori *et al.*, 2013; Pons, 2018).

2.3 Estudios de Rayos X

Los análisis de difracción de Rayos X (DRX) se realizaron sobre minerales puntuales de dos muestras de la roca de caja de la veta Micaela a las cotas de 500 y 400 msnm, respectivamente, con el fin de identificar el tipo de arcilla presente en las mismas. Asimismo, se analizó una muestra de veta del SJD-1579 para identificar los sulfuros predominantes. Por último, debido a su alto grado de alteración, se analizaron macroscópicamente los óxidos presentes en muestras de mano de un sondeo realizado desde la superficie: el SJD-2236. Se utilizó un difractómetro Rigaku modelo D-MAX-IIIIC con radiación $\text{CuK}\alpha$ y monocromador de grafito, operado a 35 kV y 15 mA, perteneciente al Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur.

Se realizaron difractogramas entre 2 y 60° de 2θ , y la interpretación de los resultados se llevó a cabo de acuerdo con el método propuesto por Hanawalt *et al.* (1986), empleando el software Jade v.6 (*Materials Data Inc.*), servicio brindado por la Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca.

2.4 Geoquímica

Para el análisis de los datos geoquímicos compilados de metales preciosos de la veta Micaela, se utilizó el programa ioGAS 8.1.1, con el cual se generaron los gráficos correspondientes.

En cuanto al análisis de los metales base (Cu, Fe, Pb y Zn) y su vinculación con Au y Ag, se utilizaron los programas Leapfrog 2025.1.1 y Excel (Office 365, V2024).

3. ANTECEDENTES

3.1 Geología Regional del Macizo del Deseado

El Macizo del Deseado (Fig. 3.0), definido por Harrington (1962). Esta interpretación se basaba en comparaciones relativas con las cuencas sedimentarias que lo rodean, conocidas como cuenca del Golfo San Jorge y cuenca Austral, que presentan una historia de subsidencia mesozoica notable (De Giusto *et al.*, 1980; Panza *et al.*, 2005).

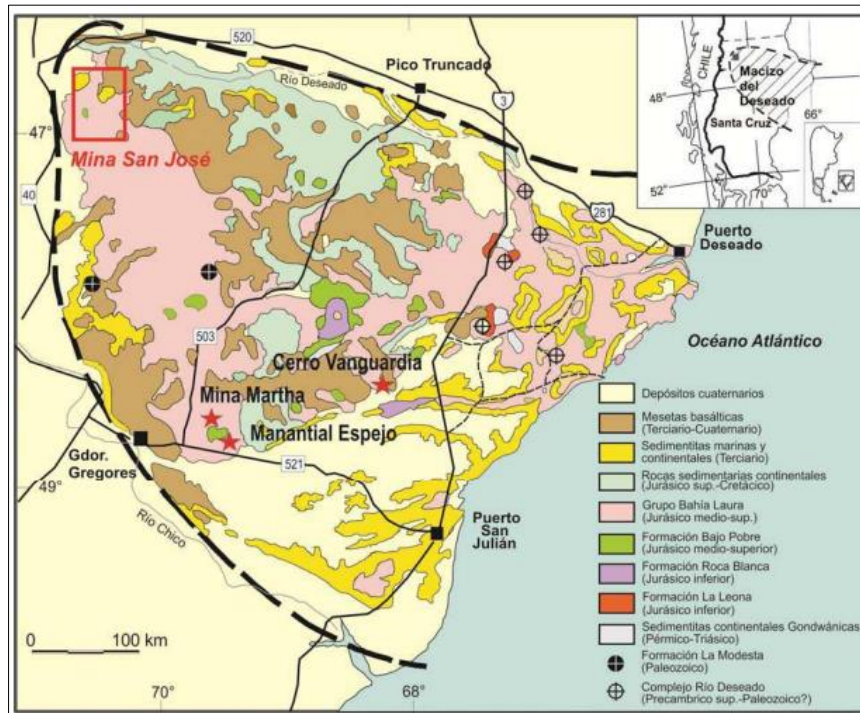


Figura 3.0. Mapa geológico simplificado del Macizo del Deseado en el que se indica la ubicación del yacimiento San José (tomado de Guido *et al.*, 2002).

No obstante, tal comportamiento rígido y tectónicamente estable (Panza, 2005) ha sido cuestionado en las décadas posteriores a su definición original, debido a un gran número de estudios multidisciplinarios realizados en la región, motivados en gran medida por la exploración de hidrocarburos y metales preciosos (p.ej., Homoc y Constantini, 2001). De acuerdo con esto, se han identificado y establecido múltiples episodios de deformación tectónica de diversos caracteres y magnitudes desde el Paleozoico en adelante, algunos de los cuales indujeron episodios de subsidencia que generaron depocentros volcano-sedimentarios (Homoc y Constantini, 2001; Giacosa *et al.*, 2010; Navarrete *et al.*, 2023). Así, la región ha sido denominada, paralelamente, como cuenca del Deseado (Homoc y Constantini, 2001) o bien como Región del Deseado (Giacosa *et al.*, 2010).

El basamento de esta provincia está representado por asomos aislados de rocas metamórficas e ígneas de poca extensión areal, localizados al este y al centro-oeste de la provincia geológica. Dentro de este basamento, las rocas más antiguas corresponden al Complejo Río Deseado (Viera y Pezzuchi, 1976), de edad precámbrica tardía a silúrica (Giacosa *et al.*, 2002; Pankhurst *et al.*, 1993) aflorantes en el este del Macizo del Deseado, mayormente en las estancias Dos Hermanos, Tres Hermanas y Bahía Laura. Levemente más modernas son las rocas metamórficas agrupadas en la Formación La Modesta,



representada por dos asomos aislados de rocas leptometamórficas hallados por Di Persia (1962) en “La Bajada-El Tranquilo” y “La Josefina-La Modesta”, en el centro-oeste del Macizo del Deseado. Esta unidad incluye rocas metamórficas de bajo grado de edad silúrica-devónica. Tanto Di Persia (1962) como Pezzi (1970) y Moreira *et al.* (2005) interpretaron que las rocas sedimentarias que constituyeron el protolito de la Formación La Modesta se depositaron en una cuenca de antearco de tipo protopacífica, que comenzó a desarrollarse mientras se exhumaba el Complejo Río Deseado situado al este.

Sobre este basamento y depositadas en un ambiente extensional con fallamiento de orientación predominante noroeste-sureste, se apoyan en discordancia angular rocas sedimentarias continentales epiclásticas de edad pérmica a triásica, correspondientes a los grupos Tres Cerros y El Tranquilo (Jalfin y Herbst, 1995; Navarrete *et al.*, 2023). El primero incluye las Formaciones La Golondrina y La Juanita (Archangelsky, 1967 y Arrondo, 1972), mientras que el Grupo El Tranquilo está formado por las Formaciones Cañadón Largo y Laguna Colorada (Jalfin y Herbst, 1995).

Posteriormente, en el Triásico Tardío, un episodio de subducción horizontal afectó la región sudoeste de Gondwana, provocando la migración del magmatismo de arco hacia el interior del supercontinente bajo un régimen de acortamiento tectónico. Este episodio causó la deformación del relleno sedimentario de las cuencas permo-triásicas antes mencionadas y la intrusión de múltiples granitoides con signatura geoquímica calcoalcalina y adakítica. Estos cuerpos se agrupan en el Batolito de la Patagonia Central, aflorante de manera discontinua desde el sureste de Río Negro hasta el noreste de Santa Cruz, en el Macizo del Deseado (ver Navarrete *et al.*, 2019 y citas allí incluidas). Allí, estos cuerpos afloran en las estancias La Calandria, La Leona, La Golondrina y Dos Hermanos, en la región oriental del Macizo del Deseado, y son conocidos como la Formación o Unidad La Leona (Arrondo *et al.*, 1972; Navarrete *et al.*, 2023).

Durante el Jurásico, se desarrolló un evento magmático de gran escala en la Patagonia, la Península Antártica y el Bloque *Elsworth-Whitmore*, que dio origen a una de las provincias ígneas silíceas (*SLIP*) más importantes del planeta, conocida como *SLIP* Chon Aike (Kay *et al.*, 1989; Pankhurst *et al.*, 1998; Bryan y Ernst, 2008). Su desarrollo, que se produjo parcialmente contemporáneo con el magmatismo máfico que creó las grandes provincias ígneas (*LIP*) de Karoo y Ferrar, abarcó un lapso aproximado de 40 Ma, desde el Jurásico Temprano hasta el Jurásico Tardío (~193 - 150 Ma; ver Navarrete *et al.*, 2024 para una revisión; Fig. 3.1 y 3.2). Durante ese periodo, múltiples erupciones volcánicas extruyeron un gran volumen de material piroclástico y lávico, de tipo félsico e intermedio, en la Patagonia y la Península Antártica. En el Macizo del Deseado, tales rocas volcánicas se agrupan en las formaciones Bajo Pobre (Lesta y Ferello, 1972), Chon Aike (Stipanovic y Reig, 1957; Archangelsky, 1967) y La Matilde (Stipanovic y Reig, 1957; Archangelsky, 1967), las cuales integran el Complejo Volcánico Bahía Laura (CVBL) (Sruoga *et al.*, 2008 y citas allí incluidas).

Desde el punto de vista tectónico, el desarrollo de la *SLIP* Chon Aike estuvo vinculado a un evento extensional que habilitó múltiples depocentros de rumbo predominante noroeste-sureste, el cual habría marcado el inicio de la fragmentación de Gondwana (Uliana *et al.*, 1985; 1989; Homocv y Constantini, 2001; Giacosa *et al.*, 2010; Navarrete, 2021; Navarrete *et al.*, 2019; 2020a; 2021; 2023; 2024 y citas allí incluidas).

Históricamente, se ha considerado que la evolución temporal de esta provincia estaba definida por una migración del magmatismo desde la región oriental de la Patagonia hacia

la occidental, que definía 3 eventos conocidos como V1, V2 y V3 (Pankhurst *et al.*, 2000). No obstante, la creciente base de datos geocronológicos de este evento (Fig. 3.2) ha permitido mejorar el entendimiento de su evolución espacio-temporal, sugiriendo una migración del magmatismo desde los bordes hacia el centro (Fig. 3.1) (Navarrete *et al.*, 2024). En este sentido, las rocas volcánicas del sector cordillerano de la provincia de Santa Cruz serían las más modernas de esta provincia magmática (Fig. 3.2)

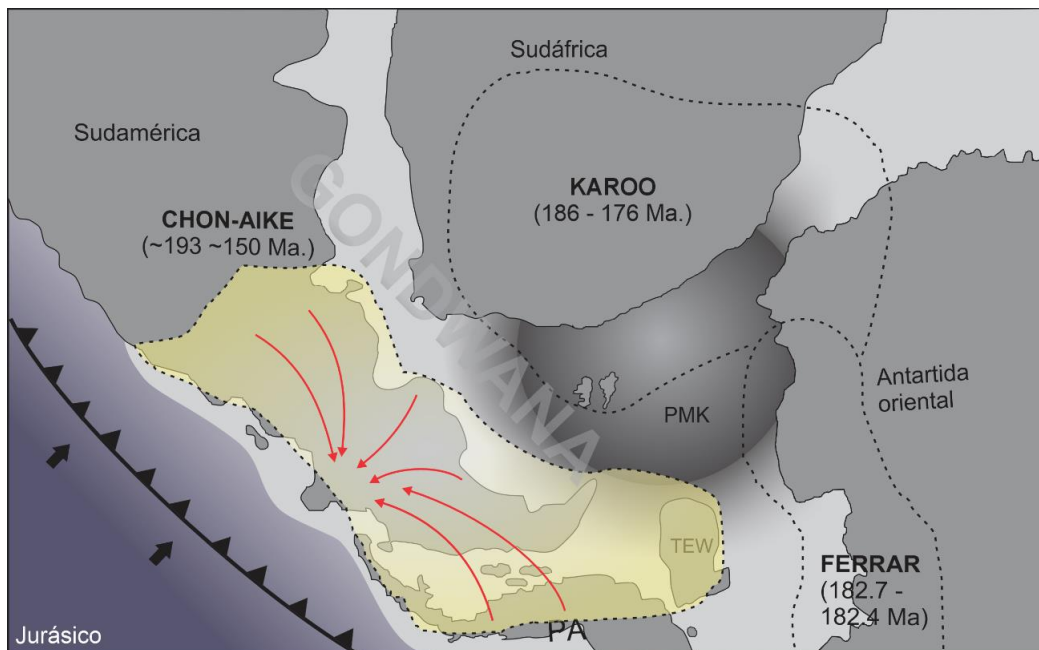


Figura 3.1. Esquema paleogeográfico del sudoeste de Gondwana que representa la actividad magmática jurásica de la Provincia Chon Aike asociada a las primeras etapas de la fragmentación de Gondwana. Nota: las flechas rojas indican la evolución temporal según Navarrete *et al.* (2024).

La Formación Bajo Pobre aflora de manera discontinua en casi toda el área del Macizo del Deseado, siendo los afloramientos más destacados y extensos los que se localizan en la zona de Bajo Grande, en el centro de la provincia. Suelen ser aislados y de extensión limitada. Según una síntesis de Barrio *et al.* (1999), esta unidad está representada por basaltos, andesitas y aglomerados volcánicos básicos, con escasas rocas sedimentarias y tobas. Las dataciones radiométricas realizadas en los últimos años ubican la Formación Bajo Pobre entre 173 ± 8 y $150,6 \pm 2,0$ Ma (Tessone *et al.*, 1999 y Pankhurst *et al.*, 2000), correspondiente al Jurásico medio a superior (Aaleniano a Oxfordiano).

La Formación Chon Aike es la unidad con mayor representación en el Macizo del Deseado y se compone mayoritariamente de ignimbritas riolíticas, generalmente de alto grado, junto con tobas de ceniza de caída y lavas riolíticas subordinadas (p.ej., Archangelsky, 1967; Guido, 2002; Navarrete *et al.*, 2020a; Navarrete, 2021). Esta unidad es la más representada en el Macizo del Deseado. Por último, la Formación La Matilde se compone mayormente de tobas de ceniza, escasas ignimbritas y depósitos volcanoclásticos re-sedimentados, interdigitándose lateral y verticalmente con la Formación Chon Aike (Archangelsky, 1967).

La intensa actividad magmática jurásica de la *SLIP* Chon Aike estuvo asociada a una extensa actividad hidrotermal que dio lugar a depósitos epitermales de Au y Ag y

abundantes ocurrencias de tipo *hot spring* (Guido y Schalamuk, 2003; Guido y Campbell, 2011), muchas de las cuales constituyen verdaderos yacimientos de metales preciosos (Fernández *et al.*, 2008).

A fines del Jurásico y principios del Cretácico, se produjo en el Macizo del Deseado un evento de acortamiento tectónico que causó la inversión tectónica positiva de múltiples depocentros extensionales jurásicos (Navarrete *et al.*, 2016; Perez Frasette *et al.*, 2024). Dicho evento indujo la formación de depocentros sinorogénicos en los que se depositaron rocas sedimentarias que conforman la Formación Bajo Grande (Perez Frasette *et al.*, 2024).

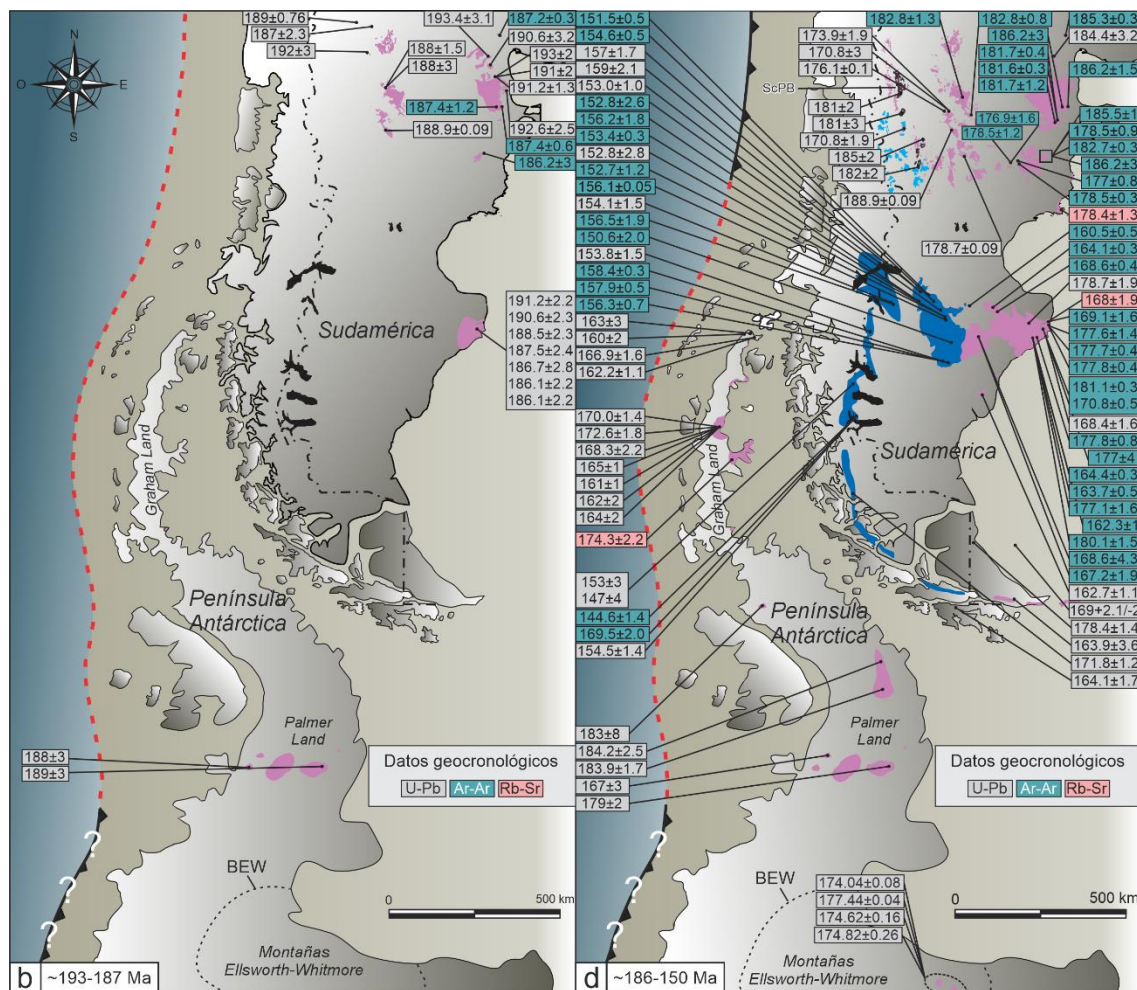


Figura 3.2. Datos geocronológicos del magmatismo jurásico de la SLIP Chon Aike (tomado de Navarrete *et al.*, 2024).

Cubriendo esta unidad en discordancia angular, se encuentran las rocas sedimentarias y piroclásticas del Grupo Baqueró, formado por las formaciones Anfiteatro de Ticó, Bajo Tigre y Punta del Barco (Romero *et al.*, 2016 y citas allí incluidas).

Durante el Cenozoico se producen, entre otros eventos geológicos, dos intrusiones marinas del Océano Atlántico. La primera de ellas, escasamente representada en el Macizo del Deseado y de edad daniana, representada en la Patagonia por la Formación Salamanca y unidades equivalentes (ver Foix *et al.*, 2022 y citas allí incluidas). Por su parte, la segunda intrusión se desarrolló durante el Oligoceno tardío - Mioceno inferior y

tuvo un carácter más regional. Esta ingresión marina afectó a gran parte de la Patagonia, habiéndose incluso conectado con una ingresión del Pacífico que afectó al sur de Chile (ver Encinas *et al.*, 2018), la cual dio origen a múltiples unidades sedimentarias, tales como Formación Chenque (Bellosi, 1987), Monte León (Bertels, 1970), Centinela (Furque y Camacho, 1972), etc.

Asimismo, el Cenozoico del Macizo del Deseado se caracteriza por la extrusión de un gran volumen de magmas máficos que conformaron extensos derrames lávicos y que hoy en día afloran como grandes mesetas basálticas. Este magmatismo cenozoico tuvo un carácter de intraplaca y habría estado vinculado a la apertura de dos ventanas astenosféricas y a la perturbación de la zona de transición del manto (Navarrete *et al.*, 2020b y citas allí incluidas).

Por último, la columna estratigráfica se completa con los “Rodados Patagónicos”, constituidos por las formaciones Mata Grande (Panza y de Barrio, 1987; 1989) y La Avenida (Panza y de Barrio, 1989), que corresponden a mantos de gravas arenosas de origen fluvio-glacial del Plioceno superior - Pleistoceno inferior y cubren las unidades antes mencionadas.

3.2 Geología y antecedentes locales del Yacimiento San José

A nivel regional, los primeros relevamientos geológicos de esta zona corresponden a los realizados durante el levantamiento de la Hoja Geológica 4769-IV El Pluma (Cobos *et al.*, 2003), en la cual se describen los diferentes sectores mineralizados del Yacimiento San José, destacándose **El Pluma y el Pluma Sur, Huevos verdes norte, centro y sur, y Cerro Saavedra oeste** (Fig. 3.3)

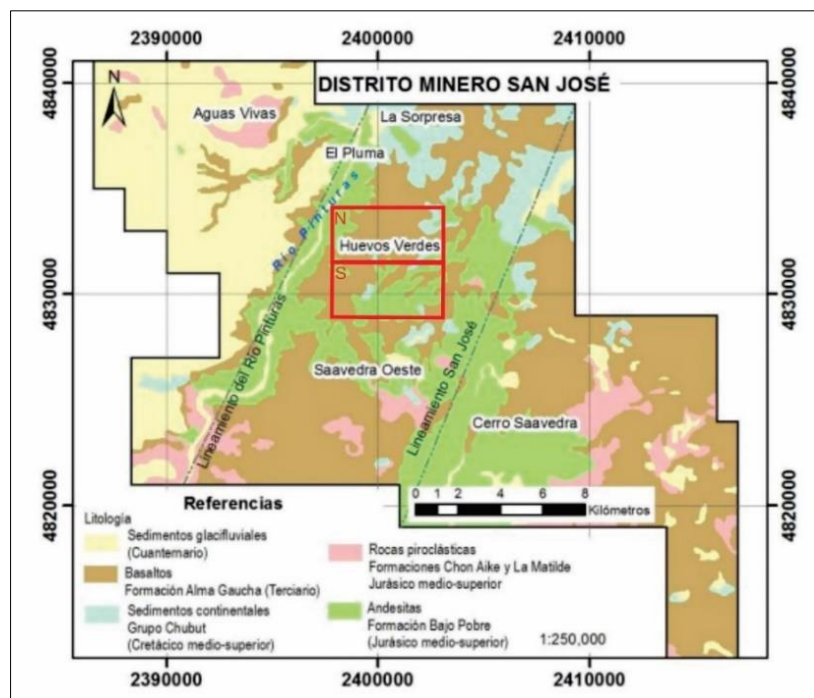


Figura 3.3. Mapa geológico del Yacimiento San José, con los principales lineamientos regionales, ambos con orientación noreste-sudoeste (tomado de Rodríguez, 2012). Se muestra en rojo la división de Huevos Verdes en dos zonas: Huevos Verdes Norte y Huevos Verdes Sur.



Los afloramientos más antiguos en el yacimiento corresponden a intercalaciones de depósitos volcánoclasticos secundarios retrabajados con coladas de lava de composición andesítica y andesítico-basáltica, asignados a la Formación Bajo Pobre. Las mejores exposiciones de esta unidad se encuentran en ambos márgenes del río Pinturas, con una extensión aproximada de 10 km (Cobos *et al.*, 2003). Si bien no se conoce el espesor real de esta unidad, ya que su base no está expuesta, se ha estimado un espesor de 150 m en el área abarcada por la Hoja Geológica Destacamento La María (Panza *et al.*, 2001), que linda al este con la Hoja Geológica El Pluma.

La Formación Bajo Pobre está formada por depósitos volcánoclasticos secundarios matriz soportada, con cantidades variables de clastos subangulares de lavas andesíticas. La matriz terrígena contiene cristaloclastos de plagioclasa, piroxeno, hornblenda, biotita y feldespatos potásicos en proporciones bajas (Echavarría *et al.*, 2021).

Las coladas de lava presentan, por lo general, texturas afaníticas a porfíricas con fenocristales de plagioclasa y anfíboles (Echavarría *et al.*, 2021).

Localmente, Dietrich *et al.*, (2012) establecieron una edad kimberidgiana-tithoniana para estas rocas según datos radiométricos $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (151,3±0,7 - 144,7±0,3 Ma).

Respecto a la edad de la mineralización, la cual se aloja en la Formación Bajo Pobre, Rodríguez (2012) obtuvo una edad $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de 151,6±0,6 Ma en la veta Huevos Verdes mediante el análisis de adularia (Fig. 3.4). Dietrich *et al.*, (2012) obtuvieron una edad similar de 151,2±0,5 Ma en una de las estructuras ubicadas en el sector Sorpresa (en cercanías de El Pluma).

Rodríguez (2012) indicó que la roca de caja y la mineralización estarían temporalmente vinculadas y correspondieran al mismo evento volcánico. En este sentido, la actividad hidrotermal responsable de la formación del depósito epitermal se iniciaría inmediatamente después del emplazamiento de las rocas volcánicas.

Asimismo, Dietrich *et al.*, (2012) analizaron la edad de mineralización en cristales de illita de la alteración de la roca de caja y de la veta Huevos Verdes, en el sector El Sorpresa. Las edades obtenidas fueron de 140,8 ± 0,2 Ma y 140,5 ± 0,3 Ma. La diferencia estaría vinculada a la pérdida de argón en la illita de granulometría fina (Dietrich *et al.*, 2012).

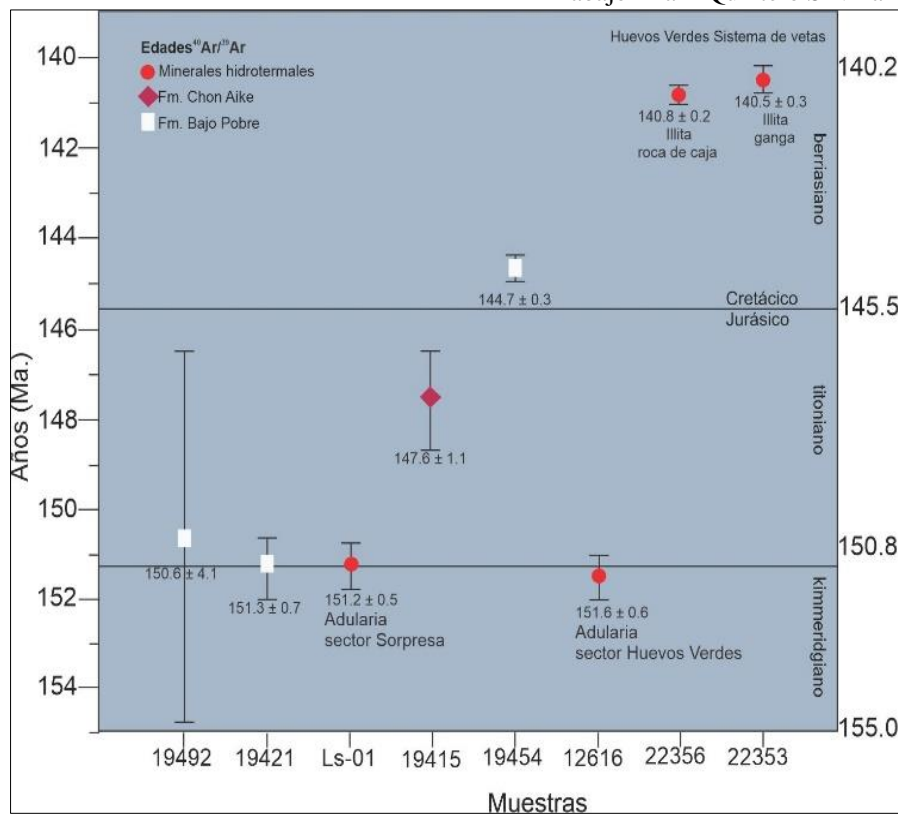


Figura 3.4. Edades $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ y el error correspondiente de las muestras del Yacimiento San José (modificado de Rodríguez, 2012).

Inmediatamente por encima de la Formación Bajo Pobre, se disponen las rocas piroclásticas de la Formación Chon Aike constituidas principalmente por ignimbritas riolíticas a riodacíticas (Archangelsky, 1967) y, de forma subordinada, niveles de la Formación La Matilde. Esta última se presenta con escasos afloramientos dentro del área de estudio, los cuales se componen mayormente de tobas de ceniza, de escasas ignimbritas de bajo grado y de depósitos volcanoclásticos secundarios (Archangelsky, 1967).

Cubriendo las rocas volcánicas y volcanoclásticas jurásicas se encuentran rocas cretácicas del Grupo Chubut (Lesta y Ferello, 1972), pertenecientes a las formaciones Bajo Barreal y Laguna Palacios, las cuales se disponen en relación de discordancia angular sobre las rocas subyacentes.

Basaltos del Cenozoico forman una cubierta extensa en el área, con espesores máximos que oscilan entre 20 y 30 m, alcanzando en sectores los 80 m, según sondeos realizados por Minera Santa Cruz, S.A. Estos basaltos, de edad paleógena, se correlacionan con la Formación Alma Gaucha (Panza, 1982) del Oligoceno inferior.

3.3 Contexto estructural de las mineralizaciones jurásicas

Durante el Mesozoico y el Cenozoico, la actividad tectónica en el Macizo del Deseado estuvo vinculada a la ruptura de Gondwana y a la apertura del Atlántico Sur. Según Reimer *et al.* (1996), esta deformación fue producto de la combinación de dos regímenes tectónicos: un compresivo al oeste, asociado a la subducción en el margen convergente, y otro extensional al este, asociado a la apertura oceánica. Estos autores identificaron tres sistemas principales de deformación: La Frisia, Zanjón del Pescado y Bajo Grande (Fig.

3.5), que presentan diferentes direcciones de cizalla y fallas que evolucionaron a lo largo del tiempo.

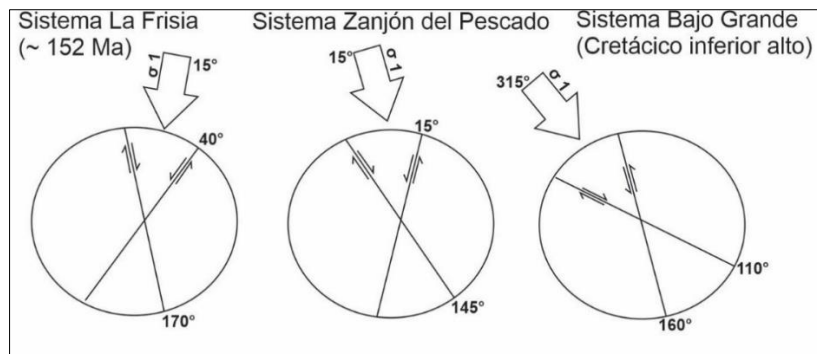


Figura 3.5. Sistemas de deformación en el Macizo del Deseado entre el Triásico y el Cretácico Superior propuestos por Reimer *et al.* (1996). Observar la rotación en sentido antihorario desde los N15° hasta los N315°.

Por otro lado, Panza *et al.* (1982) analizaron la estructura de la región (Fig. 3.6), identificando dos sistemas de fracturación principales: El Tranquilo y Bajo Grande. El sistema El Tranquilo, con fracturas sinestrales y dextrales, se habría desarrollado entre el Triásico superior y el Jurásico medio; mientras que el sistema Bajo Grande, con direcciones similares, se formó entre el Jurásico superior y el Cretácico inferior. De acuerdo con Echavarría (1997), ambos sistemas desempeñaron un papel crucial en la tectónica de la región, lo que además indica que el sistema El Tranquilo actuó bajo esfuerzos compresivos del este-noreste, mientras que el sistema Bajo Grande fue afectado por esfuerzos del suroeste.

