



*Características geológicas y
metalogenéticas del Depósito Navidad
(Ag-Pb-Zn-Cu) Macizo Somún Curá,
Chubut, Argentina*

Márquez, M.J., Zubia, M.A., Giacosa, R.E., Trevisiol, S.A.
y Fernández, M.I.



*CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y
METALOGENÉTICAS DEL DEPÓSITO NAVIDAD
(Ag-Pb-Zn-Cu) MACIZO SOMÚN CURÁ,
CHUBUT, ARGENTINA*

*Márquez, M.J., Zubia, M.A.[†], Giacosa, R.E., Trevisiol, S.A.
y Fernández, M.I.*

SERVICIO GEOLÓGICO MINERO ARGENTINO

Presidente: Geól. Julio Ríos Gómez
Secretario Ejecutivo: Lic. Carlos G. Cuburu

INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y RECURSOS MINERALES

Director: Dr. Eduardo O. Zappettini

DIRECCIÓN DE RECURSOS GEOLÓGICO MINEROS

Director: Dr. Carlos J. Herrmann

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Esta publicación debe citarse como:

Márquez, M.J., Zubia, M.A., Giacosa, R.E., Trevisiol, S.A. y Fernández, M.I. 2016. Características geológicas y metalogenéticas del Depósito Navidad (Ag-Pb-Zn-Cu) Macizo Somún Curá. Chubut. Argentina. Instituto de Recursos Geológico Mineros, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín N° 40, 50pp. Buenos Aires

Fotografía de tapa: Vista hacia el O-SO del depósito Navidad, en primer plano a la derecha uno de los intrusivos basálticos (color gris oscuro) emplazados en las sedimentitas de la F. Cañadón Asfalto (color claro).

ISSN 0328-2333

ES PROPIEDAD DEL INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y RECURSOS MINERALES – SEGEMAR
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN



Av. General Paz 5445 (Colectora provincia)
Edificio 25 | 1650 - San Martín - Buenos Aires
República Argentina
(11)5670-0211 | telefax (11)4713-1359



Av. Julio A. Roca 651 | 3° Piso
1067 - Ciudad de Buenos Aires
República Argentina
telefax (11)4349-3162 | www.segemar.gov.ar

CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. ANTECEDENTES	3
3. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	3
3.1. Paleozoico	5
Formación Mamil Choique (Silúrico - Devónico)	5
3.2. Mesozoico	5
Formación Lipetrén (Triásico superior - Jurásico inferior)	5
Formación Garamilla (Jurásico inferior)	6
Formación Cañadón Asfalto (Jurásico inferior a superior)	6
Grupo Chubut (Cretácico inferior)	7
Formación La Colonia (Cretácico superior)	8
3.3. Cenozoico	8
Formación Sarmiento (Eoceno - Mioceno)	8
Complejo Volcánico Pire Mahuida (Mioceno)	8
Cuaternario	8
4. GEOLOGIA LOCAL	9
4.1. El basamento de la cuenca	10
Formación Mamil Choique	10
Formación Lipetrén	10
4.2. La cuenca volcano-sedimentaria jurásica	12
Formación Garamilla	12
Formación Cañadón Asfalto	15
4.3. Rocas pos-jurásicas	20
5. ESTRUCTURA	21
6. MINERALIZACIÓN Y METALOGENIA	23
6.1. Ubicación y distribución	23
6.2. Metalotectos	24
6.2.1. Metalotecto litológico	25
6.2.2. Metalotecto textural	29
6.3. Mineralogía -Tipología	31
6.4. Alteración	33
6.5. Fuente de los elementos metálicos y no metálicos	34
6.6. Edad de la mineralización	35
6.7. Leyes y cubicación	36

7. DISCUSIÓN	.....	37
8. CONCLUSIONES	.....	38
AGRADECIMIENTOS	.....	40
BIBLIOGRAFÍA	.....	41
ANEXOS	.....	45
Mapa de muestreo petrográfico, calcográfico, geoquímico y geocronológico.		
Petrografía		
Datos analíticos de Geocronología		

RESUMEN

La investigación geológica de la región fue impulsada por el hallazgo a finales de año 2002 de una mineralización polimetálica rica en Ag asociada con el depocentro Gan Gan y con la sedimentación de las rocas de la Formación Cañadón Asfalto (FCA) en proximidades de la localidad de Gastre (centro-norte de la provincia del Chubut). En este sector del macizo de Somún Curá se conocían varias manifestaciones polimetálicas como Alejandrito, Santa Máxima, Cañadón Bagual, Cerro Risquero y el yacimiento denominado Mina Ángela, todas ellas alojadas en rocas volcánicas mesosilícicas de la Formación Lonco Trapial (FLT). Por lo tanto este descubrimiento implicó una innovación importante en la potencialidad metalogénica de la Patagonia Extrandina.

Se realizó el análisis integral de la mineralización denominada Navidad, cuya metodología y resultados sintéticos son los siguientes:

- a) El mapeo detallado de los depósitos aflorantes del proyecto y la geología de su entorno, en especial de las mineralizaciones de las fajas Navidad y Argenta ha permitido confirmar la ocurrencia de la mineralización alojada en la FCA y vinculada a cuerpos intrusivos dispuestos como diques y filones capas.
- b) El análisis petrográfico de las muestras representativas de las volcanitas pertenecientes a la Formación Garamilla (FG) ha confirmado que el basamento de la cuenca de la FCA está compuesto por ignimbritas soldadas y otras piroclásticas de composición riolítica, que se intercalan con lavas y brechas de composición andesítica. En tanto que la petrografía de los cuerpos intrusivos indica que corresponden a basaltos contaminados con xenocristales de cuarzo y plagioclasas sódicas que se alojan en pelitas, calizas y areniscas.
- c) Las determinaciones calcográficas reconocen la presencia de galena, esfalerita y calcopirita asociadas con minerales de plata, que se emplazan en forma epigenética como relleno de brechas, de vetas y de venillas. Las alteraciones hidrotermales acompañantes son poco destacadas y se componen de caolinita, illita, calcita, etc. El conjunto permite clasificar a las mineralizaciones del proyecto como epitermales argentíferos de sulfuración intermedia.
- d) El distrito muestra un fuerte control estructural expresado por fallas mayores de orientación N 60° O que se habrían originado durante el proceso extensional mesozoico y que alojan a los

intrusivos básicos y a las mineralizaciones ligadas que se distribuyen siguiendo las fajas Navidad, Esperanza y Argenta.

- e) La investigación geocronológica de muestras del basamento de la cuenca han establecido una edad máxima $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en sanidina de $182,8 \pm 0,8$ Ma la que, junto a otras determinaciones de rocas de la FCA, permite ubicar a la mineralización en el Jurásico inferior alto.

Este trabajo reúne la información geológica, los estudios petrográficos y calcográficos, los resultados geoquímicos, los datos de la geocronología, el análisis de la investigación estructural – tectónica, una evaluación crítica de los atributos metalogénicos de las mineralizaciones de tipo Navidad y se enuncian algunas guías de prospección para la provincia morfoestructural del Macizo de Somún Curá.

ABSTRACT

The geological survey of the region was driven by the discovery in late 2002 of a silver rich polymetallic mineralization associated with the Gan Gan depocenter and the rocks of Cañadón Asfalto formation (FCA) near the Gastre town in the north center part of the Chubut province. In this region of the of Somún Curá massif were known historically polymetallic mineral deposits as Alejandrito, Santa Maxima, Cañadón Bagual, Cerro Risquero and Angela mine. All of them hosted on mesosilicic volcanic rocks of the Lonco Trapial formation (FLT). This finding therefore implies an important metallogenic innovation in the Patagonia extrandean region.

A comprehensive metallogenic analysis of the Navidad mineralization was performed, whose methodology and synthetic result are the follows:

- a) The detailed geological mapping of the mineral deposits and its surroundings, especially Navidad and Argenta mineralization trends, confirms the mineral occurrence related to intrusive bodies hosted in FCA, emplaced as dikes and sills.
- b) The petrographic analysis of volcanic rocks belonging to the Garamilla Formation (FG) has confirmed that the basement of the FCA basin is composed of welded ignimbrites and other rhyolitic pyroclastic rocks, interspersed with andesitic lavas and breccias. The intrusive bodies' petrography indicates a contaminated basalt composition produced by quartz and sodic plagioclase xenocrysts.

- c) The metallographic determinations allow to recognize galena, sphalerite, chalcopyrite associated with silver minerals of epigenetic origin that appear as breccia filling, veins and veinlets. The associated hydrothermal alteration is composed by kaolinite, illite, calcite, etc. The mineral association permit to classify this mineral deposit as intermediate sulfidation epithermal type.
- d) The mineral district shows a strong structural control expressed by major faults which main orientation N 60 ° W originated during the Mesozoic extensional process that host the Navidad, Esperanza and Argenta trend.
- e) The geochronological investigation of volcanic basement samples of the volcano-sedimentary basin using the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ method in sanidine established a maximum age of 182.8 ± 0.8 Ma, in coherence with FCA rocks determinations that indicate an upper Jurassic age for the mineralization process.

This report include the geological, petrographic, metallographic and geochemical results, the structural and tectonics analysis, a critical evaluation of the metallogenic attributes of Navidad type mineralization and some prospecting guides for Somún Curá Massif geological province.

1. INTRODUCCIÓN

El conocimiento geológico sobre las mineralizaciones del sector centro norte de la Provincia del Chubut hacia fines de la década de 1990 mostraba la existencia de un pequeño grupo de depósitos

polimetálicos vetiformes alojados en rocas volcánicas de la Formación Lonco Trapial (FLT). Entre ellos se destacaba Mina Ángela, la única que había sido explotada industrialmente, en tanto que el resto sólo poseía laboreos menores y abandonados. En ese momento la actividad de exploración minera privada era muy intensa en todo el país lo que condujo al descubrimiento de nuevos depósitos minerales incluyendo a Navidad. En este caso además de la localización de los recursos metalíferos se propuso un nuevo modelo metalogénico, singenético y estratoligado, asociado a la Formación Cañadón Asfalto (FCA) (Lhotka *et al.* 2005-2010) considerada estéril previamente.

Frente a la propuesta genética, el SEGEMAR consideró necesario avanzar en el conocimiento del modelo y de sus características para utilizarlo como una guía de prospección/exploración que ampliaba las áreas de potenciales mineralizaciones metalíferas en el contexto del Macizo de Somún Curá. Con ese objetivo se estableció un acuerdo con la empresa propietaria que permitió el acceso a la propiedad minera, a los sondeos y se elaboró un proyecto de trabajo enfocado a la determinación de la tipología del depósito. El proyecto incluía varias salidas a terreno que permitieron reconocer los diversos depósitos que integran el yacimiento al igual que las litologías y alteraciones asociadas.

La zona de estudio se ubica en el sector centro norte de la Provincia de Chubut entre las localidades de Gastre y Gan Gan, siendo las coordenadas centrales del proyecto (Loma Navidad) $42^{\circ} 24' 52''$ LS $68^{\circ} 49' 23''$ LO (figura 1). El acceso se realiza a través de la ruta provincial N°4 y de numerosas huellas que unen a los establecimientos ganaderos.

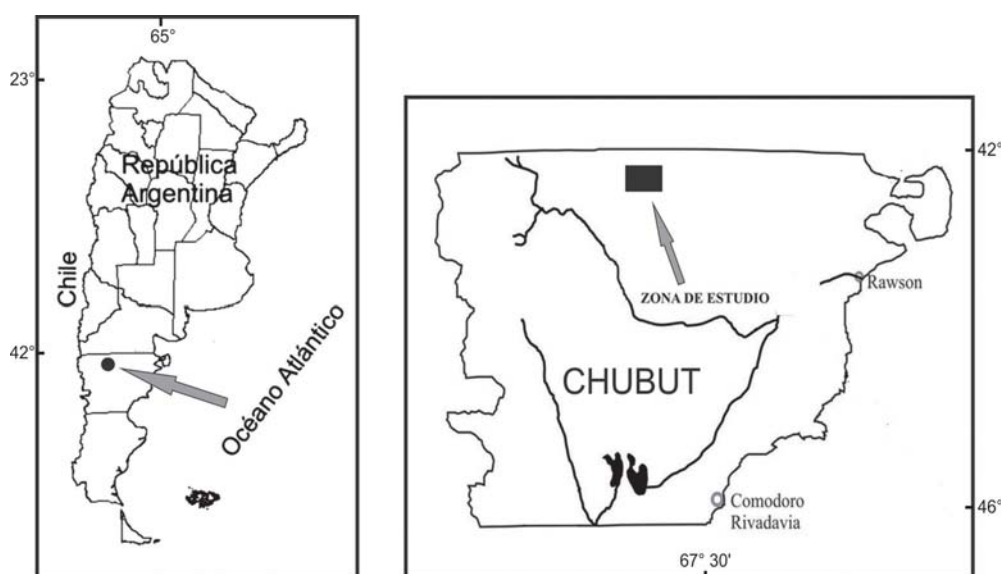


Figura 1. Mapa de ubicación del área de trabajo en el país y en la provincia del Chubut.

El área investigada tiene un ancho de 11 km (en dirección E-O) por 13 km (en dirección N-S) y totaliza una superficie de 140 km² que excede levemente la propiedad minera de Navidad. El relieve es marcado y está compuesto por serranías de orientación NO-SE que alcanzan los 1400 m s.n.m., separadas por amplios valles, donde está alojada la mineralización, a una altitud de 1100 m s.n.m. aproximadamente.

