

Geología y Mineralización Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá –Lavalleja)

Trabajo Final de Grado de la Licenciatura en
Geología.



Autor: Felipe Paullier Soler

Montevideo

2019

Tutor: Julio Jorge Spoturno

Co-Tutor: Pedro Oyhantçabal

Geología y mineralización
Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mis padres María José y Nicolás por siempre apoyarme y ser mi ejemplo a seguir.

Felipe

Felipe Paullier Soler

AGRADECIMIENTOS

A Dios, centro y raíz de mi vida.

*A mis padres Nicolás y María José por todo el apoyo y estímulo que me
brindaron a lo largo de la carrera.*

A mi novia Ine por empujarme y ayudarme cada día a terminar este trabajo.

A mis tutores Julio y Pedro por encaminarme y guiarme en todo este proceso.

*A Graciela, Alfons y Klaus por su gran trabajo, ayuda y aportes brindados
desde Gottingen.*

*A mis amigos Willy, Pelego, Paulo y Paula por todo lo que me acompañaron y
empujaron en la carrera.*

*A Luis, Fernando, Jonatan y Seba por todos los ratos de intercambio de
opiniones que me dieron después de las jornadas de trabajo.*

*Finalmente, a todos los docentes de facultad que me ayudaron de una u otra
forma a que esto sea posible.*

Geología y mineralización
Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización
Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	6
1. INTRODUCCIÓN	8
1.1. Objetivos	8
1.2. Materiales.....	8
1.3. Metodología de estudio.....	9
1.4. Marco geográfico	9
2. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS	12
2.1. Geología regional.....	12
2.2. Geología local	14
2.3 Antecedentes estructurales regionales:.....	24
2.4 Antecedentes mineros:	28
3. RESULTADOS.....	30
3.1 Geología descriptiva del área	30
3.2 Marco estructural.....	48
3.2.1 Presentación de datos estructurales.....	48
3.2.2 Análisis estructural e interpretación.....	59
3.3 Hidrotermalismo:	62
3.3.1 Composición del fluido (Inclusiones Fluidas):	62
3.3.2 Alteración hidrotermal:	69
3.3.3 Geocronología.....	77
3.3.4 Mineralización:	79
3.3.5 Control estructural de la Mineralización.....	84
4. DISCUSION	87
5. CONCLUSIONES	93
6. BIBLIOGRAFÍA	1

Geología y mineralización
Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

Felipe Paullier Soler

RESUMEN

La presencia de oro en las vetas de cuarzo, es una característica común a lo largo del margen occidental del cinturón Neoproterozoico Dom Feliciano, Uruguay. Las vetas atraviesan las rocas supracorticales del cinturón orogénico y su basamento cristalino. A pesar de la extensión regional de más de 200 km de las ocurrencias, la mineralogía, los controles estructurales, las condiciones del PT, la edad de mineralización y el carácter del fluido de mineralización no han sido estudiados en detalle hasta el momento. Este estudio comprende una ocurrencia de cuarzo de oro ubicado ca. 8 km al oeste del pueblo de Pirarajá.

Las vetas de cuarzo se alojan en mármol dolomítico, que es una de las litologías de una antigua plataforma marina, conformada además por meta-conglomerados, cuarcitas, mica-esquistos y meta-calizas, metamorfozadas en facies de anfibolitas. El área muestra una fuerte deformación relacionada con al menos tres eventos principales. El primer evento (D1) es una deformación dúctil regional, responsable del plegamiento y el desarrollo de una primera foliación. Durante este evento, se generó un pliegue anticlinal, con plano axial orientado N030°. El segundo evento (D2) se asocia con cizallamiento frágil en la etapa final de plegamiento. Este cizallamiento generó fallas conjugadas típicas de un entorno transpresivo. Posterior a esto se generó un evento de cizallamiento dextral (D3) de dirección predominante N110° que afecta a todas las litologías del área. El último evento (D4) está relacionado con los diques doleríticos del Jura-Cretácico.

Las vetas de cuarzo con oro varían desde unos pocos milímetros hasta grosor métrico y tienen longitudes decimétricas. Incluyen cuarzo estéril y vetas de cuarzo que contienen sulfuros y óxidos (fracturas con relleno de hematita). El oro se asocia comúnmente con los sulfuros y se puede observar oro libre donde los sulfuros se oxidan.

Los procesos de alteración en la roca huésped, asociados con la mineralización incluyen sericitización, sulfuración, carbonatación y silicificación. La asociación geoquímica se caracteriza por la asociación Au-Ag-Pb-Cu-As-Zn. Los minerales más abundantes son: pirita, malaquita, galena y en menor proporción esfalerita, enargita accesoria, calcocita y tenantita.

A pesar de la edad paleoproterozoica de la roca huésped, la edad K-Ar obtenida para la sericita (muscovita) asociada con las vetas de cuarzo confirma la edad Ediacárica para la mineralización. Este hallazgo es consistente con el marco regional de un antepaís cratónico,

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

que fue fuertemente re TRABAJADO durante la Orogenia Brasiliana (Neoproterozoica). Los datos estructurales, la datación de la sericita en las vetas, la composición de los fluidos y las estimaciones de temperatura de captura de estos, permiten caracterizar la mineralización de "El Tarumán" como un depósito de oro orogénico mesotermal, relacionada con la orogenia Brasiliana.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivos

El objetivo de este trabajo es la caracterización de la mineralización aurífera ubicada en las cercanías de Pirarajá (Lavalleja, Uruguay), definir el tipo de mineralización al cual corresponde y contribuir a determinar su génesis.

La metodología utilizada incluyó el estudio detallado de las litologías comprendidas, la geología estructural del área, las inclusiones fluidas en el cuarzo hidrotermal, las alteraciones presentes producto del hidrotermalismo y la asociación mineralógica presente.

1.2. Materiales

Se emplearon, para la realización de este trabajo, los materiales que se detallan a continuación.

A. Base cartográfica y geológica

- I. Carta topográfica a escala 1:50.000 del Servicio Geográfico Militar: Hoja F-23 (Pirarajá).
- II. Fotografías aéreas a escala 1:20.000 del Servicio Geográfico Militar: banda 175 (fotografías 137 a 142) y (fotografías 058 a 062), y sus correspondientes pares estereográficos.
- III. Geocarta (Bossi & Ferrando, 2001).

B. Software

- I. Google Earth Pro, ArcGis Earth y Google Maps.

C. Otros

- I. Microscopio Petrográfico
- II. Microscopio Electrónico de Barrido (MEB)
- III. Catodoluminiscencia
- IV. Datación K/Ar

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

1.3. Metodología de estudio

El proyecto se abordó en sus inicios con la realización de un mapa geológico-estructural, escala 1/10000, de la zona mineralizada y sus límites, ya que esta se encuentra principalmente concentrada en meta-carbonatos muy deformadas, por lo que se pretendió interpretar si existe alguna estructura de plegamiento local.

Durante el trabajo de campo se recolectaron distintos tipos de muestras para realizar análisis, tales como:

- Muestras de rocas con sericita en los bordes de venas de cuarzo para posterior datación y estimación de la edad del hidrotermalismo
- Muestras de venas de cuarzo para estudio de inclusiones fluidas
- Muestras de pirita en venas de cuarzo para análisis composicional mediante Microscopia Electrónica de Barrido.
- Muestras de distintas litologías en afloramiento para descripción petrográfica.
- Muestras de posibles alteraciones para análisis composicional, mediante el uso de microscopio electrónico de barrido.

1.4. Marco geográfico

A. Ubicación y accesos

El área de estudio, de forma rectangular, tiene una superficie de 6,0 km² aproximadamente. Está ubicada en la región centro-norte del departamento de Lavalleja. En la tabla (Fig. 1.4.1) se muestra las coordenadas de los vértices del área de estudio a mapear según la Proyección UTM Zona 21, Southern Hemisphere (WGS 84).

	Coordenada x	Coordenada y
Vértice NW	695503 mE	6267263 mS
Vértice NE	704085 mE	6267061 mS
Vértice SE	703902 mE	6268471 mS
Vértice SW	695351 mE	6258623 mS

Fig. 1.4.1 Ubicación y coordenadas del área de estudio en la Hoja Pirarajá.

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

El área de estudio (Fig. 1.4.1 y Fig. 1.4.2) se encuentra a unos 8 km de la localidad de Pirarajá (Lavalleja), el acceso principal a la misma se realiza por la Ruta Nacional N° 8 “Brigadier General Juan Antonio Lavalleja” o también por la Ruta N°40 por la cual se accede a la zona noroeste del área de trabajo.

En el caso de acceder por la Ruta N° 8 se debe llegar al km 214 en el cual se ingresa por un camino vecinal en dirección oeste y se recorren 5,4 km hasta enfrentarse con una forestación la cual se encuentra en el borde oriental de la zona de trabajo. Como se observa en la Fig. 1.4.2 existen caminos vecinales que recorren el área.

Además, dentro del área, se debieron realizar cortes a pie para un mejor abordaje y estudio detallado del área.

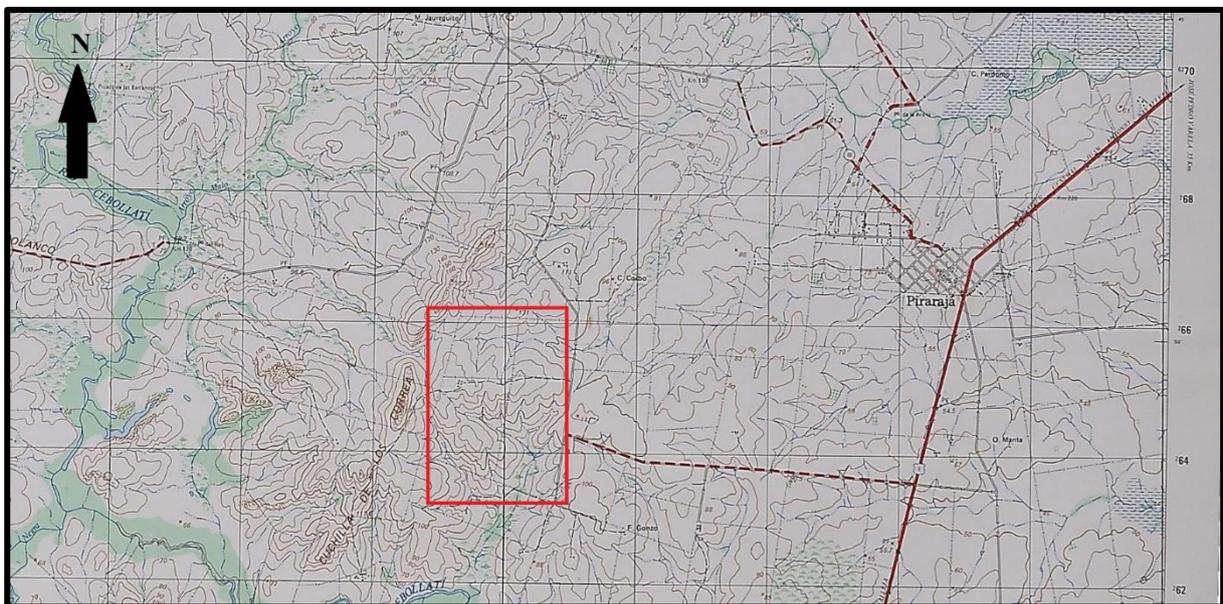


Fig. 1.4.2: Ubicación y accesos al área de estudio. Hoja Topográfica Pirarajá Escala 1/50000

B. Relieve y suelo

El área de estudio pertenece a una zona ondulada que alterna con una faja serrana de dirección nor-noreste con gran densidad de afloramientos, que se denomina Cuchilla de los Correa, cuyas litologías predominantes son meta-conglomerados, cuarcitas y meta-areniscas.

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

Los principales tipos de suelos son Brunosoles Lúvicos, Litosoles Subéutricos Melánicos y Brunosoles Subéutricos Háplicos entre otros. El principal uso de estos suelos es pastoril, aunque en el último mencionado es posible realizar algún tipo de agricultura ya que estos suelos son más profundos y fértiles. En la clasificación de suelos CONEAT (Fig. 1.4.3) la mayoría corresponden al grupo 2 y 3; 2.11b, 2.12, 2.21, 3.31 (www.prenader.gub.uy).

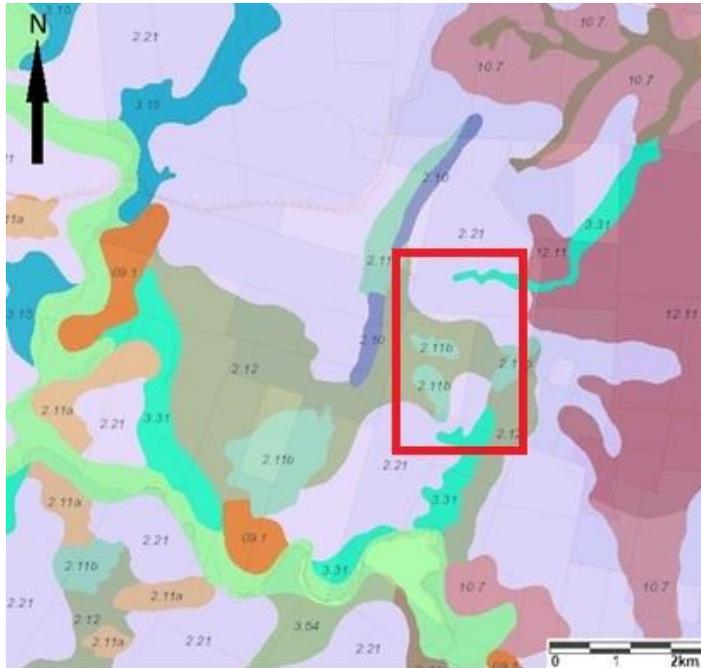


Fig. 1.4.3: Carta de suelos e índices CONEAT. Fuente: PRENADER. (Referencias: 2.12 Brunosoles Subéutricos Háplicos; 2.11b Litosoles Subéutricos Melánicos; 2.21 Brunosoles Lúvicos y Argisoles Subéutricos Melánicos Abrúpticos; 3.31 Gleysoles Lúvicos Melánicos).

C. Hidrografía

La red hidrográfica está conformada principalmente por cañadas y algún arroyo de escaso caudal, la única excepción es el Río Cebollatí el cual fluye al oeste y sur a escasos kilómetros del área de trabajo. En la red hidrográfica se observa un importante control estructural el cual se encuentra dominado por fallas y/o fracturas las cuales controlan los entalles del terreno y direccionan los cursos de agua.

2. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS

2.1. Geología regional

De manera global la Geología del Uruguay se puede describir como: rocas y sedimentos del relleno de cuencas volcano-sedimentarias de edad devónico hasta actual (Veroslavsky *et al*, 2004) y rocas del basamento o escudo uruguayo (pre-devónico) (Masquelin, 2004) (Fig. 2.1.1).

Existen tres terrenos (Piedra Alta, Nico Pérez y Punta del Este) los cuales agrupan un conjunto de litologías de edades Predevónicas y un cinturón de rocas supracorticales, intrusiones graníticas y *basement inliers* de basamento pre-Brasiliano (Cinturón Dom Feliciano), (Oyhantcabal *et al*, 2010). Los terrenos están limitados por dos grandes discontinuidades corticales, la Zona de Cizalla Sarandí del Yí (Bossi & Campal 1992; Bossi *et al*, 1993) y la Zona de Cizalla Sierra Ballena (Preciozzi *et al*, 1999).

Se toma como referencia bibliográfica para la siguiente reseña lo propuesto en Preciozzi *et al*, (1986); Hartman *et al*, (2001) y Oyhantcabal *et al*, (2010).

Terreno Nico Pérez:

Limita al oeste por la Zona de Cizalla Sarandí del Yí y al este por la Zona de Cizalla de Sierra Ballena, se subdivide en cinco grandes unidades (Fig. 2.1.1) de gran exposición (Hartmann *et al*, 2001), el Complejo Granulítico Valentines-Rivera, el Complejo La China, el Complejo Las Tetas, la Formación Fuente del Puma y el Grupo Arroyo del Soldado.

- El Complejo Granulítico Valentines-Rivera, ubicado en la porción norte del Terreno Nico Pérez (Isla Cristalina de Rivera), está representado por rocas máficas, félsicas, granulíticas, gneises y supracorticales, BIFs, esquistos (Ellis 1998).
- El Complejo La China (Hartmann *et al*, 2001) o denominado en trabajos anteriores como Bloque Pavas (Preciozzi *et al*, 1979), se integra por rocas máficas, ultramáficas y tonalitas con metamorfismo en facies anfibolita.
- El Complejo Las Tetas, secuencia metasedimentaria compuesta por metaconglomerados, cuarcitas, mica-esquistos y mármoles y rocas calcosilicatadas.

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

Mallmann et al. (2004) a partir de circones detríticos obtenidos de las meta-cuarцитas y meta-conglomerados obtuvo edades arqueanas y paleoproterozoicas para el área fuente (Masquelin, 2006).

- La Formación Fuente del Puma integra meta-sedimentos y meta-vulcanitas con metamorfismo en facies esquistos verdes a anfíbolita (Hartmann *et al*, 2001).
- El Grupo Arroyo del Soldado (Gaucher *et al*, 1996, 1998) representado por meta-sedimentos (conglomerados, areniscas, limolitas y pelitas) afectados por anquimetamorfismo.

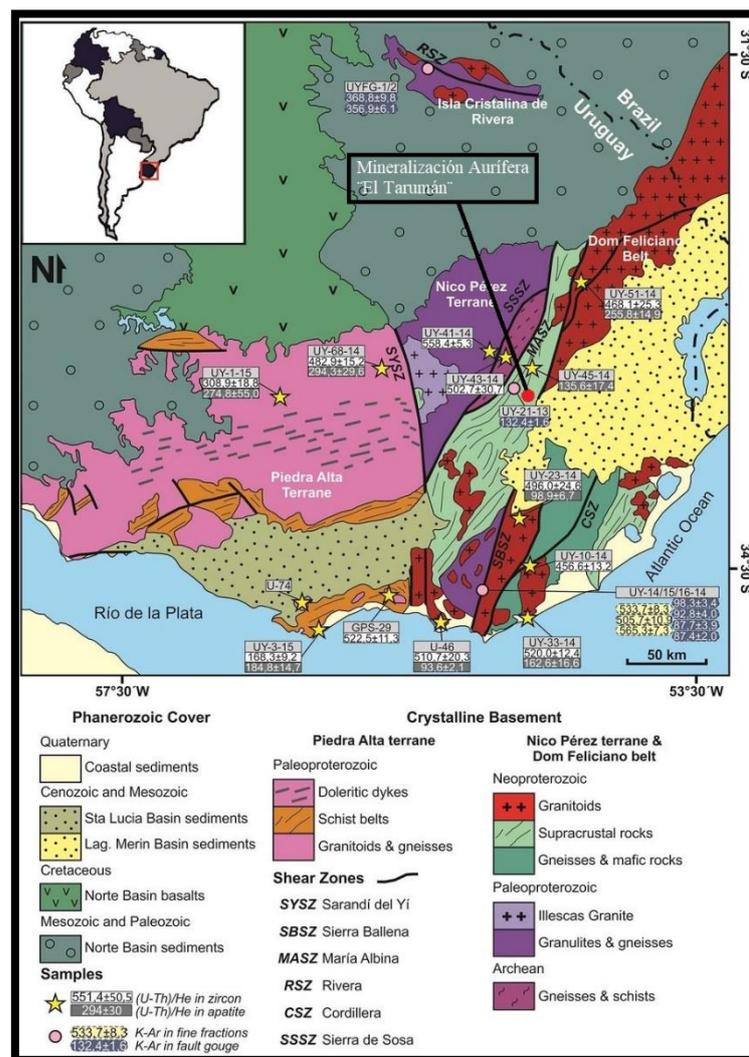


Fig. 2.1.1: Mapa simplificado representativo del basamento uruguayo, donde el punto rojo señala la zona de estudio al suroeste de la localidad de Pirarajá, Lavalleja. Las estrellas amarillas indican dataciones U-Th en circones o apatito y los puntos rosados indican dataciones K-Ar. Tomado y modificado de Hueck *et al.* (2017)

Se debe destacar la importante presencia de actividad magmática en el Terreno Nico Pérez

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

caracterizada por macizos graníticos Paleo- y Neoproterozoicos tales como: el batolito de Illescas, granito tipo A, de textura y composición *rapaquivi*, anorogénico con edad Pb-Pb y U-Pb 1.77 Ga. (Campal & Schipilov 1995; Oriolo et al. 2019). También existen abundantes granitos Ediacáricos del Ciclo Brasiliano, por ejemplo: Puntas del Santa Lucía, Puntas del Mataojo, Solís de Mataojo y Arroyo Mangacha, datados en Hartman *et al.* (2002); Oyhantcabal *et al.* (2009); Oyhantcabal *et al.* (2007); Gaucher *et al.* (2008) respectivamente.

Cinturón Dom Feliciano

Es una megaestructura a escala continental que afecta en Uruguay al TNP y al PET, y se extiende por más de 1.200 km paralela a la costa del Uruguay y Brasil. Tuvo su desarrollo durante el Neoproterozoico y es consecuencia de la convergencia entre los cratones Río de la Plata y Kalahari (Fragoso César, 1980). Este cinturón representa un conjunto de unidades de rocas antiguas que fueron afectadas, deformadas y metamorfozadas durante el ciclo orogénico Brasiliano-Panafricano (750-550 Ma) en Uruguay, sur de Brasil y oeste de África (Núñez et al. 2018). Varias fajas de rocas supracorticales de diferentes edades (desde Pale- a Neoproterozoicas) fueron plegadas y cabalgadas durante esa orogénesis y forman el *fold and thrust belt* de ese cinturón móvil (Fig. 2.2.1).

2.2. Geología local

El área de estudio se localiza en la zona central sur del Terreno Nico Pérez y al suroeste del Cinturón Dom Feliciano (Fragoso Cesar, 1980).

Complejo Las Tetas

En el área de trabajo y alrededores, el Complejo Las Tetas definido por Hartmann *et al.* (2001) es la unidad mejor representada en superficie; se compone de meta-conglomerados, cuarcitas, gneises (muscovita-turmalina), mica-esquistos (granate-estauroлита), meta-margas y rocas calcosilicatadas (Fig. 2.2.1).

Esta sucesión metasedimentaria tiene como basamento las litologías del Complejo la China (Hartmann *et al.*, 2001), denominado en trabajos anteriores como Bloque Pavas (Preciozzi *et al.*, 1979), que consta de rocas máficas y ultramáficas, además de gneises anfibólicos y cuarcitas (en ocasiones con fucsita), éstas últimas descritas por Oyhantcabal & Vaz (1990) y esquistos a

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

tremolita-actinolita, Vaz *et al.* (1985).

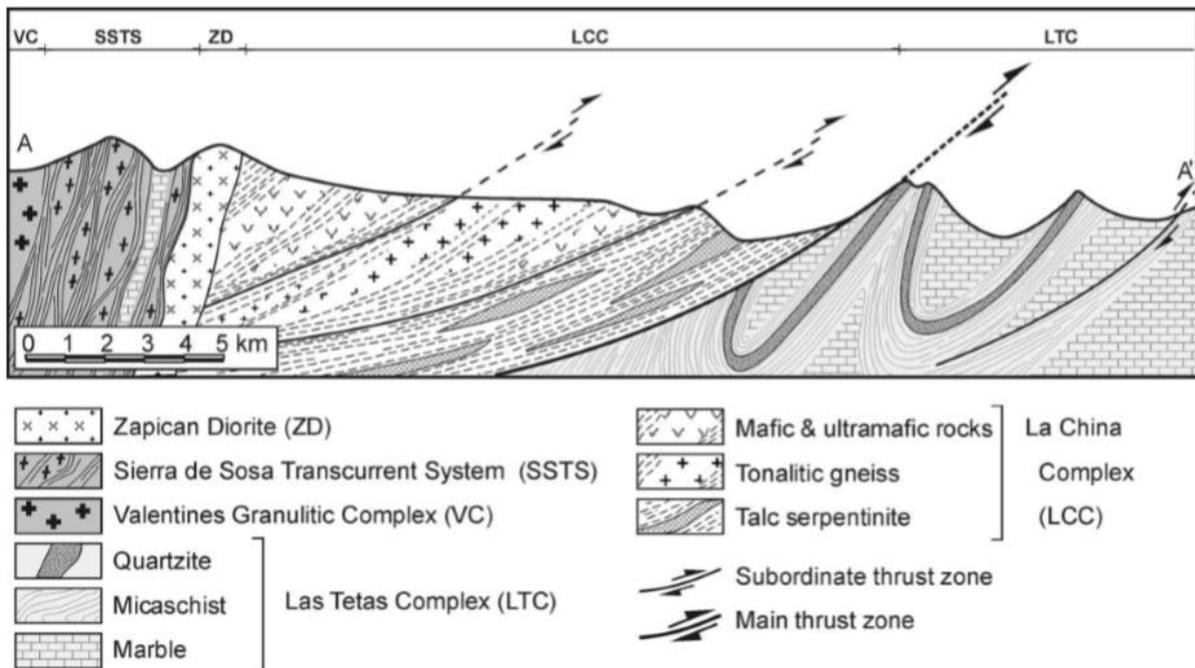


Fig. 2.2.1: La sección estratigráfica muestra al Complejo La China cabalgando sobre el Complejo las Tetas. Modelo propuesto por (Hartmann *et al.*, 2001), tomado y modificado del mismo.

En la Carta Geológica del Fotoplano Pirarajá (Fig. 2.2.2) (Preciozzi, 1986) agrupa los litotipos en dos unidades que se detallan a continuación:

- I. Intercalación filitas sericíticas y calcáreas.
- II. Cuarcitas y meta-areniscas.

I. Intercalación filitas sericíticas y calcáreas:

“Las filitas son de colores variados, predominando los colores rosados, amarillos y marrones, más excepcionalmente filitas negras. Las texturas predominantes son lepidoblásticas. Los calcáreos se desarrollan en bancos de extensión y potencia variada...”

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

II. Cuarzitas y meta-areniscas:

“Cuarzitas en términos generales masivas de granulometría media, de texturas granoblásticas, a veces con diferentes proporciones de óxidos de hierro y manganeso, así como minerales filitosos. Las metaareniscas presentan gran variación textural, tanto en granulometría como en coloraciones, tipo de cemento...”

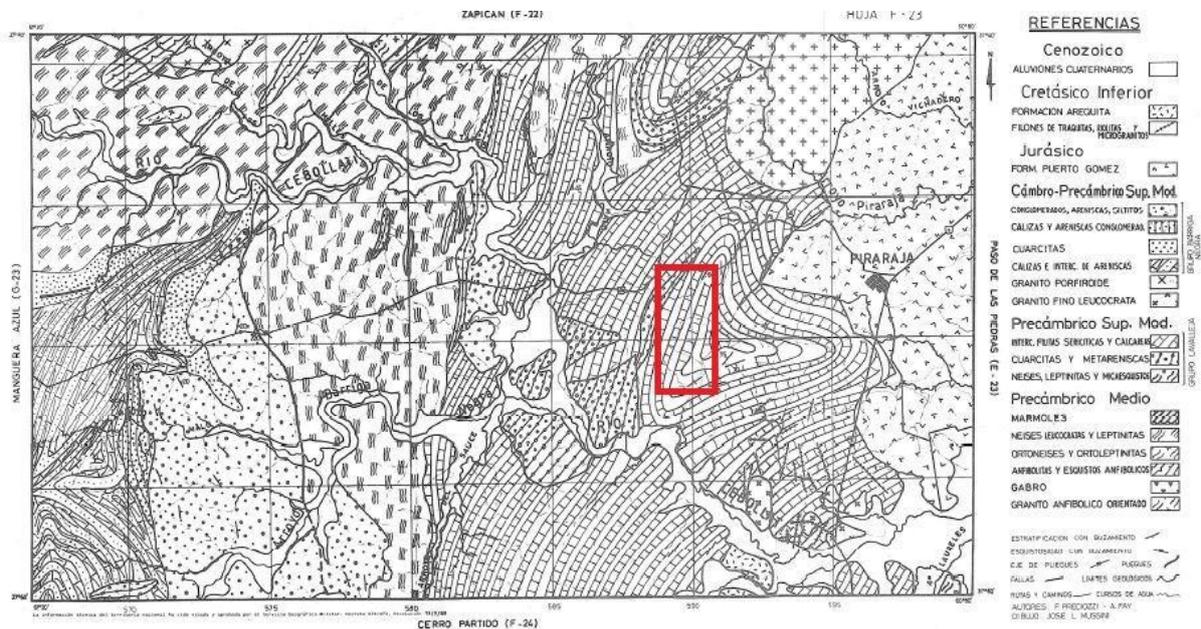


Fig. 2.2.2: Mapa geológico del Fotoplano Pirarajá a escala 1/100.000, tomado y modificado de Preciozzi 1986.

El recuadro rojo muestra el área de estudio que involucra los dos grupos definidos por el autor arriba mencionado.

Preciozzi et al. (1986) ubica estas litologías en el Precámbrico Superior Moderno, y las define como supracorticales, de facies plataformales con metamorfismo de grado medio-alto, bajo la denominación de Formación Isla Patrulla.

Por otra parte, Gaucher et al. (2014a) redefine esta secuencia metasedimentaria y la denomina Grupo Cebollatí, el cual se divide en 3 formaciones: Arroyo Malo, Cerro de Villalba y Cerro El Diamante:

I. **La Formación Arroyo Malo:** Se trata de areniscas finas bien seleccionadas, amarillentas y reposan en discordancia erosiva y angular sobre metamorfitas (gneises, metatonalitas) y granitoides del complejo La China.

II. **La Formación Cerro de Villalba:** Se apoya concordantemente sobre areniscas, y fue

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

definida por Gaucher et al. (1996). Se integra con dolomías rojas, blancas y grises estratificadas esparíticas, hacia el tope estromatolíticas. Existen además meta-pelitas subordinadas y ocurren principalmente en el tercio superior de la unidad.

- III. **La Formación Cerro El Diamante:** Se apoya concordantemente sobre dolomías, o en discordancia erosiva menor. En la base ocurren frecuentemente pelitas (pizarras); sin embargo, las rocas más características corresponden a conglomerados de matriz arenosa clastosoportados y que determinan importantes elevaciones (sierra de los Correa) por ser resistentes a la meteorización. Hacia el tope pasan a areniscas anaranjadas, en algunos sectores muy ferruginosas.