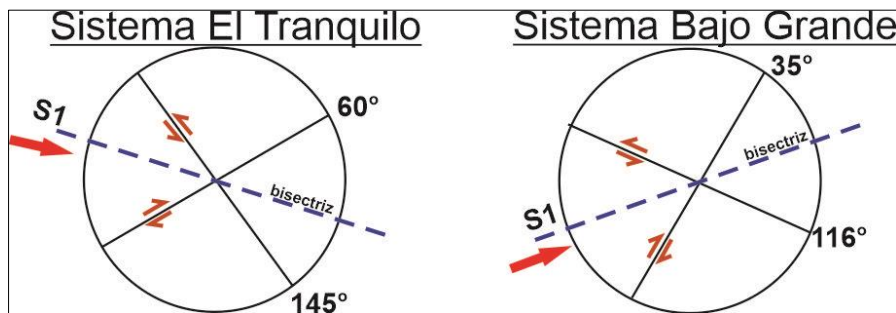


Figura 3.6. Sistemas de fracturación propuestos por Panza *et al.* (1982).

Finalmente, Giacosa *et al.* (2008) propusieron tres fases de deformación para el sector centro-oriental del Macizo del Deseado: una fase jurásica de extensión oblicua, seguida de una fase cretácica de transpresión y, por último, una fase compresiva durante el Neógeno.

De acuerdo con los datos geocronológicos disponibles, el emplazamiento de los sistemas epitermales del Macizo del Deseado se produjo durante el Jurásico Inferior y Superior, posiblemente hasta el Cretácico Inferior, en los últimos estadios del volcanismo del Complejo Volcánico Bahía Laura (Echavarría *et al.*, 2005). Según la dirección principal, Echavarría *et al.* (2005) dividieron las mineralizaciones en dos grupos. El primer grupo de mineralizaciones corresponde a una cinemática dextral-normal y a una orientación

general de oeste-noroeste a noroeste. Dentro de este grupo se encuentran la mina Cerro Vanguardia (Giacosa *et al.*, 2008) y la mina Manantial Espejo (Echeveste, 2005), mientras que, el Proyecto La Josefina (Moreira *et al.*, 2005), representa la dirección secundaria de este sistema con orientación nor-noreste y cinemática sinistral-normal. Echavarría *et al.* (2005) indican que estructuras con rumbo este-noreste a este-oeste, producto de fallamiento dextral, en su gran mayoría se asocian a mineralizaciones discontinuas y delgadas, de menor importancia económica. Este conjunto de mineralizaciones posee una edad entre 156 y 152 Ma (Moreira *et al.*, 2009; Wallier, 2009).

El segundo grupo de mineralizaciones se asocia a una cinemática sinistral (Páez *et al.*, 2010), como la veta Huevos Verdes del Yacimiento San José (Gutiérrez, 2006), la veta Eureka de la mina Cerro Negro (López, 2006) y la veta R4 de la mina Martha (Páez, 2012). Estas mineralizaciones poseen edades entre 165 y 151 Ma (Dietrich *et al.*, 2005; Gutiérrez, 2006; López, 2006) que se superponen a las del primer grupo, lo que sugiere que estas estructuras podrían ser producto de reactivaciones de fallas previas (Páez *et al.*, 2010).

En el Yacimiento San José, la veta Huevos Verdes está emplazada en una zona de cizalla de rumbo aproximado nor-noroeste asociada a una cinemática sinistral. Los clavos mineralizados se encuentran en flexuras hacia el noroeste (rumbo N315° a N330°), lo que representaría zonas transtensionales y posiblemente subparalelas a σ_1 (Gutiérrez, 2006) (Fig. 3.7).

Para la veta Micaela, objeto de este estudio, el sentido de la cizalla propuesto es de rumbo oeste-noroeste y dextral, similar al comportamiento de las vetas ubicadas en El Pluma (Echavarría *et al.*, 2021; Fig. 3.8).

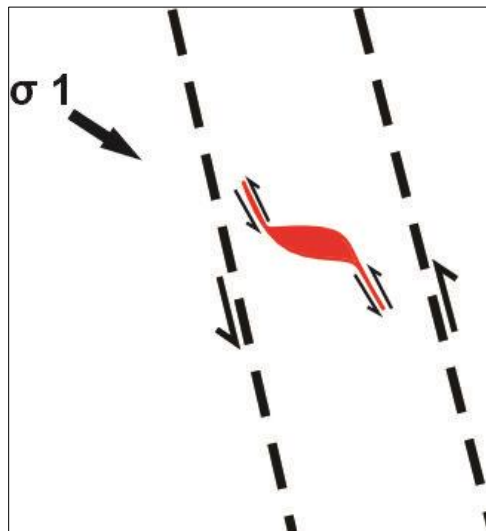


Figura 3.7. Modelo estructural de la veta Huevos Verdes, en el Yacimiento San José, emplazada a lo largo de una falla de cinemática sinistral de rumbo noroeste (tomado de Gutiérrez, 2006).

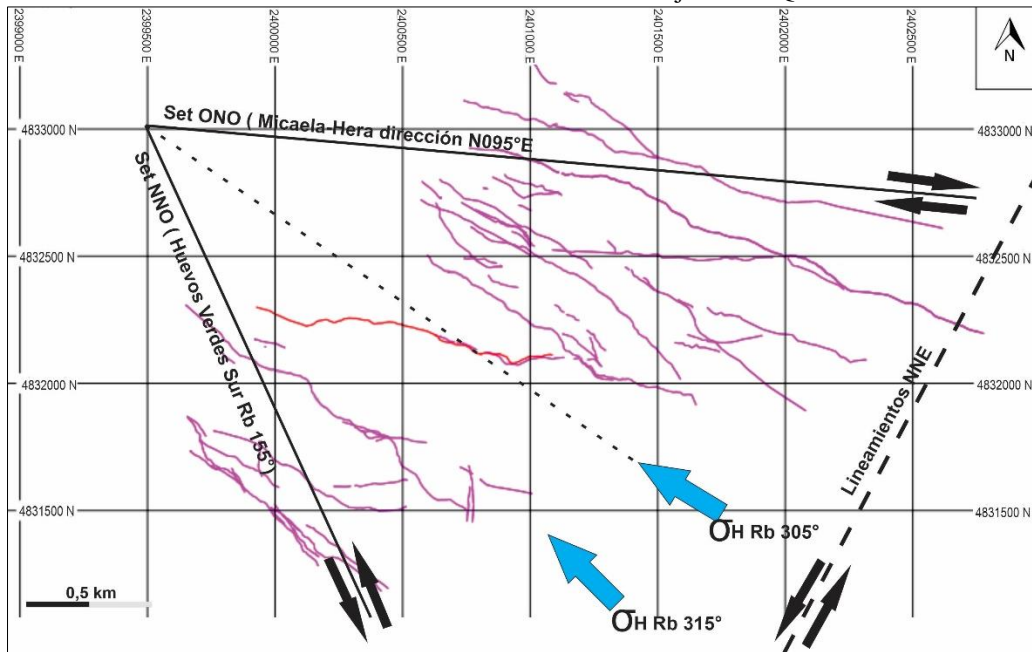


Figura 3.8. Modelo estructural actualizado del Yacimiento San José. Durante la mineralización, el esfuerzo horizontal máximo (σ_H) habría estado orientado entre N305° y N315°. En este contexto, las vetas con orientaciones mayores a N305° registraron movimientos sinestrales, mientras que las con orientaciones menores a N305° presentaron desplazamientos dextrales (modificado de Echavarría *et al.*, 2021). En rojo se destaca la veta Micaela.

4. RESULTADOS

Como se indicó previamente, la veta Micaela posee un rumbo general de oeste-noroeste a este-sureste (Fig. 3.8). De las observaciones realizadas en este trabajo, basadas en gran medida en el análisis de los sondeos descritos más adelante, surge que esta veta está dividida en dos estructuras menores: Micaela Oeste, buzante al sur, y Micaela Este, buzante al norte. Estos segmentos se encuentran limitados por la falla Giovanna de rumbo general norte-sur (Fig. 4.0), la cual ha sido previamente reconocida por Echavarría *et al.* (2021) en otros sectores del yacimiento e indicada como una estructura de primer orden a escala del yacimiento (Fig. 4.1).

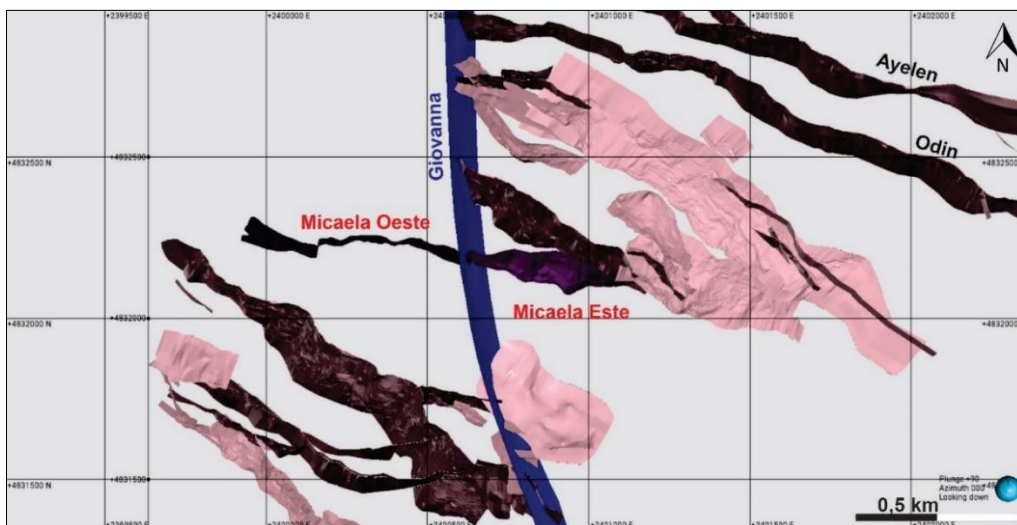


Figura 4.0. Mapa en planta a la cota de 400 msnm de las vetas principales del Yacimiento San José, que indica la morfología general y la posición de la veta Micaela y de la falla principal Giovanna. Asimismo, se muestran en rosado las restantes vetas del yacimiento y las zonas de explotación. Imagen generada con el programa Leapfrog 2022.1.

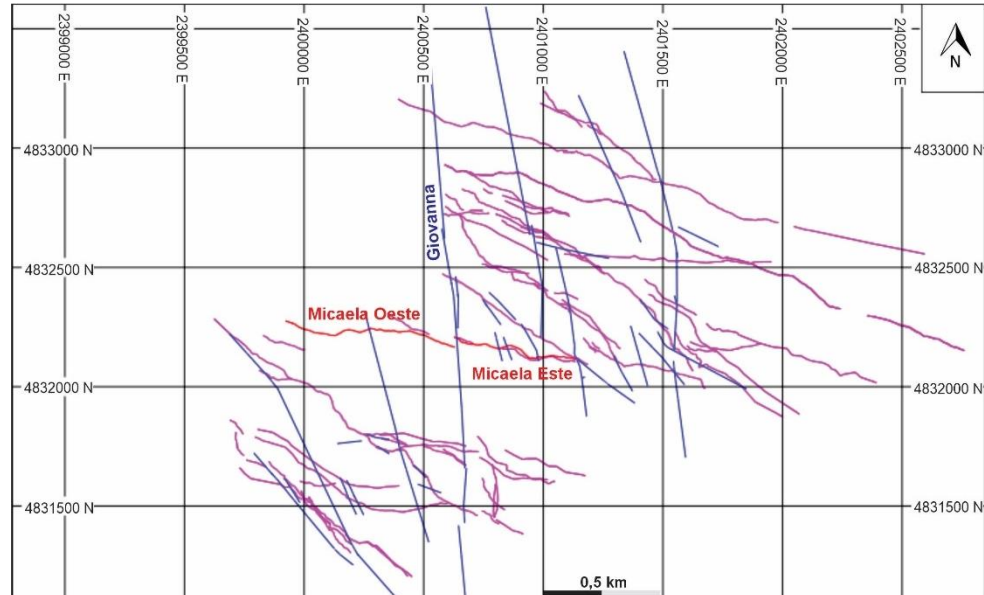


Figura 4.1. Mapa en planta a la cota de 400 msnm. Imagen generada con el programa Mineplan V15.8.

4.1 Caracterización de la roca de caja

4.1.1 Formación Bajo Pobre

Los sistemas vetiformes del Yacimiento San José se encuentran mayormente emplazados en rocas jurásicas asignadas a la Formación Bajo Pobre (Cobos *et al.*, 2003). Dado que esta unidad no aflora en el sector donde se encuentra la veta Micaela y solo se contacta mediante perforaciones, su caracterización se realiza con base en testigos corona (diamantina) obtenidos en diversos sondeos. Por un lado, el sondeo SJD-2257, realizado desde la superficie (Fig. 4.2), que intercepta el tramo oeste de la veta Micaela a la cota de 500 msnm; y, por otro, el pozo SJM-477, realizado desde el interior de la mina (Fig. 4.3), que intercepta el tramo este de la veta Micaela a la cota de 400 msnm.

El SJD-2257 (Fig. 4.2) es un sondeo con azimut de 356.73° , buzamiento de -49.17° y profundidad final de 95 m. De este sondeo se ha tomado la muestra M1 (roca de caja del techo de la veta Micaela Oeste). Las muestras obtenidas por este sondeo (Fig. 4.4) se caracterizan por presentar coloraciones verdosas y textura porfírica, compuestas por abundantes fenocristales de plagioclasa (25 %) y mafitos (30 %) (Fig. 4.5). Estos se encuentran inmersos en una pasta afanítica con fractura concoidea y pirita diseminada, y presentan una débil alteración argílica concentrada en las fracturas.

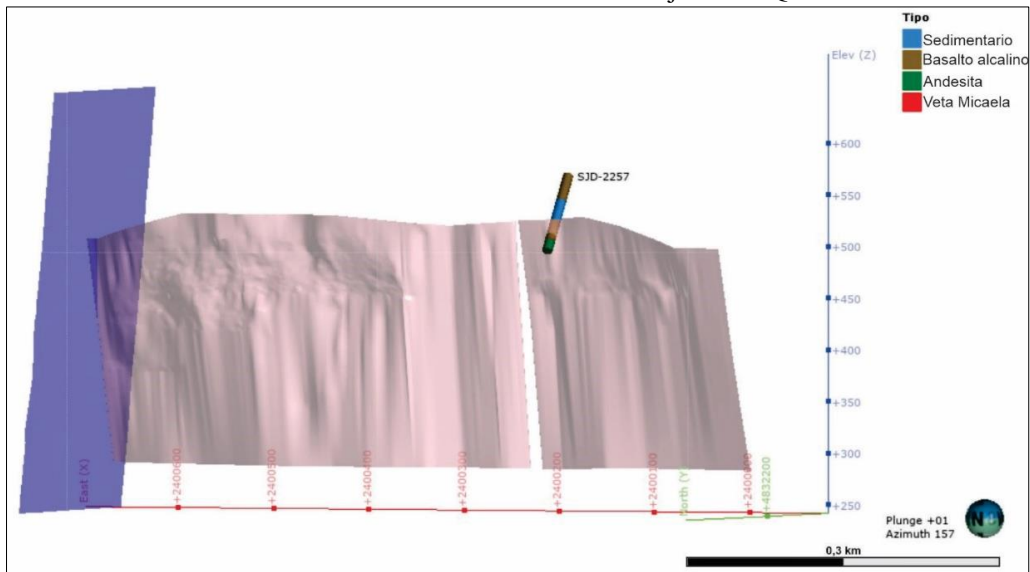


Figura 4.2. Sección longitudinal del sondeo SJD-2257 que intercepta (referencia en color rojo) la veta Micaela Oeste en la cota 500, limitando hacia el extremo izquierdo con la falla Giovanna. Sección realizada con Leapfrog 2022.1. La vista es hacia el sur.

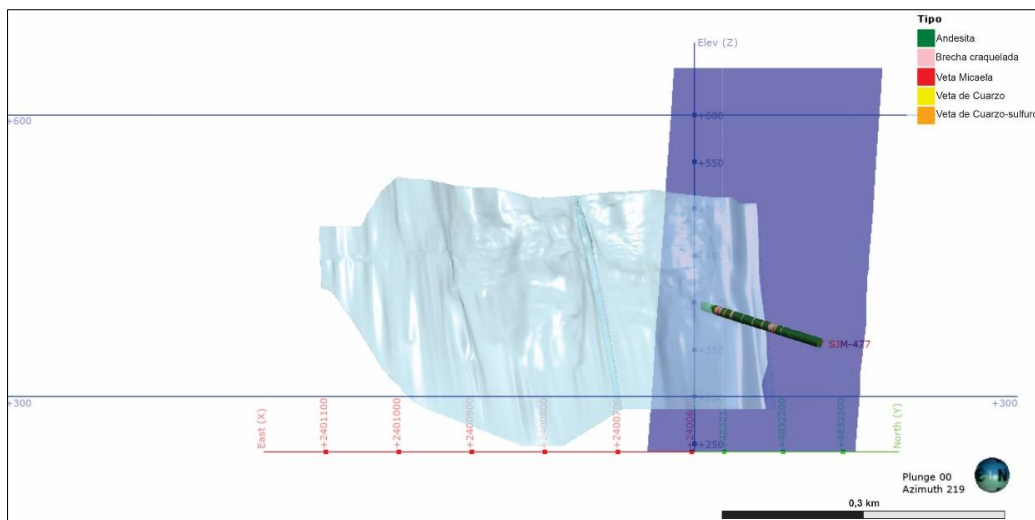


Figura 4.3. Sección longitudinal del sondeo SJM-477, que intercepta la veta Micaela Este (referencia en color rojo) en la cota de 400 msnm, limitando hacia el extremo derecho con la falla Giovanna. Sección realizada con Leapfrog 2022.1. La vista es hacia el sur.



Figura 4.4. Fotografía general del sondeo SJD-2257. El tramo 81,15-81,45 m corresponde a la roca de caja de techo y el tramo 82,45-82,75 m a la roca de caja de piso. La veta Micaela fue interceptada entre 81,45 y 82,45 m.

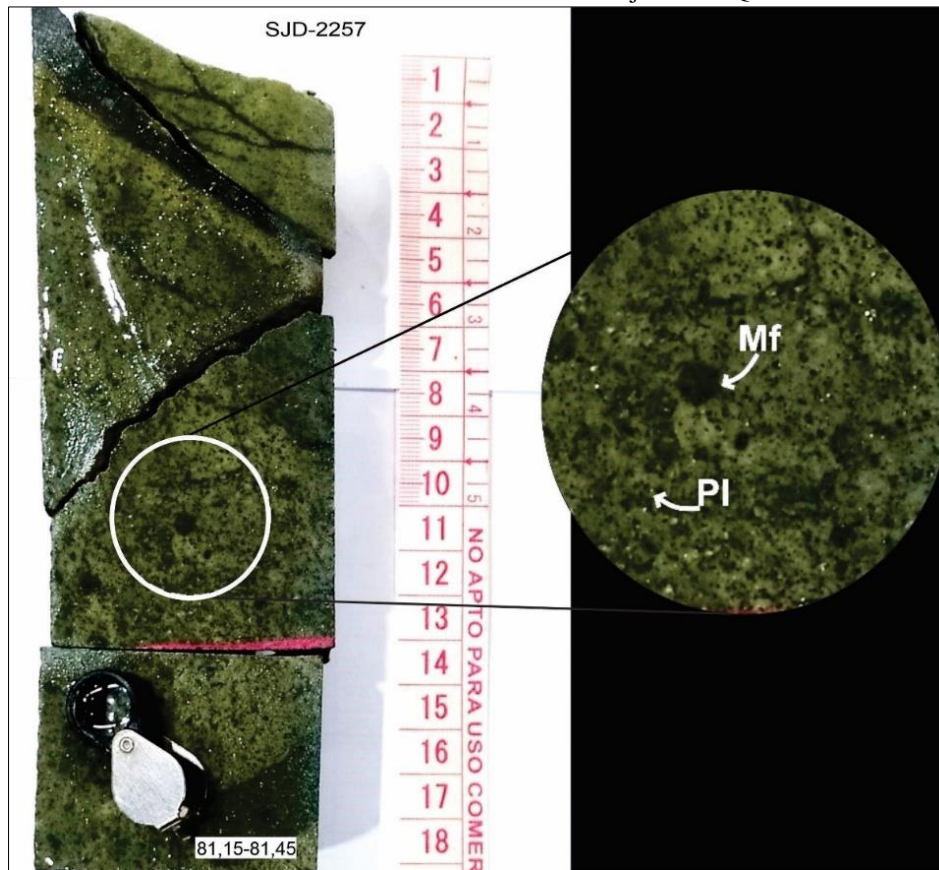


Figura 4.5. Fotografías de detalle de la roca de caja del techo, mostrando la coloración verdosa y la textura porfírica, constituida por fenocristales de plagioclasa (Pl) y mafitos (Mf) inmersos en una pasta afanítica, con fractura concoidea. La muestra pertenece al sondeo SJD-2257, tramo 81,15-81,45 m. Nota: lupa de mano de 10x como escala.

Bajo el microscopio, la muestra (M1) se describe como una roca de textura porfírica, constituida por fenocristales de plagioclasa (23%) euhedrales a subhedrales de entre 200 y 300 μm (Fig. 4.6a), hornblenda (17%) de entre 120 y 220 μm y biotitas euhedrales (10%) de entre 80 y 280 μm , las cuales presentan halos de oxidación hacia los bordes. La pasta en la que están inmersos los fenocristales presenta textura intersertal, compuesta por microlitos euhedrales de plagioclasa de aproximadamente 20 μm y vidrio en los espacios intersticiales. La alteración es de moderada a débil, con reemplazo de los mafitos por clorita y de las plagioclasas por sericita. Se observan microvenillas de cuarzo aisladas, con textura en mosaico y minerales opacos de hábito cúbico, que, en sectores, cortan a mafitos (biotitas) (Fig. 4.6b). De acuerdo con la proporción mineralógica, se clasifican las rocas como andesitas según el diagrama QAP propuesto por Streckeisen (1979) (Fig. 4.7), en concordancia con los antecedentes locales previamente citados.

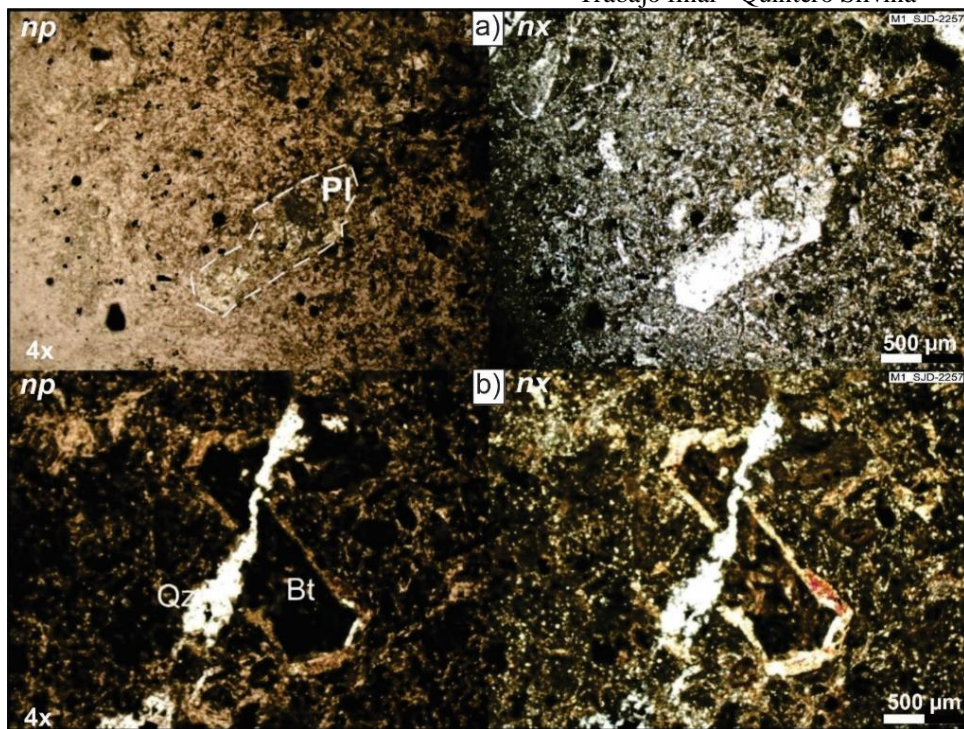


Figura 4.6. Muestra M1, correspondiente al sondeo SJD-2257 a) Microfotografía (4x) en la que se observa la textura porfírica de la roca, con cristales de plagioclasa (Pl) y una pasta compuesta por vidrio y microlitos de plagioclasa, biotita y hornblenda. b) Microfotografía (4x) de fenocristal de biotita (Bt) con bordes de oxidación y microvenilla de cuarzo (Qz).

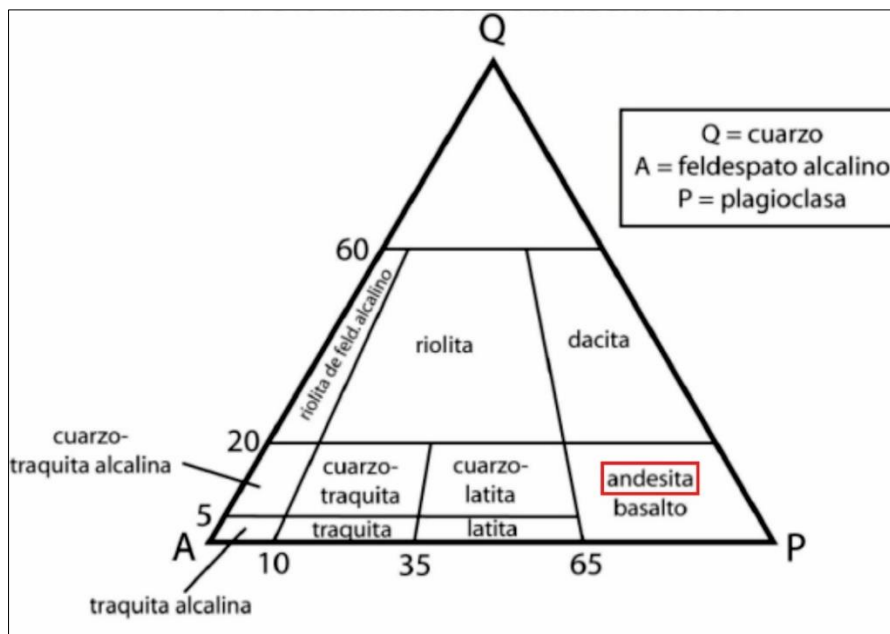


Figura 4.7. Clasificación litológica de las muestras M1 y M4 como andesita según el diagrama QAP de Streckeisen (1979).

Por su parte, el SJM-477 es un sondeo de azimuth 167°, buzamiento 14° y profundidad final de 162 m, del cual se ha tomado la muestra M4 (roca de caja del techo de la veta Micaela).

Macroscópicamente, en el sondeo SJM-477, las rocas asignadas a la Formación Bajo Pobre presentan venillas de cuarzo con amatista en sectores con textura crustificada y brechada en tramos (Fig. 4.8). Se caracterizan por presentar textura porfírica, con fenocristales de plagioclasa (25%) y aislados mafitos (15%) en una pasta afanítica de coloración verdosa, con abundantes venillas de cuarzo que presentan oxidación débil, alteración argílica en fracturas y pirita fina disseminada (Fig. 4.9).

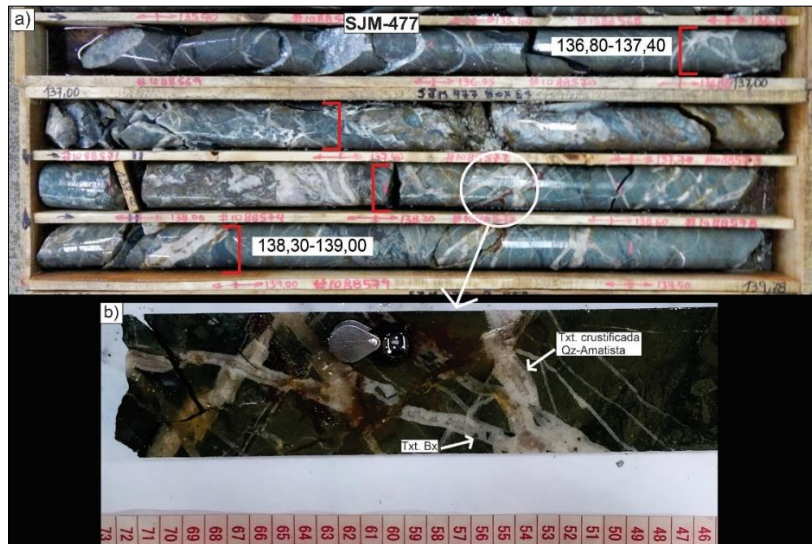


Figura 4.8. a) Fotografía general del sondeo SJM-477. El tramo 136,80-137,40 m corresponde a la roca de caja de techo, y el tramo 138,30-139 m a la roca de caja de piso, siendo interceptada la veta Micaela entre 137,40 y 138,30 m. b) Detalle de las texturas crustificada y brechada observadas en las venillas presentes en la caja piso. Nota: lupa de mano de 10x como escala.

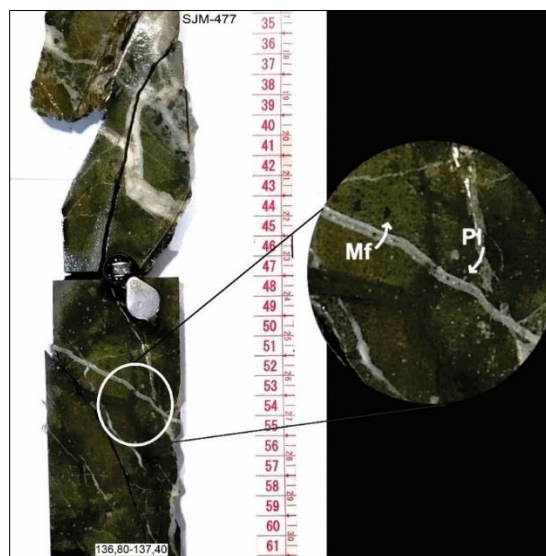


Figura 4.9. Fotografía macroscópica de andesita del sondeo SJM-477, mostrando coloración verdosa y textura porfírica, constituida por fenocristales de plagioclasa (Pl) y mafitos (Mf), con abundantes microvenillas de cuarzo blanco cristalino con textura brechada. Nota: lupa de mano de 10x como escala.

Bajo el microscopio, la muestra M4 a la cota de 400 msnm se caracteriza por ser una roca con textura porfírica, conformada por microfenocristales (< 2 mm) de plagioclasa (25 %), hornblenda (10 %) y biotita (5 %), en una pasta fanerítica fina (60 %) con alteración

clorítica (Fig. 4.10). La silicificación es fuerte, en forma de venillas, con textura en mosaico y en peine, con minerales opacos (Py).

De acuerdo con la proporción de minerales constituyentes, las rocas se clasifican como andesitas según el diagrama QAP de Streckeisen (1979) (Fig. 4.7), en concordancia con las descripciones y clasificaciones locales previamente citadas.

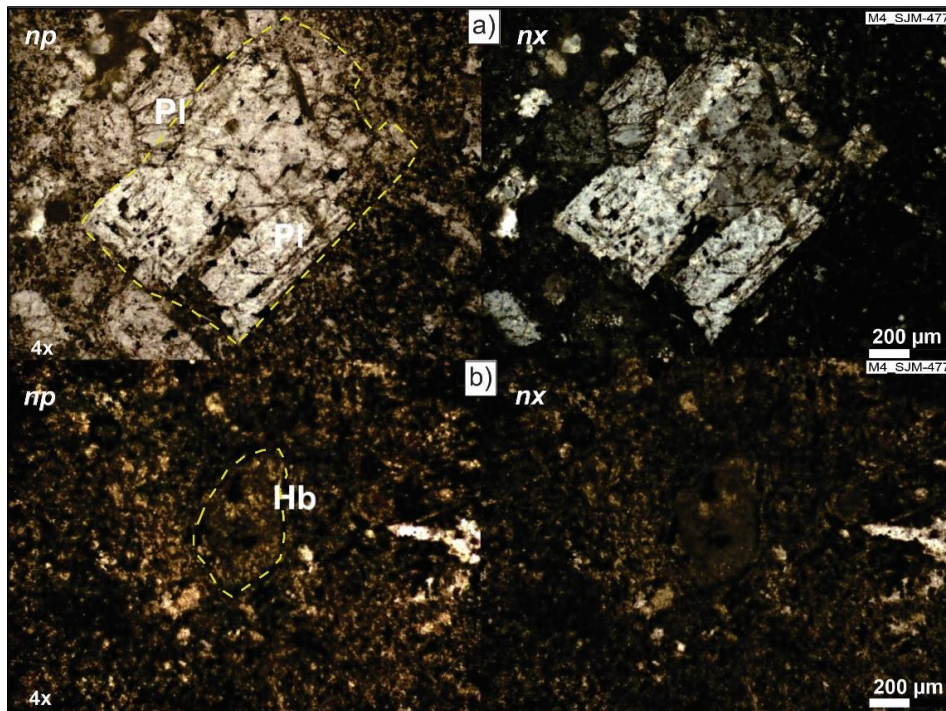


Figura 4.10. a) Microfotografías (10x) en las que se observa un cristal de plagioclasa (Pl) alterado intensamente a clorita. b) Microfotografías (10x) de fenocristal de hornblenda (Hb) alterado a clorita.