2. ANTECEDENTES

En referencia a Navidad debe expresarse que no existía ningún antecedente sobre la presencia de una mineralización polimetálica en las rocas de la FCA. Sin embargo en el extremo noroeste del proyecto, a unos 200 m del puesto de la Estancia Santana, se conocía la presencia de un pequeño sistema vetiforme de baritina/calcita, con igual denominación, que mostraba escasas evidencias de laboreo artesanal para extraer baritina.

Entre 1949 y 1950 la zona de las sierra de Pire Mahuida incluyendo la zona de Gastre fue relevada por Croce (1950) quien describe las características de los afloramientos de rocas volcánicas de distintas edades y su vinculación con «vetas y filones plumbo ferro cupro cuarzosas» en referencia a las mineralizaciones que luego se conocerán como Mina Ángela. Esta es la denominación que utiliza Dessanti (1956) en su trabajo de relevamiento geológico topográfico del entorno de los sistemas hidrotermales.

En las décadas de 1970 – 1980 el Plan Patagonia Comahue Geológico Minero hizo un relevamiento geológico y de prospección geoquímica regional (Parisi 1981, Pezzuchi 1982, Prez 1985) del proyecto Gastre que incluía la región donde se encuentra el yacimiento Navidad. La metodología de trabajo consistió en el muestreo sistemático de sedimentos y/o suelos en los cañadones y muestras de roca/mineralizaciones en los afloramientos. En el laboratorio se analizaron mediante Espectrómetro de Absorción Atómica por Cu – Pb – Zn y en forma excepcional por los elementos Mo – Au – Ag. Los resultados no detectaron anomalías significativas.

Son numerosos los autores que han investigado la región desde distintas ópticas: con una orientación geológica regional y vinculados al SEGEMAR se puede mencionar: Proserpio (1978) quien realiza la Descripción Geológica de la Hoja 42 d, Gastre; Nullo (1978) quien efectúa la Descripción Geológica de la Hoja 41 d, Lipetrén y Ardolino *et al.* (2001) quienes generaron el mapa de la Carta Geológica 4369-II,

Gan Gan. También debe destacarse a Salani (1985, 1990) y Salani y Page (1987) quienes investigaron la geología y petrología de la Sierra de Pire Mahuida y a Page y Page (1993) que trabajaron sobre la petrología y el significado tectónico de las rocas volcánicas jurásicas de la provincia del Chubut. Desde el punto de vista estratigráfico y tectónico es importante el aporte de Figari (2005) quien definió la existencia de un sistema de *rifts* elongados en sentido NO-SE que se mantuvo activo desde el Jurásico Medio hasta el Cretácico Temprano, integrado por un conjunto de hemigrábenes vinculados entre sí por zonas de acomodación.

La actividad minera se concentró en el entorno de Mina Ángela (Domínguez 1981) que junto a Mina Gonzalito y Sierra Grande eran los únicos yacimientos metalíferos en actividad en la segunda mitad del siglo XX. En el entorno inmediato al proyecto Navidad sólo existían pequeñas explotaciones de minerales metalíferos y no metalíferos, con frecuencia artesanales como Alejandrito, Santa Máxima, Cañadón Bagual y Stella Maris (Márquez *et al.* 1988). El área fue considerada como portadora de mineralizaciones polimetálicas con Au y Ag o solo con Ag, en el análisis realizado por Fernández *et al.* (2008) sobre los depósitos de metales nobles vinculados al magmatismo del jurásico de la Patagonia.

3. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El proyecto minero se ubica en el borde occidental de la unidad morfoestructural denominada macizo de Somún Curá que se caracteriza por presentar un basamento ígneo - metamórfico paleozoico *sl.* afectado en el Jurásico por procesos extensionales asociados con la ruptura de Gondwana. Este proceso habilitó la extrusión de enormes volúmenes de magma como depósitos volcanoclásticos riolíticos-basandesíticos que se acumularon en hemigrábenes de orientación general O - NO cuyas estructuras principales tienen vergencia al sur. Desde el Jurásico tardío hasta la actualidad, esta parte del macizo se comportó en forma positiva, producto de la tectónica compresiva, controlando el desarrollo de las cuencas del Jurásico superior, Cretácico y Terciario cuyas rocas están depositadas sobre sus bordes. Durante el Cenozoico registra asimismo una intensa actividad volcánica de composición basáltica/traquítica y una importante inversión tectónica que controla el relieve actual.

Analizado en forma regional las unidades litoestratigráficas más antiguas consideradas como

basamento son: las metamorfitas (ortogneises) de la Formación Mamil Choique (FMC) que afloran intruidas por los granitoides de la Formación Lipetrén (FL). Sobre ese zócalo y en relación directa con la mineralización aparecen la Formación Lonco Trapial (FLT), la Formación Garamilla (FG) y la Formación Cañadón Asfalto (FCA), que poseen edades jurásicas y que se desarrollan en ambientes continentales subaéreos y subacuosos someros. La FLT tiene mayor extensión y está compuesta por volcanitas andesíticas/basandesíticas, que en forma local se superponen o interdigitan con ignimbritas riolíticas de la FG y constituyen el sustrato de los depocentros de la FCA. Esta última unidad está integrada por un Miembro inferior compuesto por basaltos, calizas y tobas y uno superior dominado por sedimentos volcanogénicos, clásticos y químicos. Como depocentros de la FCA, Figari (2005) reconoce la existencia de las siguientes cuencas extensionales: Gorro Frigio, Paso de Indios, Gastre, Valle General Racedo y Gan Gan. Esta última cuenca es la que

hospeda en su extremo NO a la mineralización polimetálica del Proyecto Navidad.

Todas las unidades mencionadas previamente constituyen un bloque tectónico elevado que controla el desarrollo de las cuencas cretácicas (Grupo Chubut). Hacia el norte, este y sur el macizo muestra ingresiones marinas someras del Cretácico superior/Terciario inferior (Formación La Colonia - FLC). En el Mioceno se registra una intensa actividad volcánica basáltica y riolítica (Complejo Volcánico Pire Mahuida - CVPM).

El relieve actual muestra destacados cordones montañosos en posición NO-SE, que responden a la inversión tectónica, del fallamiento distensivo mesozoico, en el sistema compresivo mesozoico que se repite durante el Mioceno.

A continuación se realiza una descripción simplificada de las unidades aflorantes en el área de trabajo, que cubren el lapso comprendido desde el Paleozoico a la actualidad, cuya distribución está graficada en el Mapa Geológico Regional Simplificado (figura 2).

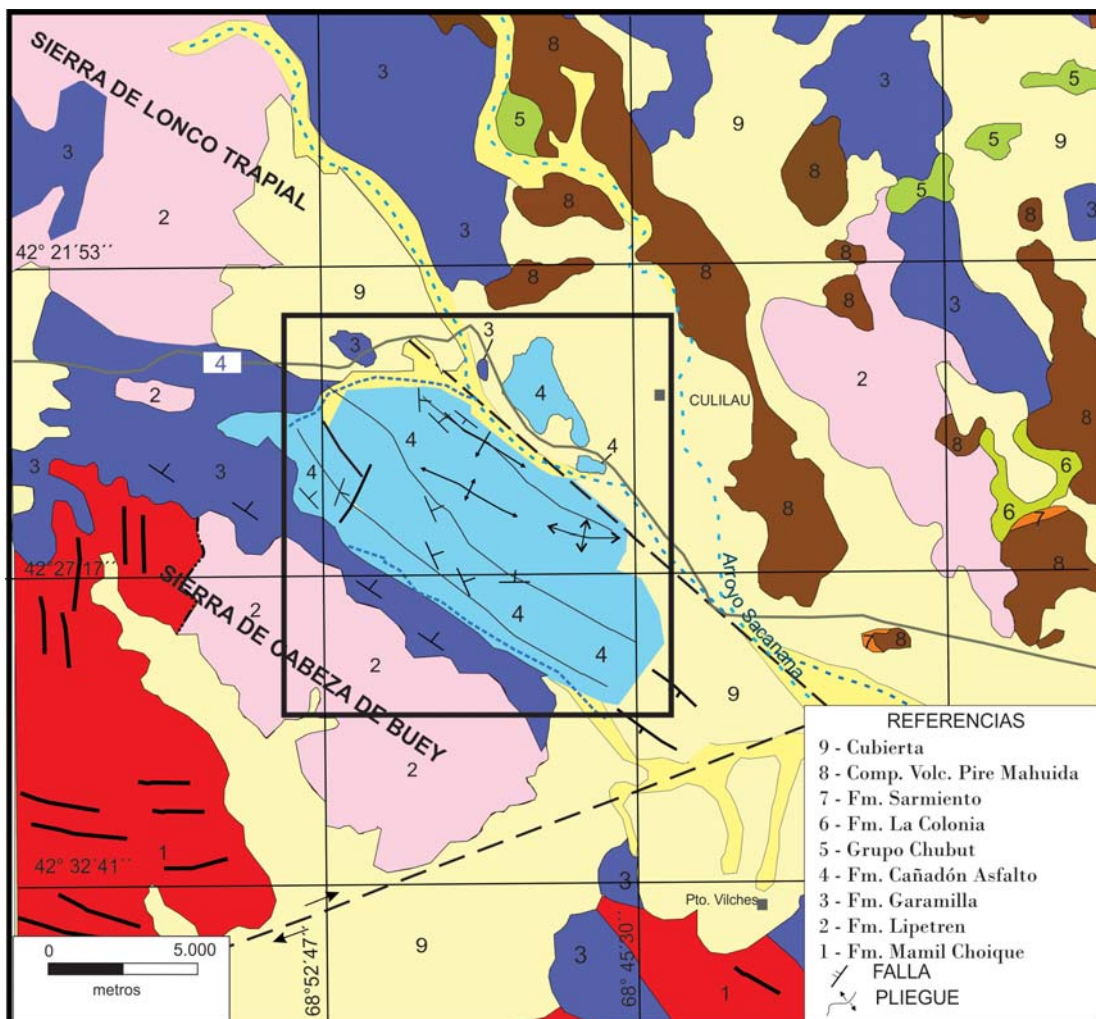


Figura 2. Mapa Geológico Regional Simplificado. Modificado de Ardolino et al. 2001. El rectángulo señala el área de mapeo detallado donde se localiza el depósito Navidad.

3.1. PALEOZOICO

Formación Mamil Choique FMC (Silúrico - Devónico)

Plutonitas tonalíticas, granodioríticas y graníticas

Esta unidad aflora en el sector SO de la región (Unidad 1 en la figura 2) constituyendo la parte principal y de mayor elevación del extremo norte de la sierra Cabeza de Buey. También aparece como clastos de dimensiones métricas en el paraconglomerado de la base de la FCA en el depocentro de Gan Gan.

Está compuesta por granitoides, en algunos casos con foliación tectónica y por migmatitas. De acuerdo a Volkheimer (1964) y Volkheimer y Lage (1981) dominan las tonalitas hornblendíferas y migmatíticas con variaciones a granodioritas y a rocas más ricas en feldespatos a las que denominaron Formación El Platero. En la localidad tipo, en proximidades del pueblo de Río Chico, Ravazzoli y Sesana (1977) identifican un conjunto de plutonitas granodioríticas, tonalíticas y graníticas a las que denominan Formación Río Chico. Desde la óptica regional la Formación Río Chico y la Formación el Platero serían correlacionables con la Formación Mamil Choique.

En el área de trabajo se han identificado bloques de granitoides foliados compuestos por cuarzo, plagioclasa y biotita; esta última distribuida como fajas que destacan la foliación metamórfica en tanto que el cuarzo se muestra como *strips* de dimensiones centimétricas, lo que permite identificar un proceso de deformación dúctil de la roca y clasificarla como un granitoide milonítico u ortogneis. Sobre el faldeo oriental de la sierra Cabeza de Buey los afloramientos de la Formación Mamil Choique se reconocen por su morfología irregular y por la abundancia de cuerpos tabulares de pegmatitas/aplitas que los atraviesan y que son identificables en fotografías aéreas o imágenes satelitales. Las relaciones de contacto regional de estos cuerpos los muestra intruídos en las metamorfitas de la Formación Cushamen y cubiertos en discordancia por las rocas volcanosedimentarias mesozoicas. Tradicionalmente se les ha asignado una edad precámbrica – paleozoica en sentido amplio, pero actualmente se cuenta con determinaciones de edades absolutas realizadas mediante isócronas $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ por Dalla Salda *et al.* (1994) que arrojan un valor de 439 ± 10 Ma, mientras que Cerredo *et al.* (2000) utilizando el método K/Ar sobre anfíbol, establecen una edad de 404 ± 20 Ma y 399 ± 17 Ma. Estos registros, considerando el error del método, posicionan a la uni-

dad en el lapso Silúrico - Devónico inferior de acuerdo a *Geologic Time Scale* de la Sociedad Geológica Americana (Walker *et al.* 2013).

3.2. MESOZOICO

Formación Lipetrén FL (Triásico superior - Jurásico inferior)

Granitos leucocráticos, pórfidos cuarzo monzoníticos, granitos de biotita - hornblenda y felsitas

Estas plutonitas afloran en el núcleo de la sierra de Lonco Trapial, sobre el faldeo NE de la sierra Cabeza de Buey y como afloramientos menores hacia el NE del arroyo Sacanana (Unidad 2 de la figura 1). El conjunto de intrusivos integra la Superunidad Lipetrén del Batolito de la Patagonia Central (BPC), en el sentido de Rapela *et al.* (1991), quienes establecen la existencia del magmatismo triásico jurásico en la región centro norte de las provincias de Chubut y de Río Negro.