Como antecedente más reciente, se toma del trabajo final de la asignatura Cartografía Geológica realizado por Aguilar & Paullier (2018). El mismo abarca una región mayor, donde queda comprendida el área de este proyecto en su totalidad. (Fig. 2.2.3)

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

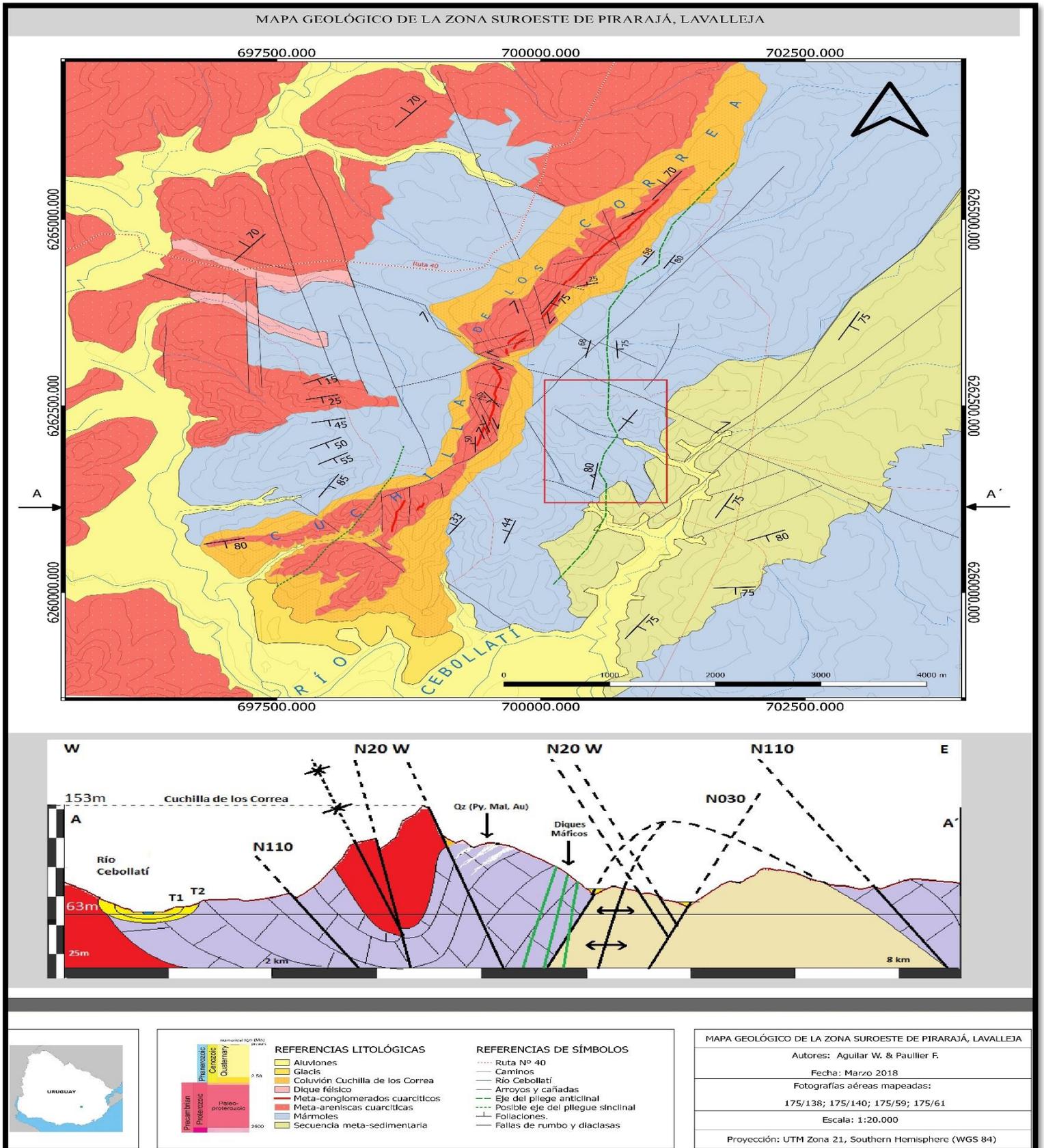


Fig. 2.2.3: Mapa y Corte Geológico del examen final de la asignatura de Cartografía Geológica realizado por Aguilar & Paullier (2018). El recuadro rojo indica el área de estudio de este trabajo.

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

Aguilar & Paullier (2018) reconocen en el área de este trabajo los siguientes litotipos:

- Meta-conglomerados cuarcíticos
- Meta-areniscas cuarcíticas
- Mármoles
- Meta-areniscas arcósicas

que a su vez los agrupan como una secuencia metasedimentaria, la cual se detalla a continuación.

Secuencia metasedimentaria

El conjunto de rocas que se agrupan en esta unidad mapeable a escala 1/20.000, ocupa un 15 % del área de estudio y se desarrolla en el centro-este al noreste de la misma (Fig. 2.2.3). Los litotipos predominantes son las meta-areniscas de grano fino a grueso y los esquistos (sericíticos, mica-esquistos, talco-esquistos), de forma subordinada meta-conglomerados, meta-pelitas, pizarras. Presentan condiciones variables de metamorfismo, estimadas como grado bajo a medio.

1) Meta-conglomerados cuarcíticos:

A escala regional estas litologías muestran una foliación predominante N030° a N040°.

A escala de afloramiento se describen como meta-conglomerados cuarcíticos, con clastos deformados según foliación regional. Es posible inferir que el protolito es un conglomerado monomítico (Fig. 2.2.4 y Fig. 2.2.5).

A escala microscópica es clara la recristalización de cuarzo en la roca, definiéndola como una cuarcita. Como herencia sedimentaria se preserva la forma externa de los clastos del esqueleto, completamente recristalizados al interior. Se define la textura metamórfica predominantemente como granoblástica, ocasionalmente grano-lepidoblástica.

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).



Fig. 2.2.4: Clasto de meta-conglomerados cuarcíticos, pulido por plano de falla N110°



Fig. 2.2.5: Meta-conglomerados cuarcíticos puntualmente brechados por falla.

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

2) Meta-areniscas cuarcíticas:

Rocas de tonalidades grises y rosados-rojizas, compuestas por cuarzo predominantemente y micas, dispuestas por debajo de los meta-conglomerados, en afloramientos que son subhorizontales (Fig. 2.2.6).

Presenta textura granoblástica predominante, aunque en áreas localizadas se reconoce textura grano-lepidoblástica. Muestra una clara recristalización de cuarzo, con uniones triples y dominios de clivajes suaves. Presentan una foliación fina N209° (posiblemente un evento anterior o estratificación original S_0) y un rumbo general N030° con buzamientos tanto subhorizontales como subverticales hacia el NW, puntualmente algún bloque presenta buzamiento al SE, asociado a los grupos de fallas (N110°, N060° y N20° al W) que dislocan los bloques de la cuchilla.

A escala microscópica se confirman las texturas ya reconocidas a nivel mesoscópico, granoblástica y grano-lepidoblástica, confirmando las descripciones de afloramientos.

En la roca con textura granoblástica se observan bandas de cuarzo con mecanismos de cristalización dinámica tipo BLG (bulging) en condiciones de bajas temperaturas y tasa de deformación elevada.



Fig. 2.2.6: Rocas aflorantes en la Cuchilla de los Correa, por debajo de la línea azul meta-areniscas cuarcíticas, por encima meta-conglomerados cuarcíticos.

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

3) Mármoles

El conjunto de rocas que se agrupan en esta unidad mapeable a escala 1/20.000, ocupa un 40 % del área de estudio y se ubica en la región centro sureste (Ver Mapa Fig. 2.2.3).

Comprende meta-calizas, meta-calizas margosas, meta-dolomías laminadas, meta-areniscas calcáreas, y meta-calizas talco-esquistosas. Estas litologías se encuentran en contacto transicional con la unidad infrayacente definida a continuación (meta-areniscas arcósicas), y puntualmente el contacto es mediante falla.

Se muestran zonas con procesos hidrotermales de dolomitización y más puntualmente silicificación, que le imprimen mayor resistencia frente al intemperismo

El grado de metamorfismo se estima bajo a medio y puntualmente medio-alto.

4) Secuencia meta-sedimentaria:

A escala macroscópica estas rocas son las más representativas de la unidad, compuestas por bancos que se intercalan con esquistos. A muestra de mano (Fig. 2.2.7) la mineralogía se compone de: feldespatos (alcalinos y plagioclasas), cuarzo predominantemente y minerales secundarios (sericíta). Muestran un tamaño de grano medio a grueso (250 μ a 750 μ). Puntualmente muestran diferencias en el empaquetamiento producto de la recristalización de sílice. Presentan tonalidades amarillentas-anaranjadas en afloramientos con poca alteración por intemperismo. A escala microscópica los cristales de feldespatos muestran un reborde con extinción diferencial el cual se interpreta como un sobrecrecimiento metamórfico o como una herencia sedimentaria, además se observan muy fracturados. Se reconoce un metamorfismo incipiente, con una leve foliación sedimentaria y/o metamórfica, de rumbo general N030° a N040° y los buzamientos predominantes son verticales a subverticales al NW.

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).



Fig. 2.2.7: Meta-arenisca arcósica de grano medio, evidencia una leve foliación

2.3 Antecedentes estructurales regionales:

En el área de estudio no existen trabajos netamente de carácter estructural, aunque sí existen en zonas no muy distantes y algunos de carácter regional, los cuales se utilizan como antecedentes en este trabajo.

El análisis de los eventos de deformación estará basado en los antecedentes que se presentan a continuación:

Mallmann et al. (2004) señala:

A partir del análisis estructural de las unidades del sur del Terreno Nico Pérez se reconocen dos eventos estructurales (E1-E2), con cuatro fases de deformaciones (D1-D2-D3-D4). Ambos eventos E1 y E2 se desarrollaron bajo un régimen transpresivo durante el final del Neoproterozoico como resultado de la convergencia oblicua entre las placas del Río de la Plata (oeste) y Kalahari (este).

- El evento E1 ($\sigma_1 - S60^\circ E - N60^\circ W$) representa la convergencia progresiva de la tectónica de placas, se desarrolló en condiciones dúctiles-frágiles y comprende tres etapas:
 - La primera fase de este evento (D1) generó pliegues isoclinales.
 - La segunda fase generó la transposición de los pliegues producto de un cizallamiento de dirección NW (D2), responsables del apilamiento de rocas infracrustales y supracrustales, que están representadas por el Complejo Carapé y el Complejo Metamórfico Lavalleja, respectivamente. Este evento genera metamorfismo en facies anfibolita inferior a esquistos verdes.
 - La fase D3, se caracteriza por un cizallamiento dextral de dirección de NNE al SSW, en facies esquistos verdes inferior, producto de un escape tectónico lateral. En esta hubo una disminución de la temperatura durante las últimas etapas del desarrollo del proceso de colisión continental.
- El evento E2 ($\sigma_1 - S75^\circ E - N75^\circ W$). Formado en condiciones dúctil-frágil a frágil, desarrolló pliegues abiertos, fallas y fracturas conjugadas (D4), reactivando algunas estructuras de falla generadas en el evento E1.

Aurífera “El Tarumán” (Piraráj, Lavalleja).

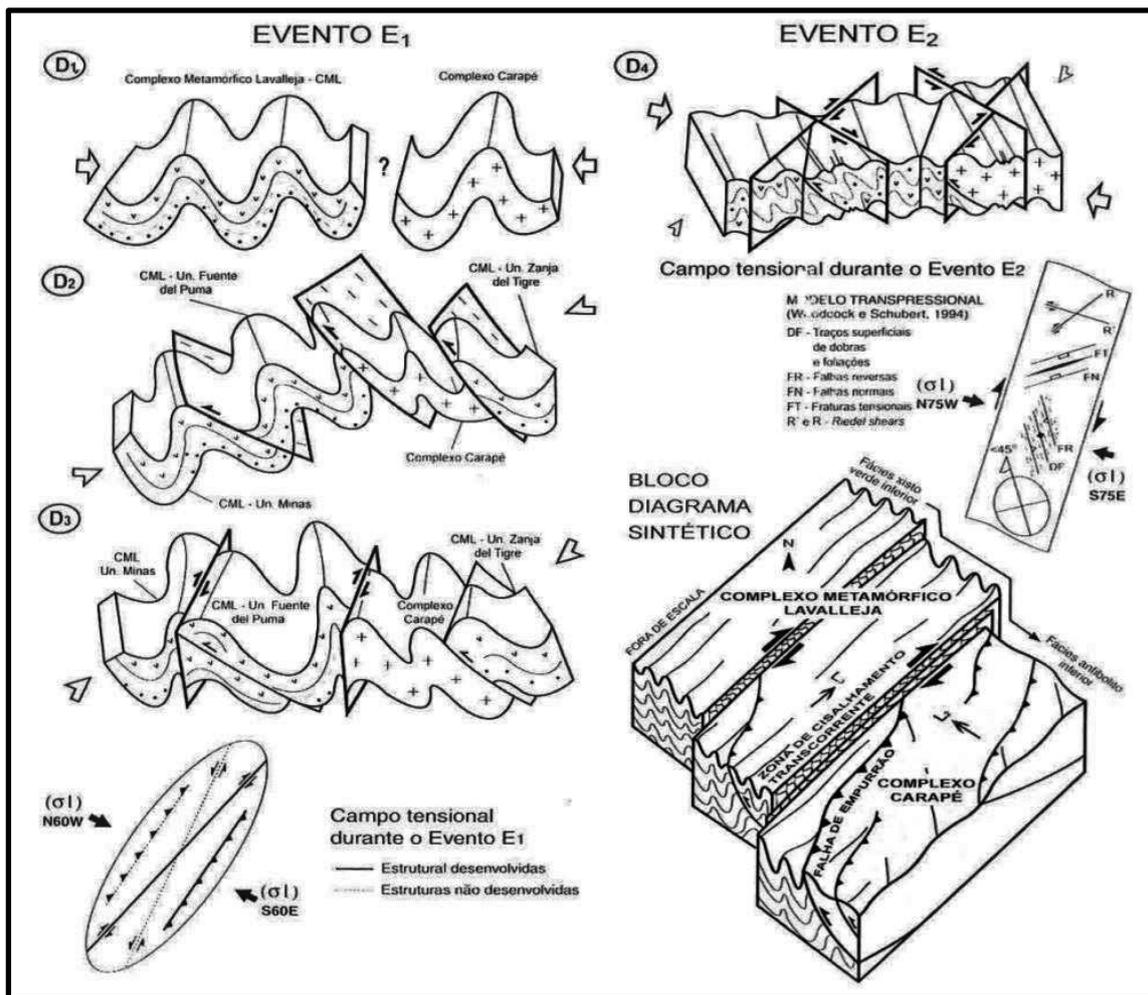


Fig. 2.3.1: Síntesis del modelo estructural evolutivo de las principales estructuras deformacionales en cada evento de deformación de la porción sur del TNP (Mallmann et al. 2004).

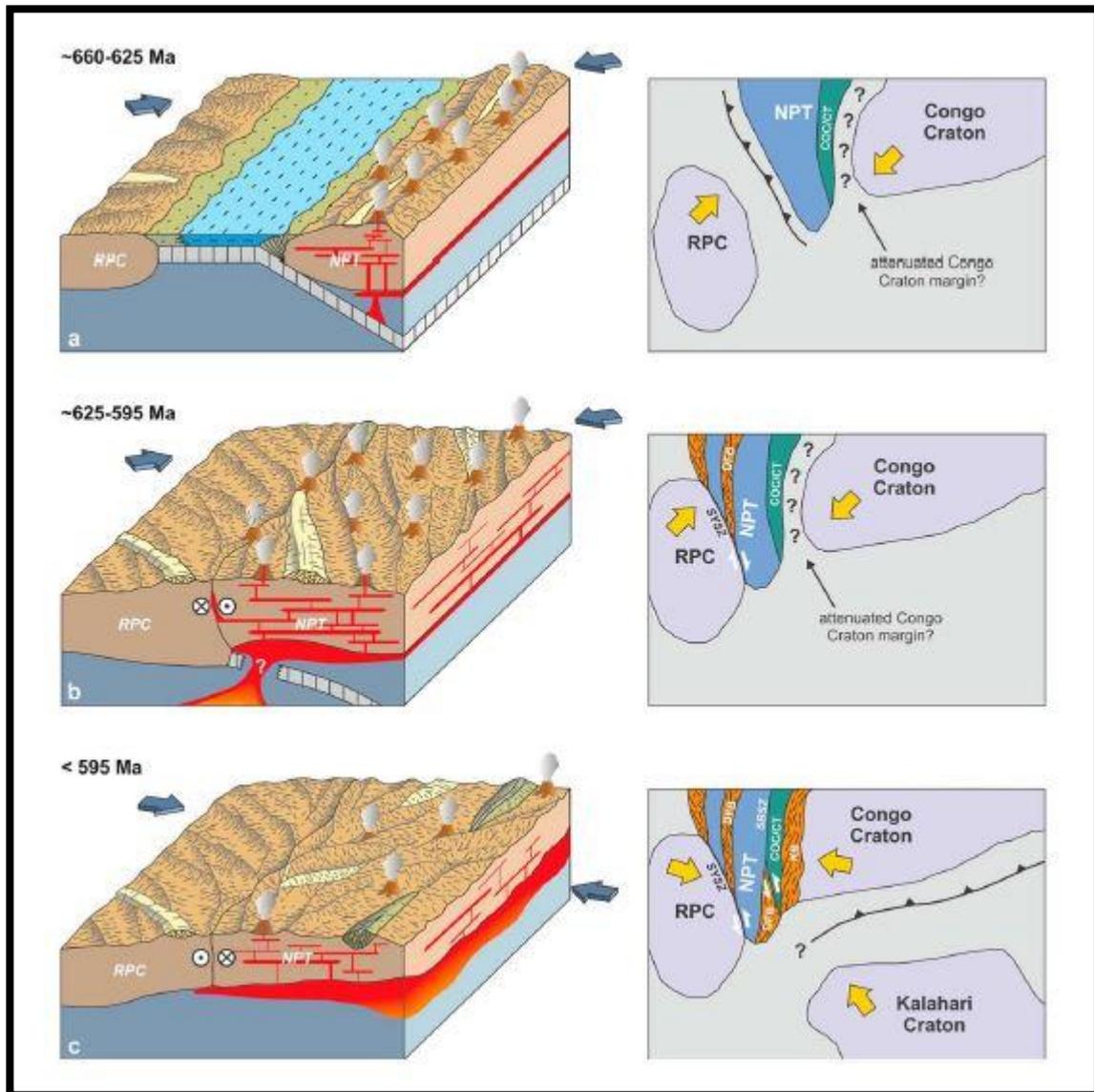
Por su parte, Oriolo et al. (2016 a) presenta el siguiente modelo de evolución geotectónica para el TNP:

- Entre los 630 y 625 Ma se inicia el proceso de deformación, cuando este terreno colisiona con el Craton del Rio de la Plata. Esto da como resultado una cizalla de carácter dextral, denominada Zona de Cizalla de Sarandí del Yi (ZCSY), de dirección N-S a N 330° (NW) y sentido dextral, registrado por el arqueamiento de los diques del TPA.
- Entre los 594 y 584 Ma se genera un cizallamiento de carácter sinistral en facies anfibolita. A esto se le suma una voluminosa actividad magmática post-colisional y

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

finalmente asociado a la interacción del Cratón del Río de la Plata-Congo y Kalahari hace 570 Ma, se genera deformación bajo condiciones frágiles (Fig. 2.3.2).



Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

El Cinturón Dom Feliciano registra transpresión inclinada y tensión que generan procesos de partición de la deformación y la fase principal de la deformación, el metamorfismo y exhumación se registran entre 630 y 600 Ma.

Posteriormente se generó cizallamiento sinistral de dirección N a NNE datado en ca. 584 Ma. Las zonas de cizalla registran la localización de deformación progresiva y las condiciones retrógradas de la deformación durante la exhumación de la corteza.

Finalmente, posterior a los 550 Ma, se genera un cizallamiento dextral de dirección ENE, coetáneo con un cizallamiento sinistral adicional de dirección N a NNE.

La fase principal de deformación y metamorfismo en el cinturón Dom Feliciano está relacionada con la colisión de los cratones del Río de la Plata y del Congo, que también produjeron el retrabajo de los bloques de corteza ubicados entre ellos, como el Terreno Nico Pérez.

El cizallamiento sinistral paralelo al orógeno posterior a los 600 Ma se asoció con la convergencia del Kalahari y la amalgamación de los cratones del Río de la Plata y Congo, dando lugar al cierre posterior de la cuenca de Rocha-Gariiep durante el Ediacárico (Fig. 2.3.3). Por lo tanto, el Cinturón Dom Feliciano se da como resultado de la amalgamación de los cratones de Río de la Plata y Congo y, posteriormente, la incorporación del Craton del Kalahari durante las últimas etapas de la amalgamación de Gondwana.

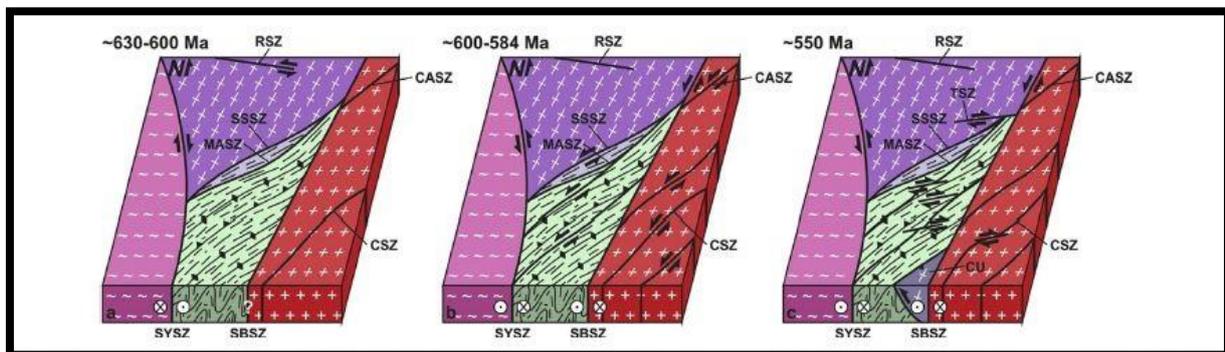


Fig. 2.3.3: Evolución estructural esquemática del cinturón Dom Feliciano (SYSZ: Sarandí del Yí Shear Zone, SBSZ: Sierra Ballena Shear Zone, RSZ: Rivera Shear Zone, SSSZ: Zona de cizalla Sierra de Sosa, MASZ: Zona de cizalla María Albina, CASZ: Zona de cizalla de Cerro Amaro, CSZ: Zona de cizalla de Cordillera, TSZ: Zona de cizalla de Tupamba e). a) Fase principal del metamorfismo regional y deformación del Cinturón Dom Feliciano (es decir, plegado y empuje de las unidades metasedimentarias) coeval con cizallamiento dextral a lo largo de la zona de cizalla de Sarandí del Yí. b) Orogenia-paralelo cizallamiento sinistral. c) Cizallamiento dextral a lo largo de las zonas de cizalla de ENE-striking y cizallamiento sinistral orógeno-paralelo adicional. (Oriolo et al 2016c)

2.4 Antecedentes mineros:

Antecedentes mineros próximos a la zona de estudio.

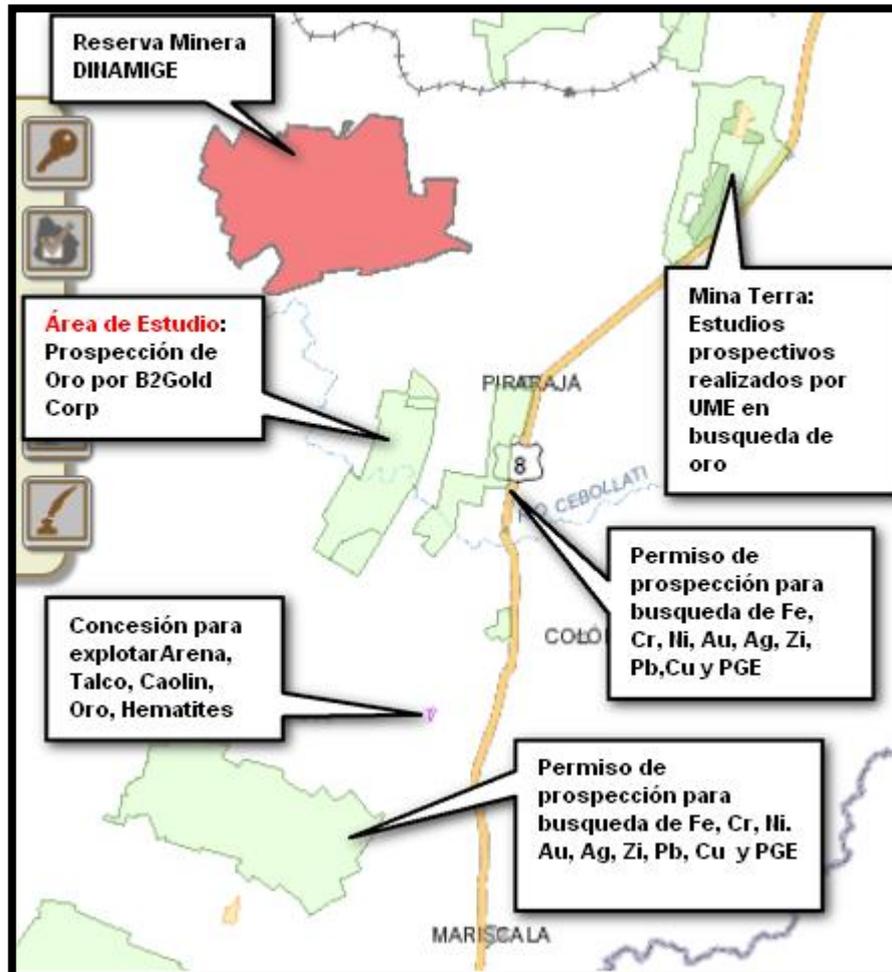


Fig. 2.4.1: Mapa tomado y modificado del Visualizador Geominero de Dinamige (http://visualizadorgeominero.dinamige.gub.uy/DINAMIGE_mvc2/) el cual muestra los pedidos de prospección y exploración cercanos a la zona de estudio.

En el área en la que se enfoca este trabajo existió un proyecto prospectivo de búsqueda de oro, propiedad de la compañía minera canadiense B2Gold Corp (Fig. 2.4.1), previo a los estudios realizados por ellos no existían estudios de carácter minero en el área ni en las zonas aledañas. El único registro de actividad minera próximo al área de estudio es el que llevó a cabo UME (Uruguay Mineral Exploration) en la histórica mina Presidente Terra, en el cual se realizaron trabajos de mapeo, muestreo geoquímico y perforaciones. Aunque en su mayoría esta información es de carácter confidencial, existe un mapa geológico con zonas de venilleo de cuarzo y estructuras mineralizadas interpretadas y algunos valores de oro en muestras de suelo

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

y perforaciones, publicado en la página web de la minera antes mencionada Orosur, 2019 (http://spanish.orosur.ca/explorations/southern_uruguay_gold_exploratio/presidente_terra/index.php?content_id=46&page_number=1&mode=print).

Aparte de lo realizado por UME y la minera B2Gold no existen otros antecedentes de ocurrencias anómalas de minerales metálicos, excepto alguna mención puntual realizada por Fesefeldt (1988). Este autor menciona 2 ocurrencias de cobre dentro de calizas dolomíticas (Unidad Polanco) con presencia de sulfuros oxidados, en los que se observa en uno de los casos calcopirita, (fotoplano Cerro Partido, coordenadas de los 2 puntos: x:586,50; y:245,25 y x:568,65; y:249,10).

Claramente se sabe muy poco de las mineralizaciones en la zona, o los datos que hay son de carácter confidencial. A pesar de esto, existen muchos pedidos de prospección para la búsqueda de minerales metálicos en la zona.

3. RESULTADOS

3.1 Geología descriptiva del área

En este capítulo se describen en detalle las distintas litologías observadas en el área de estudio. El mismo se subdivide en secciones en las cuales se describen y analizan las principales litologías.

A continuación, se presenta el mapa geológico a escala 1/10000 (Fig. 3.1), en el cual se representa todas las litologías de la secuencia metasedimentaria mencionada en los antecedentes. Dentro del mismo se incluye un mapa geológico a escala 1/5000 del área de estudio (recuadro en negro) (Fig. 3.2) y un corte geológico estructural interpretativo realizado a partir de las litologías aflorantes.

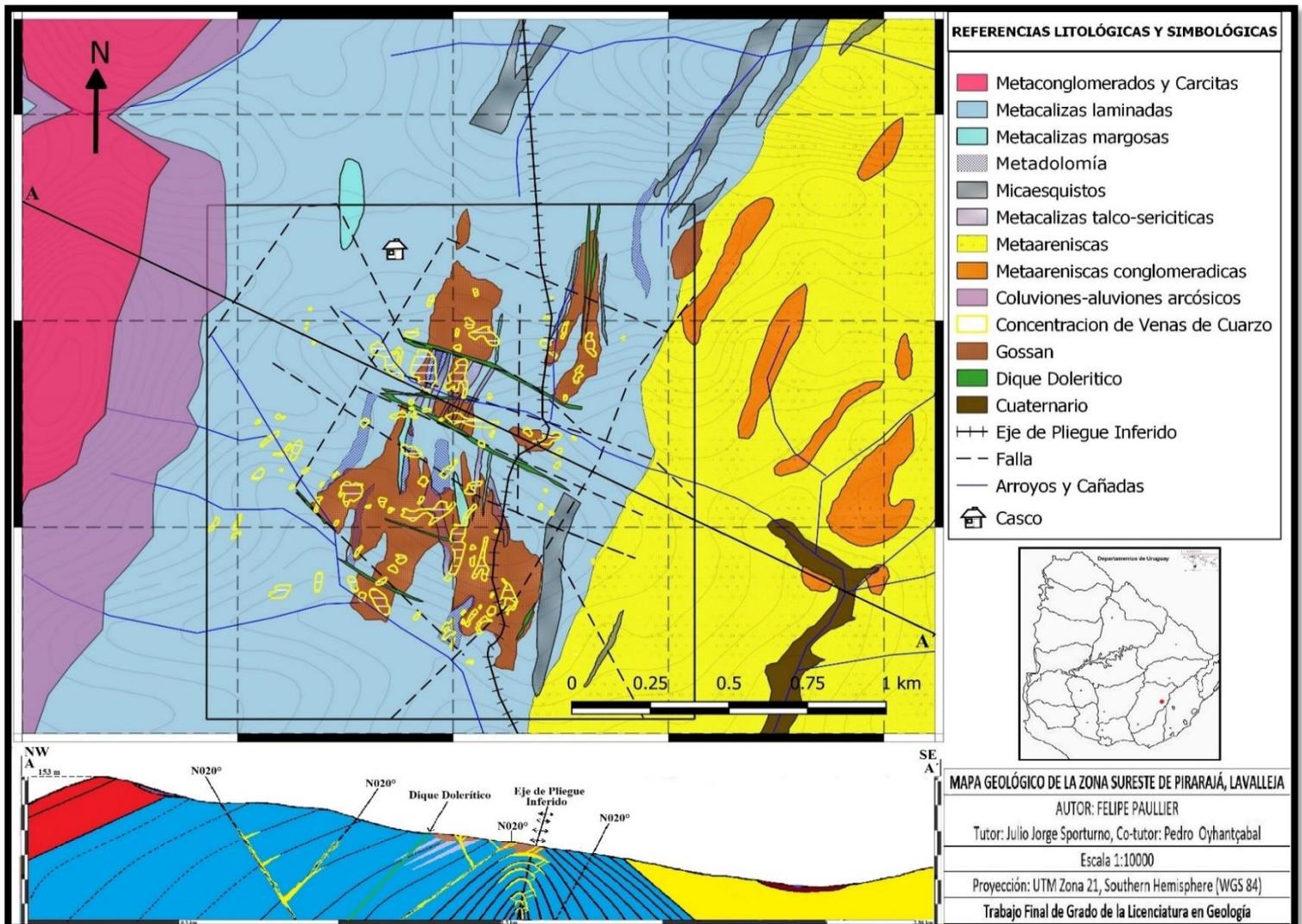


Fig. 3.2: Mapa geológico a escala 1:10000 del área de estudio en el cual se muestran las litologías, principales estructuras observadas y a partir del cual se realiza un mapa de mayor detalle (Fig. 3.2). Además, se observa un corte geológico estructural interpretativo realizado a partir de las principales litologías de afloramiento y datos estructurales recabados.