4.1.2 Alteración hidrotermal de la roca de caja

El estudio de la alteración hidrotermal se realiza mediante la observación de los minerales presentes en las secciones delgadas M1 y M4 (Fig. 4.11), junto con sus respectivas muestras macroscópicas. Asimismo, en algunos casos se complementó el estudio con análisis de difracción de rayos X (DRX) y se realizaron comparaciones con muestras obtenidas de otros sondeos de la zona, que luego se utilizan para los estudios texturales. Estos son los sondeos SJM-202 (azimut 350, buzamiento de 19° y profundidad de 215,5 m), SJM-343 (azimut 198°, buzamiento de 10° y profundidad de 175 m), SJD-2258 (azimut 1,64°, buzamiento de 48° y profundidad de 245 m), SJD-2236 (azimut 349°, buzamiento de 55° y profundidad de 78 m), SJD-1838 (azimut 180°, buzamiento de 54° y profundidad de 95 m) y SJD-1579 (azimut 185°, buzamiento de 50° y profundidad de 285 m) (Fig. 4.11).

Los minerales identificados corresponden a cuarzo (silicificación), clorita, sericita y pirita, que afectaron la roca de caja en la que se emplazó la veta Micaela. El cuarzo es un mineral que se desarrolla en sectores cercanos a las vetas, presentándose, por lo general, como venillas de entre 0,5 y 2 mm con textura en mosaico; mientras que en los sectores más cercanos a las vetas el cuarzo se presenta como una silicificación penetrativa que afecta a las rocas en su totalidad, no restringiéndose a venillas.

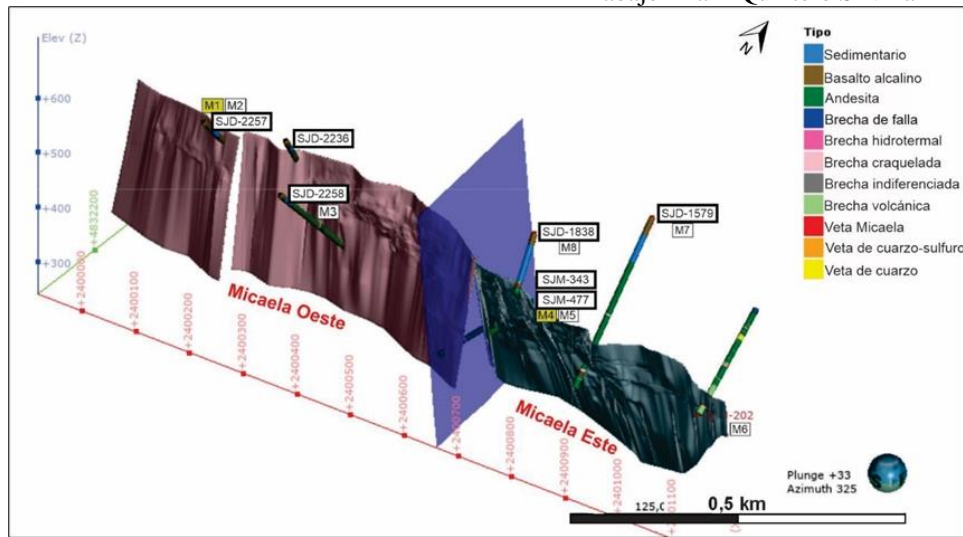


Figura 4.11. Vista general de los sondeos analizados con su respectiva posición. Se detalla el número de muestra en cada uno; las muestras M1 y M4 corresponden a la roca de caja (Formación Bajo Pobre), mientras que las restantes son de la estructura mineralizada. Sección realizada con el programa Leapfrog 2022.1.

En los sondeos SJD-2257 y SJM-202, a la cota de 500 msnm, el cuarzo en la roca de caja, cercano a la veta, se presenta como venillas (Fig. 4.12). Por su parte, en los sondeos SJM-343, SJM-477 y SJD-2258 y en zonas más profundas (cota de 400 msnm), se presenta alterando de manera moderada a intensa en contacto con la veta, en donde la pasta de composición andesítica está parcialmente reemplazada por sílice y el venilleo es intenso (Fig. 4.13).

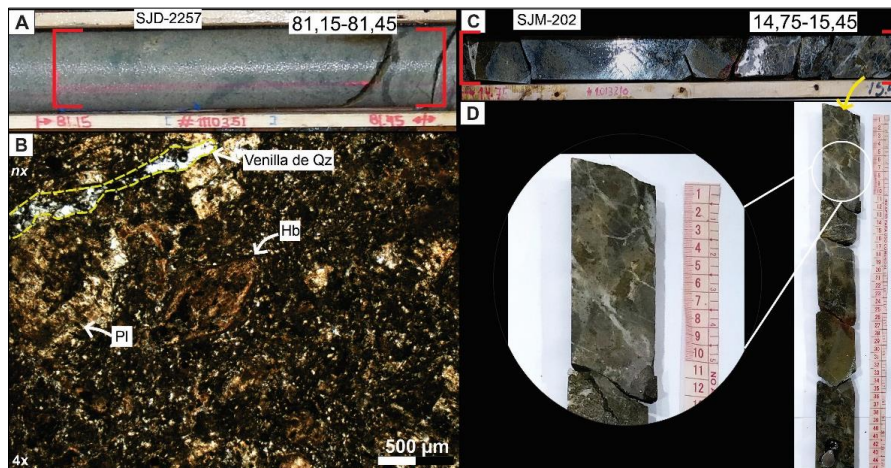


Figura 4.12. a) Muestra macroscópica del testigo de perforación SJD-2257 (Micaela Oeste), en el que la roca de caja del techo se encuentra entre 81,15 y 81,45 m de profundidad. b) Microfotografía (4x) del sondeo SJD-2257 con analizador, donde se observa una venilla de Qz interceptando de manera irregular cristales de Pl. En el centro se observa una sección basal de Hb. c) Muestra macroscópica del testigo de perforación SJM-202 (Micaela Este), en el que la roca de caja de techo se encuentra comprendida entre 14,75 y 15,45 m de profundidad. d) Muestra de mano de roca de caja del sondeo SJM-202, con venillas de Qz de 0,5 cm de espesor y textura en mosaico. Ref: Qz: cuarzo; Pl: plagioclasas; Hb: hornblenda. Nota: lupa de mano de 10x como escala.

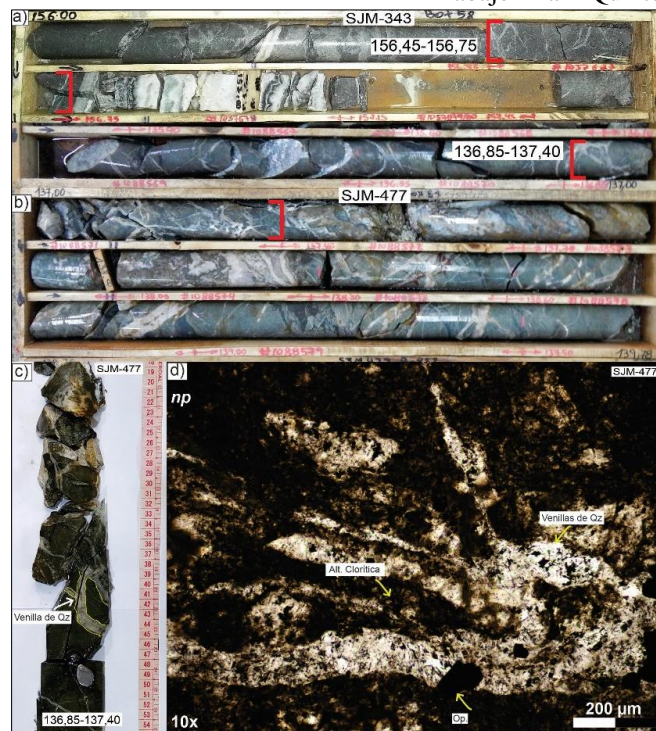


Figura 4.13. a) Muestra macroscópica del testigo de perforación SJM-343 (Micaela Oeste), en la que la roca de caja de techo se encuentra comprendida entre 156,45 y 156,75 m de profundidad. b) Muestra macroscópica del testigo de perforación SJM-477 (Micaela Este), donde la roca de caja del techo se encuentra entre 136,85 y 137,40 m de profundidad; en ella se observa una mayor densidad de microvenillas de cuarzo y de matriz andesítica silicificada. c) Muestra de mano de la roca de caja del techo del sondeo SJM-477. d) Microfotografía (10x) del sondeo SJM-477 sin analizador (np), con abundantes venillas de cuarzo, clorita y minerales opacos aislados. Ref: Qz: cuarzo; Op: minerales opacos. Nota: lupa de mano de 10x como escala.

Por su parte, la clorita se presenta como una alteración leve a moderada, con menor intensidad a la cota de 500 msnm, tal como se observa en el sondeo SJD-2257. En este, la alteración se presenta afectando predominantemente a la pasta, donde reemplaza a mafitos (Fig. 4.14a), lo cual se ha corroborado mediante análisis de DRX, en los que se identifica chamosita (mineral del grupo de la clorita) (Fig. 4.15 y Anexo I). Asimismo, a la cota de 400 msnm en el sondeo SJM-477, la clorita reemplaza a los fenocristales de biotita (Fig. 4.14b).

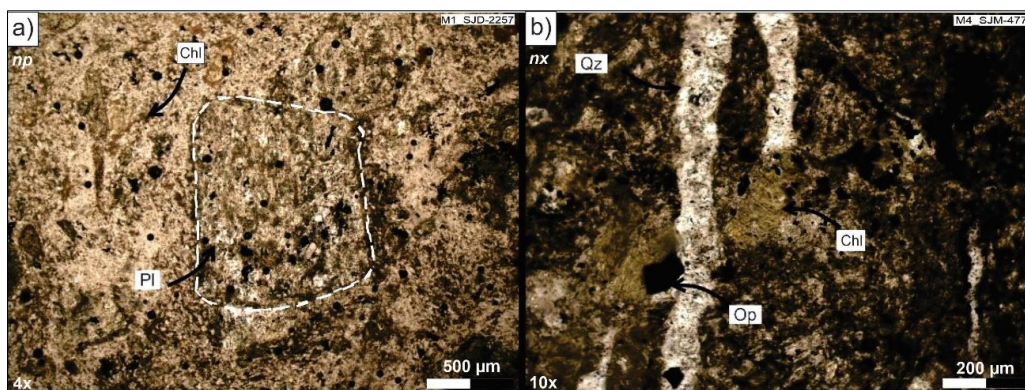


Figura 4.14. a) Microfotografía (4x) sin analizador (np) del sondeo SJD-2257 (Micaela Oeste), en la que la clorita predomina reemplazando a los microlitos de mafitos de la pasta. b) Microfotografía (10x) con

analizador (nx) del sondeo SJM-477 (Micaela Este), en la que se observa clorita reemplazando fenocristales de biotita. Nótese también la presencia de venillas de cuarzo y de minerales opacos. Ref: Qz: cuarzo, Pl: plagioclasas, Op: minerales opacos, Chl: clorita.

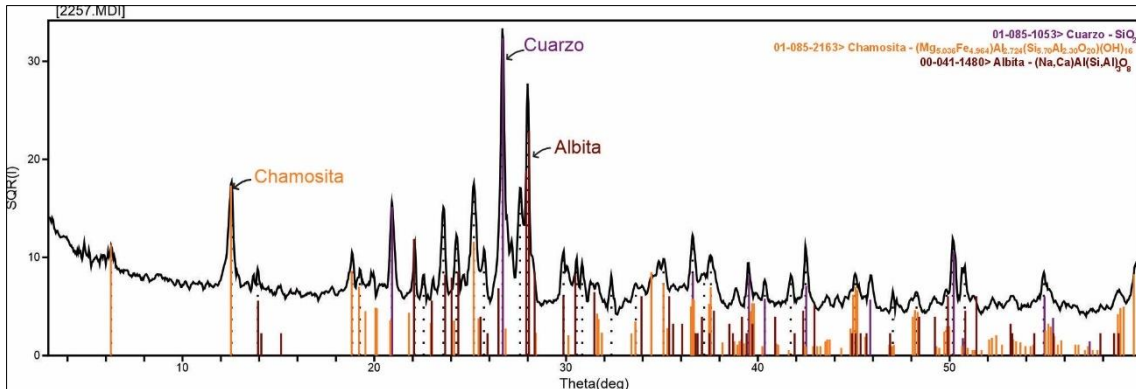


Figura 4.15. Diffractograma de Rayos X de la muestra M1 del sondeo SJD-2257, mostrando que las fases minerales de alteración presentes son cuarzo y chamosita (formando parte de la alteración clorítica).

La sericita (Fig. 4.16) afecta principalmente a los cristales de feldespatos, tanto en los fenocristales como en los microlitos. En el sondeo SJM-477 (Micaela Este), la sericita se manifiesta de manera intensa a la cota de 400 msnm, lo cual es corroborado por los análisis de DRX, en los que se observa la predominancia de muscovita (Fig. 4.17 y Anexo I), mientras que a la cota de 500 msnm, su desarrollo es leve.

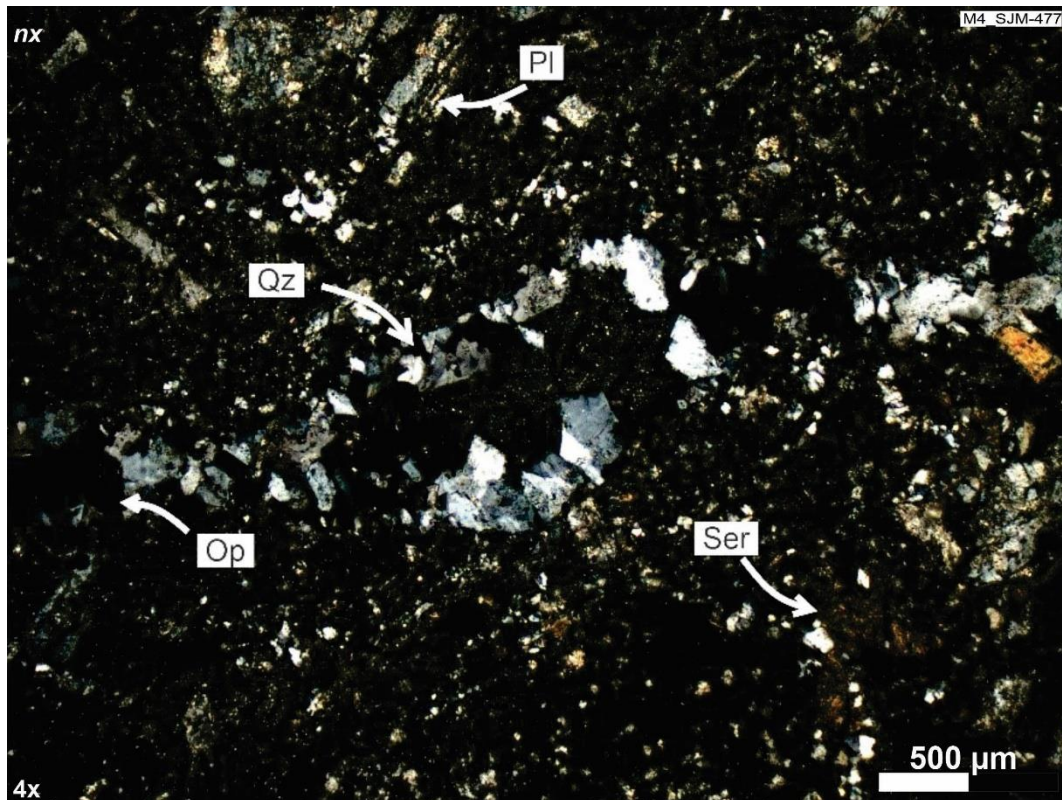


Figura 4.16. Microfotografía (4x) con analizador (nx), en la que se observa la sericita como alteración de los cristales de plagioclasa. Asimismo, se observa una venilla de cuarzo con textura en peine y minerales opacos asociados. Ref: Qz: cuarzo; Pl: plagioclasas; Op: minerales opacos; Ser: sericita.

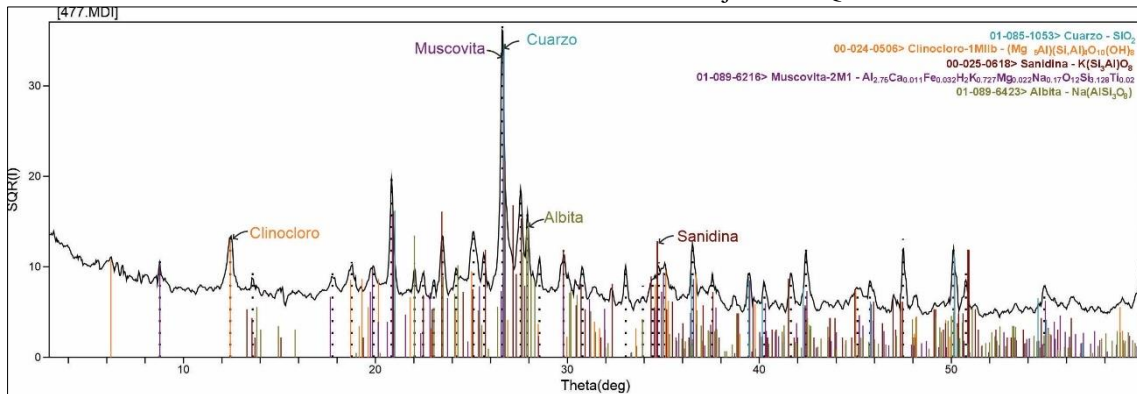


Figura 4.17. Difractograma de Rayos X de la muestra M4 (SJM-477), mostrando que las principales fases minerales de alteración presentes son cuarzo y muscovita (formando parte de la alteración sericitica).

La pirita se presenta en forma diseminada en la roca de caja y rellena venillas de cuarzo, con cristales euhedrales a subhedrales de tamaño 100-125 μm (Fig. 4.18). La intensidad de la alteración a la cota de 400 msnm es mayor, ya que se observa un mayor contenido de cristales de pirita, simultáneo con una mayor predominancia de cuarzo (silicificación).

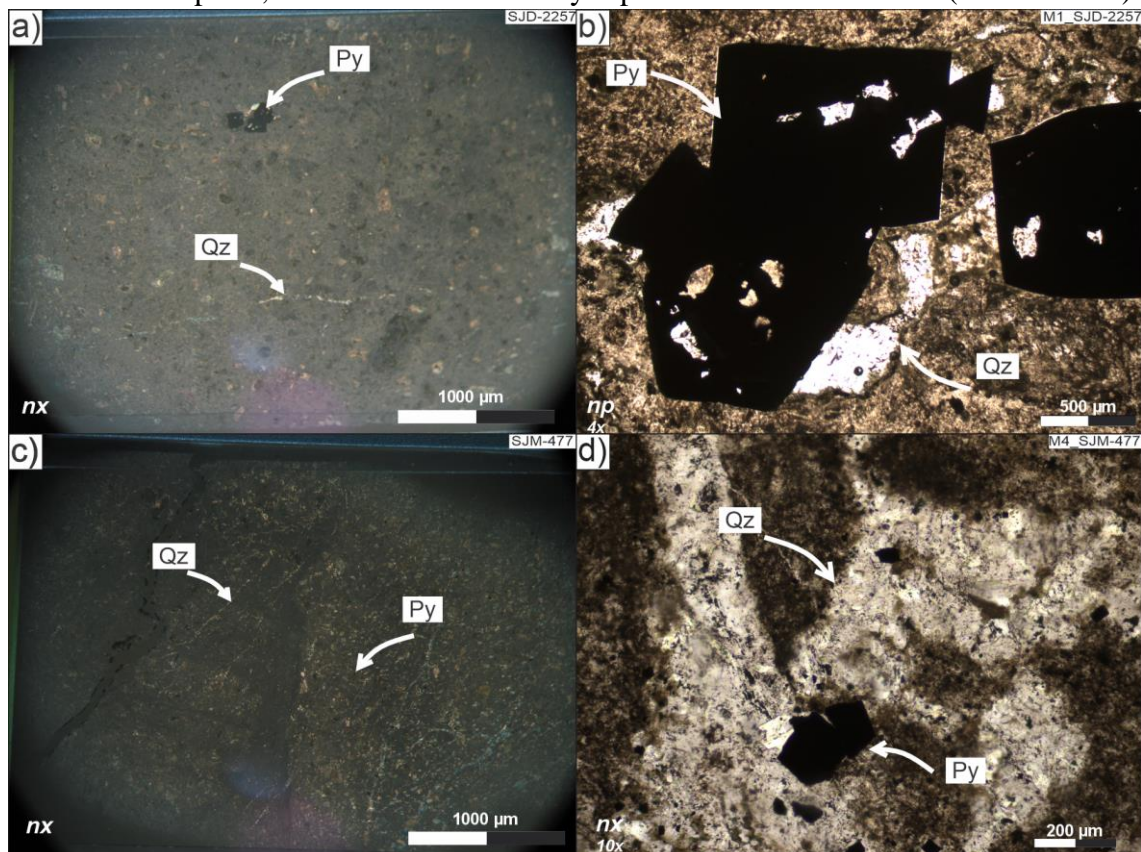


Figura 4.18. a) Fotografía bajo lupa binocular con analizador (nx) de la sección delgada M1 (SJD-2257) donde se destacan los cristales de pirita. b) Microfotografía (4x) de la sección M1 sin analizador (np), en la que se distinguen los macrocristales de pirita. c) Fotografía bajo lupa binocular con analizador (nx) de la sección M4 (SJM-477), donde se observa una mayor cantidad de minerales opacos, entre ellos la pirita, junto con microvenillas de cuarzo. d) Microfotografía (10x) de la misma sección M4 con analizador (nx), donde se observan cristales de pirita que rellenan microvenillas de cuarzo.

Además de las alteraciones hidrotermales, se reconoce una alteración supergénica, evidenciada por procesos de oxidación (Fig. 4.19), bien representada en dos sondeos de

superficie a la cota de 500 msnm: el SJD-2236 (Micaela Oeste) y el SJD-1838 (Micaela Este).

Macroscópicamente, el SJD-2236 se caracteriza por la presencia de goethita y hematita, que alteran de forma pervasiva la pasta y rellenan fracturas. Esto ha sido corroborado por análisis de DRX, que indican la presencia de goethita (Fig. 4.20 y Anexo I). En tanto que la oxidación en el sondeo SJD-1838 está representada por limonitas indiferenciadas, en forma de venillas que rellenan las fracturas (Fig. 4.19b).

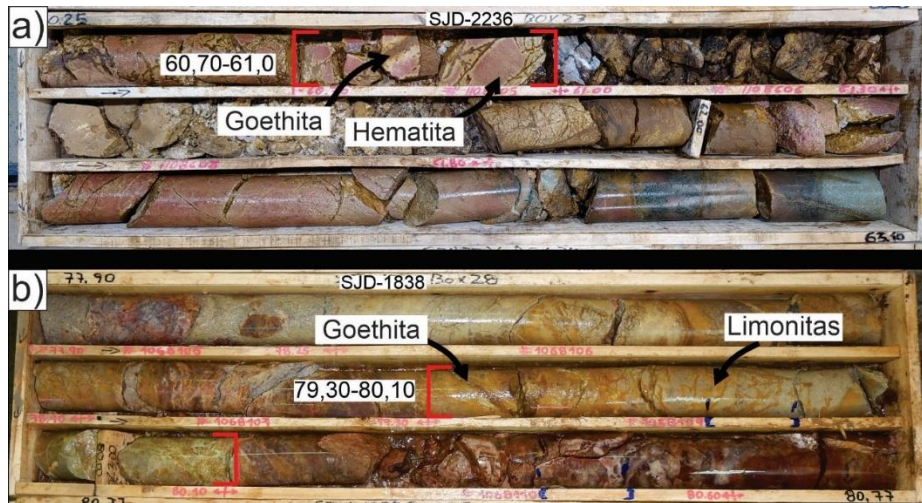


Figura 4.19. a) Muestra macroscópica de sondeo de perforación del SJD-2236, cuyo intercepto de roca de caja de techo se encuentra entre 60,70 y 61,0 m de profundidad. Se caracteriza por la presencia de minerales producidos por oxidación, con goethita en las fracturas y hematita que reemplaza de forma pervasiva la matriz andesítica. b) Muestra macroscópica del sondeo SJD-1838, cuyo intercepto de roca de caja de techo se encuentra entre 79,30 y 80,10 m. Hay predominio de limonitas en forma de venillas que rellenan las fracturas, mientras que la goethita se encuentra en forma de venillas aisladas.

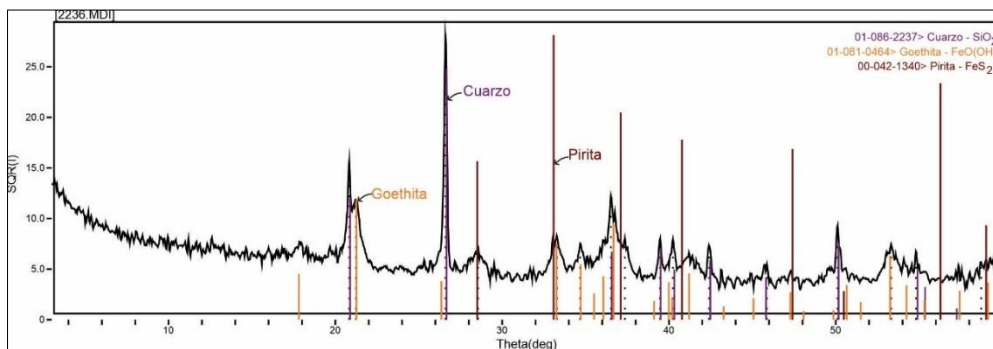


Figura 4.20. Difractograma de Rayos X de la muestra M9 mostrando que las principales fases minerales de alteración son la goethita, cuarzo y pirita.

Comparativamente, la magnitud de la oxidación es más intensa en el sondeo SJD-2236 de Micaela Oeste (Fig. 4.19a) que en el sondeo SJD-1838 de Micaela Este. En este último, la veta, interceptada entre los 80,1 y 80,6 m de profundidad, presenta una mayor preservación de la mineralogía original (Fig. 4.19b).

4.2 Estructura interna y textura de la veta Micaela

El mineral de ganga asociado a la mineralización es el cuarzo, por lo que la identificación y el análisis de las texturas que presenta resultan fundamentales para comprender los

cambios en el sistema hidrotermal. Las texturas de cristalización primaria y las de reemplazo son observables tanto en muestras de mano como bajo el microscopio, mientras que las texturas de recristalización se identifican sólo mediante análisis petrográficos. Asimismo, las texturas brechadas reconocidas fueron descritas mediante observaciones macroscópicas y microscópicas.

4.2.1. Texturas de crecimiento primario:

La cristalización de cuarzo primaria en la veta Micaela está representada por las texturas crustiforme, coliforme y zonada

En las muestras de mano, las más representativas son la textura crustificada y la coliforme. Ambas texturas se observan en prácticamente todos los sondeos que interceptan la veta Micaela, siendo ejemplos de ellas la textura crustificada observada en el sondeo SJM-477 (Fig. 4.21) y la textura coliforme encontrada a la cota de 400 msnm del pozo SJD-1579. En este último, además, se observa la textura brechada bien desarrollada (Fig. 4.22), la cual se describe más adelante.

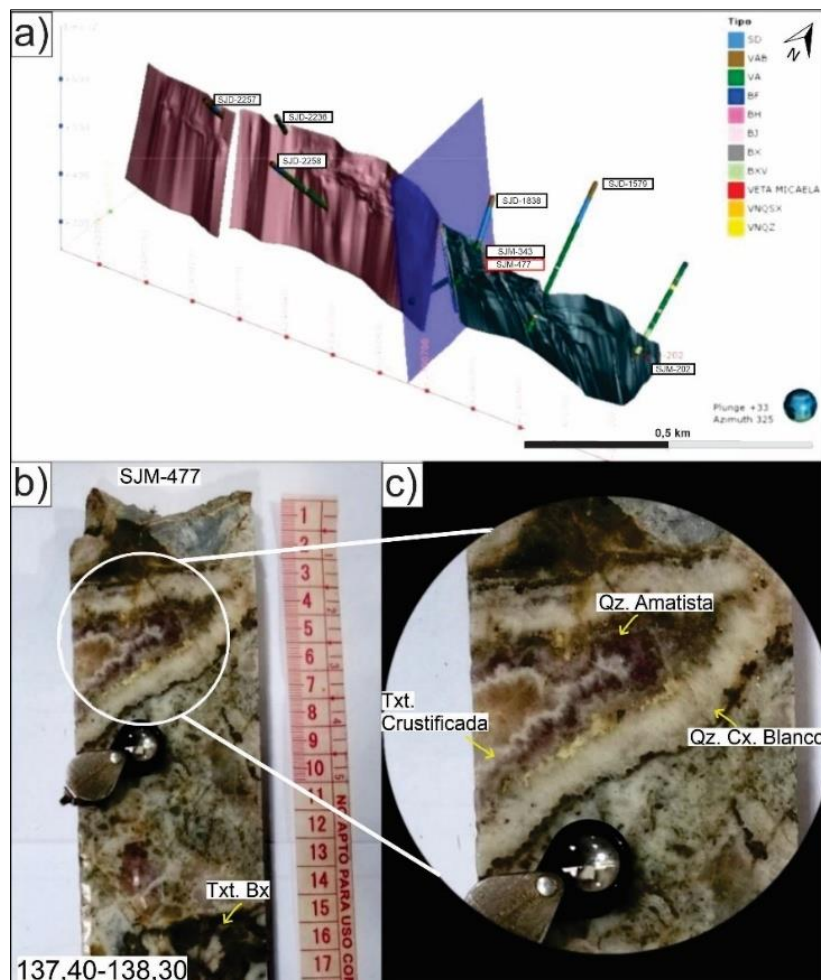


Figura 4.21. a) Vista general de la ubicación de los sondeos analizados. El sondeo SJM-477 intercepta la veta Micaela Este a la cota de 400 msnm. b) Muestra macroscópica en la que se observan la textura crustificada y la textura brechada (Bx) en el piso. c) Imagen a detalle de la textura crustificada en el pulso de cuarzo amatista y cuarzo blanco cristalino. Nota: lupa de mano de 10x como escala.

