



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

GEOLOGÍA, ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN AURÍFERA EN EL PROYECTO SAN ANTONIO, FRANJA CHAÑARCILLO, REGIÓN DE ATACAMA

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

MARÍA CAROLINA DÍAZ VERGARA

PROFESOR GUÍA:
BRIAN TOWNLEY CALLEJAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
CESAR ARRIAGADA ORTEGA
CARLOS PALACIOS
DAVID HOPPER

Este trabajo fue financiado parcialmente por Minera Hochschild Chile SCM

SANTIAGO DE CHILE
NOVIEMBRE 2012

Resumen

En la presente memoria se exponen los resultados de los primeros estudios de exploración del Proyecto San Antonio, que consta de un mapeo estratigráfico y estructural distrital con el fin de determinar relación entre los procesos de deformación con la alteración y mineralización de Au presente en la zona. El área de estudio se encuentra ubicada a 38 kilómetros al Sur de la Ciudad de Copiapó, Comuna de Tierra Amarilla y forma parte de la Franja Metalogénica Ferrífera.

Las rocas calcáreas en las cuales se encuentra hospedado el depósito constituyen la parte superior de la Formación Nantoco, depositadas en un contexto de cuenca de trasarco, bajo un régimen extensivo en el Cretácico Inferior. Estas rocas corresponden principalmente a Calizas y calizas margosas de grano muy fino, levemente laminadas y de alto contenido en carbonato de calcio.

Las estructuras reconocidas en la zona corresponden a un anticlinal y fallas de alto ángulo, las cuales son un reflejo de las estructuras regionales. Estas estructuras han sido interpretadas mediante un modelo de inversión de cuenca que produce una superposición de estilos estructurales y geometrías normales a inversas, procesos y estructuras que facilitaron ascenso de magmas y la circulación de fluidos.

La alteración hidrotermal en San Antonio se concentra en un cuerpo jasperoideo de hematita-jarosita. La mineralización consiste en Au micrométrico, posiblemente relacionado con arsenopirita y pirita arsénica, diseminado en el cuerpo jasperoideo y en el pórfido dacítico en contacto con este cuerpo.

Se concluye que la mineralización en el Proyecto San Antonio carece de un control estratigráfico importante, pero sin embargo presenta un marcado control estructural. Por otra parte debido a sus características, el depósito en cuestión muestra similitudes importantes con los depósitos tipo Oro hospedado en sedimentos carbonáticos (roca caja, alteración y mineralización). Finalmente se propone que la mineralización ocurre posterior a los 90 Ma. en un contexto de procesos de inversión tectónica (compresión). Los criterios de exploración distrital se basarían en la búsqueda de estructuras compresivas complejas generadas por la superposición de estilos estructurales.

*Porque me mostraste el camino y sin
tu apoyo nada de esto hubiese sido
posible...*

Para mi gran compañera... mi madre.

Agradecimientos

A Minera Hochschild Chile y a todo su equipo de trabajo por darme la posibilidad de hacer mi memoria en uno de sus proyectos, financiarla y facilitarme todo lo necesario para poder realizarla.

A mi familia (mamá, Tía Alicia, Nory, Tía Chabe, tía Mena, Yayo, Montse, Jacque, Paulina, primos, tíos y Lua), que me han acompañado y aguantado durante todo este proceso. En especial quiero agradecer a mi madre por creer en mí y por brindarme su apoyo incondicional.

A Juan Espinoza por haber sido (y aun ser) un pilar importante en mi formación.

A mi pololo Luciano por la compañía, el cariño y la comprensión.

A los señores Brian Townley, Cesar Arriagada y David Hopper profesores miembros de la comisión por el tiempo y las conversaciones que guiaron este trabajo.

A todo el laboratorio de Tectónica y Paleomagnetismo de la U, en especial a el Pana y el Lucho por su gran colaboración y ayuda en la parte estructural, mapa, imagenes, etc.

A los profesores F. Hervé, L. Aguirre, M. Vergara, J. Le Roux y V. Maksaev, por compartir sus conocimientos e ideas durante el desarrollo de este estudio.

A Blanca, Don Carlos, Vero, Rosita y Kilo por la buena disposición y la gran ayuda entregada.

A mi querido atletismo por haber llenado gran parte de mi vida. Por enseñarme que para lograr un objetivo es necesario tener disciplina y constancia. Y finalmente por darme la posibilidad de conocer a muchas personas, muchísimos lugares y grandes amigos (Ljubi, Dani Lohaus, Feña, Maca, Muño, Pauli).

A mis entrenadores, importantes en mi formación como atleta y persona: Gloria Cortés, Richard Quezada y Carlos Moreno.

A los innumerables compañeros de geología que tuve, en especial a la PANDILLA por los buenos momentos y los emocionantes partidos de taca.

Y a todos los amigos que de una u otra manera estuvieron presente.

Índice de contenidos

I. Introducción	1
1.1 Antecedentes del proyecto San Antonio	1
1.2 Formulación del estudio Propuesto	3
1.3 Objetivos de trabajo	8
1.4 Metodología	8
1.5 Ubicación y accesos	10
II. Marco geológico	12
2.1 Unidades estratigráficas	12
2.2 Unidades Intrusivas	15
2.3 Estructuras	16
2.4 Recursos minerales	17
2.5 Alteración y mineralización	17
2.6 Geoquímica	18
III. Geología del Proyecto San Antonio	20
3.1 Estratigrafía	20
3.1.1 Formación Nantoco	21
3.1.1.1 Unidad Nantoco inferior	21
3.1.1.2 Unidad Nantoco superior	24
3.1.1.3 Unidad Brecha Nantoco	26
3.1.2 Formación Totoralillo	27
3.1.3 Interpretación	30
3.2 Unidades Intrusivas	31
3.2.1 Intrusivo Gabrodiorítico de olivino	32
3.2.2 Intrusivo Diorítico de anfíbola	32
3.2.3 Intrusivo Diorítico	34
3.2.4 Pórfido Dacítico	34
3.3 Estructura	37
3.3.1 Análisis estadístico de los datos	38
3.3.2 Descripción de las estructuras	43
3.3.2.1 Dominio Oeste	44
3.3.2.2 Dominio Este	47
3.3.3 Esfuerzos principales	49
3.3.4 Modelo Estructural	51
3.3.4.1 Inversión tectónica	51
3.3.4.2 Interpretación	52
3.3.4.3 Perfil estructural	53
IV. Alteración Hidrotermal y Mineralización	57
4.1 Alteración Hidrotermal	58
4.2 Mineralización	63
V. Discusión	64
5.1 Control estratigráfico sobre la mineralización	64
5.2 Control estructural sobre la mineralización	64
5.3 Importancia del Pórfido Dacítico	67
5.4 Modelo Metalogénico	68

5.4.1	Depósitos de Oro hospedados en Sedimentos Carbonáticos	68
5.4.2	San Antonio y Depósitos de oro diseminado hospedado en rocas sedimentarias	72
5.4.3	Génesis	74
VI.	Conclusiones	76
6.1	Recomendaciones	77
VII.	Referencias	78
VIII. Anexo I	(Tabla de datos)	84
IX. Anexo II	(Mapa San Antonio 1:5000)	96

Indice de Tablas

Tabla 1: Concentraciones de Oro por litología

63

Índice de imágenes

Figura 1: Localización metalogénica del proyecto	7
Figura 2: Imagen Quick Bird del área de estudio	10
Figura 3: Ubicación y accesos	11
Figura 4: Columna estratigráfica Grupo Chañarcillo	14
Figura 5: Mapa (Arévalo, 2005), Marco Geológico	19
Figura 6: Disposición Subunidad Nantoco inferior 1	22
Figura 7: Disposición Subunidades Nantoco inferior 2 y 3	23
Figura 8: Afloramiento Unidad Nantoco superior	25
Figura 9: Afloramiento lutita calcárea	25
Figura 10: Afloramiento Unidad Brecha Nantoco	26
Figura 11: Afloramiento Formación Totoralillo	27
Figura 12: Columna estratigráfica Proyecto San Antonio	28
Figura 13: Mapa de la litología del Proyecto San Antonio	29
Figura 14: Distribución de los intrusivos en el área	31
Figura 15: Afloramiento Intrusivo diorítico	33
Figura 16: Disposición Intrusivo dacítico	35
Figura 17: Cortes transparentes de las unidades intrusivas	36
Figura 18: Datos y estructuras en la zona de estudio	37
Figura 19: Diagrama de polos	38
Figura 20: Diagrama de roseta	39
Figura 21: Diagrama de densidad de polos	40
Figura 22: Densidad de polos separado por dominios	41
Figura 23: Dominios estructurales	42
Figura 24: Estructuras en Unidad Nantoco	43
Figura 25: Anticlinal San Antonio	45
Figura 26: Falla Tres Amantes	46
Figura 27: Anticlinal simétrico	47
Figura 28: Faja plegada y corrida	48
Figura 29: Estructuras en Mina San Antonio	49
Figura 30: Dirección de esfuerzos principales	50
Figura 31: Esquema de inversión tectónica parcial	52
Figura 32: Mapa geológico Proyecto San Antonio	53
Figura 33: Datos estructurales dispuestos en el perfil	54
Figura 34: Calizas manteando fuertemente	55
Figura 35: Método Kink	55
Figura 36: Perfil	56
Figura 37: Distribución de la mineralización	58
Figura 38: Cuerpo jasperoideo	59

Figura 39: Esquema de la zonación del Jasperoide	60
Figura 40: Falla Tres Amantes y alteración	61
Figura 41: Alteración en el Pórfido dacítico	62
Figura 42: Corte transparente de alteración en el Pórfido dacítico	62
Figura 43: Modelo de emplazamiento de intrusivos	65
Figura 44: Espacios en las charnelas de los anticlinales	66
Figura 45: Modelo de estilos de mineralización en arcos magmáticos	69
Figura 46: Perfil de depósitos de Au hospedado en sedimentos	70

I. Introducción

En este trabajo se presentan los resultados de un estudio geológico-estructural de un área dentro del distrito Bonete, esto enmarcado en una campaña de exploraciones.

El área de estudio corresponde al proyecto Aurífero San Antonio que se ubica en el cuadrángulo comprendido entre 6933000-6935000 coordenada N y 366000-368000 coordenada E (PSAD 56, UTM zona 19S, datum La Canoa). Esto es aproximadamente 38 kilómetros al sur de la ciudad de Copiapó, comuna de Tierra Amarilla, Región de Atacama, Chile. Los antecedentes geológicos se presentan en la hoja de Los Loros de la Carta Geológica de Chile de escala 1:100.000.

El proyecto San Antonio, actualmente parte de la cartera de proyectos de Minera Hochschild Chile SCM, comprende dos propiedades mineras (Tres Amantes y San Antonio) que en su totalidad abarcan una superficie algo inferior a los 4 kilómetros cuadrados.

La zona ha sido explotada a pequeña escala en el pasado, esto debido a su mineralización aurífera en dos pequeñas minas que llevan el nombre de las propiedades, Tres Amantes y San Antonio. En estas se observan labores tanto en superficie como subterráneas, donde se explotaron estructuras del tipo subvertical y mantiformes que contienen oro diseminado. Estas dos minas forman parte del Distrito Bonete junto con Mantos de la Rosa, Bonete I, Bonete II, entre otros (Fig. 1).

A nivel distrital existen variadas manifestaciones minerales. Sin embargo las de mayor connotación corresponden a los depósitos tipo IOCG emplazados en la franja cretácica, siendo la de mayor importancia, mina Candelaria. Otro tipo de ocurrencia mineral destacada al sur de la propiedad corresponde al distrito argentífero de Chañarcillo.

1.1. Antecedentes del Proyecto San Antonio

La información geológica disponible de la propiedad es escasa, el único plano geológico al cual se puede tener acceso data del año 1940, que fue realizado por Héctor Flores. Este corresponde a los antecedentes más antiguos que se encuentran disponibles. En él han sido levantadas 3 unidades, correspondientes a las secuencias calcáreas de Chañarcillo, un pórfido y una unidad de porfiritas.

Posteriormente Robert Schnell en el 2011, describe los tipos litológicos y los rasgos estructurales mayores que controlan la mineralización en el área. En

esta descripción, él menciona que la mineralización identificada en Tres Amantes-San Antonio corresponde claramente a una mineralización tipo mantiforme, relativamente concordante a las secuencias cretácicas de la Formación Nantoco.

Con respecto a los rasgos estructurales mayores de la propiedad menciona a dos fallas paralelas entre sí y al cuerpo mineralizado. La falla al este de la propiedad correspondería al denominado "Cabalgamiento Cerrillos". Schnell propone que estas estructuras funcionarían como canales para circulación de fluidos y la consecuente alteración y mineralización. Además señala que el plegamiento que afecta a este corredor estructural deformaría el manto, pero no sería un elemento estructural canalizador de los fluidos. Schnell, también reconoce dos tipos de intrusivos, una dacita y un "pórfido con ojos de cuarzo".

En los reportes internos de Minera Hochschild realizados entre Enero y Marzo de 2012 por el geólogo Álvaro Muñoz, se describió detalladamente la alteración y mineralización de las labores antiguas del Proyecto San Antonio. El autor describe un cuerpo de jasperoide mineralizado tabular de entre 0,5 y 1,5 metros de potencia con manto promedio entre 20°-25° SE. También, reconoce una zonación litológica y de alteración.

Los resultados de muestras geoquímicas de roca recolectadas en labores antiguas demostraron anomalías de contraste positivo para Au en el intrusivo y en las calizas (zona de manto).

De acuerdo a la información histórica entregada a Minera Hochschild Chile los antecedentes de exploración y estimación de recursos en estas propiedades datan desde 1940. A continuación se presenta un resumen de dichos antecedentes, sin embargo, no existe o no están disponibles los datos, certificados o informes originales al momento de realizar este trabajo.

- Martín Romero realiza una evaluación de recursos de Tres Amantes en 1940, considerando un cuerpo mineralizado con geometría tipo lentes. La evaluación arroja un recurso de 91.754 TM con una ley media de 15.28g Au/TM.
- Sierra Morena entre los años 1981 y 1982 lleva a cabo un programa de levantamiento geológico y geoquímico, buscando blancos con potencial de 1.000.000oz Au. Ellos concluyeron que el área no tiene el potencial buscado por la empresa.
- Cyprus Minera de Chile ejecuta un reconocimiento geoquímico del cual la única información que se tiene es que estos estudios arrojaron dos zonas con anomalías de contraste positivo por Au.

- En 1992, S.C.M. Carola desarrolla una evaluación de recursos de la propiedad. La estimación incluyó: Desmontes 6.000 TM con ley media de 1.18 g Au/TM, Mineral in-situ 10.000 TM con ley media de 1.4 g Au/TM y recursos por 50.000 TM con ley media de 1.0 g Au/TM.
- En 1994, Vector Mining realiza trabajos indicando la existencia de un manto inferior estimando un potencial para Tres Amantes de 2-3 millones de toneladas con ley media de 4-5 g Au/TM.
- En 1996 la Minera Santa Fe Pacific Chile ejecuta una campaña de tres sondajes de aire reverso, totalizando 620 m. La información de los logueos, geoquímica realizada, secciones geológicas e informes de recopilación e interpretación de datos no están disponibles. Tampoco existe acceso a las muestras de roca obtenidas. Sin embargo, se sabe que como parte de esta misma etapa de trabajos Nicolae Pop realiza una actualización de recursos, estimando un recurso hipotético total de 688.300 TM con ley media entre 1-5 g Au/TM.
- S.C.M. Carola en el año 2009 completa 5 líneas geofísicas este-oeste de resistividad y cargabilidad en la propiedad. De estas líneas se obtuvo 5 secciones y 5 plantas hechas con interpolación de datos y cada 100 metros de profundidad, desde el nivel de afloramiento hasta los 400 metros. Aun así, esta información no está completa, solo se tiene el resultado gráfico de los datos en papel y no los datos con los que se llevó a cabo dicho trabajo.
- En febrero de 2011, Robert Schnell llevó a cabo una evaluación de Tres Amantes - San Antonio. En ese momento estimó reservas probables de 12.000.000 TM con ley media entre 3 y 6 gr Au/TM e infirió recursos de 38.000.000 TM con ley media entre 1 y 6 gr Au/TM.

1.2. Formulación del estudio propuesto

El estudio propuesto responde a la primera etapa de exploración de Minera Hochschild Chile en el Proyecto San Antonio, el cuál consta de mapeo estratigráfico, estructural y de alteración hidrotermal en un área de 2x2 Km (Fig. 2). Este estudio se realizó con la finalidad de definir guías de exploración para las siguientes etapas.

De acuerdo al contexto geotectónico, entre el Jurásico Superior y el Cretácico Inferior, el margen occidental de Sudamérica estuvo sometido a un régimen extensional (Ramos, 2009). Esta extensión dio lugar a una estructura regional conformada por cuencas extensionales en todo el margen. En Chile dichas cuencas se encuentran como una franja de rumbo N-S desde Taltal

hasta Talca en forma casi continua, conteniendo unidades de sucesiones estratificadas del Cretácico Inferior (Morata, 2008).

En términos generales, las litologías de estas sucesiones están caracterizadas por una unidad mayormente volcánica, que aflora hacia el límite oeste de la franja, y rocas predominantemente sedimentarias y volcánicas aflorando hacia el margen este (Aguirre, 1985; Vergara y Nyström, 1996).

En particular en la región de Copiapó, los depósitos marinos de la segunda subetapa del Ciclo Andino corresponden al Grupo Chañarcillo desde fines del Valanginiano hasta mediados del Aptiano (Segerstrom & Parker 1959), el cual se interdigita al oeste con los depósitos volcánicos y volcanoclásticos del Grupo Bandurrias (Segerstrom, 1968; Jurgan, 1977; Arévalo 1995, 2005). Las calizas del Grupo Chañarcillo han sido consideradas una sedimentación carbonática somera de la cuenca marina de trasarco de Atacama, desarrollada en el Cretácico Temprano (Marschik y Fontboté, 2001). Los depósitos inferiores del Grupo Chañarcillo transgresivamente sobreyacen a la Formación Punta de Cobre caracterizada por rocas volcánica-volcanoclástica de edades comprendidas entre el Jurásico Superior y principios del Valanginiano (Segerstrom & Ruiz 1962). Los mismo autores asignaron el origen de las volcanitas de la Formación Punta de Cobre al arco magmático, que se encontraba hacia el oeste de la cuenca. A su vez el Grupo Chañarcillo fue cubierto de manera discordante por la Formación Cerrillos, que es de origen continental con edad desde fines del Cretácico Inferior hasta el Cretácico Superior (Segerstrom, 1960; Segerstrom & Ruiz, 1962; Moscoso et al. 1982a). En la región de Copiapó, los depósitos ricos en fósiles del Grupo Chañarcillo fueron divididos en cuatro formaciones, de base a techo denominadas como Abundancia, Nantoco, Totalillo y Pabellón (Tavera, 1956; Segerstrom, 1960; Segerstrom & Parker, 1959; Corvalán, 1974; Jurgan, 1977a, b; Pérez et al., 1990; Mourgues, 2004; Arévalo, 2005a, b). A continuación se describen las características de cada formación.

La Formación Abundancia representa la transgresión marina de fines del Valanginiano, asociada con el episodio tectónico extensional que forma la cuenca de trasarco. Esta formación está constituida de lutitas y arcosas de color gris, fuertemente laminadas y que lateralmente pasan a la Formación Nantoco. Esta última formación representa a la plataforma calcárea desarrollada en el límite del Hauteriviano-Barremiano, caracterizada en su parte inferior por lutitas y margas grises, y en su parte superior, constituida por evaporitas y brechas calcáreas que indican un episodio regresivo (Marschik y Fontboté, 2001).

La Formación Totalillo consiste en margas laminadas con nódulos de chert e intercalaciones volcanoclásticas. Finalmente, la Formación Pabellón representa la parte superior de la cuenca, que comprende calizas masivas y

areniscas marinas culminando con areniscas continentales. El descubrimiento de un fragmento de Parahoplites en este nivel indica una edad de mediados del Aptiano para el periodo de regresión en la cuenca (Pérez et al., 1990). La inversión de la Cuenca (Jurásico Superior a Cretácico Inferior) en esta región resulta en deformación intensa de los sedimentos que rellenan la cuenca.

En el contexto regional la estructura de mayor relevancia corresponde al Cabalgamiento Cerrillos. De vergencia oeste, este pone en contacto rocas del Grupo Bandurrias, al oeste, con rocas del grupo Chañarcillo, al este, y posiblemente corresponde a la reactivación de una falla extensional que participó en el desarrollo de la cuenca (Cabalgamiento Cerrillos en la región de Copiapó; Arévalo, 1995; Arévalo, 2005). Además Arévalo y Mpodozis (1991) sugieren que el Cabalgamiento Cerrillos separaría al Grupo Chañarcillo en dos unidades tectónicas, entre Nantoco y Totoralillo. Esta estructura se extiende por 65 kilómetros y mantendría una traza sinuosa con dirección general NNE, que coincide con la base de un nivel de brechas calcáreas yesíferas y calizas macizas, deformadas en pliegues decamétricos. La génesis de las brechas calcáreas fueron definidas por Cisternas y Díaz (1990) como de origen sedimentario (brechas de colapso por disolución subaérea), sin embargo, Arévalo y Mpodozis (1991) mencionan que es probable que su origen esté ligado, al menos en parte, a la deformación mencionada.

Por otro lado, estudios recientes de la deformación de la cuenca de Chañarcillo realizados por Martínez (2012) propone, que la deformación estaría principalmente representada por un anticlinal de eje NNE denominado "Anticlinal de Tierra Amarilla", asociado con la inversión de la falla Elisa de Bordos. Además propone que dicha inversión de la cuenca es cercana a la Fase de deformación Andina K-T y que la inversión tectónica es el mecanismo fundamental de deformación, lo que habla de la gran importancia que tendría el sistema extensional del Mesozoico en la evolución del Norte de Chile.

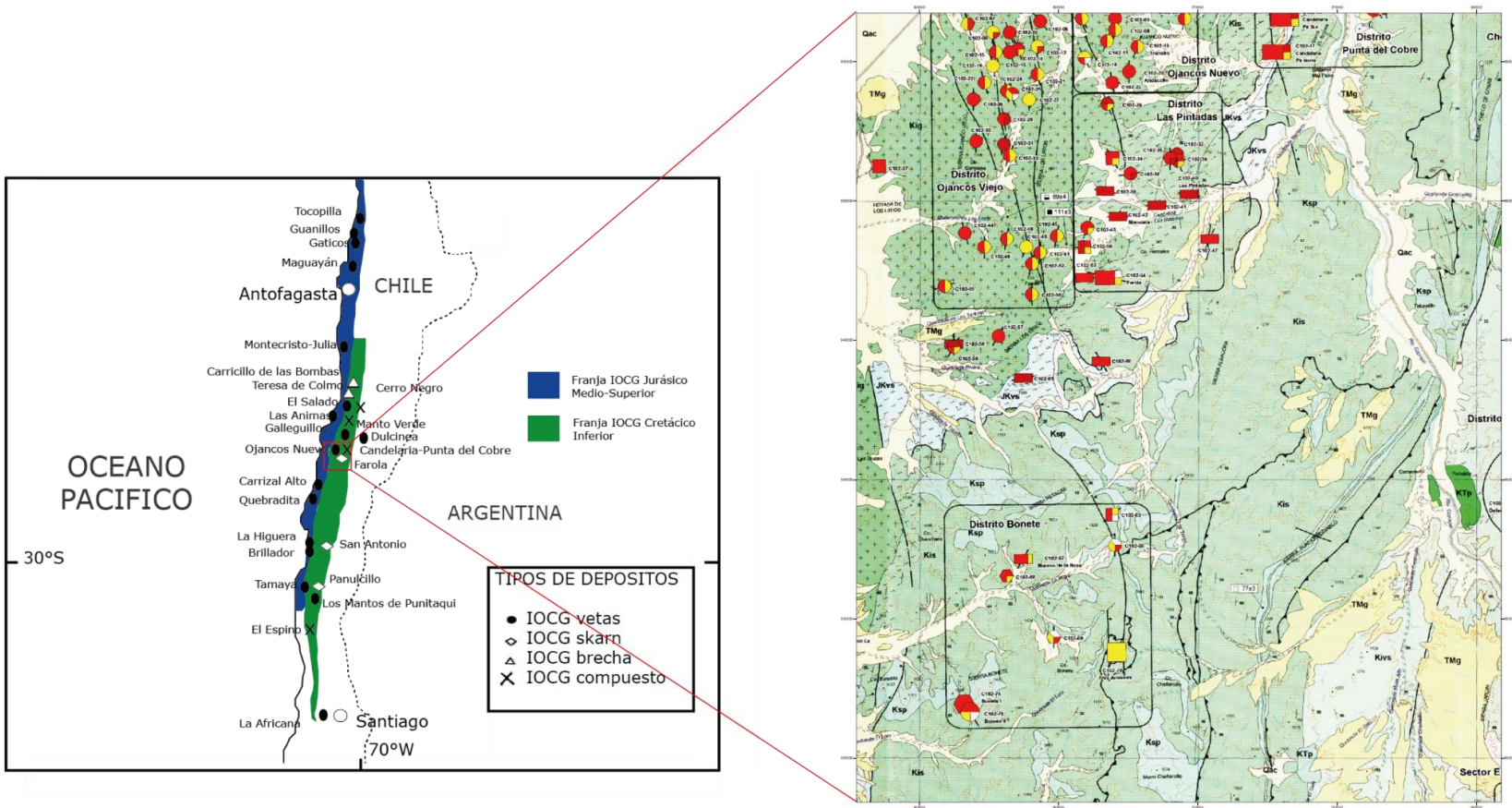
Hacia el este, el Grupo Chañarcillo es deformado por estructuras con vergencia este y oeste que responde a varios episodios de deformación de contracción-extensión (Arévalo, 1995; Arévalo, 2005; Iriarte et al. 1996).

Como se menciona anteriormente el objeto de este estudio se concentra en el Proyecto San Antonio, que se encuentra ubicado dentro de la Franja Metalogénica del Cretácico. Esta franja también llamada el Cinturón Ferrífero de Chile, se extiende a lo largo de la Cordillera de la Costa (Fig. 1), donde las rocas del Cretácico Inferior hospedan depósitos metalíferos. Los tipos de yacimientos encontrados en esta franja son 2 principalmente, depósitos IOCG y los de Fe (magnetita-apatito).

Los depósitos de cobre-oro asociados con óxidos de Fe (IOCG) están caracterizados por mineralización en vetillas, cuerpos de brecha, en forma de lentes o tabulares, stockwork y cuerpos mantiformes de Cu-Au con ganga de óxidos de Fe (Marschik y Fonboté, 1996; Marschik et al. 1997; Sillitoe, 2003). Este tipo de depósitos han tomado relevancia en Chile luego del descubrimiento de los yacimientos Candelaria y Mantos Verdes (Ryan et al., 1995; Vila et al., 1996). Otros de menor tamaño en la misma franja corresponden a los del distrito Punta del Cobre (Marschik y Fontboté, 1996).

Los depósitos de Óxidos de Fe - apatito contemplan más de 40 depósitos ubicados en el Cinturón Ferrífero de Chile. Este cinturón se extiende aproximadamente por 600 Km a lo largo de la Cordillera de la Costa desde los 25° a los 32°S (Ménard 1995; Espinoza 1990), pero solo los depósitos de Los Colorados, El Algarrobo y Romeral se encuentran en explotación. Estos depósitos se ubican en el segmento de más al sur de los dominios del Sistema de Falla de Atacama, descrita como el sistema de falla de rumbo siniestral más importante de la región, que se extiende por más de 1000 Km a lo largo de la Cordillera de la Costa en el norte de Chile. Esta deformación se desarrolló entre el Jurásico y el Cretácico Inferior como una falla de intrarco relacionada con la subducción oblicua de la placa de Aluk (Boric et al. 1990; Scheuber & Andriessen 1990).

En el sector del Proyecto San Antonio existen variadas manifestaciones minerales, siendo las más cercanas los depósitos tipo IOCG Mina Candelaria y Mina Farola. Otra ocurrencia mineral destacada se encuentra al sur de la propiedad y corresponde al distrito argentífero de Chañarcillo.



A

B

Figura 1; A: Localización de la franja metalogénica ferrífera y la distribución de los depósitos IOCG en Chile. Modificado de Sillitoe (2003).
 B: Se muestran los depósitos minerales presentes en la zona y sus respectivos distritos. En particular la imagen se centra en el distrito Bonete, al cual pertenece el Proyecto San Antonio. Modificado de Yacimientos Metalíferos de la Carta Los Loros (1998).

1.3. Objetivos de trabajo

El objetivo general es el estudio y comprensión de la distribución de alteración y mineralización aurífera, y su correspondiente control estructural y/o estratigráfico. De esta manera se pretende definir guías para las siguientes etapas de exploración en el Proyecto San Antonio. Para cumplir con esto se definen los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar en detalle (1:5000) las unidades de calizas e intrusivos de la zona de estudio, tanto en característica y tipo como distribución espacial.
- Definir el estilo estructural de la zona a través de una sección geológico-estructural.
- Identificar y caracterizar la alteración hidrotermal y mineralización en el sector de las Minas San Antonio y Tres Amantes.
- Determinar la relación entre las estructuras, los cuerpos intrusivos y la alteración-mineralización.

1.4. Metodología

Para lograr los objetivos específicos planteados para este estudio se llevó a cabo el trabajo en 3 etapas. Una primera etapa consistió de trabajo de oficina, después un trabajo realizado en terreno y finalmente recopilación y procesamiento de los datos en gabinete.

El trabajo de oficina previo consistió en la recopilación de material bibliográfico a nivel regional y antecedentes más detallados del proyecto, además de información sobre ubicación y accesos. También en esta etapa se estableció la escala a la cual trabajar (1:5.000), mediante el análisis de la imagen Quickbird (Fig. 2), con la cual se prepararon imágenes a escala 1:2.500 y 1:5.000 georreferenciadas con ArcGis para la utilización en terreno.

En una segunda instancia, se realizó el trabajo de terreno, la que consistió en dos partes principales, una primera de reconocimiento de un área mas extensa y una segunda de toma de datos y muestras de roca en el área de mayor interés.

En la fase de reconocimiento se abarcó un área de 2x4 Km², realizando 3 secciones W-E, de manera sistemática llevando a cabo levantamiento de datos estructurales y mapeo de las calizas, cuerpos intrusivos y alteración. Estas secciones se recorrieron a lo largo de las coordenadas Norte 6934600, 6933250 y 6932000. Cada sección tiene una largo de 2 kilómetros en planta,

y en la coordenada Este desde 366000 a la 368000, de igual manera para los tres perfiles. Con los datos de estas tres secciones, integrado con las observaciones en terreno se obtuvo una idea aproximada y general del contexto estructural y estratigráfico.

A partir de esto, se decidió seguir con la segunda parte que consistió en dos campañas de terreno en las cuales se concentro el trabajo en el área de mayor interés (Fig. 2), donde se reconocieron unidades estratigráficas e intrusivas, se levantaron datos de rumbo y manto de las calizas, con lo que se realizó un mapa geológico 1:5.000. Además se recolectaron muestras de rocas tanto de las calizas como de los intrusivos para cortes transparentes.

Finalizada la etapa de terreno se comenzó con el trabajo de gabinete. Dentro de las labores realizadas en esta etapa se llevaron a cabo cortes transparentes de los 4 cuerpos intrusivos más importantes del sector. El reconocimiento y descripción petrográfica se realizó utilizando microscopio polarizado, donde se obtuvieron imágenes representativas de los mismos. Para las rocas calcáreas se realizó una descripción macroscópica mediante la cual se pudo caracterizar unidades y subunidades en detalle, con lo que se confeccionó una columna estratigráfica.