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

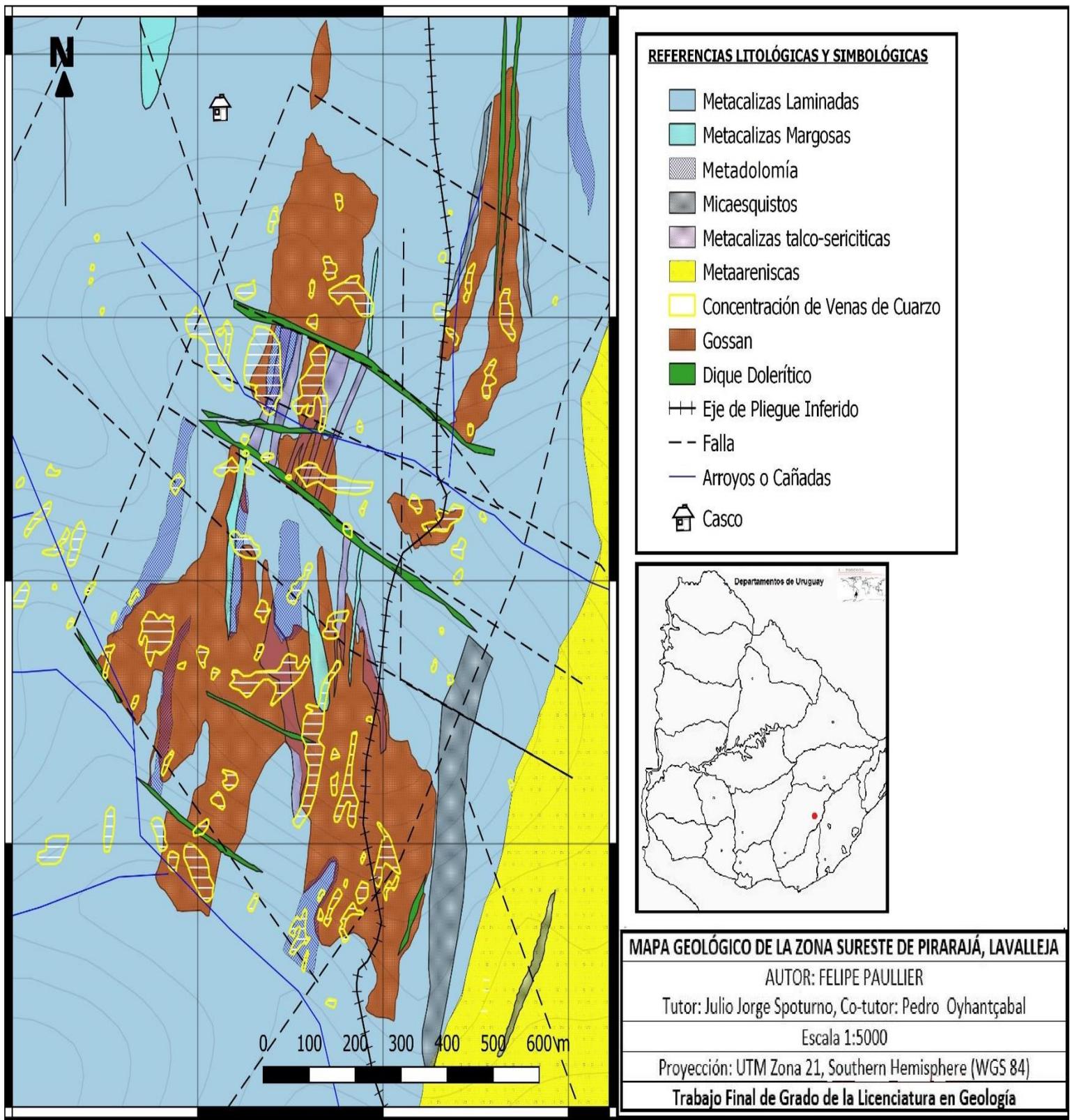


Fig. 3.2: Mapa geológico a escala 1:5000 del área de estudio en el cual se muestran las litologías y principales estructuras observadas.

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

1) Litologías carbonáticas

Este conjunto de litologías representa un 80 % del área de mapeo, corresponde a rocas derivadas de sedimentos o depósitos bio-detríticos y/o tal vez precipitación química con un metamorfismo de grado bajo a medio y puntualmente medio-alto.

Agrupar meta-calizas talco-esquistosas, meta-calizas laminadas, meta-calizas margosas, meta-dolomías masivas y gossan. Se encuentran en contacto transicional con la unidad contigua, conformada por: meta-areniscas y finos bancos de esquistos. Muestran geoformas típicas de procesos geomorfológicos kársticos como dolinas de hasta 10 metros de diámetro y “surgencia” de agua.

Algunas zonas presentan evidencias de dolomitización, por otra parte y puntualmente se reconocen procesos de silicificación y sulfuración, ambos producto del hidrotermalismo, la silicificación es un fenómeno que se reconoce fácilmente porque le imprime a la roca una fuerte resistencia al intemperismo y por su parte la sulfuración se reconoce por la presencia de minerales hidrotermales (sulfuros) y además por sus derivados, producto del intemperismo de estos: masas y patinas de óxidos e hidróxidos de hierro.

i. Meta-calizas talco-sericíticas:

En algunas zonas restringidas aflora esta litología, en forma de bancos, los cuales se intercalan con las otras litologías metacalcáreas; presentan tonalidades grisáceas-blanquecinas a gris azuladas. Se observan niveles en forma de lentes, de tonalidad más amarillenta, los cuales están compuestos predominantemente por sericita (Fig. 3.1.1.2) en afloramiento también se observaron niveles talcosos, donde el talco se cree está asociado a la alteración hidrotermal de estas rocas calcáreas ricas en magnesio (meta-dolomías).

Muestran un desarrollo de minerales fibrosos incoloros (tremolita-actinolita) producto del metamorfismo en rocas con dolomita y sílice (Fig. 3.1.1.1). Presentan rumbos generales N020° a N050°, casi sin variar.

Geología y mineralización
Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).



Fig. 3.1.1.1: Muestra de mano de meta-caliza en la cual se observan lentes de niveles blanquecinos talcosos

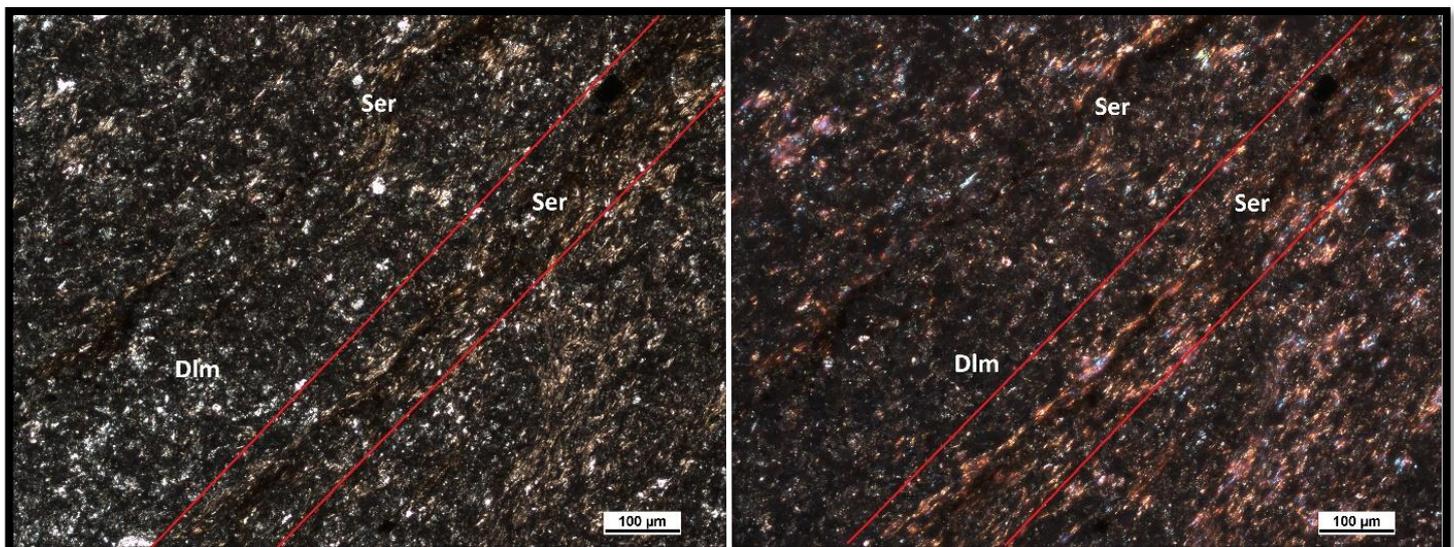


Fig. 3.1.1.2: La fotografía de la derecha (nicoles cruzados) muestra desarrollo de planos de esquistosidad (entre líneas rojas) compuestos por sericita (Ser), los mismos se intercalan con bandas dolomíticas.

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

ii. Meta-calizas laminadas:

La roca es una meta-caliza, de grano fino a medio y color gris-azulado, que muestra un fino bandeo composicional y/o foliación, producto de esfuerzos compresivos y plegamiento asociado (Fig. 3.1.1.6) generando el bandeamiento (Fig. 3.1.1.3) o foliación (Fig. 3.1.1.4).

Las características texturales y la paragénesis sugieren metamorfismo en condiciones de bajo grado (facies esquistos verdes).

Al microscopio se observa textura granoblástica de grano fino (0,05-0,1 mm), dominada por carbonato anedral. Presenta un bandeo composicional (estratificación), determinado por variaciones en la abundancia de finísimos opacos diseminados, que son los que imprimen el color gris a esta meta-caliza. La abundancia mineral es predominantemente carbonática, con un 50% de calcita (tinción con rojo de alizarina), 30% de dolomita, 10% de cuarzo y 10% de micas y minerales opacos.



Fig. 3.1.1.3: Afloramiento de meta-calizas con un claro bandeamiento composicional, que es fácilmente observable por los distintos tonos de las bandas.

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).



Fig. 3.1.1.4: Meta-calizas foliadas con plegamiento kink muy evidente, presentan una deformación dúctil compleja que genera un complejo estilo inarmónico, debido a su comportamiento plástico que es característico de las mismas frente a esfuerzos compresivos.

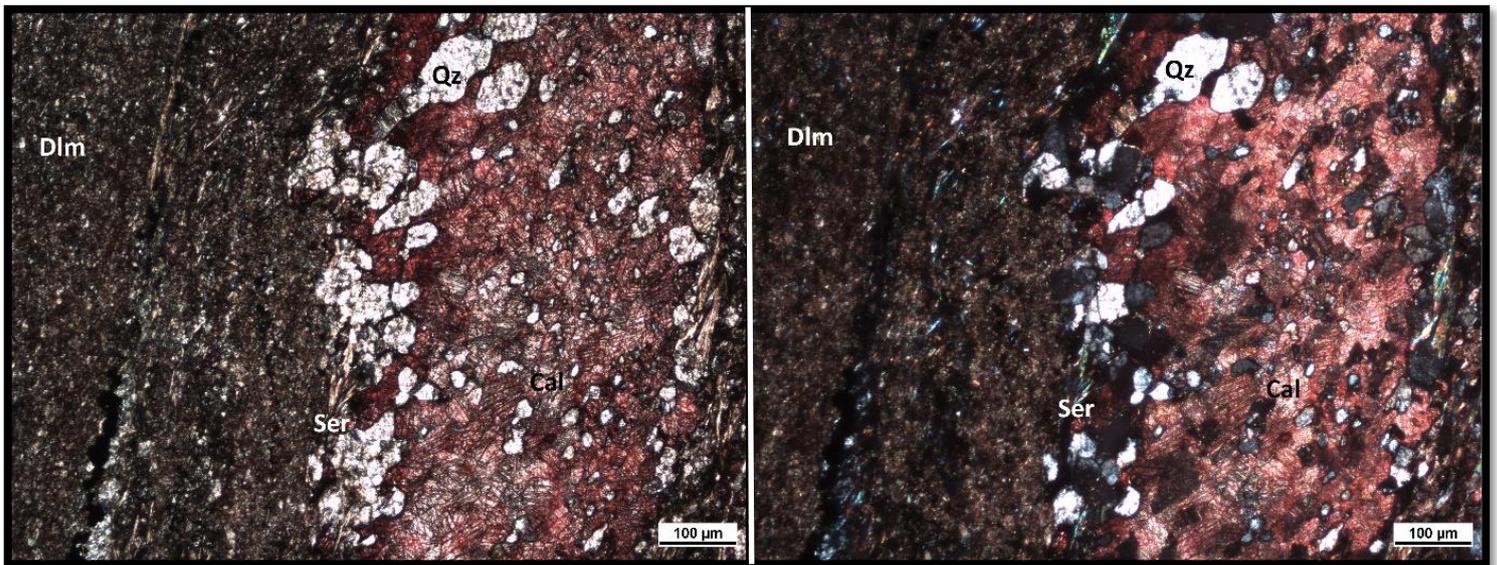


Fig. 3.1.1.5: La fotografía de la derecha (nicoles cruzados) muestra el desarrollo de bandas de calcita (Cal) (Tinción rojo de alizarina), también se observa bandas de clastos subangulosos de cuarzo (Qz) y dolomita (Dlm) de grano muy fino y pequeños cristales de sericita (Ser).

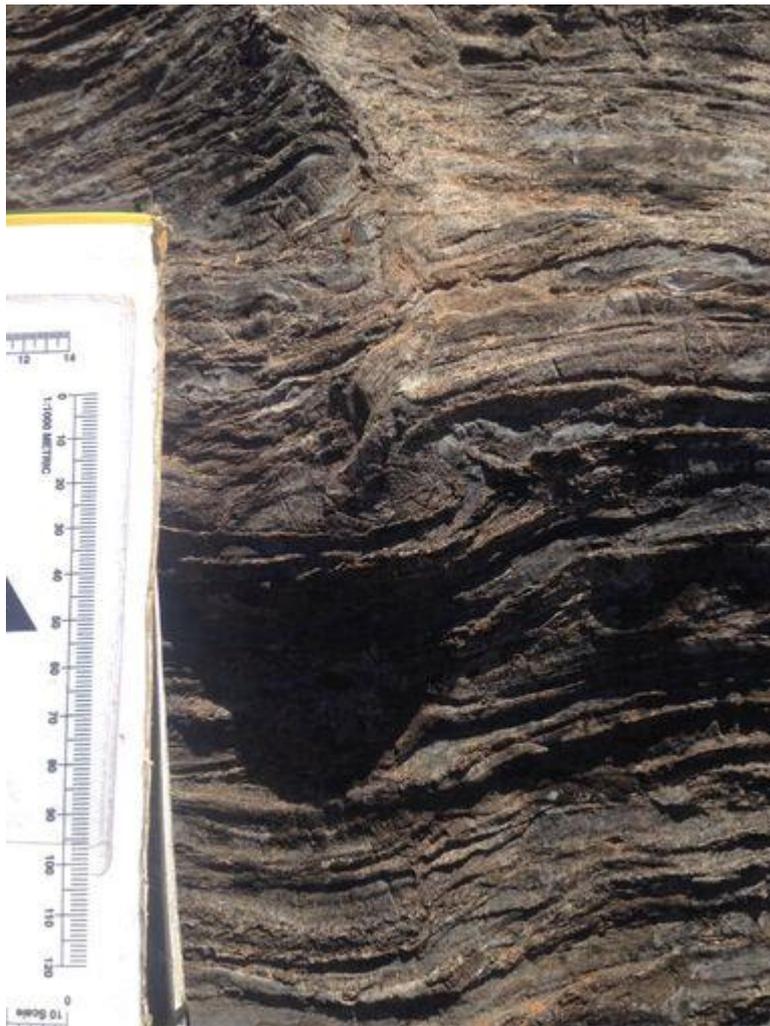


Fig. 3.1.1.6: Afloramiento de metacalizas laminadas en el que se distingue una clara foliación marcada fácilmente, además se observa plegamiento isoclinal.

iii. Meta-calizas margosas:

Rocas de grano muy fino, de tonalidad gris-azulado oscuro, muy reactivas frente a HCl(ac). Presentan un clivaje paralelo, de rumbo N030° a N040°, con buzamientos subverticales o subhorizontales. Solo se distingue a ojo desnudo cristales milimétricos de pirita.

A escala microscópica se puede visualizar como el tamaño de grano no superan las 40 μm (Fig. 3.1.1.7), además se puede observar los dominios de foliación paralelos al rumbo medido en afloramiento, además una lineación mineral l a 45° del clivaje levemente penetrativo (Fig. 3.1.1.8).

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

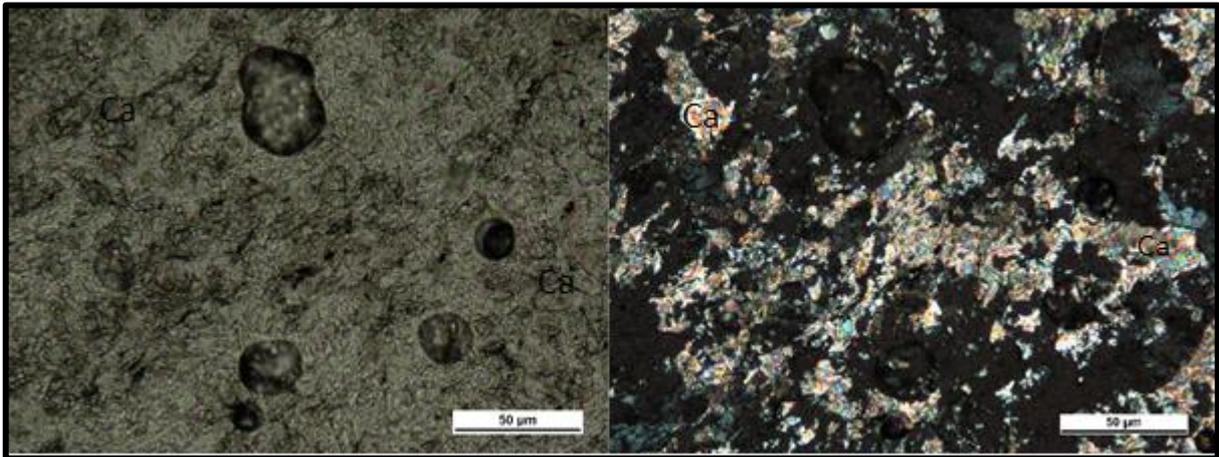


Fig. 3.1.1.7: A la derecha (nicoses cruzados Lp) se muestra el desarrollo de calcita (Ca), con alta birrefringencia, extinción paralela y macla polisintética apenas perceptible, aún con el aumento del ocular.

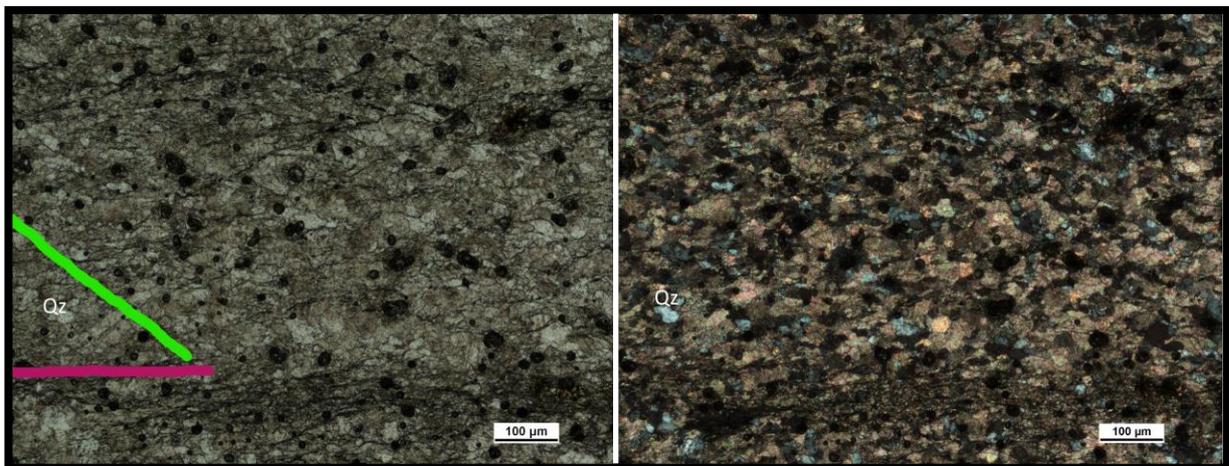


Fig. 3.1.1.8: Se muestran los dominios de foliación paralelos, en la parte inferior los clivajes presentan tonos grises a luz natural y levemente enmascarados a nicoses cruzados lo que dificulta reconocimiento de carbonatos; además un lineamiento l a 45° de los clivajes levemente penetrativo. Izquierda (luz plano-paralela) muestra pequeños cristales de cuarzo con dominio de clivaje irregular y alineados. Derecha (nicoses cruzados) muestra tonos de alta birrefringencia de los clastos de calcita y extinción en cuarzo. Aguilar & Paullier (2018)

iv. Meta-dolomías masivas

Rocas de aspecto sucio en afloramiento, muy poca reacción o nula al HCl (ac) lo que está determinado por su composición predominantemente dolomítica. Presenta tonalidades marrones (Fig. 3.1.1.9), grisáceas, oscuras y amarillas producto del intemperismo. Esta litología está estrechamente relacionada con la mineralización, y en la mayoría de los afloramientos se observa la presencia de venas y/o venillas de cuarzo hidrotermal. En general los afloramientos son masivos y presentan cuarzo recristalizado (Fig. 3.1.1.10) producto del hidrotermalismo. La silicificación está presente en una intensidad apreciable.

Según Clark et al. (2009), durante el proceso de dolomitización de una roca carbonática la
Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

misma pierde volumen y se generan espacios por los que pueden ingresar los fluidos. Esta litología se presenta de forma masiva, de manera esporádica presenta cierta foliación, la cual muestra rumbo regional N020° a N040° con buzamientos subverticales al NW y al SE respectivamente.



Fig. 3.1.1.9.: La fotografía muestra el carácter masivo de las meta-dolomías de color marrón y aspecto rugoso en afloramiento, recortadas por venas de cuarzo.



Fig. 3.1.1.10: Afloramiento de meta-dolomita granulada gruesa con presencia de cuarzo recristalizado.

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

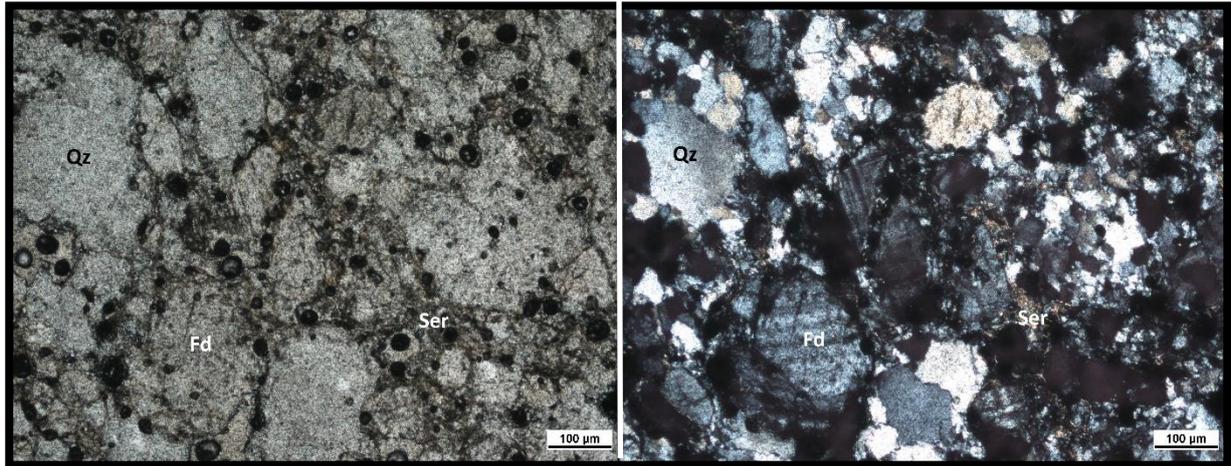


Fig. 3.1.2.2: La fotografía de la derecha (nicoles cruzados Lp), al centro hacia abajo del campo muestra granoblastos de feldspatos alcalinos (Fld) con un reborde de sobrecrecimiento y macla en rejilla. Se muestran además indicados cristales de cuarzo (Qz) y sericita.

3) Micaesquistos:

Esta litología presenta poca expresión y escasos afloramientos, producto de su fácil alteración. Está compuesta por finos bancos, de unos pocos metros de espesor, donde se observa una fuerte esquistosidad de rumbo predominante N040° y puntualmente muestran una variación a rumbos N060° a N080°, con buzamientos al SE. Presentan composición predominantemente micácea (sericítica). Muestran tonalidades marrón-amarillento, grises y gris-verdosas suaves, en afloramientos presentan gran alteración por intemperismo, desarrollando minerales secundarios, dando como resultado colores amarillentos a rojizos.

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).



Fig. 3.1.3.1: La fotografía muestra micaesquistos de rumbo N030° y buzamiento 75° al SE. Afloramientos sobre cauce en cañadas al este del área.

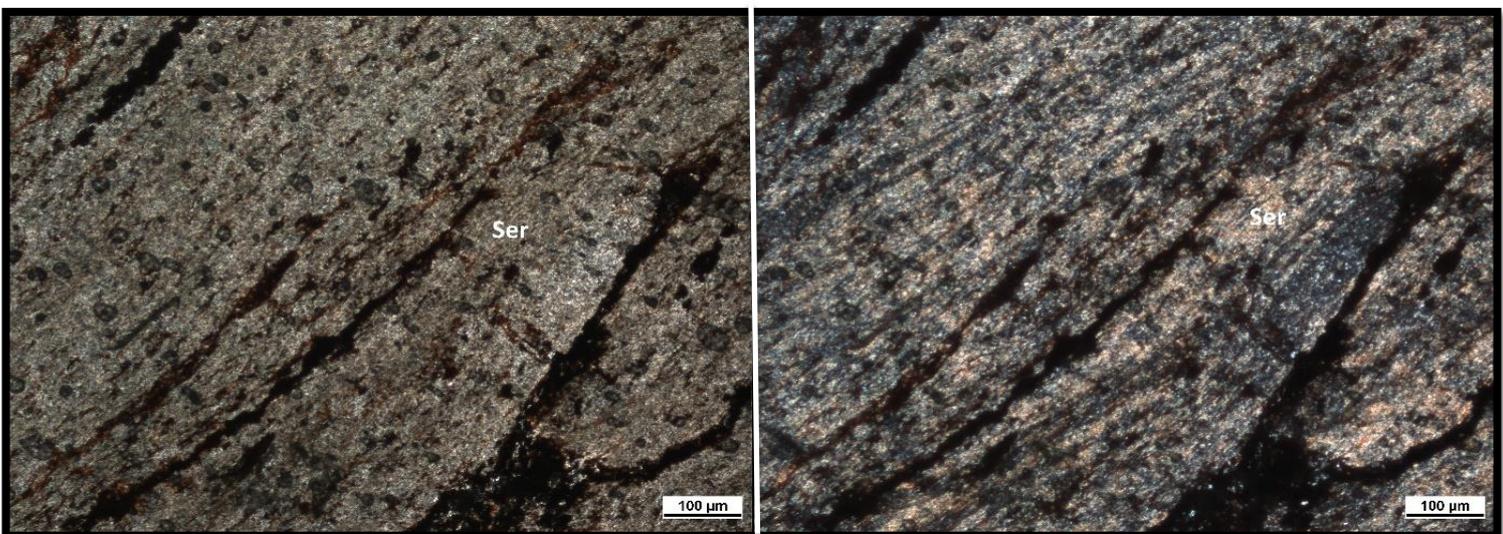


Fig. 3.1.3.2: En la fotografía de la izquierda (luz plano-polarizada) muestra la foliación. A la derecha (nicos cruzados) se muestra la extinción de los dominios de clivajes paralelos según la foliación.

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

4) Doleritas

Se presentan en forma de diques, los cuales presentan escasos afloramientos. Los diques tienen espesores de 0,2 m a 1,5 m el mayor medido en afloramiento (Fig. 3.1.4.1) y son bastantes discontinuos, pero son de gran utilidad para definir zonas de fallas o fracturas preexistentes. Los mismo son asignables a la apertura del Atlántico Sur, durante un evento extensional Mesozoico (Silva Lara et al. 2016).

En afloramiento se observa una roca de color oscuro, negro-verdoso, máfica, con textura ígnea de grano medio y sin orientación preferencial de los minerales. Se distinguen listones de fenocristales de feldespato blanco (plagioclasa) y minerales ferromagnesianos, inmersos en una matriz fina, con textura inequigranular porfirítica.

A escala microscópica se observa una roca de grano medio, cristales de piroxeno (Fig. 3.1.4.2), de hasta 3-4 mm, engloban poiquilíticamente a listones de plagioclasa de 1 x 0,2 mm y algunos opacos intersticiales, definiendo una típica textura ofítica. La mineralogía se compone de plagioclasa (Fig. 3.1.4.3 y Fig. 3.1.4.4) y clinopiroxeno predominantemente, con una abundancia de un 50 y 40% respectivamente y un 5% de olivino alterado y a niveles de trazas (5%) se observa apatito, opacos y clorita.



Fig. 3.1.4.1: La fotografía de la izquierda muestra dique dolerítico de rumbo N20° y de 1 metro de espesor; a la derecha se muestra la tonalidad negro o gris-verdoso de la roca fresca.

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

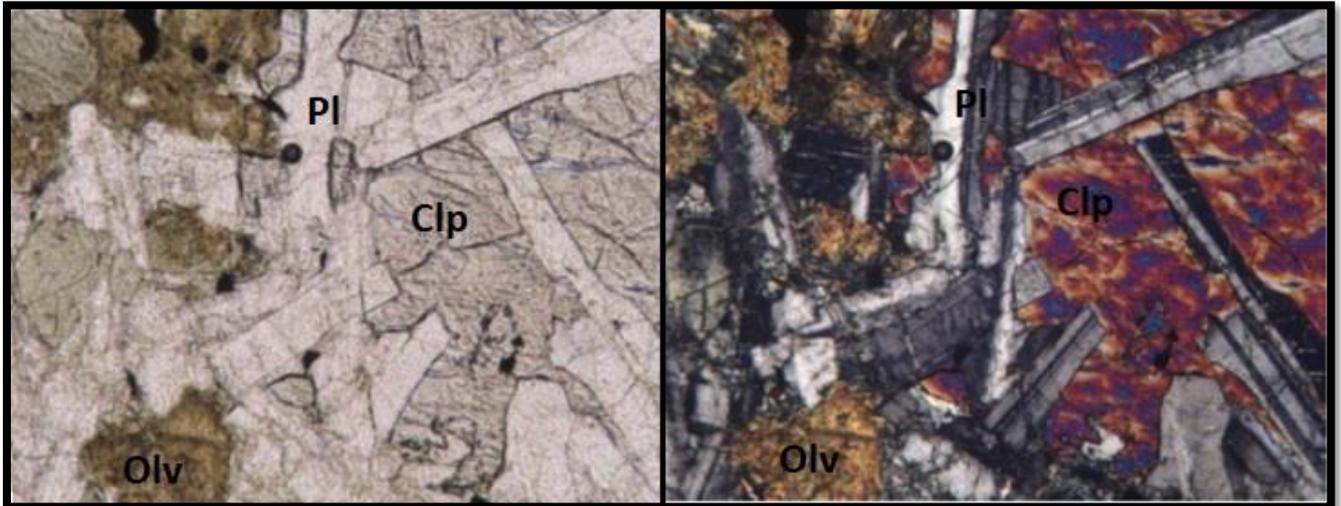


Fig. 3.1.4.2: La fotografía de la derecha (nicos cruzados Lp) muestra listones de plagioclasa (Pl), parcialmente englobados por clinopiroxeno (Clp) en textura subofítica. Agregados de filosilicatos marrones corresponden a probables olivinos (Olv) alterados y Clorita.