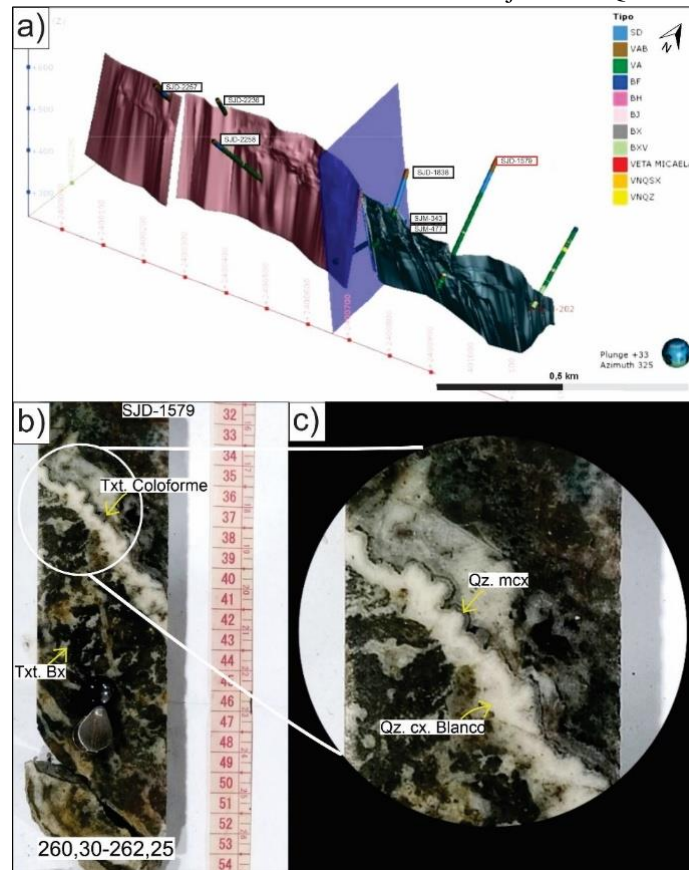


Figura 4.22. a) Vista general de la ubicación del sondeo SJD-1579, que intercepta la veta Micaela Este a la cota de 400 msnm. b) Muestra macroscópica en la que se observan la textura coloforme y la textura brechada al piso. c) Detalle de la textura coloforme en pulso de cuarzo blanco cristalino (cx) y en pulso de cuarzo microcristalino (mcx). Nota: lupa de mano de 10x como escala.

Por su parte, la textura zonada se observa al microscopio en la muestra M7 correspondiente al sondeo SJD-1579 (Fig. 4.23).

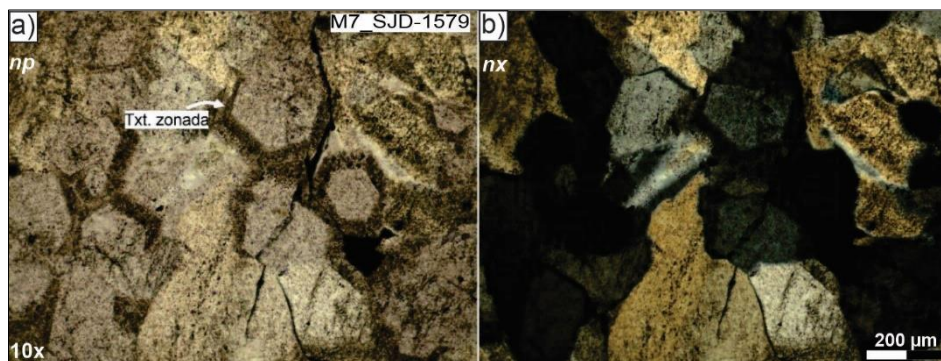


Figura 4.23. Microfotografías (10x) que muestran la textura zonada en las secciones basales del cuarzo.

Es importante destacar que en dichas texturas primarias no se observan minerales metalíferos.

4.2.2. Texturas de recristalización:

Las mismas fueron observadas en los cortes delgados analizados, siendo predominante la textura en mosaico, seguida de la textura plumosa (*feathery*) y la llameante (*flamboyant*).

La textura en mosaico se caracteriza por el crecimiento compacto de microcristales de cuarzo de forma anhedral, cuyos límites son sinuosos e interpenetrados. Se reconocen dos tipos de texturas en mosaico según el tamaño de los cristales: la textura fina, con cristales menores de 50 μm , y la textura gruesa, con cristales mayores de 50 μm . Estas se observan en numerosos sondeos que interceptan la veta Micaela, entre ellos los registrados en el sondeo SJD-1838 de Micaela Este a la cota de 500 msnm y en el sondeo SJD-2258 de Micaela Oeste a la cota de 400 msnm (Fig. 4.24). Se destaca que la textura en mosaico fina presenta un alto contenido de minerales metalíferos (opacos) (Fig. 4.24 b y d).

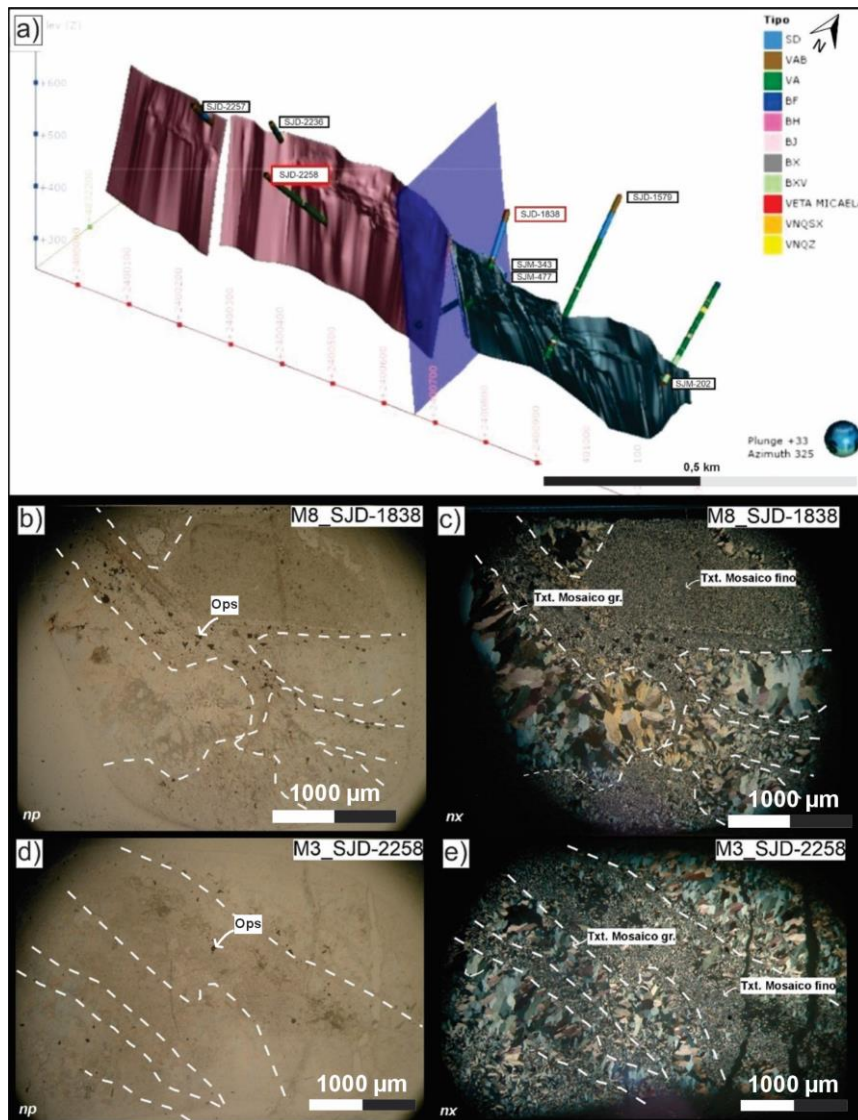


Figura 4.24. a) Vista general de la ubicación de los sondeos SJD-1838 y SJD-2258. b) Fotografía bajo lupa binocular sin analizador (np) de la muestra M8. c) Misma sección M8 bajo la lupa binocular con analizador (nx), mostrando el predominio de la textura en mosaico gruesa en relación con la textura en mosaico de granulometría fina. d) Fotografía bajo lupa binocular sin analizador (np) de la muestra M3. e) Misma sección M3 bajo la lupa binocular con analizador (nx), mostrando una textura bandeada entre pulsos de cuarzo con distinta granulometría, un pulso con textura en mosaico fino y, por otro lado, un pulso con textura en mosaico de granulometría gruesa. Nota: observar el alto contenido de minerales opacos (Ops) en las secciones sin analizador.

Asimismo, en las muestras del sondeo SJD-1838, ambas texturas se observan bien desarrolladas al microscopio petrográfico (Fig. 4.25).

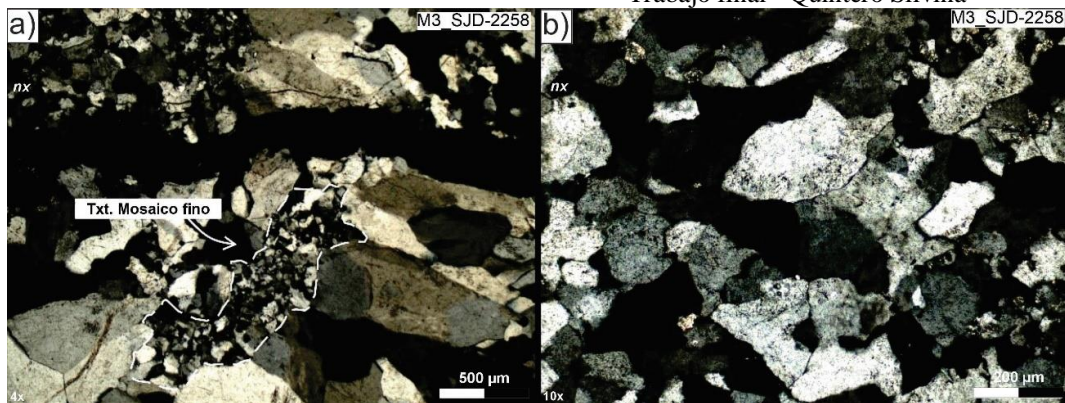


Figura 4.25. a) Microfotografía (4x) con analizador (nx), donde se evidencia la relación entre pulsos de cuarzo con distinta granulometría. De acuerdo con la relación de corte, el pulso con textura fina sería posterior al pulso con textura de mosaico grueso. b) Microfotografía (10x) de detalle de la textura de mosaico fino con analizador (nx).

Las texturas plumosa y llameante se observan en el sondeo SJD-2258 (Fig. 4.26 y 4.27 respectivamente), en el pulso de cuarzo grueso con un tamaño de los cristales que rondan entre los 100 y 150 µm.

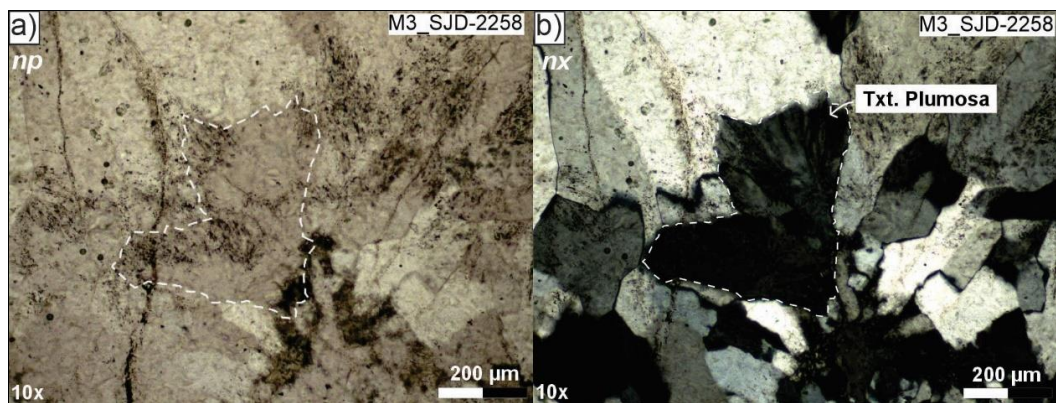


Figura 4.26 a) Microfotografía (10x) de la textura plumosa sin analizador (np) de M3. b) Microfotografía (10x) con analizador (nx), en la que se observa la textura plumosa dentro del pulso de cuarzo grueso, cuya textura a microescala es en mosaico. Sondeo SJD-2258.

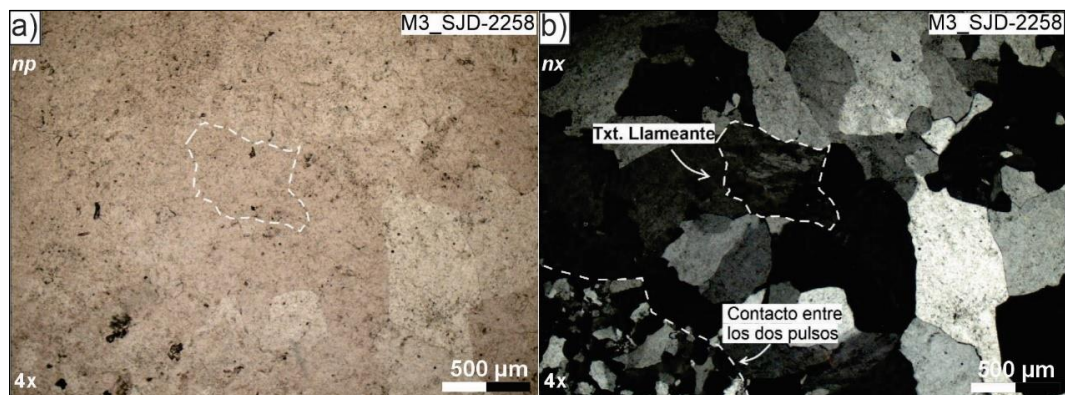


Figura 4.27 a) Microfotografía (4x) sin analizador (np) de M3. b) Microfotografía (4x) con analizador (nx). Se observa la textura llameante en el pulso de cuarzo grueso; en el borde inferior izquierdo se distingue el contacto entre ambos pulsos de cuarzo por la variación en la granulometría.

4.2.3. Texturas de reemplazo:

La textura de reemplazo en enrejado se observa únicamente en la muestra M5 (Fig. 4.28), correspondiente al sondeo SJM-477, del interior de la mina de Micaela Este, a la cota de 400 msnm.

En la muestra M5 se observa el reemplazo de los cristales de calcita por cuarzo. Este reemplazo se presenta mediante el relleno de microfracturas y la formación de venillas sinuosas. No se observan minerales de mena asociados a esta textura.

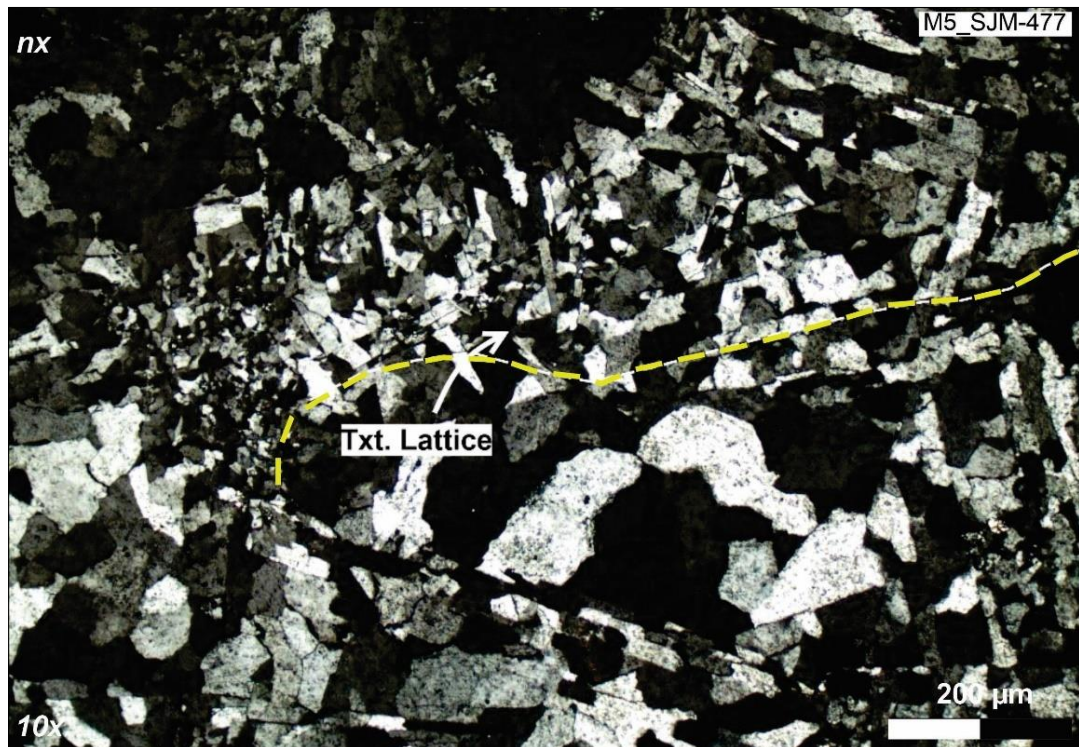


Figura 4.28. Microfotografía (10x) con analizador, en la que se observa la textura *lattice* en contacto con la textura en mosaico.

4.2.4. Otras texturas observadas:

La textura brechada se observa en las muestras macroscópicas de los sondeos SJD-2257, SJM-202, SJM-477 y SJD-1579 (Fig. 4.29 y 4.30).

En las muestras estudiadas se observan fragmentos de andesita con bordes subangulosos (brecha), inmersos en un cemento de cuarzo cristalino blanco con textura en mosaico. Los fragmentos tienen un tamaño promedio de 2 cm y, en algunas muestras, se observa oxidación hematítica en los bordes.

Al igual que en las texturas de recristalización (mosaico), se observa un alto contenido de minerales metalíferos (Fig. 4.30).

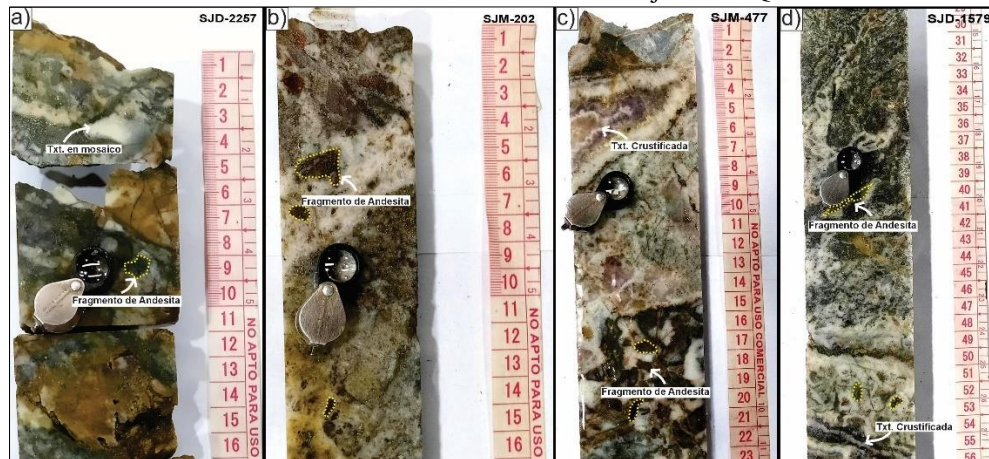


Figura 4.29. Muestras macroscópicas de veta, en las que se observa la textura brechada. a) Muestra macro del SJD-2267, en la que se observan fragmentos de andesita silicificados inmersos en cuarzo con textura en mosaico. b) Muestra macro del SJM-202, que muestra fragmentos de andesita con oxidación hematítica. c) Muestra macroscópica del SJM-477, en la que la textura brechada está asociada a la textura crustificada con cuarzo amatista. d) Muestra macro del SJD-1579 con textura brechada asociada a la textura crustificada de cuarzo blanco cristalino. Nota: lupa de mano de 10x como escala.

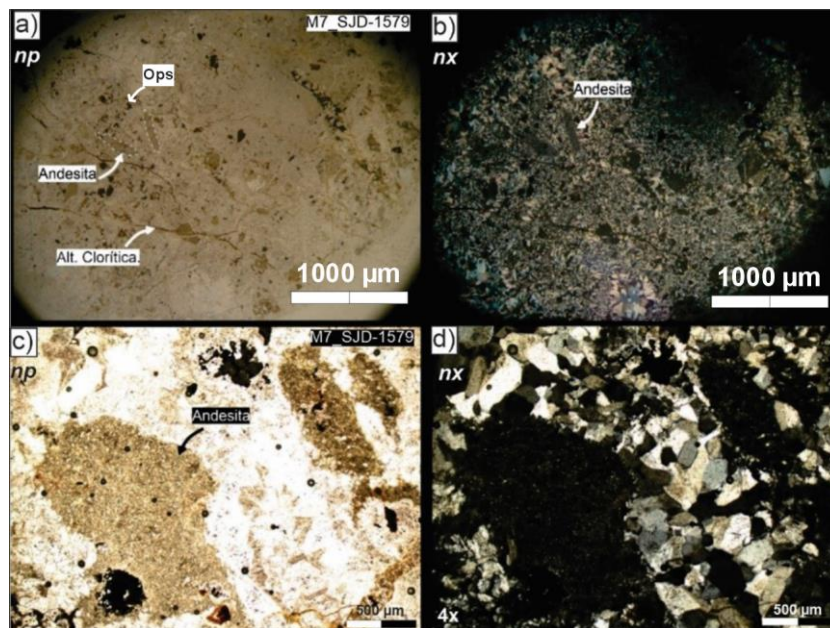


Figura 4.30. a, b) Fotografías bajo lupa binocular en las que se observan fragmentos de andesita subangulosos silicificados, inmersos en una matriz silíceas, con alteración clorítica que rellena las fracturas y reemplaza las plagioclasas. c, d) Microfotografías (4x) en las que se observan los fragmentos de andesita inmersos en cuarzo, con textura en mosaico grueso. Nota: observar el alto contenido de minerales opacos en las secciones sin analizador (Ops).

De manera resumida, en la Tabla 2 se muestran las texturas que predominan en los sondeos analizados, con mayor predominio de la textura de recrystalización (textura en mosaico) a la cota de 500 msnm, mientras que a la cota de 400 msnm predominan las texturas de crecimiento primario.

	MICAELA OESTE		MICAELA ESTE	
COTA 500	SJD-2257 (txt. Mosaico y txt. Bx)	SJD-2236 (txt. Mosaico y txt. Bx)	SJD-1838 (txt. Mosaico y txt. Plumosa)	SJM-202 (txt. Mosaico y txt. Bx)
COTA 400	SJD-2258 (txt. Mosaico, Plumosa y Llameante)	SJM-343 (txt. Crustificada y txt. Mosaico)	SJM-477 (txt. Crustificada, txt. Lattice y txt. Bx)	SJD-1579 (txt. Coloforme, txt. Zonada y txt. Bx)

Tabla 2. Tabla simplificada de las texturas predominantes en los sondeos analizados.

4.3 Mineralogía de mena

Con base en las observaciones calcográficas realizadas, se identificó que las venillas mineralizadas presentes en la estructura están compuestas por: pirita (FeS_2), calcopirita (CuFeS_2), esfalerita (ZnFeS), galena (PbS), sulfosales de plata como la freibergita ($(\text{AgCuFe})_{12}(\text{SbAs})_4\text{S}_{13}$) y, en muestras puntuales, Au y Ag nativos. Asimismo, se identificaron en algunas muestras minerales asociados al enriquecimiento supergénico, como hematita y goethita.

4.3.1 Mineralización a la cota de 500 msnm

A la cota de 500 msnm, la porción oeste de la veta Micaela se analiza mediante una sección calcográfica (M2), mientras que para el segmento este se emplean dos secciones calcográficas (M6 y M8).

En la muestra M2 (sondeo SJD-2257), los minerales se encuentran en el pulso de cuarzo con textura en mosaico (Fig. 4.31a) los cuales son: pirita, esfalerita y calcopirita, los mismos en tamaño no superan los $500 \mu\text{m}$ y se ubican de forma aislada; en contraparte en el pulso con textura brechada los minerales poseen un tamaño mayor a $500 \mu\text{m}$ (pirita, calcopirita, freibergita y esfalerita) y se encuentran en asociación (Fig. 4.31b).

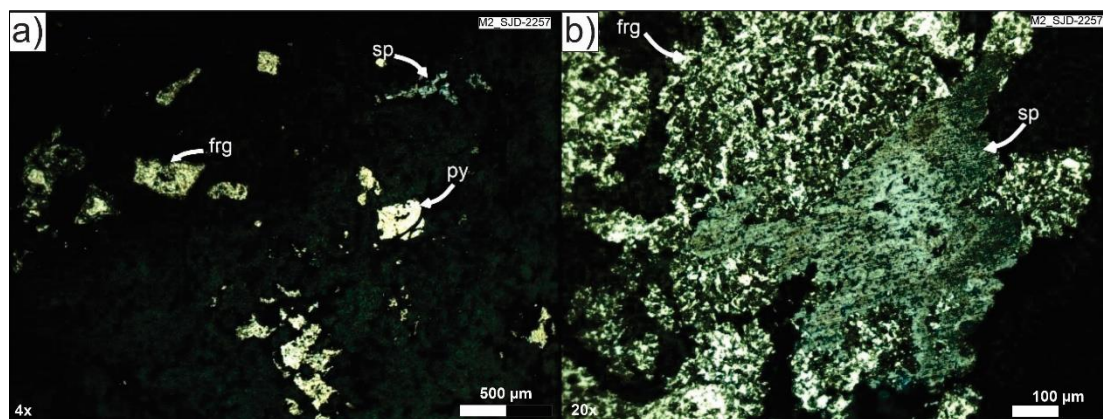


Figura 4.31. a) Microfotografía (4x), en la que se observan sulfuros diseminados y aislados en un pulso de cuarzo con textura en mosaico. b) Microfotografía (20x) que muestra una asociación de esfalerita con freibergita en pulso de cuarzo con textura brechada. Ref. frg: freibergita; py: pirita; sp: esfalerita. Microfotografías con luz reflejada.

En la muestra M8 (sondeo SJD-1838), los minerales opacos identificados son escasos y se representan principalmente por pirita y otros sulfuros parcialmente reemplazados por óxidos (Fig. 4.32). La presencia de óxidos es notoria y representa el 5% del total de la muestra (Fig. 4.32b). Por su parte, la muestra M6 (sondeo SJM-202) presenta, de forma

aislada, minerales preciosos como Au y Ag (Fig. 4.33) que, junto con la pirita y la freibergita, constituyen el 1% del total de la composición mineral. Estos se desarrollan en el pulso de cuarzo con textura en mosaico.

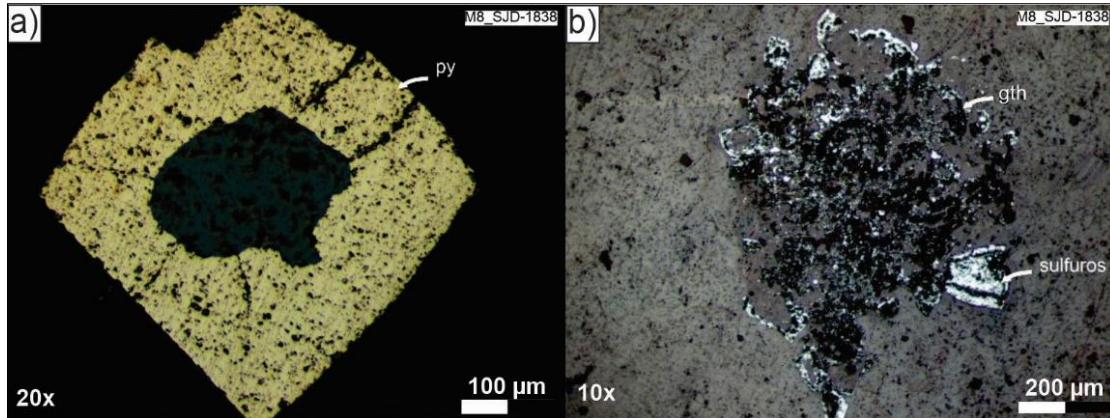


Figura 4.32. a) Microfotografía (20x) en la que se observa un cristal de pirita aislado de 350 μm , con textura de exsolución en el centro. b) Microfotografía (10x), en la que se observa oxidación de goethita en sulfuros. Ref. py: pirita, gth: goethita. Microfotografías con luz reflejada.

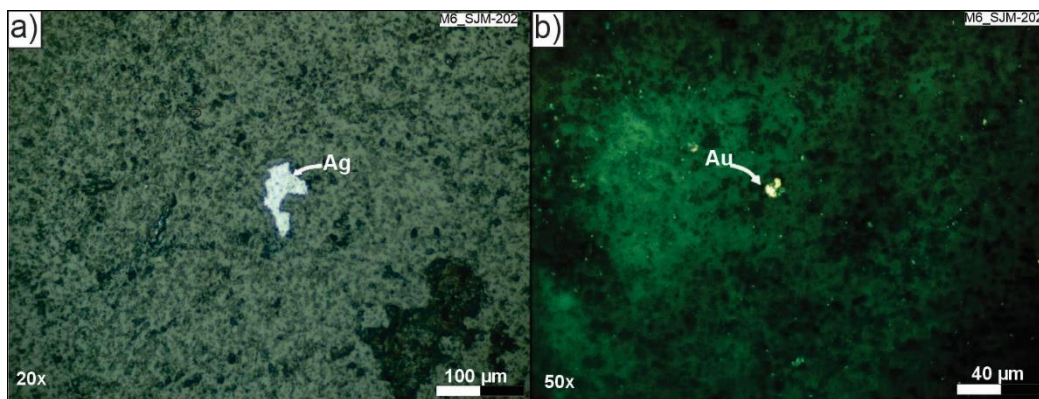


Figura 4.33. a) Microfotografía (20x) en la que se observa un cristal de Ag aislado de 50 μm . Inmerso en cuarzo con textura en mosaico. b) Microfotografía (50x) que muestra microcristales de Au menores de 20 μm . Incluidos en cuarzo con textura en mosaico. Ref: Au: oro, Ag: plata. Microfotografías con luz reflejada.

4.3.2 Mineralización a la cota de 400 msnm

La porción oeste de Micaela, a 400 msnm, se analiza con base en la muestra M3, mientras que para el segmento este se utilizan las muestras M5 y M7.

En la muestra M3 (sondeo SJD-2258), el Au aparece de forma aislada (Fig. 4.34a), mientras que los sulfuros, como pirita, esfalerita, calcopirita y freibergita, se encuentran diseminados en el pulso de cuarzo grueso con textura en mosaico. En áreas específicas, se identifica una asociación mineral compuesta por calcopirita, esfalerita, galena y pirita, con evidencia notable de reemplazo de la esfalerita por la galena (Fig. 4.34b).

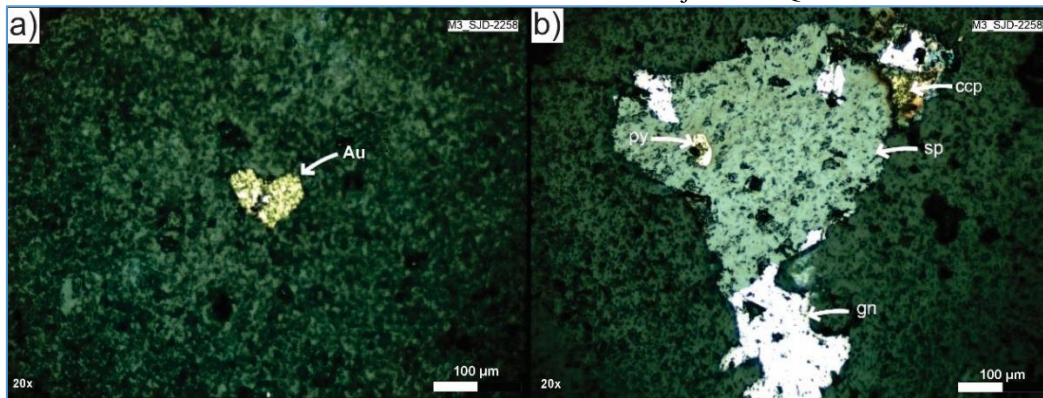


Figura 4.34. a) Microfotografía (20x) en la que se observa un cristal aislado de Au de 100 μm en cuarzo, con textura en mosaico. b) Microfotografía (20x) que muestra el reemplazo de la galena por esfalerita inmersa en cuarzo, con textura en mosaico. Ref: Au: oro; sp: esfalerita; gn: galena; ccp: calcopirita; py: pirita. Microfotografías con luz reflejada.

En la muestra M5 (sondeo SJM-477), los sulfuros y la sulfosal de plata identificados son: galena, pirita y freibergita, dispuestos de manera diseminada en cuarzo con textura en mosaico (Fig. 4.35a). Por otro lado, la muestra M7 (sondeo SJD-1579) se caracteriza por la presencia de sulfosales de plata, que no han sido clasificables según sus propiedades ópticas (Fig. 4.35b). Sin embargo, mediante el análisis de DRX se identificaron fases minerales correspondientes a argentita, tetraedrita, calcopirita, esfalerita, pirita y cuarzo (Fig. 4.36 y Anexo I).