Además, se llevó a cabo un mapa final a mano y luego la digitalización de este con el programa ArcGis. Los datos estructurales se analizaron estadísticamente mediante el programa Dips y Stereonet 7 obteniendo diagramas necesarios para el entendimiento de los datos recolectados. Luego, se confeccionó un perfil que corta el centro del área de orientación ONO-ESE digitalizado con el programa AdobeIllustrator 5, donde se integraron las observaciones en terreno y el modelo estructural.

Finalmente, con la integración de los datos propios de este trabajo, y la informa proporcionada por los reportes internos de la compañía realizados por el geólogo Álvaro Muñoz, se discutió sobre los controles geológicos de la alteración y mineralización para poder caracterizar que tipo de depósito puede corresponder el proyecto San Antonio.

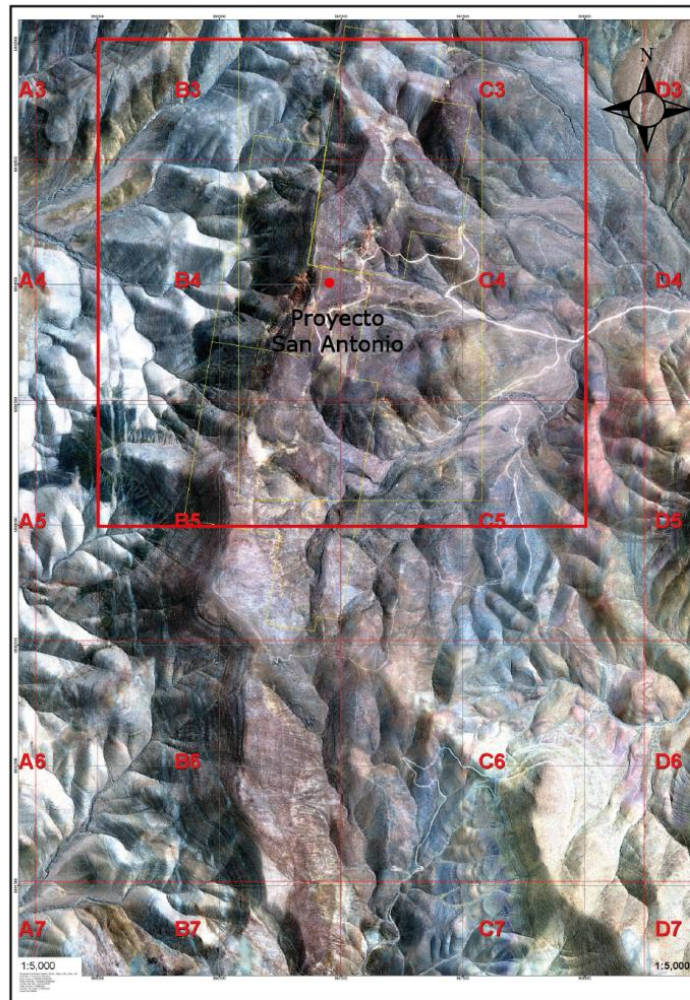


Figura 2: Imagen Quick Bird del área de estudio que se utilizó en este trabajo, donde se observa encerrado en rojo el área de mapeo y se destaca la ubicación de Proyecto San Antonio. Escala 1:5.000

1.5. Ubicación y accesos

El proyecto se encuentra localizado en la Tercera Región de Atacama, Provincia de Copiapó, Comuna de Tierra Amarilla, aproximadamente 38 km al sur de la ciudad de Copiapó (Fig. 3). Su centro se ubica en 6.934.000N y 367.000E (PSAD 56, UTM zona 19S, datum La Canoa).

El acceso principal a la propiedad se realiza a través de la ruta C-411 (Fig. 3), la cual conecta la ruta 5 con la ruta C-35, denominada ruta Tierra Amarilla – Nantoco . En el kilómetro 12 de la ruta C-411 se toma camino de tierra en buenas a regulares condiciones en dirección sur. El proyecto se encuentra a 16 km de este último desvío.



Figura 3: Figura de Chile con un acercamiento a la III Región de Atacama, donde se destaca la ubicación del Proyecto San Antonio y su Acceso por la carretera C-35 y C-411.

II. Marco Geológico

El Proyecto San Antonio se encuentra ubicado en la Precordillera de Copiapó, en rocas de las formaciones calcáreas marinas del Grupo Chañarcillo (Valangiano al Aptiano) que afloran en una franja noroeste, con potencias entre 1700 a 2000 m (Corvalán, 1974; Arévalo, 1994, 1995). Las rocas del Grupo Chañarcillo representan depositación en un ambiente de cuenca de trasarco desarrollada entre el Jurásico Superior y Cretácico Inferior. Este Grupo sobreyace a la formación volcánica, volcanoclástica y epiclástica continental Punta del Cobre.

En particular el Proyecto San Antonio se encuentra hospedado en rocas calcáreas pertenecientes a la parte superior de la Formación Nantoco, subunidad del Grupo Chañarcillo (Fig. 4).

2.1 Unidades Estratigráficas

Formación Nantoco (Kin; Hauteriviano)

Secuencia monótona de calizas griess de 800 a 1200 metros de potencia, que sobreyace de manera concordante a la Formación Abundancia y subyace de igual manera a la Formación Totalillo (Fig. 4).

Litología: Segerstrom y Parker (1959) dividen la formación en dos miembros. El Miembro Inferior (Kin 1) está formado por 600 a 1000 metros de calcilitas y calcilitas limosas, en capas de 10 a 80 cm de espesor, lateralmente muy continuas, con trazas de *Thalassinoide*, especialmente hacia la parte media inferior de la secuencia. El Miembro Superior (Kin 2) es lateralmente muy continuo, alcanza 200 m de potencia y está formado por calcilitas negras finamente laminadas y calcarenitas amarillentas. Desde el río Copiapó hacia el norte, las rocas de este horizonte se encuentran muy plegadas, brechizadas y forman un solo paquete deformado, generalmente concordante con la estratificación.

Morgues (2007) definió esta formación como una secuencia regresiva depositada en el límite Hauteriviano-Barremiano, formada por un conjunto de parasecuencias progradantes compuestas de calizas de plataforma de algas calcáreas y laminaciones paralelas. El nivel más bajo de brecha tectónica, de unos 20 m de potencia, es el resultado de la deformación frágil - dúctil de calizas con alfombras de algas y evaporitas. Esto se termina con una inmersión lo que provocó la excavación de grandes bolsas cársticas que intersectan tanto la secuencia de la plataforma de caliza y la brecha tectónica. Además, para el final del primer ciclo en el Hauteriviano superior, El mencionado autor reconoce dos secuencias en la parte superior de la Formación Nantoco (SNS1 y SNS2). El último de los depósitos corresponde a

una regresión marina. Esta regresión es responsable de la excavación de cavidades cársticas profundas ocupados por brechas synsedimentarias y selladas por margas transgresivas de un ciclo siguiente.

El estilo estructural de esta formación fue definido por Arévalo (2005), quien describe pliegues son asimétricos de magnitud métrica a decamétrica y vergencia al oeste. Las brechas son clastosoportadas y se componen de fragmentos de calcilitas laminadas, internamente deformados en micropliegues tipo "chevron", en una matriz yesífera. Este nivel de pliegues y brechas es interpretado como el frente de deformación producido durante la propagación de una falla intraestratal de dimensión regional ("Despegue Cerrillos"). El material evaporítico de la matriz de las brechas es indicador que el despegue habría explotado horizontes menos competentes, desplazando la sección superior del Grupo Chañarcillo (formaciones Totoralillo y Pabellón) por sobre su sección inferior (formaciones Abundancia y Nantoco).

Edad: En calcilitas gris oscuro pertenecientes a esta formación en la quebrada Meléndez, se han recolectado ejemplares de amonites del Hauteriviano Superior (Segerstrom, 1960; Corvalán, 1974). Mourgues (2001) describe en la parte alta del miembro basal de la secuencia, en la misma quebrada, ejemplares de *Crioceratites (C) schiagintweiti* (Giovine), a los que señala como indicadores del Hauteriviano Superior bajo. La existencia de estos amonites en la parte alta de la formación y la presencia de Valanginiano Superior en la subyacente Formación Abundancia, permite asignar una edad hauteriviana a la Formación Nantoco.

Formación Totoralillo (Kit; Barremiano)

Secuencias de calcilitas de 180 a 300 m de potencia, de buena estratificación y color de meteorización rojizo pálido a amarillento. Este color y su abundante contenido faunístico son característicos de la unidad.

La formación sobreyace de manera concordante a la Formación Nantoco y está cubierta, de la misma manera por la Formación Pabellón (Figs. 4 y 5).

Litología: Las calcilitas forman subsecuencias grano y estrato creciente de calcilitas de laminación plana milimétrica en la base, y calcilitas arenosas macizas con intercalaciones de calcilitas bioclásticas (20-40 cm de espesor) en el techo.

Edad: Sobre la base de los antecedentes más recientes aportados por Mourgues (2001) se le asigna a la Formación Totoralillo una edad barremiana. Mourgues (2001) remuestreó la unidad y describió en una localidad al sureste de la mina Chañarcillo ejemplares de *Crioceratites (Paracrioceras) cf. emerici Léveillé; Acrioceras (A.) aff. taballeri (Astier), Crioceratites aff. tenuicostatum (Thomel); Crioceratites spp.; Shasticrioceras*

cf. *poniente* Anderson y *Shasticriocerasspp.*, conjunto al cual le asignó una edad barremiana inferior. En quebrada Meléndez ejemplares de *Crioceratites (P.) cf. emerici (Léveillé)*, del Barremiano Inferior, y *Sanmartinoceras africanum insignicostatum* Ricardi, Aguirre-Urreta y Medina, del Barremiano Superior.

Cuaternario

En este periodo se incluyen depósitos no consolidados que rellenan quebradas y depresiones topográficas mayores como llano Seco, llano de Los Lirios, llano del Tirado y el valle del río Copiapó. Incluyen depósitos eólicos, aluviales, fluviales, coluviales y de remoción en masa.

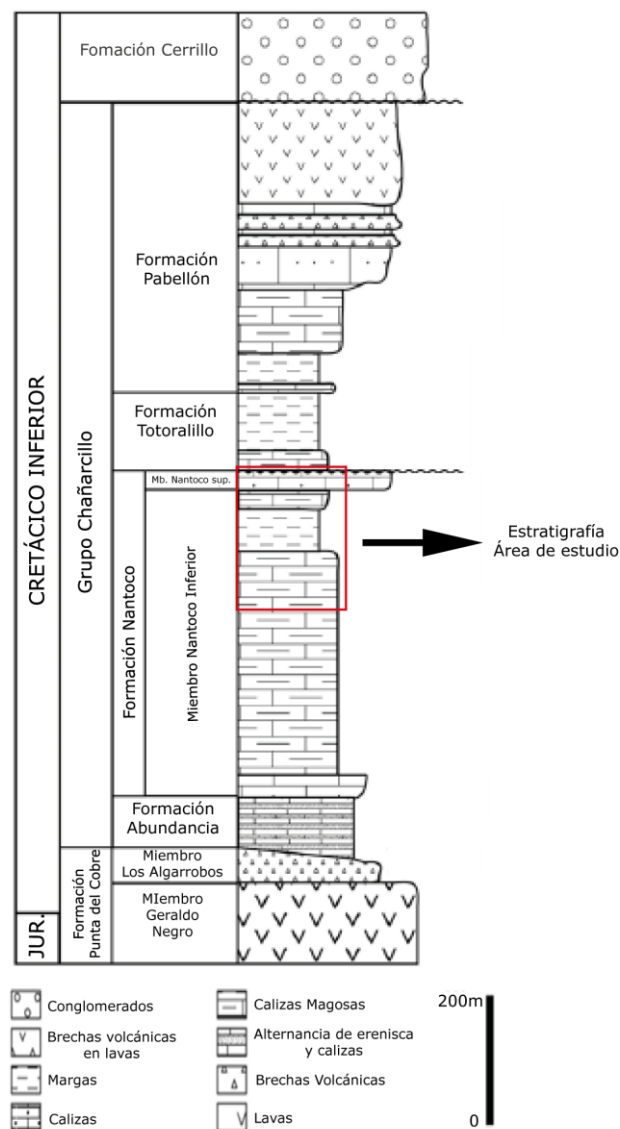


Figura 4: Columna Estratigráfica de la cuenca de Chañarillo, donde se destaca aproximadamente la secuencia de rocas involucradas en este trabajo. Modificado de Mourgues (2007).

2.2 Unidades Intrusivas

Intrusivos hipabisales dioríticos porfídicos de clinopirixeno y olivino (Kihd; Cretácico Inferior alto)

Corresponden a intrusivos de composición intermedia a básica y geometría tabular, que se emplazan como cuerpos concordantes a la estratificación y constituyen filones mantos individuales y enjambres de filones mantos (Fig. 5).

Litología: Pórfidos microdioríticos de clinopiroxeno y olivino y gabros microgranulares de similar mineralogía. Las plagioclasas varían entre andesina y labradorita. En las variedades más finas, la masa fundamental puede presentar textura traquítica. Microscópicamente corresponden a pórfidos con grandes fenocristales tabulares de labradorita en una masa microgranular de microlitos de andesina, clinopiroxenos (augita) y pseudomorfos de olivino, reemplazados por agregados de bowlingita, calcita y minerales opacos (Arévalo, 2005).

Edad: Se le atribuye una edad albiana debido a que intruye calizas barremitanas-aptianas de la Formación Pabellón y a que clastos de ocoítas se encuentran en estratos basales de la Formación Cerrillos de edad albiana-turoniana.

Intrusivos hipabisales dioríticos de anfíbola y clinopiroxeno (Kshd; ca. 98 Ma)

Cuerpos irregulares a pseudoconcordantes, en su mayoría de escasa exposición, que afloran como una franja nornoreste e intruyen rocas de las formaciones Punta del Cobre, Nantoco y Totalalillo (Fig. 5).

Litología: Están compuestos por pórfidos microdioríticos, microdioritas y dioritas de anfíbola y clinopiroxeno. Se presentan generalmente alterados a clorita y actinolita con epidota y calcita ocasionales, lo que produce característico color gris oscuro a verdoso (Arévalo, 2005).

Edad: En la carta los Loros no se cuenta con antecedentes geocronológicos de esta unidad. Sin embargo, se ha observado una dacita de la unidad Kshda intruyendo a un filón manto diorítico Kshd en las nacientes de la quebrada Los Toros. Por esta relación de corte, la edad mínima para esta unidad sería de 89 Ma. Lo anterior concuerda con una edad K-Ar de 98 ± 3 Ma (roca total; Arévalo, datos no publicados) provenientes de un stock, poco alterado, de esta unidad.

Intrusivos hipabisales dacíticos (Kshda 90-86 Ma)

Corresponde a una serie de cuerpos dacíticos hipabisales, filones mantos y diques, de colores blanquecinos, que intruyen en distintos niveles a las formaciones Nantoco, Totalalillo, Pabellón y Cerrillos (Fig. 5).

Litología. Se componen de fenocristales de plagioclasas y hornblenda (de hasta 5 mm) con cuarzo ocasional, en una masa felsítica, la que exhibe alteraciones de tipo argílica y clorítica (Arévalo, 2005).

Edad: En el sector del cerro El Fraile se ha obtenido para una misma muestra una edad de U-Pb de $90,4 \pm 0,5$ Ma (circón) y otra edad $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de $88,5 \pm 0,8$ Ma en hornblendas. En la carta de Copiapo (Arévalo, 2005), en pórfidos dacíticos correlacionables con esta unidad, se ha obtenido una edad K-Ar en hornblendas de 86 ± 5 Ma. Otras edades K-Ar obtenidas en intrusivos similares, al sur oeste de la localidad de Inca de Oro, varían entre 84 y 95 Ma.

2.3 Estructuras

Las estructuras más antiguas están representadas por fallas normales de bajo y alto ángulo. En el flanco Este del valle del río Copiapó, aflora la terminación sur del Despegue Punta del Cobre (falla frágil de bajo ángulo), que despega parcialmente la Formación Nantoco de la subyacente Formación Punta del Cobre (Arévalo, 2005).

Fallas frágiles de alto ángulo y movimiento inverso, con componente siniestral, desplazan las formaciones Punta del Cobre y Nantoco, y retrabajan las milonitas de la Zona de Cizalla Ojancos-La Florida. Estas estructuras forman parte de la Faja Plegada y Corrida de Paipote, el cual es un sistema estructural de tipo flor positiva, enraizado en la Falla de Paipote, el mismo que desplaza y deforma las secuencias del Cretácico Inferior a lo largo de la quebrada Paipote (Carta Copiapó; Arévalo, 2005) y del valle del río Copiapó, generando un anticlinal de escala kilométrica conocido como Anticlinorio de Tierra Amarilla (Segerdrom, 1968). Sin embargo, los estudios posteriores (Martinez et al., 2012) indican que el Anticlinorio de Tierra Amarilla debe su origen al movimiento de la Falla Elisa de Bordos y que la inversión tectónica de fallas extensionales es el factor principal de deformación de los sedimentos que rellenaron la antigua cuenca de trasarco.

El despegue Cerrillos (Fig. 5) se habría formado como un retrocorrimiento intraestratal, durante la propagación hacia el sureste de la Falla Paipote. Más al sur (sierra Punta del Diablo), otro anticlinal asimétrico, contituido por un limbo oriental dispuesto de manera vertical a invertido y un limbo occidental levemente inclinado, afecta a las rocas calcáreas del Cretácico Inferior y a la Formación Cerrillos. Esta mega estructura es interpretada como un anticlinal de inversión producido por la reactivación contraccional de una falla normal preexistente, activa durante la depositación de las rocas calcáreas. La existencia de esta falla normal synsedimentaria es confirmada por el aumento de espesor de la Formación Pabellón y por la existencia de un nivel

de megadeslizamiento sedimentario, que se intercala, también en esta latitud con la Formación Pabellón. Se le asigna una edad Cretácico Superior temprano (93-80 Ma; Árevalo y Grocott, 1997; Árevalo, 1999) que coincide con la fase Peruana de deformación (Coiraet *al.*, 1982).

2.4 Recursos Minerales en la región

El proyecto está ubicado en el dominio metalogénico 2, mencionado en la Carta Los Loros (Árevalo, 2005).

Este dominio está caracterizado por poseer mineralización de cobre, oro, plata y hierro, que se encuentra hospedada en rocas principalmente estratificadas volcánicas y sedimentarias de las formaciones Punta del Cobre y Grupo Chañarcillo.

Los tipos de yacimientos existentes son:

- Vetas de Cu-Fe-Au (Fig.1A).
- Depósitos estratoligados de Cu-Fe±Au.
- Cuerpos irregulares y mantiformes de Fe-Cu.
- Depósitos vetiformes de Cu y Cu-Au-Ag (e.g., distrito Punta del Cobre, mina Candelaria; Fig. 1 A y B).
- Estratoligados de Fe (e.g., minas Manolete y Bandurrias).
- Vetas y mantos de Ag (Distrito Chañarcillo)
- Stockwork, vetas, cuerpos irregulares y estratoligados de Cu-Au±Ag (e.g., mina Santa Teresita).

Edad para la mineralización obtenidas de mina Candelaria y del Distrito Punta de Cobre, da cuenta de dos etapas de mineralización que se superponen. La edad para la primera etapa es de 117-114 Ma y para la segunda etapa de 112-111 Ma (Marschik y Fontboté, 2001 b).

2.5 Alteración y Mineralización

Trabajos anteriores, en particular el de Snell (2011) sugieren una mineralización de oro diseminado tipo mantiforme para las Minas Tres Amantes y San Antonio. El autor describe la mineralización como un "manto" relativamente concordante con las secuencias calcáreas cretácicas y una fuerte lixiviación que afecta a la roca que lo constituyen (protolito). Junto con esto Snell (2011) reconoce estructuras principales, respecto a las cuales postula que las fallas presentes en el sector representan canales de los fluidos que generaron la alteración-mineralización, restandole importancia como canalizador de fluidos al plegamiento existente.

Por otro lado los últimos trabajos disponibles, entre estos Muñoz (2012) describe más detalladamente la alteración hidrotermal, como un cuerpo tabular mantiforme de manto cercano a los 20°SE y que en ocasiones se verticaliza junto con el pórfido dacítico. Propone una zonación para la alteración, donde el pórfido se encuentra en la base, luego un jaseroide de jarosita y en el techo un jaseroide de hematita.

Además el autor menciona que el pórfido dacítico presenta alteración sericitica con sobreimposición de caolinita. Presenta boxwork de jarosita indígena y "fringing" 1-3%. Además contiene stockwork incipiente de jarosita-alunita. Hacia el techo, el pórfido desarrolla silicificación intensa y proto-vuggy. El jaseroide de hematita presenta escasos ojos de cuarzo relicto. Sin embargo, parece ser que la roca original de este jaseroide es una combinación de pórfido dacítico y calizas finas. Presenta óxidos de hierro y pirita fina relicta.

Snell (2011) observó que los intrusivos se encuentran emplazados como cuerpos de sill relacionados espacialmente al manto, también como sill sin relación espacial con el manto y como diques cortando la secuencia. Define finalmente el cuerpo mineralizado como una mezcla de intrusivos y rocas intensamente silicificadas, con un protolito de difícil identificación.

2.6 Geoquímica

La información disponible de la geoquímica corresponde a avances y análisis de las primeras muestras tomadas por Minera Hochschild (Muñoz, 2012) en las labores de las Minas San Antonio y Tres Amantes.

Respecto a la mineralización se concluye que ambas litologías, intrusivo y calizas (zona de manto) presentan anomalías de contraste geoquímico positivo de Au. Estas anomalías se encuentran en muestras de intrusivo cercanas al contacto con el manto. Además los análisis ratifican una escasa a nula presencia de Ag en la zona mineralizada.

Muñoz (2012) realizó un análisis de correlación de elementos de interés, en el cual el Au presenta una buena correlación con Fe y As, y correlación moderada con Mo. Además menciona la existencia de correlación inversa con Cu, Zn y Mn. La buena correlación de Au-Fe en una mena oxidada se puede interpretar como una potencial mena enriquecida por Au secundario. El patrón esperado de distribución de los valores de Au de interés, de acuerdo a las muestras reportadas, estaría en la zona adyacente a la estructura.

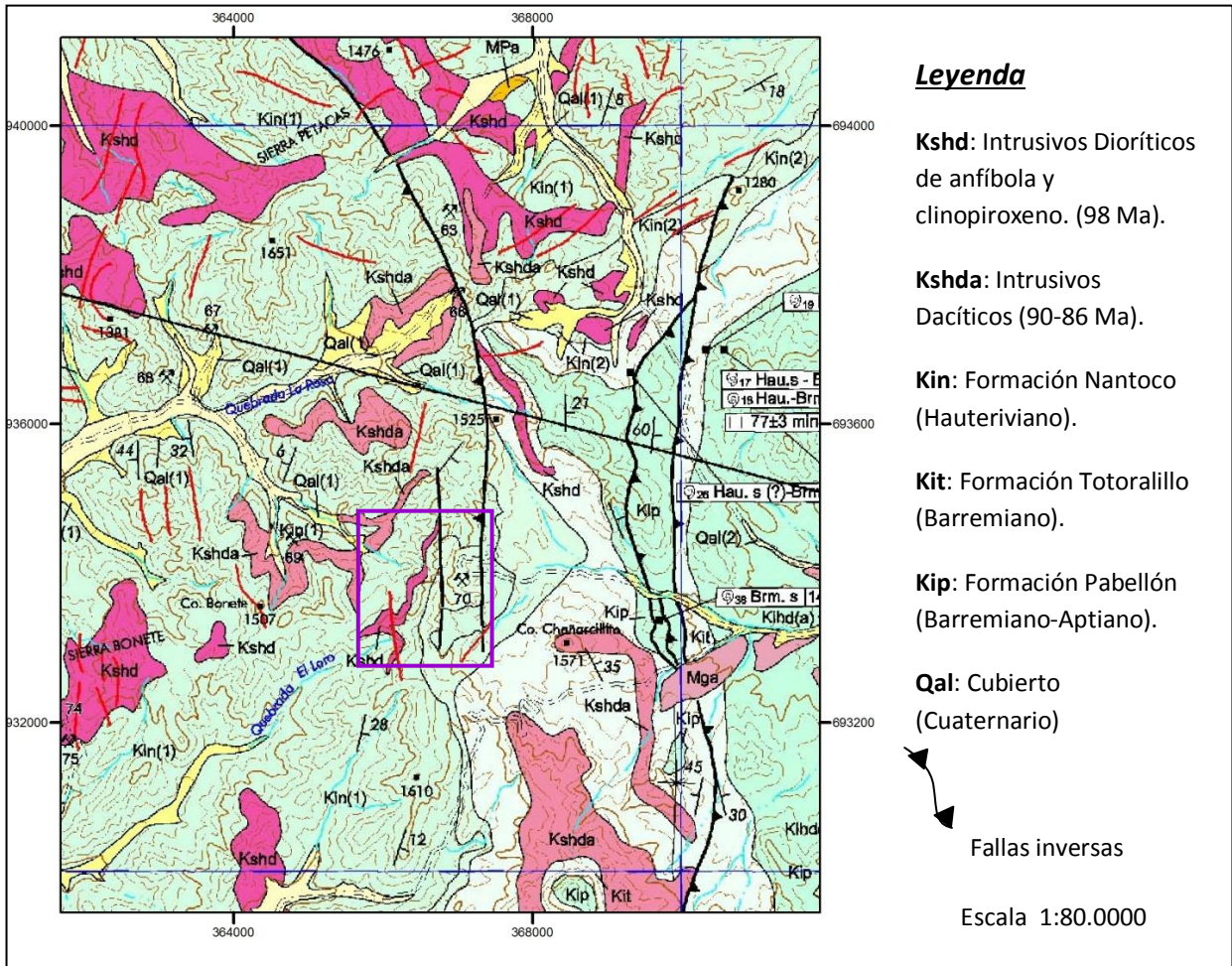


Figura 5: Distribución de las unidades sedimentarias pertenecientes a la Grupo Chañarcillo y unidades intrusivas del Cretácico, presentes en el sector. Se destaca en la imagen, en color morado, la ubicación del área de estudio. Modificado del mapa de Carta Los Loros, Arévalo (2005).

III. Geología del Proyecto San Antonio

Los estudios geológicos de las secuencias calcáreas que hospedan la mineralización en el Proyecto San Antonio datan ya de aproximadamente una centena de años. Es así como Whitehead (1919) definió originalmente la "Formación Chañarcillo", la que posteriormente fue subdividida por Biese-Nickel (1942) en cuatro unidades: "Capas de Abundancia", "Calizas de Nantoco", "Marga de Totoralillo" y "Caliza de Pabellón". Pero no fue hasta unos años después, que Segerstrom y Parker (1959) redefinen estas rocas, esta vez como Grupo Chañarcillo y las unidades antes mencionadas pasaron a ser formaciones. En 1962 Segerstrom y Ruiz incorporaron la Formación Punta del Cobre como unidad basal del grupo, sin embargo, esta incorporación no es muy usada y se prefiere la definida por Segerstrom y Parker (1959). Finalmente en 2005, Arévalo realiza la Carta Los Loros, a escala 1:100.000 del Servicio Nacional de Geología y Minería. Díaz et al. (1998) en Yacimientos Metalíferos de la hoja de Los Loros ubican las Minas Tres Amantes y San Antonio dentro del Distrito metalogénico Bonete.

En esta memoria se realizó un mapeo estratigráfico detallado a escala 1:5.000 (Fig. 13) de una pequeña área que abarca el sector de interés para la compañía.

3.1 Estratigrafía

La estratigrafía del área de estudio corresponde a rocas sedimentarias, principalmente calizas, rocas que se relacionan con el techo de la Formación Nantoco y parte de la base de la Formación Totoralillo, ambas unidades sedimentarias de edad Cretácico Inferior. En el área del Proyecto San Antonio, las secuencias más antiguas afloran al Oeste, con edades progresivamente más nuevas hacia el Este.

Uno de los objetivos de este estudio es definir la posible existencia de controles estratigráficos en la mineralización, por lo cual la escala de mapeo de 1:5.000 permite reconocer diferencias más específicas dentro de las formaciones calcáreas aflorantes en el área. En base a esta caracterización se nombraron unidades o subunidades cuando fue necesario.

Se confeccionó una columna estratigráfica representativa de toda el área (Fig. 12) y las unidades litológicas son descritas a continuación en orden cronológico de más antigua a más nueva.

3.1.1 Formación Nantoco

La mayoría de las rocas que afloran en el área, pertenecen a esta formación. De esta forma, las rocas más antiguas corresponden a la parte superior del Miembro inferior (SNS1) de la formación Nantoco y la totalidad del Miembro superior (SNS2) según definición de Mourgues (2007).

Las rocas estudiadas de la Formación Nantoco se dividieron en tres unidades (Unidad Nantoco inferior, Unidad Nantoco superior y Unidad Brecha Nantoco) en base a sus diferencias de composición. A su vez la Unidad Nantoco inferior fue subdividida en 3 subunidades (subunidades Nantoco inferior 1, 2 y 3), debido a diferencias sutiles en su composición y en su génesis de deposición.

3.1.1.1 Unidad Nantoco inferior

A pesar de que las calizas de esta unidad son homogéneas y de grano muy fino, presentan rasgos característicos que permiten diferenciar subunidades. Dentro de esta unidad se logran reconocer 3 subunidades separadas por diferencias en las características macroscópicas de dureza y meteorización, lo cual indica diferencias en la composición de las mismas.

Disposición y relaciones estratigráficas: Secuencia sedimentaria, en general corresponden a calizas de color gris y calizas margosas, con base no reconocida en el área, por lo que se estima una potencia mínima para esta unidad de 250-300 metros. Subyace a la Unidad Nantoco superior de manera concordante. Sus afloramientos se distribuyen como una franja NNE en el sector oeste del mapa (Fig. 13). En general, todas las subunidades se distribuyen de manera continua, menos la subunidad Nantoco Inferior 2, que presenta un acuñaamiento hacia su límite Norte.

Subunidad Nantoco inferior 1

En esta unidad tanto el color de afloramiento como el de las calizas es de color gris, tiene aspecto masivo, y además se meteorizan en bloques de 50 a 70 centímetros de potencia. Se trata de una caliza más pura comparativamente con el resto de las calizas encontradas en el área, sugerido por su escasa meteorización. En sectores localizados se observa lentes centimétricos con un aumento en el tamaño de grano, llegando a tamaño arena muy fina.

Esta subunidad constituye la base de la unidad Nantoco Inferior, por lo tanto representa las rocas de mayor edad en el área de estudio. Subyace de

manera concordante a la subunidad Nantoco inferior 2 y se estima un espesor mínimo de 100 m.

Esta subunidad está intruida de manera pseudoconcordante por el Intrusivo hipabisal de anfíbola (Fig. 6). Se observa un borde de contacto entre el intrusivo y las calizas con coloración rojiza, en el cual se reconoce un aumento considerable de arcillas y sectores levemente oxidados, y además recristalización a travertino.