La localidad con mejores afloramientos de esta unidad se encuentra en la sierra de Lipetrén ($41^{\circ} 57' 00''$ - $69^{\circ} 47' 30''$) ubicada en el sur de la provincia de Río Negro en proximidades del límite con Chubut (Nullo 1974).

Originalmente fueron designadas como Formación Michihuau por Stipanovic *et al.* (1968) y en forma posterior Volkheimer (1973) utiliza la misma denominación destacando que los plutones intruyen a la FMC y a la Formación Cushamen. Corresponde a Nullo (1974) la denominación de los granitoides como Formación Lipetrén. Por sus relaciones estratigráficas se le había asignado una edad Pérmica.

Los trabajos de Rapela *et al.* (1991) definen el BPC compuesto por las Superunidad Gastre (220 ± 2 Ma.) que es intruida por la Superunidad Lipetrén (207 ± 1 Ma) y por la Granodiorita Horqueta (172 ± 15 Ma). Los autores postulan como Superunidades a grupos de rocas plutónicas sincrónicas y comagmáticas, que en el caso de la Superunidad Lipetrén se compone de granitos leucocráticos, granofíricos, granitos con hornblenda y biotita, porfidos cuarzo dioríticos y felsitas. La asociación plutónica tiene afinidad calcoalcalina y sus edades han sido establecidas mediante isócronas $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$.

En la región de Navidad los plutones graníticos se intruyen en la FMC y son cubiertos discordantemente por la secuencias de rocas volcano-sedimentarias jurásicas. Su ubicación en el núcleo de los cordones serranos se asocia con la inversión tectónica precretácica (Márquez y Navarrete 2011).

Formación Garamilla FG (Jurásico inferior)

Rocas volcánicas, riolitas, andesitas, aglomerados y sedimentos volcanogénicos.

Se utiliza esta denominación, en forma provisoria, siguiendo parcialmente el criterio postulado por Ardolino *et al.* (2001) en el relevamiento de la Hoja Geológica 4369-II Gan Gan. Si bien se preserva el nombre, se incluyen en la unidad rocas volcánicas ácidas y mesosilíceas, como integrantes de un complejo bimodal con características análogas al Complejo Los Menucos definido por Cuchi *et al.* (2001).

Secuencias volcánicas con similar o igual litología y posición estratigráfica han sido descritas con denominaciones como Formación Sañicó (Stipanovic *et al.* 1968, González *et al.* 1999). En tanto que Nullo (1978) propone la existencia de una secuencia volcánica ácida a la que denomina FG, que aflora cubierta por sedimentitas y por una potente secuencia volcanoclástica de composición andesítica mayoritaria a la que asigna el nombre de Formación Taquetrén. Page y Page (1993) describen, para la región NE de Gastre-Sierra de Taquetrén, la existencia de una pila volcánica piroclástica que denominan Formación Taquetrén, compuesta por tres conjuntos rocosos, el basal predominantemente lávico de composición básica, seguido por brechas y piroclastitas mesosilíceas y que culmina con ignimbritas riolíticas. La denominación litoestratigráfica de Formación Taquetrén ha sido reemplazada en la comunidad geológica por Formación Lonco Trapial.

En un sector ubicado a unos 20 km al NO del área de trabajo, Zaffarana *et al.* (2014), designan como Formación Lonco Trapial a una secuencia bimodal andesítica/riolítica a la que asignan un origen vinculado a un arco y/o a extensión. Las litologías consideradas en esta propuesta son sólo parcialmente coincidentes con las rocas que conforman la localidad tipo de la formación, en las sierras de Lonco Trapial y Cajón de Ginebra (Nullo 1983). El dominio de ignimbritas riolíticas y sedimentos volcanogénicos riolíticos que se encuentran restringidos a la base de la secuencia guarda fuertes similitudes litológicas y cronológicas con el Complejo Volcánico Marifil. Los diferencia la abundancia de lavas andesíticas y/o de brechas andesíticas en la mayor parte del registro volcánico jurásico temprano.

Las observaciones de campo permiten reconocer la existencia de una secuencia volcánica bimodal con una base riolítica e intercalaciones andesíticas que dominan hacia el techo. En el mapa de la figura 1 se reúnen en la FG a las rocas riolíticas y andesíticas como una sola unidad litoestratigráfica. Este criterio

lo diferencia del mapa realizado por Ardolino *et al.* (2001) en el cual la Formación Garamilla aparece graficada en forma separada de la Formación Lonco Trapial.

En la zona de trabajo estas rocas aparecen como una franja NO–SE sobre el faldeo nororiental de la sierra Cabeza de Buey, en donde la secuencia riolítica andesítica tiene rumbo general N 60° O y una inclinación mayor a 15° al NE. Estos afloramientos que constituyen el basamento de la cuenca de Cañadón Asfalto continúan hacia el NO como parte de un braquisinclinal de extensión kilométrica, visible en las imágenes satelitales. Otros asomos que se encuentran al norte de la ruta provincial N° 4 están compuestos por piroclastitas riolíticas afectadas por plegamiento de gran longitud de onda. Al este del arroyo Sacanana y sobre ambos flancos de la sierra Cabeza de Buey hay rocas de característica similares.

La posición estratigráfica de la unidad queda definida por su relación de no concordancia sobre los granitoides de la FL (207±1 Ma, Rapela *et al.* 1981) que marca la edad máxima. A su vez es cubierta discordantemente por la sedimentitas y volcanitas del miembro inferior de la FCA y por otras unidades más jóvenes que la sobreyacen. La determinación de edades U/Pb que arrojan 178,76±0,092 Ma y 176,15±0,12 Ma (Cúneo *et al.* 2013) para tobas riolíticas intercaladas entre los flujos basálticos permite establecer un rango comprendido entre el Triásico superior y Jurásico inferior para el desarrollo del magmatismo eruptivo de la FG. Una datación ⁴⁰Ar/³⁹Ar de las sanidinas de las ignimbritas soldadas ubicadas en el extremo NO del depósito Navidad arroja una edad *plateau* de 182,8±0,8 Ma que ubica a las volcanitas con una edad toarciaca dentro del rango propuesto.

Formación Cañadón Asfalto FCA (Jurásico inferior-superior)

Flujos basálticos, depósitos piroclásticos-epiclásticos, sedimentitas carbonáticas continentales, lacustres y fluviodeltaicas, intercalaciones volcánicas, conglomerados y areniscas

Las rocas sedimentarias y volcánicas de esta unidad afloran constituyendo una franja de orientación NO – SE de aproximadamente 20 km de largo por 10 km de ancho, que conforman el extremo norte del depocentro Gan Gan. Es una cuenca de *rift* de acuerdo a lo determinado por Figari (2005) y forma parte de un conjunto de depocentros de orientaciones y localizaciones variables en la región centro norte

de la provincia del Chubut y sur de la provincia de Río Negro. El autor asigna su origen a los esfuerzos relacionados a la apertura del mar de Weddell, originado por la separación entre América del Sur y la Antártida durante el Jurásico superior - Cretácico inferior.

La secuencia litológica de FCA en este depocentro se inicia con paraconglomerados (120 m) compuestos por bloques graníticos que alcanzan volúmenes de un metro cúbico, incluidos en una matriz abundante de similar composición compuesta por fragmentos de cristales de cuarzo y feldespatos. Entre los clastos dominan los de composición granítica asignable a la FL mientras que en forma minoritaria aparecen fragmentos redondeados de granitoides foliados que corresponderían a la FMC. Continúan 70 m de areniscas gruesas y medias (como bancos de 1 a 10 m de espesor) con intercalaciones de niveles de estromatolitos calcáreos (de 1 a 6 m de espesor), que culminan con niveles de pelitas alternados con calizas estromatolíticas y tobas (30 metros). Durante la evolución y colmatación de este depocentro se produjo un importante volcanismo basáltico contaminado que se dispone de manera discontinua, formando una sucesión de mantos lávicos que en forma local alcanzan los 100 metros. Los mantos tienen espesores inferiores a los 10 m y muestran individualmente un perfil integrado por una base brechosa, una zona central maciza y una parte superior fuertemente vesiculada. La simultaneidad del relleno sedimentario y volcánico está evidenciada por presentarse intercalados y por la participación de fragmentos de basaltos incluidos en las areniscas y pelitas que los cubren. No se identificaron rasgos de hialoclastitas ni de peperitas que permitan establecer el emplazamiento de las lavas en ambiente húmedo o en cuerpos de agua. El espesor total de las rocas acumuladas en este depocentro se estima entre 250 y 300 metros.

Este conjunto de rocas volcanosedimentarias es atravesado por intrusivos concordantes y discordantes a los que se asocian espacialmente en los depósitos minerales del distrito. Los cuerpos intrusivos poseen similar composición que las lavas, pero su edad es levemente más joven, ya que cortan a la secuencia como potentes diques (± 20 m) de orientación NO-SE e inclinación subvertical, asociados con filones capas y domos. Las rocas volcánicas e intrusivas descriptas reciben la denominación local de latitas, en base a los datos petrográficos y geoquímicos. Se trata de basaltos contaminados con xenocristales de cuarzo, de morfología redondeada con coronas de reacción de clinopiroxeno y plagioclasas sódicas con

textura en criba que muestran su reemplazo por plagioclasa cálcica en equilibrio con los microlitos de la pasta (Márquez *et al.* 2010b).

Las rocas de la FCA apoyan en discordancia sobre granitoides paleozoicos y sobre las secuencias volcanoclásticas bimodales de la FG, en tanto que hacia el sur en la región de Carhue Niyeo son cubiertas mediante discordancia angular y erosiva por rocas del Grupo Chubut y por unidades sedimentarias y volcánicas cenozoicas diversas.

Se identificaron pliegues de mediano tamaño en los sedimentos volcanogénicos de la FCA que están «fossilizados» por el metamorfismo de contacto débil provocado por los intrusivos basálticos. Evidencia que sumada a la ausencia de rocas del Grupo Chubut en la comarca y su presencia, unos 50 km al S, en relación de *onlap* sobre un borde tectónico de rumbo E-O, permite proponer al Jurásico superior como edad mínima para los procesos que originaron la sedimentación, deformación, magmatismo y mineralización de la FCA.

De acuerdo a las investigaciones geocronológicas U/Pb por el método CA-TIMS de tobas intercaladas en los basaltos de la FCA el Miembro inferior tiene una edad comprendida entre $178,76 \pm 0,092$ Ma y $176,15 \pm 0,12$ Ma. Los mismos autores fecharon el Miembro superior de la FCA (Formación Cañadón Calcáreo) que entregó un valor de $157 \pm 0,4$ Ma (Cúneo *et al.* 2013). Esto permite ubicar entre el Toarciano y el Malm tardío a la sedimentación de las distintas litofacies de la FCA, a la efusión e intrusión de las rocas ígneas basálticas asociadas y al desarrollo de los procesos hidrotermales que generaron las mineralizaciones.

Grupo Chubut GCh (Cretácico inferior tardío)

Sedimentos de ambientes terrestres fluvial con aportes piroclásticos. Conglomerados, areniscas, tobas, tufitas.

De acuerdo a la distribución señalada por Ardolino *et al.* (2001) las rocas de esta unidad se localizan al E-NE y al S del bloque tectónico donde se encuentra el yacimiento Navidad. Dicha ubicación estaría controlada por las estructuras mayores de la comarca que serían, la falla de traza sigmoidal que limita por el NE al depocentro Gan Gan y hacia el S por la estructura que pone en contacto tectónico el Grupo Chubut con las rocas más antiguas. En el mapa de la figura 2 (Unidad 5) los asomos del GCh son pequeños y aparecen al NE. En la misma región Figari (2005) durante el mapeo regional identifica

secuencias de sedimentos volcanogénicos que asigna a la misma unidad. Según el mapa de Ardolino *et al.* (2001) estos sedimentos integrarían la Formación Cerro Barcino. Sobreyacen en forma discordante a la FG y la FL, y son cubiertos por basaltos cenozoicos que integran el Complejo Volcánico Pire Mahuida. Su edad se asigna al Cretácico inferior tardío, más precisamente Cenomaniano - Turoniano (Suárez *et al.* 2014).

Formación La Colonia FLC (Cretácico superior tardío)

Sedimentos continentales y marinos.

La localidad tipo de la unidad se encuentra al sureste fuera del área de trabajo en el faldeo norte de la sierra de La Colonia. En el mapa de la figura 2 (Unidad 6) constituye un pequeño afloramiento en proximidades de la Ruta Provincial N° 4 en el extremo oeste de la depresión de Gan Gan, donde aparece cubierta por basaltos del Complejo Volcánico Pire Mahuida.

Se trata de sedimentos arcillosos de colores gris verdoso a pardo amarillento u ocre, con frecuencia son atravesados por venillas delgadas de yeso. El espesor de la unidad es variable pero siempre inferior a los 200 metros. Las condiciones de sedimentación varían de continentales a marino someras y poseen abundante contenido fosilífero compuesto por ostrácodos, foraminíferos y reptiles (*Carnotaurus sastrei*) lo que permite asignarle la edad del epígrafe. Para mayor información se sugiere la consulta de Ardolino y Franchi (1996) de donde se han sintetizado los datos precedentes.