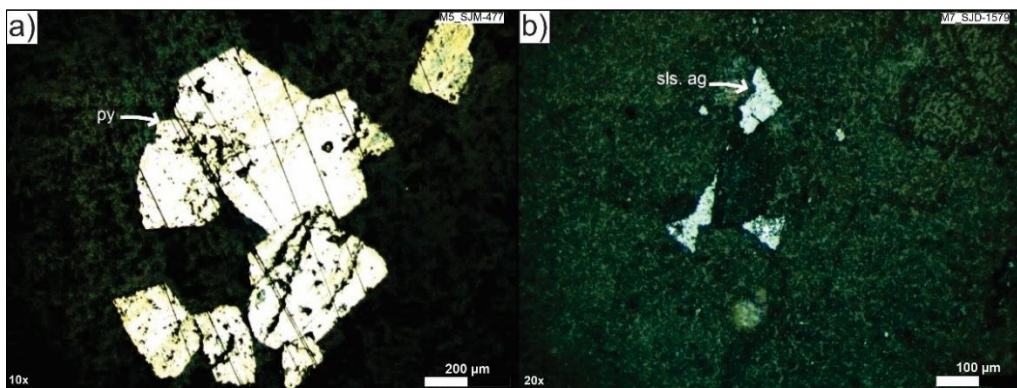


Figura 4.35. a) Microfotografía (10x) de M5, en la que se observan estrías en cristales de pirita inmersos en cuarzo con textura en mosaico. b) Microfotografía (20x) de M7, mostrando cristales de sulfosales de plata diseminados en cuarzo con textura en mosaico. Ref: py: pirita; sls. ag: sulfosales de plata. Microfotografías con luz reflejada.

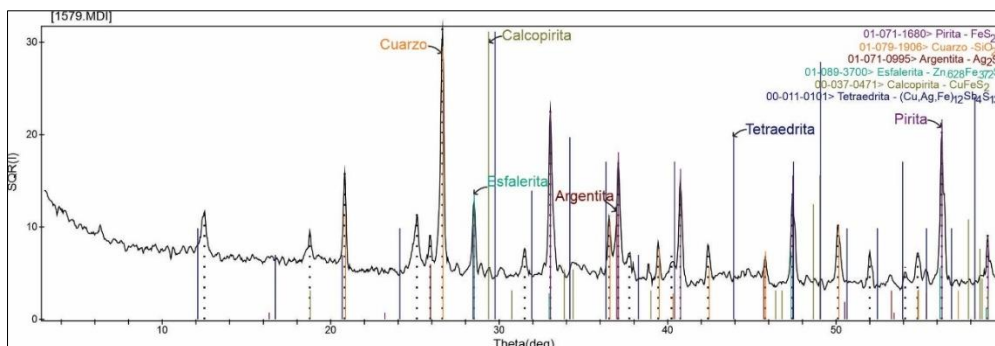


Figura 4.36. Difractograma de Rayos X de la muestra M7 mostrando que las fases minerales presentes son argentita, tetraedrita, calcopirita, esfalerita, pirita y cuarzo.

Con fines comparativos, se plasman en la Tabla 3 las características principales de los distintos niveles de la veta (Micaela Oeste-Micaela Este) a las cotas de 400 y 500 msnm respectivamente. Se observa que el contenido de sulfuros en profundidad disminuye y que la mineralización se presenta en venillas y de forma diseminada.

Cota	Muestras	Contenido de sulfuros	Contenido de sulfosales	Disposición de la mineralización	Contenido de oro y plata
500	M2, M6, M8	1 al 6%	2%	Diseminado	1-2%
400	M3, M5, M7	2-4%	3%	Diseminado y en venillas	1%

Tabla 3. Tabla comparativa de las principales características de los dos niveles analizados de la veta Micaela. Los valores se expresan en porcentajes según la estimación visual propuesta por Dorado (2015).

4.4 Geoquímica

Con el fin de analizar geoquímicamente los dos segmentos de la veta Micaela, se consideran los mismos niveles de referencia que para el análisis mineralógico, las cotas de 400 y 500 msnm, y se toman como base los sondeos de superficie y de interior de mina. Asimismo, se anexa información de canales (muestras tomadas en la corona de los tajos) para ampliar la información y para que las concentraciones obtenidas sean más representativas.

4.4.1 Geoquímica de metales preciosos (Au y Ag)

4.4.1.a Micaela Oeste

En la Figura 4.37 se resaltan en rojo y en línea punteada los dos niveles de estudio (cotas 400 y 500 msnm) en una sección longitudinal de Micaela Oeste.

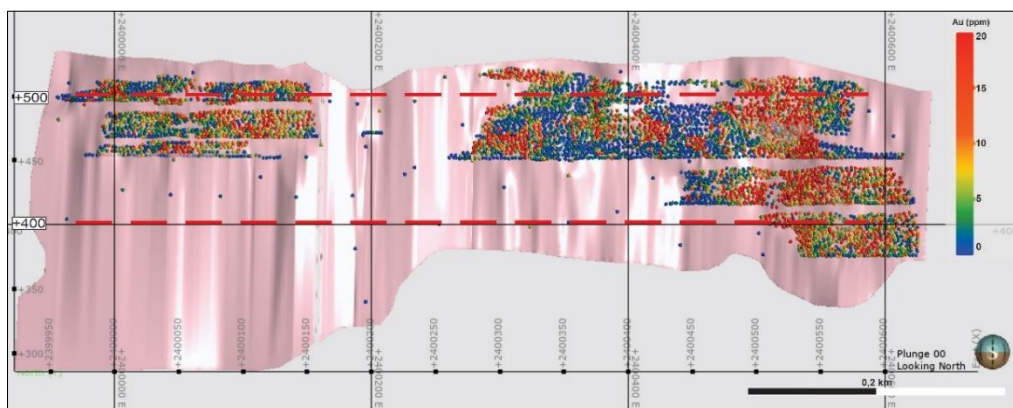


Figura 4.37. Sección longitudinal de Micaela Oeste. Cada valor de Au en ppm corresponde a una muestra colectada en el interior de la mina o en un sondeo. Sección realizada con Leapfrog 2022.1. Nota: la vista es hacia el norte.

Considerando todas las muestras, sin anular los valores que se alejan significativamente de la media, se observa que la veta presenta dos zonas con concentraciones anómalas. La primera está comprendida entre las cotas 355-375 msnm y la segunda, entre 450-500 msnm; este patrón es uniforme tanto para el Au, que alcanza valores de hasta 800 ppm (Fig. 4.38), como para la Ag, que alcanza valores de hasta 6000 ppm (Fig. 4.39).

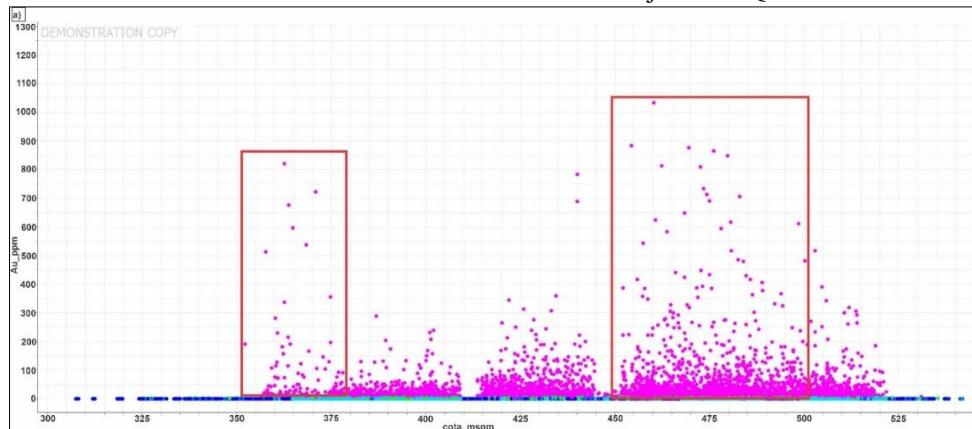


Figura 4.38. Relación entre la concentración de Au en el eje Y y la cota (msnm) en el eje X, que muestra las anomalías ubicadas entre las cotas 355-375 y 450-500 msnm.

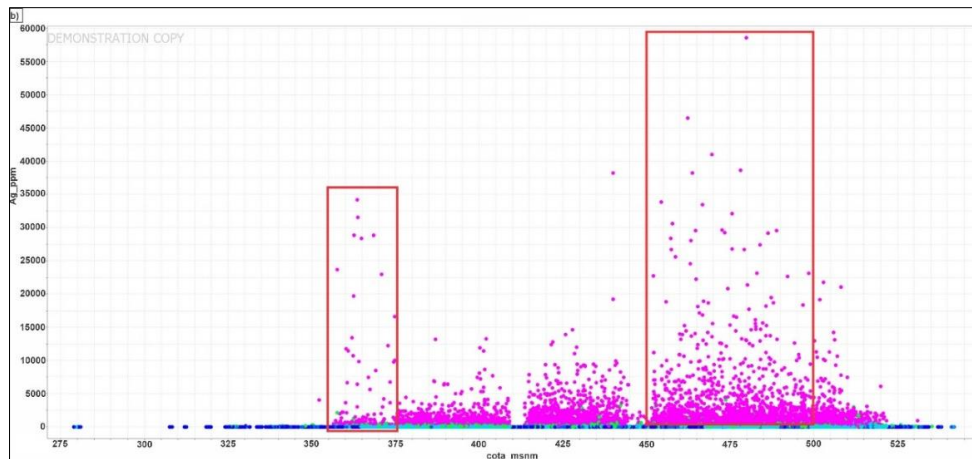


Figura 4.39. Relación entre la concentración de Ag en el eje Y y la cota (msnm) en el eje X, que evidencia las anomalías reconocidas en las cotas de 355-375 y 450-500 msnm.

En lo que respecta a la relación Au vs Ag de Micaela Oeste, no se observa una correlación lineal positiva clara a la cota de 500 msnm (Fig. 4.40); mientras que, a la cota de 400 msnm, existe una correlación lineal positiva con un valor de r^2 de 0,5 hasta valores de aproximadamente 17,5 ppm de Au; luego, no se observa una correlación clara (Fig. 4.41).

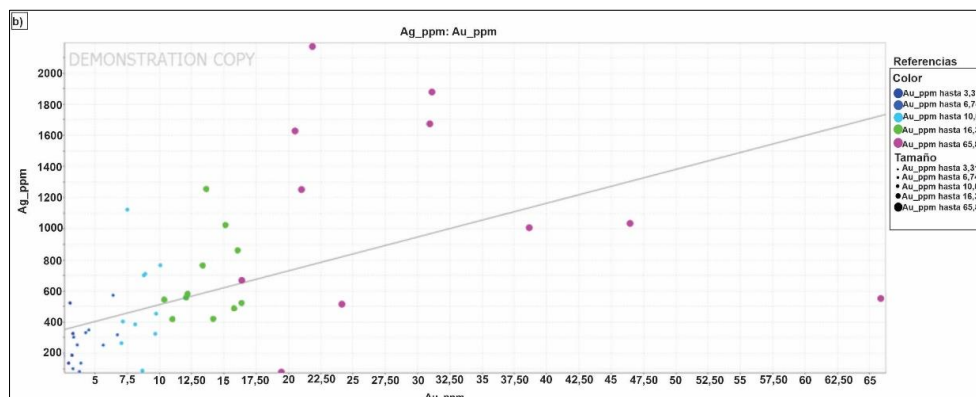


Figura 4.40. Gráfico de dispersión a la cota de 500 msnm en Micaela Oeste: en el eje Y se ubican las concentraciones de Ag en ppm y en el eje X, las de Au en ppm. Se observa una correlación positiva con la línea de tendencia en las muestras que alcanzan hasta 12,50 ppm de Au. Nota: el tamaño de los círculos del gráfico se asocia con la cantidad de muestras que presentan valores de Au similares.

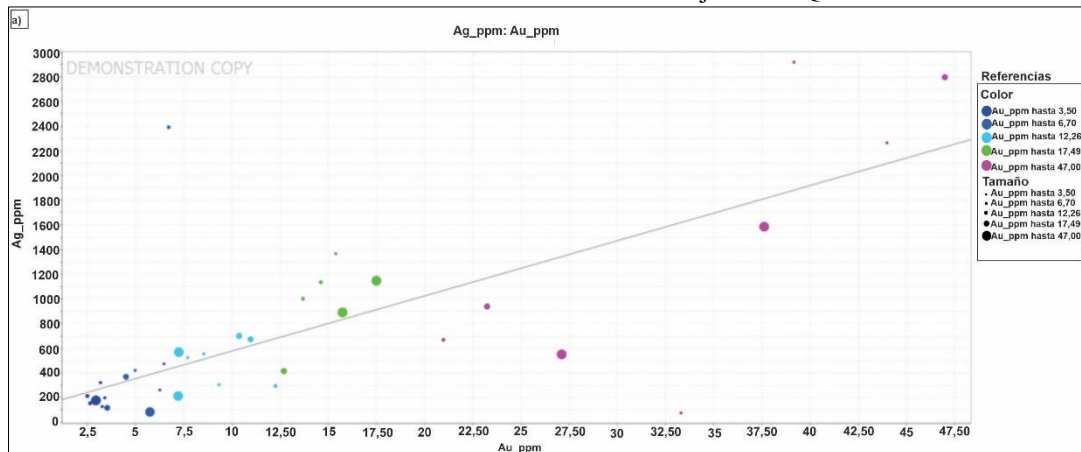


Figura 4.41. Gráfico de dispersión a la cota de 400 msnm de Micaela Oeste: en el eje Y se ubican los valores de Ag en ppm y en el eje X, los de Au en ppm. Se observa una correlación positiva con la línea de tendencia en muestras que alcanzan aproximadamente 17,5 ppm de Au. Nota: el tamaño de los círculos del gráfico se asocia con la cantidad de muestras que presentan valores de Au similares.

4.4.1.b. Micaela Este

En la Figura 4.42 se resaltan en rojo y en línea punteada los dos niveles de estudio (cotas 400 y 500 msnm) en una sección longitudinal de Micaela Este. La mayor densidad de muestras (>6000) y de minado se concentra en los niveles seleccionados.

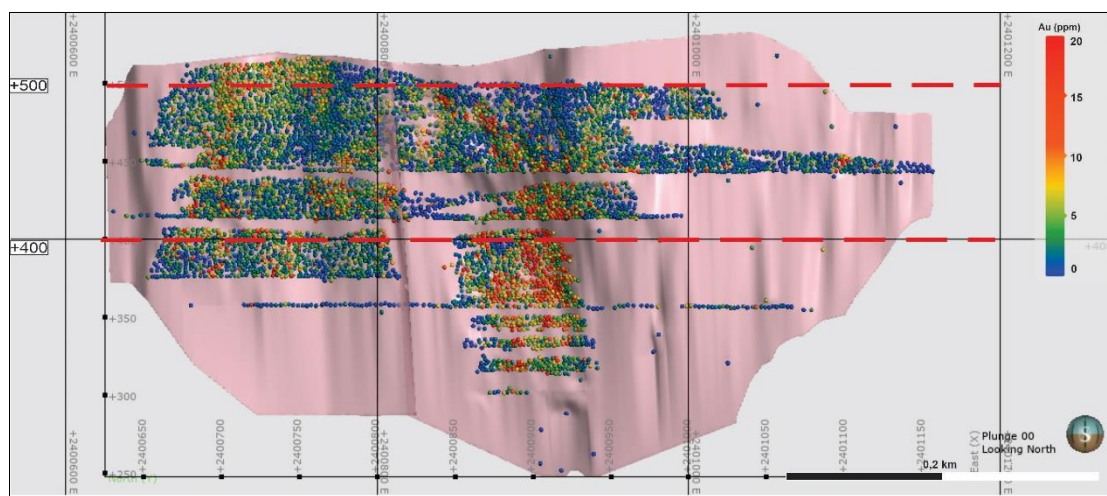


Figura 4.42. Sección longitudinal de Micaela Este. Cada valor de Au corresponde a una muestra de canal tomada en el interior de la mina o a un sondeo. Sección realizada con Leapfrog 2022.1. Nota: la vista es hacia el norte y la unidad de referencia es ppm.

Al igual que en la porción oeste de la veta, si se consideran todas las muestras con valores de Au y Ag, la mineralización se concentra principalmente entre las cotas de 350 y 500 msnm, alcanzando valores de hasta 550 ppm de Au (Fig. 4.43) y 3200 ppm de Ag (Fig. 4.44).

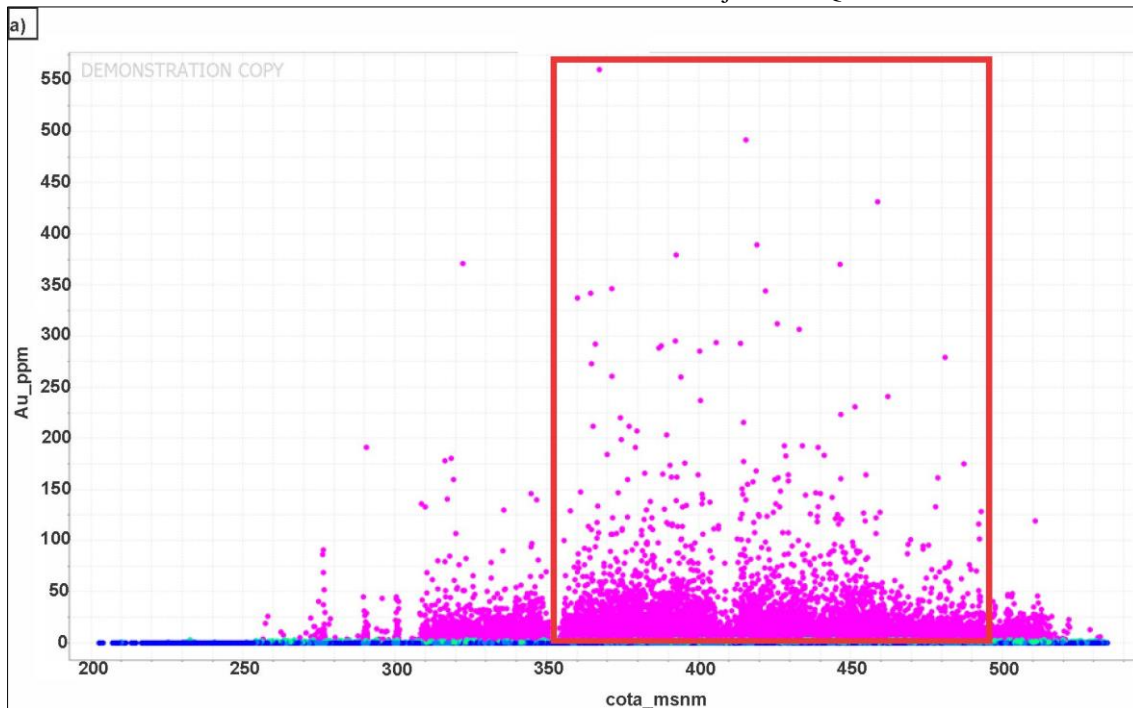


Figura 4.43. Relación entre la concentración de Au en el eje Y y la cota (msnm) en el eje X, destacando que la mayor anomalía se localiza entre las cotas de 350 y 500 msnm. Nota: Las zonas blancas (espacios vacíos), corresponden a zonas donde no hubo desarrollo o bien zonas con poca densidad de muestreo.

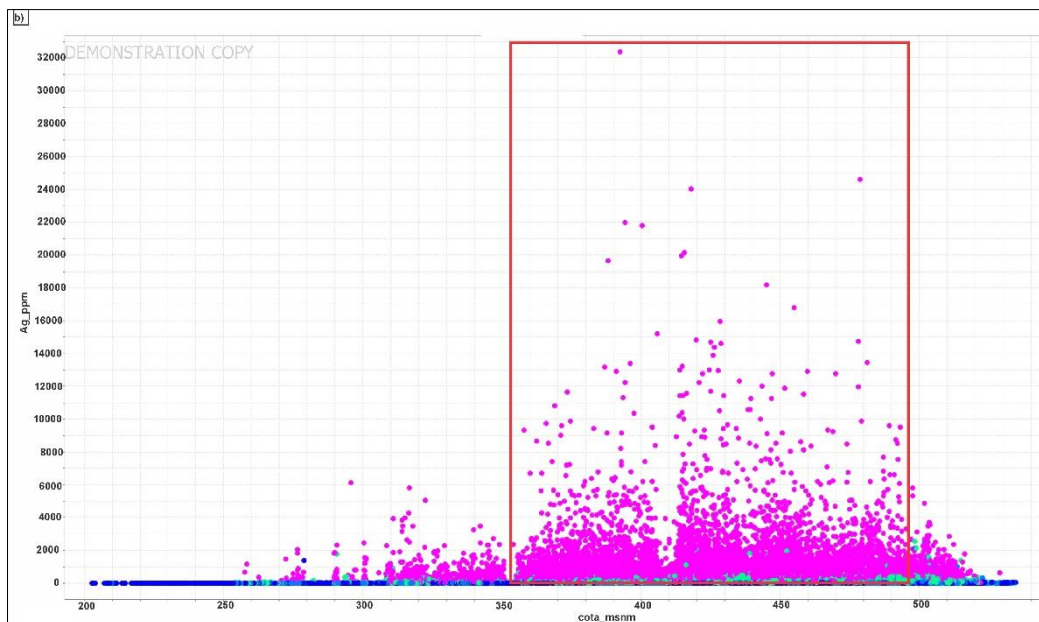


Figura 4.44. Relación entre la concentración de Ag en el eje Y y la cota (msnm) en el eje X, donde la mayor anomalía se observa entre las cotas de 350 y 500 msnm.

Por su parte, la relación de Au vs Ag para Micaela Este no muestra una tendencia definida a la cota de 500 msnm (Fig. 4.45), mientras que, al igual que lo observado en Micaela Oeste, a la cota de 400 msnm, la correlación entre los contenidos de metales preciosos es positiva (Fig. 4.46).

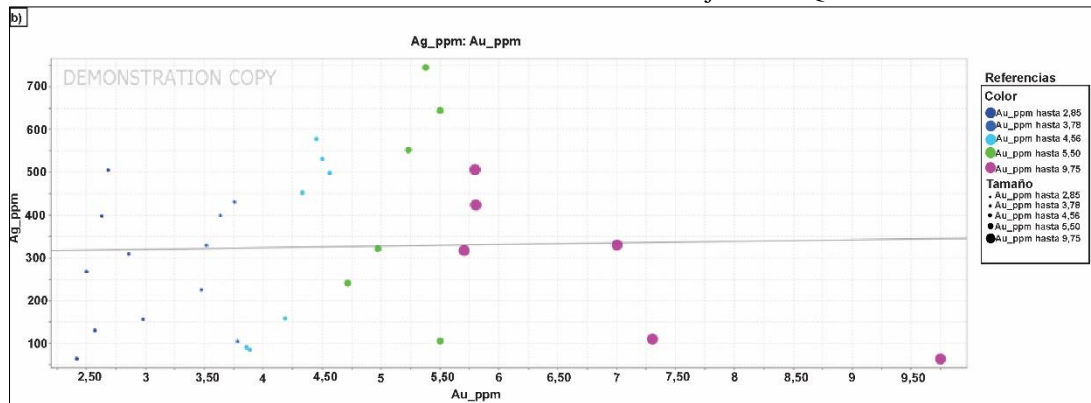


Figura 4.45. Gráfico de dispersión a la cota de 500 msnm de Micaela Este. En el eje Y se ubica el valor de Ag en ppm y en el eje X, el de Au en ppm. No se observa una tendencia definida; los valores se encuentran dispersos. Nota: el tamaño de los círculos del gráfico se asocia con la cantidad de muestras que presentan valores de Au similares.

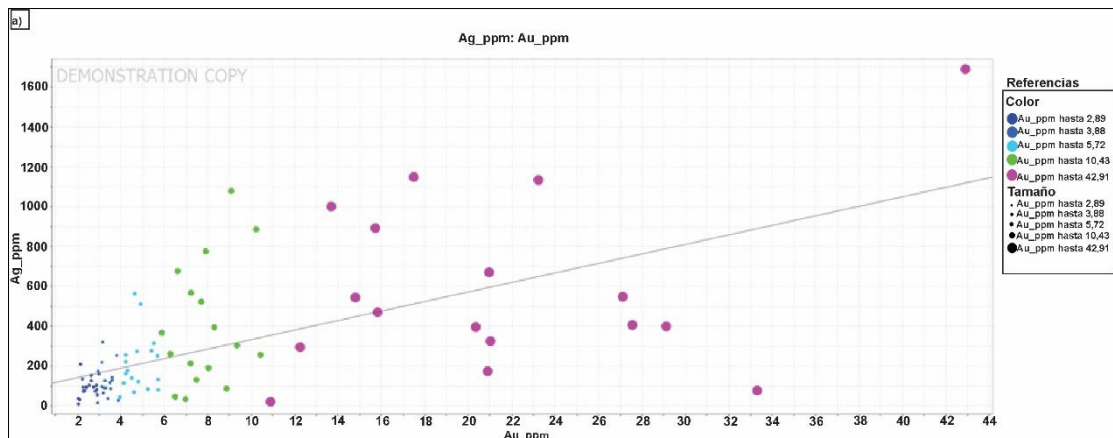


Figura 4.46. Gráfico de dispersión a la cota de 400 msnm de Micaela Este. En el eje Y se ubica el valor de Ag en ppm y en el eje X, el de Au en ppm. Se observa una tendencia general positiva. Nota: el tamaño de los círculos del gráfico se asocia con la cantidad de muestras que presentan valores de Au similares.

4.4.2 Cociente metálico de Micaela Oeste y Micaela Este

Para llevar a cabo este análisis, se consideran solo los valores que superan los 2 ppm, tomando estos como valores submarginales, de un total de 100 muestras por segmento de la veta.

A la cota de 500 msnm, la relación Ag/Au es de 46,27 para Micaela Oeste y de 72,33 para Micaela Este. Para la cota de 400 msnm, la relación Ag/Au para Micaela Oeste es de 54,59 y para Micaela Este, de 35,75 (Fig. 4.47), con un cociente promedio de 52 para Micaela. Los gráficos se encuentran en el Anexo II.

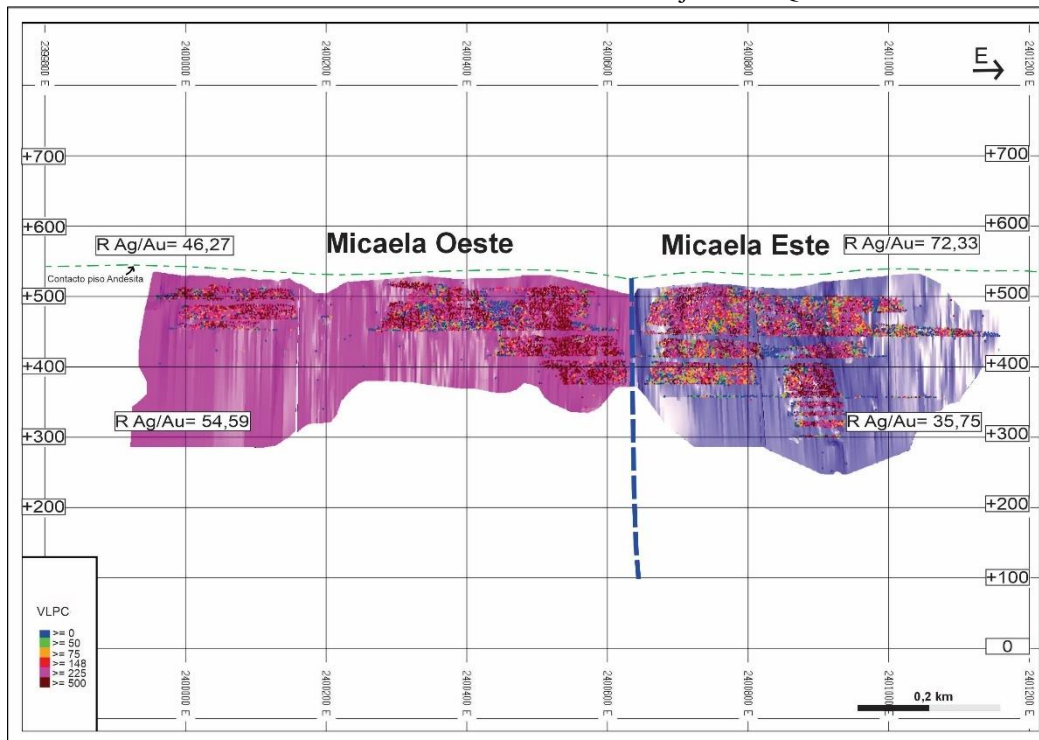


Figura 4.47. Sección longitudinal de Micaela Oeste y Micaela Este. Con línea punteada azul se representa la falla Giovanna. Se observa que no existe relación geoquímica entre ambas estructuras a la misma cota. Ref. VLPC: es un parámetro económico sujeto a la cotización del metal. Sección realizada con Mineplan V15.8. Nota: la vista es hacia el norte.

No se observa concordancia entre los cocientes a la misma cota. A 400 msnm, la veta Micaela Oeste presenta una relación Ag/Au más elevada, lo que indica un mayor enriquecimiento relativo en Ag, mientras que en Micaela Este se registran valores inferiores. Esta relación se invierte a la cota de 500 msnm, donde Micaela Este exhibe relaciones Ag/Au superiores a las observadas en Micaela Oeste

4.4.3 Geoquímica de metales base: Fe, Cu, Pb y Zn

Al igual que en las secciones previas, los contenidos de Fe, Cu, Pb y Zn se analizan comparativamente en ambos tramos de la veta Micaela, a las cotas de 500 y 400 msnm.

A la cota de 500 msnm, el contenido promedio de Fe en Micaela Oeste oscila entre 1-2 % y 5 %, mientras que a la misma cota en Micaela Este los valores rondan el 1 %. A la cota de 400, el Fe alcanza valores de hasta 1 y 2 % en ambos segmentos de la veta (Fig. 4.48a). Por su parte, el contenido de Cu a la cota de 500 msnm es mayor en Micaela Este, con valores que superan el 0,05%, mientras que en Micaela Oeste los valores son, por lo general, menores que 0,02%. A la cota de 400 msnm, Micaela Oeste se encuentra más enriquecida en Cu, ya que muestra valores de 0,02 % a 0,05 %, mientras que en Micaela Este las muestras, en su gran mayoría, presentan 0,01 %, a excepción de muestras puntuales que registran valores de 0,02 % a 0,04 % (Fig. 4.48b).

El contenido de Pb a la cota de 500 msnm en Micaela Este alcanza hasta 2,5 %, superior al de Micaela Oeste, que presenta hasta 0,5 %. A la cota de 400 msnm, el contenido de

Pb es igualmente mayor en Micaela Este, donde las muestras presentan entre 1,5 % y 2,5 %, mientras que en Micaela Oeste los valores no superan el 1 % (Fig. 4.49a).

El Zn a la cota de 500 msnm es mayor en Micaela Este, donde alcanza valores entre 0,1 y 0,5 %, mientras que en Micaela Oeste los valores dominantes rondan 0,1 %, con muestras puntuales que alcanzan 0,2 %. A la cota de 400 msnm, los valores más altos se registran en Micaela Oeste, con varias muestras que superan el 0,2 % y el 0,3 % (Fig. 4.49b).