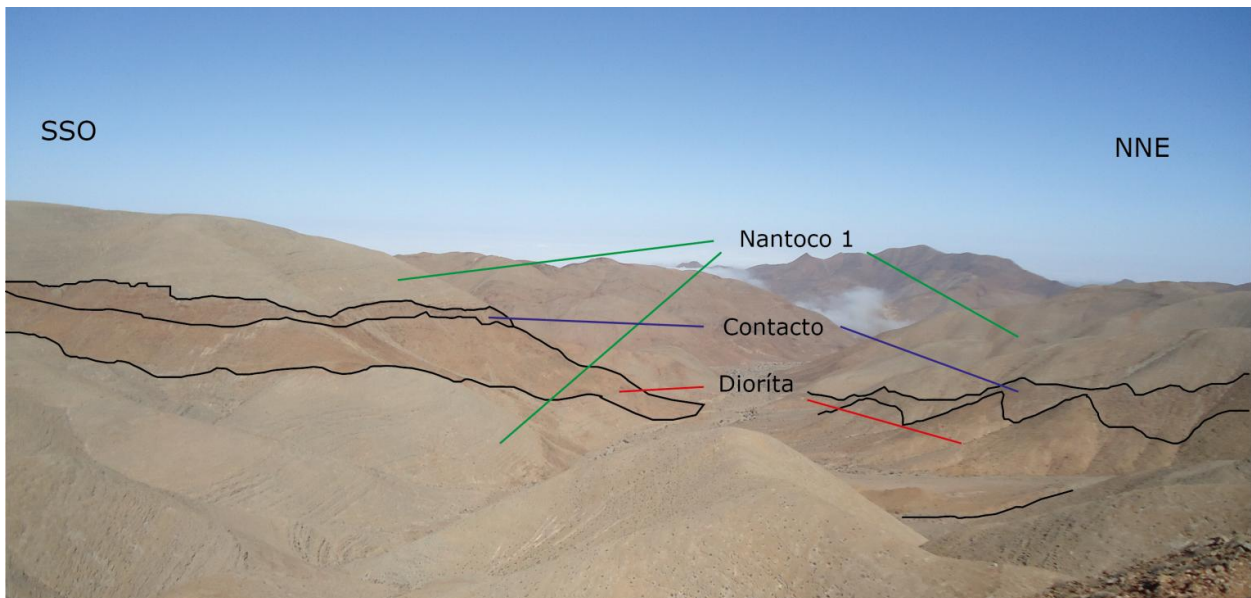


Figura 6: Imagen que muestra la relación estratigráfica entre la Subunidad Nantoco inferior 1 y el Intrusivo Diorítico de anfíbol mirando hacia el Noroeste.

Subunidad Nantoco inferior 2

El color de afloramiento es amarillento y corresponde a calizas de color gris más blandas que la subunidad que las subyace, evidenciado en su forma de meteorización en capas de 10 a 20 cm. Lo anterior indica que estamos en la presencia de una caliza más impura, con mayor contenido de componentes clásticos. Al igual que la subunidad que sobreyace, es masiva, observándose en ocasiones levemente laminada.

Presenta bioturbación de escala milimétrica y subordinada de *diploclaterium parallelum*, rellena con arcillas o arena muy fina.

Esta subunidad no tiene una continuidad lateral, ya que en la parte norte del área estudiada no está presente. En el contacto superior con la Subunidad

Nantoco inferior 3, se emplaza un intrusivo gabrodiorítico de olivino de manera concordante con las capas (Fig. 7).

Subunidad Nantoco inferior 3

Esta Subunidad representa al techo de la unidad Nantoco inferior y sobreyace a las Subunidades Nantoco inferior 1 y 2. Su contacto superior con la Unidad Nantoco Superior es concordante (Fig. 7).

El color del afloramiento es gris claro y corresponde a calizas de color gris masivas con una leve laminación. Son rocas ligeramente más duras que la subunidad que la subyace evidenciado por su meteorización en capas de 10 a 30 cm.

Se reconoce contenido fosilífero de amonites y gastropodos entre su parte media a superior, los que no fueron reconocidos en ninguna de las subunidades que la precedían.

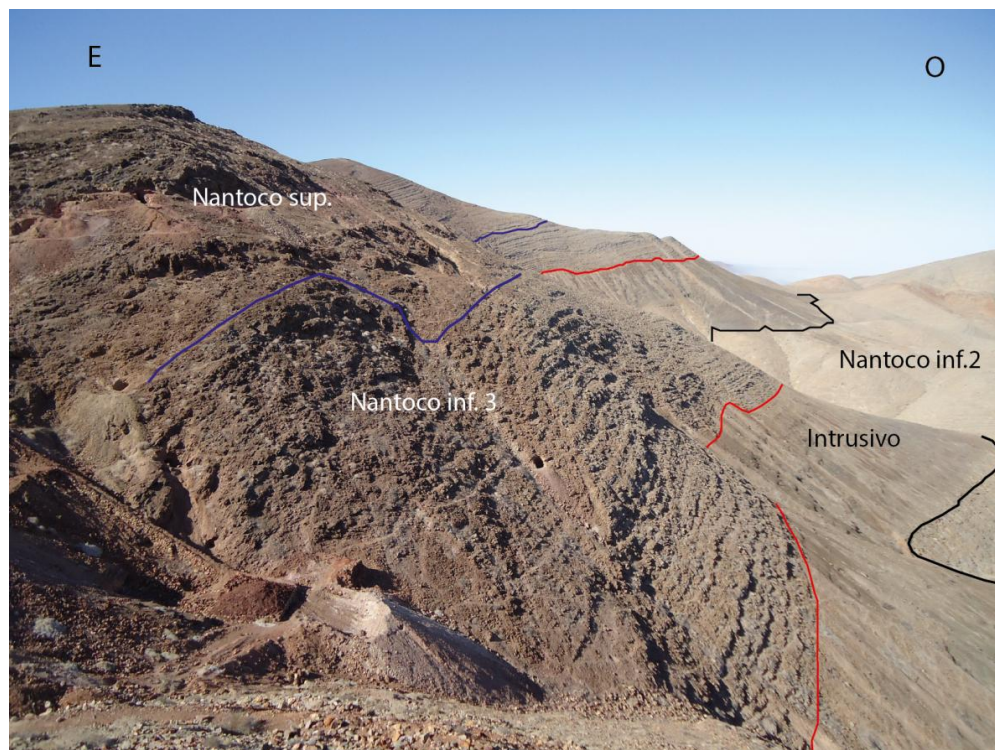


Figura 7: Disposición y relaciones estratigráficas entre la subunidades Nantoco 2 y 3, la Unidad Nantoco Superior y la intrusión gabrodiorítica de olivino.

3.1.1.2 Unidad Nantoco superior

Disposición y relaciones estratigráficas: Esta Unidad se extiende como una franja NNE en la parte central del mapa (Fig. 13). Sobreyace a la Unidad Nantoco Inferior de manera concordante (Fig. 7) y subyace de esta misma forma a la Unidad Brecha Nantoco. A la Subunidad Nantoco superior se le asigna una potencia aproximada de 90 metros.

Litología: Es una unidad caracterizada por una intercalación de calizas margosas de color gris y rojo. La diferencia de color de meteorización responde a un aumento del contenido de material clástico en la caliza roja con respecto a la gris, de manera que estas rocas son más blandas y de color rojizo en zonas meteorizadas. La relación de espesores entre los niveles rojo y gris es variable a lo largo de la secuencia, sin ser observado algún tipo de tendencia (Fig. 8).

A una escala más pequeña se logra reconocer tres secuencias con características distintivas dentro de esta unidad. En la parte central se observa una secuencia con potencia aproximada entre 5 y 10 metros, donde la intercalación de calizas rojas es de laminación muy fina, diferenciándose claramente del resto de la secuencia. Las otras dos secuencias son de potencias inferiores y se ubican en la parte superior de la subunidad. A pesar de ser secuencias no mapeables por su potencia, son descritas porque eventualmente podrían tener alguna importancia como control estratigráfico de la alteración y mineralización. Así, se reconoce unas calizas de color café, la cual es más cristalina y de grano arena fina, presenta pequeñas bandas negras con material orgánico y no se pudo observar bien la laminación debido a una posible recristalización de la roca. Se caracteriza por tener una potencia aproximada de 50 centímetros a 1 metro.

Sobreyaciendo a las calizas café se observan lutitas calcáreas negras de laminación muy fina y muy cristalina de aproximadamente 2 metros de potencia (Fig. 9). El color negro evidencia la presencia de abundante material orgánico al momento de su deposición. No es posible reconocer una continuidad lateral de estas secuencias a lo largo de la unidad, ni tampoco así, la regularidad en su potencia.

Además se reconocen vetillas y vetas de calcita y zonas donde el vetilleo es más intenso. Generalmente estas vetillas presentan una orientación N-S y no superan los 50 centímetros de ancho.



Figura 8: Imagen a escala de afloramiento de la Unidad Nantoco superior, donde se observa claramente la intercalación de las capas de caliza gris y rojo.



Figura 9: Imagen a escala de afloramiento de la capa de lutitas calcáreas negras, muy finamente laminadas.

3.1.1.1 Unidad Brecha Nantoco

Disposición y relaciones estratigráficas: Esta unidad se dispone sobre la Unidad Nantoco superior de manera concordante en todos los afloramientos observados. No se reconoce continuidad lateral para esta unidad.

Se asigna para esta secuencia una potencia mínima aproximada de 30 metros, debido a que se encuentra cubierta el área de contacto entre las brechas y la base de la Formación Totoralillo.

Litología: Corresponden a brechas clasto soportadas que presentan un marcado color café oscuro. La matriz de esta brecha es de arena y bien cementada por carbonatos. Los clastos son principalmente de caliza y de tamaños variables, desde centimétricos a decamétricos (Fig. 10). No se reconoce en terreno ningún tipo de tendencia en el tamaño de los clastos, sin embargo en la base se puede reconocer una capa delgada de brecha fina, homogénea, con clastos de entre 0,5 y 3 centímetros.

Varios de los clastos de la brecha se encuentran cortados por vetillas de calcita, por lo que la formación de la brecha es posterior a estas vetillas.



Figura 10: Imagen a escala de afloramiento de la Unidad Brecha Nantoco, donde se destaca la diferencia en tamaño de los clastos de caliza gris y su matriz de color café.

3.1.2 Formación Totoralillo

Esta formación presenta menos exposición en el área de estudio, y los afloramientos fueron reconocidos como la base de esta la formación.

Disposición y relaciones estratigráficas: Esta unidad aflora en el límite este de la zona y se dispone de manera N-S. Sobreyace a la Formación Nantoco, sin embargo, dicho contacto se encuentra totalmente cubierto en el área y no es observado.

Litología: Corresponde a calizas margosas a margas muy meteorizadas que presentan laminación muy fina (Fig. 11). En afloramiento se observan de distintos colores como amarillo, gris y rojo.



Figura 11: Imagen en la que se muestra la laminación fina de la Formación Totoralillo.

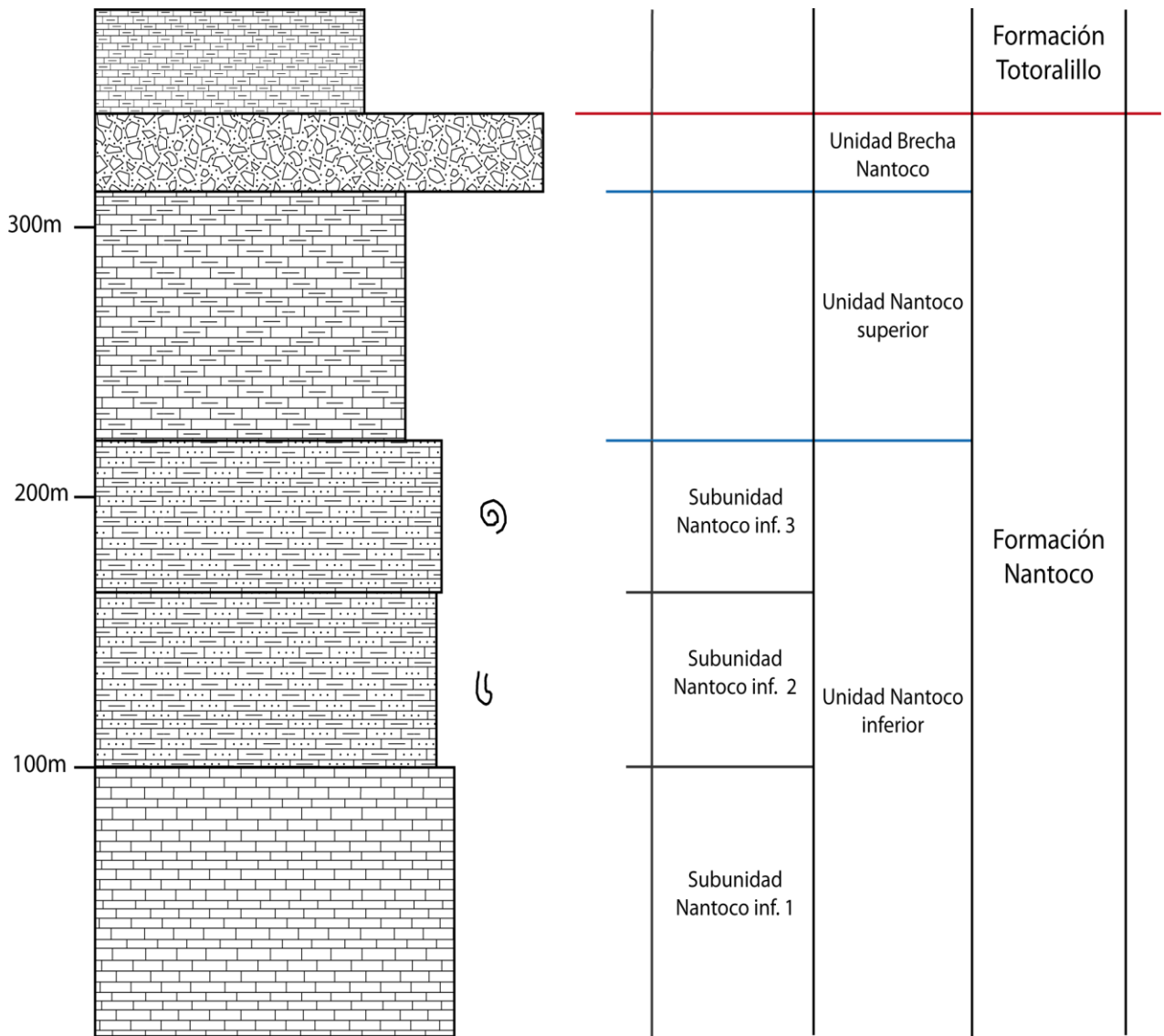


Figura 12: Columna Estratigráfica realizada para el área de estudio, en la cual se muestra claramente la estratigrafía ya descrita y la subdivisión de las formaciones en Unidades y Subunidades.

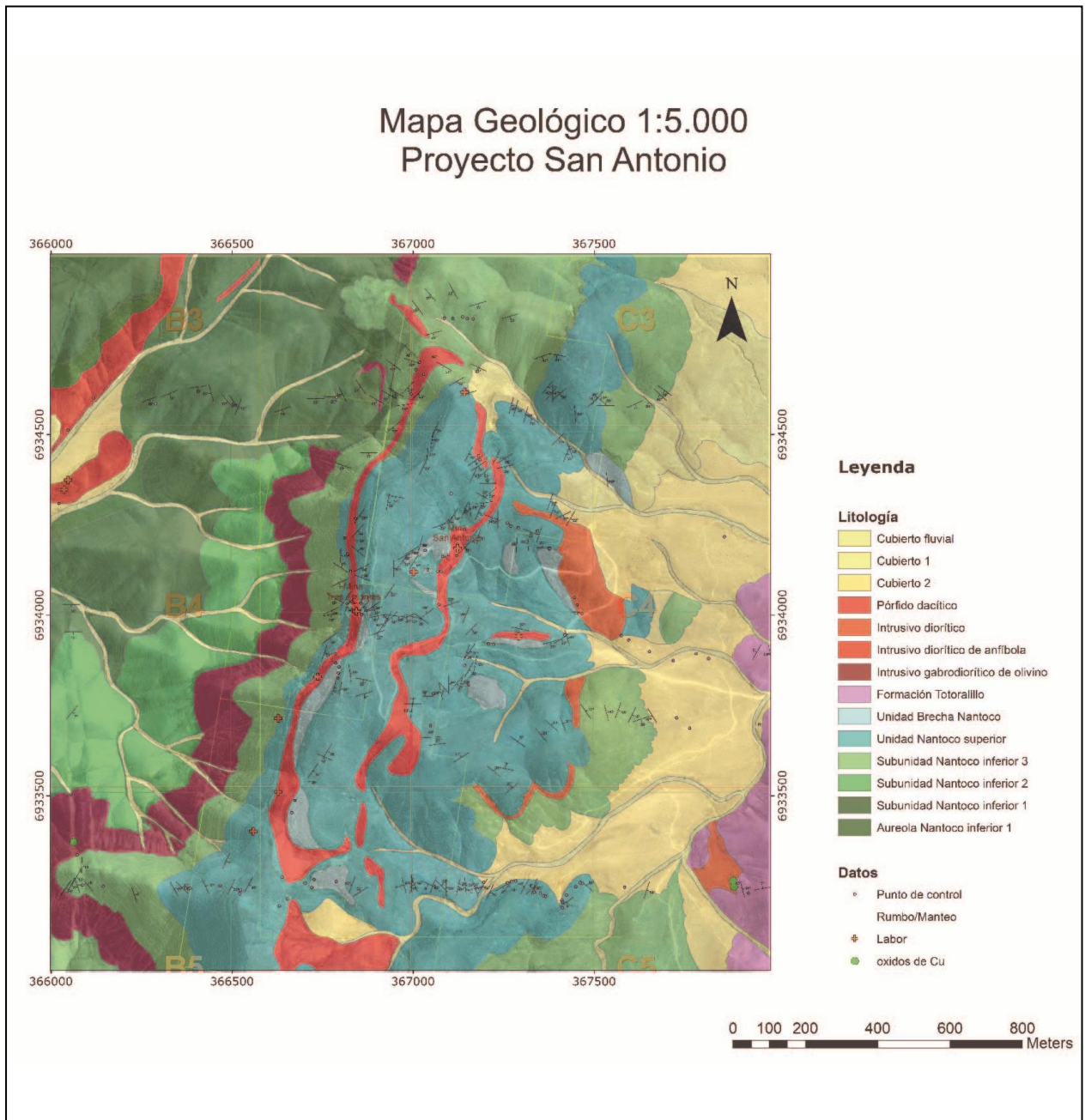


Figura 13: Mapa Litológico del área de estudio. La escala de este mapa es de 1:5000 y comprende un área de 2x2 Kilómetros alrededor del Proyecto San Antonio.

3.1.1 Interpretaciones y Ambiente de deposición

La composición y distribución de las unidades sedimentarias ya descritas dentro del área de estudio, muestran bastantes indicios de como posiblemente fueron depositadas estas rocas.

Dentro de estos indicadores se encuentra la presencia de fósiles de amonites, gastrópodos y bioturbación *diploclaterium parallelum*. Del reconocimiento de este tipo de fauna en las calizas se puede concluir que su deposición ocurrió en un ambiente marino. Además, los fósiles fueron de gran importancia para poder asignar una edad al techo de la Formación Nantoco de Heuteriviana Superior (Seegerstrom, 1960; Corvalán, 1974). Mourgues (2001), citó la presencia de algunos ejemplares que reafirman una edad Heuteriviano superior bajo para el techo de la Formación Nantoco. Estas características se ajustan bastante bien al modelo de formación de cuencas de trasarco en el Cretácico Inferior, una de ellas es al cuenca de Atacama donde se depositó el Grupo Chañarillo.

Las calizas de la Unidad Nantoco inferior, en particular las calizas grises y laminadas de la Subunidad Nantoco inferior 1, serían representativas de una plataforma carbonatada. En la Unidad Nantoco inferior, se observa que la disminución de dureza evidenciada en la meteorización se debe a un mayor aporte clástico hacia el techo. Sobre estas calizas grises, se reconocen calizas margosas y margas directamente de la Unidad Nantoco superior. Dichas margas reafirman una tendencia de aumento en el aporte clástico hacia la parte superior de la formación y por tanto una sedimentación cada vez a menor profundidad.

Es importante mencionar también el reconocimiento de calizas café de grano más grueso y lutitas negras calcáreas de manera discontinua (probablemente lentes) en el techo de la Unidad Nantoco superior. Las lutitas principalmente por alto contenido en materia orgánica, indica que las condiciones de deposición fue en un ambiente anóxico en aguas probablemente estancadas, en pozones o con circulación restringida, que permite la formación de estos lentes.

Estas características indican que la parte superior de la Formación Nantoco representa una posible fase de regresión marina. Esto ya había sido mencionado por Mourgues (2007), el cual en su estudio de la estratigrafía a lo largo de todo el Grupo Chañarillo, describe un evento regresivo para el límite Heuteriviano-Barremiano

El origen de la Unidad Brecha Nantoco no es claro, pero al no ser observada como una capa continua y encontrarse generalmente próxima a las

estructuras principales, es posible que se trate de un origen tectónico ligado al movimiento de fallas durante la formación de la cuenca.

3.2 Unidades Intrusivas

En el área afloran 4 tipos de intrusivos principales dispuestos como diques y filones manto intruyendo las secuencias calcáreas (Fig. 14).

Se llevo a cabo un trabajo con cortes transparentes de muestras de los 4 intrusivos, para poder obtener una descripción más detallada de la mineralogía, tanto primaria como de alteración (Fig. 17). A continuación, se describen en orden cronológico los intrusivos.

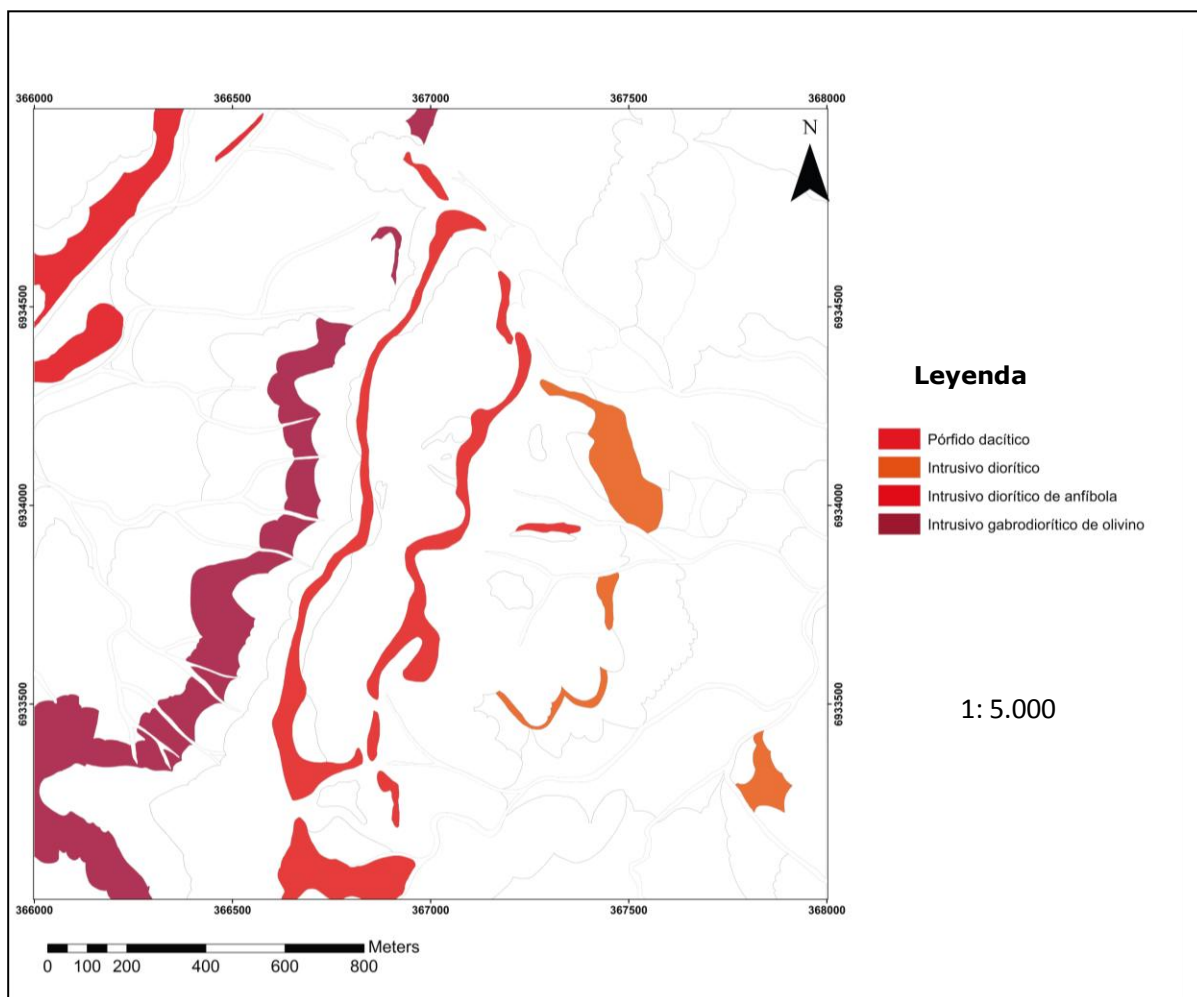


Figura 14: Imagen en la que se destacan la distribución y disposición de los intrusivos presentes en el área de estudio. Escala 1:5.000.

3.2.1 Intrusivo Gabrodiorítico de olivino

Disposición y relaciones estratigráficas: Este cuerpo intrusivo se presenta con una disposición NNE-SSO ligeramente al oeste en la zona de estudio (Fig. 14). Su ocurrencia es pseudoconcordante con la estratigrafía en el contacto entre las subunidades Nantoco inferior 2 y 3 (Fig. 7).

Litología: En afloramiento se observa de un color gris-verdoso muy oscuro, macroscópica de textura porfírica fina. Se aprecian fenocristales de minerales máficos solo bien reconocidos al microscopio. Por su textura de masa fundamental muy fina se clasifica como un intrusivo hipabisal.

Dentro de su mineralogía primaria se reconocen fenocristales de pseudomorfos de olivino y plagioclasas. La masa fundamental esta compuesta por microcristales de plagioclasas principalmente. Debido al reconocimiento de los pseudomorfos de la mineralogía primaria, y especialmente a la presencia de los ferromagnesianos como el olivino, es que se puede establecer una composición muy básica para esta roca. Al microscopio presenta textura Ofítica (Fig. 17 C y D).

En la mineralogía de alteración, se reconoce clorita reemplazando casi totalmente los pseudomorfos de olivinos y en vetillas. Los microcristales de plagioclasas de la masa fundamental se encuentran alterados a filosilicatos. Además, se observó cuarzo secundario en vetillas, pirita diseminada y arcillas, como esmectita alterando los olivinos y plagioclasas.

Anteriormente este intrusivo había sido mapeado como Intrusivos hipabisales dioríticos de anfíbola y clinopiroxeno Kshd por Arévalo (2005). Sin embargo, tanto la mineralogía como la yacencia en forma de filón manto, nos permite asignar esta unidad a los Intrusivos hipabisales dioríticos porfídicos de clinopiroxeno y olivino Kihd, correspondientes al Cretácico inferior alto.

3.2.2 Intrusivo Diorítico de anfíbola

Disposición y relaciones estratigráficas: Este intrusivo es el de mayor área aflorante en el sector de estudio, y tiene ocurrencia en la parte Noroeste. Intruye a las calizas de la subunidad Nantoco 1 en forma concordante. Además forma una aureola de contacto en los carbonatos de color rojizo (y posible presencia de travertino), tanto en el contacto inferior como en el superior. La extensión regional de esta unidad es mayor que lo que se abarca en este trabajo (Figs. 6 y 14).

Litología: En afloramiento la roca se observa de un color amarillento y de grano fino. Presenta diaclasamiento y se logra reconocer textura porfírica (Fig. 16).

La mineralogía primaria presenta textura porfírica con ocurrencia de pseudomorfos de plagioclasas y anfíbolos como fenocristales inmersos en una masa fundamental silicatada de grano muy fino, donde no es posible reconocer minerales. Debido a su textura se clasifica como un intrusivo hipabisal (Fig. 17 E y F).

Respecto a la mineralogía de alteración se observa sericita, como alteración de plagioclasas principalmente, clorita (color azulado, indica un mayor contenido de Fe) alterando a las anfíbolos, y cuarzo que en ocasiones se ve dentro de los pseudomorfos de anfíbolos. También se observa arcillas de manera subordinada.

De acuerdo con la mineralogía descrita y el tipo de roca, este intrusivo se relaciona con los llamados Intrusivos hipabisales dioríticos de anfíbola y clinopiroxeno Kshd definidos para la zona (Arévalo, 2005) y se asigna de esta manera una edad aproximada de 98 Ma.



Figura 15: Imagen que muestra la vista de afloramiento de el Intrusivo Diorítico de anfíbola.

3.2.3 Intrusivo Diorítico

Disposición y relaciones estratigráficas: Este intrusivo posee una menor extensión de afloramiento y se manifiesta en el sector este de la zona de estudio. En ocasiones se lo observa intruyendo de manera concordante a la estratificación entre el contacto de las unidades Nantoco inferior y superior, y en otras cortando la secuencia de calizas margosas de la Unidad Nantoco superior.

Litología: En afloramiento el intrusivo se observa de un color gris amarillento y fuertemente meteorizado.

Dentro de la mineralogía primaria se encuentran fenocristales de plagioclasas principalmente, y en menor medida anfíbolos y biotitas inmersos en una masa fundamental microcristalina probablemente de plagioclasas.

En la mineralogía de alteración se observa calcita, sericita y arcillas de manera subordinadas.

De acuerdo con la mineralogía descrita y el tipo de roca, este intrusivo se relaciona con los llamados Intrusivos hipabisales dioríticos de anfíbola y clinopiroxeno Kshd descritos para la zona (Arévalo, 2005) y se asigna de esta manera una edad aproximada de 98 Ma.

3.2.4 Pórfido Dacítico

Disposición y relaciones estratigráficas: Este pórfido se observa intruyendo como dique y ocasionalmente pseudoconcordante con la estratigrafía, se presenta en dos cordones en disposición N-S tanto hacia el lado este como oeste en el centro de la zona de trabajo. Es el único cuerpo intrusivo que ocurre en las minas Tres Amantes y San Antonio, intruyendo a la Unidad Nantoco superior (Fig. 15).

Litología: En afloramiento se observa de color blanquecino, presenta en muchos de ellos ojos de cuarzo y fuerte alteración. La mineralogía primaria se reconoce como pseudomorfos y su textura es porfírica. Por su textura de fenocristales en una masa fundamental, sugiere un emplazamiento hipabisal.

Dentro de esta mineralogía primaria se reconocen mega-fenocristales de plagioclasas, presentando maclas y zonación, biotitas, pseudomorfos de anfíbolos y cuarzo. Todos estos excepto el cuarzo, presentan un alto grado de alteración y están inmersos en una masa fundamental muy fina de agregado félsico, probablemente plagioclasas (Fig. 17 A y B).

En la mineralogía de alteración se observa clorita alterando las anfíbolas y biotitas. También se encuentra sericita diseminada como alteración de feldespatos y en microvetillas. Calcita y arcillas se aprecian principalmente en relleno de espacios, aunque la presencia de arcillas es de forma ocasional.

Se relaciona por su mineralogía con los cuerpos intrusivos descritos para la zona, llamados Intrusivos hipabisales dacíticos Kshda, siendo así se le asignó una edad de 90-86 Ma (Arévalo, 2005).