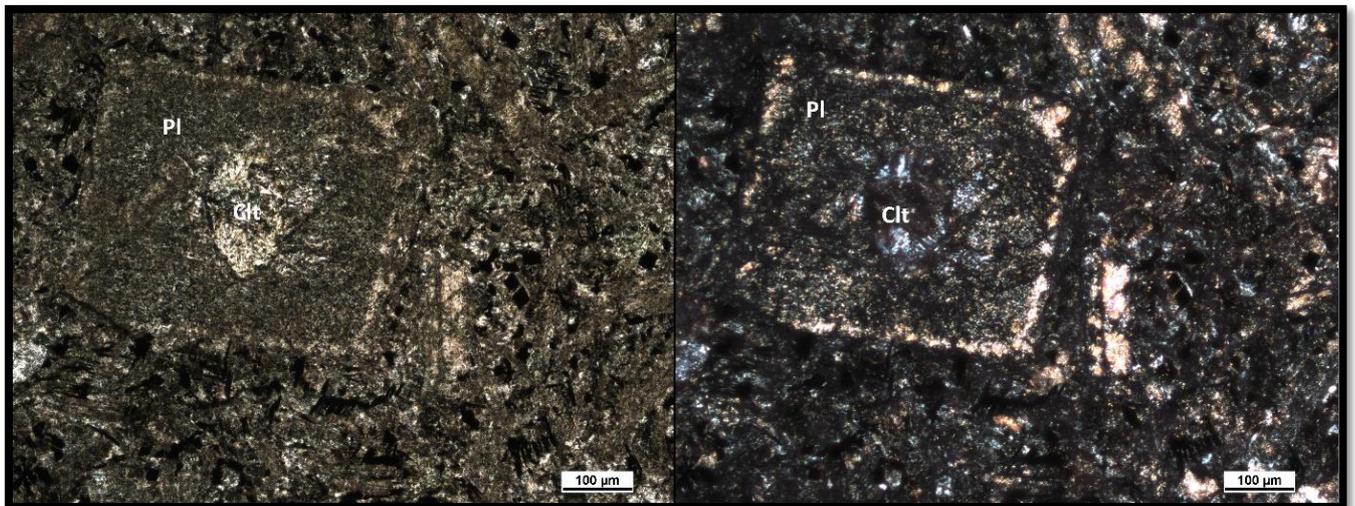


Fig. 3.1.4.3: La fotografía de la derecha (nicos cruzados Lp) muestra un fenocristal de plagioclasa (Pl) casi completamente alterado por la acción intemperica y en el centro del cristal muestra en azul anómalo el recrecimiento de clorita (Clt).

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

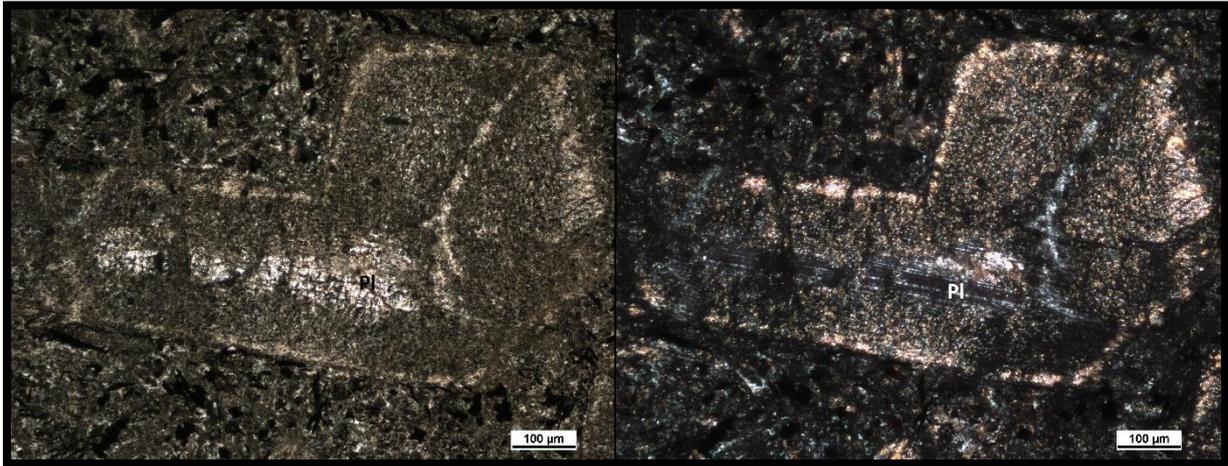


Fig. 3.1.4.4: La fotografía de la derecha (nicoles cruzados Lp) muestra al centro de la foto y centro del fenocristal un relicto del maclado polisintético y extinción levemente oblicua, lo que permite el reconocimiento de la plagioclasa (Pl) que no se ha alterado completamente, manteniendo la forma original del fenocristal.

5) Vetas de cuarzo hidrotermal

Esta litología aflora relleno de fracturas con direcciones N020°, N030° (las más escasas) y E-W y N110° las más abundantes. Tienen espesores variables que van desde los pocos milímetros hasta tamaños de entre 50 a 100 centímetros.

A escala microscópica el cuarzo está totalmente deformado, presenta extinción ondulante, bordes interdentados (Fig. 3.3.4.1 y Fig. 3.3.4.2) y abundantes inclusiones fluidas. La gran abundancia de estas inclusiones es la que da el aspecto lechoso al cuarzo. En el capítulo de inclusiones fluidas, 3.3.4, se desarrolla en mayor detalle las características del cuarzo.

Las vetas portadoras de la mineralización son las de tipo Q2 y Q3 (detalladas a continuación). La presencia de afloramientos de las mismas fue lo que permitió realizar la estimación de la extensión mineralizada; ya que las mismas presentan pirita (Q2) o pirita oxidada (Q3) la cual deja una masa de hierro oxidado con oro secundario visible, y casi como regla se suele observar además malaquita y galena asociados a este tipo de vetas. Estos 2 últimos tipos de vetas mencionadas son los que generan, por su contenido de pirita, el gossan.

Hay tres tipos diferentes de vetas de cuarzo en el área:

- Tipo 1: Cuarzo masivo estéril (Q1).
- Tipo 2: Cuarzo con sulfuro (Q2).
- Tipo 3: Cuarzo con óxido de hierro (Q3).

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

- Vetas tipo Q1

Las mismas, como se mencionó anteriormente, no presentan mineral de mena u otros minerales asociados. Se componen de cuarzo y en algunos casos es posible observar en los bordes de las mismas algunas micas (sericita, ya sea muscovita o flogopita).

Esto no descarta la posibilidad de que, a diferencia de los otros tipos de vetas, las mismas hayan actuado como transportadoras de minerales de mena y los mismos hayan precipitado dentro de la roca caja en lugar de quedar atrapados en las venas durante la cristalización.

- Vetas tipo Q2

Estas son las más escasas ya que en superficie sufren meteorización, proceso por el cual la pirita se altera rápidamente a óxido de hierro y da como resultado venas del tipo Q3 o simplemente desaparece la pirita y deja impreso en el cuarzo el hábito cúbico de los cristales de pirita ya inexistentes.

- Vetas tipo Q3

La litología está fuertemente agrietada y fracturada, los espacios vacíos quedan rellenos con óxidos de hierro. La mineralización de oro ocurre más comúnmente en la alteración de la pirita a óxido de hierro, asociado directamente con el cuarzo que presenta sulfuros oxidados.

El fuerte intemperismo, el abundante fracturamiento y la gran presencia de pirita, generan en superficie un gossan o montera de hierro, fuertemente inyectado por vetillas y vetas de cuarzo, donde se puede observar alteración del mineral de cobre a malaquita, en ocasiones crisocola, y también oro constantemente visible.

6) Gossan

Se extiende unos 1,5 km en dirección N-S y de 150 a 350m en dirección E-W. Al norte, donde el cizallamiento o fracturamiento de la roca caja se hace menos intenso o inexistente, no se observa en esta litología u oro u otros minerales relacionados con la mineralización. Hacia el este de esta litología se sigue pudiendo apreciar sulfuros oxidados y oro visible, aunque no de la misma forma ni con la misma consistencia que en la zona central.

La litología directamente relacionada con la mineralización es un gossan (Fig. 3.1.6.1) o montera de hierro (como fue descrito anteriormente), litología que se forma producto de la alteración

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

de la pirita y otros sulfuros y adquiere su nombre por la morfología en forma de “sombbrero” que posee generalmente. Esta litología se encuentra encajada principalmente dentro de la secuencia meta-carbonática, aunque también se observa en las meta-areniscas. La misma presenta alteración sulfurosa hidrotermal importante, dentro de la roca hospedera. El intemperismo oxida los sulfuros y genera acumulaciones masivas oxidados e hidróxidos de hierro (Fig. 3.1.6.2) lo que le imprime a la roca hospedera una tonalidad característica de color marrón. La roca caja se encuentra intensamente cizallada lo que explica en parte la presencia de mineralización, ya que la misma ingresa a través de las fallas y fracturas, que permiten el ascenso de los fluidos y la inyección de vetillas y vetas de cuarzo (Fig. 3.1.6.3), donde además se puede observar el producto de la meteorización mineral de cobre a malaquita, y también oro libre.



Fig. 3.1.6.1: Se observa un afloramiento de meta-calizas foliadas completamente descalcificadas afectadas por el hidrotermalismo, con gran presencia de óxido de hierro.

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).



Fig. 3.1.6.2: Afloramiento de Gossan, gran presencia de hierro masivo y malaquita con inyección de vetillas de cuarzo.



Fig. 3.1.6.3: Inyecciones mineralizadas de sulfuros (oxidado), penetrando en los planos de foliación de las calizas descalcificadas.

Felipe Paullier Soler

3.2 Marco estructural

3.2.1 Presentación de datos estructurales

Las Fig. 3.2.1.1, Fig. 3.2.1.6 y Fig. 3.2.1.7 (mapa de campo magnético anómalo reducido a polo, el mapa de las principales estructuras geológicas y la interpretación de lineamientos realizada por DINAMIGE), muestran respectivamente las principales estructuras (interpretadas) que se presentan en la región y el área del trabajo. Por otra parte, en la sección (Fig. 3.2.1.5) se plantea el modelo de plegamiento y cizallamiento regional, inferido a partir de toda la información recabada y su posterior análisis.

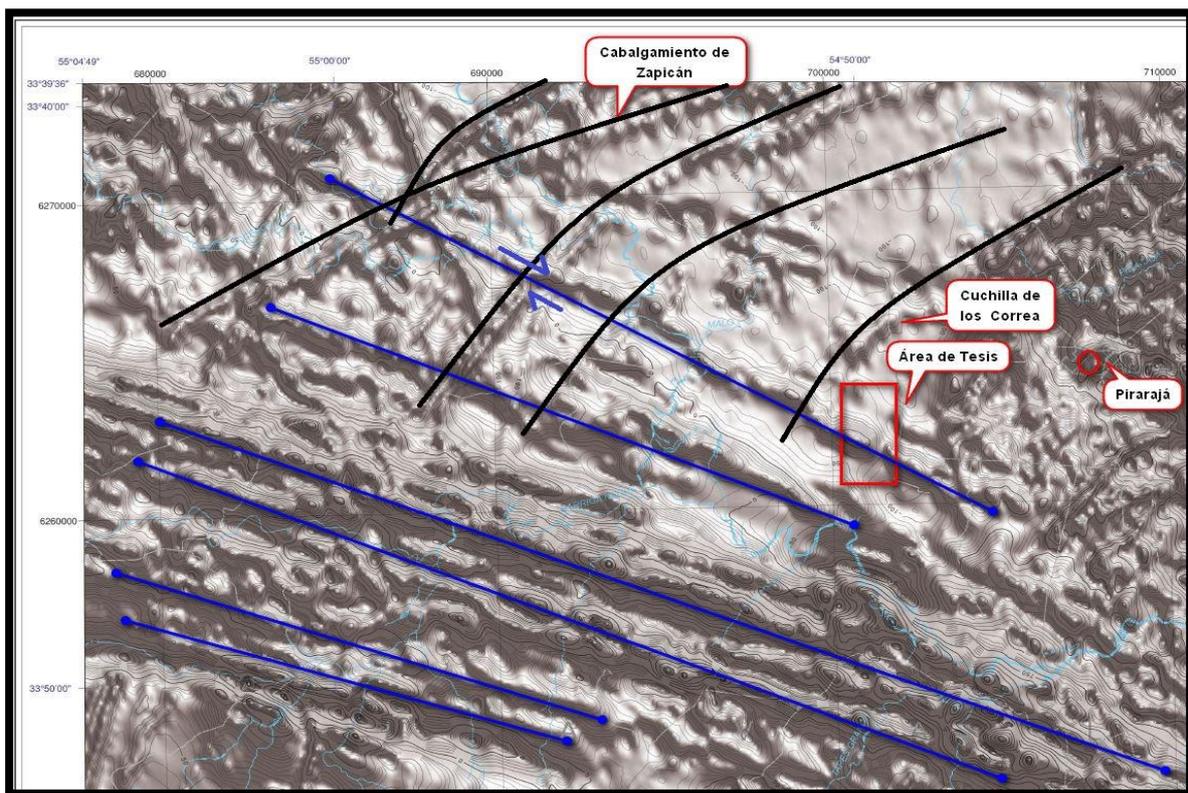


Fig. 3.2.1.1: Imagen de Campo Magnético Anómalo Reducido al Polo sombra de una porción del fotoplano Pirarajá. En el mismo se indica las estructuras inferidas; con líneas negras los plegamientos productos del Cabalgamiento de Zapicán y con azul de diques intrusivos y cizallas de carácter dextral. (DINAMIGE, 2018)

El área muestra estructuras asociadas a comportamiento dúctil y frágil incluyendo pliegues, fallas y fracturas, presentes en las diferentes rocas que componen la geología del área.

Se observó un primer evento (E1) caracterizado por un plegamiento regional, el cual afecta a todas las litologías, aunque predomina en las meta-calizas (Fig. 3.2.1.2) que presentan un comportamiento dúctil muy importante y una foliación muy marcada.

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

La unidad definida como meta-calizas laminadas (apartado 3.1 Capítulo Geología Descriptiva) muestra puntualmente rocas con alta deformación, donde se reconocen micropliegues, pliegues tipo kink, boudinages y asociados a este primer evento que genera esta deformación (D1), además es posible observar varios eventos de deformación.



Fig. 3.2.1.2: Plegamiento de meta-calizas.

La estructura del plegamiento tiene una representatividad más clara, es evidente y fácil de trazar el eje del mismo, a partir de los datos estructurales de las foliaciones (S_{0+1}) recabados que se presentan en la Fig. 3.2.1.4. El plegamiento, presenta buzamientos subverticales (S_{0+1}) con inclinaciones opuestas, que se alejan (al NW y al SE) y verticales en los puntos donde se traza el eje del plano axial, por tanto, esta figura de plegamiento se define como un antiforme.

La foliación es fácilmente reconocible en los afloramientos de meta-calizas por alternancia de bandas centimétricas heredadas de una estratificación. Las mismas se reconocen por las distintas tonalidades (Fig. 3.2.1.3) que presentan y por la reacción al HCl (ac).

Felipe Paullier Soler



Fig. 3.2.1.3: En la imagen se observan pliegues apretados en meta-calizas, en el cual se resalta su contorno con el color rojo.

Las evidencias que se observan en el área son varias. En primer lugar, si se analiza en detalle la imagen del Campo Magnético Anómalo Reducido al Polo de la zona, se puede observar estructuras inferidas como de cabalgamiento regional (Fig. 3.2.1.1) con dirección predominante a NW / SE (\sim N120-130°). Además, se observa en la mayoría de los afloramientos de calizas un plano de foliación (s_{0+1}), el cual se encuentra sumamente plegado (Fig. 3.2.1.2) en la mayoría de los casos. Los planos de foliación medidos en campo dieron como resultado un evidente plegamiento de escala local, se observó 2 nubes de polos en el estereograma (Fig. 3.2.1.4) que corresponden a 2 flancos de pliegue y además se puede estimar una dirección de eje de charnela N040° aunque el mismo varía a lo largo de su extensión, justificando la dispersión en los polos en el estereograma.

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

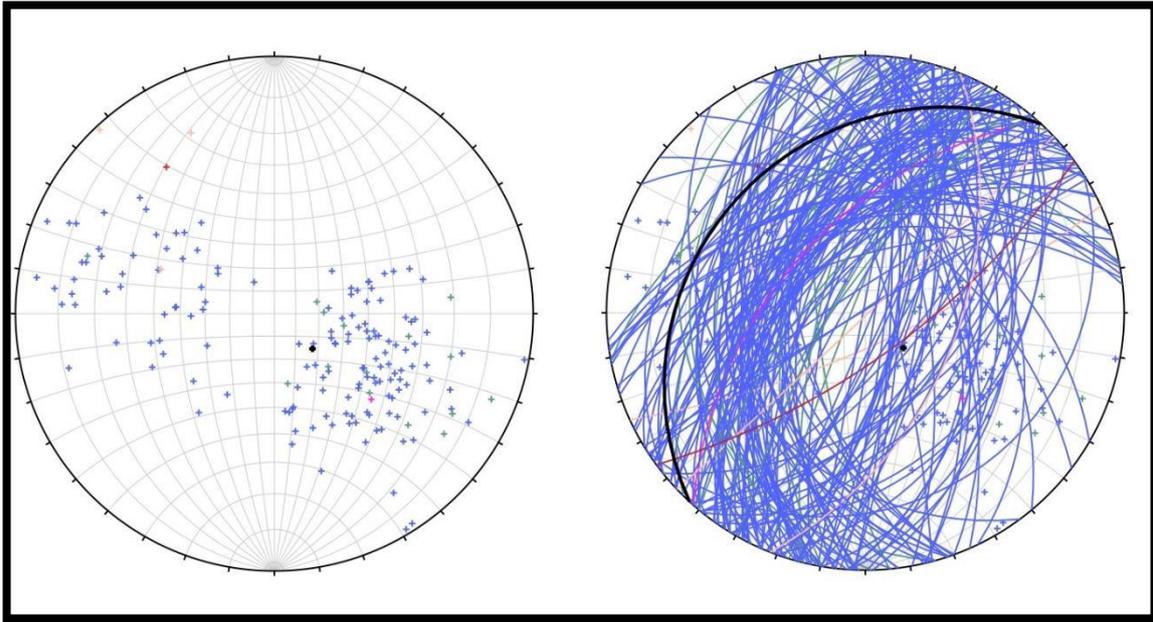


Fig. 3.2.1.4: Se muestra estereograma con todos los planos de foliación medidos en campo, a la izquierda los polos de los planos y a la derecha planos y sus polos correspondientes. En el estereograma de la derecha se observan los planos de foliación en distintos colores medidos en las distintas litologías del área. Azul: Meta-carbonatos, Rojo: Meta-areniscas arcóscicas, Verde: Meta-conglomerados y Naranja: Micaesquistos.

Se tomaron 150 medidas de foliación (Fig. 3.2.1.6) (buzamiento y dirección de buzamiento), las cuales corresponden en un 90% a rocas carbonáticas, que fue la litología más deformada dúctilmente, por su menor competencia. A partir de estas medidas se pudo reconocer e inferir la dirección de plegamiento en las calizas, las cuales son el principal hospedero de la mineralización.

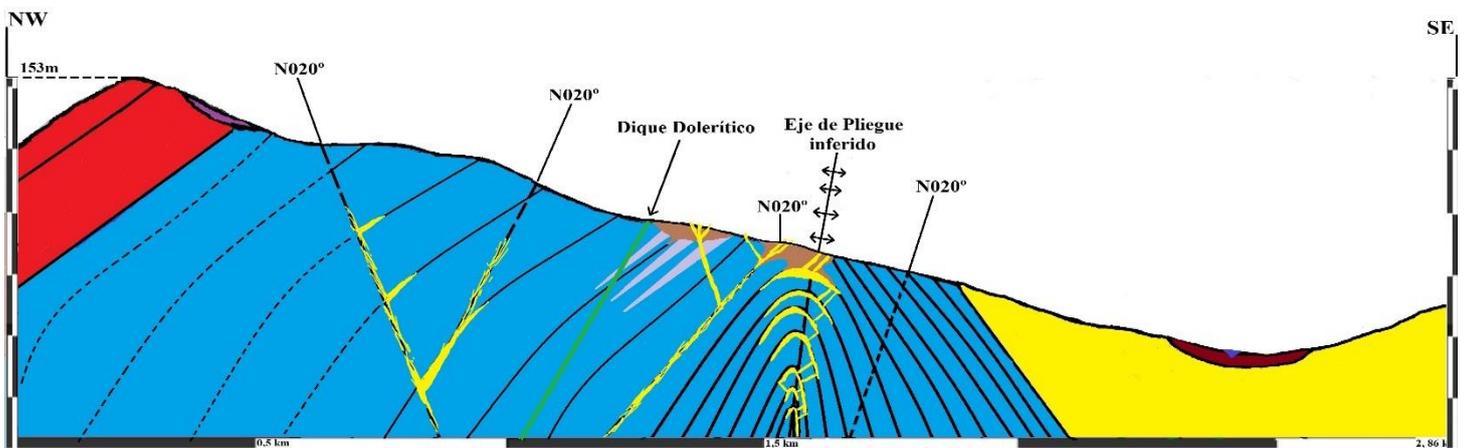


Fig. 3.2.1.5: Sección estructural NW-SE indicada en el Mapa (Fig. 3.1), muestra el modelo de plegamiento para las rocas allí presentes. La topografía se efectuó tomando como base el perfil de elevación Google Earth.

Felipe Paullier Soler

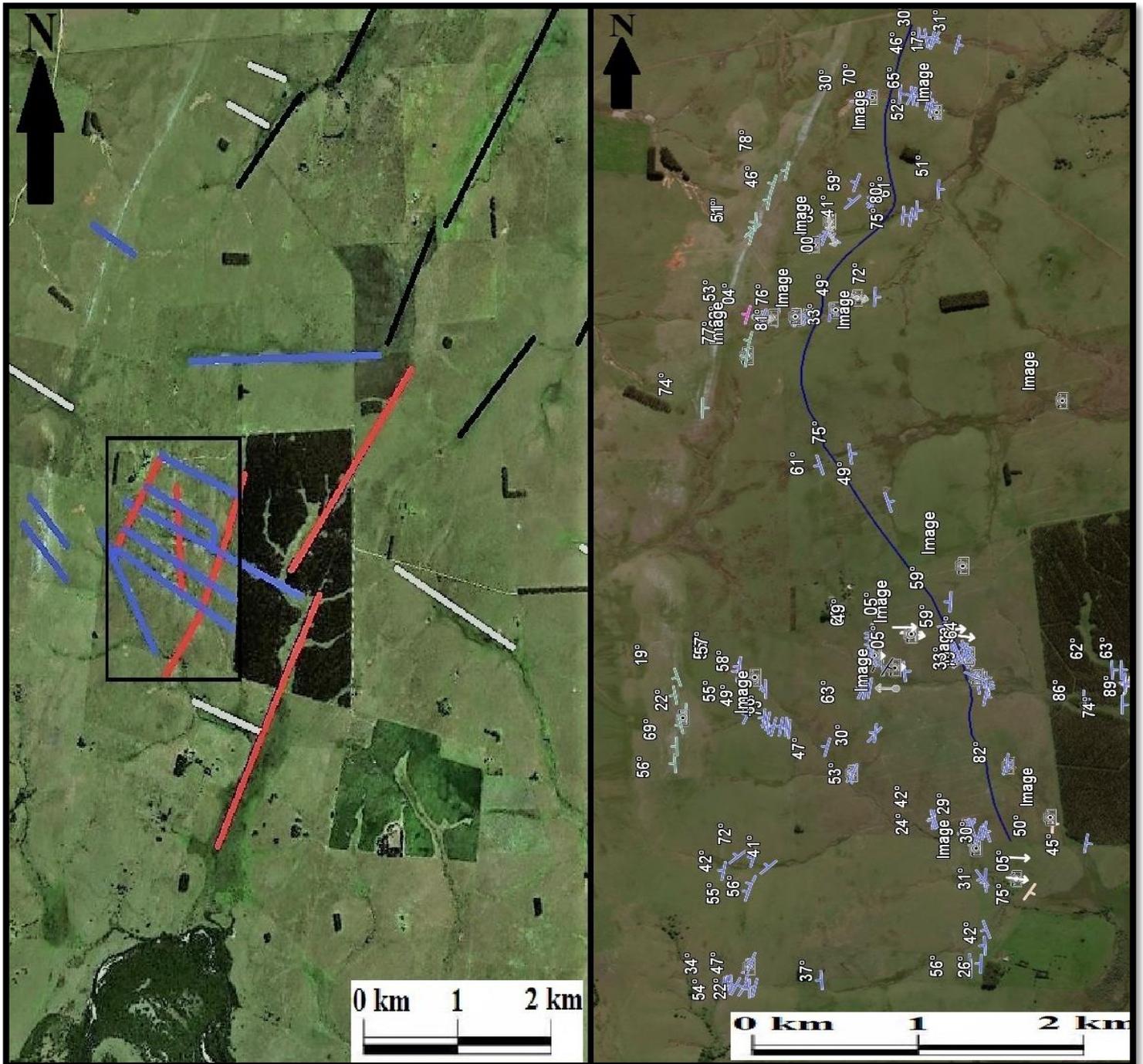


Fig. 3.2.1.6: Mapa de datos estructurales del área de estudio y los alrededores (Pirarajá, Lavalleja). Del lado izquierdo se muestran fallas probadas e inferidas. En rojo las N020° probadas y en negro las inferidas con la misma dirección, correspondientes a la deformación D2. En azul se muestran las fallas N110° probadas y en blanco las inferidas, correspondientes a la deformación D3. Del lado derecho se muestra el relevamiento de foliaciones (buzamiento y dirección de buzamiento) en las distintas litologías y algunos datos de direcciones de vetas de cuarzo (flechas blancas y grises). En azul se observan las foliaciones medidas en los mármoles, en verde en meta-conglomerados o cuarcitas. Además, se observa una línea azul que corresponde al eje de plegamiento inferido a partir de estos datos.

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

Respecto al comportamiento frágil, se observó que existieron 2 eventos (E2 y E3) bien marcados; en primera instancia el cizallamiento sinistral (Ver mapa estructural Fig. 3.2.1.6) y fracturas con dirección predominante N020°-N030° (Fig. 3.2.1.7), seguidas y afectadas por un segundo evento de cizallamiento (dextral) y fracturamiento, con dirección principal N100°-N110° (Ver mapa estructural Fig. 3.2.1.6).

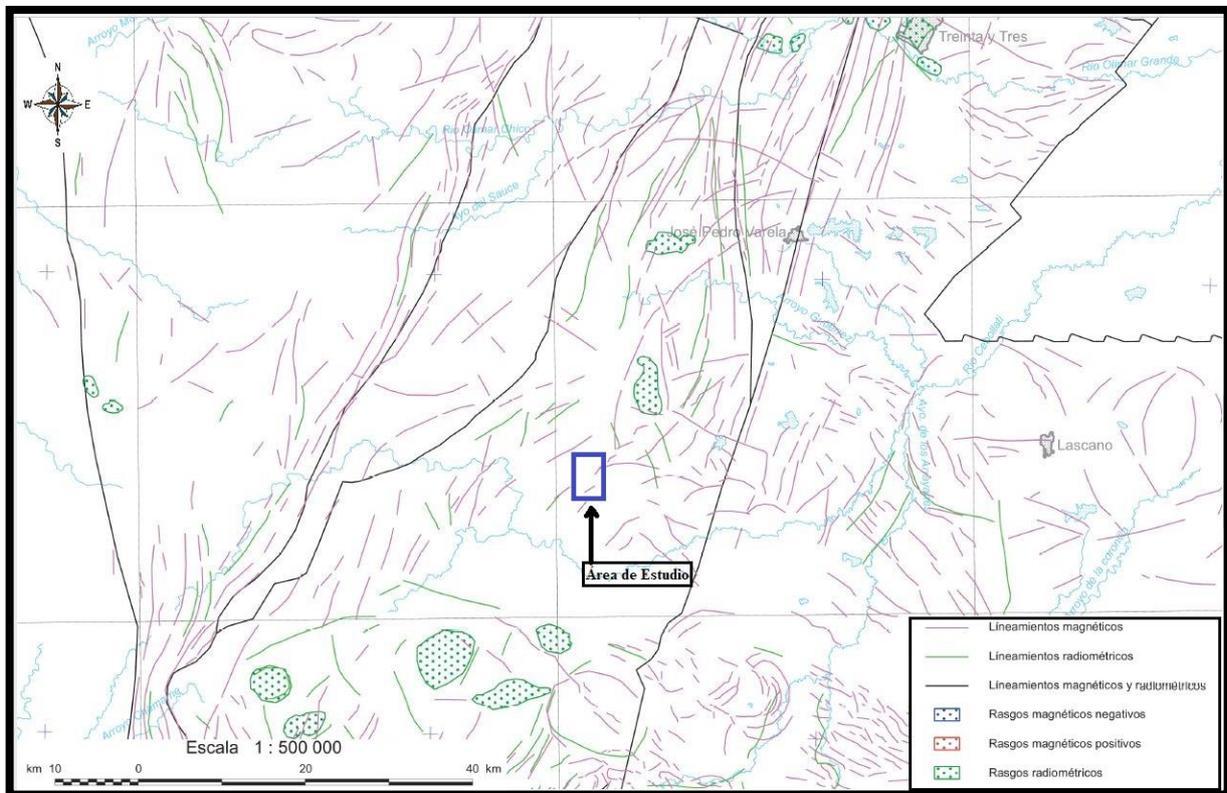


Fig. 3.2.1.7: Interpretación de lineamientos realizada por DINAMIGE a partir del relevamiento aerogeofísico y de la espectrometría de rayos gamma.

Como se ilustra (Fig. 3.2.1.9) en el sistema de Riedel, cuando se dan esfuerzos compresivos (σ_1) se generan grietas de tensión (Fig. 3.2.1.8) y apertura extensional (σ_3) favoreciendo el desarrollo del cizallamiento, en este caso sinistral, se da como resultado fallas conjugadas R' de movimiento dextral. Esto se evidencia claramente con la presencia de las venas de cuarzo hidrotermal observadas en el área, las cuales presentan 2 direcciones predominantes (N020° las de mayor espesor y N110-120° las menores), oblicuas entre sí que se corresponden con los planos “Y” y “R” de la Fig. 3.2.2.9. Además, se observan vetas sigmoidales (Fig. 3.2.1.11) de dirección principal N110 (oblicuas a las N020°) generadas por el cizallamiento dextral

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

correspondiente al plano de deformación R' como se ve en la Fig. 3.2.2.9.