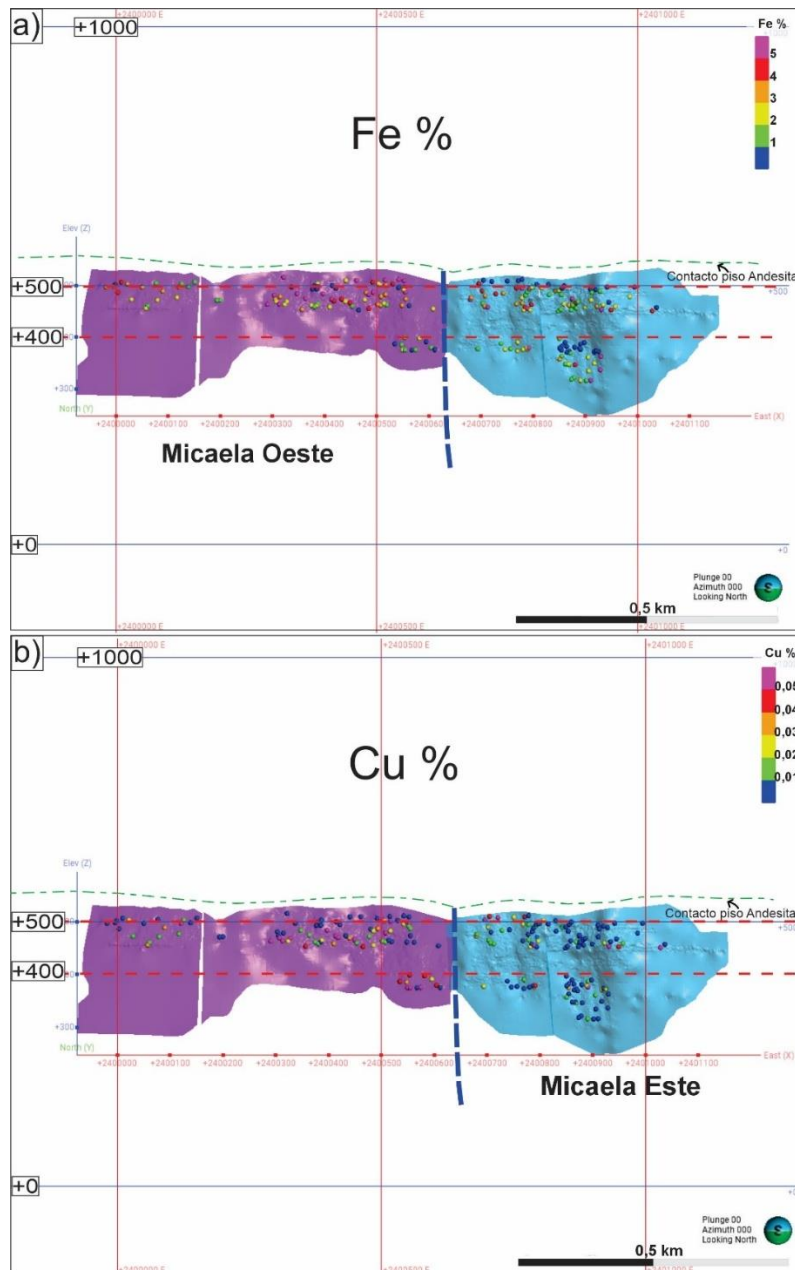


Figura 4.48. Gráfico comparativo de Fe y Cu de ambas estructuras, considerando los niveles de referencia (cotas de 500 y 400 msnm, en línea punteada en rojo) y la falla Giovanna (en línea punteada en azul). a) Contenidos de Fe, cuyos valores más altos se observan en Micaela Oeste a la cota de 500 msnm. b) Contenidos de Cu, que oscilan entre 0,01 % y 0,05 %; estos son mayores a la cota de 400 msnm en Micaela Oeste. Gráfico realizado en Leapfrog 2025.1.1 y editado en CorelDRAW 2025. Nota: la vista es hacia el norte.

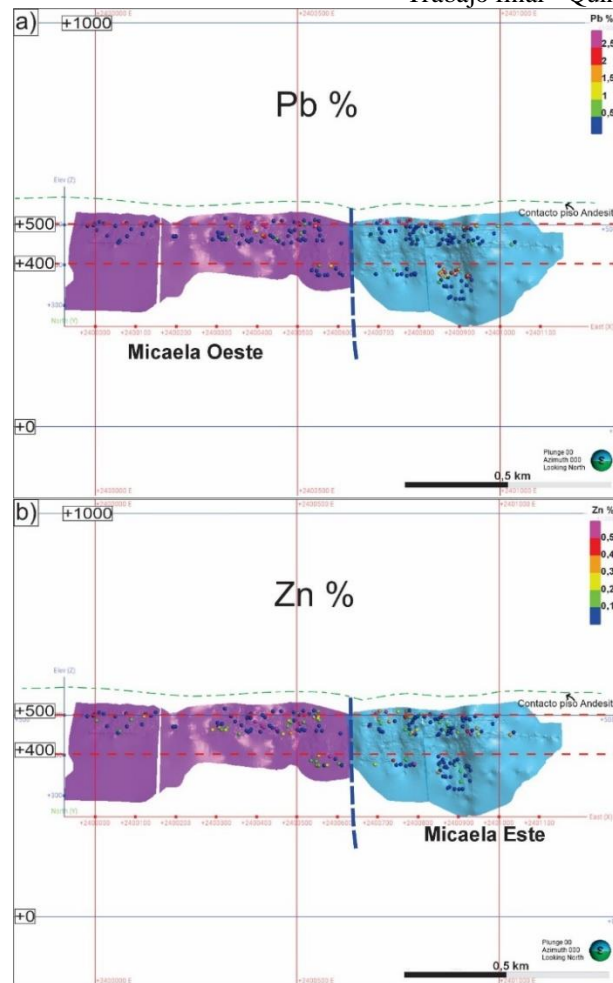


Figura 4.49. Gráfico comparativo de Pb y Zn de ambas estructuras, considerando los niveles de referencia, cota 500 y 400 msnm (línea punteada en color rojo), en línea punteada de color azul se representa a la falla Giovanna. a) Los contenidos de Pb a las cotas de 500 y 400 msnm son mayores en Micaela Este, dado que las muestras alcanzan valores de 2 y 2,5 % a 500 msnm, mientras que a 400 msnm varían entre 1,5 y 2,5 %. b) Se representa el Zn con valores entre 0,1 % y 0,5 %. La concentración de este metal es mayor a la cota de 400 msnm en Micaela Oeste. Gráfico realizado en Leapfrog 2025.1.1 y editado en CorelDRAW 2025. Nota: la vista es hacia el norte.

En la Tabla 4 se presentan los valores obtenidos en comparación entre ambos segmentos de la veta Micaela.

	MICAELA OESTE	MICAELA ESTE
COTA 500	>Fe, =Cu, < Pb y Zn	<Fe, >Cu, >Pb y >Zn
COTA 400	=Fe, >Cu, <Pb y =Zn,	=Fe, <Cu, >Pb y =Zn,

Tabla 4. Tabla comparativa que muestra, de forma simplificada, el contenido de cada metal de Micaela Oeste y Micaela Este.

5. DISCUSIONES

5.1 Clasificación del depósito

De acuerdo con lo descrito en este trabajo en relación con las características composicionales de la veta Micaela, esta se caracteriza, en rasgos generales, por una abundancia de sulfosales de plata (tetraedrita-freibergita), observada en las secciones delgadas a las cotas de 400 y 500 msnm, por la presencia de calcopirita y piritita asociadas y por la abundancia de metales base (Pb, Cu, Zn y Fe). Estos rasgos no son compatibles con los que caracterizan a los depósitos epitermales de baja sulfuración, ya que, como se mencionó previamente, estos últimos suelen presentar bajos contenidos de metales base y sulfosales (Hedenquist *et al.*, 2000). En este sentido, las características composicionales de la veta Micaela se asemejan a las descritas para los depósitos epitermales de sulfuración intermedia, los cuales, según Wang *et al.* (2019), se caracterizan por la presencia de sulfosales del grupo tetraedrita-tennantita y la abundancia de metales base. Esto indicaría que la veta Micaela responde a un modelo de depósito epitermal de sulfuración intermedia, en concordancia con lo interpretado por Rodríguez (2012) para la veta Huevos Verdes, perteneciente al mismo yacimiento.

Como se indicó previamente, la amplia mayoría de los depósitos epitermales del Macizo del Deseado han sido interpretados como depósitos de baja sulfuración (Schalamuk *et al.*, 1999 y citas allí incluidas), habiendo sido reconocidos escasos ejemplos de depósitos de sulfuración intermedia (p.ej., Sillitoe y Hedenquist, 2003). Además de la mencionada veta Huevos Verdes, la cual fue clasificada como un depósito de sulfuración intermedia gracias al estudio de inclusiones fluidas, el que determinó que las soluciones fueron diluidas o de baja salinidad (entre 0,5 y 4% en peso de NaCl equiv.), con temperaturas comprendidas entre 245 °C y 326 °C (Rodríguez, 2012), el yacimiento Mina Marta fue otro de la región clasificado como de sulfuración intermedia por su alta relación Ag/Au (900/1) (Einaudi *et al.*, 2003; Sillitoe y Hedenquist, 2003; Simmons *et al.*, 2005). En este sentido, la veta Micaela presenta marcadas semejanzas composicionales con el depósito de Mina Martha, ya que ambos presentan un elevado contenido de metales base y sulfosales de plata (tetraedrita-freibergita) (González Guillot *et al.*, 2004; Páez, 2012).

5.2 Secuencia Paragenética

Con base en el análisis de las secciones petro-calcográficas llevadas a cabo en muestras de la veta Micaela, y de acuerdo con las relaciones texturales observadas entre los minerales presentes, se estableció una secuencia paragenética para la misma (Fig. 5.0).

El primer pulso de cuarzo (cuarzo **I**) es un cuarzo estéril, sin minerales opacos. El mismo presenta texturas de cristalización primaria, compuestas por texturas crustificada y coliforme, observadas en muestras macroscópicas, y por la textura zonada, observada bajo el microscopio.

El segundo pulso de cuarzo (cuarzo **II**) presenta texturas de recristalización, con predominancia de la textura en mosaico de granulometría gruesa y fina (Fig. 4.24 y 4.25), y texturas plumosa y llameante en menor medida (Fig. 4.26 y 4.27), observables bajo el microscopio. Debido a la abundancia de minerales opacos observados en este pulso, se presume que corresponde al de mayor concentración de metales preciosos Au y Ag, los

cuales se disponen de forma aislada (Fig. 4.33 y 4.34), a diferencia de los sulfuros, que se presentan mayormente asociados.

El cuarzo con texturas de reemplazo (*lattice*) se interpreta como un pulso posterior al cuarzo **II**, ya que se genera por el reemplazo de calcita por cuarzo estéril (Fig. 4.28), lo que sugiere una génesis tardía. Él mismo se indica como cuarzo **III**.

Por último, se interpreta que el pulso de cuarzo con textura brechada, asociado a un pulso de cuarzo microcristalino en el que se observan fragmentos de andesita subangulosos, cuarzo con textura en mosaico y minerales opacos, correspondería al pulso final, indicado como cuarzo **IV** (Fig. 4.29 y 4.30).

En relación con las evidencias de oxidación, abundantes a la cota de 500 msnm para ambos segmentos de la veta Micaela (Fig. 4.19 y 4.20), estas están formadas por hematita, goethita y limonitas indiferenciadas, que reemplazaron los sulfuros primarios, lo que indica una ocurrencia posterior a los eventos hidrotermales detallados anteriormente.

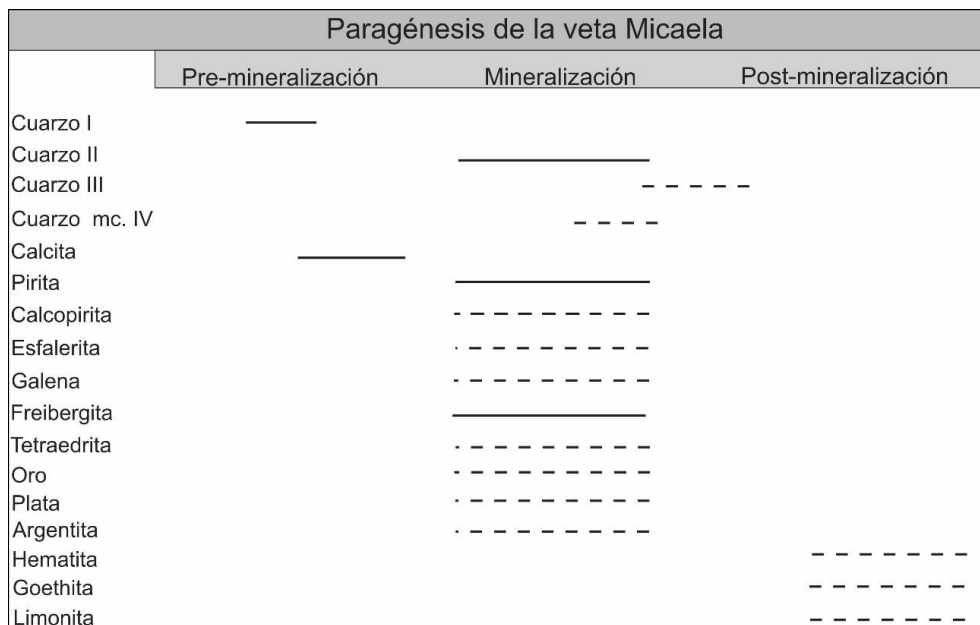


Figura 5.0. Secuencia paragenética propuesta para la veta Micaela. Línea continua: minerales presentes en más de 3 muestras; línea punteada: minerales presentes en 2 muestras, a excepción de la argentina y la tetraedrita, que han sido reconocidas en una sola muestra.

5.3 Distribución de las alteraciones hidrotermales

La alteración hidrotermal involucra cualquier cambio mineralógico, textural y químico producido en las rocas como consecuencia de la circulación de fluidos calientes (usualmente en solución acuosa) a través de ellas. Además de la composición química original de la roca, los factores de temperatura y de composición del fluido hidrotermal son los más importantes en la asociación mineralógica resultante. Este fluido tiende a estar considerablemente fuera de equilibrio termodinámico con las rocas adyacentes, lo que provoca modificaciones en su composición mineralógica y textural (Pirajno, 1992).

La alteración hidrotermal en depósitos epitermales de baja sulfuración se dispone en halos alrededor de las vetas, con una zona de alteración cuarzo-sericítica en las rocas que



forman el contacto, rodeada de una zona argílica y de una zona de alteración propilítica externa (Buchanan, 1981; Hedenquist *et al.*, 2000; Cooke y Simmons, 2000).

Para la veta Micaela, en las zonas próximas, la alteración hidrotermal se caracteriza por una zona rica en cuarzo, con cantidades variables de clorita y sericita.

La alteración por sílice es mayor a la cota de 400 msnm, como se observa en la muestra M4 del sondeo SJM-477. Esto se correlaciona con los estudios de DRX y con muestras macroscópicas de sondeos ubicados en la misma cota de 400 msnm (SJD-2258, SJM-343 y SJD-1579) de ambas estructuras.

Por otra parte, los efectos supergénicos y de oxidación están evidenciados por la presencia de abundantes venillas rellenas con óxidos (goethita y hematita), predominantes a la cota de 500 msnm. Estos rasgos se observan en el sondeo SJD-2236, así como en el sondeo SJD-1838, determinados mediante análisis de DRX que identifican la goethita como la fase predominante. La presencia de estos óxidos refleja la acción de soluciones ácidas generadas en la zona vadosa, derivadas de la oxidación de sulfuros primarios (Hedenquist *et al.*, 2000).

El grado de alteración presente en la veta Micaela es similar al analizado por Rodríguez (2012) para el sector Huevos Verdes, ubicado al sur del Yacimiento San José, donde la mineralogía de alteración es illita, illita/esmectita, sericita, clorita y adularia.

5.5 Zonación textural

Los depósitos epitermales se caracterizan por una gran variedad de texturas de cuarzo, que reflejan los procesos de crecimiento cristalino bajo condiciones físico-químicas variables en sistemas hidrotermales. La clasificación de las texturas se basa en el análisis de autores como Morrison *et al.* (1989), Dong *et al.* (1995) y Dowling y Morrison (1989).

Morrison *et al.* (1989), basados en Buchanan (1981), establecen una zonación vertical de las texturas presentes en los sistemas vetiformes epitermales, así como de los metales preciosos y de ganga (Fig. 5.1). El mismo divide los sistemas epitermales en tres zonas en función de la temperatura y la profundidad. La zona más somera, CH, se caracteriza por la abundancia de calcedonia, carbonatos, Au asociado a sulfuros y texturas de reemplazo. La zona intermedia, o CC, se caracteriza por texturas de recristalización junto con texturas de crecimiento primario (coloforme y crustiforme). El mineral de mena dominante de esta zona es la Ag, presente en sulfuros como pirargirita, proustita y argentita, y puede haber *electrum*. Mientras que en la zona más profunda, o zona X, se destacan las texturas de crecimiento primario y la abundancia de metales pesados, tales como sulfuros de plomo, hierro y cobre (p.ej., galena, esfalerita, calcopirita, pirita).

La veta Micaela, en función de las texturas reconocidas en este trabajo, entre las que predominan las de recristalización a la cota de 500 msnm (texturas mosaico, plumosa y llameante) y las de crecimiento primario a la cota de 400 msnm (texturas crustificada, coloforme y zonada), se ubica en la transición entre las zonas de recristalización (CC) y de cristalización primaria (X) según el modelo de Morrison *et al.* (1989). En concordancia con esto y siguiendo el mismo modelo, los contenidos generales de metales preciosos y de sulfuros se ajustan a dicha asignación (Fig. 5.1). No obstante, como se ha mostrado en este trabajo, existen variaciones en los contenidos de metales preciosos y de metales base

en los dos segmentos estudiados de la veta Micaela. Tales variaciones podrían estar vinculadas con la falla Giovanna, lo cual se analizará en la siguiente sección.

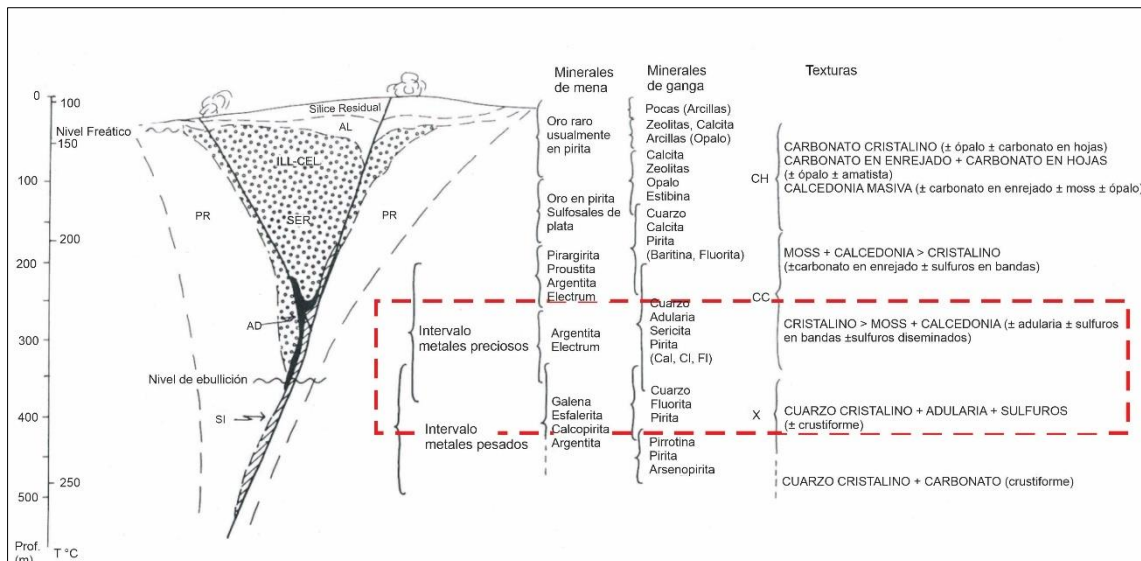


Figura 5.1. Modelo a escala para la zonación textural y de minerales de mena y de ganga en un sistema epitermal típico. Se indican las zonas de alteración: PR: propilítica; SI: silíceas; AD: adularia; ILL: illita; SER: sericita; CEL: celadonita; AL: alunita-caolinita piritita. Las texturas CH: calcedonia; CC: crustiforme-coliforme; X: cristalino. La veta Micaela se ubica en la zona de transición entre CC y X (línea punteada roja), concordante con el intervalo de metales preciosos y metales pesados observados en las cotas de 500 y 400 msnm, respectivamente (tomado de Morrison *et al.*, 1989, basado en Buchanan, 1981).

5.6 Variaciones composicionales de los segmentos este y oeste de la veta Micaela y su potencial vinculación con la falla Giovanna

Como se indicó previamente, los segmentos estudiados de la veta Micaela presentan diferencias en los contenidos de metales preciosos y de metales base. En este sentido, a la cota de 500 msnm, el segmento oeste presenta una relación Ag/Au de 46,27, mientras que el segmento este presenta una relación Ag/Au de 72,33 (Fig. 4.47). Esta concentración más elevada de Ag en el segmento este (ver Fig. 4.44) se acompaña de valores más altos de Pb, Cu y Zn en relación con la porción oeste (Fig. 4.48 y 4.49). Por su parte, a la cota de 400 msnm, la relación Ag/Au se invierte, siendo mayor en el segmento oeste (54,59) que en el este (35,75), lo cual se acompaña de mayores concentraciones de Cu y Zn en el primero, mientras que el contenido de Pb continúa siendo mayor en el segmento este (Fig. 4.48 y 4.49).

Si bien las diferencias en las concentraciones de metales entre ambos segmentos de la veta Micaela podrían deberse a heterogeneidades propias del sistema epitermal, la influencia de la falla Giovanna, que divide la veta en dichas porciones, debe considerarse potencialmente relevante.

De acuerdo con Echavarría *et al.* (2021) y Gutiérrez (2006), el origen de los depósitos epitermales vetiformes del Yacimiento Huevos Verdes estuvo vinculado a sistemas transtensionales asociados a fallas de desplazamiento lateral de cinemática sinistral y dextral (Fig. 3.7 y 3.8). Específicamente, la veta Micaela se habría generado bajo un régimen transtensional asociado a una cinemática dextral de rumbo oeste-noroeste (Fig.



3.8), posiblemente vinculada al sistema de fracturación El Tranquilo definido por Panza *et al.* (1982) (Fig. 3.6).

La falla Giovanna, que segmenta la veta Micaela en dos y cuya actividad necesariamente se produjo después de la generación de la veta, tiene un rumbo general norte-sur. Esta dirección contrasta con gran parte de los rumbos noroeste-sureste y noreste-suroeste de las fallas y fracturas reconocidas en la región por Reimer *et al.* (1996), Panza *et al.* (1982) y Echavarría *et al.* (2021) para el lapso Triásico-Cretácico (ver Fig. 3.5, 3.6 y 3.8), aunque podría ser parcialmente compatible con estructuras dextrales de rumbo aproximado norte-sur del sistema La Frisia de Reimer *et al.* (1996) (Fig. 3.5). No obstante, la disposición de ambos segmentos de la veta Micaela no es compatible con una cinemática dextral de la falla Giovanna, la cual no presenta evidencias de desplazamiento lateral y muestra sólo un cambio en el buzamiento en ambos segmentos (segmento este buza el norte y el segmento oeste al sur) (Fig. 2.0). Esto último hace parecer que dicha falla registra un leve desplazamiento sinistral al visualizar mapas en planta del yacimiento a determinadas cotas (Fig. 4.1), aunque las diferencias composicionales entre ambos segmentos no podrían ser explicadas por este motivo.

Por otra parte, trabajos estructurales más recientes de la región indican la existencia de eventos tectónicos de acortamiento ocurridos desde el Cretácico Temprano en adelante (Giacosa *et al.*, 2010; Gianni *et al.*, 2018; Perez Frasette *et al.*, 2024). Por un lado, Perez Frasette *et al.* (2024) han identificado para la región central del Macizo del Deseado estructuras jurásicas tectónicamente invertidas en el Cretácico Inferior, que presentan un rumbo general aproximado norte-sur, semejante al de la falla Giovanna. Por otro lado, Giacosa *et al.* (2010) evidencian eventos extensionales del Cretácico Tardío y de acortamiento de edad miocena, que habrían generado estructuras de rumbo general oeste-noroeste y nor-noreste, respectivamente. En este sentido, los mapas geológicos del área de estudio muestran que las coladas basálticas oligocenas del Basalto Alma Gaucha no fueron afectadas por la falla Giovanna (Rodríguez, 2012), lo cual permite asumir una edad pre-oligocena de la falla, descartando la actividad tectónica miocena como responsable de la actividad de esta falla. Así, al considerar las edades radimétricas previamente obtenidas para las mineralizaciones del área, que restringen la actividad hidrotermal al Jurásico Tardío-Cretácico Temprano (Fig. 3.4), se acota la actividad de la falla al lapso Jurásico Tardío-Oligoceno.

Dado que tanto la veta Micaela como la falla Giovanna no afloran y que no se han realizado trabajos estructurales de detalle en las labores mineras subterráneas que han contactado dicha falla, no se cuenta con datos estructurales directos para este trabajo. Por lo tanto, su cinemática y su potencial influencia en las variaciones composicionales de ambos segmentos de la veta se infieren aquí de manera tentativa con base en las diferencias en las concentraciones de metales, siguiendo modelos de depósitos minerales epitermales a nivel mundial (Morrison *et al.*, 1989 y citas allí incluidas; Fig. 5.1). En este sentido, es sabido que los contenidos de metales base y Ag aumentan con la profundidad de los sistemas epitermales, debido a la abundancia creciente de sulfuros de plomo, Ag, Cu y Zn, mientras que el contenido de Au disminuye (Morrison *et al.*, 1989 y citas allí incluidas). Por otra parte, dado que la veta está directamente cubierta por coladas



basálticas, se presume que el sistema vetiforme habría estado expuesto a agentes meteóricos y a la influencia del nivel freático durante un período indeterminado. Debido a esto, es necesario considerar la movilidad de los metales a analizar, dado que las concentraciones iniciales del sistema pueden haberse modificado por eventos potenciales de enriquecimiento supergénico. En este sentido, es sabido que metales como el Pb y el Au presentan menor movilidad, mientras que el Cu, el Zn y la Ag son elementos móviles (López *et al.*, 2015), por lo que resulta útil analizar comparativamente los dos primeros. Como se indicó en la sección 4.4 (Geoquímica), tanto el contenido de Au como el de Pb varían en ambos segmentos de la veta, de manera tal que, en términos generales, a la cota de 500 msnm, el segmento este presenta contenidos de Pb mayores que el segmento oeste, así como valores menores de Au (ver Fig. 4.38, 4.43, 4.48 y 4.49). Asimismo, los contenidos de Cu y Zn son igualmente mayores en el segmento este. Por su parte, a la cota de 400 msnm, el contenido de Pb continúa siendo mayor en el segmento este, aunque la relación Ag/Au disminuye, así como los contenidos de Cu y Zn.

Con base en lo mencionado, las diferencias observadas en la concentración de metales permitirían sugerir, de manera tentativa, que el segmento este de la veta Micaela representa niveles más profundos del sistema epitermal, debido principalmente a la mayor concentración general de Pb y a la menor de Au. Esto implica un ascenso relativo del bloque oriental que contiene el segmento este de la veta Micaela, lo que permite suponer que la falla Giovanna habría tenido una componente vertical predominante en su actividad. Debido a que se desconoce la inclinación del plano de falla, la cinemática de la falla pudo ser inversa, con el plano inclinado al este, o bien normal, con el plano inclinado al oeste. Al considerar los antecedentes tectónicos post-jurásicos de la región, los cuales indican eventos de acortamiento y extensionales (Giacosa *et al.*, 2010; Perez Frasette *et al.*, 2024), ambas cinemáticas son posibles.

5.7 Modelo metalogénico propuesto

Teniendo en consideración el modelo epitermal de sulfuración intermedia propuesto por Buchanan (1981) (Fig. 5.2), las porciones estudiadas de la veta Micaela representarían las zonas de brechamiento hidrotermal, de silicificación y de abundancia de metales base. Esto se basa en la silicificación observada de la roca de caja, la presencia de metales base y sulfosales de plata, con altos contenidos de freibergita-tetraedrita, calcopirita, galena y pirita asociados, y metales preciosos (Au, Ag y argentita reconocida mediante análisis de DRX) asociados a la textura de mosaico identificada como pulso de cuarzo **II**, en conjunto con la textura brechada identificada en el pulso de cuarzo **IV**.

Así, la posición de la zona preservada de la veta Micaela en el modelo genético propuesto por Buchanan (1981) es concordante con la determinación basada en la zonación textural, según Morrison *et al.* (1989) (Fig. 5.1).

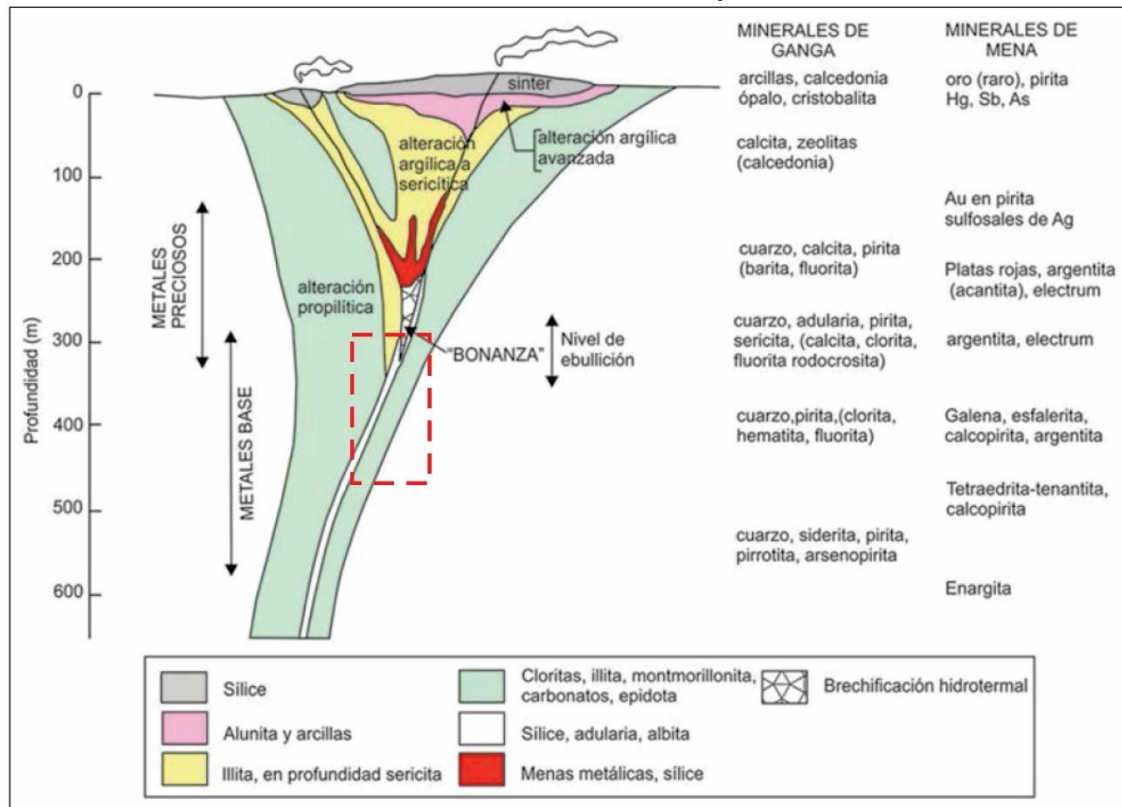


Figura 5.2. Esquema estructural que generaliza los patrones de alteración, la mineralogía de la ganga y la mena en depósitos epitermales alcalinos (baja e intermedia sulfuración). Con el recuadro rojo se indica la posible posición del sistema estudiado de la veta Micaela. Tomado de Camprubí y Albinson (2006) a partir de Buchanan (1981).

6. CONCLUSIONES

- Basada en la silicificación observada en la roca de caja, la presencia de metales base y sulfosales de plata, con altos contenidos de freibergita-tetraedrita, calcopirita, galena y pirita asociados, y de metales preciosos (Au, Ag y argentita reconocida mediante el estudio de DRX), la veta Micaela se clasifica como un depósito epitermal de sulfuración intermedia
- La alteración, en general débil, se presenta con mayor intensidad a la cota de 400 msnm y se compone principalmente de cuarzo, clorita y sericita. Óxidos de Fe y limonitas conforman la alteración supergénica, la cual es mayor a la cota de 500 msnm en el segmento oeste de Micaela y se presenta rellenando fracturas o reemplazando de forma pervasiva.
- Se considera el pulso de cuarzo **II**, como el pulso que aloja la mayor mineralización de metales, el cual posee cuarzo con textura en mosaico, característica de la textura de recristalización.
- La mena está compuesta por Au y Ag nativa, argentita solo reconocida por análisis de DRX, en conjunto con sulfosales de plata, principalmente freibergita y tetraedrita, y se halla acompañada de sulfuros de metales base (pirita, calcopirita, galena y esfalerita) presentes en cantidades variables, pero que no superan el 3% en volumen.