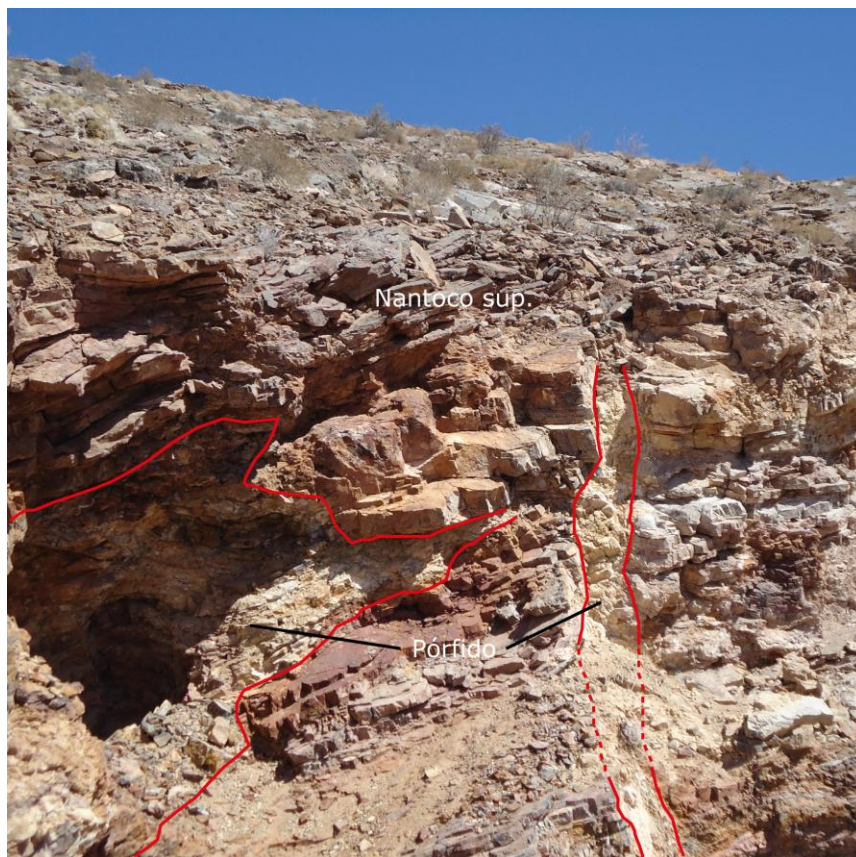


Figura 16: En la Imagen se muestran a escala de afloramiento la intrusión del Pórfido Dacítico a la Unidad Nantoco superior.

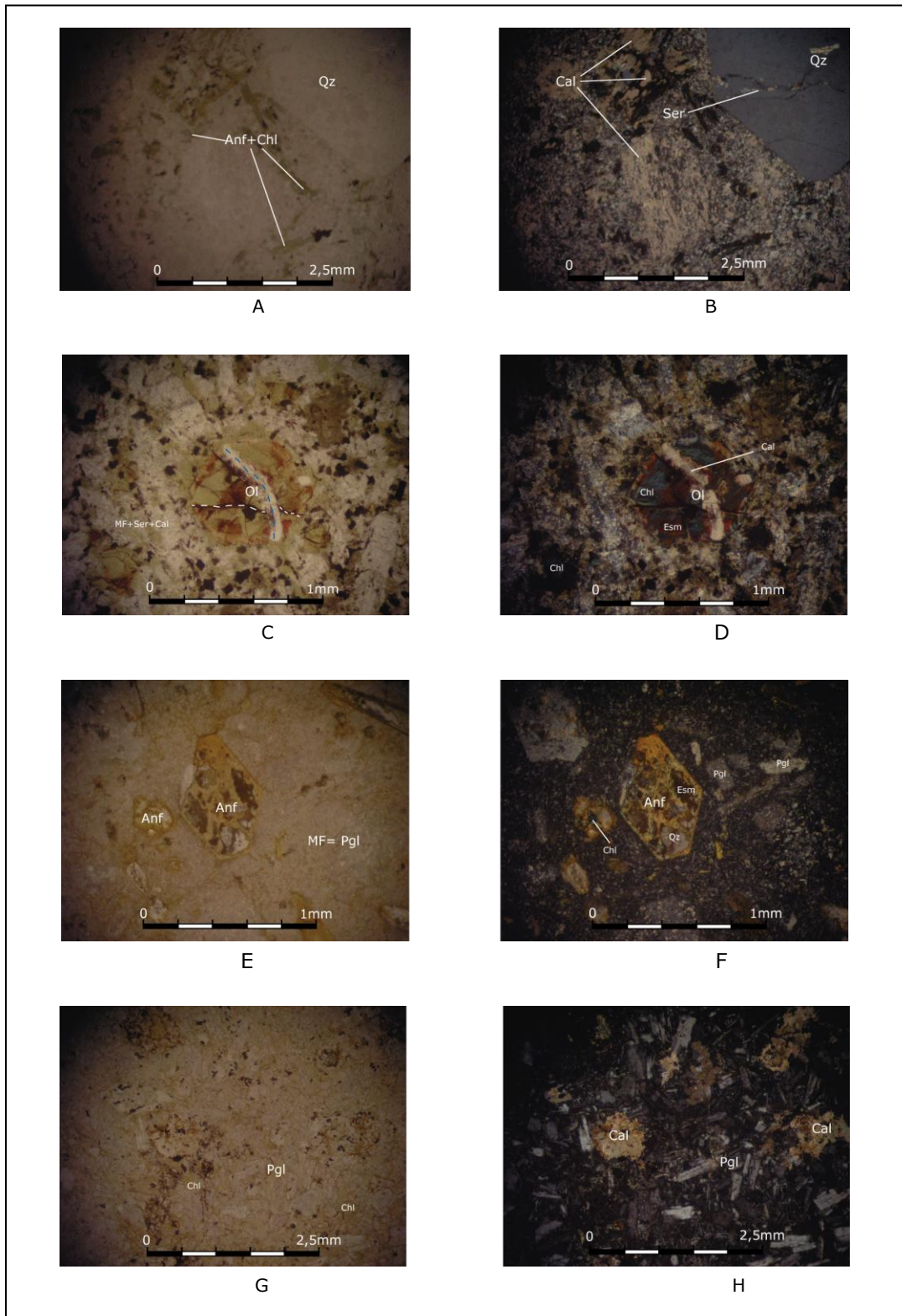


Figura 17: Imágenes de corte transparente de los cuerpos intrusivos, donde se muestra una foto representativa de cada uno, tanto los minerales primarios como los de alteración. En la columna izquierda de fotos se presentan a nicols paralelos y a la derecha la misma foto pero a nicols cruzados. La nomenclatura utilizada para los minerales es: Anf=anfíbola; Cal=calcita; Chl=clorita; Esm=esmectita; Ol= olivino; Pgl=plagioclasa; Qz=cuarzo; Ser=Sericita y MF=masa fundamental. A y B son fotografías del Pórfido Dácítico; C y D son imágenes pertenecientes al Intrusivo Gabrodiorítico; E y F son imágenes del Intrusivo diorítico de Anfíbola; Finalmente, G y H son fotografías de el Intrusivo diorítico.

3.3 Estructuras

Una parte muy importante de este estudio es comprender el contexto estructural y la relevancia de este para el proceso de alteración y mineralización. Es por esto que una gran cantidad de los datos recolectados en terreno corresponden a información de rumbo y manto de las capas de calizas, pliegues y fallas a una escala local (Fig. 18).

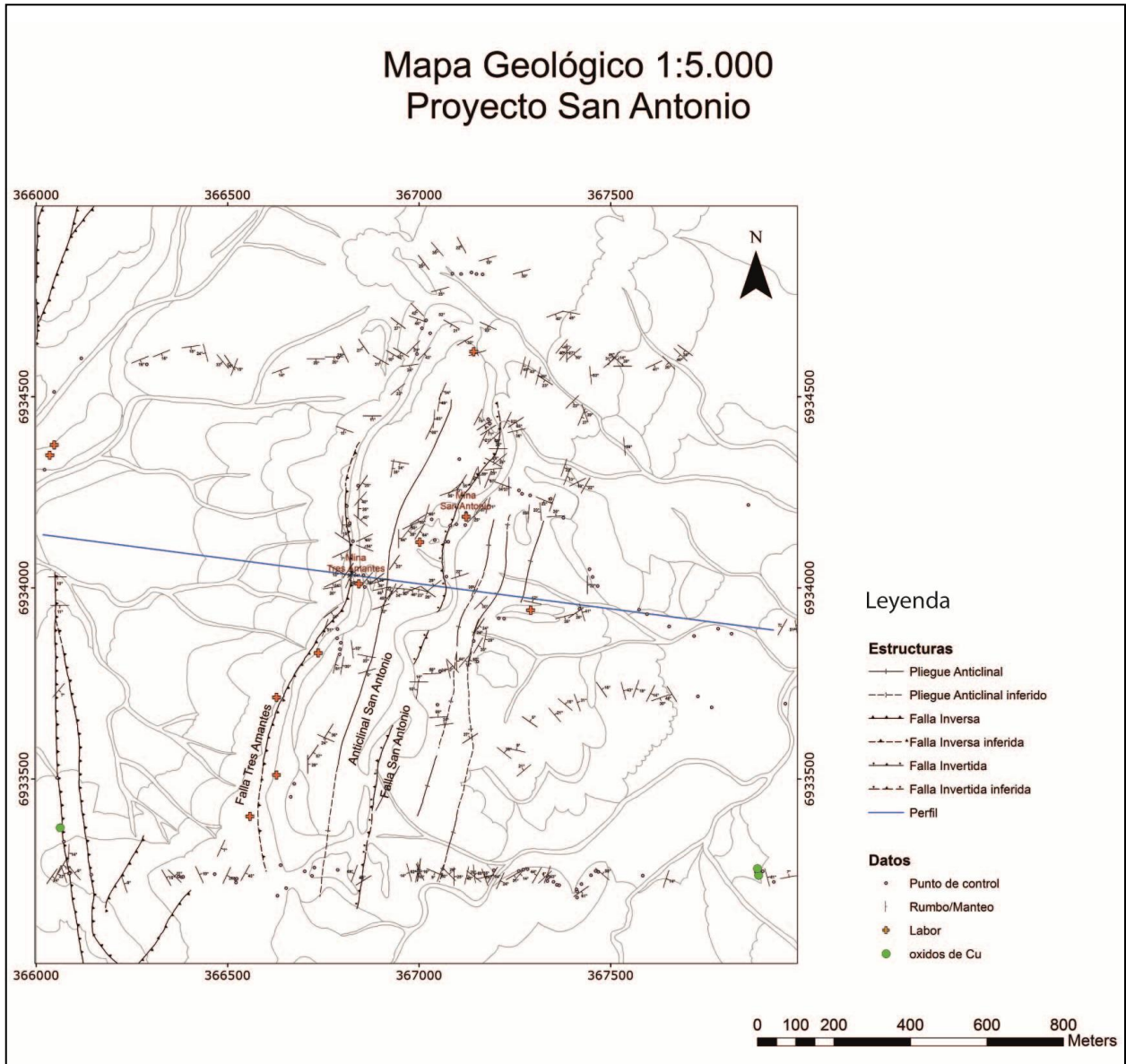


Figura 18: En esta imagen se muestran la totalidad de los datos recolectados en terreno y las estructuras principales reconocidas.

3.3.1 Análisis estadístico de los datos

Los datos estructurales recolectados en las campañas de terreno se analizaron estadísticamente mediante los programas Dips y Stereonet 7. Con la utilización de estos programas se crearon gráficos en redes estereográficas con los datos que son de utilidad para el estudio y la comprensión de la información obtenida en las campañas de terreno. En total se graficaron 223 datos de planos (Anexo 1), los cuales por simplicidad fueron representados por sus respectivos polos y son ilustrados en la red estereográfica (Fig. 19).

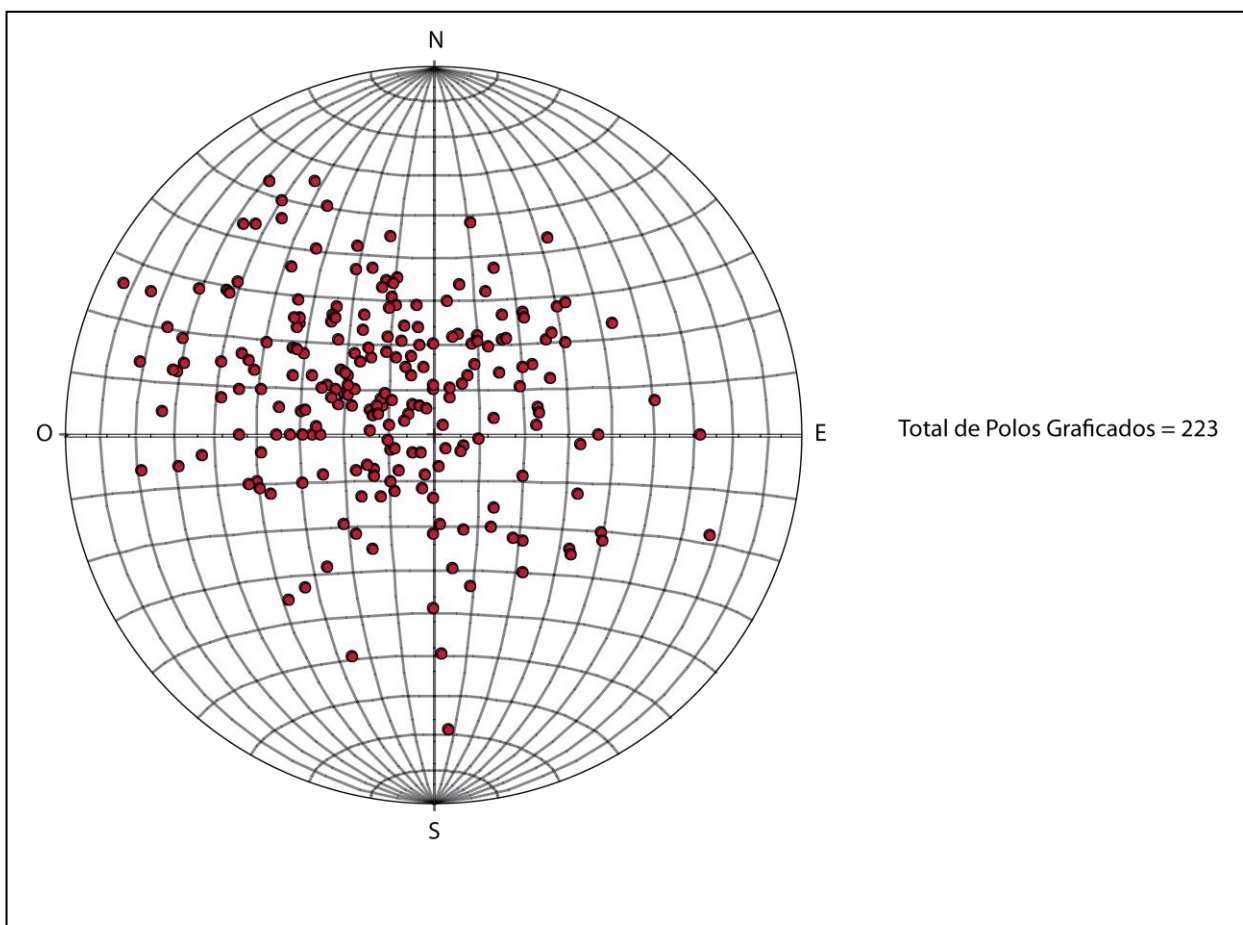


Figura 19: Imagen que muestra el ploteo de los polos de la totalidad de los datos de rumbos y manteos correspondientes a las capas de calizas.

En la figura 19, a simple vista, es posible observar una importante concentración de polos en el cuadrante Noroeste de la red, lo que indica una tendencia de los manteos de las capas predominante hacia el sureste

respondiendo a un rumbo de capas de tendencia Noreste. Esta predominancia en la orientación de los rumbos es evidente también en el diagrama de roseta (Fig. 20) en la cual se graficaron los mismos planos que en el diagrama de polos. En este diagrama se observa una clara tendencia de los rumbos noreste y principalmente entre los rangos de N20E y N30E. Además, es posible identificar una tendencia de N45O, de menor importancia que la anterior, pero que es reconocida en el diagrama de roseta y en terreno.

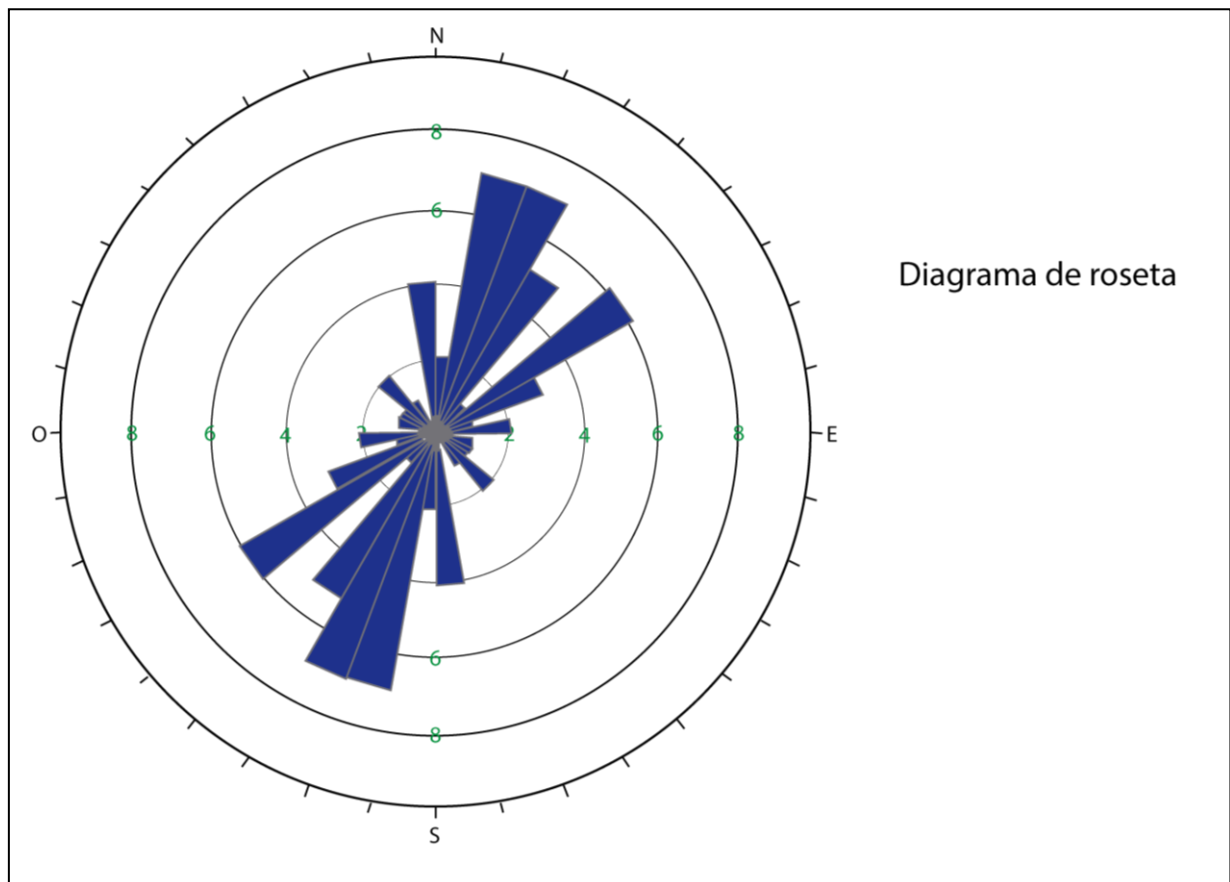


Figura 20: Imagen que muestra los datos graficados en el diagrama de roseta, donde es posible reconocer las orientaciones principales de los rumbos de las capas.

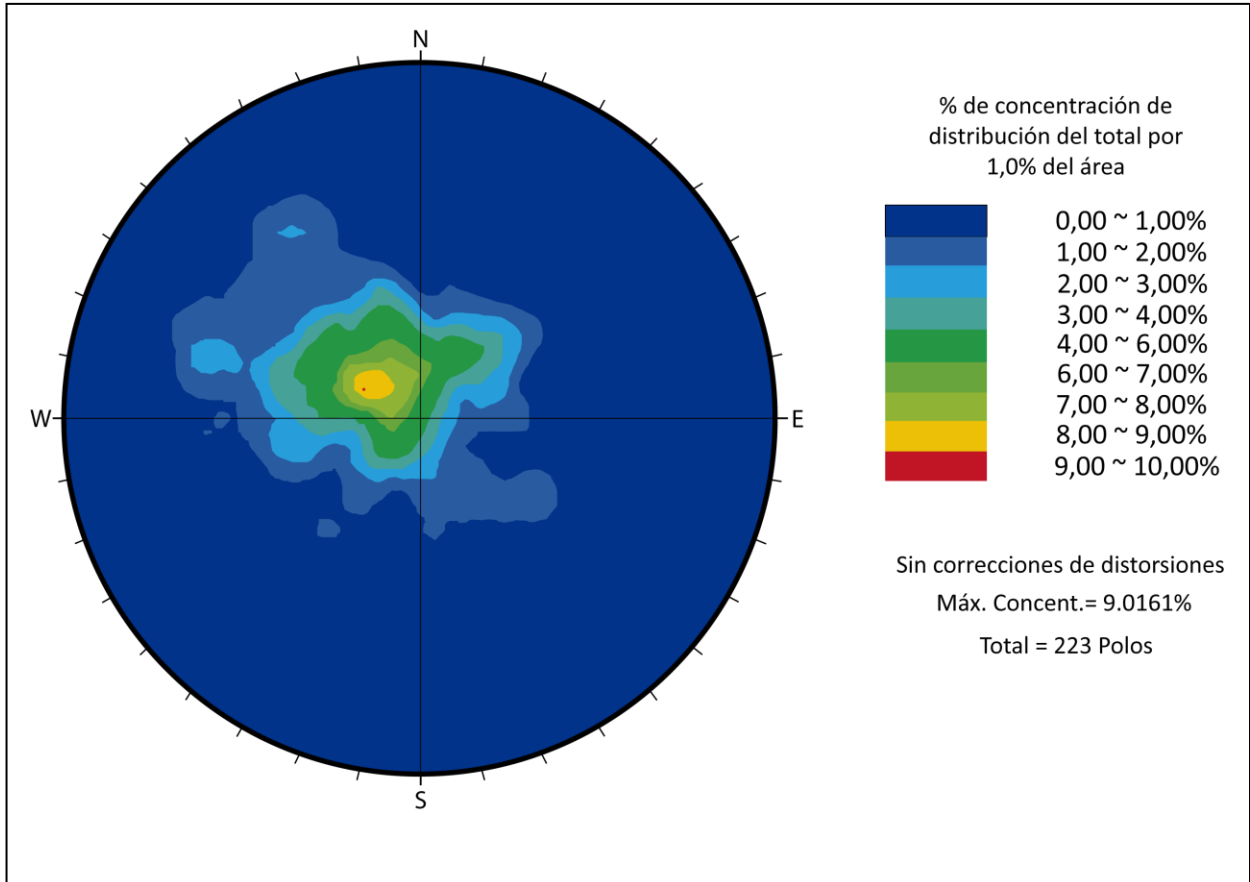


Figura 21: Imagen que muestra el diagrama de densidad de polos para los datos de las estructuras presentes en el área de estudio.

En el diagrama de densidad de polos (Fig. 21) se corrobora la tendencia dominante de datos en el cuadrante Noreste observado en la figura 19. Sin embargo, este tipo de diagrama proporciona mayor información sobre las estructuras. En el sector noroeste hacia la periferia de la esfera se encuentran dos poblaciones de polos de manera subordinada. Estas poblaciones representan los manteos hacia el SE-ESE de mayor buzamiento sobre los 50° , sugiriendo la presencia de una falla de traza NNE. Por otro lado, se observan otras dos poblaciones que se escapan del cuadrante NO, son planos de buzamientos de bajo ángulo y se encuentran en los cuadrantes SO y NE. Estas corresponden a los buzamientos de los planos de rumbo NO evidenciados en el diagrama de roseta, sugiriendo un plegamiento subordinado que fue observado y documentado en terreno (Anexo 1). Finalmente, polos presentes en el cuadrante SE de la red estereográfica son principalmente de bajo ángulo y corresponden a los limbos NO de los pliegues de eje axial NNE.

De acuerdo a las observaciones ya realizadas es posible separar los datos en dos grupos, que definen dos áreas estructuralmente distintas. Por un lado se encuentra un sector en el cual la deformación se manifiesta principalmente mediante un anticlinal asimétrico, y por otro lado una zona con una deformación de mayor intensidad reconocida en una serie de pliegues consecutivos.

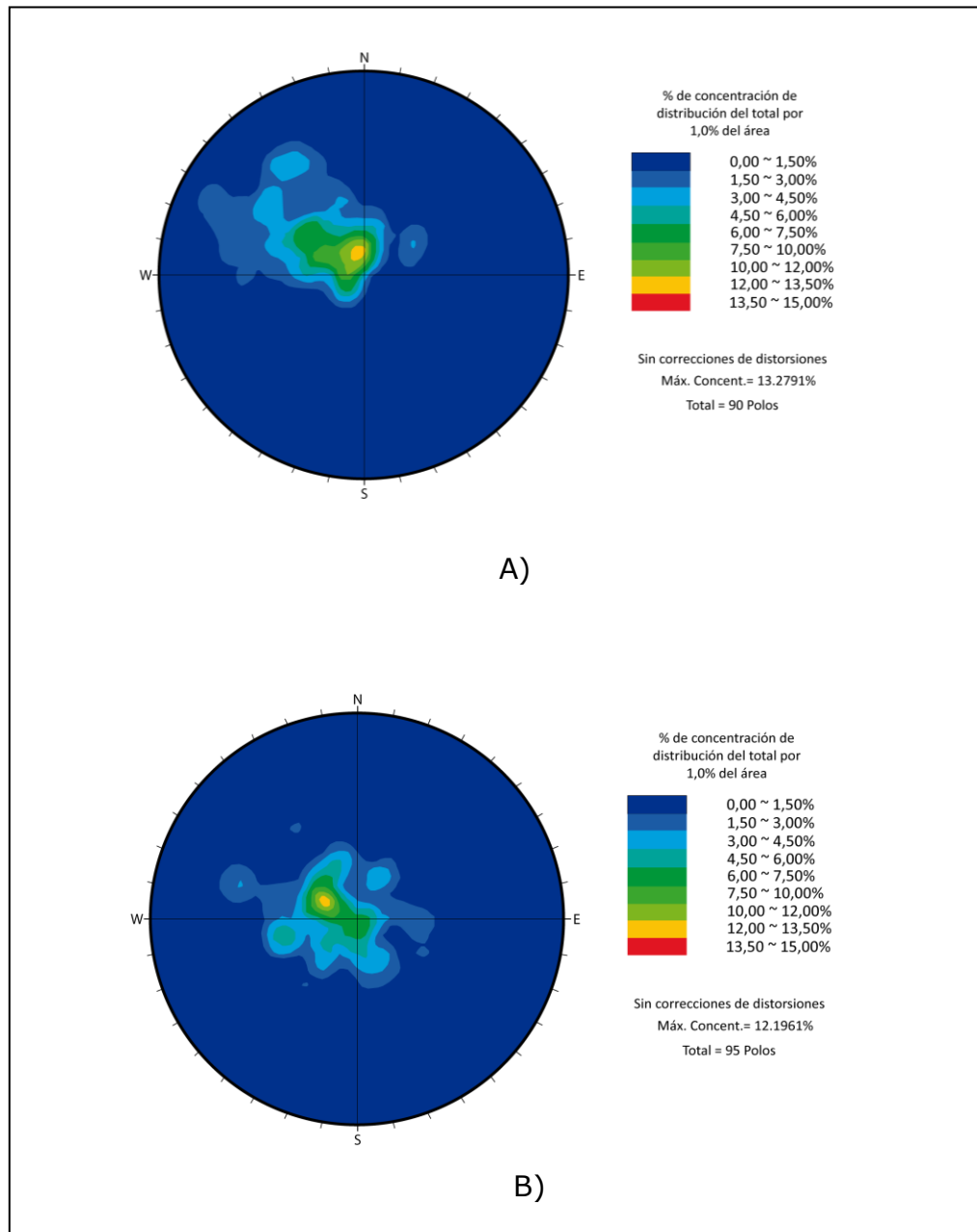


Figura 22: Imagen que muestra los datos graficados en diagramas de densidad de polos, separados según las estructuras principales reconocidas.
 A) Sector caracterizado por la deformación de un anticlinal asimétrico.
 B) Sector caracterizado por deformación más intensa manifestado en un plegamiento consecutivo.

Debido a esto, se decide separar el área de estudio en dos dominios estructurales nombrados Dominio Oeste y Dominio Este, relativo a la ubicación de cada dominio en el mapa (Fig. 23).

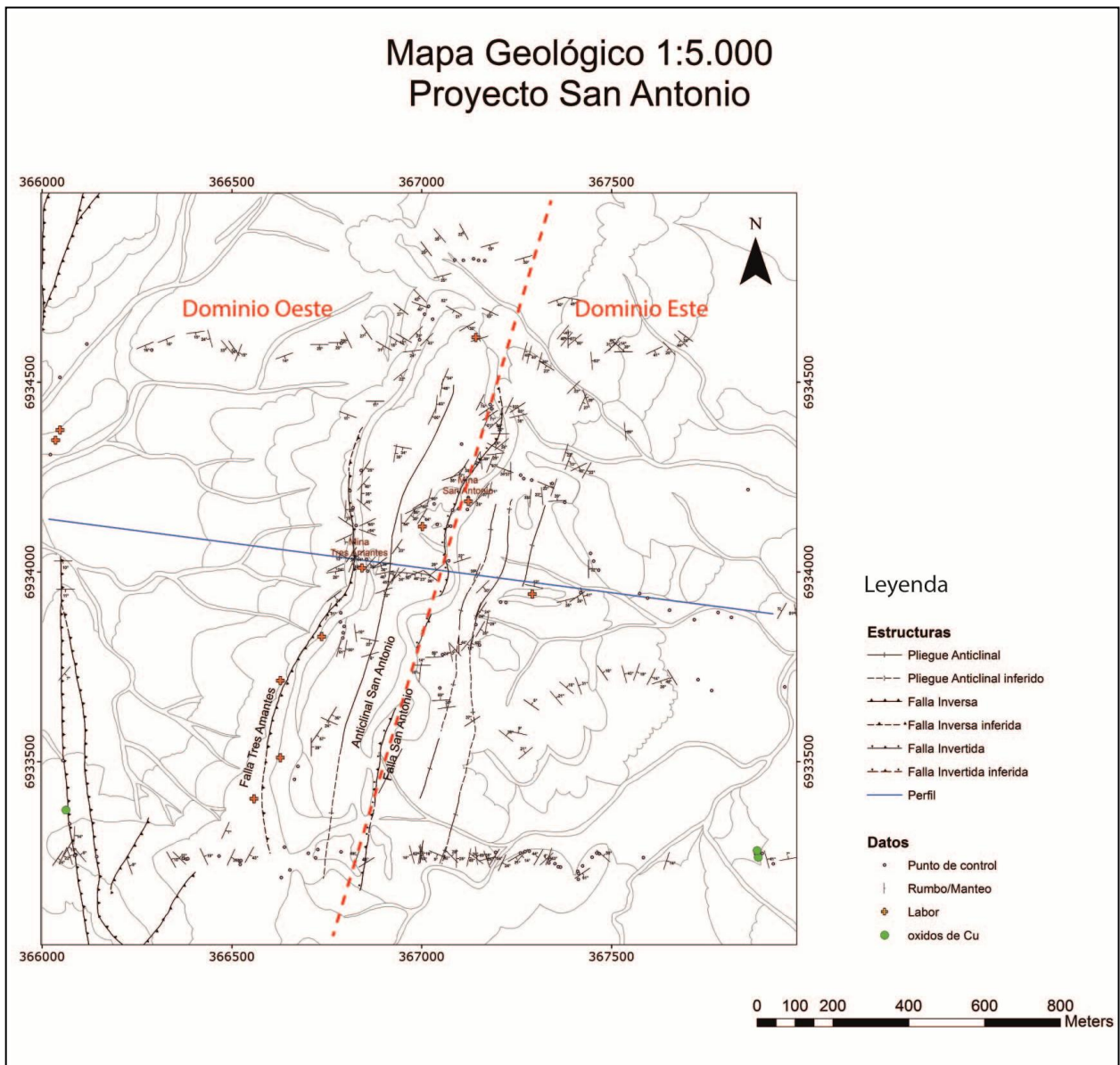


Figura 23 : Distribución de las estructuras mapeadas en terreno y datos estructurales. En azul se destaca una sección estructural realizada. Además se señala la separación del área en dos dominios estructurales.