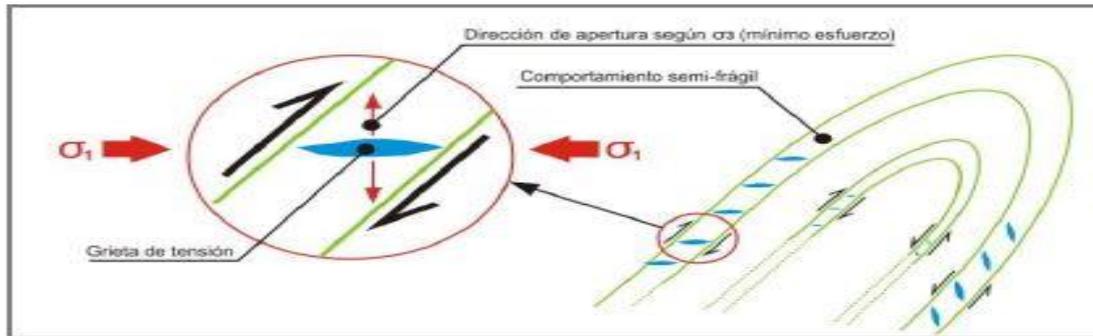


Fig. 3.2.1.8: Formación de grietas de tensión en los flancos del pliegue. Lillo & Oyarzun (2013)

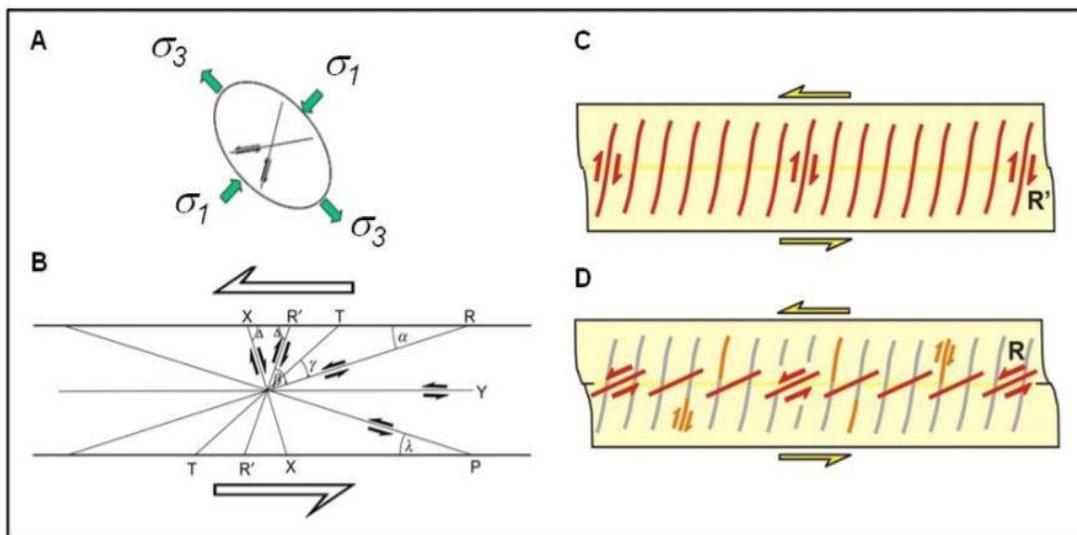


Fig. 3.2.1.9: Formación de un sistema de cizallamiento tipo Riedel. (A) elipsoide de esfuerzos; (B) planos de cizallamiento que se originan por el elipsoide de esfuerzos; (C) fracturas oblicuas a la dirección del esfuerzo horizontal máximo que se producen en el sistema de Riedel (R'); (D) fracturas oblicuas a la dirección del esfuerzo horizontal máximo se producen en el sistema de Riedel (R). Lobo et al. (2015)

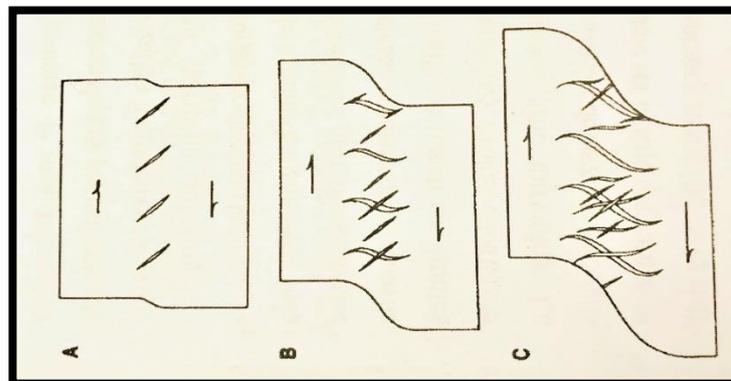


Fig. 3.2.1.10: El esquema muestra la formación de venas sigmoidales producto de la sumatoria de esfuerzos compresivos más esfuerzos de cizalla, generando extensión y venas con dirección oblicua a la dirección de cizalla. Durney & Ramsay (1973)

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).



Fig. 3.2.1.11: Vena de cuarzo sigmoidal, evidencia de esfuerzos de cizalla dextral en régimen dúctil.

El cizallamiento sinistral durante la formación de un sistema de Riedel generado en la fase D1, facilita que durante el evento E2 el cizallamiento sinistral utilice estas fallas preexistentes de dirección predominante N020°, para generar un cizallamiento con las mismas características, pero a escala regional, como se puede ver en la interpretación de estructuras realizada por DINAMIGE a partir del relevamiento aerogeofísico (Fig. 3.2.1.7).

Las evidencias muestran que las vetas de cuarzo de mayor potencia son las de dirección N020° las cuales se dan como resultado del fracturamiento en los flancos del pliegue (Fig. 3.2.1.8) debido a los continuos esfuerzos compresivos generados durante el evento E1 y del cizallamiento sinistral (Fig. 3.2.1.12) que favorece aún más el ingreso del fluido mineralizante durante este segundo evento.

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

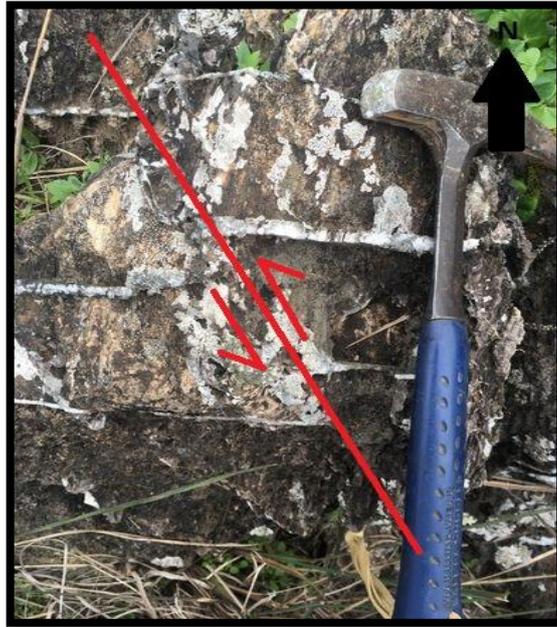


Fig. 3.2.1.12: Venas de cuarzo cizalladas sinistralmente

Los principales cursos de agua también presentan un fuerte control estructural, el Río Cebollatí muestra tramos rectos cuyos fotolineamientos son coincidentes con el rumbo general de las discontinuidades señaladas.

En el área también se observaron evidencias de cizallamiento de carácter dextral y de dirección predominante N110°. Se estima que esta deformación D3 es posterior al proceso de mineralización, por lo que no forma parte del mismo, aunque sí pueda haber afectado estructuralmente, debido a que observa fácilmente en el campo un cizallamiento dextral (Fig. 3.2.1.13, Fig. 3.2.1.14 y Fig. 3.2.1.15) el cual afecta las distintas litologías y de igual forma al venilleo de cuarzo.

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

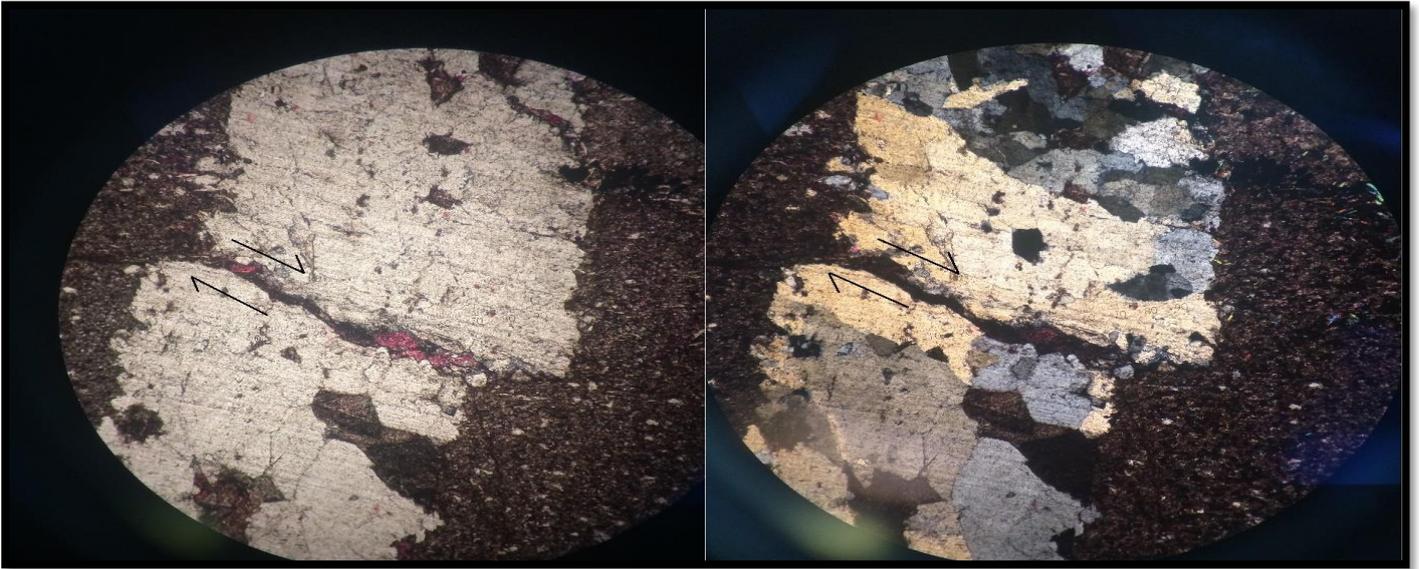


Fig. 3.2.1.13: Lamina delgada en la que se observa una vena de cuarzo con evidencia de cizallamiento dextral en la cual la roca caña es una dolomía, además dentro de la fractura se reconoce recristalización de calcita



Fig. 3.2.1.14: Venas de cuarzo cizalladas dextralmente.

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización
Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

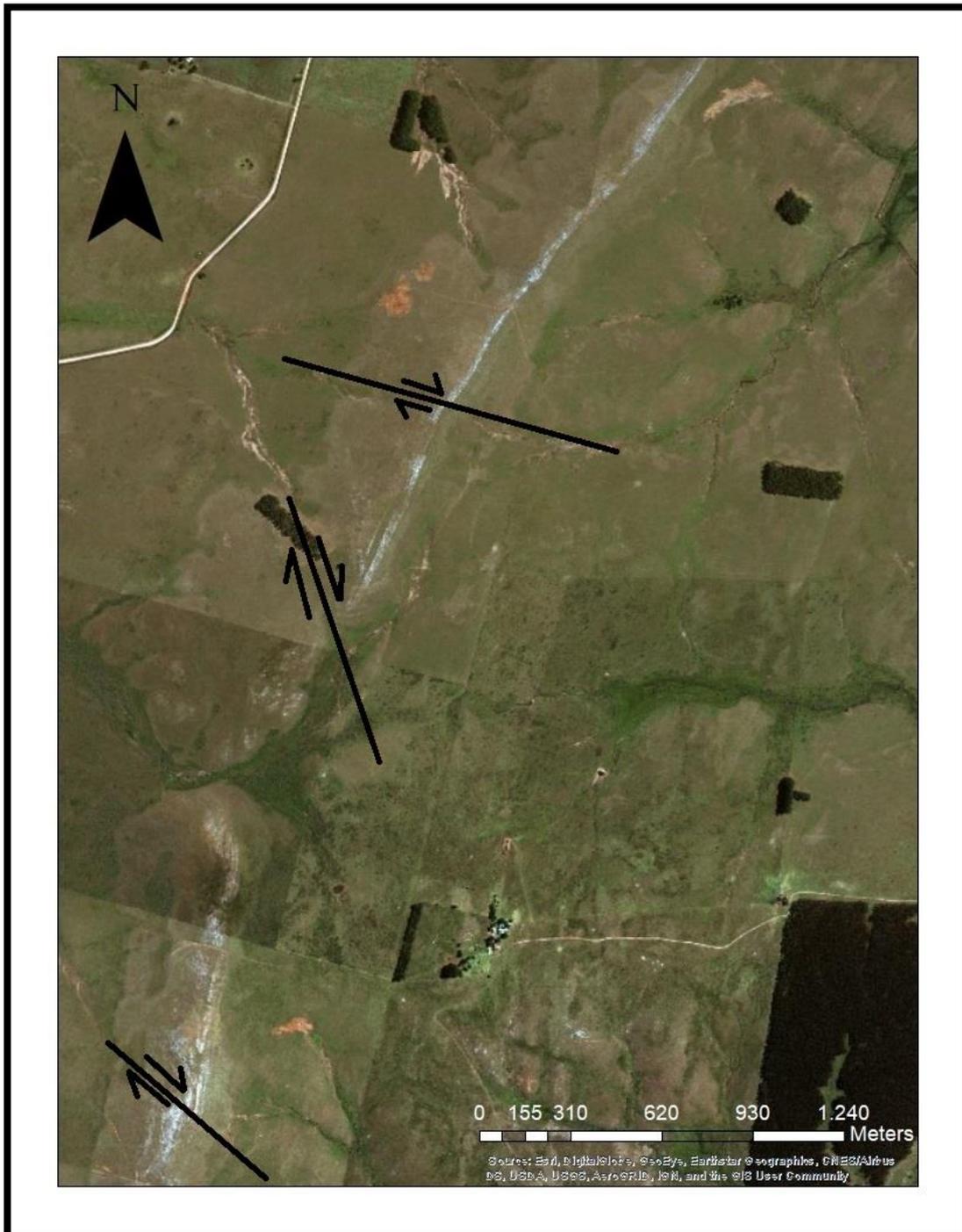


Fig. 3.2.1.15: Evidencias de dislocamiento dextral de meta conglomerados y meta-cuarzitas aflorantes en el Cerro de Correa.

Posteriormente a esto tuvo lugar un evento extensional (E4) (Mesozoico) en el cual se emplazan diques doleríticos que aprovechan fallas preexistentes de dirección N20° y N110° como se observa en el mapa de la Fig. 3.1.

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

3.2.2 Análisis estructural e interpretación

A continuación, se explicará el modelo geológico propuesto de acuerdo con el trabajo resultante de gabinete, el relevamiento de campo y el posterior procesamiento de los datos y medidas estructurales obtenidos de la región suroeste de Pirarajá y lo señalado por los autores precedentes.

El área de estudio posee un comportamiento estructural complejo en el cual se distinguen al menos 4 eventos (E1, E2, E3, E4) y 4 fases de deformación (D1, D2, D3, D4) que modelaron la zona.

Los indicadores cinemáticos y las estructuras observadas en afloramientos, que se detallan a continuación, indican que hubo cuatro fases principales de deformación una compresiva (D1), una transpresiva (D2) contigua con la primera y una deformación (D3) de cizalla dextral, todas durante el Neoproterozoico. La última fase (D4) es mucho más tardía, de extensión durante el Mesozoico, durante la cual se emplazan diques doleríticos. Estos eventos se detallan a continuación:

Evento 1

Este primer evento (E1) es producto del adosamiento del TNP al Cratón del Río de la Plata que genera la deformación D1 (Fig. 3.2.2.1)

D1 (Compresión y Plegamiento)

El primer evento se caracteriza por ser un evento compresivo que genera deformación dúctil, no solo en el área de estudio, sino que a escala regional. Esta primera deformación se caracteriza por la generación de pliegues, con dirección predominante NW / SE (~ N120-130°). El grado de deformación que este evento genera se debe en parte a la profundidad de las rocas al momento de la compresión, pero también por la abundancia de rocas ricas en carbonato que ameritan un comportamiento dúctil.

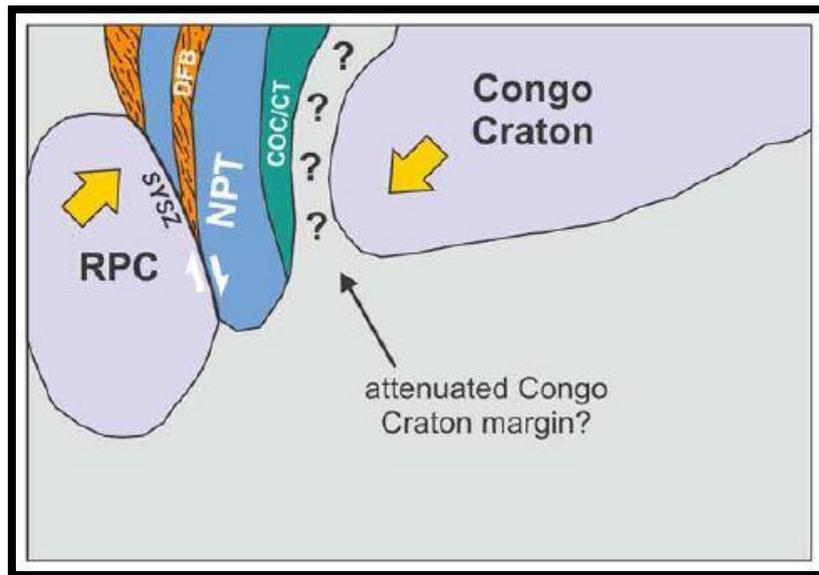


Fig. 3.2.2.1: Esquematación del evento 1 en el que se representa el adosamiento del TNP al TPA. Tomado de Oriolo et al. (2016a)

Este evento está asociado al cabalgamiento regional presente en la zona que se asocia, por ejemplo, a la estructura definida como Cabalgamiento de Zapicán (Hartmann et al, 2001).

Evento 2

Contiguo en el tiempo al evento E1 se genera la colisión y adosamiento del Craton del Congo con el Terreno Nico Pérez el cual da como resultado la deformación D2 (Fig. 3.2.2.1). Este evento se da durante las etapas finales del evento E1 según muestran las dataciones realizadas por Oriolo et al. (2016c) (Fig. 3.3.2.2).

D2 Cizallamiento Sinistral

La fase principal de la compresión orientada de ENE a NE / SW (~ N020-30°) se da como resultado de la colisión con el Craton del Congo hacia el este (Fig. 3.2.2.2), aquí denominado D2. Esta deformación está gobernada por un cizallamiento sinistral de carácter regional producto de la formación del orógeno Dom Feliciano.

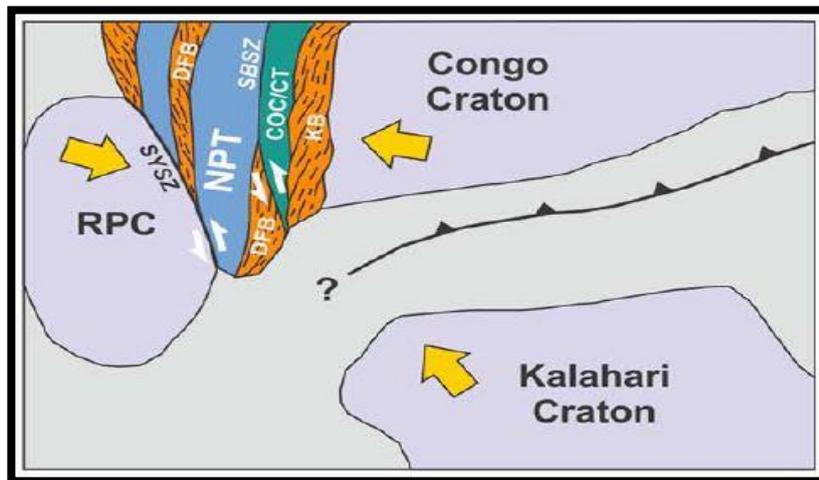


Fig. 3.2.2.2: Esquematización del evento 2 en el cual se generaron las deformaciones D2 y D3. Tomado de Oriolo et al. (2016a)

Evento 3

El segundo evento (E3) es producto del adosamiento del Cratón del Kalahari al Terreno Nico Pérez que genera la fase de deformación D3 (Fig. 3.2.2.2) Oriolo et al. (2016a).

D3 Cizallamiento Dextral

Un tercer evento (E3) producto de la colisión del Cratón del Kalahari con el Terreno Nico Pérez con una dirección de compresión WNW a E-W ($\sim 280/100^\circ$ N) y la transición a condiciones más frágiles asociadas a exhumación. Esta deformación genera cizallamiento de carácter dextral y de dirección predominante N110°

Evento 4

Corresponde a una fase de extensión durante el Mesozoico, evento que se opera en respuesta a la ruptura inicial de Pangea y la apertura del Atlántico Sur (D4). El magma se emplaza formando diques doleríticos, aprovechando las fallas existentes generadas durante los eventos D2 y D3, las cuales tienen direcciones predominantes N110 y N20.

Estos diques doleríticos de tonalidades negro-verduscas afloran con poca expresión y generalmente están muy meteorizados. Los de mayor espesor suelen ser los que poseen dirección N020°, los cuales, aunque afloran escasamente igual es posible medir su dirección. Los diques N100°-110° suelen ser de escaso espesor.

3.3 Hidrotermalismo:

3.3.1 Composición del fluido (Inclusiones Fluidas):

Los análisis fueron realizados por Graciela Sosa y Alfons van den Kerkhof en el Departamento de Geociencias de la Universidad de Göttingen, Alemania.

Los objetivos de este estudio de inclusiones fluidas fueron estimar la temperatura de los fluidos mineralizadores y aportar elementos para discernir si los fluidos fueron de origen metamórfico o magmático.

Algunos autores (Groves et al 1997 y Goldfarb et al 2001) indican que los fluidos relacionados a orógenos poseen determinadas características, siendo las principales la salinidad y la composición. El modelo genético de las vetas de cuarzo con oro se sustenta en una fuente profunda, afectada por fracturas profundas, en respuesta a una colisión de terrenos. Estas fallas actúan como conductos para fluidos hidrotermales ricos en CO₂, H₂O (5 – 30 mol% de CO₂) y de baja salinidad (<3 wt% de NaCl). Los fluidos son dirigidos cíclicamente donde la tectónica y la sismicidad favorecen un aumento y alivio episódico de la presión (Ash y Alldrick, 1996). Estos fluidos suelen generar alteraciones de tipo carbonática-sulfúrica±sericítica±clorítica, las que son características de estos depósitos (Goldfarb et al 2001)

Por esto surgió la necesidad de estudiar en mayor detalle el evento hidrotermal y las alteraciones que este género en la roca hospedera.

La mejor manera de entender la génesis de cualquier evento hidrotermal es a partir de un estudio de inclusiones fluidas, el cual en este caso se realizó sobre dos muestras tomadas en distintas venas de cuarzo lechoso.

Las inclusiones fluidas son pequeñas cavidades (generalmente menores a 100µm) en las cuales queda atrapado fluido y/o gas durante la etapa de cristalización. Con este tipo de estudio, es posible establecer la temperatura de formación (geotermometría), presión de formación (geobarometría) y la composición general del fluido (Lunar & Oyarzun, 1991).

El estudio de las inclusiones fluidas, se potencia si se complementa con estudios de catodoluminiscencia. Melgarejo et al. (2010) dicen “La catodoluminiscencia es un caso particular de luminiscencia en que la fuente de excitación son electrones.” Este efecto se

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

produce solo en el caso de que por determinados factores la estructura cristalina de determinado mineral este afectada o presente defectos tales como: imperfecciones estructurales, impurezas sustitucionales o intersticiales en la red cristalina, entre otros. Como estas imperfecciones y/o impurezas son muy comunes y están presentes en los minerales, es de esperar observar zonas en las que se absorba con más intensidad la energía de haz de electrones, de modo que esto generara lugares con luminiscencia de distintos colores. Dicho esto, sabemos que si en un grano mineral existen zonaciones, sobrecrecimientos, remplazamientos, exsoluciones la catodoluminiscencia va a remarcar la inhomogeneidad. A su vez este proceso permite dar una idea de la composición química de mineral debido al color que genera esta catodoluminiscencia, aunque no permita cuantificar un elemento, sí da una idea muy precisa de qué se puede tratar (Melgarejo et al., 2010).

Por medio de la elaboración de una doble sección pulida de las muestras de cuarzo lechoso y con el uso de un microscopio de catodoluminiscencia se pudo determinar lo siguiente:

El cuarzo está totalmente deformado (Fig. 3.3.1.1 y Fig.3.3.1.2) (extinción ondulante, bordes interdentados, etc.).

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

El aspecto lechoso del cuarzo se debe a las abundantes inclusiones fluidas que contiene. La mayoría son pequeñas, de dos fases (líquido con una burbuja) y están alineadas en cortos trenes, lo que denota que tendrían un origen pseudo-secundario, pero en áreas menos deformadas de los cristales hay inclusiones más grandes, generalmente con modificaciones de su forma original, con doble menisco y que indica la presencia de dióxido de carbono.

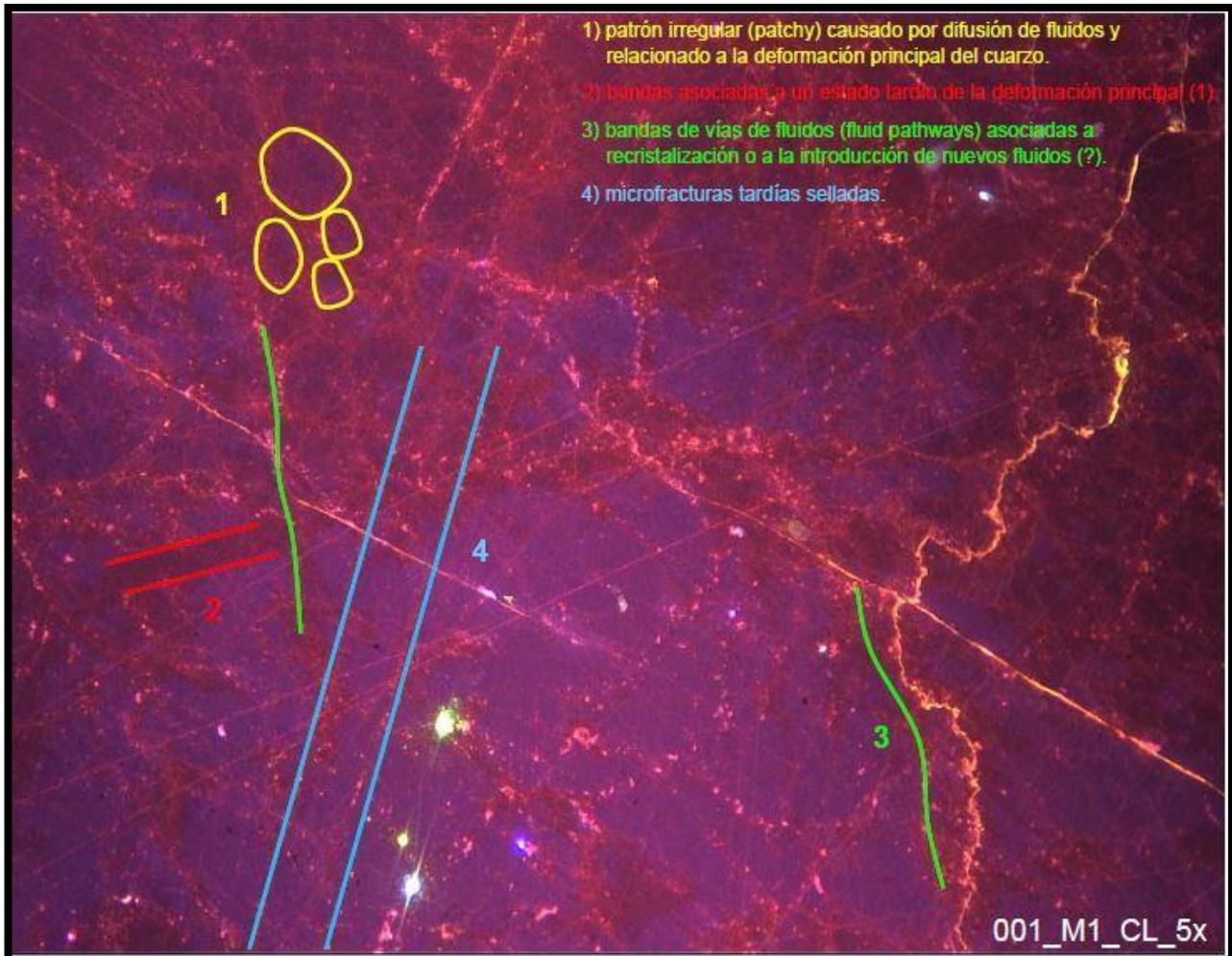


Fig. 3.3.1.1: Sección de cuarzo pulida bajo microscopio de catodoluminiscencia en el cual se observan y se indican los distintos eventos de deformación del cuarzo. Aumento 5X.

Se aplicó la microscopía de catodoluminiscencia (CL) para visualizar mejor las características de las microfábricas en el cuarzo. El cuarzo primario muestra CL azul profundo, mientras que las texturas secundarias muestran tonos de CL marrón y naranja, apuntando a elementos traza inferiores y centros de defecto relacionados con OH más altos en la red cristalina del cuarzo secundario. Las texturas secundarias más antiguas (T1) están representadas por una red irregular difusiva unida a los límites del subgrano, ópticamente visible por la extinción irregular ondulosa. T2 se asocia con los límites de grano formados durante una etapa tardía de la

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

deformación principal. Las inclusiones fluidas "T1-T2" decoran principalmente los límites del subgrano y del grano. T3 se caracteriza por vías de fluido asociadas con la recristalización parcial o la introducción de fluidos externos, y T4 por microfracturas curvas que cortan transversalmente todas las demás microtexturas. Estas texturas apuntan a una deformación durante la transición de dúctil a frágil, asumida en el rango de ca. 280-300 °C.