Trabajo final - Quintero Silvina

- En función de la zonación textural propuesta por Morrison *et al.* (1989), la veta Micaela se ubica entre las zonas de recristalización y de cristalización primaria, lo cual es congruente con el intervalo de metales preciosos y metales pesados.
- Se interpreta que las diferencias en la concentración de metales entre ambos segmentos de la veta Micaela están relacionadas con la actividad de la falla Giovanna, que habría provocado el ascenso relativo del bloque oriental respecto del occidental.
- La actividad de la falla, restringida temporalmente y de manera relativa al lapso Jurásico Tardío-Oligoceno, podría responder a una cinemática normal, con plano de falla inclinado al oeste, o bien a una cinemática inversa, con plano inclinado al este.

7. AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer, en primer lugar, a la Facultad de Ciencias Naturales y Ciencias de la Salud de la UNPSJB y a la educación pública, gratuita y de calidad. A mi director Dr. César Rodrigo Navarrete y a mi co-directora Dra. María Agustina Cócola por el acompañamiento y guía de estos años. A mis padres, quienes me sostuvieron y apoyaron en todo momento, sin ellos no lo hubiese logrado. A los docentes de la carrera de Geología. A mis jefes y compañeros de trabajo de la empresa Minera Santa Cruz S.A., quienes aceptaron y promovieron que realizara mi trabajo final de grado. Al jurado de este trabajo final, en especial al Geól. Agustín Rodríguez por sus correcciones y sugerencias. A mis amigos, de la vida y de la carrera, por todos estos hermosos años que hemos compartido: momentos de estudio, salidas de campo, jornadas, y también momentos de nerviosismo y alegría luego de cada examen.

Y, por último, a mí por siempre luchar por mis sueños y no bajar los brazos, por más que en numerosas ocasiones fuese muy complicado seguir.



8. BIBLIOGRAFIA

- ARCHANGELSKY, S., 1967.** Estudio de la Formación Baqueró, Cretácico inferior de Santa Cruz, Argentina. Revista del Museo de La Plata (nueva serie). Paleontología, 5: 63-171. La Plata.
- ARRONDO, O., 1972.** Estudio geológico y paleontológico en la zona de la estancia La Juanita y alrededores, provincia de Santa Cruz, Argentina. Revista Museo de La Plata, 8 (43): 1-143.
- AUGUSTITHIS, S., 1985.** Atlas of the textural patterns of metamorphosed (transformed and deformed) rocks and their genetic significance. Theophrastus Publications: 401 p. Athens, Greece.
- BELLOSI, E.S., 1987.** Litoestratigrafía y sedimentación del Patagoniano en la Cuenca del Golfo San Jorge, terciario de las Provincias de Chubut y Santa Cruz, Argentina. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
- BERTELS, A., 1970.** Sobre el "Piso Patagoniano" y la representación de la época del Oligoceno en Patagonia Austral. República Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 25: 495-501.
- BRYAN, S.E. y ERNST, R.C., 2008.** Revised definition of large Igneous Provinces (LIPs). Earth Science Reviews, 86: 175-202.
- BUCHANAN, L., 1981.** Precious metal deposits associated with volcanic environments in the southwest. En: Dickinson, W. and Payne, W. (editors). Relations of tectonics to ore deposits in the southern cordillera. Arizona Geological Society, Digest, XIV: 237-262.
- CAMPRUBI, A. y ALBINSON, T., 2006.** Depósitos epitermales en México: actualización de su conocimiento y reclasificación empírica: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 58: 27-81.
- COBOS, J., PANZA, J., ZUBIA, M., FIGARI, E., CARDINALI, G., LUCERO, M. y BORDERAS, M., 2003.** Hoja geológica 4769-IV, El Pluma, escala 1:250.000, provincia de Santa Cruz, Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 319: 89 p.
- CONDORI, N., USCA, J. y TICONA, R., 2013.** Rasgos texturales de depósitos epitermales de Ag-Au en el Proyecto Azuca (Chumbivilcas, Cusco): 5 p.
- CORBETT, G. y LEACH, T., 1998.** Controls of hydrothermal alteration and mineralization. Society of Economic Geologist, Special Publication, 6: 69-82.
- COOKE, D. R. y SIMMONS, S. F., 2000.** Characteristics and genesis of epithermal gold deposits. Reviews in Economic Geology, 13: 221-244.
- DE BARRIO, R., PANZA, J. y NULLO, F., 1999.** Jurásico y Cretácico del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. En: R. Caminos (Ed.), Geología Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales, 29 (17): 511-527.
- DE GIUSTO, J., DI PERSIA A. y PEZZI, E., 1980.** El Nesocratón del Deseado, en II Simposio de Geología Regional Argentina. Tomo 2: 1389-1430. Academia Nacional Ciencias, Córdoba.
- DIETRICH, A., NELSON, E., GUTIERREZ, R. y LAYER, P., 2005.** Structural control of vein formation and mineralization at the epithermal Huevos Verdes Ag-Au vein system, San José District, Deseado Massif, Argentina. Geological Society of America, Annual Meeting Salt Lake City. Abstract N° 39-7.
- DIETRICH, A., GUTIERREZ, R., NELSON, E. y LAYER, P., 2012.** Geology of the Huevos Verdes vein system and San José district, Deseado massif, Patagonia, Argentina. Mineral Deposits, 47: 233-249.
- DI PERSIA, C., 1962.** Acerca del descubrimiento del Precámbrico en la Patagonia Extraandina (Prov. de Santa Cruz). I Jornadas Geológicas Argentinas, Actas II: 65-68. Buenos Aires, Argentina.
- DONG, G., MORRISON, G. W. y JAIRETH, S., 1995.** Quartz textures in epithermal veins, Queensland: Classification, origin and implications. Economic Geology, 90 (6): 1841-1856.
- DORADO, A., 2015.** Petrografía de Rocas Ígneas y Metamórficas. Paraninfo, 263 p.



DOWLING, K y MORRISON, G., 1989. Application of Quartz Textures to the Classification of Gold Deposits Using North Queensland Examples. *Economic Geology, The Geology of Gold Deposits: The Perspective in 1988.*

ECHAVARRÍA, L., 1997. Estudio geológico-minero del área El Dorado-Montserrat, Departamento Magallanes, provincia de Santa Cruz. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. Inédito.

ECHAVARRÍA, L.E., SCHALAMUK, I. B. y ETCHEVERRY, R. O., 2005. Geologic and tectonic setting of Deseado Massif epithermal deposits, Argentina, based on El Dorado-Monserrat. *Journal of South American Earth Sciences*, 19: 415-432.

ECHAVARRÍA, L.E., DIETRICH, A., GUTIÉRREZ, R. y RODRÍGUEZ, M., 2021. Geology and epithermal silver-gold vein mineralization of the San José mining district, Santa Cruz province, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 110: 103371.

ECHEVESTE, H., 2005. Travertinos y jasperoides de Manantial Espejo, un ambiente hot spring jurásico. Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz, Argentina. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, 12: 33-48

EINAUDI, M. T., HEDENQUIST, J.W. e INAN, E.E., 2003. Sulfidation State of Fluids in Active and Extinct Hydrothermal Systems: Transitions from Porphyry to Epithermal Environments. Special Publication N°10: Volcanic, Geothermal, and Ore-Forming Fluids. Society of Economic Geologists: 285-313.

ENCINAS, A., FOLGUERA, A., RIFFO, R., MOLINA, P., FERNÁNDEZ PAZ, L., LIVTAK, V.D., COLWYN, D.A. y CARRASCO, M., 2018. Cenozoic basin evolution of the Central Patagonian Andes: Evidence from geochronology, stratigraphy, and geochemistry. *Geoscience Frontiers*, 10: 1139-1165.

FÉRAUD, G., ALRIC, V., FORNARI, M., BERTRAND, H. y HALLER, M., 1999. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the Jurassic volcanic province of Patagonia: migrating magmatism related to Gondwana break-up and subduction. *Earth and Planetary Science Letters*, 172: 83-96.

FERNÁNDEZ, R. y DE BARRIO, R., 1994. Mineralizaciones de oro y plata del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz, Argentina. *Revista de Comunicaciones, Universidad de Chile*. N° 45: 59-66.

FERNÁNDEZ, R., BLESÁ, A., MOREIRA, P., ECHEVESTE, H., MYKIETIUK, K., ANDRADA DE PALOMERA, P. y TESSONE, M., 2008. Los depósitos de oro y plata vinculados al magmatismo jurásico de la Patagonia: revisión y perspectivas para la exploración. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 63 (4): 665-681.

FOIX, N., KRAUSE, J.M., BELLOSI, E.S. y RAIGENBORN, M.S., 2022. Sedimentitas paleógenas y neógenas del margen atlántico. En Giacosa, R.E. (Ed.), *Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Chubut, Relatorio 21° Congreso Geológico Argentino*: 489-521. Asociación Geológica Argentina.

FURQUE, G. y CAMACHO, H.H., 1972. El Cretácico superior y Terciario de la región austral del Lago Argentino (Provincia de Santa Cruz). *4tas Jornadas Geológicas Argentinas (Mendoza 1969)*, Actas 3: 61-76.

GENINI, A., 1990. Cerro Vanguardia, provincia de Santa Cruz, nuevo prospecto auro-argentífero. III Congreso Nacional de Geología Económica, Actas 3: 97-110.

GIACOSA, R., MÁRQUEZ, M. y PANZA, J., 2002. Basamento paleozoico inferior del Macizo del Deseado. En Haller, M. (Ed.), *Geología y Recursos Minerales de Santa Cruz*: 1-11.

GIACOSA, R., ZUBIA, M., MARTÍNEZ, H., FUENTES, J. y SÁNCHEZ, M., 2008. Evolución estructural meso-cenozoica del sector oriental de la Comarca del Deseado, (68° 00' y 69° 30'O, 47°00'S y 48°30'S Santa Cruz, Argentina). *Actas del XVII Congreso Geológico Argentino, Jujuy, Tomo 2*: 837-838.

GIACOSA, R., ZUBIA, M., SÁNCHEZ, M. y ALLARD, J., 2010. Meso-Cenozoic tectonics of the southern Patagonian foreland: structural evolution and implications for Au-Ag veins in the eastern Deseado Region. *Journal of South American Earth Sciences* 30: 134-150.



Trabajo final - Quintero Silvina

GIANNI, G.M., NAVARRETE, C., LIENDO, I., DÍAZ, M., GIMÉNEZ, M.E., ENCINAS, A. y FOLGUERA, A., 2018. Cretaceous intraplate contraction in southern Patagonia: a far-field response to changing subduction dynamics? *Tectonics*, 37: 2915–2937.

GONZÁLEZ GUILLOT, M., DE BARRIO, R. y GANEM, F., 2004. Mina Martha: un yacimiento epitermal argentífero en el Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. *Actas 7º Congreso de Mineralogía y Metalogía*: 199-204.

GUIDO, D. 2002. Geología y Metalogénesis del Sector Oriental del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, (inédita): 226 p. La Plata.

GUIDO, D. y SCHALAMUK, I., 2003. Genesis and exploration potential of epithermal deposits from the Deseado Massif, Argentinean Patagonia. In: Eliopoulos *et al.* (editors). *Mineral Exploration and Sustainable Development*. Balkema-Rotterdam, 1: 493-496.

GUIDO, D.M. y CAMPBELL, K.A., 2011. Jurassic hot spring deposits of the Deseado Massif (Patagonia, Argentina): Characteristics and controls on regional distribution: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 203: 35-47.

GUTIERREZ, R., 2006. Geology of the Huevos Veredes Silver-Gold vein system, San José District, Deseado Massif, Patagonia, Argentina. Master's Thesis of the Colorado School of Mines. 189 p.

HANAWALD J.D., RINN H.W. y FREVEL L.K., 1986. Chemical Analysis by X-ray Diffraction: Classification and Use of X-ray Diffraction Patterns. *Powder Diffraction*, 1: 2–14.

HARKER, A., 1950. *Metamorphism*, 3º edition. Methuen and Co.: 362 p. London.

HARRINGTON, H.J., 1962. Paleogeographic development of South America. *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin*, 46 (10): 1773-1814, Tulsa.

HAYBA, D. O., BETHKE, P. M. y HEALD, P. 1985. Geologic, mineralogic, and geochemical characteristics of volcanic-hosted epithermal precious-metal deposits, *Geology and Geochemistry of Epithermal Systems* (eds. Berger, B. R., Bethke, P. M.), *Reviews in Economic Geology*, 2: 129.

HEDENQUIST, J.W., 1987. Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the Circum-Pacific Basin: *Circum Pacific Energy and Mineral Resources Conference*, 4th, Singapore, August 1986, *Transactions*: 513-524.

HEDENQUIST, J.W., ARRIBAS, A.R. y GONZÁLEZ-URIEN, E., 2000. Exploration for Epithermal Gold Deposits. *Review in Economic Geology*, 13: 245-277.

HIBBARD, M., 1995. *Petrography to petrogenesis*. Prentice Hall, 587 p.

HOMOVC, J. y CONSTANTINI, L., 2001. Hydrocarbon exploration potential within interplate shear-related depocenters: Deseado and San Julián basins, southern Argentina. *American Association of Petroleum Geologist, Bulletin*, 85 (10): 1795-1816.

JALFIN, G. y HERBST, R., 1995. La flora triásica del grupo El Tranquilo, provincia de Santa Cruz (Patagonia). *Estratigrafía. Ameghiniana (Rev. Asoc. Paleontol. Argent.)*, 32(3): 211-229.

JOHN, D.A., 2001. Miocene and early Pliocene epithermal gold-silver deposits in the northern Great Basin, western USA: Characteristics, distribution, and relationship to magmatism: *Economic Geology*, 96: 1827-1853.

JOHN, D.A., GARSIDE, L.J. y WALLACE, A.R., 1999. Magmatic and tectonic setting of late Cenozoic epithermal gold-silver deposits in northern Nevada, with an emphasis on the Pah Rah and Virginia ranges and the northern Nevada rift: *Geological Society of Nevada, Special Publication*, 29: 65-158.

JOVIC, S.M., 2009. Geología y metalogénesis de las mineralizaciones polimetálicas del área El Tranquilo (Cerro León), sector central del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. (Inédito): 239 p.



Trabajo final - Quintero Silvina

- KAY, S., RAMOS, V.A., MPODOZIS, C. y SRUOGA, P., 1989.** Late Paleozoic to Jurassic silicic magmatism at the Gondwana margin: Analogy to the Middle Proterozoic in North America? *Geology*, 17: 324-328.
- LAFONT, D, STRAZZERE, L. y GREGORI, D., 2003.** Diseños y temperaturas de alteración hidrotermal en Mina Ángela, Comarca Nordpatagónica, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 58 (3): 391-402.
- LESTA, P. y FERELLO, R., 1972.** Región Extraandina del Chubut y Norte de Santa Cruz. En: *Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias, Tomo II: 602-687. Córdoba.
- LINDGREN, W., 1922.** A suggestion for the terminology of certain mineral deposits: *Economic Geology*, 17: 292-294.
- LINDGREN, W., 1933.** *Mineral deposits*, 4th edition: New York, McGraw-Hill: 930 p
- LÓPEZ, R. G., 2006.** Estudio geológico-metalogenético del área oriental al curso medio del Río Pinturas, sector noroeste del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz, Argentina. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de la Plata: 204 p.
- LÓPEZ, L., JOVIC, S., GUIDO, D., PERMUY VIDAL, C., PÁEZ, G. y RUIZ, R., 2015.** Geochemical distribution and supergene behavior of indium at the Pinguino epithermal polymetallic vein system, Patagonia, Argentina. *Ore Geology Reviews*, 64: 747-755.
- LOVECCHIO, J.P., NAIPAUER, M., CAYO, E.L., ROHAIS, S., GIUNTA, D., FLORES, G., GERSTER, R., BOLLATI, N.D., JOSEPH, P., VALENCIA, V.A. y RAMOS, V.A., 2019.** Rifting evolution of the Malvinas basin offshore Argentina: new constraints from zircon U-Pb geochronology and seismic characterization. *Journal of South American Earth Sciences*, 95: 102253.
- LOVERING, T.G. 1972.** Jasperoid in the United States - its characteristics, origin, and economic significance. U.S. Geological Survey Professional Paper 710: 1-164
- MEYER, C. y HEMLEY, J., 1967.** Wall rock alteration. En Barnes, H.L. (Ed.), *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, New York, Holt, Rinehart and Winston, p. 166-235.
- MOREIRA, P., 2005.** Geología y Metalogénesis del Distrito La Josefina, Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. Inédito: 383 p.
- MOREIRA, P., FERNÁNDEZ, R., SCHALAMUK, I., ETCHEVERRY, R. y ROLANDO A., 2005.** Jurassic magmatism and Au-Ag mineralization in the Deseado Massif (Patagonia Argentina): Lead and sulfur isotopic studies. 8th SGA Meeting, Beijing, China: 801-804.
- MOREIRA, P., ECHEVESTE, H., FERNANDEZ, R., HARTMANN, L., SANTOS, J. y SCHALAMUK, I. 2009.** Depositional age of Jurassic gold-silver ore in the Deseado massif, Patagonia, Argentina, based on Manantial Espejo and La Josefina prospects. *Jahrbuch für Geologie und Paläontologie – Abhandlungen*, 253(1): 25-40.
- MORRISON, G., GUOYI, D. y JAIRETH, S., 1989.** Textural Zoning in Epithermal Quartz Veins in Queensland Field Guide. James Cook University of North Queensland, Townsville. 25 p.
- NAVARRETE, C., 2021.** The volcanism of the Jurassic Chon Aike Silicic LIP influenced by Paleozoic inherited crustal structures in the northeastern Deseado Massif, Patagonia. *Journal of South American Earth Sciences*, 112: 103611.
- NAVARRETE, C., GIANNI, G., ENCINAS, A., MARQUEZ, M., KAMERBEEK, Y., VALLE, M. y FOLGUERA, A., 2019.** Triassic to Middle Jurassic geodynamic evolution of southwestern Gondwana: From a large flat-slab to mantle plume suction in a rollback subduction setting. *Earth-Science Reviews*, 194: 125-159.
- NAVARRETE, C., BUTLER, K., HURLEY, M. y MÁRQUEZ, M., 2020a.** An early Jurassic graben caldera of Chon Aike silicic LIP at the southernmost massif of the world: the Deseado caldera, Patagonia, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 101: 102626.



NAVARRETE, C., GIANNI, G., MASSAFERRO, G. y BUTLER, K., 2020b. The fate of the Farallon slab beneath Patagonia and its links to Cenozoic intraplate magmatism, marine transgressions and topographic uplift. *Earth-Science Reviews*, 201: 103379.

NAVARRETE, C., BASTIAS-SILVA, J., GIANNI, G., JALFIN, G., GUERRA, G., HURLEY, M., CHEW, D., TURRA, J.M., OCAMPO, M., LASTRA, M.B., HERBST, N., IGLESIAS, M., PEREZ FRASETTE, M. y DRAKOU, F., 2023. Late Paleozoic-Jurassic tectonic evolution of the eastern Deseado Massif in Central-Southern Patagonia. *Journal of Geodynamics*, 158: 101997.

NAVARRETE, C., GIANNI, G., TASSARA, S., ZAFFARANA, C., LIKERMAN, J., MARQUEZ, M., WOSTBROCK, J., PLANAVSKY, N., TARDANI, D. y PEREZ FRASETTE, M., 2024. Massive Jurassic slab break-off revealed by a multidisciplinary reappraisal of the Chon Aike silicic large igneous province, *Earth-Science Reviews*, 249: 104651.

NAVARRETE, C., GIANNI, G., ECHAURREN, A., LINCE KLINGER, F. y FOLGUERA, A., 2016. Episodic Jurassic to Lower Cretaceous intraplate compression in Central Patagonia during Gondwana breakup. *Journal of Geodynamics*, 102: 185-201.

NAVARRETE, C., HURLEY, M., BUTLER, K., LIENDO, I., LITVAK, V. y FOLGUERA, A., 2021. Jurassic volcanism of the Chon Aike Silicic LIP in the northeastern Deseado Massif. *Journal of South American Earth Sciences*, 107: 102886.

PÁEZ, G., 2012. Génesis del yacimiento de metales preciosos Mina Martha, sector sudoccidental del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. Inédito: 241 p.

PÁEZ, G., RUIZ, R., GUIDO, D., JOVIC, S. y SCHALAMUK, I., 2010. Estratigrafía volcánica del yacimiento argentífero Mina Martha, Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 67(1): 77-90.

PANKHURST, R., RAPELA, C. y MÁRQUEZ, M., 1993. Geocronología y patogénesis de los granitoides Jurásicos del noroeste del Macizo del Deseado. *Actas del 12° Congreso Geológico Argentina*, 4: 134-141.

PANKHURST, R.J., LEAT, P.T., SRUOGA, P., RAPELA, C. W., MÁRQUEZ, M., STOREY, B.C. y RILEY, T.R., 1998. The Chon Aike province of Patagonia and related rocks in West Antarctica: A silicic large igneous province. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 81: 113-136.

PANKHURST, R. J., RILEY, T.R., FANNING, C.M. y KELLEY, S. P., 2000. Episodic Silicic Volcanism in Patagonia and the Antarctic Peninsula: Chronology of Magmatism Associated with the Break-up of Gondwana. *Journal of Petrology*, 41 (5): 605-625.

PALOMERA, P.A., CARRANZA, E.J.E. y VAN RUITENBEEK, F.J.A., 2015. Prospectivity for epithermal gold-silver deposits in the Deseado Massif, Argentina. *Ore Geology Reviews*, 71: 484-501.

PANZA, J. L., 1982. Descripción geológica de las Hojas 53d “Gobernador Moyano” y 54e “Cerro Vanguardia”, provincia de Santa Cruz. Servicio Geológico Nacional, Secretaría de Minería. Buenos Aires. (Inédito).

PANZA, J. L. y de BARRIO, R., 1987. Levantamiento geológico de las Hojas 56f, Cordón Alto y 56g, Puerto San Julián, provincia de Santa Cruz. Dirección Nacional de Minería y Geología, informe inédito.

PANZA, J. L. y de BARRIO, R., 1989. Descripción geológica de las hojas 56f, Cordón Alto y 56g, Puerto San Julián, provincia de Santa Cruz. Servicio Geológico Nacional, 156 p., inédito.

PANZA, J., COBOS, J., ZUBIA, M. y FRANCHI, M., 2001. Hoja Geológica 4769 - III, Destacamento La María, Provincia de Santa Cruz. Servicio Geológico Minero Argentino, 83 p., Buenos Aires.

PANZA, J. L., SACOMANI, L.E. y COBOS, J. C., 2005. Hoja Geológica 4969-III, Laguna Grande. Provincia de Santa Cruz. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 362, 87 p. Buenos Aires.

PEREZ FRASETTE, M., NAVARRETE, C., BASTÍAS SILVA, J., VALLE, M., CHEW, D.,



Trabajo final - Quintero Silvina

IGLESIAS, M., SUÁREZ, M., MÁRQUEZ, M., DRAKOU, F. y FOLGUERA, A., 2024. The Bajo Grande Basin: Late Jurassic(?)–Early Cretaceous syn-orogenic depocenters in southwestern Gondwana. *Tectonophysics*: 230241.

PEZZI, E. E., 1970. Informe geológico preliminar zona Los Pirineos-Cañadón Largo. Yacimientos Petrolíferos Fiscales (Inédito): 49 p.

PIRAJNO, F. 1992. Hydrothermal mineral deposits. Principles and fundamental concepts for the exploration geologist. Springer-Verlag: 709 p. Berlin-Heidelberg-New York.

PONS, A., 2018. Características geológicas de la veta Buena Vista, Distrito Minero Andacollo, Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 76 (3): 253-262.

REIMER, W., MILLER, H. y MEHL, H., 1996. Mesozoic and Cenozoic palaeo-stress field of the South Patagonian Massif deduced from structural and remote sensing data. En: Storey, B.C., King, E.C., Livermore, R.A. (Eds.), *Weddell Sea Tectonics and Gondwana Break-up*. Geological Society of London, Special Publications 108: 73-85. London.

RODRIGUEZ, M.E., 2012. Alteración Hidrotermal en Volcanitas Jurásicas del Macizo del Deseado: implicancias de los fluidos. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de la Plata: 289 p.

ROMERO, E.J., ARCHANGELSKY, S., y PASSALIA, M.G., 2016. Two new angiosperm leaf morphotypes from the Anfiteatro de Ticó Formation (mid-Aptian) Santa Cruz Province, Argentina. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 235: 148-156.

RUBINSTEIN, N. y MORELLO, O., 2006. Las mineralizaciones de la zona de Carrizal, Precordillera Occidental, Argentina. *Boletín Geológico y Minero*, 117: 379-388.

SCHALAMUK, I., FERNANDEZ, R. y ETCHEVERRY, R., 1995. Gold-silver epithermal veins in the Macizo del Deseado, Argentina. En: Pasava, J., Kribet, B., y Zak, H (Ed.), *Mineral Deposits. Proc. Third Biennial SGA Meeting*: 385-388.

SCHALAMUK, I., ZUBIA M., GENINI A. y FERNÁNDEZ R., 1997. Jurassic epithermal Au-Ag deposits of Patagonia, Argentina. *Ore Geology Reviews*, 12 (3): 173-186.

SCHALAMUK, I., DE BARRIO, R., ZUBIA, M., GENINI, A. y ECHEVESTE, H., 1999. Provincia Auroargentífera del Deseado, Santa Cruz. En: Zappettini, E. (Ed.), *Recursos Minerales de la República Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1177-1188.

SILLITOE, R.H., 1977. Metallic mineralization affiliated to subaerial volcanism: A review: *Geological Society of London Special Publication* 7: 99-116.

SILLITOE, R.H., 2010. Porphyry Copper Systems. *Economic Geology*, 105: 3-41.

SILLITOE, R.H. y BONHAM, H.F. Jr. 1984. Volcanic landforms and ore deposits: *Economic Geology*, 79: 1289-1298.

SILLITOE, R. H. y HEDENQUIST, J. W., 2003. Linkages between volcanotectonic settings, ore fluid compositions, and epithermal precious-metal deposits. *Giggenbach Volume*, Society of Economic Geologists and Geochemical Society, Special Publication 10, S.F. Simmons ed. Cap 16.

SIMMONS, S. F., WHITE, N. C. y JOHN, D. A., 2005. Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits, Society of Economic Geologists, *Economic Geology 100th Anniversary Volume*: 485-522.

SRUOGA, P., BUSTEROS, A., GIACOSA, R., MARTINEZ, H., KLEIMAN, L., JAPAS, M.S., MALOBERTI, A. y GAYONE, M.R., 2008. Análisis litofacial y estructural del Complejo Volcánico Bahía Laura en el área El Dorado – Monserrat, Provincia de Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 63: 653-664.

STIPANICIC, P. y REIG, A., 1957. El “Complejo Porfírico de la Patagonia Extraandina” y su fauna de anuros. *Acta Geológica Lilloana*, 1: 185-297.



Trabajo final - Quintero Silvina

STRECKEISEN, A., 1979. Classification and nomenclature of volcanic rocks, lamprophyres, carbonatites and mellitic rocks: recommendations and suggestions of the IUGS Subcommission on the Systematics of igneous Rocks. *Geology*, 7 (3): 331- 335.

ULIANA, M. A., BIDDLE, K. T., PHELPS, D. W. y GUST, D. A., 1985. Significado del vulcanismo y extensión mesojurásicos en el extremo meridional de Sudamérica. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 40 (3-4): 231-253.

ULIANA, M.A., BIDDLE, K.T. y CERDAN, J., 1989. Mesozoic extension and the formation of argentine sedimentary basins. In: Tankard, A.J., Balkwill, H.R. (Eds.), *Extensional Tectonics and Stratigraphy of the North Atlantic Margins*, 46. AAPG Memories: 599–614.

TESSONE, M., DEL BLANCO, M., MACAMBIRA, M. y ROLANDO, A., 1999. New Radiometric Ages of the Chon Aike and Bajo Pobre Formations in the Central Zone of the Deseado Massif, Argentina. *Actas del 2° South American Symposium on Isotope Geology*: 132-135. Villa Carlos Paz, Argentina.

VIERA, R. y PEZZUCHI, H., 1976. Presencia de sedimentitas pérmicas en contacto con rocas del “Complejo metamórfico” de la Patagonia Extraandina, Ea. Dos Hermanos, provincia de Santa Cruz. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 31 (4): 281-283.

WALLIER, S. 2009. The geology and evolution of the Manantial Espejo epithermal silver (+gold) deposit, Deseado Massif, Argentina. Tesis Doctoral, University of British Columbia (inérita): 303 p. Vancouver.

WANG, L., KE-ZHANG, Q., GUO-XUE S. y GUANG-MING, L., 2019. A review of intermediate sulfidation epithermal deposits and subclassification, *Ore Geology Reviews*, 107: 434-456.

WOOD, D.G., PORTER, R.G. y WHITE, N.C. 1990. Geological features of some epithermal occurrences in northeastern Queensland, Australia. *Journal of Geochemical Exploration*, 36: 413– 443.

ZUBIA, M., GENINI, A. y SCHALAMUK, I. B., 1999. Yacimiento Cerro Vanguardia. En: Zappettini, E. (Ed.), *Recursos Minerales de la República Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR: 1189 – 1202. Bs. As.



9. ANEXOS

9.1 Difracción de Rayos X (Anexo I)

[2257.MDI]										Peak ID Report
SCAN: 3.0/59.96/0.04/1(sec), Cu, I(max)=1111, 05/20/22 11:34a										
PEAK: 13-pts/Parabolic Filter, Threshold=3.0, Cutoff=0.1%, BG=3/1.0, Peak-Top=Summit										
NOTE: Intensity = Counts, 2T(0)=0.0(deg), Wavelength to Compute d-Spacing = 1.54059Å (Cu/K-alpha1)										
#	2-Theta	d(Å)	Height	Height%	Phase ID	d(Å)	I%	(hkl)	2-Theta	Delta
1	6.283	14.0558	44	4.0	Chamosite	14.1022	42.6	(001)	6.262	-0.021
2	12.554	7.0450	262	24.3	Chamosite	7.0624	100.0	(002)	12.523	-0.031
3	13.929	6.3525	29	2.7	Albite	6.3474	6.0	(020)	13.941	0.011
4	18.844	4.7055	53	5.0	Chamosite	4.7108	24.7	(003)	18.822	-0.021
5	19.246	4.6079	31	2.9	Chamosite	4.6202	16.4	(110)	19.195	-0.052
6	20.924	4.2422	201	18.7	Quartz	4.2425	21.9	(100)	20.922	-0.002
7	22.109	4.0174	91	8.4	Albite	4.0241	27.0	(201)	22.071	-0.038
8	22.579	3.9347	29	2.7						
9	23.602	3.7664	182	16.9	Albite	3.7525	13.0	(111)	23.691	0.089
10	24.285	3.6621	87	8.1	Albite	3.6478	14.0	(200)	24.381	0.096
11	25.198	3.5314	273	25.4	Chamosite	3.5341	44.8	(004)	25.179	-0.020
12	25.725	3.4603	76	7.1	Albite	3.4371	1.0	(221)	25.901	0.177
13	26.687	3.3377	1077	100.0	Quartz	3.3356	100.0	(011)	26.704	0.017
14	27.604	3.2288	264	24.5						
15	28.001	3.1840	740	68.8	Albite	3.1772	100.0	(002)	28.062	0.061
16	29.873	2.9886	83	7.7	Albite	2.9897	7.0	(131)	29.862	-0.011
17	30.552	2.9237	60	5.6	Albite	2.9312	13.0	(041)	30.472	-0.080
18	30.850	2.8961	33	3.1						
19	32.363	2.7640	39	3.6						
20	33.639	2.6621	33	3.0	Chamosite	2.6638	4.0	(131)	33.616	-0.023
21	35.084	2.5557	50	4.6	Chamosite	2.5559	18.0	(201)	35.081	-0.002
22	36.602	2.4531	91	8.5	Quartz	2.4525	6.7	(110)	36.611	0.009
23	37.199	2.4151	28	2.6	Chamosite	2.4221	0.6	(025)	37.087	-0.112
24	37.559	2.3928	77	7.2	Chamosite	2.3940	16.1	(202)	37.540	-0.019
25	39.516	2.2787	59	5.5	Quartz	2.2776	6.5	(102)	39.534	0.019
26	40.367	2.2326	26	2.4	Quartz	2.2330	3.2	(111)	40.358	-0.009
27	41.725	2.1630	35	3.3	Chamosite	2.1687	0.1	(223)	41.610	-0.115
28	42.490	2.1258	98	9.1	Chamosite	2.1260	0.3	(222)	42.485	-0.005
29	45.080	2.0095	39	3.6	Albite	2.0090	1.0	(401)	45.092	0.012
30	47.044	1.9301	21	2.0	Chamosite	1.9281	0.4	(117)	47.095	0.051
31	48.278	1.8836	22	2.0	Chamosite	1.8815	6.6	(135)	48.334	0.056
32	49.838	1.8282	25	2.3	Chamosite	1.8272	3.0	(205)	49.866	0.028
33	50.170	1.8169	111	10.3	Quartz	1.8156	10.8	(112)	50.209	0.039
34	50.791	1.7961	63	5.9	Albite	1.7954	4.0	(113)	50.813	0.021
35	54.917	1.6705	47	4.3	Quartz	1.6698	3.5	(022)	54.944	0.027



Trabajo final - Quintero Silvina

Tabla 5. Resultados del análisis de DRX de la muestra M1, correspondiente a la caja techo del sondeo SJD-2257 (Micaela Oeste).