3.3. CENOZOICO

Formación Sarmiento FS (Oligoceno - Mioceno)

Tobas y tufitas

Esta unidad, que integra el Grupo Sarmiento, ha sido designada como Formación Coluel Huapi por Ardolino y Franchi (1996) en la Hoja Geológica Telsen 4366-I. Desde la óptica regional se extiende en toda la región este-sureste del Chubut y norte de Santa Cruz. Mazzoni (1985) reconoce el predominio dacítico de las piroclásticas a las que califica como tefras plinianas distales vinculadas a un arco magmático cordillerano de afinidad calco alcalina. Su localidad tipo se encuentra en la Gran Barranca al sur del lago Coluel Huapi, donde se han determinado seis miembros que de piso a techo son: Gran Barranca, Rosa-

do, Puesto Almendra inferior, Vera, Puesto Almendra superior y Coluel Huapi. Allí Dunn *et al.* (2013) realizaron una investigación geocronológica utilizando el método U/Pb sobre circones individuales en tobas de caída obteniendo edades comprendidas entre $39,861 \pm 0,037$ Ma a $19,041 \pm 0,027$ Ma lo que indica edades de cristalización entre el Eoceno superior y el Mioceno inferior.

Se identifican solo dos pequeños afloramientos asignables a esta unidad que se localizan en el borde oriental del área, donde aparecen cubiertos por los basaltos del Complejo Volcánico Pire Mahuida (figura 2, Unidad 7). Su composición litológica es semejante a la descrita por Ardolino y Franchi (1996) para la región aledaña al E, donde está compuesta por tobas, tufitas e ignimbritas con estratificación gruesa y tonalidades blanquecinas a amarillentas, localmente silicificadas.

Complejo Volcánico Pire Mahuida CVPM (Mioceno)

Basaltos

Aflora en el rincón NE del área (Figura 2 Unidad 8) rellenando depresiones elongadas que se asignan a cauces fluviales o como pequeñas planicies de baja altura en relación de discordancia sobre las unidades más antiguas La denominación corresponde a Dessanti (1956), luego redefinida por Salani y Page (1987) y por Salani y Parica (1990). En el zona se reconocen flujos basálticos canalizados que alcanzan espesores métricos y que tienen composición nefelínica. La unidad regionalmente reúne a un conjunto de rocas volcánicas bimodales que constituyen la sierra homónima, ubicada al norte del área de trabajo. La edad del complejo se ubica entre 18 ± 1 Ma (determinada en una riolita, Salani y Parica 1990) y 17 ± 1 Ma obtenida en una colada basáltica (Salani *et al.* 1994).

Cuaternario

Comprende un grupo numeroso de sedimentos inconsolidados cuyas edades cubren el rango Pleistoceno - Holoceno, e incluye arenas, gravas, limos, arcillas, bloques y rodados originados por procesos de peneplanización, aterrazamiento, remoción en masa y relleno de bajos/lagunas. Al igual que depósitos aluviales y coluviales localizados en cañadones y valles.

En el área de trabajo se localizan cubriendo amplios espacios entre las serranías, en forma de extensas planicies disectadas por cauces temporarios (figura 2, Unidad 9).

4. GEOLOGÍA LOCAL

En este capítulo se efectúa la descripción detallada de las unidades lito-estratigráficas que se encuentran en el área mineralizada o en su entorno, cuya distribución está graficada en el mapa geológico local del depósito Navidad (figura 3). La zona investigada cubre una superficie aproximada de 140 km²

que está delimitada por las coordenadas 42° 22' 04" y 42° 29' 46" de latitud sur y 68° 44' 52" y 68° 54' 01" de longitud oeste.

Las unidades que se analizan son las formaciones: Mamil Choique, Lipetrén, Garamilla, Cañadón Asfalto y la cubierta cenozoica. Para su descripción se agrupan como El basamento de la cuenca, La cuenca volcano-sedimentarias Jurásica y las rocas pos-jurásicas.

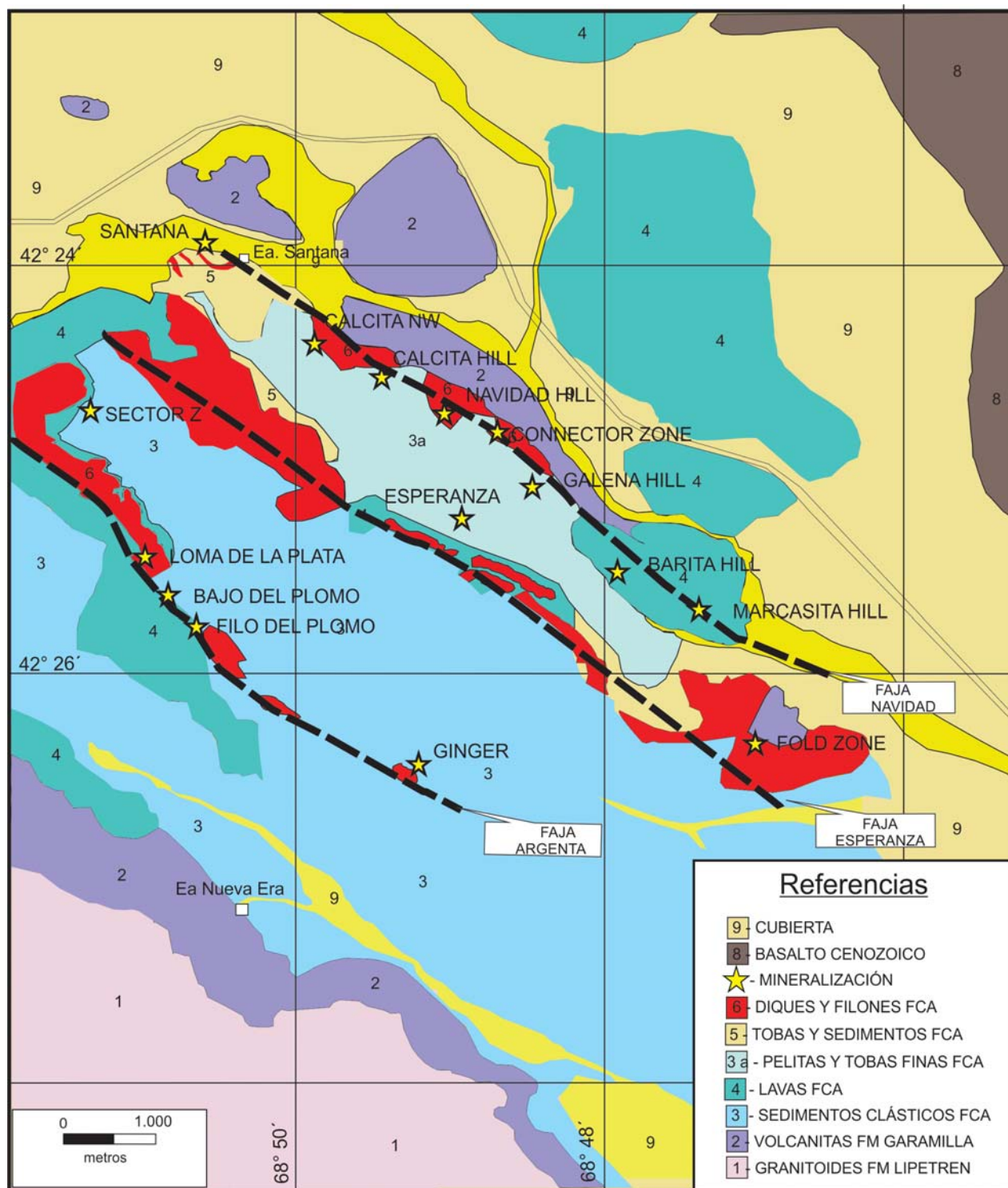


Figura 3. Mapa geológico local simplificado (Modificado de Williams 2010)

4.1. EL BASAMENTO DE LA CUENCA

Formación Mamil Choique

Los granitoides foliados que constituyen esta unidad litoestratigráfica no afloran en el sector de trabajo, sólo se reconocen sus fragmentos de dimensiones comprendidas entre bloque y guijarro, integrando sedimentos clásticos gruesos (figura 4). Son los paraconglomerados basales del miembro inferior de la FCA que se exponen como una franja diagonal en la parte SO del área mapeada (figura 3). La distribución de los fragmentos foliados es aleatoria y minoritaria con respecto a los clastos de granitoides no deformados de la FL. Su morfología es redondeada sugiriendo un importante transporte. Extensos afloramientos de granitoides con foliación tectónica atravesados por extensos cuerpos pegmatíticos afloran en el extremo NO de la sierra Cabeza de Buey, localizados aproximadamente a 5 km al NO del área.

Formación Lipetrén

Sus afloramientos están ubicados en el rincón SO del sector y constituyen uno de los cordones orientales de la sierra Cabeza de Buey, que es la geoforma más elevada y que alcanza los 1500 msnm de altitud (figura 5).

Este sistema serrano está formado por varios cordones separados por valles intermontanos de orientación NO–SE, cuyas laderas poseen inclinaciones similares y por sectores poseen tendencia a conformar una planicie de altura. La sierra limita por el sur

el desarrollo del depocentro Gan Gan de la Cuenca Cañadón Asfalto.

Las rocas son granitoides, que aparecen a 1 km al SO del casco de la estancia Nueva Era (unidad 1 en la figura 3). Tienen textura porfídica gruesa con fenocristales de plagioclasas±feldespato alcalino, cuarzo, anfíbol y biotita, que engloban frecuentes enclaves microgranulares máficos de morfología redondeada y con tamaños de hasta 30 cm (figura 5a).

Al microscopio la textura porfídica de los granitoides se observa bien desarrollada y asociada con abundante pasta microgranosa. Los fenocristales más grandes y abundantes son de plagioclasas macladas, cuya composición es andesina baja. Los fenocristales de anfíbol son de color de interferencia pardo verdoso (hornblenda) y al igual que los de las plagioclasas tienen morfologías subhedrales a euhedrales. Se encuentran rodeados por una pasta granofírica, donde se destacan los cristales poliédricos de cuarzo intercrecidos en el feldespato potásico con fuerte alteración arcillosa. La biotita es escasa y se encuentra alterada a clorita y epidoto al igual que los anfíboles. Por su mineralogía y textura se identifica a esta roca como un pórfido granodiorítico de cristalización lenta en condiciones de proximidad con la superficie. No muestra orientación de sus componentes minerales, no se observaron enclaves de basamento metamórfico, ni evidencias de deformación dúctil lo que permite diferenciarlos de los granitoides de la FMC.

El contacto entre el pórfido granodiorítico y los enclaves microgranulares máficos es neto en observación mesoscópica y en los afloramientos la rela-



Figura 4. Vista detallada de los paraconglomerados de la base de la FCA, que muestra los clastos de granitoides foliados englobados en una matriz de grano más fino.



Figura 5. Vista general hacia el S del tramo medio de la sierra Cabeza de Buey. La arboleda marca la posición de la estancia Nueva Era, en el primer plano la zona cubierta de vegetación (gramíneas) corresponde a la base de la FCA, los afloramientos de tonalidades pardo claras en los alrededores de la estancia son de la FG. En el último plano, el núcleo y la cumbre de la sierra son granitoides de la FL.



Figura 5a. Vista detallada de la granodiorita de la FL donde destacan los enclaves microgranulares máficos de tonalidades más oscuras y morfología redondeada (masa como escala 30 cm).

ción es notable debido al color más oscuro y a la textura más fina de los enclaves. Al microscopio dicho contacto se observa gradual y destacado por la mayor proporción de minerales máficos (anfíbol, biotita y opacos), por la ausencia de la textura microgranular y por el dominio de los fenocristales de las plagioclasa que son de menor tamaño. Los enclaves se interpretan como evidencia de mezcla de magmas, lo que sumado a la abundancia de anfíboles que permite interpretar a estas rocas como granitoides de tipo I.

No se ha observado su relación de contacto con la FMC, en tanto que los granitoides son cubiertos discordantemente por la secuencia de rocas volcánicas jurásicas en el flanco nororiental de la sierra.

A grandes rasgos las características de las rocas descritas concuerdan con los granitoides con hornblenda y biotita de afinidad calcoalcalina que integran la Superunidad Lipetren del Batolito de la Patagonia Central investigados por Rapela *et al.* (1991). Posteriormente Rapela *et al.* (1992) deter-

minan para estas plutonitas una edad de 206 ± 2 Ma mediante una isócrona Rb/Sr (roca total) sobre 6 muestras, que arrojan una relación inicial $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ de 0.705 ± 0.0002 . Estos datos establecen la edad triásica superior del basamento local de la Cuenca Volcano-Sedimentaria jurásica que contiene al depósito Navidad. Asimismo la relación isotópica inicial indica un importante proceso de contaminación crustal de los granitoides de la unidad que reconocen un origen mantélico (Granitoides tipo I), tal como lo plantea Rapela *et al.* (1992).

No se han observado, ni hay antecedentes conocidos sobre la presencia de mineralización argentífera polimetálica alojada en estas rocas. Se habrían comportado de manera pasiva con respecto al funcionamiento de los sistemas hidrotermales que mineralizan a las rocas volcano-sedimentarias que las sobreyacen. Las que están concentradas sobre el borde opuesto del depocentro en coincidencia con la estructura principal.

4.2. LA CUENCA VOLCANO SEDIMENTARIA JURÁSICA

Las volcanitas y sedimentitas jurásicas del área Gastre–Gan Gan rellenan un depocentro tectónico elongado de límites bien definidos (*rift*), que bordea por el NE a la sierra Cabeza de Buey (figura 1) y que posee una orientación general noroeste–sureste (N 60° O), con variaciones locales menores.