3.3.2 Descripción de las estructuras mayores

Las estructuras observadas representan una gran importancia local, pero no así a nivel regional. La estructura de mayor envergadura podría alcanzar una extensión del orden de 2 kilómetros, que de acuerdo a otros trabajos podría ser considerada regionalmente de segundo orden. Sin embargo, la orientación general N20°E de las estructuras es similar a las estructuras mayores de importancia regional como la conocida tendencia NNE del gran Anticlinal de Tierra Amarilla asociado con la inversión de la falla Elisa de Bordos (Martínez et. al, 2012). Cabe mencionar que la dicha estructura es considerada una falla de borde de cuenca, por lo cual la magnitud de las fallas reconocidas en el área de estudio sugieren que corresponden a fallas de intracuenca.

Es posible reconocer fallas que parecen ser de origen extensional junto con fallas de alto ángulo (sintéticas a las primeras) que exhiben un comportamiento compresivo, lo que sugiere podría tratarse de estructuras extensionales heredadas del Cretácico Inferior parcialmente invertidas (Fig. 24).

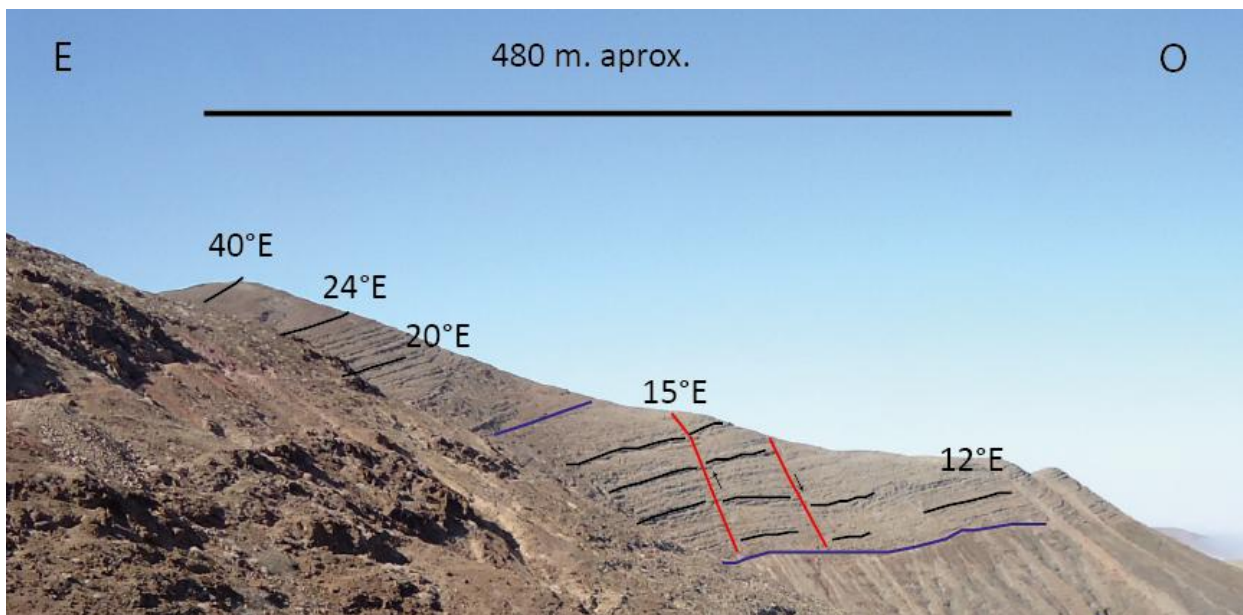


Figura 24: Imagen de fallas reconocidas en la Unidad Nantoco (en rojo), donde se destaca el movimiento relativo observado entre ellas.

3.3.2.1 Dominio Oeste

Anticlinal San Antonio: Representa a la estructura de mayor envergadura de la zona. Es un pliegue anticlinal con eje axial de tendencia NNE. Presenta una geometría asimétrica que se caracteriza por poseer un limbo trasero amplio que muestra manteos suaves subhorizontales, hacia el lado oeste de la zona de estudio, y un limbo frontal de menor extensión, manteniendo fuertemente al sureste (Fig. 25). Este pliegue envuelve el sector Noroeste y su eje se extiende a lo largo de la región estudiada, aproximadamente por unos 2 kilómetros.

Es importante destacar que las labores de la mina antigua de Tres Amantes se ubican aproximadamente sobre la charnela de este pliegue, lo cual sugiere la relación de esta estructura con la presencia de mineralización.

Falla Tres Amantes: Se trata de una falla que se encuentra al lado occidental en la zona de estudio y ligeramente al oeste del eje del anticlinal San Antonio. Su traza es de tendencia N20°E, su disposición es subvertical manteniendo levemente hacia el este y se extiende por aproximadamente 1,5 kilómetros. Es una falla inversa, evidenciando esfuerzos compresivos en su formación (Fig. 26 A).

Su presencia se observa ligada a las labores de la Mina Tres Amantes, donde es posible reconocer en terreno una mayor alteración de óxidos a lo largo de la traza de la falla (Fig. 26 B), sugiriendo que esta falla pudo haber sido un importante canalizador de los fluidos responsables de la alteración. En ocasiones se observa la presencia del pórfido dacítico espacialmente ligado a la traza de esta falla. Esto sugiere estrecha relación entre esta estructura y la intrusión del pórfido.

Se reconocen también una serie de fallas rumbo N-S, subverticales con un leve buzamiento hacia el oeste. Algunas de estas se observan como estructuras extensionales y otras presentan características inversas (Fig. 24). En la mayoría de estas fallas se emplazan diques de composición dacítica-diorítica.

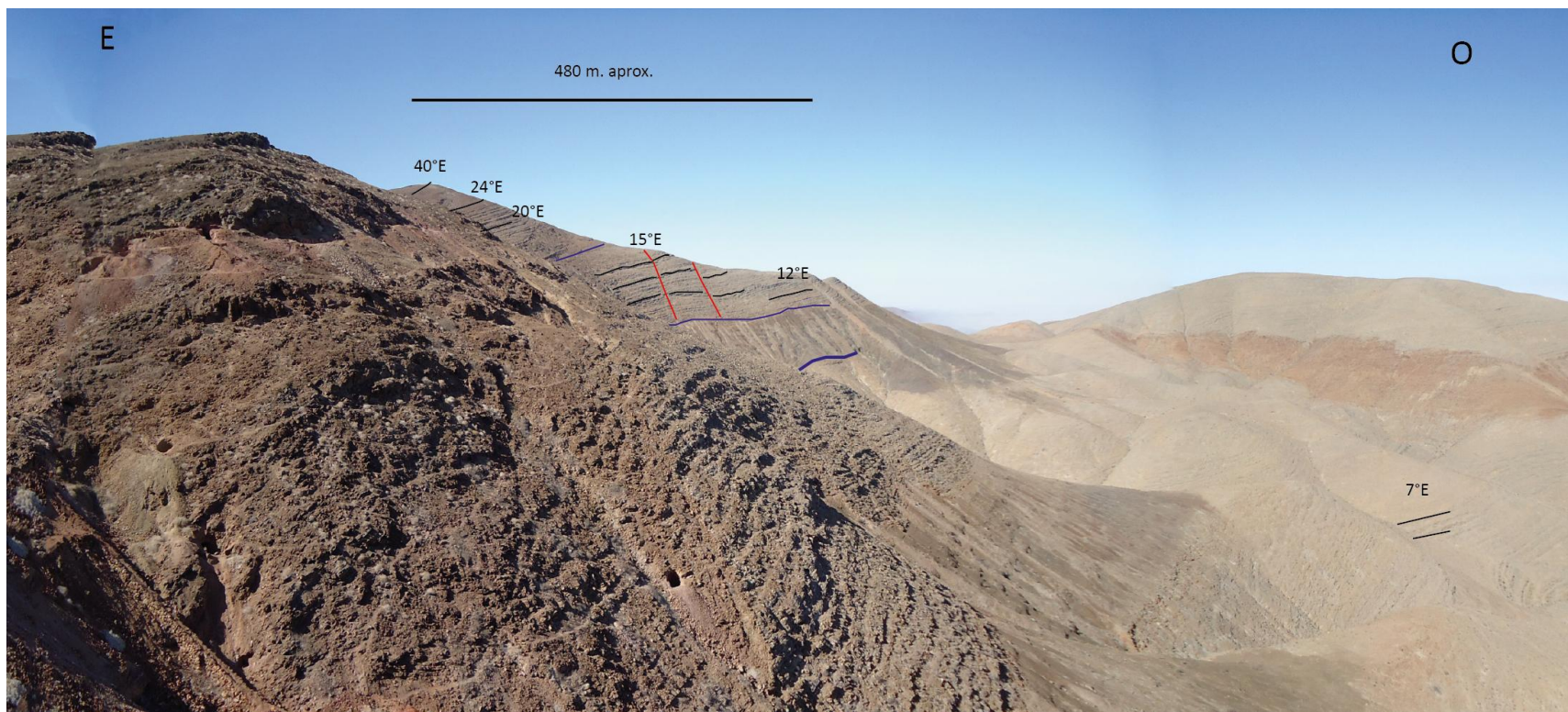


Figura 25: En esta imagen se muestra la variación de manteos hacia es este, evidenciando la presencia del Anticinal San Antonio. Además se muestran estructuras extensionales de fallas normales (en rojo) presentes en la Subunidad Nantoco 3, las que algunas presentan posibles movimientos de inversión.

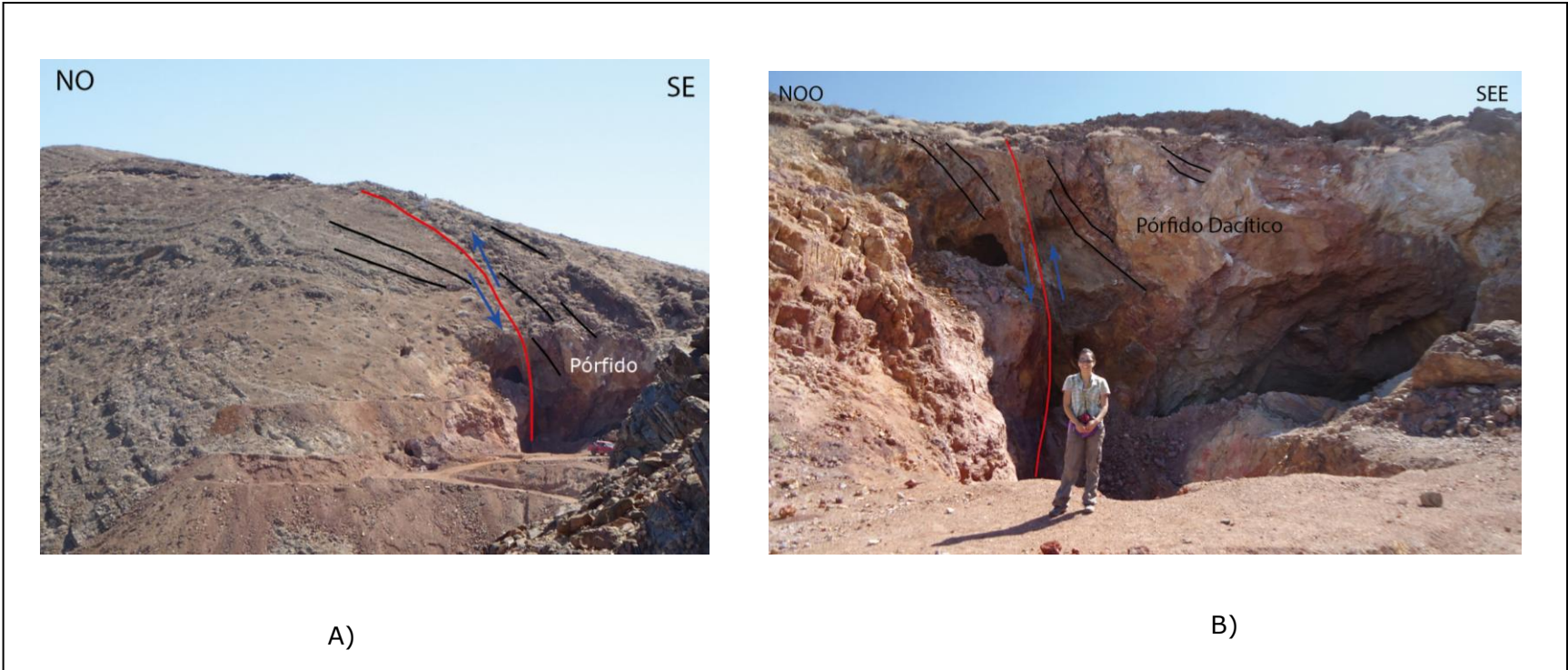


Figura 26: Falla Tres Amantes, en esta imagen se muestra el movimiento inverso de esta falla y su relación cercana con la intrusión del pórfido dacítico.

3.3.2.2 Dominio Este

Faja plegada y corrida: Está constituida por una serie de tres pliegues consecutivos tipo chevrón que involucran las capas superiores de la Formación Nantoco, y en particular la Unidad Nantoco superior (Fig. 26).

La orientación general de sus ejes axiales medidos en terreno es de $N24^{\circ}E$ y a su vez abarca una extensión lateral inferior a los 400 metros. Esta estructura evidencia esfuerzos compresivos en dirección E-W.

También se observaron pliegues de menor escala con orientación concordante a las de esta faja plegada y corrida (Fig. 27). Además, se observan diques y estructuras tipo vetas carbonáticas extendidas en dirección N-S, que podría evidenciar una mayor extensión en esa dirección.



Figura 27: Imagen que muestra un pliegue anticlinal simétrico que afecta las rocas de la Unidad Nantoco superior y que cuyo plano axial tiene un rumbo $N35^{\circ}E$.

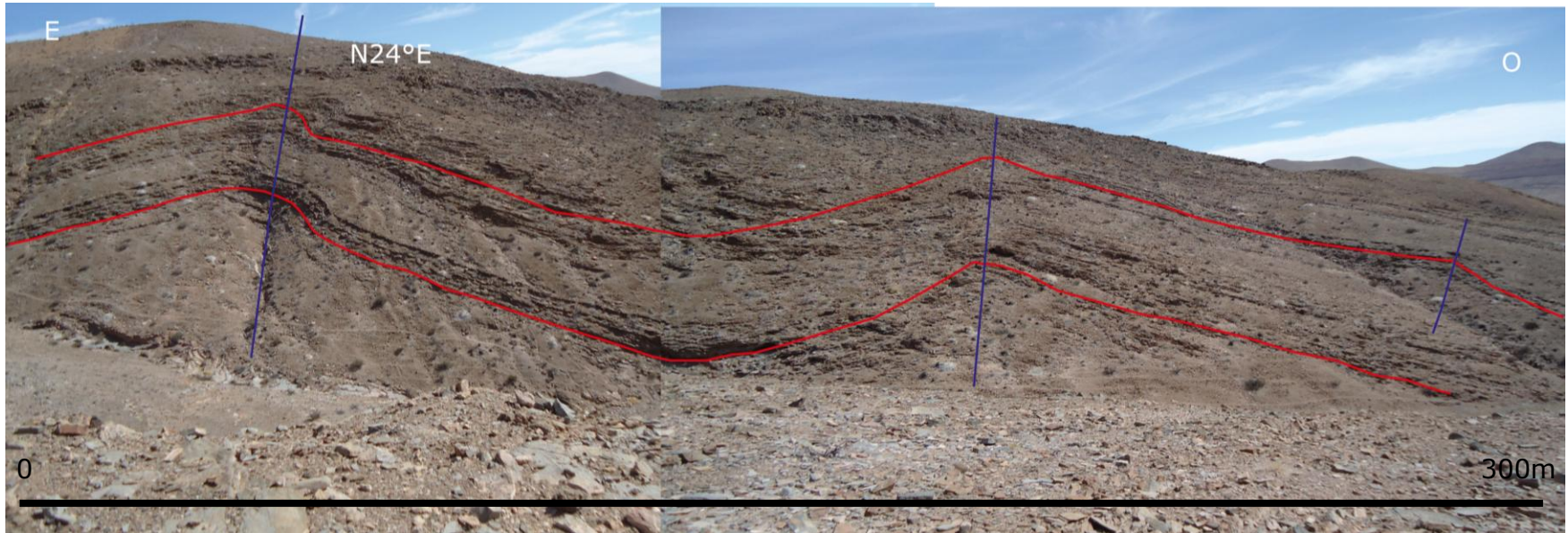


Figura 28: Faja plegada y corrida que afecta a la parte superior de la Formación Nantoco hacia el SE y que representa el dominio compresivo en la zona este del área de estudio.

3.3.3 Esfuerzos principales

Respecto a los esfuerzos principales que dominan la deformación en el área de estudio, no es posible plantear una dirección exacta, debido a que no se poseen datos sobre el componente de rumbo en el desplazamiento de las estructuras. Sin embargo, es posible establecer una aproximación del tensor de máximo esfuerzo (σ_1) indicado por el plegamiento y movimiento inverso de las fallas ya descrito, los cuales se extienden aproximadamente SO-NE (Figs. 26, 27 y 28). Esto a grandes rasgos, sugiere que σ_1 podría ir en sentido NO-SE. Además se observan en la mina San Antonio estructuras que podrían ser interpretadas como estructuras formadas bajo una dirección de tensión SO-NE (Fig. 29), aunque esta última observación no es concluyente, debido a que estas estructuras pueden tener otro origen.

De acuerdo a estas observaciones es que se sugieren direcciones aproximadas para σ_1 de NO-SE y para σ_3 de SO-NE (Fig. 30).



Figura 29: Imagen tomada en Mina San Antonio, la cual podría sugerir una tensión en sentido SO-NE

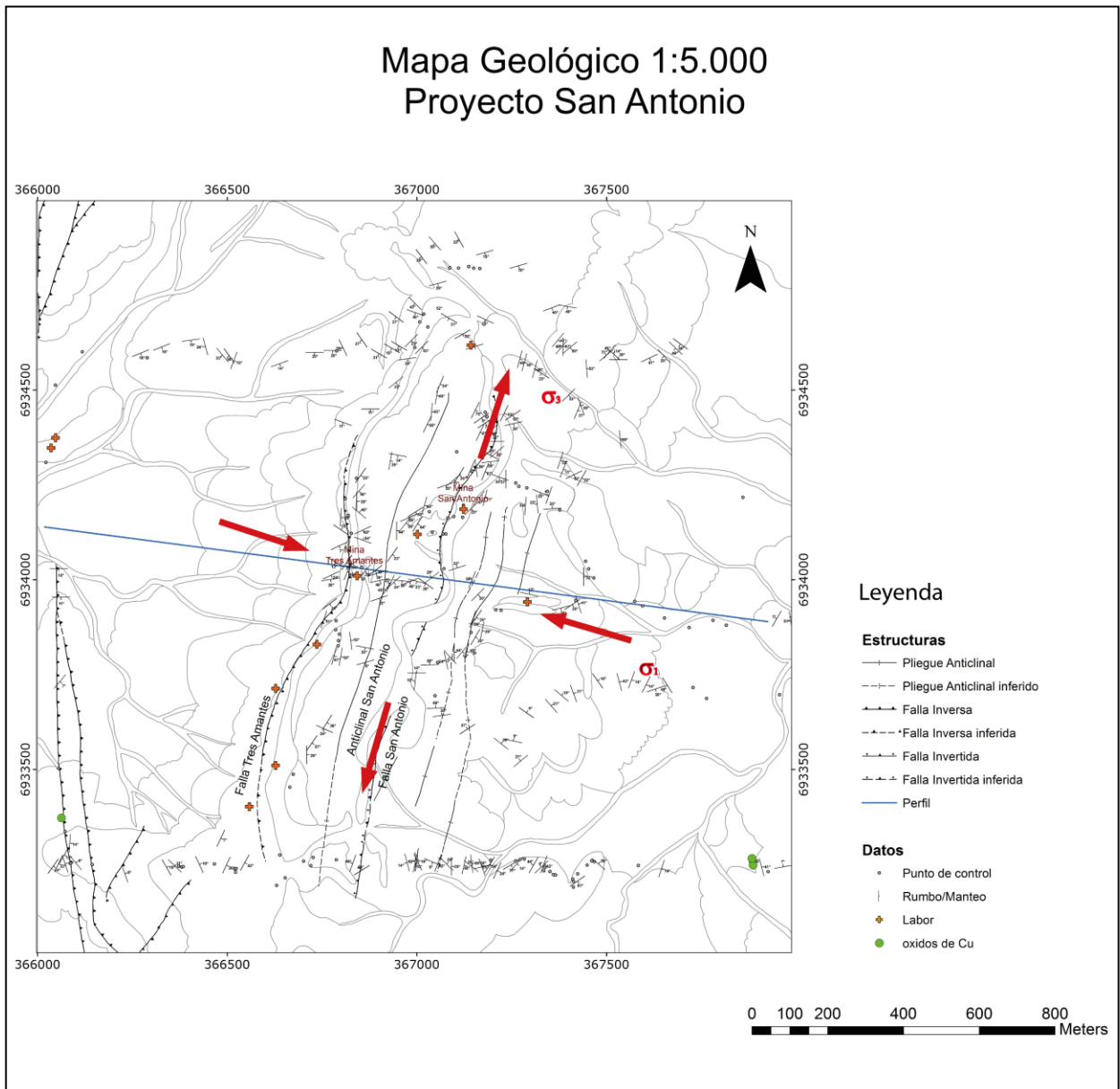


Figura 30: Imagen que muestra la distribución de las estructuras descritas en el área de estudio y se destaca una sugerencia de la dirección de los esfuerzos principales.

3.3.4 Modelo Estructural

Lo que se pretende en este apartado es integrar los datos de mapeo geológico-estructural junto con el análisis estadístico de los datos estructurales recolectados para poder llevar a cabo un modelo del contexto geotectónico del área de estudio. De esta forma el producto del modelo es un perfil estructural.

3.3.4.1 Inversión tectónica

El concepto de inversión tectónica es importante en la elaboración del modelo estructural para la zona del Proyecto San Antonio, debido a que se encuentra en un contexto regional caracterizado por una cuenca marina extensional abortada de edad cretácica. Además se reconocieron fallas de intracuenca de alto ángulo que sugieren inversión parcial.

El termino "inversión" para describir una cuenca invertida fue usados primeros por Glennie y Boegner (1981). La inversión tectónica es un concepto que se desarrollo en base a los estudios de líneas sísmicas desarrollados para la industria petrolera, en los que se han reconocido casos de cuencas invertidas. Este proceso ocurre cuando una cuenca dominada por fallas normales se reactivan deslizándose en un movimiento inverso que responde a una fuerza compresiva en la misma dirección en donde previamente existía extensión (Fig. 31).

Debido a que estudios sísmicos muestran que varias cuencas extensionales se asocian con hemigrábenes asimétricos, es que Bally (1984) modela la inversión estructural usando una geometría de un hemigraben sobre una falla lístrica. La inversión puede ser total o parcial. Cuando se habla de una falla con inversión total es cuando toda la falla extensional es reactivada como inversa, mientras que la inversión parcial las capas prerift se encuentran en extensión y las postrift en compresión. Los movimientos compresivos afectarán tempranamente a las secuencias depositadas postrift y enseguida las secuencias synrift. En la parte superior de la fallas pueden mostrar movimientos contraccionales asociado al desarrollo de anticlinales en la superficie denominados *anticlinales de roll over invertidos*. Cerca de la falla las secuencias que rellenan la cuenca pueden presentar deformación interna, cabalgamientos, retrocorrimientos o zonas de intensa deformación.

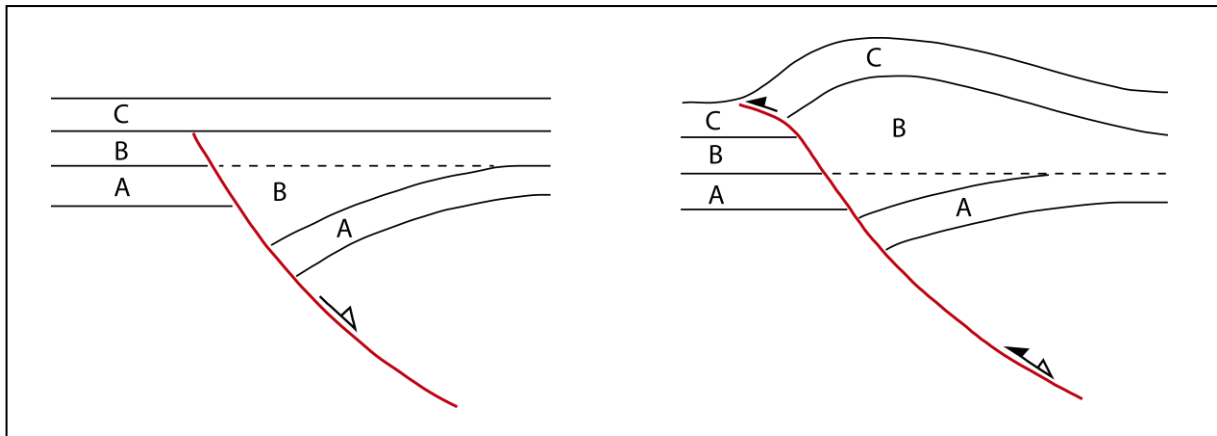


Figura 31: Esquema en el que se muestra a la izquierda la situación antes de la compresión y a la derecha durante la compresión y se lleva acabo la inversión parcial (Williams et al., 1989). A: secuencia sedimentaria prerift, B: secuencia sedimentaria synrift y C: secuencia sedimentaria postrift.

3.3.4.2 Interpretación

Debido a su geometría el anticlinal San Antonio es interpretado como un anticlinal de roll over invertido, siendo este la manifestación superficial de una falla extensional parcialmente invertida de intracuenca afectando a las rocas del Grupo Chañarcillo. Esta falla, denominada en este trabajo Falla San Antonio, de acuerdo a la información obtenida de Martínez et. al (2012), es sintética con la gran falla de borde de cuenca Elisa de Bordo, y la geometría del Anticlinal San Antonio similar al Anticlinal de Tierra Amarilla pero a una escala muy inferior. Además, a lo largo de la culminación del limbo delantero del anticlinal, es decir, ligado a la Falla San Antonio se observa la intrusión del pórfido dacítico dispuesto en la misma orientación NNE. Esta distribución del pórfido dacítico y la presencia de un depósito mineral no menor como es mina san Antonio, reafirma la existencia de la Falla San Antonio. Dicha falla al igual que las otras fallas normales de la zona debió haber sido formada durante el régimen extensivo del Cretácico Inferior mientras se desarrollaba la deposición de los sedimentos carbonatados que forman las rocas del Grupo Chañarcillo.

Posteriormente, durante la fase compresiva, algunas estructuras extensionales absorbieron parte de la deformación y fueron reactivadas desarrollando inversión parcial, adicionalmente se formaron nuevas estructuras propias de ambientes compresivos como son la Falla Tres Amantes y la faja plegada y corrida desarrollada hacia el este del área de estudio. Este complejo panorama estructural habría sido el escenario que probablemente favoreció tanto la intrusión del pórfido dacítico como de los fluidos mineralizadores, responsables del depósito mineral encontrado en el Proyecto San Antonio.

3.3.4.3 Perfil estructural

Para una mejor comprensión de las estructuras, su comportamiento en profundidad y la interpretación ya señalada, se construye un perfil estructural representativo para la zona. Debido a que se identificó una orientación predominante NNE del rumbo de las capas en el diagrama de roseta, es que la orientación del perfil debe ser perpendicular a esta dirección para intersectar las estructuras.

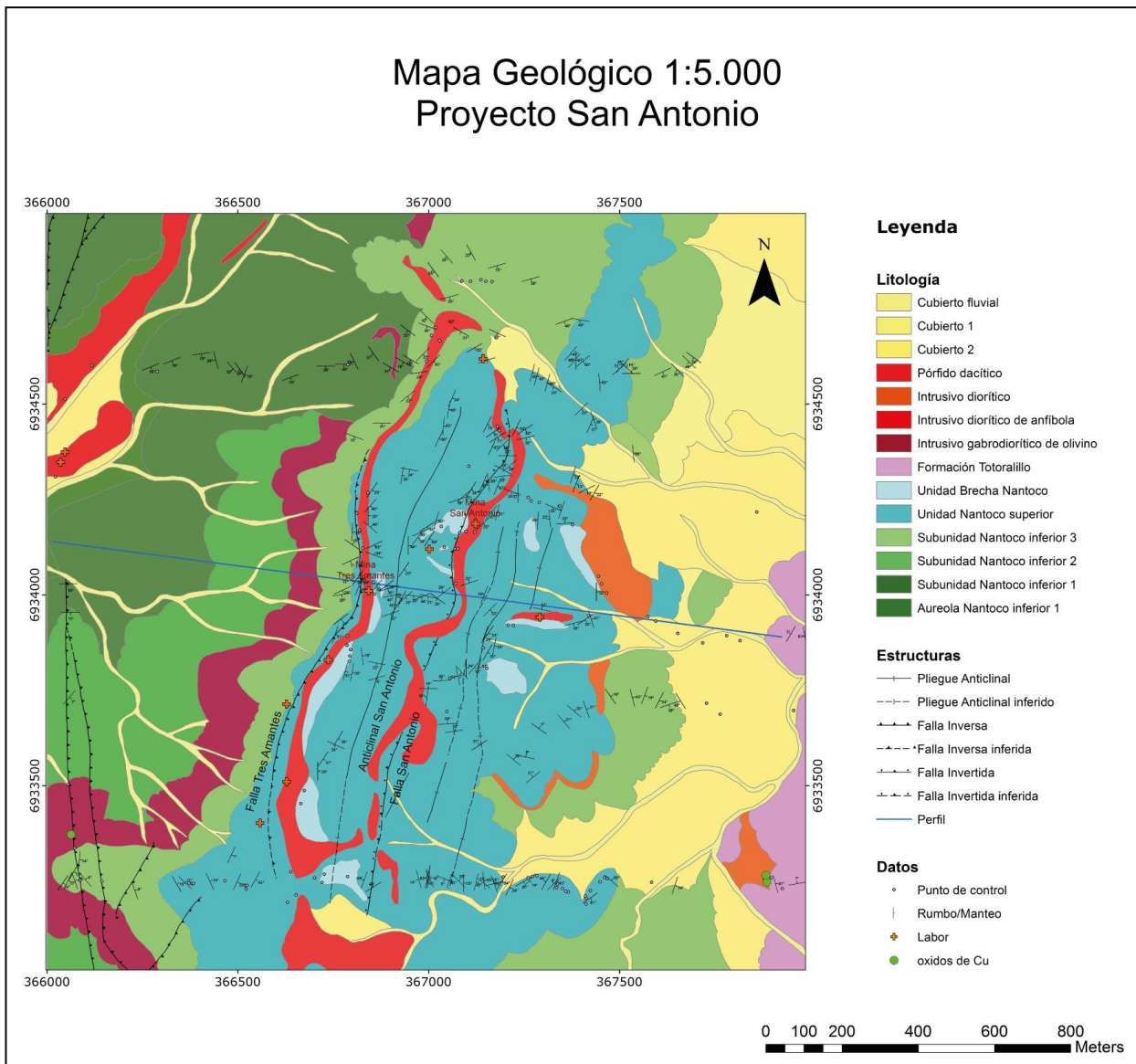


Figura 32: Mapa Geológico del área de estudio, donde se muestra la litología, estructuras y la traza del perfil.

Para la construcción del perfil se utilizan los datos representativos tomados a lo largo de la traza del perfil, los que son dispuestos en una topografía de la zona (Fig. 33), obtenida de Google Earth de escala 1:100.000 debido a que no se dispone de topografía más detallada de la zona (podría ser un problema porque el nivel de detalle de los datos es de 1:5.000).