[477.MDI]										Peak ID Report
SCAN: 3.0/59.96/0.04/1(sec), Cu, I(max)=1308, 05/19/22 05:20p										
PEAK: 13-pts/Parabolic Filter, Threshold=3.0, Cutoff=0.1%, BG=3/1.0, Peak-Top=Summit										
NOTE: Intensity = Counts, 2T(0)=0.0(deg), Wavelength to Compute d-Spacing = 1.54059Å (Cu/K-alpha1)										
#	2-Theta	d(Å)	Height	Height%	Phase ID	d(Å)	I%	(hkl)	2-Theta	Delta
1	8.769	10.0762	53	4.0	Muscovite-2M1	10.0758	100.0	(002)	8.769	0.000
2	12.442	7.1082	133	10.2	Clinochlore-1...	7.1096	100.0	(002)	12.440	-0.003
3	13.610	6.5007	42	3.2	Sanidine	6.5200	4.0	(020)	13.570	-0.040
4	17.760	4.9902	33	2.5	Muscovite-2M1	5.0206	42.7	(004)	17.651	-0.109
5	18.762	4.7257	51	3.9	Clinochlore-1...	4.7420	43.0	(003)	18.697	-0.065
6	19.908	4.4561	40	3.1	Muscovite-2M1	4.4688	88.7	(111)	19.851	-0.057
7	20.844	4.2581	337	25.9	Quartz	4.2506	21.9	(100)	20.882	0.037
8	22.037	4.0303	59	4.5	Clinochlore-1...	4.0713	26.0	(112)	21.812	-0.225
9	22.484	3.9511	45	3.4	Sanidine	3.9500	10.0	(111)	22.491	0.007
10	23.048	3.8558	32	2.4	Sanidine	3.8700	6.0	(200)	22.962	-0.086
11	23.484	3.7852	136	10.4	Sanidine	3.7900	55.0	(130)	23.453	-0.030
12	24.205	3.6740	39	3.0	Clinochlore-1...	3.6780	16.0	(112)	24.178	-0.027
13	25.119	3.5424	127	9.8	Sanidine	3.5500	12.0	(221)	25.064	-0.055
14	25.667	3.4679	67	5.2	Sanidine	3.4600	30.0	(112)	25.727	0.060
15	26.611	3.3470	1302	100.0	Muscovite-2M1	3.3432	75.1	(006)	26.642	0.031
16	27.562	3.2337	249	19.1	Sanidine	3.2300	50.0	(002)	27.594	0.032
17	27.924	3.1926	189	14.5	Muscovite-2M1	3.2085	59.6	(114)	27.782	-0.142
18	28.550	3.1240	50	3.8	Muscovite-2M1	3.1299	5.3	(115)	28.495	-0.056
19	29.808	2.9949	82	6.3	Sanidine	2.9970	30.0	(131)	29.787	-0.021
20	30.788	2.9018	51	3.9	Sanidine	2.9090	14.0	(041)	30.710	-0.078
21	33.040	2.7089	67	5.1						
22	33.935	2.6395	27	2.1						
23	34.444	2.6017	49	3.8	Sanidine	2.6080	17.0	(312)	34.358	-0.085
24	34.760	2.5787	66	5.1	Sanidine	2.5830	35.0	(241)	34.701	-0.059
25	35.044	2.5585	62	4.8	Muscovite-2M1	2.5614	83.6	(131)	35.003	-0.041
26	36.525	2.4581	97	7.5	Quartz	2.4551	6.7	(110)	36.571	0.047
27	37.557	2.3929	53	4.1	Sanidine	2.3920	11.0	(331)	37.571	0.015
28	39.450	2.2823	59	4.5	Quartz	2.2799	6.5	(102)	39.494	0.045
29	40.268	2.2378	35	2.7	Quartz	2.2352	3.2	(111)	40.318	0.050
30	41.649	2.1667	55	4.2	Sanidine	2.1730	16.0	(060)	41.524	-0.126
31	42.437	2.1283	110	8.5	Quartz	2.1263	4.8	(200)	42.478	0.041
32	45.117	2.0079	28	2.1	Clinochlore-1...	2.0042	10.0	(204)	45.207	0.089
33	45.772	1.9807	29	2.3	Quartz	1.9786	3.1	(021)	45.822	0.050
34	47.490	1.9130	143	11.0	Sanidine	1.9140	8.0	(403)	47.463	-0.027
35	50.116	1.8187	115	8.8	Quartz	1.8169	10.8	(112)	50.169	0.053
36	50.763	1.7970	50	3.8	Sanidine	1.7940	30.0	(043)	50.856	0.092
37	54.844	1.6726	29	2.2	Muscovite-2M1	1.6728	1.9	(243)	54.836	-0.009



Trabajo final - Quintero Silvina

Tabla 6. Resultados del análisis de DRX de la muestra M4, correspondiente a la caja techo del sondeo SJM-477 (Micaela Este).

[1579.MDI]										Peak ID Report
SCAN: 3.0/59.96/0.04/1(sec), Cu, I(max)=969, 05/19/22 05:46p										
PEAK: 11-pts/Parabolic Filter, Threshold=3.0, Cutoff=0.1%, BG=3/1.0, Peak-Top=Summit										
NOTE: Intensity = Counts, 2T(0)=0.0(deg), Wavelength to Compute d-Spacing = 1.54059Å (Cu/K-alpha1)										
#	2-Theta	d(Å)	Height	Height%	Phase ID	d(Å)	I% (hkl)	2-Theta	Delta	
1	12.511	7.0694	94	9.7						
2	18.761	4.7259	60	6.2	Chalcopyrite	4.7200	1.0 (101)	18.785	0.024	
3	20.837	4.2597	225	23.3	Quartz	4.2511	14.8 (100)	20.879	0.043	
4	25.119	3.5424	100	10.3						
5	25.907	3.4364	45	4.7	Argentite	3.4339	26.1 (110)	25.926	0.019	
6	26.635	3.3440	967	100.0	Quartz	3.3410	100.0 (011)	26.660	0.025	
7	28.515	3.1278	144	14.9	Pyrite	3.1275	36.6 (111)	28.517	0.002	
8	31.519	2.8361	36	3.8						
9	33.042	2.7088	515	53.2	Pyrite	2.7085	100.0 (200)	33.046	0.004	
10	36.529	2.4578	96	9.9	Quartz	2.4554	12.9 (110)	36.566	0.038	
11	37.079	2.4226	283	29.3	Pyrite	2.4226	64.8 (102)	37.080	0.001	
12	37.727	2.3825	23	2.4						
13	39.448	2.2824	54	5.6	Quartz	2.2802	6.7 (102)	39.488	0.040	
14	40.235	2.2396	29	3.0	Quartz	2.2355	0.9 (111)	40.312	0.077	
15	40.760	2.2119	215	22.2	Pyrite	2.2115	52.6 (112)	40.769	0.008	
16	42.406	2.1298	46	4.8	Quartz	2.1266	3.7 (200)	42.473	0.067	
17	45.802	1.9795	26	2.7	Quartz	1.9789	6.2 (021)	45.816	0.014	
18	47.409	1.9161	170	17.5	Pyrite	1.9152	47.9 (022)	47.432	0.023	
19	50.121	1.8185	99	10.2	Quartz	1.8172	11.8 (112)	50.161	0.040	
20	52.004	1.7571	39	4.0						
21	54.107	1.6936	18	1.8	Tetrahedrite	1.6980	30.0 (611)	53.956	-0.151	
22	54.841	1.6727	43	4.4	Chalcopyrite	1.6726	1.0 (310)	54.844	0.003	
23	56.275	1.6334	399	41.3	Pyrite	1.6333	93.0 (113)	56.279	0.004	
24	58.997	1.5644	71	7.3	Chalcopyrite	1.5641	1.0 (215)	59.008	0.011	

Tabla 7. Resultados del análisis de DRX de la muestra M7, correspondiente a la veta del sondeo SJD-1579 (Micaela Este).

[2236.MDI]										Peak ID Report
SCAN: 3.0/59.96/0.04/1(sec), Cu, I(max)=791, 05/20/22 11:09a										
PEAK: 15-pts/Parabolic Filter, Threshold=3.0, Cutoff=0.1%, BG=3/1.0, Peak-Top=Summit										
NOTE: Intensity = Counts, 2T(0)=0.0(deg), Wavelength to Compute d-Spacing = 1.54059Å (Cu/K-alpha1)										
#	2-Theta	d(Å)	Height	Height%	Phase ID	d(Å)	I% (hkl)	2-Theta	Delta	
1	20.836	4.2598	207	27.0	Quartz	4.2507	23.7 (100)	20.881	0.045	
2	21.240	4.1797	106	13.9	Goethite	4.1758	100.0 (110)	21.260	0.020	
3	26.606	3.3476	767	100.0	Quartz	3.3405	100.0 (101)	26.664	0.058	
4	28.553	3.1236	30	3.9	Pyrite	3.1280	31.0 (111)	28.512	-0.041	
5	33.278	2.6901	45	5.9	Goethite	2.6914	39.0 (130)	33.262	-0.016	
6	34.686	2.5841	24	3.2	Goethite	2.5827	21.3 (021)	34.706	0.020	
7	36.524	2.4581	115	14.9	Quartz	2.4552	7.3 (110)	36.570	0.045	
8	37.357	2.4052	46	6.0	Pyrite	2.4209	53.0 (210)	37.106	-0.251	
9	39.472	2.2811	40	5.2	Quartz	2.2798	8.0 (012)	39.495	0.023	
10	40.240	2.2393	34	4.5	Goethite	2.2422	3.4 (210)	40.186	-0.054	
11	42.405	2.1298	35	4.6	Quartz	2.1264	5.6 (200)	42.477	0.071	
12	45.876	1.9765	17	2.2	Quartz	1.9787	2.8 (021)	45.821	-0.054	
13	50.116	1.8187	69	9.1	Quartz	1.8169	9.3 (112)	50.169	0.053	
14	53.322	1.7167	36	4.7	Goethite	1.7185	28.2 (221)	53.263	-0.059	
15	54.813	1.6735	25	3.2	Quartz	1.6709	3.9 (202)	54.903	0.090	
16	58.719	1.5711	19	2.5	Pyrite	1.5639	11.0 (222)	59.016	0.297	

Tabla 8. Resultados del análisis de DRX de la muestra M9, correspondiente a la veta del sondeo SJD-2236 (Micaela Oeste).

9.2 Geoquímica de metales preciosos (Anexo II)

Para el análisis de la relación de Au vs Ag, solo se consideró valores mayores a 2 ppm en Au, considerando este como valor sub marginal, y se considera *outliers* a aquellos valores que superen el máximo, estos valores fueron anulados del estudio.

Micaela Este

- Cota 500 msnm. Cantidad de muestras: 37 (anuladas 6) (Tabla 9), Valor medio Au: 4.491 (Fig. 9.0), Valor medio Ag: 324.786 (Fig. 9.1), R Ag/Au: 72,33.

AU		AG	
Media	4.49106452	Media	324.786129
Error típico	0.29098973	Error típico	34.1477978
Mediana	4.33	Mediana	321.6
Moda	#N/A	Moda	#N/A
Desviación estándar	1.62016225	Desviación estándar	190.126892
Varianza de la muestra	2.62492573	Varianza de la muestra	36148.2349
Curtosis	2.37613336	Curtosis	0.86366477
Coefficiente de asimetría	1.2145387	Coefficiente de asimetría	0.2761299
Rango	7.337	Rango	680.99
Mínimo	2.413	Mínimo	63.34
Máximo	9.75	Máximo	744.33
Suma	139.223	Suma	10068.37
Cuenta	31	Cuenta	31
Nivel de confianza (95.0%)	0.59428031	Nivel de confianza (95.0%)	69.7391068

Tabla 9. Tabla de Micaela Este a la cota de 500 msnm, donde se muestran los valores de media, mediana, y valor máximo, siendo estos los más relevantes.

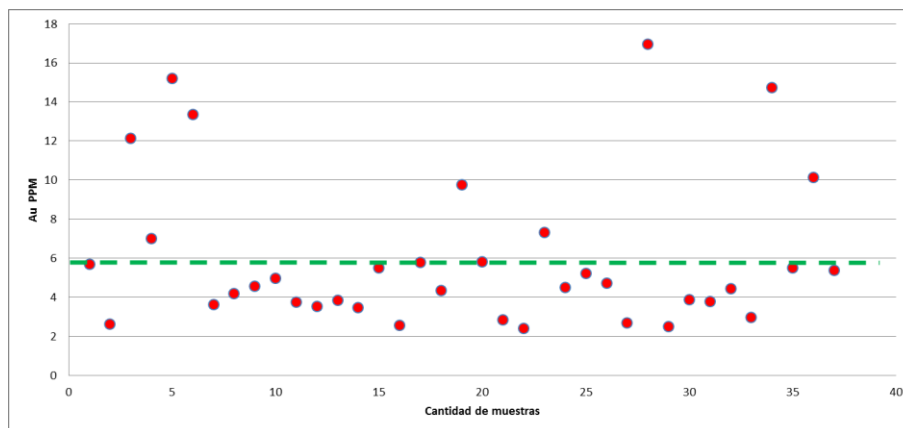


Figura 9.0. Valor medio de Au, 4,491 ppm.

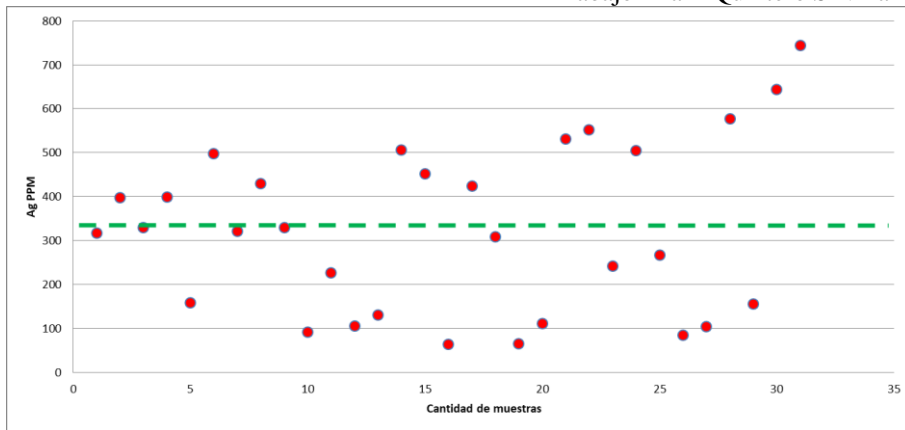


Figura 9.1. Valor medio de Ag, 324,786 ppm.

- Cota 400 msnm. Cantidad de muestras 86 (anuladas 8) (Tabla 10), Valor medio Au: 7.976 (Fig. 9.2), Valor medio Ag: 284.931 (Fig. 9.3), R Ag/Au: 35,75.

AU		AG	
Media	7.97627907	Media	284.931744
Error típico	0.85739031	Error típico	33.4967392
Mediana	4.669	Mediana	160.54
Moda	2.033	Moda	73.48
Desviación estándar	7.95111065	Desviación estándar	310.63598
Varianza de la muestra	63.2201606	Varianza de la muestra	96494.7123
Curtosis	5.07926819	Curtosis	5.20210018
Coefficiente de asimetría	2.20654168	Coefficiente de asimetría	2.13601879
Rango	40.882	Rango	1681.49
Mínimo	2.033	Mínimo	9.51
Máximo	42.915	Máximo	1691
Suma	685.96	Suma	24504.13
Cuenta	86	Cuenta	86
Nivel de confianza (95.0%)	1.70472164	Nivel de confianza (95.0%)	66.6004916

Tabla 10. Tabla de Micaela Este a la cota de 400 msnm, donde se muestran los valores de media, mediana, y valor máximo, siendo estos los más relevantes.

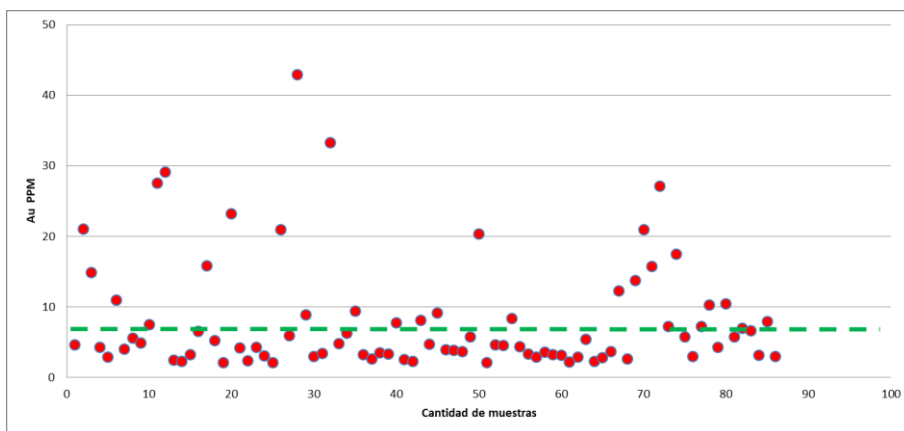


Figura 9.2. Valor medio de Au, 7,976 ppm.

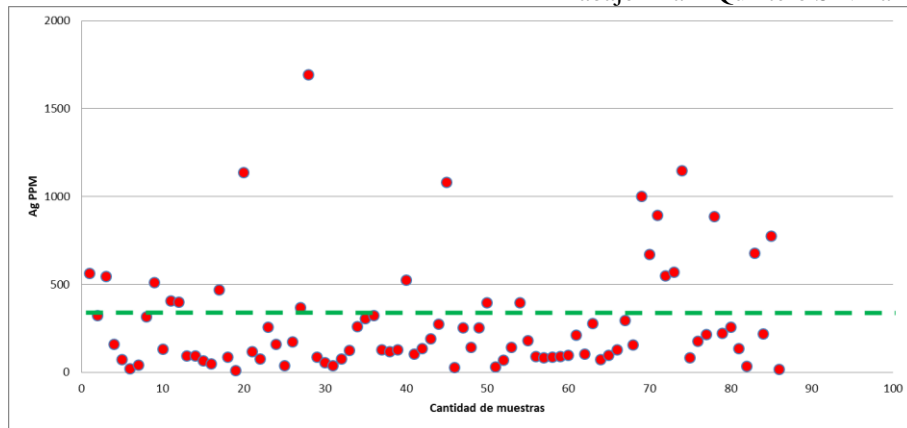


Figura 9.3. Valor medio de Ag, 284,931 ppm.

Micaela Oeste

- Cota 500 msnm. Cantidad de muestras 53 (anuladas 7) (Tabla 11). Valor medio de Au: 12.080 (Fig. 9.4), Valor medio de Ag: 559.046 (Fig. 9.5). R Ag/Au: 46,27.

AU		AG	
Media	12.0802453	Media	559.046981
Error típico	1.679733	Error típico	66.9916526
Mediana	8.699	Mediana	419.91
Moda	#N/A	Moda	#N/A
Desviación estándar	12.2286408	Desviación estándar	487.706592
Varianza de la muestra	149.539657	Varianza de la muestra	237857.72
Curtosis	7.1516261	Curtosis	2.1422065
Coefficiente de asimetría	2.39015554	Coefficiente de asimetría	1.53630993
Rango	63.716	Rango	2121.46
Mínimo	2.165	Mínimo	50.04
Máximo	65.881	Máximo	2171.5
Suma	640.253	Suma	29629.49
Cuenta	53	Cuenta	53
Nivel de confianza (95.0%)	3.37063086	Nivel de confianza (95.0%)	134.428586

Tabla 11. Tabla de Micaela Oeste a la cota de 500 msnm, donde se muestran los valores de media, mediana, y valor máximo, siendo estos los más relevantes.

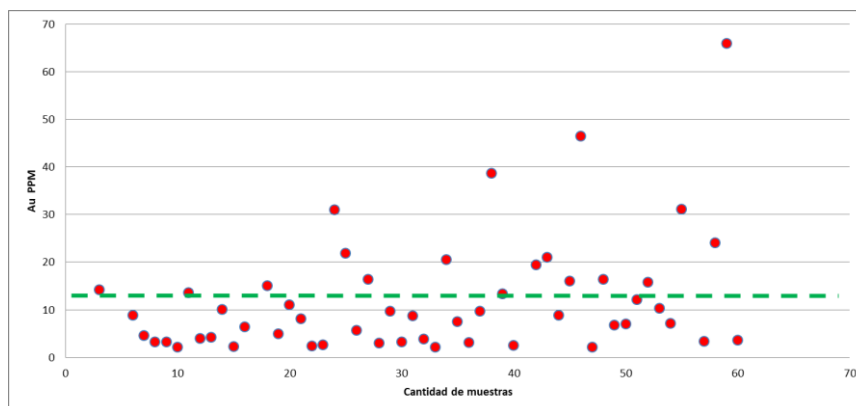


Figura 9.4. Valor medio de Au, 12,080 ppm.

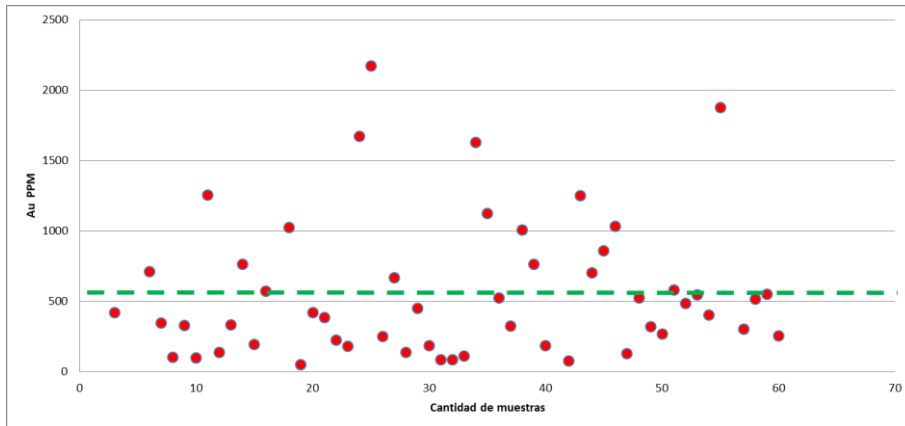


Figura 9.5. Valor medio de Ag, 559,046 ppm.

- Cota 400 msnm. Cantidad de muestras 37 (anuladas 4) (Tabla 12). Valor medio de Au: 13.462 (Fig. 9.6), Valor medio de Ag: 734.795 (Fig. 9.7). R Ag/Au: 54,59.

AU		AG	
Media	13.4626757	Media	734.795676
Error típico	2.04250666	Error típico	125.019554
Mediana	8.532	Mediana	473.77
Moda	#N/A	Moda	#N/A
Desviación estándar	12.424083	Desviación estándar	760.464258
Varianza de la muestra	154.357838	Varianza de la muestra	578305.888
Curtosis	1.20286847	Curtosis	2.24820201
Coefficiente de asimetría	1.45871812	Coefficiente de asimetría	1.71189647
Rango	44.5	Rango	2842.75
Mínimo	2.5	Mínimo	76.47
Máximo	47	Máximo	2919.22
Suma	498.119	Suma	27187.44
Cuenta	37	Cuenta	37
Nivel de confianza (95.0%)	4.14239551	Nivel de confianza (95.0%)	253.551407

Tabla 12. Tabla de Micaela Oeste a la cota de 500 msnm, donde se muestran los valores de media, mediana, y valor máximo, siendo estos los más relevantes.

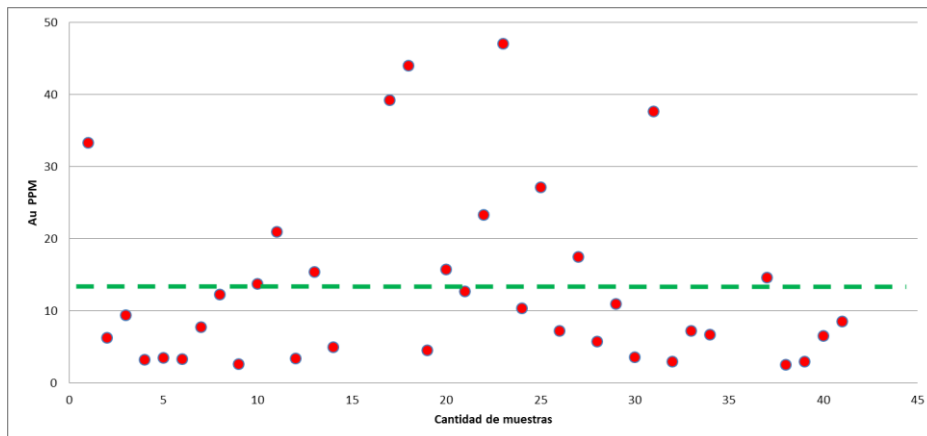


Figura 9.6. Valor medio de Au, 13,462 ppm.

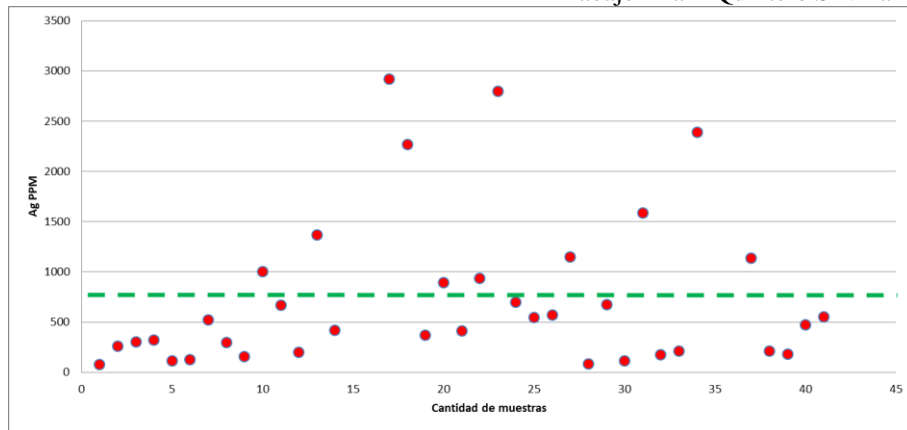


Figura 9.7. Valor medio de Ag, 734,795 ppm.

9.3 Geoquímica de metales pesados (Anexo III)

En este anexo, se adjunta la información complementaria de la correlación de los metales pesados vs metales preciosos, donde el valor de R es menor a 0,1.

A cota mayor o igual a 450 msnm (Fig. 9.8), se ubica el Cu y Fe en Micaela Oeste y en Micaela Este, el Zn y Fe.



Figura 9.8. Correlación de metales pesados cuyo valor de R < 0,1, de Micaela Oeste y Micaela Este.

A cota menor o igual a 400 msnm (Fig. 9.9), se ubica el Cu y Fe en Micaela Oeste y en Micaela Este, el Zn y Fe.

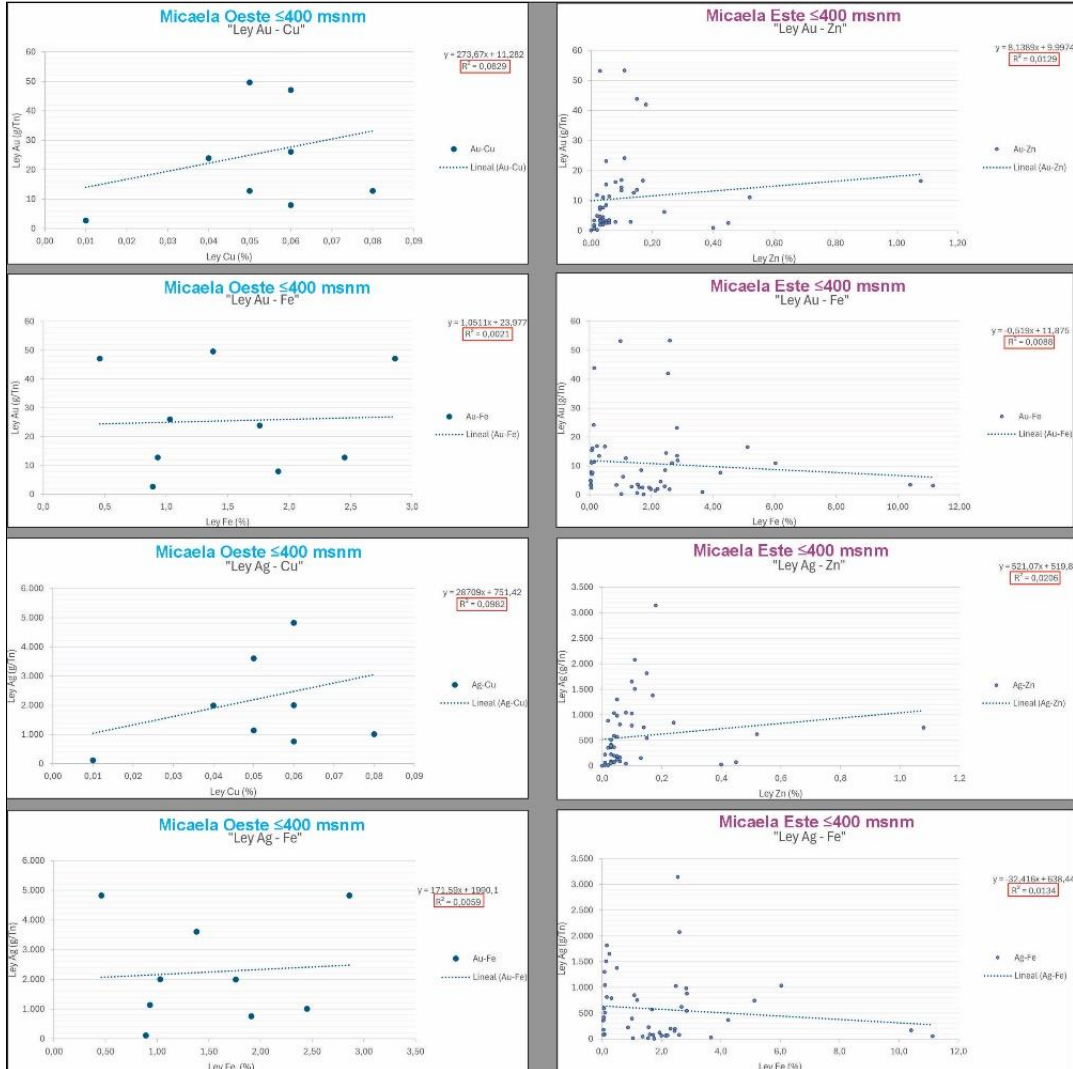


Figura 9.9. Correlación de metales pesados cuyo valor de R < 0,1, de Micaela Oeste y Micaela Este.