Estas secuencias litológicas han sido investigadas por diversos autores entre los que se puede mencionar a Figari (2005), Figari y Courtade (1993), Ardolino *et al.* (2001) quienes las designaron como la FLT (Miembro Cajón de Ginebra) y la FCA (miembro inferior). Hacia el N, en el ámbito de la Hoja Geológica 41d Lipetrén la secuencia recibe la denominación litoestratigráfica de FG (Nullo 1978).

En forma regional se reconocen claramente dos unidades litoestratigráficas: a) la inferior compuesta por rocas volcánicas de composición ácida a intermedia y b) la superior está integrada por rocas volcánicas, sedimentarias y flujos e intercalaciones de lavas básicas. Localmente las unidades mencionadas guardan entre sí relaciones de pseudoconcordancia a concordancia. Sin embargo como fuera descrito por Figari (2005), las unidades mencionadas están separadas por una fuerte discordancia y reciben la denominación de secuencia II y secuencia III. La discordancia se infiere por la distribución espacial de sus afloramientos que se observa regionalmente.

Las rocas volcánicas aflorantes en el área del depósito Navidad podrían asignarse a la FG (Nullo

1978) por la abundante presencia de riolitas. En cambio si se considera la participación de aglomerados y flujos andesíticos, podría tratarse de una variación facial de la FLT (Lesta y Ferello 1972). El conjunto presenta mayores similitudes con el Complejo Los Menucos (Lema *et al.* 2005) por la bimodalidad composicional a pesar del supuesto diacronismo entre las formaciones. Igual similitud es descripta para las secuencias volcánicas por Zaffarana *et al.* (2014) a la que denominan Formación Lonco Trapial, en la continuidad noreste de los afloramientos. Teniendo en cuenta las significativas incertidumbres sobre la asignación litoestratigráfica, en este trabajo, se utilizara tentativamente para esta secuencia la denominación de Formación Garamilla (FG); que representa la parte occidental del Complejo Marifil en la zona de transición con la Formación Lonco Trapial dominada por el volcanismo mesosilícico.

Formación Garamilla

En la región los asomos de la secuencia volcánica son flujos piroclásticos riolíticos y minoritariamente andesíticos que se disponen rodeando los altos basamentales como la sierra Cabeza de Buey o la sierra de Lonco Trapial (Ardolino *et al.* 2001). Se la identifica como unidad 2 en el mapa geológico local (figura 3).

En el entorno del depósito Navidad estas volcanitas se superponen discordantemente a los granitoides de la FL sobre los bordes suroeste y noreste de la cuenca. Los afloramientos del borde suroeste constituyen una franja de espesor variable con rumbo N 40° O e inclinaciones máximas de hasta 30° al E.

Es evidente la existencia de varios flujos y la alternancia de las ignimbritas riolíticas que son dominantes (en la base), con aglomerados andesíticos predominantes hacia el techo. Las potencias individuales de los flujos son del orden de los 10 m y para la secuencia volcánica aflorante se estima un espesor promedio próximo a los 300 metros.

En la parte norte del área de Navidad la secuencia riolítica está en posición horizontal a subhorizontal y tiene plegamientos locales de longitudes de onda grande (decenas a centenas de metros) cuyos flancos son de suave inclinación y orientación variable (figura 6). Las unidades de enfriamiento tienen potencias similares a los flujos de la misma unidad expuestos en la parte suroeste de la cuenca.

En general las rocas riolíticas presentan tonalidades pardas a pardas rojizas (figura 7), presentan



Figura 6. Vista hacia el NE de los flujos piroclásticos riolíticos de la FG que tienen espesores menores a 10 m y se muestran plegados en el borde izquierdo del afloramiento.



Figura 7. Detalle de testigos de sondeos del depósito Navidad que cortan a las riolitas rojizas de la FG, donde se puede observar la presencia de *fiammes* y de litoclastos volcánicos.

alternancias entre flujos soldados, destacados en el relieve, con otros no soldados y/o sedimentos volcanogénicos dispuestos como bancos más delgados (menos de 1 m) que aparecen en las partes deprimidas del terreno.

Las rocas andesíticas dispuestas como mantos de espesores métricos se identifican por sus tonalidades gris oscuras con frecuente participación de clastos de similar composición y texturas porfíricas finas que se interpretan como lavas, lavas autobrechadas y/o lahares (figura 8).

Microscópicamente las ignimbritas riolíticas soldadas poseen litoclastos de textura volcánica variada (porfírica y traquítica) y de dimensiones próximas a un centímetro asociados con cristaloclastos de plagioclasa, feldespato alcalino y biotita con sus bordes transformados en opacos. La matriz está compuesta mayoritariamente por trizas vítreas y *fiammes* que exhiben desvitrificación fibrosa en sus bordes, mientras que en las zonas centrales desarrollan textura granofírica fina con domino de cuarzo o desvitrificación a esferulitas. Aunque se preservan



Figura 8. Vista detallada de las autobrechas andesíticas que se intercalan con las ignimbritas riolíticas y que exhiben clastos de hasta 30 cm de diámetro englobados en una pasta de igual composición. El círculo amarillo marca una piqueta como escala.

las morfologías de las trizas hay sectores con buen desarrollo de texturas eutaxíticas. Las intercalaciones de los sedimentos volcanogénicos muestran al microscopio abundantes litoclastos de texturas variadas con escasos cristaloclastos tabulares asignables a feldespatos que están afectados por alteración a arcillas, calcita, sericita y cuarzo; en tanto que la matriz volcanogénica de grano fino está teñida en forma intensa por óxidos de hierro.

En esta parte de la cuenca de Gan Gan las secuencias riolíticas aflorantes tienen diversas posiciones espaciales, como por ejemplo: a) en el entorno a la Estancia Nueva Era presentan rumbo N54°O y una inclinación de 20° a 25° al NE, b) al costado de la ruta provincial N° 4 en cercanías del depósito de Calcita Hill los flujos piroclásticos tienen rumbo N50°E e inclinan entre 5° y 10° al SE y c) en el mismo sector pero al norte de la ruta, las capas exponen una disposición subhorizontal con pliegues de gran longitud de onda. Otros afloramientos semejantes se disponen como una franja de mantos subhorizontales que acompaña por el N al trend Navidad y vuelven a aparecer en el núcleo de la *Fold Zone* (extremo SE del trend Navidad). Estas rocas alternan con bancos de similar composición que no presentan soldamiento.

Las rocas de composición andesítica reconocen dos tipologías principales que afloran en la mayoría de los casos superpuestas a las riolitas. Una tiene características fragmentales con clastos polimícticos de diámetros variables entre 5 y 20 cm englobados en una matriz mixta terrígena y/o

volcanogénica que se interpreta como un depósito lahárico y se puede asignar a la facies brechosas de la FLT. La otra tipología consiste en autobrechas andesíticas con clastos de similar tamaño englobados en una pasta ígnea de la misma composición (figura 8).

Si bien no se cuenta con secciones delgadas de estas rocas se describen a continuación las características de las brechas comparables que afloran en la zona sur de mina Ángela como parte de la misma secuencia volcánica. Son rocas de textura porfírica con baja proporción de fenocristales de plagioclasa (andesina sódica) y de anfíboles englobados por una pasta de similar mineralogía con abundantes microlitos de plagioclasa. Se pueden identificar variedades texturales en base a la variación del tamaño de los fenocristales, de la abundancia de la pasta /matriz y del tamaño de los fragmentos.

Los datos geoquímicos de elementos mayoritarios y trazas de las rocas de la FG permiten clasificar a esta secuencia volcánica como pertenecientes a una serie ígnea bimodal y calcoalcalina (ver capítulo Geoquímica).

Los mantos de volcanitas bimodales que bordean por el norte a la sierra Cabeza de Buey son cubiertos mediante discordancia angular y erosiva por los paraconglomerados que constituyen la base de la FCA inferior en ese sector. En la Loma de la Plata las andesitas de esta unidad son cubiertas mediante discordancia por un paquete sedimentario integrado por pelitas y areniscas que se asignan a la parte alta del Miembro inferior FCA. En el borde norte del *trend*

Navidad las ignimbritas están en contacto tectónico con los intrusivos básicos de la FCA.

Con la finalidad de establecer la edad absoluta de las rocas del basamento volcánico de la cuenca de Cañadón Asfalto se extrajo una muestra de una ignimbrita soldada de la secuencia aflorante en la parte noreste del proyecto ($42^{\circ} 23' 25,7''$ S y $68^{\circ} 49' 24,7''$ O). Sobre ella se efectuó una selección de cristales de sanidina mediante *picking* y se los analizó utilizando el método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ *step heating* que arrojó una edad *plateau* de $182,8 \pm 0,8$ Ma. (Datos en Anexo). Esta edad corresponde al límite Pliensbachiano superior a Toarciano inferior que es consistente con edades absolutas determinadas en rocas riolíticas del extremo norte de la sierra Lonco Trapial (Río Negro) por el mismo método geocronológico y con edades U/Pb SRHIMP (Franzese *et al.* 2002). En la zona del dique Florentino Ameghino (150 km al sureste) existen dos edades de secuencias riolíticas equivalentes, una $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ que arroja $186,2 \pm 3$ Ma (Alric *et al.* 1993) y otra por el método Rb/Sr es una isócrona sobre roca total que indica $180,8 \pm 4,3$ Ma (Rapela y Pankurst 1993).

Si bien las rocas volcanoclásticas de esta unidad no son portadoras de mineralización argentífera, en las ignimbritas riolíticas ubicadas al norte de la faja Navidad se han observado venillas centimétricas de baritina.

Formación Cañadón Asfalto

Los mayores afloramientos de la unidad coinciden aproximadamente con la ubicación del proyecto

(unidades 3, 3a, 4, 5 y 6 en la figura 3) y la superficie expuesta es del orden de los 100 Km². Su desarrollo está limitado al suroeste y noreste por las secuencias de rocas volcanoclásticas bimodales de la FG.

Como fue mencionado en párrafos previos la localidad tipo de la unidad se encuentra unos 100 km al suroeste en cercanías del paraje Cerro Cóndor, en donde se identifican dos Miembros. El inferior compuesto por lavas basálticas con intercalaciones de calizas y participación de areniscas y el Miembro superior predominantemente clástico con areniscas, tobas, conglomerados y calizas (Silva Nieto *et al.* 2002, Cabaleri *et al.* 2010).

La secuencia identificada está compuesta por rocas clásticas, piroclásticas, calizas estromatolíticas, flujos lávicos y cuerpos intrusivos concordantes y discordantes. Sus características son coincidentes con el miembro inferior de la unidad en la localidad tipo de acuerdo a Figari (2005).

En el área de Navidad las volcano-sedimentitas de la FCA tienen una orientación dominante noroeste-sureste y una pequeña inclinación ($< 15^{\circ}$) hacia el noreste que es modificada localmente por plegamientos menores. La sucesión está bien estratificada, es de arquitectura compleja y tiene con un espesor de varios cientos de metros, que alcanzaría un máximo de 1500 m al norte de la meseta de Somún Curá de acuerdo a los registros sísmicos.

En la figura 9 pueden observarse los límites del basamento que rodea al extremo noroeste de la cuenca de Gan Gan y la ubicación del área del proyecto sobre ella.



Figura 9. Imagen satelital que muestra la ubicación del área mineralizada de Navidad (línea roja) en el extremo noroeste de la cuenca de Gan Gan; la superficie delimitada por la línea negra corresponde a las rocas de la FCA y su zona externa marca la ubicación del basamento de la cuenca y de la FG.

En el conjunto volcano sedimentario se pueden discriminar, cuatro grupos de asociaciones litológicas (Tabla 1) que representan estadios discretos en la evolución del depocentro: Grupo A) Paraconglomerados, areniscas y calizas, Grupo B) areniscas y lavas basálticas, Grupo C) pelitas, calizas estromatolíticas y piroclástitas finas y Grupo D) diques, filones capas y domos. La división en estos grupos se ha realizado de acuerdo a las litologías dominantes y sobre la base del pasaje gradacional y concordante entre las secuencias sedimentarias piroclásticas. La separación se efectuó siguiendo un conjunto de criterios como: las variaciones en la granulometría, en la coloración o en la asociación de litologías y su carácter es orientativo.

El grupo A constituye la mayor parte de la fracción sedimentaria clástica de la FCA expuesta en el área del proyecto. Su distribución espacial está controlada por el diseño de la cuenca, en coincidencia con el rumbo de los estratos que muestran una inclinación suave hacia el NE ($< 15^\circ$). El paquete sedimentario inicia con paraconglomerados (~120 m

de espesor) compuestos por bloques graníticos que alcanzan un metro cúbico de volumen, englobados por abundante matriz integrada por fragmentos de cristales de cuarzo y feldespato. En forma local dominan los clastos de granitoides anfibólicos de textura holocristalina no deformados asignables a la FL. Se pueden observar algunos clastos de granitoides foliados dúctilmente que se asignan a la FMC (figura 4). El dominio de la matriz es grande y los paraconglomerados pasan en forma lateral o vertical a areniscas conglomerádicas (figura 10). Continúan aproximadamente 70 m de areniscas conglomerádicas gruesas y medias que poseen estratos con espesores entre 1 y 10 m e intercalaciones de niveles calcáreos. Estas capas muestran estructuras estromatolíticas y estilolíticas (figura 11), son de un color pardo oscuro y tienen espesores inferiores a 6 m. Se intercalan en las areniscas y su base es concordante en tanto que el techo puede estar erosionado por el estrato superior.