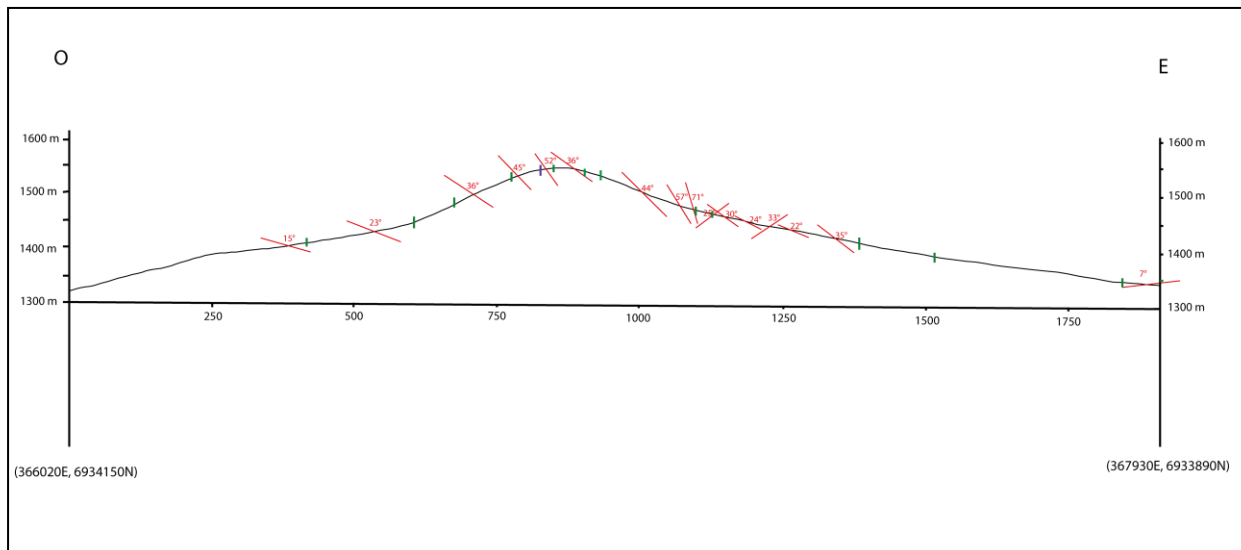


Figura 33: La imagen muestra la ubicación de los datos recolectados en terreno para la realización de una sección estructural, las líneas rojas corresponden a los datos de rumbo y manteo, las verdes son los contactos entre distintas litologías y el azul las fallas vistas en superficie.

Como se observa claramente en la figura 33, en el sector oeste del perfil, los manteos de las capas de calizas buzan todos hacia el este y van aumentando su ángulo de buzamiento a hasta llegar a unos 70° aproximadamente a los 1100 metros (Fig. 34). Al este de los 1100 metros los manteos cambian bruscamente su ángulo de buzamiento y la dirección de manteo va cambiando hacia un lado y otro. De esta manera, al oeste de los 1100 metros se encuentra el Dominio Oeste y al este de los 1100 metros el Dominio Este descritos anteriormente.

Una vez ubicados los datos en la topografía, se procedió a utilizar el método Kink, con el fin de poder dar una interpretación en profundidad de las estructuras vistas en superficie y poder crear el perfil (Fig. 35). También se utilizó el método de cizalle simple para predecir la geometría hipotética del área.



Figura 34: Imagen que muestra como caen las capas de caliza bruscamente al E, con un ángulo de 75°. La foto fue tomada en dirección N190°.

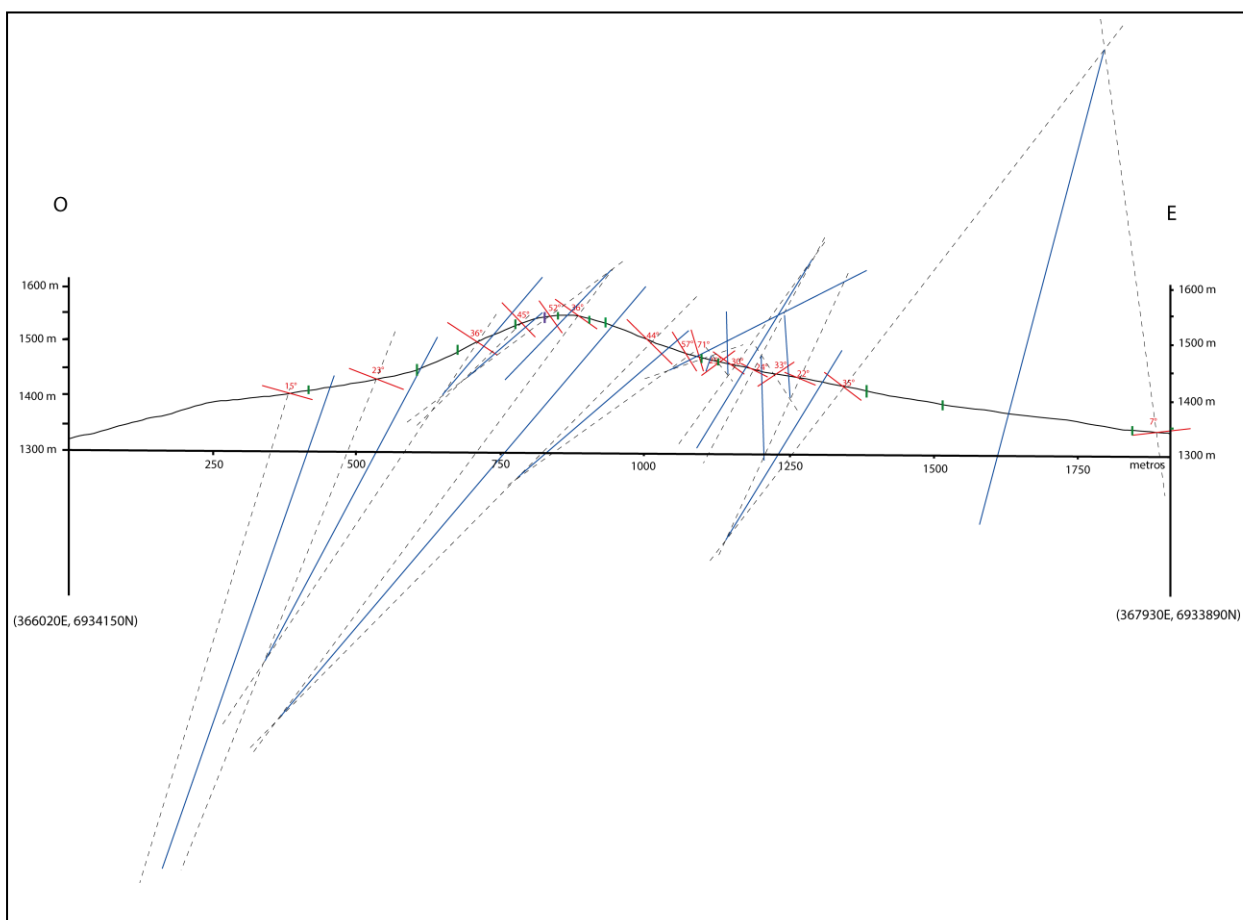


Figura 35: Con los datos de terreno se utiliza el método kink, donde las líneas rojas corresponden a los datos con sus respectivos ángulos de manteos. Las líneas azules dividen los paneles con los que se trabaja para la construcción del perfil.

Como resultado de la interpretación, basado en el modelo de inversión tectónica, se obtiene un modelo estructural representativo de la zona de estudio (Fig. 36) y el mapa final de esta misma. Con esto se trata de tener una idea del contexto estructural del Proyecto San Antonio, para así poder discutir los efectos de esta sobre los fluidos mineralizadores y el pórfido dacítico que se encuentra ligado al depósito. Este modelo hipotético es consistente con la geología regional de la zona.

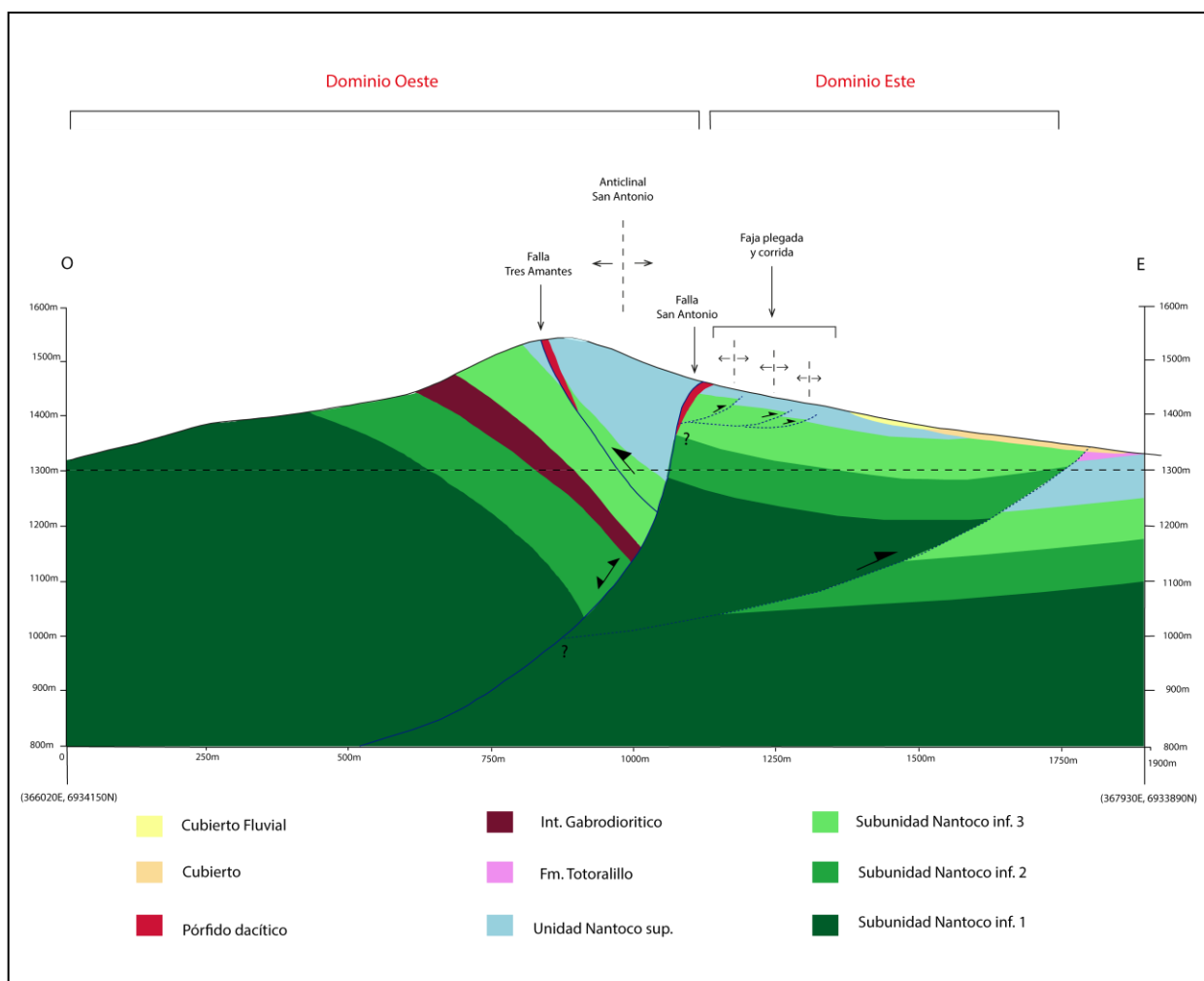


Figura 36: en la imagen se muestra el Modelo estructural hipotético planteado para la zona del Proyecto San Antonio.

En la figura 36 se muestra el modelo estructural propuesto, el cual intenta explicar lo observado en superficie. La sección fue dividida en los dos dominios estructurales ya definidos. El Dominio Oeste, como ya fue explicado anteriormente, está dominado por la presencia del Anticlinal San Antonio al

cual debido a su geometría se le asoció una falla de alto ángulo normal invertida denominada Falla San Antonio. La Falla Tres Amantes (Fig. 36) corresponde a una estructura inversa y de alto ángulo observada en terreno, en la entrada de la Mina Tres Amantes.

Por otro lado, el Dominio Este está controlado por una deformación más intensa y de carácter compresivo. Esta deformación es evidenciada por un estilo de deformación en serie de la Unidad Nantoco superior. Esta estructura fue reconocida como una faja plegada y corrida, restringida a zonas más superficiales y ligada a una serie de fallas responsables de esta (Fig. 36).

Finalmente, la falla de característica inversa propuesta hacia el lado más este, intenta explicar cambios en los manteos de las capas y la aparición de la sobreyacente Formación Totoralillo hacia el este de la zona de estudio. Para esta zona es difícil de determinar las estructuras involucradas, debido a que la zona se encuentra cubierta y por ello con escasos datos que puedan aclarar el panorama.

IV. Alteración y Mineralización

Las muestras y observaciones de la alteración y mineralización en el Proyecto San Antonio se llevaron a cabo en labores antiguas, siendo las principales del tipo subterráneas (Mina Tres Amantes y Mina San Antonio), y destapes o calicatas en sectores aledaños. Las observaciones realizadas en estas labores estuvieron restringidas de acuerdo al estado de preservación y seguridad de las mismas. También cabe destacar que el desarrollo de estas labores está condicionado a la disposición del jasperoide, el cuál era el objetivo de explotación de los mineros artesanales.

En general, la alteración se concentra en un cuerpo jasperoideo situado en el contacto superior entre el pórfido dacítico y las calizas de la Unidad Nantoco superior. En superficie es posible observar la geometría de este cuerpo en las labores mineras antiguas, que conforman dos lineamientos de tendencia NNE, estrechamente ligado a la distribución del pórfido en el área (Fig. 37).

En relación al grado de alteración de las litologías involucradas, se observa que las secuencias sedimentarias calcáreas, como roca caja, prácticamente no presentan alteración. Sin embargo, localmente y de manera restringida, las calizas en el contacto con el pórfido dacítico presentan silicificación y recristalización. Por su parte el pórfido dacítico presenta alteración sericitica, y en ocasiones se observa sobreimposición de caolinita con características supérgena.

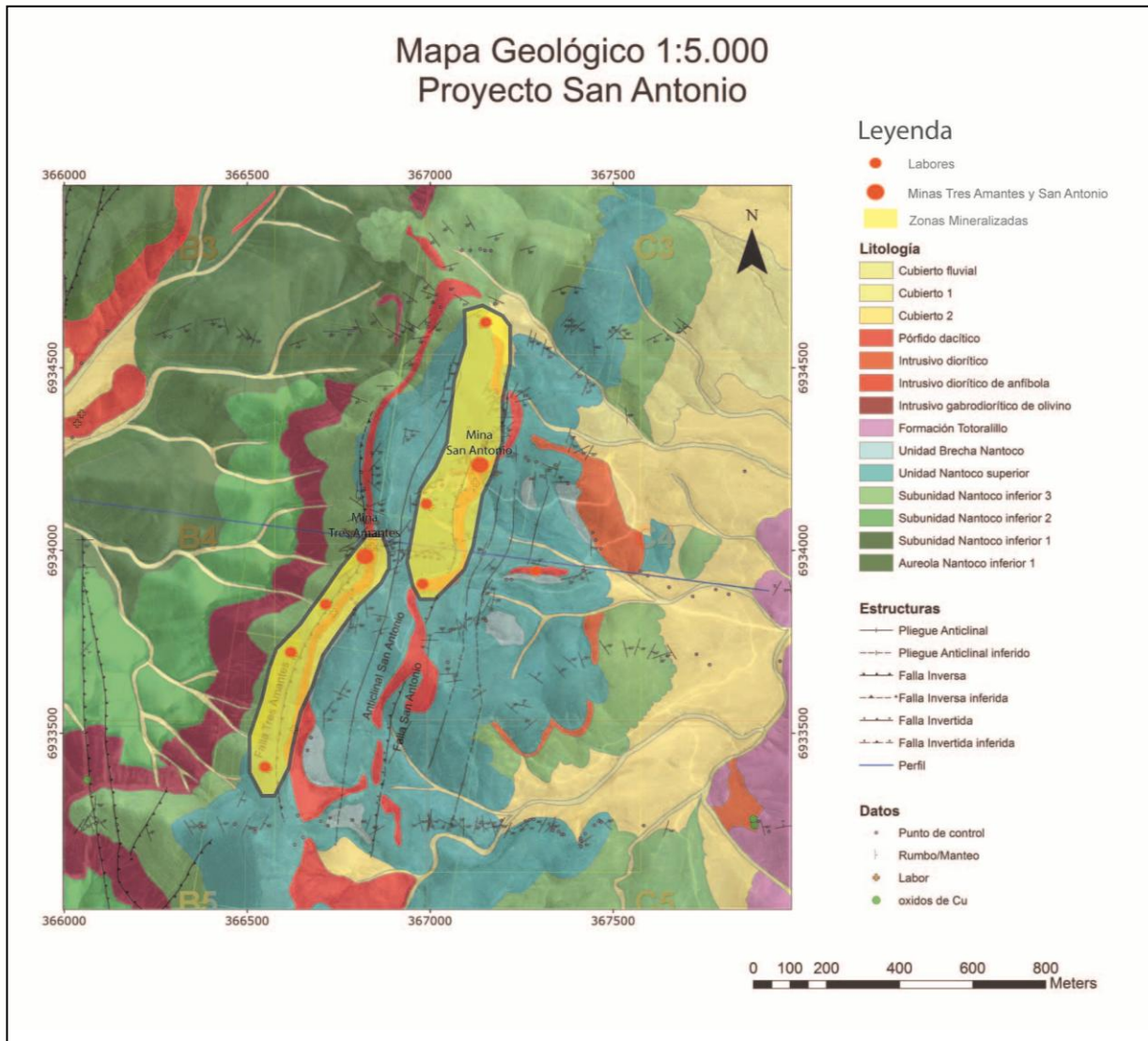


Figura 37: Imagen que muestra la distribución de la labores de minas y subordinadas, destacándose de esta forma la disposición de la alteración hidrotermal y mineralización. Escala 1:5.000.

4.1 Alteración Hidrotermal

El sector donde mejor expuesta esta la alteración es en la mina Tres Amantes, y fue ahí donde Muñoz (2012a) describió más detalladamente el cuerpo jaseroideo y sugiere una zonación para la alteración. De esta manera, el jaseroideo se presenta como un cuerpo silicificado con óxidos de hierro y pirita fina relictas, más o menos tabular con una potencia variable de entre 0.5 a 1.5 metros que generalmente exhibe un buzamiento de 25°S (Fig. 38), aunque es posible observar en partes más profundas de la mina una verticalización. El autor expone que el jaseroideo presenta escasos ojos

de cuarzo relicto, pero que sin embargo, el protolito parece ser una combinación de pórfido dacítico y calizas finas.



Figura 38: Imagen que muestra el cuerpo jaseroide en las labores de la Mina Tres Amantes.

En la misma labor, Muñoz (2012a) describe una zonación caracterizada por la presencia del pórfido dacítico en la base, levemente discordante con la estratigrafía, el cual presenta alteración sericítica y en algunos sectores un incipiente stockwork de jarosita-alunita. En la zona superior, sobre el pórfido, se desarrolla una región intensamente silicificada, tipo jaseroide. Esta zona de jaseroide a su vez se diferencia en dos zonas, la parte más cerca del intrusivo la silicificación es amarillenta, con alto contenido de jarosita. En cambio hacia el contacto con las calizas (roca caja) la silicificación es de color

rojo, se observa un alto contenido de hematita pulverulenta y otros óxidos de hierro (Fig. 39).

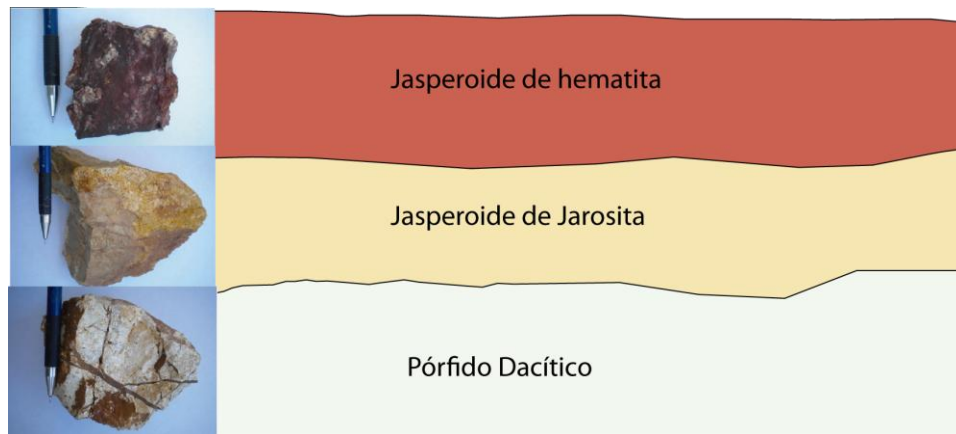


Figura 39: Esquema de la zonación de la mineralización en la mina Tres Amantes y San Antonio.

En la entrada de la mina Tres Amantes se observa alteración de óxidos de hierro a lo largo de la traza de la Falla Tres Amantes formando un halo de aproximadamente de 2 metros (Fig. 40). La orientación de la falla es de N20°E y controla también las ocurrencias de óxidos de cobre como patinas de crisocola y probablemente malaquita. Dentro de esta zona de falla se reconoce la presencia del pórfido dacítico, y en el contacto con las estructuras se observa fuertemente silicificado, con desarrollo de textura tipo vuggy sílica.

La alteración hidrotermal intensa está asociada a las estructuras mayores, lo cual indica que las mismas actuaron como canalizadoras de fluidos hidrotermales. Por lo tanto, para los procesos de mineralización en el Proyecto San Antonio esta permeabilidad secundaria toma un rol fundamental en distribución de la mineralización aurífera.



Figura 40: Imagen donde se muestra la falla inversa ubicada en la entrada de la mina Tres Amantes, destacándose su relación con la alteración presente.

En este mismo contexto, en las labores de mina Tres Amantes se reconoce un sector que no tiene expresión en superficie, y está constituida por vetillas de pirita-chalcantita con orientación $N45^{\circ}W/67^{\circ}SW$, donde se observa un evento sobrepuesto de vetillas de baritina (Fig. 41). La roca huésped del vetilleo descrito, corresponde a pórfido dacítico con alteración sericítica moderada a fuerte y diseminación de pirita fina de 1 a 3%.

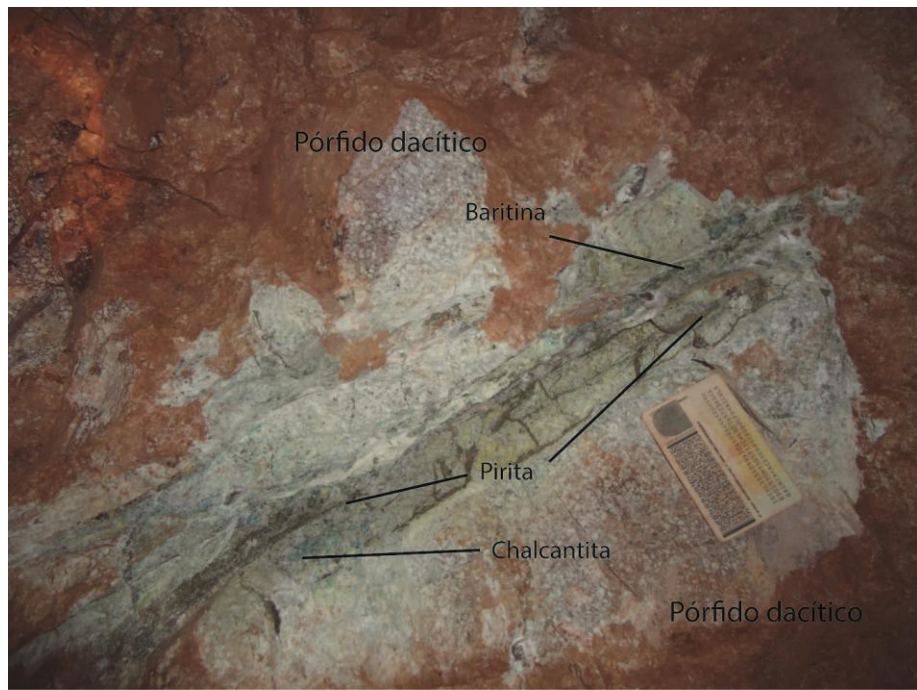


Figura 41: Vetillas en el pórfido dacítico en el interior de la Mina Tres Amantes.

Esta muestra fue descrita también microscópicamente (Fig. 42 A y B) en corte transparente, en la cual solo se aprecia, como parte de la mineralogía primaria de la roca relictos de plagioclasas. Dentro de la mineralogía de alteración se encuentra una gran cantidad de sericita, cuarzo secundario, pirita en vetillas y diseminada. Además se observan vetillas de baritina cortando a las vetillas de pirita.

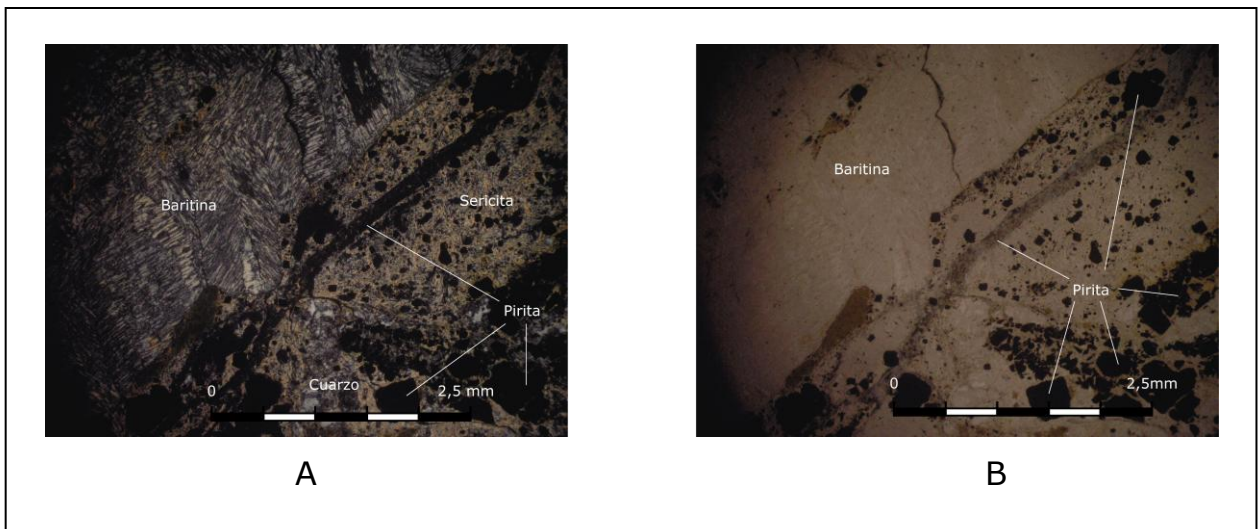


Figura 42: Imagen de corte transparente de muestra de pórfido dacítico alterado, donde se identifican los minerales presentes. A) Esta imagen corresponde al corte a nicols cruzados. B) Misma imagen a nicols paralelos.

4.2 Mineralización

Los datos de geoquímica utilizados para el análisis fueron facilitados por Minera Hochschild Chile, y corresponden a las muestras recolectadas durante la campaña de exploración entre Enero y Marzo de 2012.

Para poder entender la distribución de la mineralización aurífera en las rocas, se muestrearon 3 tipos de litología en las labores: el pórfido dacítico (muestras obtenidas cercanas al contacto con el jasperoideo), el manto jasperoideo y las calizas (roca huésped). De esta manera es posible establecer una relación entre la concentración de Au y el tipo de litología (Tabla 1).

Tabla 1: Muestra las concentraciones de Au por litología, se muestran como valores representativos el valor medio y el valor máximo de Au.

Tipo de Litología	Valor medio de Au (ppm)	Valor máximo de Au (ppm)
Calizas	0,4	1,6
Manto jasperoideo	1,4	11,9
Pórfido dacítico	0,8	12

De esta información se obtiene que tanto en el manto silicificado como en el pórfido los valores máximos de Au son similares. Sin embargo, hay una diferencia importante en el valor medio de Au entre estas dos litologías. Esto se explica a que en la mayoría de las muestras de pórfidos el contenido de Au se concentran en contenidos menores de hasta 2,5 ppm, mientras que en las muestras del manto se reconocen valores ligeramente más altos, hasta los 3,5 ppm. Además, Muñoz (2012c) observa que las muestras con mayor contenido de Au se encuentran adyacente a las estructuras principales.

Además, se realizó un análisis de correlación de elementos, mediante el cual se observa buena correlación del Au con Fe y As, moderada con Mo y correlación inversa con Cu, Zn y Mn (Muñoz, 2012b). La buena correlación del oro con el hierro es evidente, ya que la mineralización se encuentra

ligada a la presencia de óxidos de Fe en el jasperoide. La buena correlación con el As es debido a que parte del oro puede estar contenido en arsenopirita o pirita arsénica. La correlación inversa entre el oro y los metales base, en particular el cobre, es importante en esta zona ya que aleja este tipo de mineralización de los tipo IOCG en los cuales la correlación entre Cu y Au es buena.

Debido a que los análisis arrojaron una escasa a nula presencia de Ag en la zona mineralizada, se considera que la mineralización del Proyecto San Antonio no tiene relación con la mina argentífera como Chañarcillo.

V. Discusiones

5.1 Control estratigráfico sobre la mineralización

De acuerdo al mapeo estratigráfico realizado, las rocas que hospedan la mineralización son calizas y calizas margosas. Como ya fue mencionado anteriormente, estas calizas se caracterizan por ser de grano muy fino y tener un alto contenido de carbonato de calcio, por lo que son denominadas con alto grado de pureza. Tanto el tamaño de grano como la pureza de las calizas, tiene una influencia directa en la porosidad/permeabilidad primaria de estas rocas, además el alto contenido de carbonato tiene un efecto buffer sobre los fluidos ácidos, neutralizándolos rápidamente.

Lo anterior sugiere que la roca caja presente en el proyecto San Antonio se constituye de capas continuas de rocas sedimentaria poco permeables y poco receptivas a percolación de fluidos. Sin embargo, es posible reconocer en sectores de la Unidad de Nantoco superior calizas arenosas y lutitas calcáreas (más receptivas debido a su porosidad), pero su extensión es restringida y discontinua debido a solamente ser reconocidas como lentes discretos. Una posibilidad es que estos lentes hayan servido de roca huésped de los fluidos mineralizadores, pero es difícil de saber debido a la discontinuidad de su ocurrencia y del alto grado de lixiviación observado en las zonas mineralizadas que no permite reconocer el protolito.

5.2 Control estructural sobre la mineralización

En la entrada de la mina Tres Amantes se observa una relación importante entre la falla subvertical (Tres Amantes), la ubicación del pórfido dacítico y la presencia de alteración de óxidos de hierro. Además, una conclusión preliminar importante de los reportes de Muñoz (2012) es que las muestras

que indican valores más altos de Au, son aquellas recolectadas cercanas a esta estructura. Adicionalmente se observa una relación espacial importante entre la traza de las fallas y la distribución de las labores menores. Esto sugiere que las fallas principales actuaron como canales de los fluidos hidrotermales portadores de oro que generaron el depósito en la Mina Tres Amantes (Fig. 40).

En cuanto a la mina San Antonio, como fue mencionado anteriormente, se encuentra sobre la traza de la falla homónima responsable del plegamiento de "roll over" invertido. Esto refuerza la hipótesis que las fallas actúan como conductos de los fluidos mineralizadores ya observado en la falla Tres Amantes.

Esta estrecha relación entre el pórfido dacítico, la mineralización y las estructuras principales observada en el Proyecto San Antonio no es algo inusual. Se ha reconocido que la inversión de fallas normales juega un rol importante para la formación de trampas de hidrocarburos y mineralización, y que es posible ocasionar el emplazamiento de unidades intrusivas durante este tipo de deformación (Fig. 43). Esto es debido a que la inversión de fallas extensionales (pre-existent) produce una superposición de estilos estructurales y geometrías que forman estructuras complejas, que a su vez facilitarían la circulación de fluidos y el ascenso de magmas (McClay, 2004).