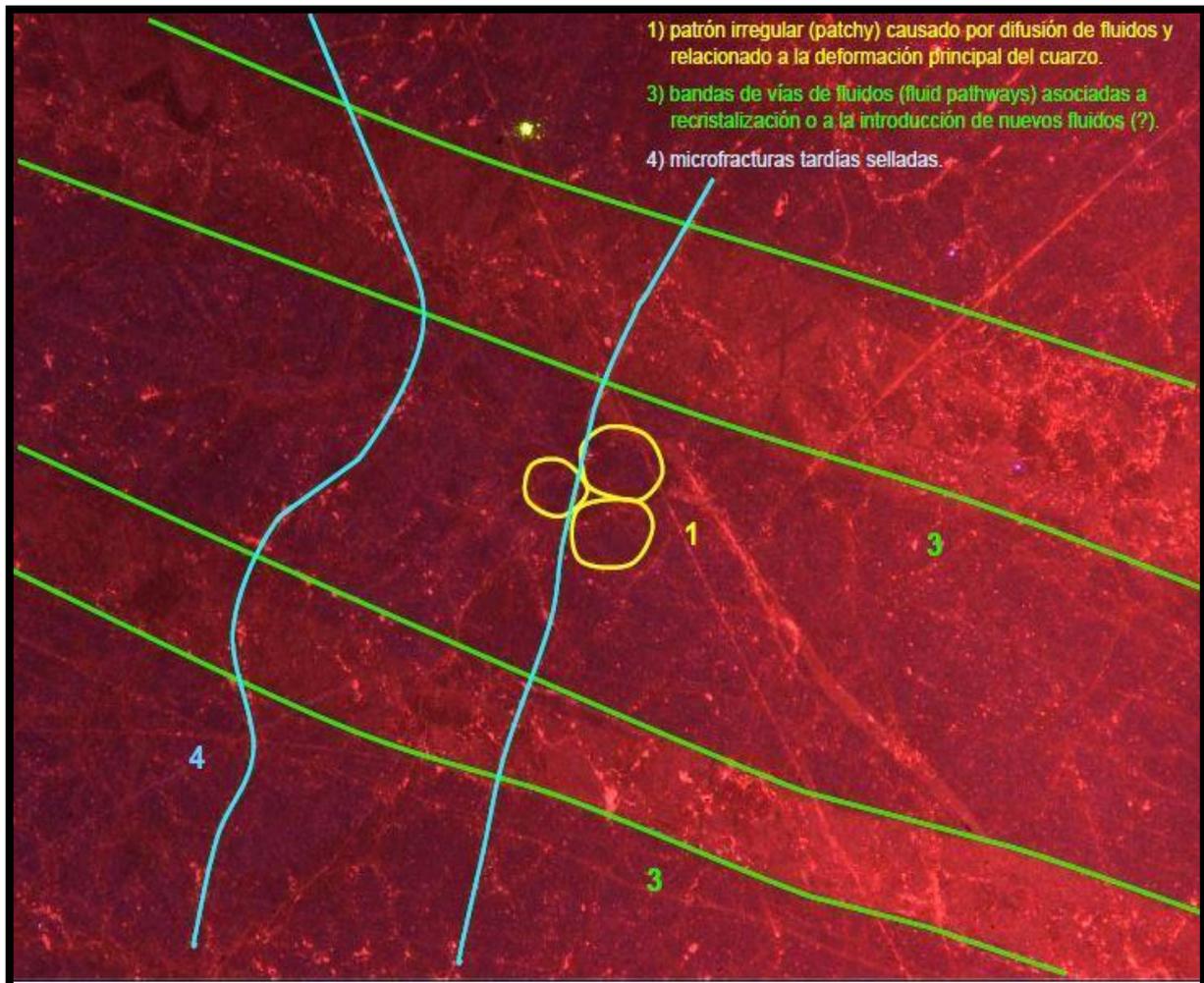


Fig. 3.3.1.2: Sección de cuarzo pulida bajo microscopio de catodoluminiscencia en el cual se observan y se indican los distintos eventos de deformación del cuarzo. Aumento 5X

Como resultado del estudio puntual de las distintas inclusiones de las diferentes texturas (T0, T1, T2, T3 y T4) se vio que (Fig. 3.3.1.3 y Fig. 3.3.1.4):

- Se encontraron inclusiones **carbónicas-acuosas primarias (T0)** con salinidades entre 11 y 14 % NaCl y temperaturas de homogeneización entre 330 y 390°C. Estas son

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

temperaturas mínimas de atrape de las inclusiones. El dióxido carbónico es puro (punto triple $-56,6^{\circ}\text{C}$), sin aparentes trazas de metano o nitrógeno.

- El resto de las inclusiones son pseudosecundarias **T1: $\text{H}_2\text{O} + (\text{CO}_2)$** , **T2: $\text{H}_2\text{O} (+\text{CO}_2)$** y secundarias **T3: H_2O** .
- Las inclusiones fluidas pseudosecundarias T1 y T2 son fluidos tardíos asociados a la cristalización del cuarzo. Las temperaturas se mantienen, pero el fluido se enriquece en CaCl_2 .
- Las inclusiones T1 estarían asociadas al patrón irregular (patchy) observado bajo catodoluminiscencia y causado por difusión de fluidos, relacionado a la principal deformación del cuarzo. Las salinidades están entre 14 y 17 % equivalente en peso NaCl y las temperaturas de homogeneización varían entre 180 y 350°C .
- Las T2 estarían asociadas a las bandas observadas en CL del estado tardío de la deformación principal. Son generalmente inclusiones modificadas con salinidades entre 13 y 18 % equivalente en peso NaCl (más CaCl_2) y las temperaturas de homogeneización varían entre 200 y 350°C .

Las inclusiones T3 son inclusiones acuosas de salinidad (6-7 % NaCl) y menor temperatura ($150\text{-}220^{\circ}\text{C}$), y están asociadas a microfracturas tardías selladas.

Aurífera "El Tarumán" (Pirarajá, Lavalleja).

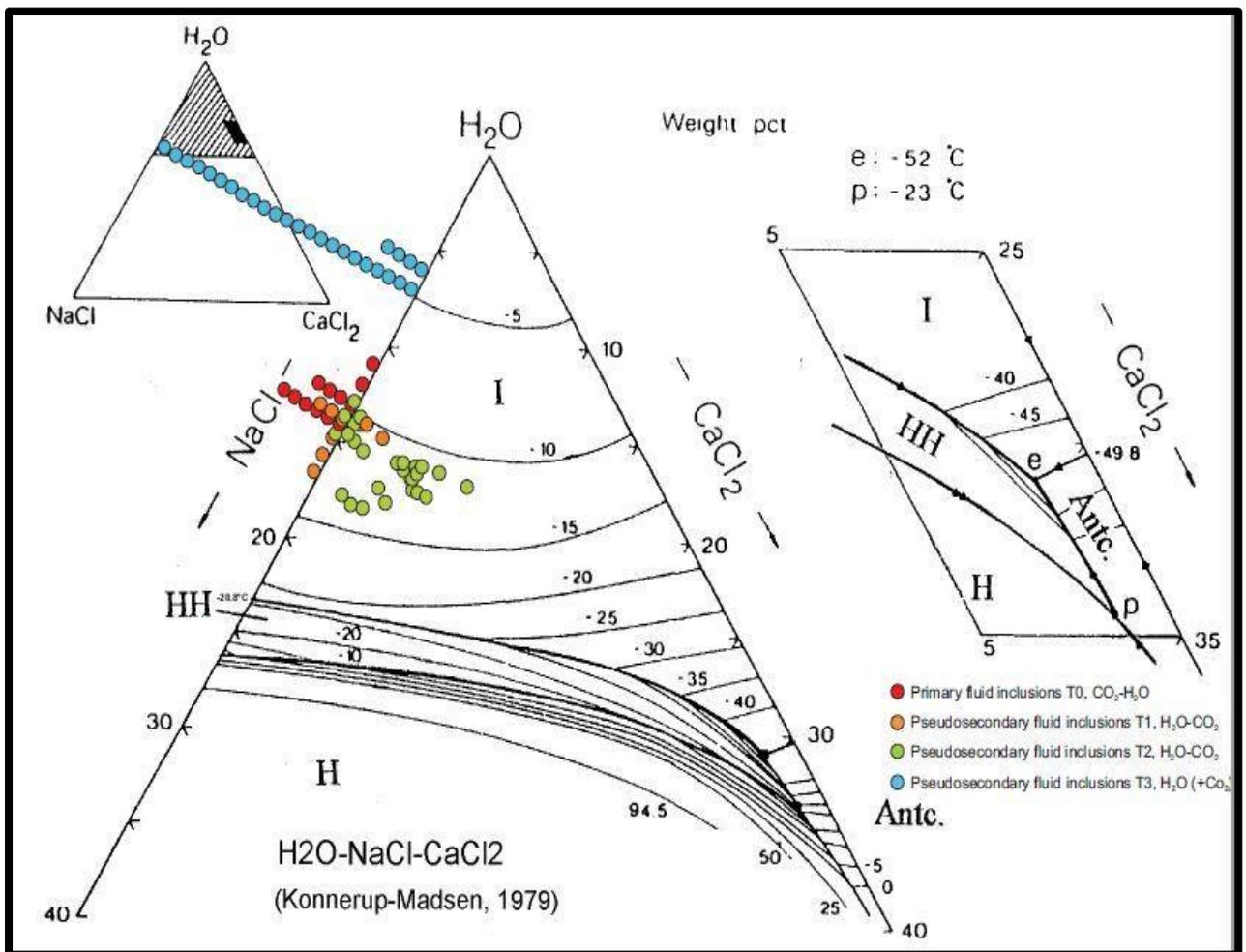


Fig. 3.3.1.3: Se muestra el diagrama (Konnerup-Madsen, 1979) composicional de las inclusiones fluidas estudiadas según la abundancia de NaCl-H₂O-CaCl₂.

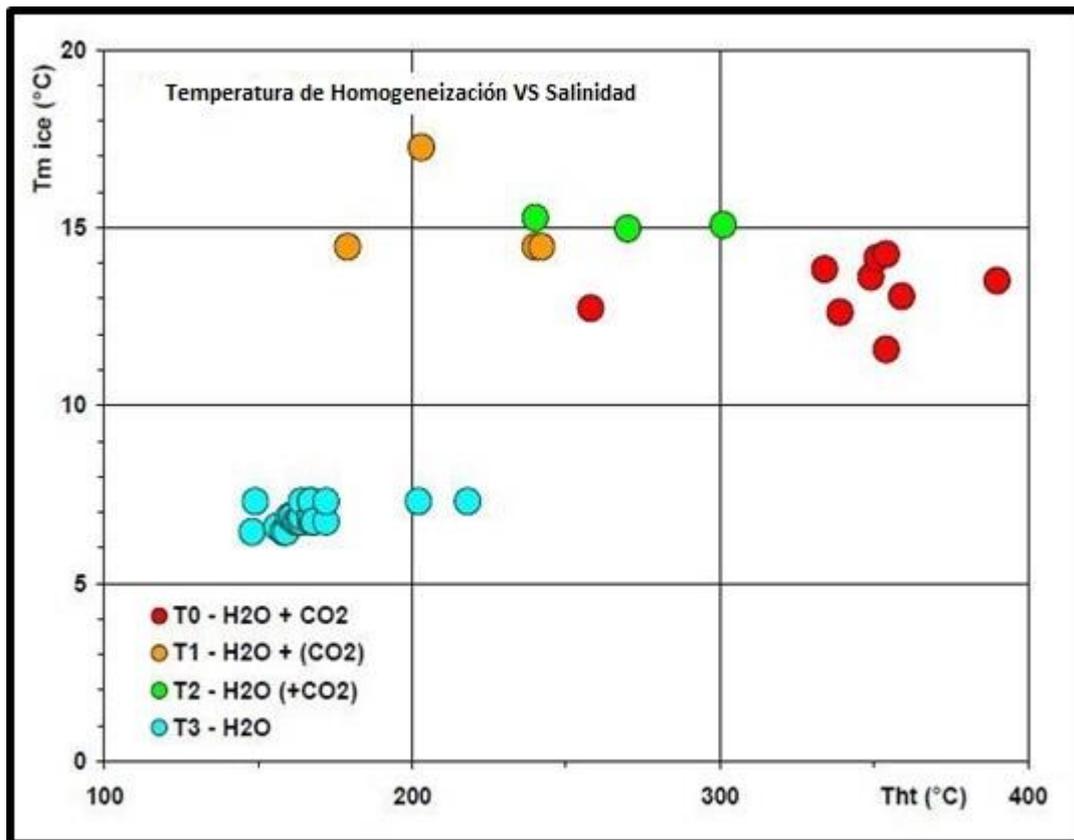


Fig. 3.3.1.4: Se muestra gráfico de Temperatura de Homogeneización vs Salinidad de las cuatro generaciones de inclusiones fluidas encontradas que se diferencian por color

Se pudo establecer una clara correlación entre las microestructuras y los diferentes ensamblajes de inclusiones fluidas. Las inclusiones primarias de fluido acuoso-carbónico se encontraron en el cuarzo relicto no deformado (T0) con CL azul. Estas primeras inclusiones son relativamente ricas en CO₂ con solo pequeñas fracciones de volumen de agua de ca. 0.30. Tienen salinidades de 11-14% de NaCl y temperaturas de homogeneización (Th) entre 330 y 390 °C. Las fracciones en volumen de estas inclusiones fluidas pueden estimarse como H₂O (0,55) CO₂ (0,40) NaCl (0,05) y se supone que corresponden con el fluido de origen magmático primario. Los rastros cortos de inclusiones pseudo-secundarias de fluidos acuosos-carbónicos (agua vol. frac 0,75-0,80) están asociados con las texturas T1. Tienen salinidades de 14-17% en peso de NaCl equiv. y Th entre 180 y 350 °C. Otro conjunto de inclusiones de fluido acuoso-carbónico está asociado con las texturas T2, es decir, decorando esencialmente los límites de grano. Tienen agua vol. frac de ca. 0,90 y salinidades de 13-18% en peso de NaCl equiv. con Th entre 200 y 350 °C. Las inclusiones de T1 y T2 se enriquecen sucesivamente en CaCl₂ con contenidos máximos de CaCl₂ de aprox. 5-7% en peso, señalando los cambios de la composición del fluido durante la alteración de la roca. El componente de gas en todas las

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

inclusiones es CO₂ puro y se reduce sucesivamente para inclusiones relacionadas con T0 a T2. Las vías de fluido (T3) no contienen inclusiones fluidas, probablemente debido al tamaño de grano fino del cuarzo recristalizado. Las inclusiones de fluidos acuosos con una menor salinidad, de 6-7% de NaCl y menor Th (150-220 °C) se asocian con microfracturas curadas tardíamente (T4).

3.3.2 Alteración hidrotermal:

Alteración hidrotermal se llama a cualquier cambio en la mineralogía, química o textura de una roca, producto del contacto con un fluido caliente, gas o vapor. Este fluido, en su pasaje por la roca, puede generar crecimiento de nuevos minerales, disoluciones y/o precipitación de minerales ya existentes. (<https://www.ugr.es/~minechil/apartado10.htm>)

El proceso de alteración está gobernado por los siguientes factores: temperatura, composición del fluido, permeabilidad de la roca, tiempo de contacto entre el fluido y la roca, composición de la roca y la presión del fluido. Por más que cualquiera de estos factores controlan los procesos de alteración, los más importantes son la temperatura y la composición del fluido (pH), ya que son los que generalmente producen mayores cambios en las rocas. (<http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/ALTERACION.pdf>)

El método para determinar las alteraciones presentes en la roca, es por medio de la observación a muestra de mano, de ser posible se recurre a la visualización microscópica.

Se realizó un estudio de las alteraciones en campo y en laboratorio a partir de secciones delgadas y muestras pulidas a espejo, para un estudio bajo microscopio electrónico de barrido.

Cuando uno habla del tipo de alteración hidrotermal, uno debe primero analizar puntualmente cada mineral que es producto de esta alteración. Con la suma de los minerales reconocidos es posible definir la o las paragénesis minerales y por ende el tipo de alteración.

Para la identificación de los distintos minerales de alteración se utilizó como guía el *Atlas de Alteración* de Thompson y Thompson (1996). Estos autores clasifican cada mineral según el ambiente en el que se forma, ya sea a partir de un intrusivo, un pórfido, metamorfismo, mesotermal o epitermal, etc.

En el área de estudio se observaron los siguientes procesos de alteración hidrotermal que se

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

reconocen por los minerales detallados a continuación:

- A. Silicificación: Cuarzo (Cuarzo oqueroso y Cuarzo Jasperoide)
- B. Carbonatación: (Calcita y Dolomita)
- C. Sulfuración (Pirita)
- D. Sericitización: Muscovita (Sericita) o Flogopita

A. Silicificación:

Caracterizada por la destrucción total o parcial de la mineralogía original. La roca queda convertida en una masa silíceo. Representa el mayor grado de hidrólisis posible.

Esta alteración se evidencia por la presencia de cuarzo oqueroso o también llamado “vuggy” y cuarzo jasperoide generando en su mayoría una silicificación local y en algunos casos pervasiva intensa.

Características: El cuarzo (cuarzo oqueroso, relleno de fracturas o simplemente cristales producto de recristalización), se suele encontrar relleno de espacios vacíos. Este mineral genera un remplazo parcial o total en la roca, que en el último de estos casos le imprime gran resistencia y dureza a la roca. Las zonas silicificadas son típicas en sistemas hidrotermales, las cuales son producto de la precipitación de sílice en las etapas finales de enfriamiento del fluido. La presencia de silicificación suele estar controlada estructuralmente por zonas de falla, las cuales generan un fuerte venilleo. También pueden estar controladas estratigráficamente por unidades más permeables que contuviesen mayor contenido de agua.

Características del cuarzo oqueroso: Este tipo de alteración es característico que se presente con cristales microcristalinos o de escasos milímetros. Generalmente se forman debido a los espacios que se generan a partir de la disolución de fenocristales o de cúmulos de varios cristales (Thompson & Thompson 1996). Este tipo de alteración se cree que se da por la reacción de vapor o fluidos acuosos de pH muy bajo los cuales al interactuar con la roca disuelven los minerales en la misma y generan oquedades en las cuales cristaliza el cuarzo. Algunos estudios de isótopos estables de este tipo de cuarzo sugieren que el bajo pH del fluido se debe a su origen magmático.

Características del cuarzo jasperoide: es común que se presente como remplazo de calizas y como producto de una alteración epigenética. Es común encontrar este mineral en zonas de falla y esparcido a lo largo de plano de foliación de la roca (Thompson & Thompson 1996). En

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

el depósito de oro Mercur, Utha, se realizó un estudio de inclusiones fluidas dentro de este tipo de cuarzo el cual indico una temperatura de homogeneización de las mismas de 200 C y un pH variable.

Cuarzo en “El Tarumán”

- *Muestra de mano*: Se observa incoloro con brillo vitreo y cuando es más abundante presenta colores blanquecinos y gran dureza.
- *Minerales asociados*: Es común observar pirita fresca o masas de óxido de hierro producto de alteración de la pirita, además también se le asocia sericita, calcita y en casos particulares albita.

Cuarzo Oqueroso en “El Tarumán”:

- *Muestra de mano*: Generalmente se presentan como finos cristales transparentes (de apariencia sacaroides) (Fig. 3.3.2.1) o de tonalidades blanquecinas, relleno de oquedades como su nombre lo indica. En algún caso particular se observa pirita dentro de las oquedades junto con el cuarzo.

Cuarzo Jasperoide en “El Tarumán”:

- *Muestra de mano*: Se presenta en masas grandes comúnmente asociado a acumulaciones de óxido de hierro, el cual le da la tonalidad marrón (Fig. 3.3.2.1) característica que se observa en el área.



Fig. 3.3.2.1: A la izquierda se observa cuarzo oqueroso recrystalizado. A la derecha: recrystalización de cuarzo jaseroide dentro de una masa de óxido de hierro.

B. Carbonatación

Los carbonatos ocurren dentro de un amplio rango de temperatura y pH, asociados con caolinita, clorita y minerales calco-silicatados, la zonación de carbonatos en función de pH incremental es observada en muchos sistemas hidrotermales. Esta zonación es interpretada como producto de la movilidad decreciente de Fe, Mn y Mg a pH progresivamente más alto. Los carbonatos pueden aparecer en todo tipo de ambiente hidrotermal. (<https://es.scribd.com/document/364963857/ALTERACIONES-HIDROTERMALES>).

La alteración de este tipo es común en depósitos mesotermiales de oro dentro de facies esquistos verdes. Este tipo de alteración suele estar asociada a venas de cuarzo producto de zonas de cizalla.

Calcita en “El Tarumán”

- *Muestra de Mano*: Se suele observar con su característico color blanco, con textura foliada o en algunos casos masiva y presenta fuerte reacción al HCl (ac). Cuando el mismo se altera presenta tonalidades marrones o verdosas.
- *Lamina delgada*: Se caracteriza por su alta birrefringencia y bajo relieve y cuando se

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

tiñe la lámina presentan el color rojizo característico.

- Minerales asociados: Como se ve en la lámina (Fig.3.3.2.2), la calcita se encuentra fuertemente asociada la sericita, pirita y cuarzo, aunque no se aprecie en la misma.

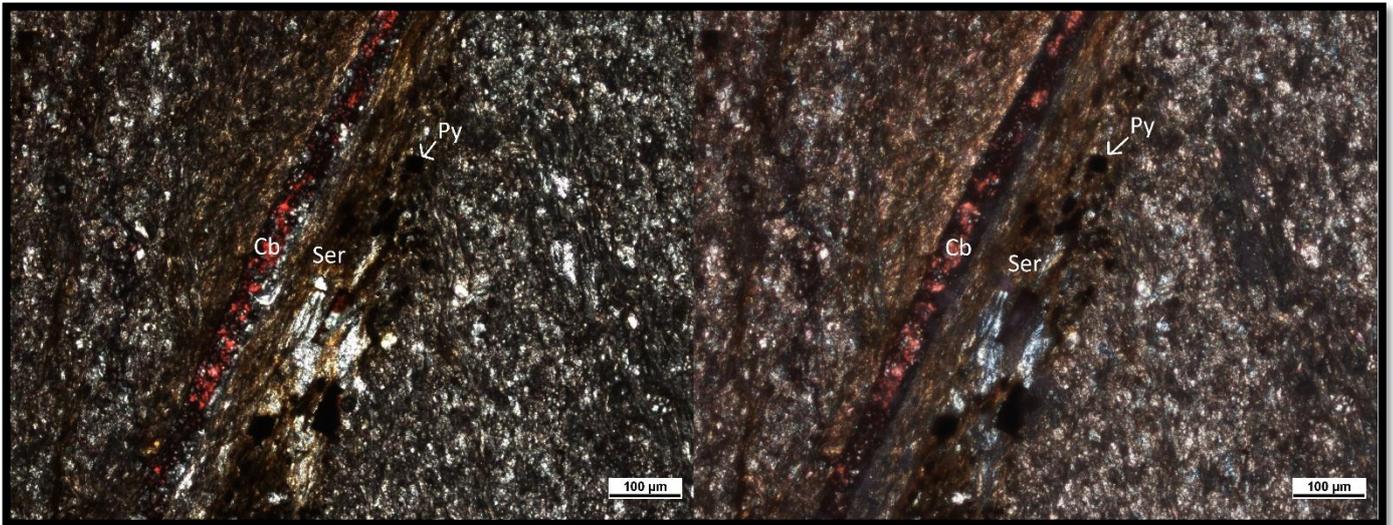


Fig. 3.3.2.2: A la derecha (Nicoles Cruzados) se observa una venilla de calcita la cual presenta una aureola de sericita alterada y cristales de pirita dentro de una dolomía.

C. Sulfuración: $(2S_2 + Fe_2O_3 = 2FeS_2 + 1,5 O_2)$

Características: La pirita es el mineral más abundante del grupo de los sulfuros. El mismo suele presentarse con habito cubico, aunque también se puede ver con habito octaédrico.

Pirita en “El Tarumán”

- *Muestra de Mano*: Se observan bandas de pirita (de forma cubica bien definida), generalmente paralelas a la foliación, en ocasiones también se observan diseminadas o como agregados los cuales por su fácil alteración forman grandes masas de oxido de hierro. En esas masas de oxido se puede observar libre y malaquita.
- *Lamina delgada*: Se observa (Fig.3.3.2.3) pirita directamente relacionado con venas de cuarzo o carbonato penetrando la roca caja de forma perpendicular a las venas aprovechando generalmente los planos de foliación.

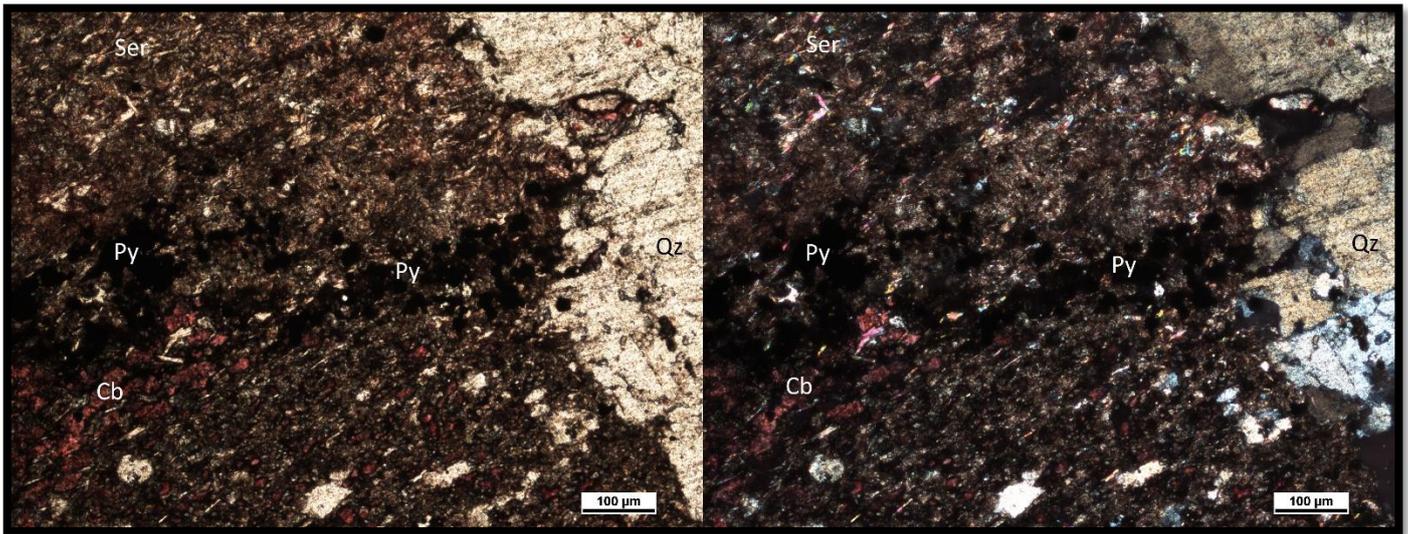


Fig. 3.3.2.3: Se observa la derecha (Nicoles Cruzados) piritita, asociada a una venilla de cuarzo, la cual ingresa dentro de los planos de foliación de la roca caja dolomítica.

D. Sericitización:

También denominada **cuarzo-sericítica** o simplemente **sericítica**: caracterizada por el desarrollo de **sericita** y **cuarzo secundario**. Es el resultado de una hidrólisis moderada a fuerte de los feldespatos, en un rango de temperatura de 300°-400°C.

La reacción de formación de sericita es la siguiente:

Sericitización del feldespato potásico:



Andesina

Sericita

Cuarzo 0.75

Características: Sericita es el termino general que se aplica para micas de grano muy fino, generalmente muscovita, aunque no siempre. La misma se forma bajo condiciones de moderada acidez (pH entre 4 y 6). La sericita de grano fino se forma entre temperaturas que van de los 200 a 250 °C. Aunque la alteración sericita es característica de los pórfidos también se da en los depósitos de oro tipo “vetíticos”.

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).



Fig. 3.3.2.4: A la derecha (Nicoles cruzados) se observa asociado a una vena de cuarzo, el la presencia de sericita, pirita y carbonato, los cuales aprovechan los planos de foliacion para ingresar v cristalizar.

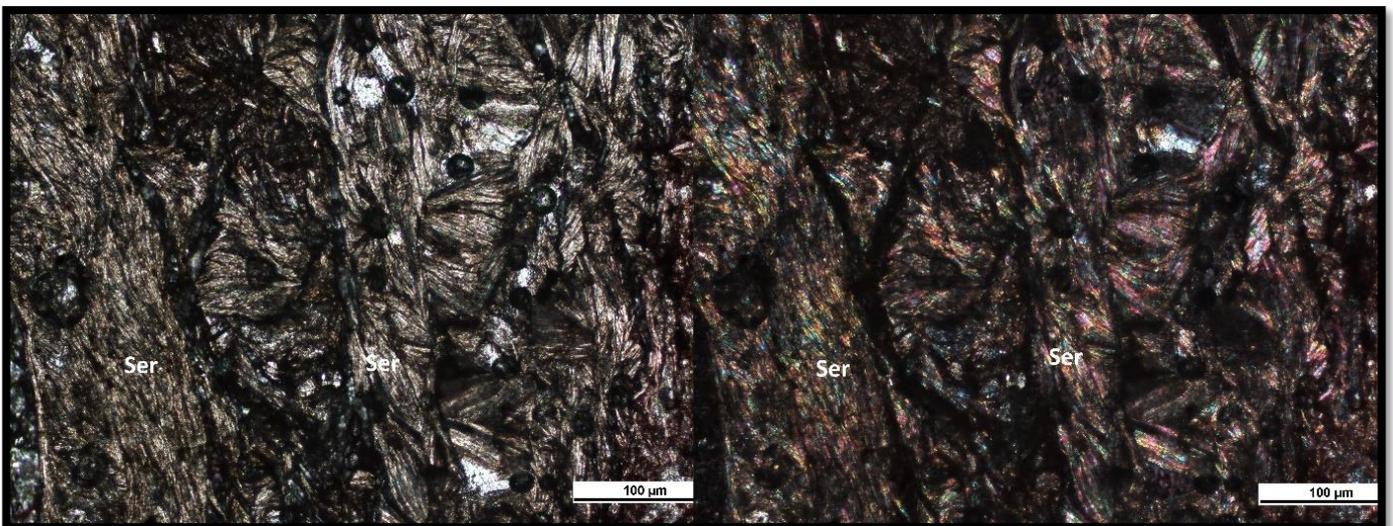


Fig. 3.3.2.5: A la derecha (Nicoles Cruzados) se observa recrystalización radial de sericita

Sericita en “El Tarumán” (Muscovita y Flogopita según MEB):

- *Muestra de Mano*: Debido a que la sericita suele presentarse en cristales de muy poco tamaño es difícil reconocerla a ojo desnudo, aunque en algunos casos se pudieron observar y recolectar cristales de mayor tamaño asociados, de hasta 2mm, directamente con las vetas de cuarzo (Fig.3.3.2.4), los cuales posteriormente se utilizaron para realizar una datación K-Ar (ver capítulo 3.3.3). Los mismos presentan una tonalidad blanco amarillenta y se presentan en forma de racimo (Fig. 3.3.2.5) en las vetas de cuarzo.