El grupo B se dispone por encima del A en relación de concordancia y está integrado por flujos de

GRUPO	LITOLOGÍA	UNIDAD
D	Intrusivos basálticos concordantes y discordantes.	6
C	Sedimentos volcanogénicos, areniscas, pelitas y calizas.	3a y 5
B	Flujos basálticos, pelitas y grauvacas.	4
A	Paraconglomerados, areniscas y calizas.	3

Tabla 1: relación entre las diferentes litologías volcano-sedimentarias identificadas como Grupo y su correspondencia como unidad en el mapa geológico local simplificado de la figura 3.



Figura 10. Areniscas conglomerádicas de la base del Miembro inferior de la FCA (Grupo A), ubicadas en la parte sur del *trend* Argenta donde se observa la variación granulométrica y la estratificación cruzada (marcador como escala).



Figura 11. Vista detallada de un nivel de calizas estromatolíticas que afloran intercaladas en las areniscas conglomerádicas (Grupo A), de la base del Miembro inferior de la FCA.



Figura 12. Vista general desde Loma Navidad hacia el NE, en el primer plano se observa una secuencia de mantos basálticos con suave basculamiento (FCA, Grupo B). En segundo plano aparece la Sierra Pire Mahuida (CVPM).

rocas básicas (basaltos contaminados) que poseen espesores métricos y se intercalan con escasos niveles de areniscas inmaduras (grauvacas) y pelitas.

Sus afloramientos se concentran en la zona centro norte de la faja Argenta, en la parte sur de la faja Navidad y continúan hacia el norte donde aparecen las mejores exposiciones (figura 3, Unidad 4). Este grupo ha sido reconocido por sondeos durante la exploración del el sector Loma de la Plata y Valle Esperanza donde presenta buen desarrollo. La secuencia tiene espesores entre 50 m y 100 m y está constituida por numerosos flujos (potencia < 5 m) que se reconocen a partir de las texturas vesiculares y brechosas de techo y piso respectivamente.

La zona central de las coladas es maciza y con destacados cristales de plagioclasa y cuarzo en una pasta de microlitos de plagioclasa con textura traquítica. Al norte de la Ruta Provincial N° 4 los bloques de volcanitas básicas muestran basculamientos homoclinales en distintas posiciones, con un rumbo general NO–SE y suave pendiente hacia el NE (figura 12).

Presentan textura porfírica fina, color gris oscuro a verdoso, con agmídalas rellenas de calcedonia blanca y celadonita (figura 13). Los fenocristales mayores son de cuarzo y plagioclasa sódica y tienen >5mm de diámetro, en tanto que las plagioclasas cálcicas y olivinos son más pequeños. La mesostasis



Figura 13. Testigo de sondeo de los basaltos contaminados de la FCA. Se destaca la textura porfírica en donde los cristales redondeados son xenocristales de cuarzo y los poliédricos son plagioclasas. La pasta de coloración gris se compone de microlitos de plagioclasa y piroxeno.



Figura 14. Vista detallada de testigos de sondeos de las litologías que integran el grupo C. En la imagen se observan niveles de pelitas y de calizas estromatolíticas finamente laminadas.

es afanítica/fluidal y está compuesta por piroxeno y plagioclasa cálcica.

En los testigos de los sondeos del depósito Esperanza se observan clastos de basaltos englobados en las pelitas o areniscas que los cubren. Los clastos no muestran bordes congelados u otra textura que sugiera el enfriamiento por contacto con agua o sedimentación húmeda, en consecuencia son interpretados como fragmentos accidentales. También puede observarse la intercalación de los basaltos con pelitas/areniscas o su superposición; una secuencia volcano-sedimentaria similar se ha identificado en los sondeos de la zona NE del depósito Loma de la Plata.

La yacencia de este grupo se interpreta como el relleno sedimentario de un depocentro somero que alterna con un ciclo de volcanismo básico en una relación de sincronismo o leve diacronismo. Las texturas y estructuras observadas en los sondeos indican procesos sedimentarios y volcánicos normales sin evidencias brechamiento provocado por explosiones freatomagmáticas. Sin embargo Williams (2010) postula la existencia de interacción entre el emplazamiento del magma con agua que se comportarían como diatremas, generando anillos de tobas que constituirían las brechas que son posteriormente rellenadas por la mineralización argentífera polimetálica.

El grupo C (figura 3, Unidades 3a y 5), está compuesto por rocas sedimentarias de tipo clástico, piroclástico y químico. Son de granulometría fina y en superficie exhiben coloraciones claras de tonalidades amarillentas que por su granulometría se clasifican como pelitas, tobas finas y calizas estromatolíticas (figura 14). Su espesor se estima entre 70 m a

100 m. En los testigos de sondeos tanto las tobas como las pelitas muestran coloración gris oscura a clara y tienen muy baja compactación (débil diagénesis). Presentan escasos afloramientos que se concentran en las partes deprimidas del relieve y también se observan en las plataformas de sondeo y en las paredes de los piletos de lodo del proyecto minero.

En cambio las calizas constituyen resaltes destacados en el relieve y se disponen como bancos de espesores métricos y coloración pardo amarillenta clara. Exhiben marcada estratificación paralela de posible origen algáceo y por sectores incluyen numerosos estromatolitos de morfología redondeada, de aproximadamente 10 cm de diámetro, compuestos por capas milimétricas y concéntricas de calcita.

En el mapa geológico simplificado el grupo C (figura 3, Unidad 3a) ocupa la zona comprendida entre la faja Navidad y la faja Esperanza. En tanto que en el mapa geológico de Williams (2010) las rocas que integran este grupo están graficadas en el extremo norte de la depresión entre la faja Esperanza y la faja Argenta.

Dentro del grupo C la secuencia de tobas y sedimentos finos de coloraciones rojizas a amarillentas (figura 3, Unidad 5) está constituida por estratos de espesores menores a 1m que se localizan en el extremo norte de la faja Navidad, en las proximidades del casco de la Estancia Santana (figura 15). Allí las rocas clásticas son atravesadas por diques basálticos de más de 200 m de largo y potencias de 10 m a 15 m, asociados a sistemas vetiformes ± brechosos rellenos por baritina y calcita. Fueron explotados en forma rudimentaria e identificados como Mina Santana.



Figura 15. Vista general de las rocas volcánicas del grupo C sobre el extremo N del *trend* Navidad en proximidades de la Estancia Santana. Se destaca el espesor y coloración de los estratos y su deformación tectónica constituyendo un suave sinclinal.

La distribución espacial de las secuencias sedimentarias, con rumbo N50°–60°O e inclinación 10° a 15° al NE, sumada a una marcada disminución granulométrica hacia el NE permite reconstruir la paleogeografía de la cuenca de la FCA, con los abanicos fluviales en el flanco SO y la zona lagunar hacia el NE. El control litológico que ejercen las estructuras NO-SE (Fajas Navidad, Esperanza y Argenta) permite interpretar una segmentación de la cuenca, con umbrales de basamento que habrían controlado la sedimentación, y que posteriormente sufrieron reactivación tectónica y funcionaron como conductos para el magmatismo básico.

La secuencia volcano-sedimentaria (figura 3, Unidades 2, 3, 3a, 4 y 5) de la FCA en este depocentro tendría un espesor que se estima del orden de los 300 metros.

Mediante el estudio de la FCA en Gan Gan, Allar (2008) clasifica a los sedimentos como depositados por sistemas fluviales que drenan a un nivel de base lagunar carbonático con tasa de sedimentación negativa. En base a la medición de estructuras tractivas unidireccionales en los niveles de areniscas gruesas y finas determinó dos direcciones preferenciales de paleocorrientes. Una de ellas en posición azimutal N 18° que muestra una fuente de aporte granítica ubicada al SO de la cuenca y la otra minoritaria ubicada en posición N153° que indicaría la proveniencia NO con predominio de clastos volcánicos. Si se considera representativa la población de 63 paleocorrientes medidas, indicaría un claro dominio de la orientación fluvial transversal sobre los cursos axiales, en el proceso de relleno del depocentro.

El grupo D de la FCA reúne a los cuerpos intrusivos concordantes y discordantes de composición basáltica contaminada que afloran en la zona del yacimiento y que representan el último episodio magmático en el desarrollo del depocentro Gan Gan. Se intruyeron con posterioridad a la inversión tectónica de la cuenca, que reactivó las fallas del basamento y permitió el acceso del magma a la corteza superior.

Las evidencias que avalan la postulación anterior son: a) la relación discordante de los diques que atraviesan la totalidad del relleno volcano sedimentario de la cuenca incluyendo a los flujos lávicos y b) la existencia de sedimentitas (Grupo C) plegadas y afectadas por el metamorfismo térmico provocado por uno de los criptodomas en el flanco NE de Loma Navidad.

En la figura 16 se presentan microfotografías de la mineralogía y texturas de rocas de los grupos C y D (sedimentos volcánicos y domo/filón capa)

Se identifican cuerpos discordantes de tipo dique que poseen una marcada orientación NO-SE coincidente con las tres estructuras mayores, *Trend* Navidad, *Trend* Esperanza y *Trend* Argenta que son las que controlan la evolución de la cuenca. Estos cuerpos poseen longitudes de varios miles de metros y espesores de hasta 20 m. Son discontinuos y pueden interrumpirse o desaparecer a lo largo del *trend* (Zona *Conector*). Es frecuente la transformación local del dique en cuerpos intrusivos de tipo criptodomo que deforman a la parte superior de la secuencia pelítica tobácea fina del Grupo C como puede observarse en Navidad *Hil*. Otro comporta-

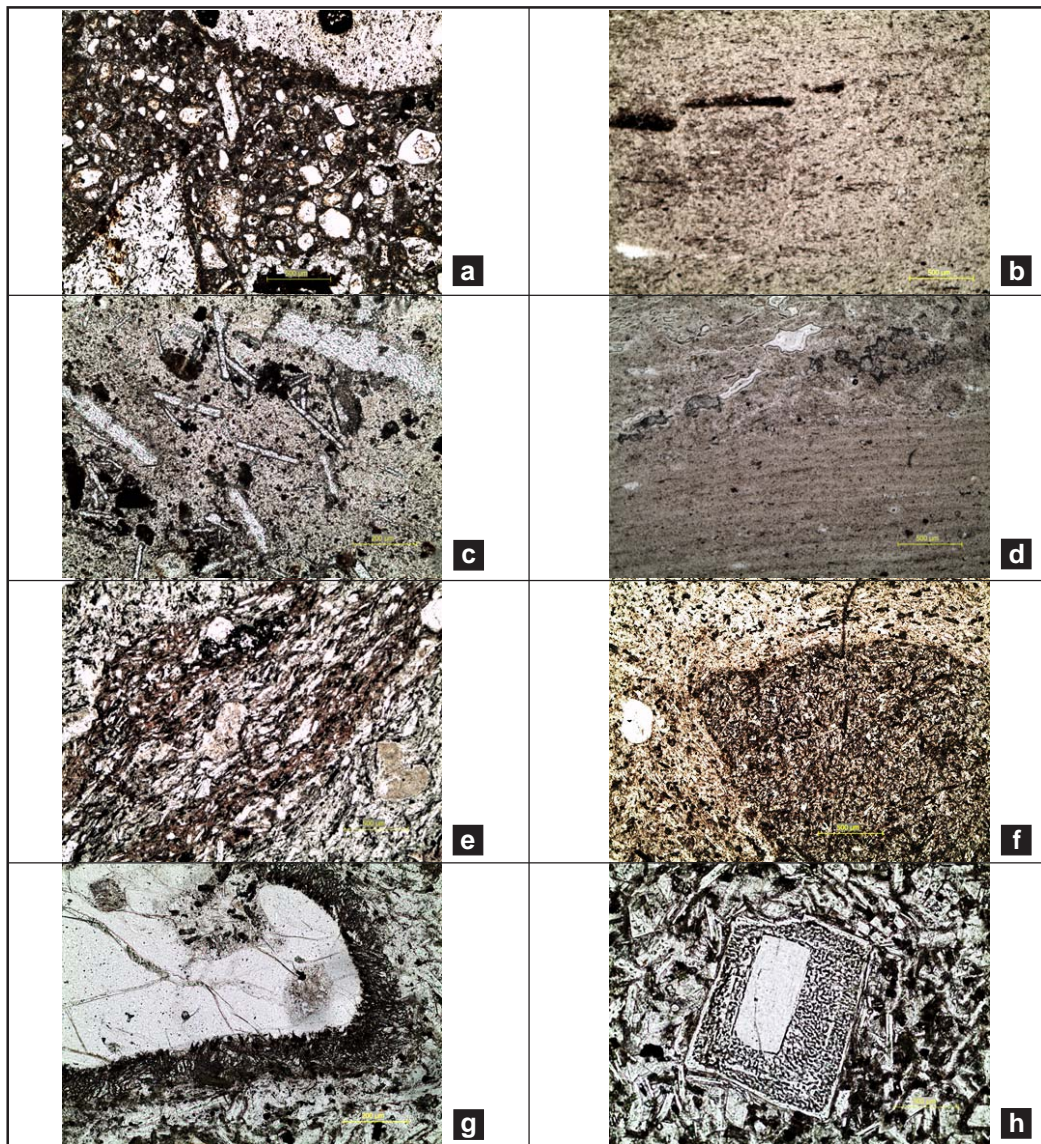


Figura 16. Microfotografías con luz polarizada sin analizador de rocas del grupo C y D de la FCA. **a:** Sedimento volcanogénico integrado por clastos de basaltos contaminados rodeados por cristaloclastos con dominio de cuarzo. **b:** Sedimento volcanogénico fino (toba) con fina laminación y predominio de fragmentos vítreos. **c:** Sedimento volcanogénico afectado por metasomatismo hidrotermal expresado por el desarrollo de cristales poiquilíticos de baritina. **d:** Caliza estromatolítica laminada afectada por disolución y precipitación de sílice±calcita en pequeñas cavidades. **e:** Foliación magmática marcada por microlitos de plagioclasa desarrollada sobre el domo/filón capa de Navidad Hill. **f:** Autolito (*crystal mush?*) de basalto contaminado con dominio de mafitos y opacos englobado en flujo de similar composición en el dique de Santana. **g:** Xenocrystal de cuarzo con corona de reacción de clinopiroxeno. **h:** Xenocrystal de plagioclasa sódica con textura en tamiz y reborde de plagioclasa cálcica de composición similar que los microlitos de pasta.

miento de los intrusivos es como filones capa lo que puede observarse en los afloramientos expuestos entre las estructuras principales como en el sector SO de la Estancia Santana. A este conjunto de rocas ígneas se las grafica en el mapa geológico (figura 3) como Unidad 6.