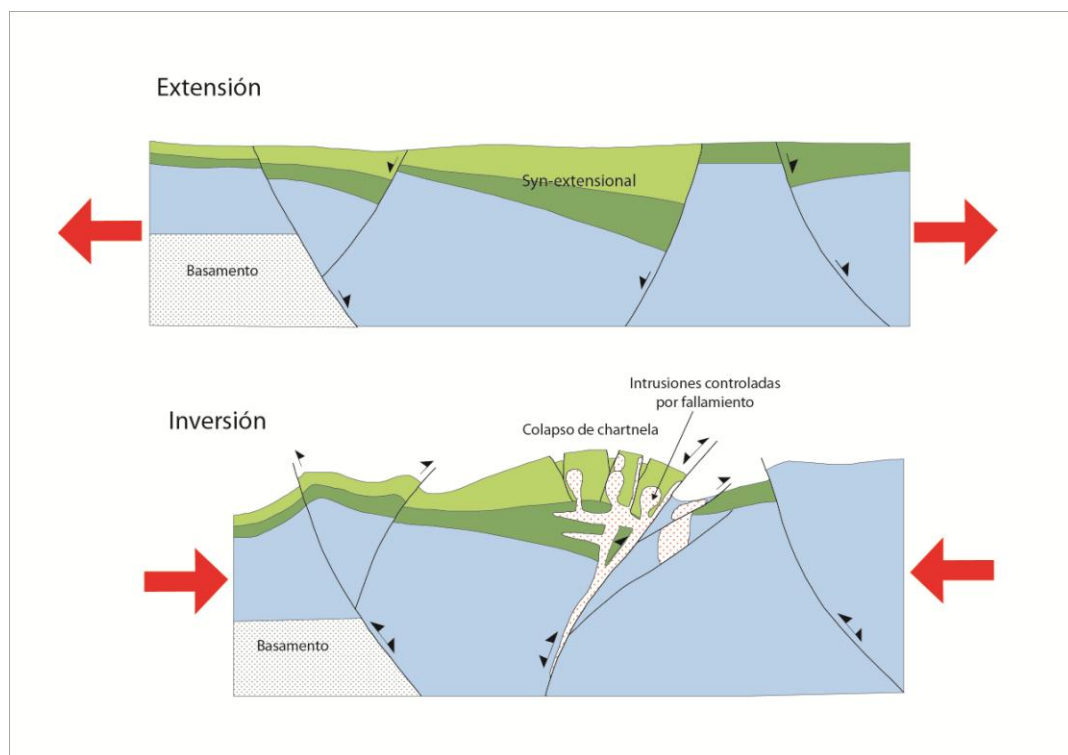


Figura 43: Modelo de emplazamiento de intrusivos y mineralización bajo un sistema de inversión. Modificado de McClay (2004).

En cuanto al control del plegamiento sobre la mineralización se debe mencionar que la Mina Tres Amantes se encuentra ubicada sobre la traza de la charnela del anticlinal San Antonio. De acuerdo a Arehart (1996), crestas de pliegues pueden entrapar o inhibir movimientos de los fluidos mineralizadores, o actuar como un punto de aumento de la sobrepresión de los fluidos hidrotermales, las cuales pueden gatillar la precipitación de minerales de mena (Fig. 44). También menciona que es probable que el plegamiento influya en la migración de los fluidos hidrotermales pudiendo precipitar oro lejano a la fuente. Bajo este argumento es probable que el anticlinal San Antonio cumpla un rol fundamental en la geometría del depósito mineral en Mina Tres Amantes.

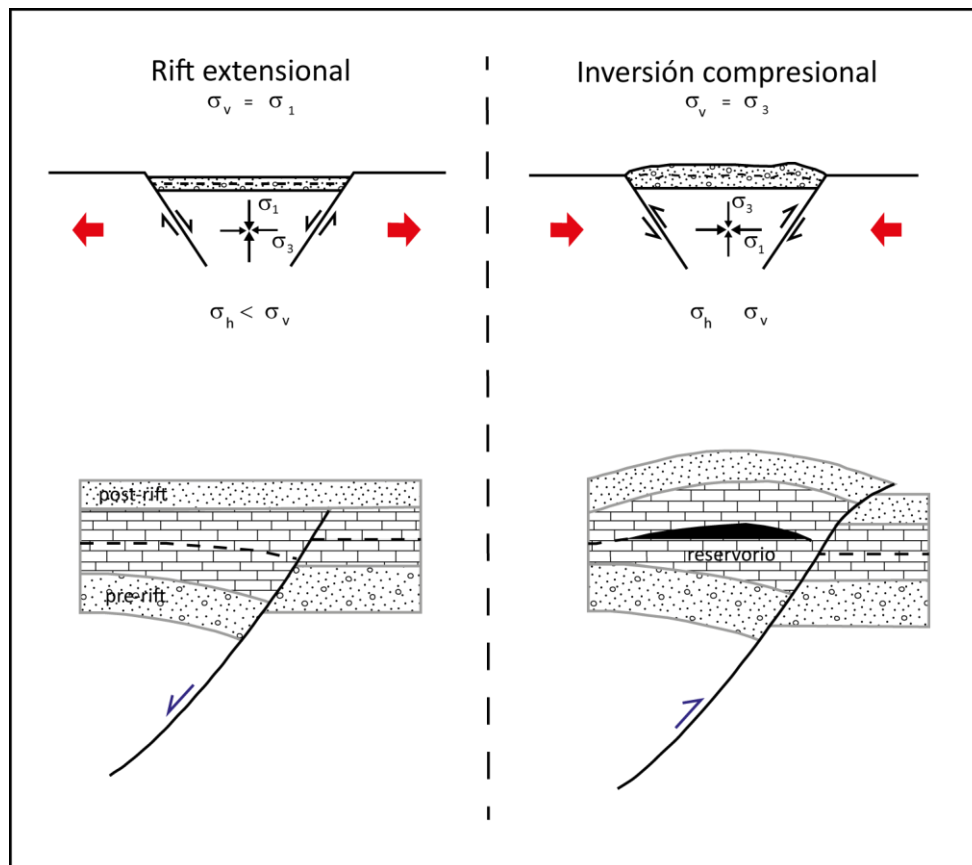


Figura 44: La figura ilustra la inversión tectónica de una cuenca sedimentaria originalmente extensional, muestra a cierta profundidad el cambio de la dirección del stress principal. Además se muestra el desarrollo de los sedimentos pre-rift, syn-rift y post rift, durante el fallamiento normal, seguido por la reactivación inversa durante el acortamiento con la formación del anticlinal que crea espacio y puede servir como reservorio. Modificado de Richard H. Sibson (2007).

Para hablar de control estructural es necesario establecer una relación entre los esfuerzos principales y la disposición de la mineralización. De acuerdo a la información disponible se estableció una dirección de los esfuerzos principales, NO-SE para σ_1 y SO-NE para σ_3 . Esto concuerda de muy buena manera con la disposición observada de la alteración en el área de estudio que se extiende NE-SO perpendicular a σ_1 y paralelo a σ_3 . Esto sugiere un control estructural sobre la mineralización, además de un control de permeabilidad secundaria producido por la deformación que facilita la circulación de los fluidos.

5.3 Importancia del pórfido dacítico para la mineralización

El pórfido dacítico (mapeado y descrito en detalle en el capítulo de Geología del proyecto San Antonio), a menudo se observa ligado, a lo menos espacialmente, al manto (cuerpo jasperiode mineralizado). Esta observación podría sugerir una relación directa entre la formación del jasperiode y los fluidos generados por el enfriamiento de dicho cuerpo intrusivo. Sin embargo, esta no es la única forma en la que el intrusivo puede ser importante para la generación del jasperiode, también es posible que el emplazamiento del intrusivo haya sido anterior al evento mineralizador y el contacto entre este y las calizas haya servido como zonas más débiles generando una permeabilidad secundaria adicional a la generada por estructuras mayores y fracturas. El contraste de competencia (comportamiento de las rocas sometidas a esfuerzos) entre el intrusivo y las calizas durante la compresión y plegamiento, puede generar espacios y permeabilidad en zonas de contacto deformadas. Esta permeabilidad secundaria podría ser de gran importancia para el ascenso y circulación de los fluidos mineralizadores a través de las calizas.

Para corroborar si existe una relación genética entre el intrusivo y la alteración se sugiere realizar una datación al intrusivo (utilizando el método U/Pb en zircones) y una datación a la alteración hidrotermal en sericita (utilizando el método Ar/Ar) y comparar si las edades son contemporáneas. Sin embargo, de esta manera se limitaría a establecer una relación entre el intrusivo y la alteración, no siendo posible asegurar nada con respecto a la génesis del jasperiode y/o mineralización. En efecto, en la literatura se menciona cierta controversia en torno a la datación de la sericita, el problema principal se basa en la existencia de una relación genética entre las sericitas a datar y mineralización. Para abordar este problema los autores proponen una selección cuidadosa de las muestras, basadas en las relaciones en terreno, análisis microscópicos, geoquímica y análisis de isótopos estables.

5.4 Modelo Metalogénico

5.4.1 Depósitos de Oro alojados en Sedimentos Carbonáticos

De acuerdo a las características mencionadas el Proyecto San Antonio, se asemeja a los tipos de Depósitos de Oro Diseminado Hospedados en Sedimentos Carbonáticos (SHDG). Estos depósitos dan origen de numerables discusiones, su génesis y clasificación aún no son del todo clara.

Dichos depósitos se caracterizan por contener Au fino diseminado hospedado en secuencias de rocas carbonáticas con fuerte control estratigráfico y estructural, siendo la ocurrencia de intrusivos como fuente de fluidos hidrotermales fuertemente discutida.

La mayoría de los depósitos descritos de este tipo se encuentran en la gran cuenca en el oeste de USA, algunos similares a estos han sido reconocidos en el sur de China, sureste asiático y Perú (Arehart, 1996). La presencia de estos depósitos en Chile fue documentado en el proyecto Jerónimo dentro del Distrito Potrerillos ubicado en la región de Atacama, donde Thompson *et al.* (2004) reconocieron una mineralización tipo Reemplazo de Carbonato distal.

Dentro de los depósitos de Au alojados en sedimentos carbonáticos Hofstra y Cline (2000) dividen en dos subtipos de acuerdo a su relación con los intrusivos, los tipo Carlin y Diseminado distal o Reemplazo de Carbonato. Para este último se interpretó una relación directa de los fluidos hidrotermales con las intrusiones magmáticas (Fig. 45).

Los depósitos de reemplazo de carbonato tienen una configuración de metales variables (Cu, Zn, Pb, Ag y Au) y presentan enriquecimientos locales de otros elementos traza (W, Sn, Bi, Mn, As, Sb, Te y Hg) (Arehart, 1996). Normalmente estos depósitos han sido explotados por metales base, sin embargo algunos de ellos son ricos en Au con menor enriquecimiento en metales base (ej. Star Pointer, Nevada; Albino, 1995), y se han interpretado como la parte más distal de sistemas magmáticos-hidrotermales (Fig. 45; Sillitoe y Bonham, 1990; Sillitoe, 1991).

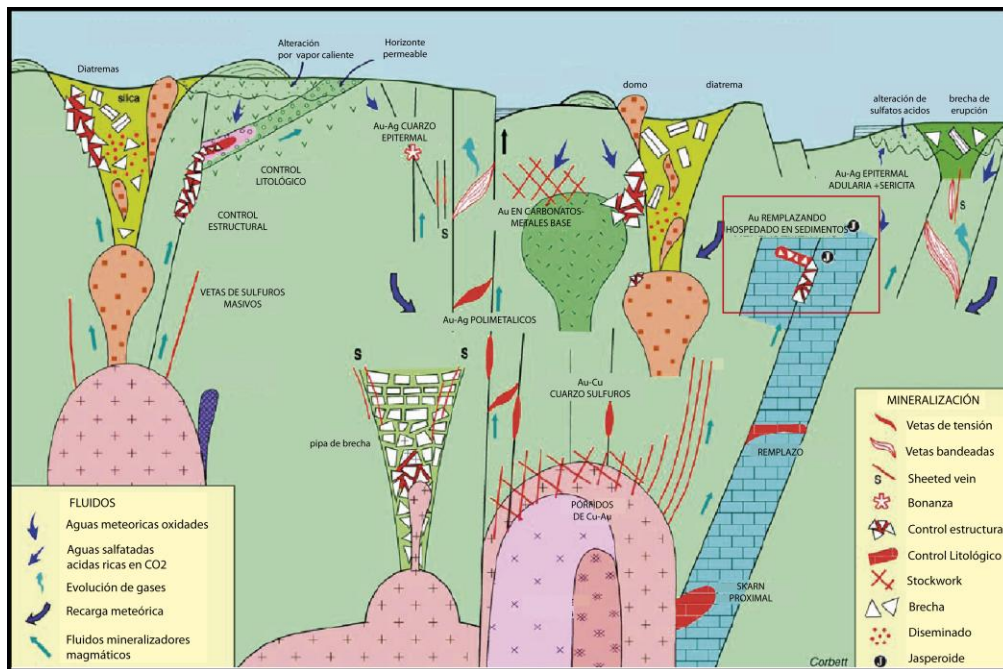


Figura 45: Modelo conceptual de estilos de mineralización desarrollados en arcos magmáticos. En la imagen se destaca con un rectángulo rojo la ubicación y las características de los depósitos tipo reemplazo de carbonatos. Modificado de Corbett (2004)

Este tipo de depósitos caracterizados por desarrollar reemplazo de carbonatos ricos en Au, comparten muchas características con los depósitos tipo Carlin como la litología, el control estructural, roca caja y tipos de alteración (descarbonatación, silicificación y argilización; Fig. 46). Además, en ambos tipos de depósitos la mineralización de Au se presenta en granos finos. Sin embargo, el control de la mineralogía, la distribución del oro, la asociación de la mineralogía y la geoquímica relacionada a esta, puede ser muy diferentes entre los dos tipos de depósitos (Arehart, 1996).

Estos depósitos ocurren como mineralización de reemplazo en calizas y dolomitas. La mineralización es controlada estructural y litológicamente, prefiriendo capas de calizas permeables formando cuerpos de mantos y chimeneas (Thompson *et al.*, 2004; Fig. 46).

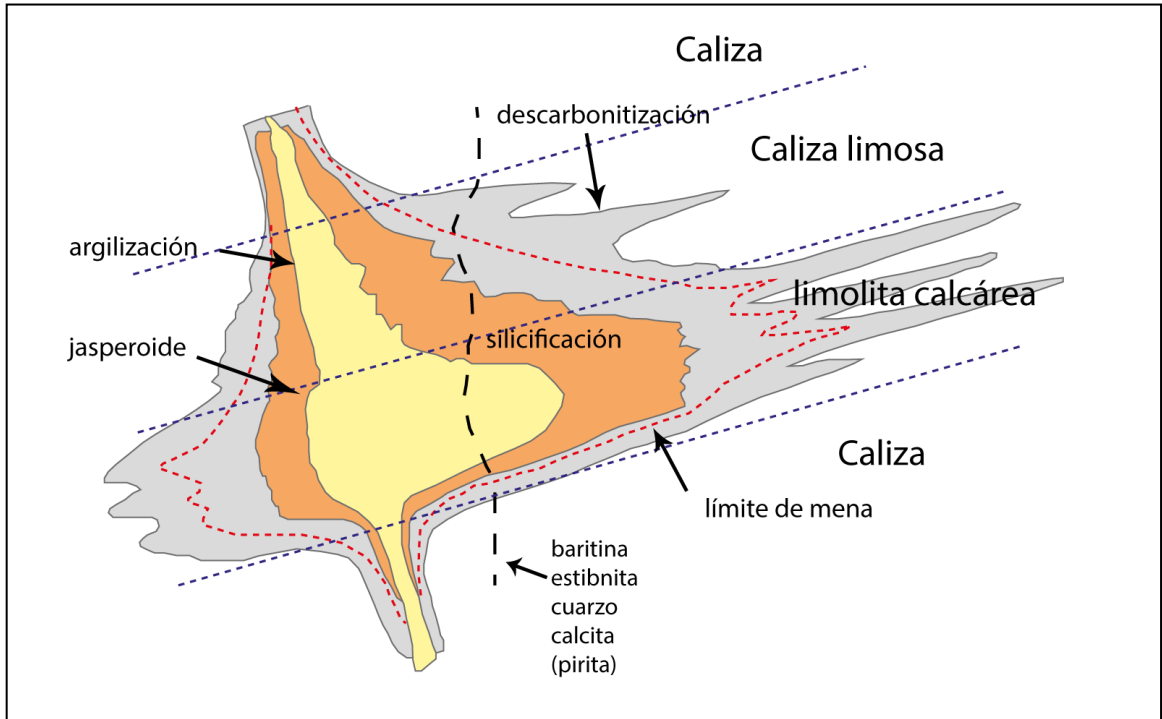


Figura 46: Perfil esquemático de un típico depósito de Au diseminado hospedado en sedimentos mostrando las principales características de alteración y mineralización adyacentes a una estructura que actúa como alimentadora de los fluidos (feeder). Modificado de Arehart (1996)

Los ensambles minerales característicos de sulfuros en este tipo de depósitos constan de pirita, arsenopirita, esfalerita, galena, calcopirita, marcasita, pirrotina. Su patrón geoquímico es más variable que los depósitos tipo Carlin y consiste en As-Sb-Pb-Zn±Ag, Mn, Tl, Te, Cu, Hg, Bi y Sn. Al igual que en los depósitos tipo Carlin, las alteraciones desarrolladas en los depósitos de reemplazo de carbonatos son descarbonatación, silicificación (formación de jasperoide), argilización y carbonatación. Generalmente esta secuencia de alteración presenta esta asociación tanto espacial como temporalmente (Arehart, 1996). En contraste con los Carlin, en estos depósitos se reconocen las intrusiones ígneas como la mayor fuente de calor, fluidos y metales (ej. *Beaty et. al., 1990*).

Arehart (1996) menciona la descarbonatación como el primer evento de alteración y más extenso arealmente. Esta alteración comprende la remoción de carbonatos de las rocas provocando disminución en el volumen de estas y además, es altamente variable dentro de un mismo depósito y entre diferentes depósitos. Comúnmente responde a un control estratigráfico fuerte (dependiendo de la permeabilidad y porosidad de las litologías), donde las litologías menos permeables sufren una descarbonatación mucho menos extensa. El rango de litologías con permeabilidad favorable son desde

carbonatos limosos y arenosos a limolitas y lutitas calcáreas, y entre las rocas menos favorables (baja permeabilidad) se incluye limolitas, lutitas y capas de carbonatos puros.

Megaw (1998) reconoce que la silicificación y desarrollo de jasperoide se encuentra comúnmente en las partes periféricas de los sistemas tipo de reemplazo de carbonato, donde el jasperoide localmente contiene Au.

El Au se encuentra como partículas discretas, normalmente entre 1 a 100 μm , los cuales están encapsulados en minerales de ganga y sulfuros, o en la periferia de los minerales (ej. Purísima Concepción, Perú; Álvarez y Noble, 1988). Se ha observado como capas finas cubriendo pirita arsénica, como inclusiones de Au nativo de tamaño submicrométrico en la pirita arsénica, y como átomos en la estructura del mismo mineral (Simon et al., 1999; Hofstra y Cline, 2000).

El mecanismo de precipitación de la mineralización se cree que está ligado a la neutralización de los fluidos mineralizadores durante la disolución del carbonato, aunque la alteración argílica y silicificación también pueden jugar un rol fundamental en el proceso de formación del depósito (Laurence Robb, 2005).

En Chile el depósito Jerónimo se encuentra emplazado en secuencias calcáreas donde capas permeables de componentes bioclásticos hospedan la mineralización aurífera.

Caddey (1999) describe para este depósito, un estilo estructural caracterizado por plegamiento, fallas y fracturas que habría favorecido la permeabilidad secundaria de las calizas. Identifica un arreglo de fallas subverticales tardías de escala centimétrica cortando la capa bioclástica y las unidades sobreyacentes, y también describe que presentan relleno de calcita y sulfuros de As. Además interpretó que el fallamiento y fracturamiento es premineral.

De acuerdo a Thompson *et al.* (2004) pozos de diamantina realizados interceptando la falla Mapuche, de carácter subvertical, muestran que las leyes de Au están localmente elevadas en la zona de falla (ej. 2.9 g/t), sugiriendo que esta actúa como uno de los conductos de los fluidos mineralizadores. Por lo cual proponen que las fallas principales pueden haber actuado como feeders de los fluidos hacia las capas bioclásticas, y además que la preparación estructural de las calizas bioclásticas pueden haber mejorado su porosidad y permeabilidad.

En Jerónimo Thompson *et al.* (2004) describe la alteración en la zona mineralizada como descarbonatación seguido por reemplazo de sílice pervasivo intenso, carbonatos de Mn en oquedades (rodocrosita y

kutnohorita) en el centro del cuerpo mineralizado y calcita-dolomita en los márgenes. La argilización consiste en illita ampliamente diseminada y en vetillas, y caolinita rellenando oquedades en el centro del cuerpo mineralizado.

El Au en el mismo depósito se presenta como granos submicrométricos encapsulados en pirita, arsenopirita, cuarzo y rejalgar, y además se encuentra en oquedades en la matriz silicificada (Thompson *et al.*, 2004).

5.4.2 San Antonio y Depósitos de oro diseminado hospedados en rocas sedimentarias carbonáticas

De acuerdo a las observaciones realizadas el Proyecto San Antonio comparte características en la mineralización y controles de la misma, con los mencionado Reemplazo en carbonatos.

- *Control litológico*: como se señaló anteriormente los tipos de roca huésped más comunes en los depósitos tipo reemplazo de carbonatos son capas de carbonatos limosos a limolitas calcáreas y lutitas calcáreas, donde el control litológico en la mineralización es importante para el desarrollo de los cuerpos mineralizados. Además, el carbonato de calcio proporcionado por las calizas cumple un rol importante en la neutralización de los fluidos y precipitación de la mineralización.

Arehart (1996) describe que en algunos ejemplos, los horizontes mineralizados representan unidades originales de solo un par de metros de espesor y que pueden ser trazados por cientos de metros lateralmente. Sin embargo, en contraste a la favorabilidad de las rocas descritas anteriormente, las rocas ígneas (diques y sill) y carbonatos puros o lutitas, están generalmente menos mineralizadas y pueden formar barreras para el flujo de los fluidos. De acuerdo a esto en el Proyecto San Antonio no es considerado de gran importancia este tipo de control, debido a la pureza de las calizas observadas y a la discontinuidad de niveles de calizas arenosa y lutitas calcáreas que podrían haber sido niveles favorables. Se encuentran antecedentes de depósitos de Au hospedados en sedimentos carbonáticos que presentan características similares respecto al control estratigráfico, un ejemplo de esto es Pinson (Madrid *et al.*, 1988), el cual se caracteriza por poseer un fuerte control estructural y ausencia de una capa favorable mineralizada.

- *Control estructural*: En San Antonio este control es importante en cuanto a la canalización de fluidos mineralizadores, donde las fallas Tres Amantes y San Antonio actuarían como feeders de los mismos, como ocurre en el depósito Jerónimo y otros depósitos tipo reemplazo de carbonatos.

Por otro lado, Lurence Robb (2005) describe que estos depósitos de oro se desarrollan en los contactos donde las fallas subverticales intersectan capas superiores impermeables y en la cresta de anticlinales propagados por fallas. Esto concuerda muy bien con lo observado en el depósito Mina Tres Amantes, el cual puede haber sido favorecido por los espacios generados en la charnela del pliegue de "roll over" homónimo. Una situación similar ya ha sido documentada en el Distrito de Carlin, donde mucho de los cuerpos mineralizados se encuentran a lo largo de las culminaciones de los ejes de los pliegues de tendencia NNO (Madrid y Bagby, 1986; Leonardson y Rahn, 1995).

- *Intrusivos*: el emplazamiento del pórfido dacítico estuvo controlado por las fallas tectónicas principales en la zona (San Antonio y Tres Amantes), al igual que los fluidos mineralizadores. Sin embargo, no se puede asegurar con los datos disponibles hasta el momento una relación genética directa entre dicho pórfido y los fluidos hidrotermales responsables de la mineralización. Makshev (2001) menciona que generalmente la fuente de los fluidos mineralizadores de los depósitos tipo reemplazo de carbonatos se encuentran alrededor de 500 metros de los depósitos, aunque diques de pórfido usualmente ocupan las fallas que controlan la mineralización. De acuerdo a esto, es probable que el pórfido solo haya sido importante debido a que proporciona zonas de debilidad en el contacto con las calizas, que pueden ser utilizadas para la circulación de los fluidos en presencia de rocas tan poco permeables como en el caso del proyecto San Antonio.
- *Alteración hidrotermal*: La participación de la descarbonatación en la preparación de la roca huésped es fundamental para generar espacio a los fluidos mineralizantes para el desarrollo del depósito (Carlin y Jerónimo). Generalmente esta alteración tiene una mayor extensión en los sectores donde los feeders interceptan capas favorables. En San Antonio, al no poseer capas favorables, la alteración observada es la silicificación (formación de jaseroide) y esta controlada por la permeabilidad secundaria de las calizas. De esto se estima que de haberse desarrollado la descarbonatación probablemente tuvo una extensión restringida similar a la extensión del jaseroide y por ello no es observable (Fig. 46).

La sericita presente en el área de estudio probablemente es parte de la alteración relacionada con la mineralización de oro. Sin embargo, Arehart (1996) menciona que algunos minerales de sericita podrían tener otro

origen (ej: origen correspondiente a un metamorfismo regional), lo que podría llevar a confusiones. De esta manera, el autor señala que las observaciones de la relación y aumento de la sericita hacia las zonas mineralizadas, en terreno, son fundamental en el reconocimiento de sericita de origen hidrotermal ligada genéticamente a la mineralización.

- *Mineralización*: en San Antonio la mineralización fue reconocida en las calizas, en el pórfido dacítico y en el jasperoide, siendo este último donde se encuentran las anomalías de Au más elevadas (hasta 12 g/t). Algo similar ocurre en Jeritt Canyon (Hofstra et al., 1988) y Pinson (Madrid et al., 1988), donde una porción significativa de la mineralización se encuentran en las zonas altamente silicificadas (casi completamente reemplazadas) de los depósitos.

De acuerdo a los datos aportados por Muñoz (2012), San Antonio es anómalo en Au y pobre en metales base (correlación inversa) como igualmente se mencionó para Jerónimo (Thompson *et al.*, 2004). Como ya fue señalado en estos tipos de depósitos (ej. Carlin y Jerónimo) el Au está ligado a la pirita arsénica y arsenopirita. Por su parte en el proyecto San Antonio se mencionó la posible existencia de esta relación basado en la buena correlación entre el Au y el As.

Arehart (1996) señala que, dentro de los depósitos de Au hospedados en sedimentos calcáreos, los cuerpos mineralizados más grandes reconocidos como Post/Betz poseen mineralización estratiforme y un fuerte control estructural por fallas. De acuerdo con esto, es posible que el tamaño del proyecto San Antonio este limitado por la ausencia de una capa permeable que le hubiese permitido expandir el área mineralizada de manera estratiforme como lo sucedido en yacimientos como Post/Betz, Carlin y Jerónimo.

5.4.3 Génesis

Un aspecto importante es identificar las condiciones bajo las cuales fue formado el depósito para poder definir criterios de exploración a nivel distrital. Debido a la escasa información de dataciones en el área, se utilizaron los datos disponibles de la región y las observaciones de terreno para dilucidar las condiciones de génesis.

Los intrusivos, presentes en el área en su mayoría se disponen como filones mantos concordantes con la estratigrafía. Esto sugiere que el emplazamiento de estos cuerpos intrusivos fue bajo el régimen extensivo del Cretácico Inferior. Lo anterior concuerda de buena manera con las edades asignadas a

los intrusivos reconocidos como gabrodiorita (Cretácico Inferior alto) y dioritas (98 Ma.) presentes en el área de estudio.

Sin embargo, el pórfido dacítico tiene una disposición un poco distinta, como dique y ligeramente discordante con la estratigrafía. Además, la edad asignada al emplazamiento de este tipo de intrusivos es de 90-86 Ma (Arévalo, 2005). Debido a la importancia del pórfido dacítico y la falla inversa Tres Amantes para el desarrollo de la mineralización de oro, este evento de mineralización debería ser posterior a la edad del pórfido dacítico y de la generación de la falla Tres Amantes. Todo esto sugiere que la edad de la mineralización debe ser menor a 90-86 Ma y se generaría en el comienzo de la inversión de la cuenca bajo un régimen compresivo.

Dado que la génesis de este depósito estaría relacionada a la etapa compresiva se sugiere que dentro de la Franja Metalogénica de Cretácico Inferior se encuentran depósitos formados durante un régimen extensional y otros relacionados a la etapa de inversión, como se postula para San Antonio. Algo similar fue observado anteriormente en el distrito El Espino, comuna de Illapel, perteneciente a la Franja Metalogénica del Cretácico. Para este distrito se concluyó que la mineralización estaría ligada a la etapa compresiva (Del Real, 2011).

De esta forma los criterios de exploración sugeridos para este tipo de depósitos a nivel distrital hacia el norte y el sur del proyecto San Antonio, es la búsqueda de estructuras de anticlinales y fallas de alto ángulo ligadas al proceso de inversión dentro de las secuencias calcáreas. Seguido a esto, es necesario buscar en la estratigrafía capas con buena permeabilidad que puedan servir como ambientes favorables para la mineralización que aumentan considerablemente el potencial de este tipo de depósitos.

VI. Conclusiones

La pureza de las calizas no permite un mayor desarrollo de la alteración producida por los fluidos hidrotermales, debido a su escasa porosidad y gran capacidad de neutralizar los fluidos que puede haber influido en el alcance de estos. En general, la estratigrafía no ejerce un control importante sobre la mineralización en el proyecto San Antonio, debido a la ausencia de una capa sedimentaria continua favorable para la circulación de fluidos y por el contrario se reconocen capas que en la literatura son mencionadas como capas que bloquean el paso de estos.

Por el contrario, la mineralización en el proyecto San Antonio tendría un fuerte control estructural, ligado a las fallas y plegamientos correspondientes al desarrollo de una subcuenca entre las secuencias del Grupo Chañarcillo (Cretácico Inferior). Las fallas subverticales habrían actuado como canalizadores de los fluidos hidrotermales y el Anticlinal San Antonio como estructura fundamental en la formación de la Mina Tres Amantes debido a la creación de espacios en su charnela.

Se ha considerado, que independiente de la origen de los fluidos mineralizadores (magmáticos o meteóricos), el pórfido dacítico es de gran importancia en la mineralización, ya sea como la fuente de los fluidos hidrotermales o como un gestor importante de permeabilidad secundaria adicional, principalmente desarrolladas en zonas plegadas debido a la diferencia de competencia de las rocas.

Las características del depósito mineral presente en el Proyecto San Antonio, estudiadas en este trabajo, se ajusta de buena manera a los ya descritos depósitos tipo mineralización de oro en carbonatos (tipo Carlin o Reemplazo de carbonatos). Las similitudes estarían dadas por el reconocimiento de una roca caja carbonatada, el control estructural de fallas subverticales y plegamiento sobre la mineralización, la presencia de silicificación (jasperoide) y la mineralización de Au micrométrica posiblemente relacionada a arsenopirita.

Por otro lado, como ya fue mencionado el Proyecto San Antonio posee un fuerte control de la permeabilidad secundaria sobre la alteración y mineralización, y carece de un control estratigráfico esto es similar a lo documentado en Pinson, lo que podría explicar el discreto tamaño del depósito y alejarlos de otros depósitos como Jerónimo o Carlin.

Debido a la edad del pórfido dacítico y a la importante participación de estructuras de origen compresivo como canalizadores de los fluidos hidrotermales es que se sugiere que la formación del depósito se llevo a cabo bajo un régimen compresivo en un contexto de inversión tectónica. De esta

manera se sugiere que dentro de la Franja Metalogénica de Cretácico Inferior se encuentran depósitos formados durante un régimen extensional (ej. Candelaria) y otros relacionados a la etapa de inversión como sería el caso de San Antonio.