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

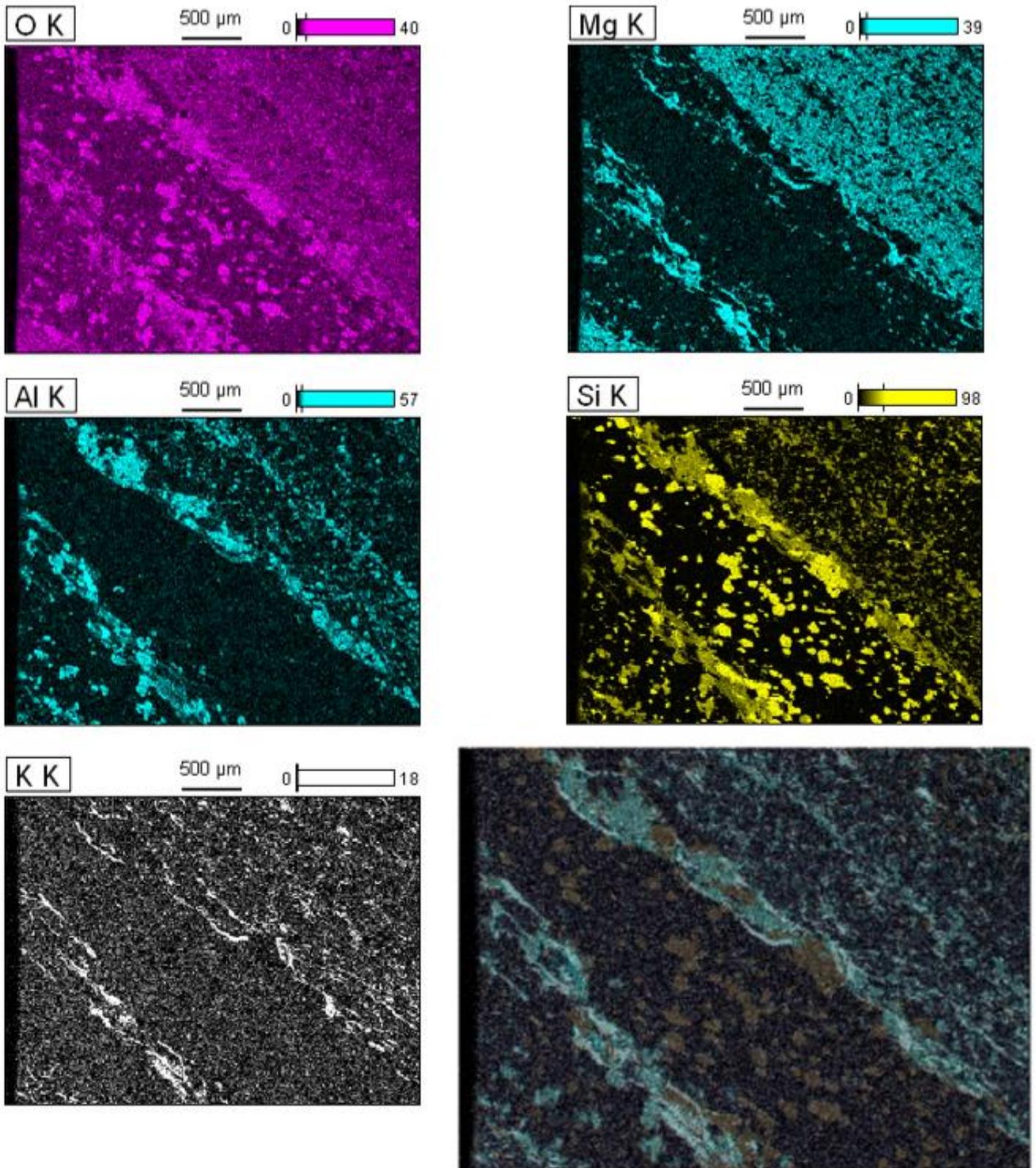


Fig. 3.3.2.6: Las imágenes obtenidas a partir del uso de Microscopio electrónico de barrido en el cual se observa el barrido de una misma muestra, pero analizando el contenido de Oxígeno, Magnesio, Aluminio, Sílice y Potasio con el fin de determinar la composición de las micas que se observan. La imagen inferior derecha es resultado de la superposición de los 5 elementos a partir del cual se observan bandas de micas (posiblemente muscovita y flogopita).

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

3.3.3 Geocronología

Dentro de los minerales de alteración producto del hidrotermalismo se observó abundante sericita (mica blanca) asociada a las vetas de cuarzo, lo que permitió efectuar un muestreo para su datación y así tener controles sobre la edad de la mineralización. Para eso se procedió a obtener muestras de vetas de cuarzo hidrotermal, en las cuales se observa esta mica como mineral de alteración. Se seleccionó una muestra (Coordenadas: 33°45'36.16"S y 54°50'8.67"W) en la que se trituró el cuarzo y manualmente, bajo lupa binocular, se separó la mica del cuarzo (Fig. 3.3.3.1) para finalmente enviar el concentrado al laboratorio de la Universidad Göttingen para una datación K-Ar.



Fig. 3.3.3.1: Muestra de Sericita enviada al laboratorio

Como resultado se obtuvo una edad de $592,8 \pm 8,7$ Ma (Fig. 3.3.3.2) que se considera una buena estimación de la edad de la mineralización, teniendo en cuenta que la temperatura obtenida del estudio de las inclusiones fluidas (ver capítulo 3.3.1) es cercana a la temperatura de cierre del sistema isotópico K-Ar. La temperatura de cierre para los cristales de sericita (en este caso muscovita) se estima en aproximadamente 425 °C. Esto evidencia que, a pesar de que la roca hospedera de la mineralización es paleoproterozoico, la edad K-Ar obtenida para la sericita (mica blanca) asociada con las vetas de cuarzo confirma la edad de ediacárica de esta mineralización. Esto es consistente con el marco regional de un antepaís (foreland) cratónico fuertemente retrabajado durante la Orogenia Brasileña (Neoproterozoica). Además, esta datación nos permite decir que el hidrotermalismo se generó estrechamente asociado al orógeno Dom Feliciano ya que se sabe que durante este evento se generó un voluminoso magmatismo post-colisional a lo largo del todo el cinturón sobre el cual existen numerosas

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

dataciones de cuerpos graníticos con edades de entre 600 a 580 Ma (ver Oriolo et al., 2016c).

A partir de esta datación y los controles estructurales que muestra el hidrotermalismo, este comienza durante la etapa final de plegamiento y el inicio del cizallamiento sinistral, durante la cual se emplazan venas con rumbos predominantes N020° (Ver mapa estructural Fig. 3.2.1.4). A su vez, dadas las condiciones de deformación sumadas de compresión y cizallamiento sinistral se generan vetas de dirección predominante N110° oblicuas a las N020° y que se explican por medio de la formación de un sistema de Riedel (Fig. 3.2.2.4).

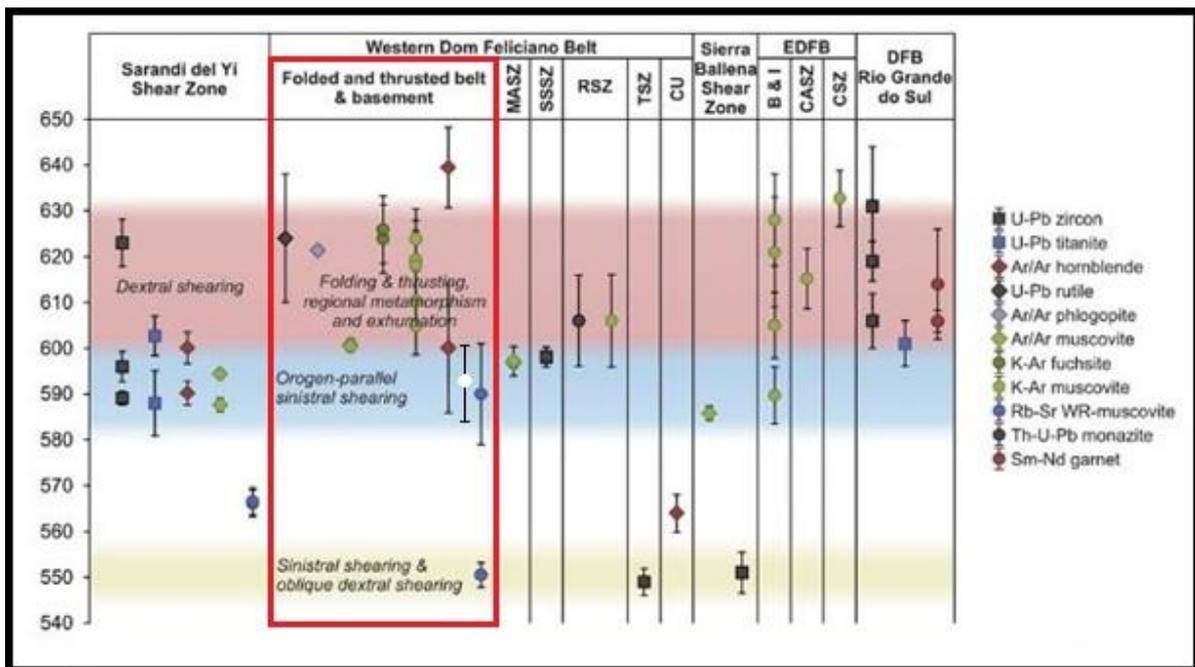


Fig. 3.3.3.2: Resumen de las edades geocronológicas nuevas y disponibles del Dom Feliciano Belt de Uruguay (Sarandí del Yí Shear Zone, Oriolo et al., 2016b; U-Pb rutile, Passarelli et al., 2009; La Unidad Campanero y dos edades de moscovita K-Ar del sótano del cinturón oriental de Feliciano, Oyhantçabal et al., 2009a; Sierra Ballena Cizalla Zona Ar / Ar Moscovita, Oyhantçabal et al., 2009b; Sierra Ballena Shear Zone U-Pb zircon, Oyhantçabal et al., 2011b; Rivera Shear Zone, Oyhantçabal et al., 2012). Restricción de datos geocronológicos. También se incluye el metamorfismo del cinturón Dom Feliciano en el extremo sur de Brasil (Río Grande do Sul). Sobrecargas metamórficas de cinturón U-Pb después de da Silva et al. (1999), Chemale Jr. et al. (2011) y Philipp et al. (2015); Titanita U-Pb después de Chemale Jr. et al. (2011) y Sm-Nd WR granate después de Gross et al. (2006). MASZ: María Albina Shear Zone, SSSZ: Sierra de Sosa Shear Zone, RSZ: Rivera Shear Zone, TSZ: Tupamba e Shear Zone, UC: Campanero Unit, EDFB: este Dom Feliciano Belt, B & I: sótano e intrusiones, CASZ: Cerro Amaro Shear Zone, CSZ: Cordillera Shear Zone. El punto blanco corresponde a la datación K-Ar realizada en este trabajo. Tomado y editado de Oriolo et al 2016c.

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

3.3.4 Mineralización:

La mineralización “El Tarumán” corresponde a un corredor mineralizado de oro, cobre y plata, a lo largo de fracturas con dirección principal N030° y la roca portadora la constituyen vetas de cuarzo penetrantes (stockwork). Los sulfuros suelen estar oxidados y aparece oro y plata además de metales de base (plomo, cobre, zinc).

Se estima que la mineralización antes mencionada abarca unos 1.500 m de extensión norte-sur, está casi totalmente incluida en litologías carbonáticas, con un ancho de afloramiento variable de entre 500 y 200 metros (Ver mapa geológico Fig. 3.1).

El área mineralizada fue estimada a partir de la presencia de vetas de cuarzo (ver capítulo 3.1 en donde se describe esta litología).

Esta mineralización es de tipo vetiforme (se compone de vetas de cuarzo lechoso) las cuales son muy abundantes en el área de estudio, con una tendencia norte-noreste y este-oeste, siendo más abundantes las segundas mencionadas. En el área se observan vetas de todos los tamaños, desde milimétricas hasta venas decimétricas.

A partir de las observaciones litológicas, mineralógicas de campo (minerales observados), laminas delgadas, secciones pulidas y datos analíticos ICP (Fig.3.3.4.1) generados por B2Gold (informe publicado en DINAMIGE) se reconoce lo siguiente:

- La asociación mineral se caracteriza por la presencia de: Au, Ag, Pb, Cu, As y Zn.
- Los minerales más abundantes son: pirita (FeS_2), malaquita ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$), galena (PbS), calcopirita (CuFeS_2), esfalerita (ZnS), enargita (Cu_3AsS_4), calcocita (Cu_2S) y tennantita ($\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$) y covellita (CuS).
- El intemperismo y la oxidación de los sulfuros en las vetas de cuarzo produce oro libre y malaquita asociados con los óxidos de hierro.

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

Elemento	Sedimentos	Rocas	Suelos
Oro (Au)	0,0163 ppm	19,7 ppm	59 ppb
Plata (Ag)	0,165 ppm	16,2 ppm	136 ppb
Cobre (Cu)	91,97 ppm	2517,3 ppm	130,67 ppm
Plomo (Pb)	36,99 ppm	6470,3 ppm	41,63 ppm
Zinc (Zn)	85,4 ppm	2994,0 ppm	96,7 ppm
Arsénico (As)	12,1 ppm	5288 ppm	11,6 ppm

Fig. 3.3.4.1: Tabla de valores máximos de oro y elementos asociados. Datos generados por la minera B2Gold durante campaña de prospección en el área de estudio.

A su vez en el campo es muy común observar en las zonas mineralizadas, con minerales como galena (Fig. 3.3.4.2: B) (PbS), malaquita (Fig. 3.3.1.2: A) ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$) y pirita (FeS_2), a este último mineral está asociado el oro, ya que se observa oro secundario libre producto de la alteración de la misma (Fig. 3.3.4.2: G, H, I).

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).



Fig. 3.3.4.2: A) Malaquita. B) Galena. C) Óxido de hierro y relictos de pirita fresca en el centro. D, E, F) Cristales de pirita completamente oxidada. G) Muestra con oro visible dentro del círculo rojo. H,I) Oro libre producto de la alteración de pirita, bajo lupa de mano de 20X

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

Por otra parte, Oyhantçabal (informe inédito) realiza la descripción microscópica en luz reflejada (descripción calcográfica) de unas muestras del área (Fig. 3.3.4.3, Fig. 3.3.4.4, Fig. 3.3.4.5 y Fig. 3.3.1.6):

A continuación, se describen los aspectos más relevantes para el presente trabajo:

La muestra D26 es la única en la que se observan sulfuros, por lo que se procedió a su estudio microscópico mediante luz reflejada. La muestra se destaca por su densidad y en la superficie de la misma se observan ocasionales cristales de galena, de 3-5 mm, con característico clivaje cúbico según 3 planos ortogonales. La galena no resultó representada en la sección pulida preparada.

Los opacos tienden a estar asociados al carbonato de la muestra, que probablemente sea **siderita o ankerita**.

No se detectaron minerales fluorescentes bajo luz UV ni magnetismo. Los minerales reconocidos (cada uno de ellos en porcentaje menor a 5%) son: Enargita (Fig. 3.3.4.3 y Fig. 3.3.4.4), Magnetita (Fig. 3.3.4.3), Esfalerita (Fig. 3.3.4.6), Covellita (Fig. 3.3.4.5), Galena (solo macroscópicamente) (Fig. 3.3.4.2: B), Calcosina, Tenantrita y Pirita oxidada (Fig. 3.3.4.2: C, D, E, F, G, H y I)

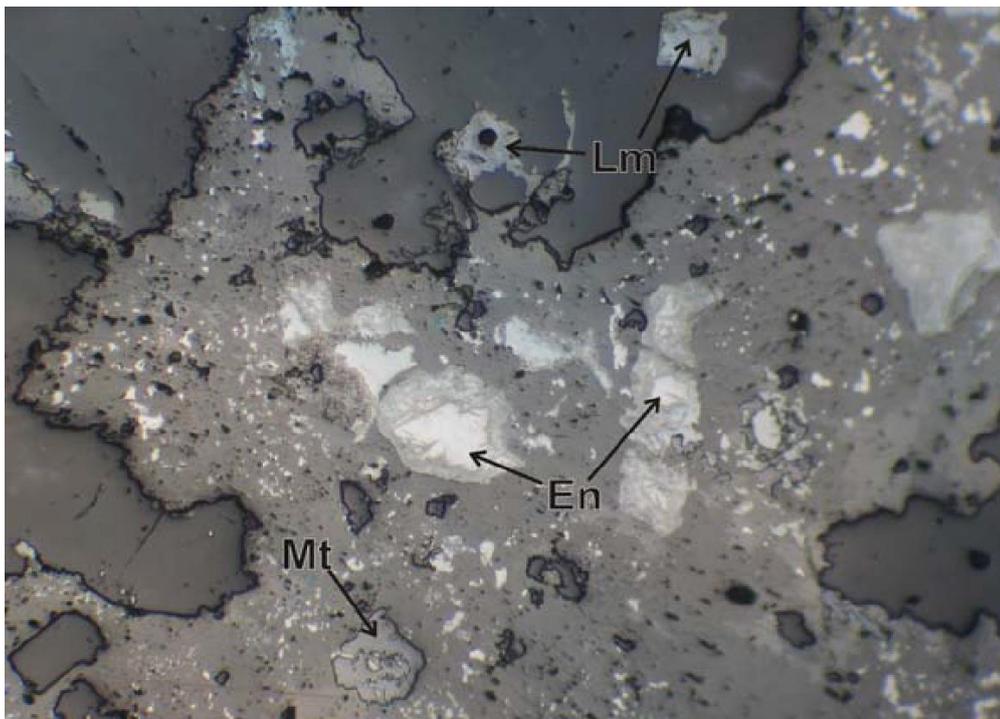


Fig. 3.3.4.3: Panorama general de los minerales opacos presentes: se observan magnetita (Mt), enargita (En) y óxidos-hidróxidos de Fe (Lm), correspondientes a pirita oxidada. Luz reflejada. Ancho de la imagen 1 mm

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

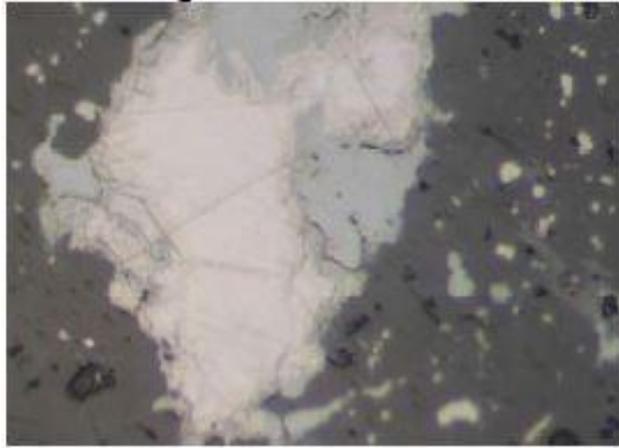


Fig. 3.3.4.4: *Enargita* (Cu_3AsS_4) Los cristales de este mineral son subhedrales y tienen tamaño entre 0.2 y 0.5 mm. Presentan transformación parcial a un mineral gris de bajo poder reflector (probablemente tennantita ($\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$)). Cristal de enargita mostrando clivaje y color gris rosado característico. Luz reflejada.
Ancho de la imagen 0.5 mm

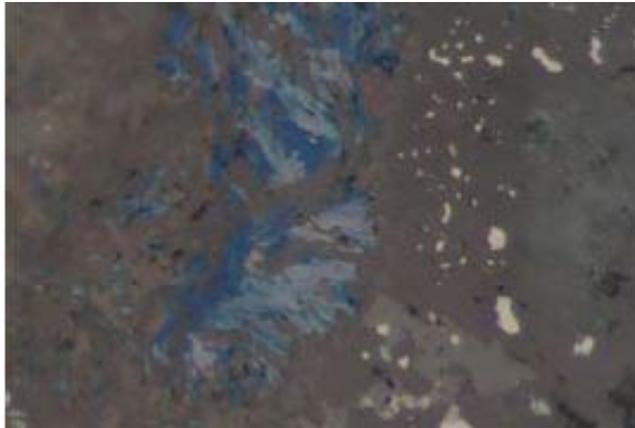


Fig. 3.3.4.5: *Covellita* (CuS) Como producto de alteración de otros minerales de cobre. Presenta típico hábito tabular y pleocroísmo en tonos azul a violeta.

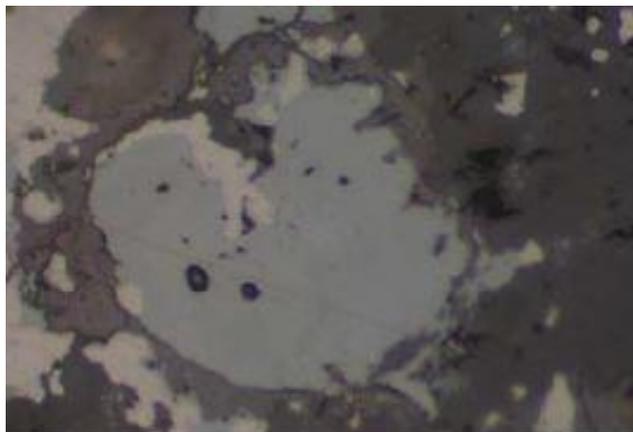


Fig. 3.3.4.6: *Esfalerita* (ZnS) Ocasionales cristales. Cristal de esfalerita rodeado por enargita. Luz reflejada.
Ancho de la imagen 0.5 mm

Felipe Paullier Soler

3.3.5 Control estructural de la Mineralización

La mineralización se encuentra controlada por el plegamiento y cizallamiento y se aloja principalmente en las calizas dolomíticas, las cuales abundan en el área y la región. Adicionalmente, durante el proceso de alteración dolomítica las calizas pierden volumen (Clark et al, 2009), lo que permite que se genere espacio que facilita el ingreso de fluido, que sumado al cizallamiento promueve aún más el desarrollo del proceso hidrotermal mineralizante.

Las venas de cuarzo hidrotermal si bien aparecen con rumbos N020°, tienen una gran representación también según rumbo N110°.

Esto permitió inferir la asociación de la mineralización con los eventos de deformación presentes en el área. Por otra parte, durante las etapas finales de plegamiento se generan fracturas por tensión (Fig. 3.3.5.1) en los flancos en la charnela del pliegue, lo que permite que el fluido se desplace con gran facilidad y quede atrapado en estos lugares (Fig. 3.3.5.2).

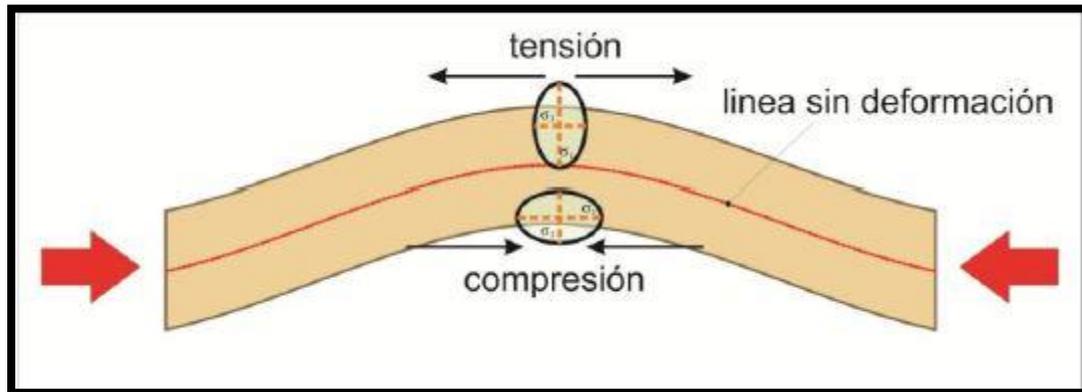


Fig. 3.3.5.1: Esquema mostrando los esfuerzos de tensión y compresión que sufre la charnela durante el plegamiento. Lillo & Oyarzun (2013).

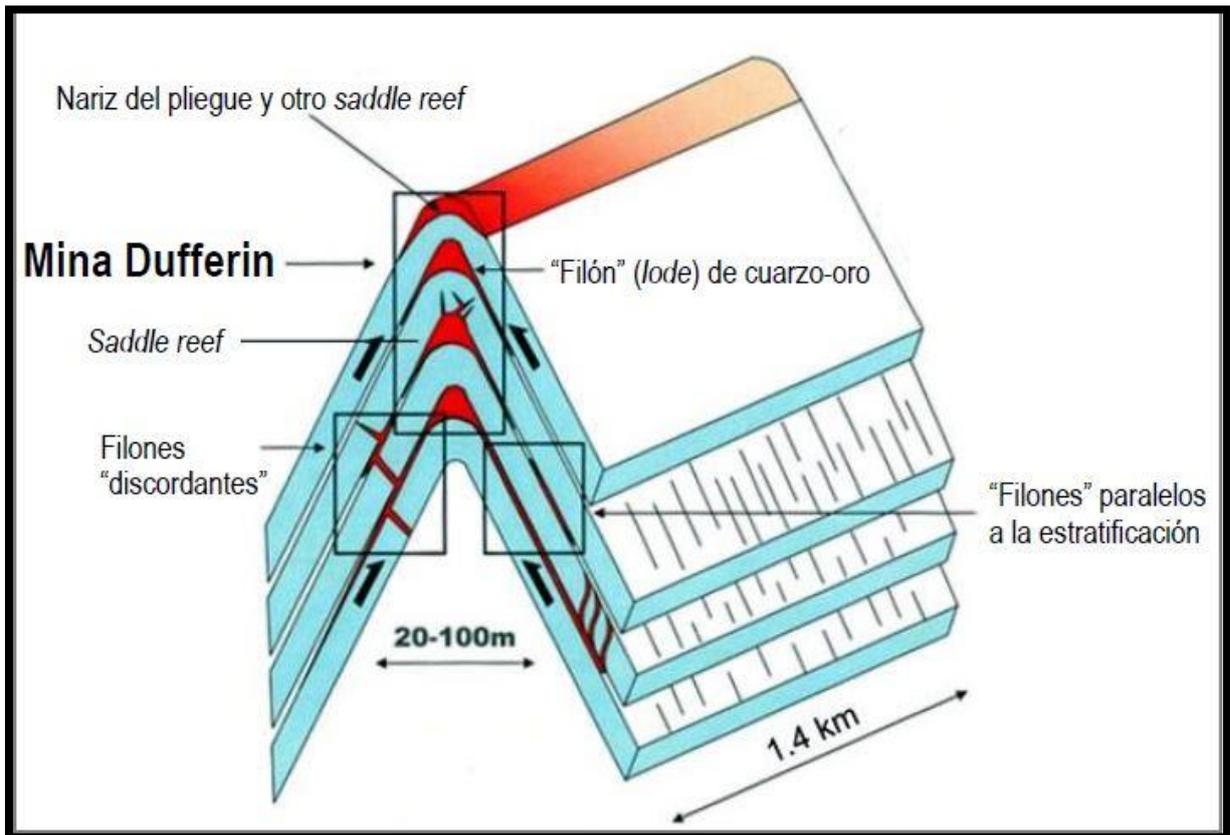


Fig. 3.3.5.2: Esquema de mineralización tipo Saddle Reef, Mina Dufferin, el cual muestra como la mineralización se aloja principalmente en la charnela y en los flancos de forma irregular. Lillo & Oyarzun (2013).

El primer pulso de fluido hidrotermal ingresa, durante la evolución del Cinturón Dom Feliciano al cual está asociada la fase de deformación D2, que facilita el ascenso del mismo.

Durante la etapa final de plegamiento se genera el cizallamiento de carácter sinistral (D2) que combinado con los esfuerzos compresivos provocan fallas conjugadas. Según Woodcock y Fischer (1986) la suma de esfuerzos compresionales más esfuerzos de cizalla generan un ambiente transpresivo con fallas inversas tipo flor positiva (Fig. 3.3.5.3). Sin embargo, no existen suficientes evidencias para demostrar que este modelo se cumpla en este caso particular. Para comprobar esto se debería de realizar un análisis estructural complejo de la geología en profundidad.

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

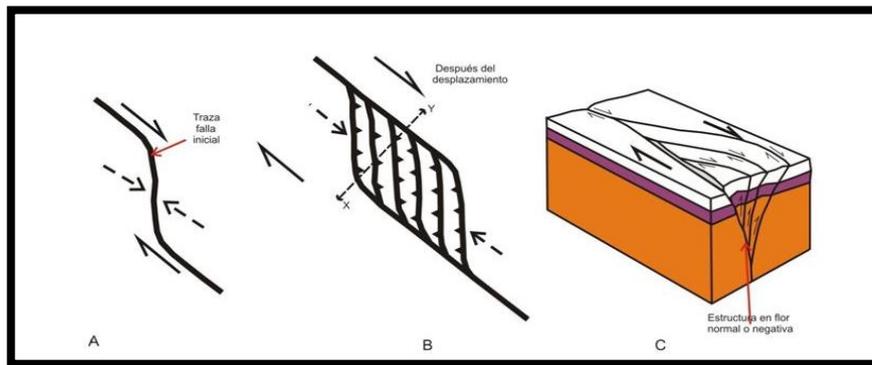


Fig. 3.3.5.3: Transpresión en fallas transcurrentes paralelas tipo dúplex, que permiten el desarrollo de estructuras comprimidas de tipo flor positiva. Tomado de Woodcock & Fischer. (1986).

Por otra parte, existen evidencias de la formación de un sistema de Riedel en el área, como se explica en el capítulo anterior. Este sistema, generado a partir de la sumatoria de esfuerzos compresivos y de cizalla dan como resultado fallas oblicuas y esfuerzos extensionales, que se evidencia por la abundancia de vetas de dirección N110°-120° oblicuas a las vetas de alivio de tensión, de dirección N020°, generadas durante el plegamiento y que posteriormente durante la D2 se reactivan.

4. DISCUSION

1. El área de estudio se encuentra en una zona de favorabilidad para la búsqueda de mineralizaciones de oro y otros minerales, tales como Pb y Zn. Existen varias ocurrencias de oro, a lo largo de una faja mineralizada, que se extiende desde el sur del departamento de Lavalleja, en los alrededores de la ciudad de Minas, hasta el límite entre Lavalleja y el departamento de Treinta y Tres, en la localidad de María Albina. Toda esta faja se considera está asociada directamente al orógeno Dom Feliciano.
2. Desde el punto de vista litológico, el área está compuesta por una secuencia meta-sedimentaria. La mayoría de las litologías son típicas de un ambiente marino somero y otras de un ambiente más transicional o incluso terrestre. La abundante presencia de litologías carbonáticas, las cuales tienen variaciones morfológicas lateralmente, formando bancos o lentes, indica un posible ambiente marino somero. La ocurrencia de meta-areniscas, con presencia de carbonato, formando bancos de distintas granulometrías, nos indica también una posible variación de la energía de depositación, en un ambiente marino somero.
3. Estructuralmente el área presenta una gran complejidad. Se pudieron observar y separar 4 fases de deformación (D1, D2, D3, D4). La fase D1 corresponde a una deformación dúctil compresiva, la cual genera un plegamiento de escala regional.
La fase D2 comienza durante el final de la fase D1 y se caracteriza por cizallamiento sinistral de dirección predominante N020°, el cual sumado a los continuos esfuerzos compresivos D1 dan como resultado un Sistema de Riedel que genera fallas de alivio de tensión de carácter dextral, oblicuas a las antes mencionadas y de dirección principal N110°. La fase D3, al menos 20 Ma posterior a la fase anterior D2 (según Oriolo et al., 2016c), se caracteriza por un cizallamiento dextral, también de carácter regional, el cual afecta fuertemente y de manera muy clara toda la secuencia meta-sedimentaria del área. En último lugar se encuentra la fase D4, de edad mesozoica y que se caracteriza por esfuerzos extensionales asociados a la apertura del océano Atlántico, en la cual se genera un abundante magmatismo, predominantemente máfico, el cual da como

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

resultado en el área la presencia de diques doleríticos.