4.3. ROCAS POS-JURÁSICAS

En el área de estudio no afloran rocas pertenecientes al Jurásico superior ni al Cretácico. Esta situación habría sido provocada por la posición espa-

cial elevada del bloque estructural producto de la inversión tectónica, lo que inhibió la acumulación de las rocas sedimentarias más jóvenes. Rocas pertenecientes a los períodos mencionados afloran sobre los bordes del bloque, aproximadamente 10 km al N en la Pampa de Sacanana, 30 km al S en la zona de Pampa Marrauf y 40 km al SE en la zona de Carhue Niyeu.

La mayor parte del flanco N-NE del depósito Navidad se encuentra cubierto por rocas neoterciarias y cuaternarias. En el borde NE afloran coladas basálticas nefelínicas que se canalizan siguiendo la

depresión del arroyo Sacanana y que han sido asignadas por Salani (1990) al CVPM de edad miocena.

Todas las unidades descritas son cubiertas por depósitos aluviales coluviales de arenas gravas y limos asignados a distintos niveles pleistocenos /holocenos por Salani (1990).

5. ESTRUCTURA

El contexto estructural del macizo de Somún Curá durante el Mesozoico y en particular de su borde SO donde se encuentra el depósito Navidad está caracterizado por elementos típicos de un ambiente extensional y/o transtensional. Un rasgo esencial del sistema son los depocentros asimétricos de tipo hemigraben que controlan la depositación de las secuencias volcano-sedimentarias del Jurásico inferior. La orientación de los hemigrábenes y la posición de sus bordes activos y pasivos varía en las distintas regiones del macizo al igual que en la provincia morfoestructural, ubicada hacia el oeste, denominada Subcuenca de Cañadón Asfalto.

En el sector de Navidad, la orientación de los altos basamentales constituyen las sierras Cabeza de Buey, de Lonco Trapial y Del Mogote. Analizadas en conjunto con el Bajo de Gastre definen una marcada orientación NO-SE que es la que corresponde a los hemigrábenes/depocentros de la comarca. Dicha dirección es coincidente con la distribución de las rocas de la FCA en el tramo comprendido entre la estancia Santana y la Sierra del Serrucho que se extienden por aproximadamente 50 km y definen de esta manera la magnitud del depocentro Gan Gan. El área investigada entorno al depósito Navidad se emplaza en el extremo NO de dicho hemigraben.

Rapela y Pankhurst (1992) postularon para esta comarca la existencia de una mega estructura continental de desplazamiento de rumbo dextral a la que denominaron falla de Gastre, fundamentados en la orientación de los cordones montañosos y en la existencia de delgadas fajas miloníticas. La traza de la falla coincide con el límite N de las manifestaciones minerales que constituyen el depósito Navidad. Posteriormente Von Gossen y Loske (2004), sobre la base de observaciones realizadas durante el mapeo detallado, descartan la existencia de la falla de Gastre como megatrazada continental. Asimismo atribuyen los rasgos estructurales descriptos al desarrollo de hemigrábenes en el contexto extensional mesozoico de la Patagonia Oriental sumado a una reactivación tectónica terciaria.

Como los hemigrabenes tienen desarrollos y asociaciones litológicas diferentes sobre sus bordes, desarrollan una polaridad facial que es de difícil identificación en superficie. Sin embargo como existen datos sísmicos en la región de Gastre - Gan Gan (Figari 2005) es posible postular que los bordes activos se ubicarían al NE y los pasivos al SE. Esta característica que es aplicable al depocentro donde se ubica el depósito Navidad y está confirmada por datos de la empresa petrolera Wintershall que realizó la exploración geofísica de la cuenca de Gan Gan.

Un rasgo estructural importante es el señalado por Giacosa (2009) quien destaca el paralelismo de la superficie de no concordancia entre las volcánicas de la FG sobre los granitoides de la FL, con la orientación de la cuenca en el sector y con las franjas mineralizadas Navidad, Esperanza y Argenta. Esta coincidencia se interpreta como la expresión superficial de las estructuras que controlan el desarrollo del hemigraben y la orientación/morfología del depocentro.

De acuerdo a Figari y Courtade (1993) y Figari (2005) las características estructurales de los diversos depocentros de la FCA responden al desarrollo de un sistema de *rift* durante el Mesozoico inferior. En cambio Silva Nieto *et al.* (2002) proponen para el depocentro de FCA en Cerro Cóndor (ubicado 100 km al S-SO) un modelo de desarrollo de cuenca de tipo *pull apart* basados esencialmente en la deformación del relleno que interpretan como sincrónica y en las características del registro sedimentario.

En este trabajo y en acuerdo con las observaciones de Giacosa (2009) se considera al modelo de *rift* como el que mejor se ajusta a las características y a la evolución del hemigraben de Gan Gan, en donde la deformación es pos-sedimentaria.

Para Giacosa (2009) las estructuras de mejor expresión cartográfica son los pliegues desarrollados sobre el relleno del depocentro que se distribuyen formando un arco convexo en su parte N con rumbos E-NE cambiando luego al O-NO en el sector del depósito Navidad. Son pliegues levemente asimétricos con flancos occidentales que inclinan 60° a 50° y orientales de 35° a 25° con longitudes de onda de 700 m a 1000 m, asimismo reconoce pliegues menores disarmónicos en cercanía de los cuerpos ígneos. En cuanto a las fallas identifica dos estructuras mayores normales, de rumbo NO y bloque bajo al NE, además de numerosas fallas inversas menores en el borde NE de la zona mineralizada.

Una de estas estructuras fue denominada falla Sauzal por Williams (2008) y tiene una pequeña inclinación hacia el SO de acuerdo a los afloramientos y a la información de los sondeos. Dicha falla cons-

tituye el límite inferior de las mineralizaciones que se interrumpen y a su vez pone en contacto tectónico al basamento volcánico con el relleno sedimentario y volcánico de FCA.

El análisis de la dinámica de las estructuras transversales (dextrales N 20° y sinistralas N60°) permite estimar una orientación N 40° - 220° para σ_1 , N 130° - 310° para σ_2 y el σ_3 vertical. Esta distribución de los esfuerzos es coherente con un máximo acortamiento normal a los ejes de los pliegues (Z) y un máximo estiramiento paralelo (Y) (figura 17). E implica que las estructuras se habrían producido en una sola fase

contraccional bajo similares condiciones de estrés. A nivel del distrito mineralizado debe destacarse que las estructuras principales quedan señaladas por la distribución de los cuerpos intrusivos (diques, domos y filones capa) que se alinean en posición NO-SE y constituyen las fajas Navidad Esperanza y Argenta y definen de esta manera las fallas mayores que atraviesan la totalidad del relleno volcano-sedimentario de la cuenca y permiten el ingreso de magma básico y su emplazamiento a nivel de corteza superior (figura 18). Esta propuesta se sustenta en observaciones de superficie y en la descripción de los testigos de sondeos que indi-

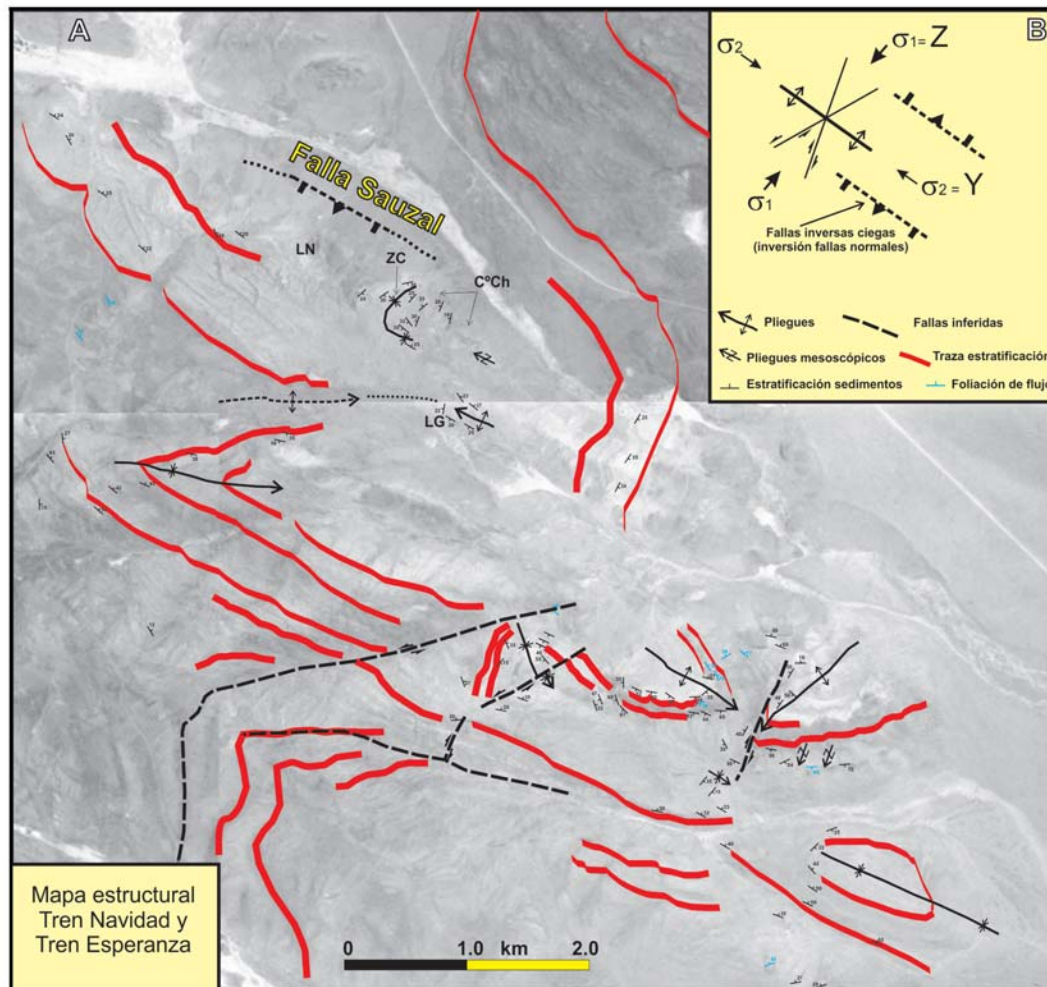


Figura 17. Mapa Estructural del depósito Navidad que muestra la distribución de pliegues y fallas en la parte sur del *trend* Navidad y del *trend* Esperanza.

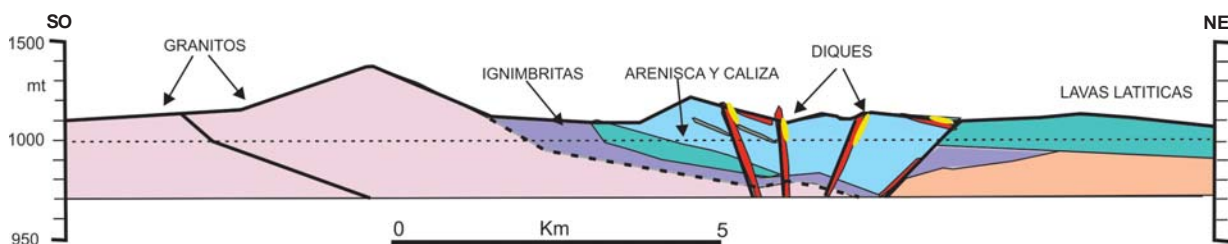


Figura 18. Corte estructural esquemático del depocentro Gan Gan en el sector del depósito Navidad que muestra la posición NE del borde activo, SO del borde pasivo, la distribución del relleno volcano-sedimentario y la relación de los diques y filones con la mineralización.

can variaciones en la inclinación de las secuencias sedimentarias a los costados de las estructuras descriptas.

El análisis conjunto de las fajas de intrusivos/mineralización implica la existencia de al menos dos episodios de deformación. El primero de ellos controla la posición de las fajas mineralizadas que corresponderían a fallas directas de alto ángulo y posible vergencia NE producidas durante el proceso extensional mesozoico que genera los hemigrábenes. El segundo episodio es contraccional e invierte las fallas directas, produce plegamientos disarmónicos y controla el emplazamiento de los intrusivos y la ubicación de la mineralización asociada. El episodio contraccional está documentado por la existencia de pliegues en los sedimentos volcanogénicos (FCA unidad 3a) afectados por metamorfismo de contacto, al costado de los intrusivos en el extremo NO de Loma Galena. También provoca la exhumación de la cuenca y controla la sedimentación del miembro superior de la FCA y del Grupo Chubut desplazándolas espacialmente.