6.1 Recomendaciones

A partir de las discusiones y conclusiones generadas en este trabajo, se logra establecer algunas recomendaciones.

Se sugiere como focos de exploración las trazas de las estructuras mayores (Falla Tres Amantes, Falla San Antonio y Pliegue San Antonio) y el contacto entre el pórfido y las calizas, debido a que la permeabilidad secundaria es reconocido como el control fundamental de la mineralización. Sin embargo, el Anticlinal San Antonio podría ser de mayor interés debido a los espacios y fracturas que se crean en las charnelas.

Para dilucidar si el pórfido es el responsable directo de la alteración sericitica, se recomienda hacer una datación U/Pb en zircones del pórfido y una datación Ar/Ar en sericitas (adecuadamente seleccionada). Si además, es de interés saber la relación con la mineralización, se sugiere realizar un análisis de isótopos estables en la sericita e inclusiones fluidas en el jaseroide, mediante la comparación de los datos obtenidos se puede esclarecer si la sericita es de origen hidrotermal y si tiene o no relación con la mineralización de oro.

Para exploración a nivel distrital de este tipo de depósitos se recomienda la búsqueda de estructuras complejas integradas por anticlinales y fallas de alto ángulo ligadas al proceso de inversión entre las secuencias calcáreas. Luego buscar capas con buena permeabilidad que puedan servir como capas favorables para la formación de mantos, los cuales aumentan considerablemente el potencial de este tipo de depósitos.

VII. Referencias

- Aguirre, L. 1985. The Southern Andes, in Nairn, A. E. M, Stehli, F. G; Uyenda, S. The ocean basin and margins. *The Pacific Ocean: New York, Plenum Press, Volume 7A*, p. 265-376.
- Albino, G. 1995. Porphyry copper deposits of the Great Basin-Nevada. *Utha and adjacent California: Arizona Geological Society Digest 20*. p.267-296.
- Alvarez, A y Noble, D. 1988. Sedimentary rock-hosted disseminated precious metal mineralization at Purísima Concepción, Yauricocha district, central Perú. *Economic Geology, v. 83, p. 1368-1378*.
- Arehart, G.B., 1996, Characteristics and origin of sediment-hosted disseminated gold deposits: A review; *Ore Geology Reviews*, v. 11, p. 383-403.
- Arévalo, C; Grocott, J; Martin, W; Pringle, M; Taylor, G. 2006. Structural Settings of the Candelaria Fe Oxide Cu-Au Deposit, Chilean Andes (27°30' S). *Economic Geology*, v. 101, p. 819-841.
- Arévalo, C. 2005. Carta los Loros, Región de Atacama. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, No. 92*: p. 54, escala 1:100.000.
- Arévalo, C. 1995. Mapa Geológico de Copiapó, Región de Atacama. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Documentos de Trabajo N°6*.
- Arévalo, C., 1994. Mapa Geológico del Cuadrángulo Los Loros. Documentos de Trabajo 6. SERNAGEOMIN, Santiago de Chile, escala 1:100 000.
- Arévalo, C; Mpodozis, C. 1991. Tectónica del Grupo Chañarcillo: Una franja de cabalgamientos con vergencia al oeste en el valle del Río Copiapó, Región de Atacama, Chile. *Congreso Geológico Chileno 1991, Resúmenes Ampliados* p. 81-83.
- Bally, A.W. 1984. Tectogenése et sismique réflexion. *B. Soc. Géol.Fr.* vol. 26, p. 279-285.
- Beaty, D.W; Landis, G. P; Thompson, T.B. 1990. Carbonate-hosted sulfide deposits of the central Colorado mineral belt. *Economic Geology Monograph 7*, p.1-18.

Biese-Nickel, W.A., 1942. La distribución del Cretácico Inferior al Sur de Copiapó. I Congreso Panamericano de Ingeniería de Minas y Geología (Santiago) 2, pp. 429-466.

Boric, R; Díaz, F; Makshev, V. 1990. Geología y yacimientos metalíferos de la Región de Antofagasta. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago, Boletín 40.*

Caddey, S. 1999. Preliminary structural investigation, ore controls, and exploration implication of the Agua de la Falda gold deposits, Potrerillos, Chile. *Minera Homestake Chile S.A. unpublished internal report*, p. 28.

Charrier, R; Pinto, L; Pia Rodriguez, M. 2007. Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. En Moreno, T. y Gibbons, W. (eds). *The Geology of Chile, Geological Society*. London, p. 21-100.

Cline, J.S; Stuart, F.M; Hofstra, A.H; Premo, W; Riciputi, L; Tosdal, R.M; Tretbar, D. R. 2003. Multiple sources of ore-fluid components at the Getchell Carlin-type gold deposit, Nevada, U.S.A. *Biennial Society for Geology Applied to Mineral Deposits Meeting 7th, Athens, Proceedings*. v.2, p.965-968.

Cisternas, M. E; Díaz, L. L. 1990. Geologic evolution of the Atacama Basin during the Lower Cretaceous Stratabound Ore Deposits in the Andes. Fontboté, L; Amstutz, G. C; Cardozo, M; Cedillo, E; Frutos, J. (Eds.). *Society for Geology Applied to Mineral Deposits, Special Publication 8*, p. 495-504.

Corvalán, J. 1974. Estratigrafía del Neocomiano marino de la región del sur de Copiapó, Provincia de Atacama. *Revista Geológica de Chile*, v.1, p. 13-36.

Espinoza, S. 1990. The Atacama-Coquimbo Ferriferous Belt, Northern Chile. In: Fontboté, L; Amstutz, G. C; Cardozo, M; Cedillo, E; Frutos, J. (eds) *Stratabound Ore Deposits in the Andes. Springer, Berlin*, p. 353-364.

Gale, V. G. 1999. Characteristics and formation of the Jerónimo carbonate replacement gold deposit, Potrerillos district, Atacama Region, Chile. M.Sc. thesis, Vancouver, University of British Columbia, p. 220.

Glennie, K. W. and Boegner, P. L. F. 1981. Sole pit inversion tectonics, in Illing, L. V. and Hobson, G. D., (eds), *Petroleum Geology of the Continental Shelf of Northwest Europe*, Heyden. p. 110-120.

Hofstra, A.H; Cline, J.S. 2000. Characteristics and models for Carlin-type gold deposits. *Reviews in Economic Geology*.v.13, p.163-220.

Iriarte, S; Arévalo, C; Mpdozis, C; Rivera, O. 1996. Mapa Geológico de la Hoja Carrera Pinto, Región de Atacama. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago, Mapas Geológicos 3*, escala 1.100.000.

Jurgan, H. 1977. Zur Gliederung der Unterkreide-Serien in der Provinz Atacama. Chile. *Geol. Rdsch.*, 66, p. 404-434.

Leonardson, R; Rahn, J. 1995. Structural geology and ore controls at the Barrick Goldstrike Betze open pit. *Geology and Ore Deposits of the American Cordillera. Program with Abstracts*.

Madrid, R; Bagby, W. 1986. Structural alignment of sediment hosted gold deposits in north-central Nevada; An example of inherited fabrics. *Geol. Soc. Am. Abstr.*, 18. p.393.

Maksaev, V. 2001. Reseña Metalogénica de Chile y de los Procesos que Determinan la Metalogénesis Andina, *Curso de Metalogénesis, Universidad de Chile*. p. 13.

Marschik, R; Fontboté, L. 2001. The Punta del Cobre Formation, Punta del Cobre-Candelaria area, northern Chile. *Journal of South American Earth Sciences 14 (2001)* p. 401-433.

Marschik, R; Fontboté, L. 2001 b. The Candelaria-Punta del Cobre iron oxide Cu-Au (Zn-Ag) deposits, Chile. *Economic Geology 96*, p. 1799-1826.

Marschik, R; Singer, B. S; Munizaga, F; Tassinari, C; Moritz, R; Fontboté, L. 1997. Age of Cu(-Fe)-Au mineralization and thermal evolution of the Punta del Cobre district, Chile. *Mineralium Deposita, 32*, 531-546.

Martinez, F; Arriagada, C; Peña, M; Del Real, I; Deckart, K. 2012. The structure of the Chañarcillo Basin: An example of tectonic inversion in the Atacama region, northern Chile. *Journal of South American Earth Sciences*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2012.07.001>

McClay, K. 2004. Structural models in the oil: the future for mineral exploration?. *SEG 2004, Predictive Mineral Discovery Under Cover*.

Megaw, P.K. 1998. Carbonate-hosted Pb-Zn-Ag-Cu-Au replacement deposits: An exploration perspective. *Mineralogical Association of Canada Short Course*. v.26, p. 337-357.

Megaw, P.K; Ruiz, J; Titley, S.R. 1988. High-temperature, carbonate-hosted, Ag-Pb-Zn (Cu) deposits of northern Mexico. *Economic Geology*. v.83, p. 1856-1885.

Ménard, J. J. 1995. Relationship between altered pyroxene diorite and the magnetite mineralization in the Chilean Iron Belt, with emphasis on the El Algarrobo iron deposits (Atacama Region, Chile). *Mineralium Deposita*, 30, p. 268-274.

Morata, D; Féraud, G; Aguirre, L; Arancibia, G; Belmar, M; Morales, S; Carrillo, J. 2008. Geocronología del volcanismo del Cretácico Inferior en la Cordillera de la Costa (29°20'-30°S), Chile. *Revista Geológica de Chile*, 35 (1), p. 123-145.

Moscoso, R.; Nasi, C.; Salinas, P. 1982a. Geología de la Hoja Vallenar y parte Norte de la Hoja La Serena. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago, Carta Geológica de Chile*, 55.

Mourgues, A. 2004. Advances in ammonite biostratigraphy of the marine Atacama basin (Lower Cretaceous), northern Chile, and its relationship with the Neuquén basin, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 17, p. 3-10.

Mourgues, F.A. 2001. Bioestratigrafía y paleontología del Grupo Chañarcillo, Cretácico Inferior, III Región, Chile (Inédito). *Servicio Nacional de Geología y Minería, informe paleontológico*, No. 2000-09, pp.84.

Muñoz, A. 2012a. Reporte Mensual Enero 2012, Proyecto San Antonio. Minera Hochschild Chile, Reporte interno.

Muñoz, A. 2012b. Reporte Semanal del 29 al 09 de Febrero 2012, Proyecto San Antonio. Minera Hochschild Chile, Reporte interno.

Muñoz, A. 2012c. Reporte Semanal del 24 al 30 de marzo, 2012, Proyecto San Antonio. Minera Hochschild Chile, Reporte interno.

Pérez, E; Cooper, M; Covacevich.1990. Aptian ammonite-based age for the Pabellón Formation Atacama Region, Northern Chile. *Revista Geológica de Chile, Santiago de Chile*, v. 17, No.2, p. 181-185.

Prescott, B. 1926. The underlying principles of limestone replacement deposits of the Mexican province. *Engineering and Mining Journal*. v.122, p. 246-253, 286-296.

Radtke, A.S; Rye, R.O; Dickson, F.W. 1980. Geology and stable isotope studies of the Carlin gold deposits, Nevada. *Economic Geology*, v. 75, p.641-672.

Ramos, V.A. 2009. Anatomy and global context of the Andes: Main geologic features and the Andean orogenic cycle. *The geological Society of America, Memoir* 204.

Robb, L. 2005. Introduction to ore-forming Processes. *First Published by Black well Publishing. p. 192.*

Ryan, P. J; Lawrence, A. L; Jenkins, R. A; Matthews, J. P; Zamora, J. C; Marino, E; Urqueta, I. 1995. The Candelaria copper-gold deposit, Chile. In: Pierce, F. W; Bolm, J. G. (eds) *Porphyry Copper Deposits of the American Cordillera. Arizona Geological Society, Digest, 20, p. 625–645.*

Scheuber, E; Andriessen, P. A. M. 1990. The kinematic and geodynamic significance of the Atacama fault zone, northern Chile. *Journal of Structural Geology, 12, p. 243–257.*

Schnell, R. Febrero 2011. "Gold Mining Project, Tres Amantes and San Antonio", información oficial entregada por los dueños de la propiedad.

Segerstrom, K. 1968. Geología de las Hojas Copiapó y Ojos del Salado, Provincia de Atacama. *Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, Carta Geológica de Chile, 1:250.000.*

Segerstrom, K; Ruiz, C. 1962. Cuadrángulo Copiapó, Provincia de Atacama. *Carta Geológica de Chile, Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago de Chile, 6, p. 115.*

Segerstrom, K. 1960. Cuadrángulo Quebrada Paipote, Provincia de Atacama, *Carta Geológica de Chile, Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago de Chile, p. 35.*

Segerstrom, K; Parker, R.L. 1959, Cuadrángulo Cerrillos, Provincia de Atacama. *Carta Geológica de Chile, Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago de Chile, v. I, N°2, p. 33.*

Sillitoe, R.H; Bonham, H, Jr. 1990. Sediment-hosted gold deposits: Distal products of magmatic-hydrothermal systems. *Geology, v. 18, p.157-161.*

Sillitoe, R.H; 1991a. Intrusion-related gold deposits, in Foster, R.P., ed., *Gold metallogeny and exploration: Glasgow, Blackie and Son. p.165-209.*

Sillitoe, R.H; 1991b. Gold metallogeny in Chile, an introduction. *Economic Geology, v.86, p.1187-1205.*

Sillitoe, R.H. 2003. Iron oxide-copper-gold deposits: an Andean view. *Mineralium Deposita*, v. 38, p. 787-812.

Simon, G; Kesler, S; Chryssoulis, S. 1999. Geochemistry and textures of gold-bearing arsenian pyrite, Treeks, Nevada: Implications for deposition of gold in Carlin-type deposits. *Economic Geology*, v. 94, p. 405-422.

Sibson, R.H. (2007) An episode of fault-valve behaviour during compressional inversion? - The 2004 MJ6.8 Mid-Niigata Prefecture, Japan, earthquake sequence. *Earth and Planetary Science Letters*, 257 (1-2), pp. 188-199.

Tavera, J. 1956. Fauna del Cretaceo inferior de Copiapó, Atacama Province, Chile. *Instituto de Geología, Universidad de Chile, Santiago*, 9, p. 205-216.

Theodore, T.G. 2000. Geology of pluton-related gold mineralization in the Battle Mountain mining district, Nevada. *Tucson, University of Arizona Press*, p. 271.

Thompson, J.F.H; Gale, V; Tosdal, R; Wright, W. 2004. Characteristics and Formation of the Jerónimo Carbonate-Replacement Gold Deposit, Potrerillos District, Chile. *Economic Geology*, v. 11, p. 75-95.

Vergara, M; Nyström, J. O. 1996. Geochemical features of Lower Cretaceous back-arc lavas in the Andean Cordillera, central Chile (31-34°). *Revista Geológica de Chile*, v.23, p. 97-106.

Vila, T; Lindsa Y, N; Zamora, R. 1996. Geology of the Manto Verde copper deposit, northern Chile: a specularite-rich, hydrothermal tectonic breccia related to the Atacama Fault Zone. In: Camus, F; Sillitoe, R. H; Petersen, R. (eds) *Andean Copper Deposits: New Discoveries, Mineralization Styles and Metallogeny. Society of Economic Geologists, Special Publication 5*, p. 157-170.

Whitehead, W. 1919. The veins of Chañarcillo, Chile. *Economic Geology*, v. 14, p. 1-45.}

VIII. Anexo I

coord este	coord norte	altura	manteo	dip_direct	observaciones
366120	6934590	1332			intrusivo Diorítico de anfíbol
366289	6934585				dique diorítico
366784	6934602	1508			dique porfídico
366981	6934615	1532			intrusivo porfídico
366084	6933315				contacto intrusivo diorítico grano muy fino
366093	6933251	1531			dique porfídico NS
366128	6933241	1537			dique porfídico NS
366372	6933245	1547			dique de intrusivo de grano fino
366381	6933243	1549			se terminan intercalaciones con laminación fina
366384	6933244	1550			dique porfídico
366466	6933251	1565			estructura subvertical con textura brechoza calcárea
366520	6933238	1590			contacto con dique de 5 m de ancho aprox. NS
366522	6933229	1598			pto dique dacítico
366524	6933239	1603			caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366564	6933248	1589			contacto de calizas con pórfido muy blanco
366627	6933188	1573			lutita calcárea negra muy laminadas
366633	6933189	1565			caliza gris oscuro
366671	6933201	1555			brecha café sobre las calizas
366673	6933230	1550			caliza gris oscuro
366679	6933230				brecha café
366733	6933221	1540			brecha café
367180	6933249	1417			Cubierto
367273	6933246	1417			contacto calizas con cubierto
367267	6933244	1420			contacto calizas con cubierto
367281	6933245	1418			contacto calizas con cubierto
367318	6933239				brecha café oscura con vetilleo de carbonatos
367335	6933233	1403			lutita calcárea negra muy fracturadas y vetilladas
367351	6933231	1405			lutita calcárea negra muy fracturadas y vetilladas

367360	6933223	1408			lutita calcárea negra muy fracturadas y vetilladas
367366	6933222	1409			lutita calcárea negra muy fracturadas y vetilladas
367407	6933189	1408			dique al lado de lutita calcárea negra
367413	6933205	1406			Dique
367411	6933211	1407			dique alterado con jarosita
367424	6933225	1404			caliza gris-rojo, muy fracturada NRM
367449	6933248	1399			lutita calcárea negra brechizadas
367461	6933259	1391			estructura veta de carbonato NS
367468	6933257	1390			estructura veta de carbonatos NS
367584	6933247	1361			Cubierto
367880	6933256	1375			dique diorítico, no se observa bien porque esta cubierto
367890	6933251	1376			calizas gris rojo, <rojo
367921	6933240	1381			caliza gris de laminación muy fina, no se logra medir rumbo y manteo
366855	6934033	1567			caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367046	6934010	1485			intrusivo porfídico
367033	6934179	1509			Brecha calcárea café
367041	6934125	1489			Intrusivo porfídico con ojos de cuarzo + brecha calcárea café
367061	6934130	1485			Intrusivo porfídico con ojos de cuarzo sobre San Antonio
367075	6934132	1485			Brecha al lado de San Antonio
367074	6934127	1482			intrusivo porfídico con ojos de cuarzo
367090	6934179	1485			intrusivo porfídico con ojos de cuarzo
367086	6934199	1485			intrusivo porfídico con ojos de cuarzo/labor
367123	6934196	1479			intrusivo porfídico con ojos de cuarzo
367105	6934337	1522			Anticlinal N30W
367378	6934175	1462			lutita calcárea negra de laminación fina, entre calizas cafés y brecha
367344	6934233	1477			caliza gris-rojo muy deformadas a escala pequeña
367290	6934242	1480			Brecha calcárea café
367269	6934246	1481			lutita calcárea negra
367261	6934255	1488			nivel de caliza café
367174	6934401				intrusivo porfídico con ojos de cuarzo
367178	6934384	1514			intrusivo porfídico con ojos de cuarzo

366975	6934715	1571			Intrusivo porfídico con ojos de cuarzo
367166	6934820	1531			dique porfídico con ojos de cuarzo
367150	6934821	1549			dique porfídico con ojos de cuarzo
367137	6934825	1547			dique porfídico con ojos de cuarzo
367110	6934821	1540			dique porfídico con ojos de cuarzo
367087	6934822	1544			dique porfídico con ojos de cuarzo
367029	6934666	1551			Intrusivo porfídico con ojos de cuarzo
366994	6934680	1555			contacto intrusivo porfídico ojos de cuarzo con caliza gris
366843	6934268	1582			dique porfídico con ojos de cuarzo
366817	6934214	1569			dique subvertical porfídico con ojos de cuarzo
366796	6934176	1565			dique filón porfídico con ojos de cuarzo
366803	6934122				Intrusivo porfídico con ojos de cuarzo
366855	6934002	1555			Brecha calcárea café
366819	6933832	1543			Brecha calcárea café
366799	6933838	1535			Brecha calcárea café
366813	6933854	1530			Brecha calcárea café
366783	6933878	1513			Brecha calcárea café
366787	6933892	1508			intrusivo porfídico con ojos de cuarzo mas alterado
366666	6933492	1551			Brecha calcárea café
366665	6933453	1550			Brecha calcárea café
367055	6933782	1500			caliza café
367146	6933811	1476			Brecha calcárea café
367048	6933691	1489			se ve una intercalación entre caliza y brecha calcárea café
367728	6933716	1348			cubierto
367764	6933687	1344			cubierto
367964	6933680	1328			Brecha calcárea café
367816	6933880	1340			cubierto
367781	6933893	1342			cubierto
367718	6933874	1353			cubierto
367653	6933899	1371			cubierto
367595	6933931	1390			cubierto

367565	6933947	1363			Brecha calcárea café
367860	6934217	1373			cubierto
367143	6933861	1459			plegamiento caliza gris-rojo
367185	6933891	1458			Intrusivo dacítico
367196	6933891	1452			Intrusivo dacítico
367419	6933945	1397			anticlinal con espacio en el eje N35°E caliza gris-rojo
367457	6934013	1398			Intrusivo dacítico
367453	6934023	1401			Intrusivo dacítico
367445	6934034	1402			Intrusivo dacítico
366066	6934488	1324			Intrusivo diorítico de hornblenda
366021	6934328	1307			contacto calizas con intrusivo diorítico
366060	6933481	1439			Intrusivo basáltico de olivino
366963	6934074	1518			LABOR color verde agua, arcillas. Pórfido?
367151	6934619	1545			LABOR en caliza gris-rojo
366043	6934382	1319			varias LABORES pequeñas
366035	6934349	1308			LABORES en intrusivo diorítico de hornblenda
366627	6933716				LABOR en caliza gris
366558	6933403				LABOR en caliza gris-rojo
366627	6933510				LABOR en intrusivo porfídico dacítico
366737	6933849				LABOR
366842	6934010				3 Amantes
367122	6934185				San Antonio
367290	6934023				LABOR en brecha con jarosita
366272	6934594	1373	16	158	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
366315	6934606	1399	16	158	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
366402	6934630	1435	15	172	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
366444	6934610	1437	24	255	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
366477	6934594	1442	33	230	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
366498	6934590	1443	36	235	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
366519	6934575	1445	15	111	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
366637	6934564	1446	14	160	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)

366724	6934598	1484	20	180	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
366777	6934605	1507	20	180	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
366802	6934610		29	244	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
366852	6934630		27	235	caliza gris un poco alteradas a amarillo
366898	6934593		31	210	caliza gris un poco alteradas a amarillo
366930	6934607		18	210	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
366947	6934611		15	210	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
366998	6934619	1554	23	135	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
367042	6934594	1558	43	135	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
367268	6934607	1466	40	105	base caliza gris intercalada con laminación fina
367284	6934594	1462	40	105	techo caliza gris intercaladas con laminación fina
367314	6934554	1454	40	105	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367380	6934616	1493	40	310	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367386	6934616	1492	27	90	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367452	6934553	1466	53	85	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367498	6934594	1499	31	320	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367506	6934601	1440	41	311	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367512	6934599	1434	14	43	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367521	6934591	1432	39	0	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
367608	6934582	1407	41	155	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
367643	6934593	1394	20	227	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
367689	6934610	1402	40	224	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
367698	6934608	1401	34	216	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
366089	6933310	1505	14	94	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
366074	6933274	1525	13	120	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
366035	6933244	1527	14	125	caliza gris contacto con Dique Porfídico NS
366051	6933248	1527	22	115	caliza gris entre diques porfídicos
366073	6933250	1528	10	71	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
366101	6933266	1531	6	50	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
366228	6933227	1543	9	71	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
366340	6933241	1541	15	60	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)

366364	6933248	1539	11	44	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366430	6933251	1554	19	65	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366501	6933246	1594	26	115	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366547	6933248	1600	43	119	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366824	6933253	1505	69	290	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366850	6933234		24	328	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366969	6933252	1473	14	255	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366992	6933256	1460	62	270	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366999	6933252	1469	10	102	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367009	6933252	1464	16	65	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367036	6933256	1442	9	203	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367056	6933251	1439	62	111	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367081	6933253	1440	28	45	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367091	6933246	1436	25	90	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367124	6933248	1433	45	103	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367148	6933252	0	69	83	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367145	6933248	1420	28	38	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367172	6933247	1417	35	346	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367175	6933244	1417	26	70	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367198	6933254	1415	34	122	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367212	6933248	0	24	115	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367244	6933247	1420	31	150	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367267	6933246	1417	14	131	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367296	6933245	1418	44	300	caliza gris-rojo y niveles de carbonatos (calcita)
367304	6933244	1433	4	317	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367316	6933245	1406	43	110	caliza negra de laminación fina con calcita contacto
367414	6933198	1408	61	145	Lutita calcárea negra
367481	6933261	1382	50	41	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367644	6933245	1358	14	108	caliza gris con niveles oxidados rojo-morado, macizas
367906	6933244	1379	41	75	caliza gris con pequeños niveles de ox. rojos y carbonatos
367962	6933247	1399	7	350	límite de la caliza gris y calza roja de laminación media a muy fina

366899	6933949	1545	22	161	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366891	6934011	1556	36	163	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366876	6934013	1620	39	130	caliza gris-rojo hacia el este afloramiento de berecha café
366880	6934017	1558	36	143	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366898	6933998	1552	46	168	caliza gris-rojo intercalada con laminación un poco más fina
366907	6933975	1543	45	302	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366918	6933996	1536	22	295	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366926	6933990	1533	34	138	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366955	6933996	1525	30	186	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366981	6933994	1514	46	158	caliza gris rojo media café
366991	6933993	1508	23	194	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367015	6933993	1496	26	216	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367029	6934004	1495	29	322	caliza gris-rojo, gris más oscuro y mas maciza
366935	6934064	1534	23	125	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366950	6934129	1523	58	155	lutita cacarea negra, pliegue E-W
366950	6934129	1523	44	90	caliza gris-rojo <gris, otro flanco del pliegue E-W
366973	6934142	1514	39	128	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366989	6934150	1506	64	122	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367012	6934184	1511	50	148	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367016	6934188	1510	60	106	caliza gris- rojo
367085	6934233	1509	35	161	caliza gris-rojo, limbo SW
367095	6934243	1509	35	140	caliza gris-rojo. eje N30°W
367112	6934252	1509	37	122	caliza gris-rojo, limbo NE
367140	6934243	1504	57	128	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367151	6934235	1499	71	104	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367139	6934290	1511	47	113	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367153	6934292	1513	59	83	caliza gis oscuro de laminación fina
367177	6934295	1515	67	112	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367208	6934283	1499	34	200	caliza gris-rojo al lado de intrusivo porfídico
367279	6934191	1470	33	274	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367313	6934195	1464	23	265	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)

367359	6934178	1439	20	356	lutita calcárea negra de laminación fina
367339	6934219	1473	7	289	caliza gris-rojo más fina
367325	6934226	1476	22	203	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367211	6934280	1499	37	270	caliza gris-rojo en contacto con el pórfido
367191	6934307	1518	29	173	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367186	6934328	1515	29	28	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367210	6934335	1501	34	140	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367262	6934389	1499	22	0	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367255	6934408	1497	36	167	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367251	6934429	1498	65	147	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367234	6934432	1505	83	116	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367169	6934382	1514	66	138	caliza gris-rojo al lado del intrusivo
367169	6934364	1516	71	147	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367156	6934375	1526	8	145	caliza gris rojo
367148	6934388	1527	75	117	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367148	6934388	1527	21	115	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367158	6934610	1546	32	163	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367118	6934651	1546	21	150	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366978	6934704	1569	52	210	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
367005	6934836	1582	25	233	caliza gris con fósiles
367040	6934881	1572	35	229	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
367108	6934895	1567	22	241	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
367171	6934860	1522	18	164	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
367260	6934827	1524	30	164	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
366945	6934686	1543	27	217	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
366988	6934581	1516	24	172	caliza gris (laminación muy fina)
366957	6934515	1505	22	141	caliza gris (laminación muy fina)
366894	6934479	1529	11	180	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
366827	6934415	1494	11	200	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
366851	6934270	1583	25	125	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366824	6934231	1572	40	131	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)

366801	6934163	1564	26	94	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366802	6934134	1558	15	34	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
366793	6934086	1544	7	155	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
366782	6934044	1533	13	210	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
366788	6934007	1510	24	155	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
366786	6934002	1537	20	171	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
366834	6934016	1549	45	112	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366833	6934024	1556	58	125	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366838	6934017	1554	64	140	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366826	6933837	1545	10	83	lutita calcárea negra de laminación fina
366797	6933810	1548	30	100	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366790	6933809	1547	61	104	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366766	6933941	1497	24	143	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366756	6933897	1505	51	109	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366855	6933817	1537	22	191	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366857	6933782	1537	6	164	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366761	6933617	1536	36	122	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366751	6933613	1541	24	204	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366724	6933566	1547	57	125	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366708	6933542	1548	29	90	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366978	6933732	1508	10	276	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366988	6933758	1509	14	0	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367028	6933777	1504	50	358	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367069	6933785	1498	24	258	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367080	6933793	1491	3	228	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367097	6933798	1491	44	90	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367107	6933796	1488	12	130	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367116	6933802	1484	62	104	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367148	6933825	1469	20	120	lutita calcárea negra + brecha calcárea café
367050	6933665	1499	69	357	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367064	6933642	1501	30	352	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)

367143	6933604	1491	37	327	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367219	6933593	1462	38	39	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367266	6933524	1461	21	320	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367244	6933580	1459	9	12	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367286	6933648	1456	5	35	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367354	6933667	1453	21	49	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367378	6933697	1448	18	40	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367413	6933702	1444	31	70	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367457	6933714	1438	16	55	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
367511	6933708	1427	43	75	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
367545	6933712	1421	19	110	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
367581	6933703	1403	14	117	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
367604	6933685		30	161	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
367634	6933704	1376	48	238	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
367974	6933871	1330	33	218	caliza muy fina
367962	6933876		51	261	caliza muy fina
367921	6933885	1343	7	300	caliza muy fina
367468	6934243	1413	22	120	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367441	6934252	1425	19	154	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367415	6934272	1426	13	111	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367403	6934300	1444	22	108	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367542	6934356	1420	39	84	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
367112	6934182	1338	25	136	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367074	6934019	1475	22	342	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367108	6933989	1478	35	292	capas de lutita calcárea negra y caliza café
367125	6933952	1480	30	135	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367122	6933889	1474	24	125	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367121	6933880	1474	24	110	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367139	6933855	1464	29	101	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367270	6933940	1452	12	12	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367411	6933939	1406	28	146	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)

367424	6933942	1404	41	73	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367443	6934008	1402	32	90	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366050	6934024		10	180	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
366066	6933976	1339	11	180	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
366052	6933726	1412	7	130	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
366486	6933409		7	115	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367379	6933922		35	165	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366857	6934106		54	20	caliza gris rojo
366857	6934127		65	155	caliza gris rojo
366849	6934179		45	40	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366845	6934206		35	90	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367426	6934444		27	113	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366948	6934403		34	190	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
366933	6934396		35	100	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367030	6934409		30	116	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367039	6934441		63	95	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367055	6934485		49	100	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367064	6934513		34	113	caliza gris rojo
366995	6934700		40	200	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
366992	6934725		42	225	caliza gis
367055	6934777		25	165	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
367178	6934682		23	205	caliza gis
367356	6934713		40	160	caliza gris (Unidad Nantoco Inferior)
367395	6934716		49	190	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367374	6934629		41	130	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367405	6934609		50	140	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367326	6934541		23	212	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367401	6934483		23	135	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367435	6934460		39	70	caliza gris-rojo (Unidad Nantoco superior)
367892	6933248	1377			dique diorítico y varios rodados de ox cobre
367880	6933263	1373			dique diorítico, óxidos de cu

366064	6933370	1482			Intrusivo gabrodiorítico de olivino + óxidos de Cu
--------	---------	------	--	--	--

	P. de control
	Dip/dip direction

IX. Anexo II