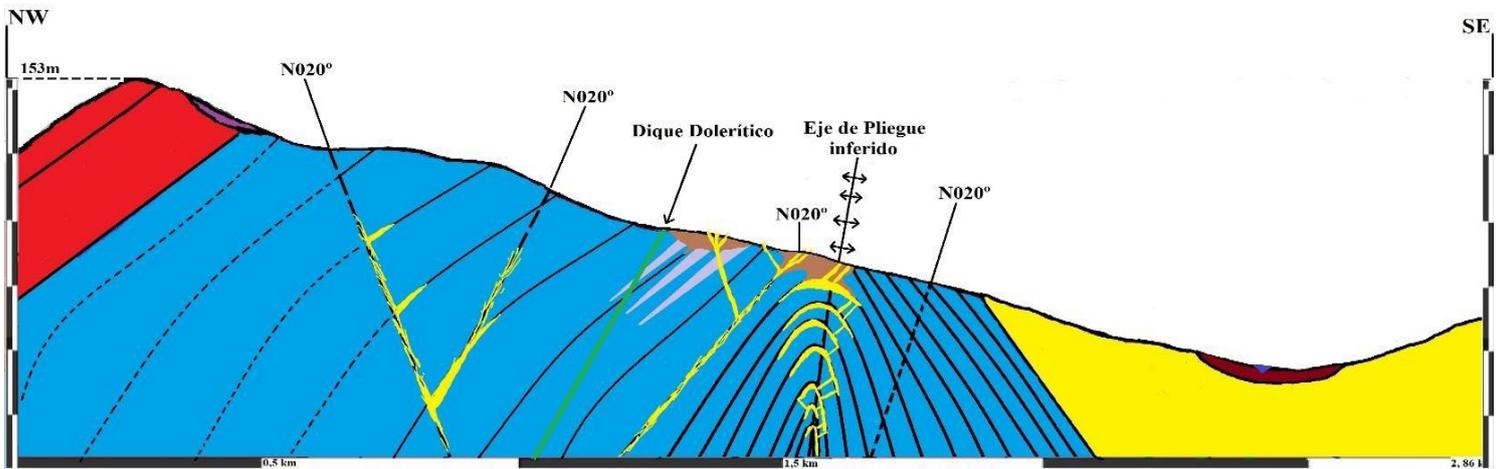


Fig. 4.3.1: Sección estructural NW-SE indicada en el Mapa (Fig. 3.1), muestra el modelo de plegamiento para las rocas allí presentes. La topografía se efectuó tomando como base el perfil de elevación Google Earth.

4. Características de la mineralización:

- a. La misma se caracteriza por la asociación predominante de minerales como: pirita, malaquita y galena, la abundancia de los mismos da como resultado anomalías de oro, cobre y plomo en el área, siendo las más importantes las de oro, por su valor económico.
- b. El gossan o montera de hierro es la litología directamente asociada a la mineralización. Está formada por la alteración de la pirita, la cual forma grandes masas de óxido de hierro.
- c. La edad de mineralización, obtenida a partir de un análisis K-Ar realizado en sericita (mineral de alteración hidrotermal), dio como resultado una edad de $592,8 \pm 8,7$ Ma. La misma nos indica que el hidrotermalismo se generó estrechamente asociado al orógeno Dom Feliciano y durante el evento de cizallamiento sinistral (D2) regional del orógeno según Oriolo et al. (2016c).
- d. A partir de los datos estructurales obtenidos en el área, se observó la predominancia de 2 direcciones principales de las venas de cuarzo y sumando la datación, se puede decir que el evento hidrotermal se generó durante la fase de deformación D2, la cual, como se explicó anteriormente generó un sistema de Riedel con fallas principales N020° y fallas oblicuas de alivio N100°-110°.

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

5. Características del fluido hidrotermal (inclusiones fluidas):

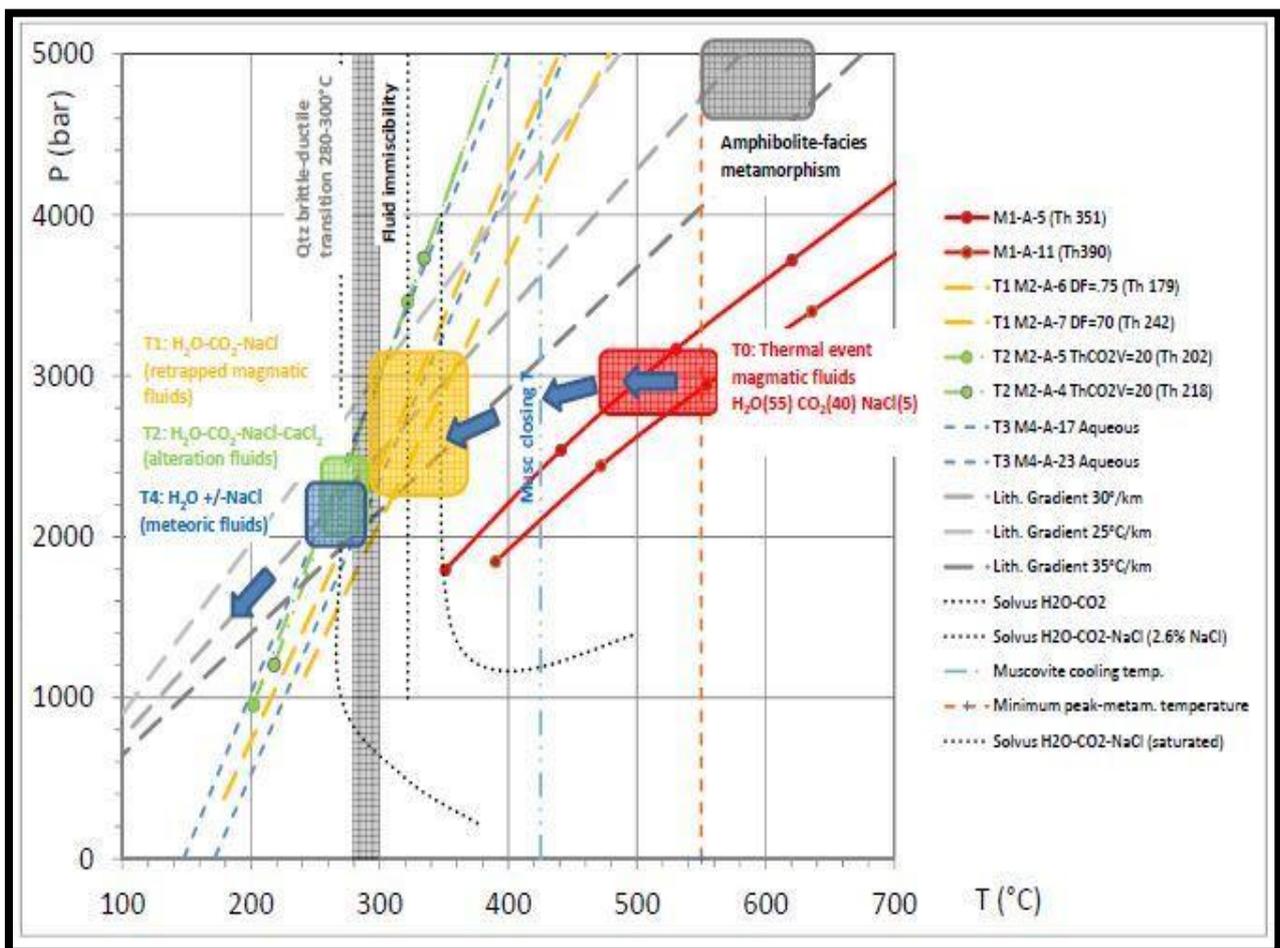
- a. Se encontraron 4 tipos distintos de inclusiones:
 - i. **T0** inclusiones **carbónicas-acuosas primarias** con salinidades entre 11 y 14 % NaCl y temperaturas de homogeneización entre 330 y 390°C. Estas son temperaturas mínimas de atrape de las inclusiones. El dióxido de carbono es puro (punto triple -56,6°C), sin aparentes trazas de metano o nitrógeno.
 - ii. El resto de las inclusiones son pseudo secundarias **T1: H₂O + (CO₂)**, **T2: H₂O (+CO₂)** y secundarias **T3: H₂O**. T1 y T2 son fluidos tardíos asociados a la cristalización del cuarzo. Las temperaturas se mantienen, pero el fluido se enriquece en CaCl₂.
- b. Desde el punto de vista composicional:
 - i. Las inclusiones T1 estarían asociadas al patrón irregular (patchy) observado bajo catodoluminiscencia y causado por difusión de fluidos, relacionado a la principal deformación del cuarzo. Las salinidades están entre 14 y 17 % equivalente en peso NaCl y las temperaturas de homogeneización varían entre 180 y 350°C.
 - ii. Las T2 estarían asociadas a las bandas observadas en CL del estado tardío de la deformación principal. Son generalmente inclusiones modificadas con salinidades entre 13 y 18 % equivalente en peso NaCl (más CaCl₂) y las temperaturas de homogeneización varían entre 200 y 350°C.
 - iii. Las inclusiones T3 son inclusiones acuosas de salinidad (6-7 % NaCl) y menor temperatura (150-220°C), y están asociadas a microfracturas tardías selladas.
- c. Las Isocoras muestran que:
 - i. **T0** deben haberse atrapado a ca. 500-550 ° C / 3 kbar, probablemente durante un evento térmico con un gradiente geotérmico temporalmente mayor durante el levantamiento después de las condiciones pico-metamórficas.

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

- ii. Este evento térmico fue seguido por un período de enfriamiento aproximadamente isobárico. Estos fluidos se conservan como inclusiones fluidas a lo largo de subgranos y límites de grano durante el cizallamiento dúctil débil en condiciones de aprox. T1 300-350 ° C / ca. 2,5-3 kbar y T2 ca. 260-300 / ca. 2-2.5 kbar. Los fluidos tardíos de baja salinidad son probablemente de origen meteórico y quedaron atrapados por debajo de ca. 280 ° C T3.



6. El muestreo en campo de las alteraciones y su posterior análisis microscópico en lamina delgada y en sección pulida, además del análisis composicional bajo el microscopio electrónico de barrido permitieron determinar la presencia de al menos 4 tipos de

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

alteraciones distintas. Las alteraciones encontradas son coherentes con las esperadas en función de las características del fluido hidrotermal, de acuerdo a los resultados de temperatura de homogeneización y las isocoras de las inclusiones fluidas, y el diagrama de Corbett & Leach (1998).

- Silicificación: caracterizada por la presencia de cuarzo lechoso, cuarzo jasperoide y cuarzo oqueroso.
- Carbonatación: caracterizada por la presencia de lentes de calcita y bandas de calcita asociadas con las venas de cuarzo.
- Sulfuración: Se evidencia por la abundancia de pirita y galena. En mayor abundancia la pirita, que está estrechamente asociada al oro y a la mineralización en general
- Sericitización: Evidenciada por la presencia de micas de pequeño tamaño ya sea muscovita o flogopita como se pudo determinar a partir de los datos de Microscopio Electrónico de Barrido.

Es posible estimar los minerales que van a estar presentes como producto de alteración generado por el fluido. Para esto es necesario guiarse por la Tabla de Alteraciones de Corbett & Leach (1998) (Fig.3.3.5.1) aunque esto no define perfectamente la asamblea mineral que se va a encontrar ya que solo utiliza 2 factores de alteración (temperatura y pH) sin considerar el resto.

Geología y mineralización

Aurífera "El Tarumán" (Pirarajá, Lavalleja).

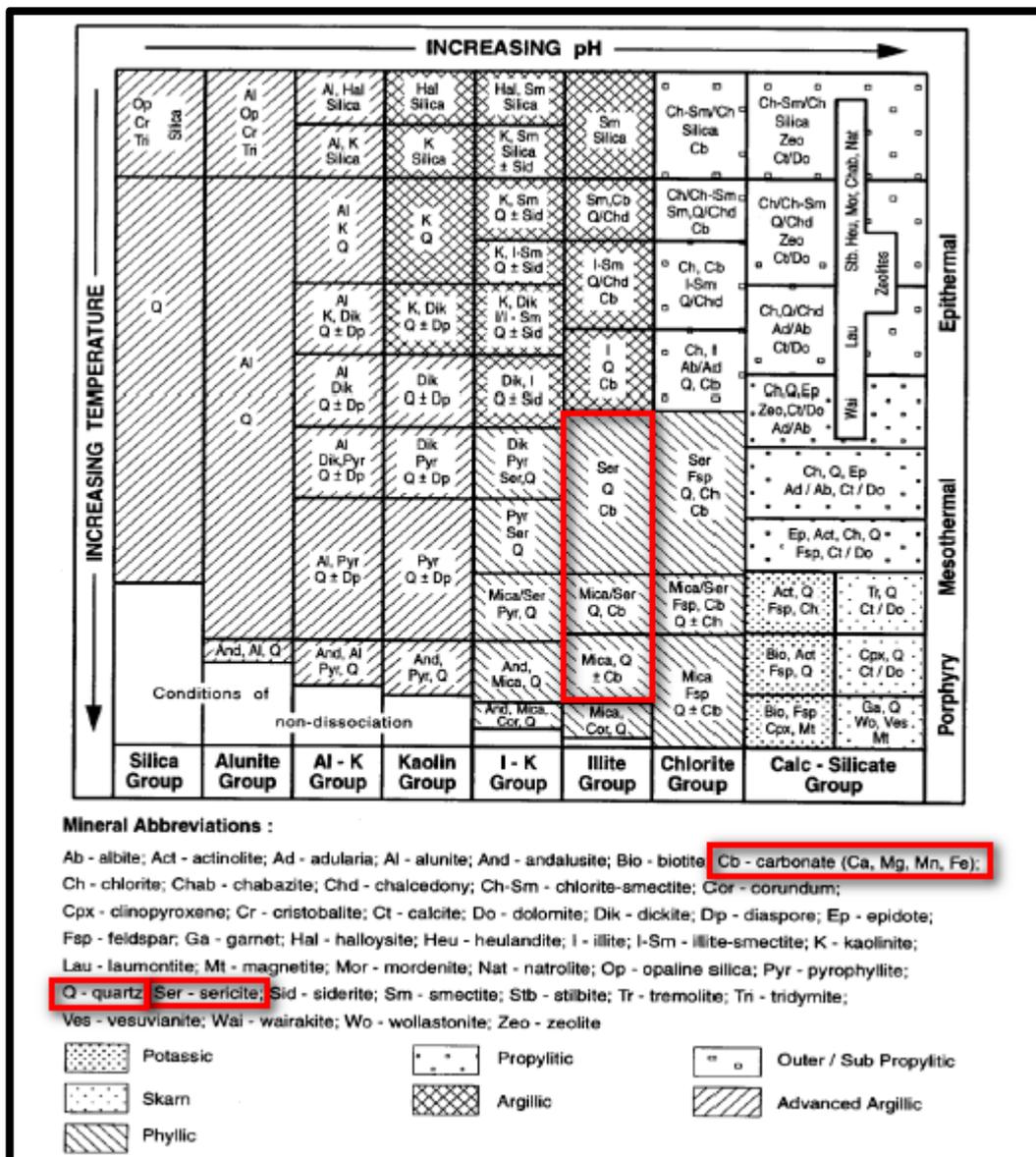


Fig. 4.6.1: Asociaciones de minerales de alteración comunes en sistemas hidrotermales, en recuadro rojo se resalta los minerales de alteración observados en el área de estudio (tomado de Corbett & Leach, 1998)

5. CONCLUSIONES

El estudio de la geología mostro una secuencia de rocas metasedimentarias de origen marino plataformal, con dominio de rocas carbonáticas y detríticas medias y gruesas subordinadas. El hidrotermalismo y las estructuras gossan, relacionados con la mineralización se manifiestan asociados a los carbonatos. Asimismo, se pudo caracterizar un evento intrusivo mafico el cual este compuesto por doleritas.

La geología estructural observada en el campo nos indica que posiblemente existan al menos 3 eventos de deformación que afecten la geología del área, que abarcan un gran periodo de tiempo estimado entre el Paleoproterozoico hasta el Mesozoico.

Respecto a las inclusiones fluidas, los datos de composición, temperatura y presión nos indican que el fluido inicial tiene un ph predominantemente básico por el contenido de Na que se observó y que cristalizó en profundidad dentro de la corteza según se interpreta en los resultados de las isobaras e isocoras de las inclusiones estudiadas.

La datación K/Ar sobre sericita en cuarzo hidrotermal indico una edad de $592 \pm 8,2$ Ma lo cual da una estrecha relación con el desarrollo del orógeno Dom Feliciano.

Se encontraron alteraciones asociadas al hidrotermalismo de tipo sericitica, cuarcítica, carbonática y sulfúrica predominantemente, las cuales son muy comunes en la mayoría de los yacimientos de oro de tipo orogénico.

La asociación geoquímica más frecuente se caracteriza por: la presencia de oro, cobre y plomo que concuerda con la mayoría de los depósitos de tipo orogénico a nivel mundial.

Según los datos obtenidos a partir de resultados del presente trabajo, y de la comparación con estudios a nivel mundial, se concluye que El Tarumán presenta, podemos concluir que la mineralización “El Tarumán” presenta características típicas a las de una mineralización orogénica mesothermal (Ver Fig.5.1.1).

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

Características generales de mineralizaciones orogénicas	Características de la mineralización “El Tarumán”
<p>Tipos de Rocas: Greenstone belts; metasedimentos oceánicos: rocas volcánicas metamorfizadas, chert, esquistos y cuarcitas.</p> <p>Ambiente Tectónico: Cinturones móviles con margen continental, márgenes acrecentados. Las vetas son generalmente rocas graníticas post-metamórficas y localmente cortadas. Sistemas de fallas y juntas producidos por compresión regional.</p> <p>Mineralogía: Cuarzo + oro nativo + pirita + galena + esfalerita + calcopirita + arsenopirita. Abundantes Carbonatos de Ca, Mg, and Fe.</p> <p>Control mineralógico: Venas de alto ángulo que persisten a lo largo de la región. Mineral de alto grado en contactos entre metasedimentos y serpentina. Cuerpos de mineral diseminados donde las venas cortan rocas graníticas.</p> <p>Asociación Geoquímica: Au, Ag, Pb, Zn, Cu.</p> <p>Características de los fluidos: Ricos en CO₂, H₂O (5 – 30 mol% de CO₂) y de baja salinidad (<3 wt% de NaCl).</p> <p>Tipos de Alteraciones: Suelen generar alteraciones de tipo carbonática-sulfúrica±sericítica±clorítica.</p>	<p>Tipos de Rocas: Metasedimentos de origen oceánicos.</p> <p>Ambiente Tectónico: Sistemas de fallas y juntas producidos por compresión regional.</p> <p>Mineralogía: Cuarzo, oro nativo, pirita, galena, esfalerita, calcopirita y otros. Abundantes carbonatos.</p> <p>Control Mineralógico: Venas de alto ángulo persistentes a lo largo de la región.</p> <p>Asociación Geoquímica: Au, Ag, Pb, Cu, Zn.</p> <p>Características del fluido: Ricos en CO₂, H₂O (5-30 mol% de CO₂) y de mediana salinidad (<10 wt% de NaCl).</p> <p>Tipos de Alteraciones: Cuarzosa, carbonática, sericítica y sulfúrica.</p>

Fig 5.1.1: Cuadro comparativo en el que se muestra a la izquierda las principales características de los depósitos de oro orogénico a nivel mundial (Bray, 1995) y a la derecha las principales características de la mineralización El Tarumán obtenidas en este trabajo.

6. BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, W & Paullier, F (2018). Trabajo final de Curso de Cartografía Geológica.

Ash, C. & Aldrick, D. (1996). Au- Quartz veins I01. En: Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles, Volume 2 - Metallic Deposits. (Editors, British Columbia Ministry of Employment and Investment) Open File 1996-13, pages 53-56.

Bossi, J & Ferrando, L (2001). Carta Geológica del Uruguay.

Bossi J. & Campal N. (1992) Magmatismo y tectónica transcurrente durante el Paleozoico inferior del Uruguay. In: Gutiérrez J., Saavedra J., Rábano L., (eds) Paleozoico inferior de Iberoamérica- Universidad de Extremadura, Alicante, pp 343-356.

Bossi J., Preciozzi F., & Campal N. (1993) Predevoniano del Uruguay. Parte 1: Terreno Piedra Alta. DINAMIGE, Montevideo, pp 1-50.

Bray, E. A. (1995). Preliminary compilation of descriptive geoenvironmental mineral deposit models.

Campal N., & Schipilov A. (1995) The Illescas bluish quartz rapakivi granite (Uruguay-South America): some geological features. In: Symposium Rapakivi granites and related rocks. Belém, Brasil, p18.

Clark, W. J., Herron, M., & Montaron, B. (2009). La dolomía: Aspectos de un mineral desconcertante. Oilfield Review.

Corbett, G.J., & Leach, T.M., (1998), Southwest Pacific gold-copper systems: Structure, alteration and mineralization: Special Publication 6, Society of Economic Geologists, 238 p.

Durney, D.W., & Ramsay, J.G., (1973). Incremental strains measured by syntectonic crystal growth, in: de Jong, K.A., Scholten, R. (Eds.), Gravity and Tectonics. Wiley, New York, pp. 67–96.

Ellis J. (1998) The Precambrian supracrustal rocks of the Isla Cristalina de Rivera in northern Uruguay and their ore deposits. Heidelberger Geowissenschaftliche Abhandlungen 90, 195 p.

Fesefeldt, K. (1988). Misión Geofísica Alemana “Asesoramiento Yacimientoológico a la Dirección Nacional de Minería y Geología, DI.NA.MI.GE”
Newfoundland, St John’ s Newfoundland

Fragoso C, A.R.S. (1980): O Cráton do Rio de la Plata e o Cinturão Dom Feliciano no Escudo Uruguaio-Sul-Riograndense. En: Congresso Brasileiro de Geologia, XXXI, Soc. Brasileira de Geologia, Núcleo RGS, 5: pág. 2879-2892, Anais; Camboriú.

Gaucher C., Sprechmann P. & Montaña J. (1998) News advances on the geology and paleontology of the Vendian to Cambrian Arroyo del Soldado Group of the Nico Pérez Terrane of Uruguay. Neues Jahrbuch für Geology und Paläentologie, Monatshefte 2, 106-108.

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

Gaucher, C., Blanco, G., Chiglino, L., Poiré, D., & Germs, G. J. B. (2008). Acritarchs of Las Ventanas Formation (Ediacaran, Uruguay): Implications for the timing of coeval rifting and glacial events in western Gondwana. *Gondwana Research*, 13(4), 488–501. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2007.05.008>

Gaucher, C., Frei, R., Sial, A.N., Castiglioni, E. & Ferreira, V.P. (2014a). Grupo Cebollatí. En: Bossi, J., Gaucher, C. (Editores), *Geología del Uruguay-Tomo 1: Predevónico*, Montevideo

Gaucher, C., Sprechmann, P. & Shipilov, A., (1996). Upper and middle proterozoic fossiliferous sedimentary sequences of the Nico Pérez Terrane of Uruguay lithostratigraphic units, paleontology, depositional environments and correlations. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abh*, 199, pp.339-367.

Goldfarb, R. J.; Groves, D. I. & Gardoll, S. (2001). Orogenic gold and geologic time: a global synthesis. *Ore Geology Reviews*, Vol. 18, 1-75.

Groves, D. I., Goldfarb, R. J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S. G., & Robert, F. (1998). Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews*, 13(1–5), 7–27. [https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(97\)00012-7](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(97)00012-7) guide to hydrothermal alteration minerals. *Min Depos Div, Geol Ass Can, Mem Univ*

Hartmann L, Santos J, Bossi J, Campal N, Schipilov A, & McNaughton N. (2002). Zircon and titanite U–Pb SHRIMP geochronology of Neoproterozoic felsic magmatism on the eastern border of the Rio de la Plata Craton, Uruguay. *Journal of South American Earth Sciences*.;15(2):229-236.

Hartmann, L., Campal, N., Santos, J., McNaughton, N., Bossi, J., Schipilov, A. & Lafon, J. (2001). Archean crust in the Rio de la Plata Craton, Uruguay — SHRIMP U–Pb zircon reconnaissance geochronology. *Journal of South American Earth Sciences*, 14(6), pp.557-570.

http://visualizadorgeominero.dinamige.gub.uy/DINAMIGE_mvc2/

<http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/ALTERACION.pdf>

<https://www.geovirtual2.cl/Geoestructural/gestr04c.htm>

<https://www.ugr.es/~minechil/apartado10.htm>

Hueck, M., Oriolo, S., Dunkl, I., Wemmer, K., Oyhantçabal, P., Schanofski, M., & Siegesmund, S. (2017). Phanerozoic low-temperature evolution of the Uruguayan Shield along the South American passive margin. *Journal of the Geological Society*, 174(4), 609–626. <https://doi.org/10.1144/jgs2016-101>

Konnerup-Madsen, J. (1979). Fluid inclusions in quartz from deep-seated granitic intrusions, south Norway. *Lithos*. 12. 13-23. [10.1016/0024-4937\(79\)90058-6](https://doi.org/10.1016/0024-4937(79)90058-6).

Lillo, J., & Oyarzún, R. (2013). *Geología Estructural Aplicada a la Minería y Exploración Minera*, 206.

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

Lobo, Carlos & Barrios Rivas, Jorge Luis & Campos, Alvis. (2015). Sección: Yacimientos Naturalmente Fracturados y Carbonatos.

Lunar, R.; & Oyarzun, R. (1991). Yacimientos Minerales. Técnicas de estudio - Tipos - Evolución metalogénica - Exploración. Editorial Centro de Estudios Ramón Areces S.A.

MacKenzie, W. and Adams, A. (1997). Atlas en color de rocas y minerales en lámina delgada. Barcelona: Masson.

Mallmann, G., Chemale JR., F., & Morales, L. F. G. (2004). Evolução estrutural da porção sul do Terreno Nico Pérez, Uruguai: registro da convergência entre as placas rio de la plata e Kalahari no final do Neoproterozóico. Revista Brasileira de Geociências, 34(2), 201–212. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.2004342201212>

Masquelin H. (2004) El complejo Cerro Olivo, Sureste de Uruguay: una revisión estratigráfica y tectónica. Actas IV Congreso Uruguayo de Geología, Montevideo.

Masquelin, H., Silva, H., Sánchez, L., Núñez, P., Pascual, S., Muzio, R., Peel, E., & Scaglia, F. (2017). Lithologies, structure and basement-cover relationships in the schist belt of the Dom Feliciano Belt in Uruguay. Brazilian Journal of Geology, 47(1), 21-42.

Masquelin, H. (2006). El Escudo Uruguayo. In: M. Ubilla & G. Veroslavsky (eds) Cuencas Sedimentarias de Uruguay, geología, paleontología y recursos minerales: Paleozoico. Montevideo, Uruguay: DIRAC, Fac. Ciencias. 3. 37-106.

Melgarejo, J. C., Proenza, J. A., Galí, S., & Llovet, X. (2010). Técnicas de caracterización mineral y su aplicación en exploración y explotación minera. Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana, 62(1), 1–23. <https://doi.org/10.18268/BSGM2010v62n1a1>

Núñez, P., Sánchez, L., & Masquelin, H. (2018). Revista Investigaciones HISTORIA DE LA GEOLOGÍA PRECÁMBRICA DE URUGUAY: 1(2), 1–16.

Oriolo, S., Oyhantçabal, P., Wemmer, K., Basei, M. A. S., Benowitz, J., Pfänder, J., & Siegesmund, S. (2016). Timing of deformation in the Sarandí del Yí Shear Zone, Uruguay: Implications for the amalgamation of western Gondwana during the Neoproterozoic Brasiliano-Pan-African Orogeny. Tectonics, 35(3), 754–771. <https://doi.org/10.1002/2015TC004052>

Oriolo, S., Oyhantçabal, P., Wemmer, K., Heidelbach, F., Pfänder, J., Basei, M. A. S., ... Siegesmund, S. (2016). Shear zone evolution and timing of deformation in the Neoproterozoic transpressional Dom Feliciano Belt, Uruguay. Journal of Structural Geology, 92, 59–78. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2016.09.010>

Oyhantçabal P., Siegesmund S., Wemmer K., Presnyakov S., & Layer P. (2009) Geochronological constraints on the evolution of the southern Dom Feliciano Belt (Uruguay). Journal of the Geological Society. 2009;166(6):1075-1084.

Oyhantçabal P., Spoturno J., & Loureiro J. (2007) Caracterización geológica de las rocas paleo proterozoicas de la región Centro Sur del Uruguay (Terreno Piedra Alta-Cratón del Río de la Plata). In: Actas V Congreso Uruguayo de Geología.

Felipe Paullier Soler

Geología y mineralización

Aurífera “El Tarumán” (Pirarajá, Lavalleja).

Oyhantçabal, P., Siegesmund, S. & Wemmer, K. (2010). The Río de la Plata Craton: a review of units, boundaries, ages and isotopic signature. *International Journal of Earth Sciences*, 100(2-3), pp.201-220.

Oyhantçabal, P., Siegesmund, S., Wemmer, K., Frei, R. & Layer, P. (2007). Post-collisional transition from calc-alkaline to alkaline magmatism during transcurrent deformation in the southernmost Dom Feliciano Belt (Braziliano–Pan-African, Uruguay). *Lithos*, 98(1-4), pp.141-159.

Oyhantçabal, P., & Vaz N. (1990) Una asociación de cuarcitas y rocas máficas y ultramáficas en los alrededores de Isla Patrulla, Treinta y Tres, Uruguay. In: *Primer congreso Uruguayo de Geología*, vto 1. Montevideo, pp 137-144

Oyhantcabal, P., Siegesmund, S & Wemmer, K. (2011). The Río de la Plata Craton: A review of units, boundaries, ages and isotopic signature. *International Journal of Earth Sciences*. 100. 201-220. 10.1007/s00531-010-0580-8.

Preciozzi F., Basei MAS., & Masquelin H., (1999) New geochronological data from the Piedra Alta Terrane (Rio de la Plata Craton). In: *II South America Symposium on Isotope Geology*, Córdoba, pp 341-343.

Preciozzi F., Spoturno J., & Heinzen W. (1979) Carta geo-estructural del Uruguay, escala 1: 2.000.000. Instituto Geológico Ing. Terra Arocena, Montevideo 62 pp.

Preciozzi, F., & Fay, A. (1986). Geological map of Uruguay Esc 1:100.000. Fotoplano Pirarajá (F-23).

Riedel, W., (1929). Zur Mechanik Geologischer Brucherscheinungen. *Zentral-blatt fur Mineralogie, Geologie und Paleontologie B*, 354–368.

Silva L, H. (2016). Magmatismo básico mesozoico en la región de Polanco - Manguera Azul.

Thompson AJB, & Thompson JFH (eds) (1996) Atlas of alteration - A field and petrographic

UME Informe Inédito

http://spanish.orosur.ca/explorations/southern_uruguay_gold_exploratio/presidente_terra/index.php?content_id=46&page_number=1&mode=print

Vaz, N., Pirelli, H., & Oyhantcabal, P. (1985). Geología a escala 1/10.000 en los alrededores de Isla Patrulla. Ministerio de Industria Energía y Minería, Dirección Nacional de Minería y Geología, Montevideo.

Veroslavsky, G., Ubilla, M. & Martínez, S. (2004): Cuencas sedimentarias de Uruguay. Montevideo, Uruguay: DI. R.A.C.

Woodcock, N., & Fischer, M., 1986. Strike-slip duplexes. *Journal of Structural Geology*, Vol. 8, No. 7, pp. 725-735.

www.prenader.gub.uy

Felipe Paullier Soler