6. MINERALIZACIÓN Y METALOGENIA

El depósito Navidad reúne un nutrido grupo de singularidades metalogénicas que permiten definirlo en primera instancia como un tipo de yacimiento diferente a los que se conocen en la región. Entre esas ca-

racterísticas se incluyen las rocas que lo alojan, la yacencia y la mineralogía del depósito que son los rasgos que se describirán a continuación. En la comarca del borde occidental del macizo de Somún Cura, el depósito Navidad es el único yacimiento polimetálico alojado en la FCA, en tanto que el resto de los depósitos similares de la región (Mina Ángela, Alejandrito, Cañadón Bagual, Stella Maris y Santa Máxima) se alojan en rocas de la FLT. Si bien originalmente se lo consideró estratoligado (Lhotka *et al.* 2005), las investigaciones posteriores realizadas en el marco de la investigación metalogénica desarrollada por el SEGEMAR permiten establecer que se trata de una mineralización epigenética con fuerte control estructural asociada espacialmente con los cuerpos intrusivos basálticos asignados al miembro inferior de FCA.

En este trabajo se utilizan el término faja, tren o *trend* para describir una zona de diseño rectangular en planta y tabular en forma tridimensional, donde se ubican intrusivos mineralizaciones y alteraciones.

6.1. UBICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN

La mineralización de Navidad se aloja en el borde activo de un hemigráben jurásico, distribuida en tres fajas de rumbo NO-SE separadas por aproximadamente 1 km entre sí donde se agrupan numerosos depósitos individuales, pero de características metalogénicas semejantes. Dichas fajas se denominan Navidad, Esperanza y Argenta (figura 19) y cu-

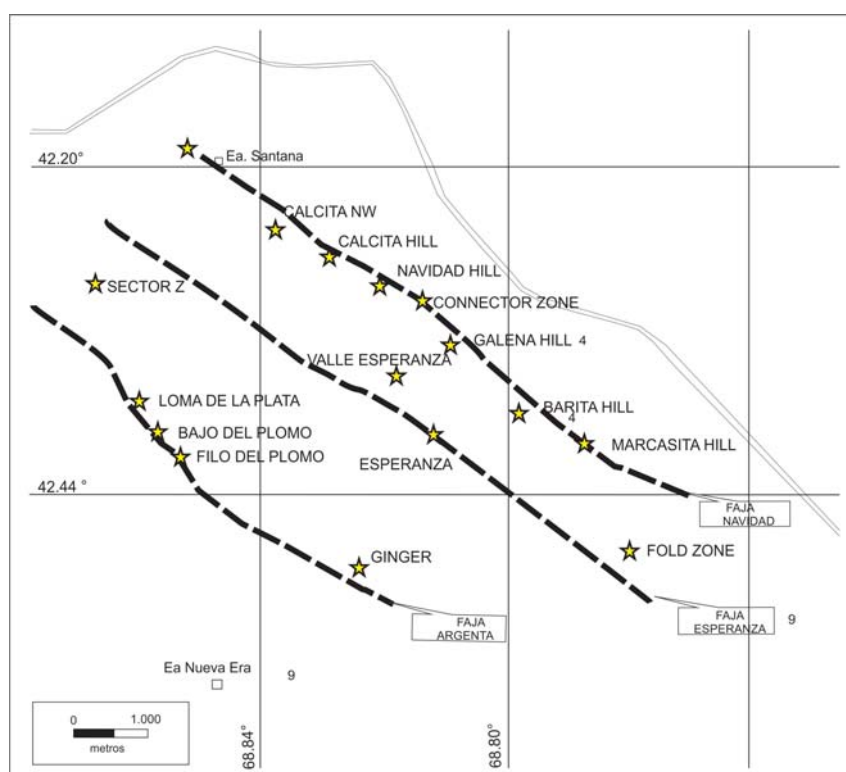


Figura 19. Mapa de distribución de los yacimientos que integran el depósito Navidad.

bren un área de 8.5 km de largo por 6 km de ancho máximo. La faja Navidad reúne los depósitos Santana, Calcita NO, Calcita Hill, Navidad Hill, Connector Zone, Galena Hill, Barita Hill y Marcasita Hill. En la faja Esperanza se localizan Valle Esperanza y Esperanza y *Fold Zone*, mientras que en la faja Argenta se localizan Loma de la Plata, Bajo del Plomo, Filo de Plomo y Ginger (figura 19).

6.2. METALOTECTOS

El análisis del distrito donde se encuentra Navidad permite determinar la existencia de varios controles metalogénicos o metalotectos que actúan sobre la mineralización. Estos factores están interconectados y actúan en forma sincrónica a levemente diacrónica durante el desarrollo del proceso metalogénico. Los metalotectos concurrentes para generar las mineralizaciones de Navidad se describen en orden de importancia: 1) metalotecto estructural, 2) metalotecto litológico (intrusivos) y 3) metalotecto textural. Existiría otro metalotecto que está constituido por los sedimentos volcanogénicos y calizas que se ubican por encima de los intrusivos y que obturan los sistemas hidrotermales posibilitando y controlando el brechamiento de las rocas más duras y frágiles (basalto contaminado). Estas rocas, que integran la unidad 3a de la FCA de la figura 3, con frecuencia poseen escasa a muy escasa mineralización dispuesta como venillas delgadas, en proximidades de materia orgánica, y constituidas por minerales de ganga con escasos sulfuros. Este comportamiento de la mineralización se atribuye a las propiedades reológicas de las rocas que se deforman o fracturan sin posibilitar la existencia de espacio abierto (figura 20).

El control estructural lo constituyen las tres fallas principales del área que tienen una orientación NO-SE. Son fallas directas de vergencia hacia el NE e inclinaciones variables al SO o subverticales que se habrían generado durante el episodio extensional jurásico que produjo los depocentros. La cuenca rellena con depósitos volcánicos y sedimentarios jurásicos (FG y FCA) fue afectada por un proceso contraccional que produjo su inversión tectónica y la reactivación de las fallas del basamento que atravesaron el relleno alcanzando la superficie donde aparecen como pliegues menores de gran longitud de onda o como fallas.

El funcionamiento de este control está expresado en la concentración de los depósitos minerales que siguen la traza de las estructuras. Mayores detalles sobre las características de este metalotecto pueden encontrarse en el capítulo 5, Estructura.

El metalotecto litológico está representado por la estrecha relación espacial entre los intrusivos discordantes y concordantes (diques, domos y filones capa) de composición basáltica contaminada que se emplazan en las fallas descritas previamente (metalotecto estructural). Esto evidencia la vinculación entre las estructuras principales reactivadas y el emplazamiento de los cuerpos ígneos. Las particularidades que permiten identificar y caracterizar a las rocas que constituyen este metalotecto se describen a continuación en el capítulo Metalotecto Litológico.

Al otro control importante se lo denomina textural y explica el relleno de brechas que es el estilo más frecuente de emplazamiento de la mineralización. En el distrito Navidad es notable la presencia de brechas de diversas tipologías. Las más abundantes son brechas hidrotermales que se encuentran en la parte



Figura 20. Mineralización de calcita/baritina en delgadas venillas que atraviesan en forma discordante los niveles de sedimentos volcanogénicos, arenosos y pelíticos con carbón. Se destaca la ausencia del brechamiento.

superior de los intrusivos concordantes, en el borde superior de los domos o en la parte alta de los diques. Se caracterizan por poseer clastos de rocas intrusivas de morfología y tamaño variable cementados por minerales de mena y ganga.

Los otros tipos de brechas son menos abundantes, incluyen fragmentos de rocas volcanosedimentarias (figura 21), muestran diferentes proporciones entre matriz/clastos, y variaciones en la intensidad de la mineralización y alteración asociada. Su distribución es muy irregular, pero siempre guardan una relación de proximidad con los cuerpos intrusivos principales.

En sentido general se puede considerar que existe un control mayor para la ocurrencia de mineralización de tipo Navidad, que estaría constituido por la reunión localizada de los elementos previamente descritos (metalotecto integrador). Quedan definidos en la evolución del proceso de formación del noroeste de la cuenca de Gan Gan y su aparente inexistencia en el resto de la cuenca. Como el proceso extensional jurásico que genera las cuencas de la FCA es generalizado y afecta al resto de la región centro norte de la provincia del Chubut, existen otras cuencas de similares características con potencialidad para este tipo de mineralizaciones polimetálicas.

Uno de los aspectos trascendentes de Navidad es la procedencia de los fluidos y de los metales que constituyen el depósito. Sobre este tema existen varias hipótesis que se analizarán en el capítulo específico, aunque el grado de incertidumbre es aún elevado ya que son escasas a inexistentes las mineralizaciones hidrotermales de metales base ricas en Ag originadas por basaltos tanto en Argentina como a nivel mundial.

6.2.1. METALOTECTO LITOLÓGICO

Tal como se describió brevemente en el acápite anterior las rocas intrusivas básicas que integran la FCA constituyen un metalotecto litológico, ya que su presencia o proximidad es condición excluyente para el desarrollo de la mineralización.

Una de las dificultades del tratamiento de estas rocas es su clasificación, en forma local se las menciona como latitas o traquiandesitas que es la denominación utilizada por Williams 2010, (de acuerdo a las determinaciones de Hodder *comunicación verbal* 2003). Es coincidente con la nomenclatura propuesta por la IUGS por su posición en el diagrama modal QAPF (Le Maitre, 1989) y en el diagrama TAS. Ello está fundamentado en análisis geoquímicos sobre roca total. Mientras que los estudios microscópicos de las rocas porfíricas demuestran que los cristales mayores son xenocristales. En consecuencia en este trabajo se las clasifica como basaltos contaminados, denominación que responde a las características químicas y mineralógicas mayoritarias y destaca al intenso proceso de contaminación cortical que representan los xenocristales y la mezcla de magma.

En el conjunto de intrusivos se puede diferenciar la participación de cuerpos discordantes y concordantes dispuestos como diques y domos/filones capa respectivamente. Estos cuerpos que integran el Grupo D de la FCA están graficados en la figura 3 como unidad 6. Allí se destaca su clara orientación NO-SE que demuestra el fuerte control ejercido por las fallas directas que condicionan el desarrollo de los hemigrábenes mesozoicos. Así mismo se observa la coincidencia espacial entre las mineralizaciones y los intrusivos. Uno de los diques mejor expuesto ocupa



Figura 21. Detalle de brecha con dominio de clastos basálticos que incorpora un fragmento sedimentario y el conjunto es rellenado por calcita y baritina. El testigo es del depósito Galena Hill a 60 m de profundidad de la boca del pozo.

la parte central de la faja Esperanza ($42^{\circ} 26'18''$ S y $68^{\circ} 48' 06''$ O), a escasa distancia hacia el sur del depósito Valle Esperanza y aledaño al depósito Esperanza (figura 22).

El cuerpo tiene rumbo $N40^{\circ}O$ e inclina 60° al N con una corrida discontinua de aproximadamente 3 km y un ancho variable con un máximo de 30 metros. Corta discordantemente a la secuencia de areniscas gruesas y medias (unidad 3 FCA), que se disponen con rumbo promedio $N55^{\circ}O$ e inclinación entre 5° y 15° al N. Sobre la pared SO hay evidencias de débiles procesos de silicificación, argilitización y carbonatización. En la faja Argenta la presencia de los diques es menos evidente y se manifiestan como cuerpos discretos ordenados linealmente, de los cuales los más notables se exponen cerca del depósito Ginger y en el entorno del sector del Filo del Plomo.

Un buen ejemplo del comportamiento dómico de los intrusivos está representado por el cuerpo que aflora en el depósito Navidad *Hill*, que se ubica en la zona central de la faja Navidad. En una sección transversal esquemática NE-SO (figura 23) puede observarse la base del intrusivo que tiene 200 m de espe-

sor en contacto tectónico con las ignimbritas riolíticas y sedimentos volcanogénicos rojizos de la FG; el intrusivo es de textura homogénea con ~ 10 % de fenocristales en un apasta afanítica con fuerte foliación de flujo y localiza vetas de textura brechosa en la zona del techo que desaparecen en profundidad; y la roca encajonante (pelitas y tobas finas estratificadas) esta deformada de manera envolvente por el intrusivo que le provoca simultáneamente débil metamorfismo térmico (figura 24). Este cuerpo por sus relaciones de contacto podría corresponder a un criptodomo o ser el sector engrosado de un filón capa.

El comportamiento concordante de los intrusivos basálticos contaminados tiene su mejor expresión en el filón capa que aflora inmediatamente al sur de la estancia Santana, sobre la ruta que conduce al depósito Loma de la Plata. Se trata de un filón que tiene espesores entre 10 m y 20 m, con engrosamientos locales, que guarda relaciones generales de concordancia aunque en forma puntual corta con ángulo bajo a la estratificación de la sedimentitas clásticas y volcanogénicas del Grupo B de la FCA. Espacialmente se dispone sobre la traza de la falla que con-



Figura 22. Vista general al SE del dique basáltico de la faja Esperanza, que aparece como un resalto elongado sobre el borde derecho de la fotografía. En el plano final se observa un filón capa vinculado al dique.

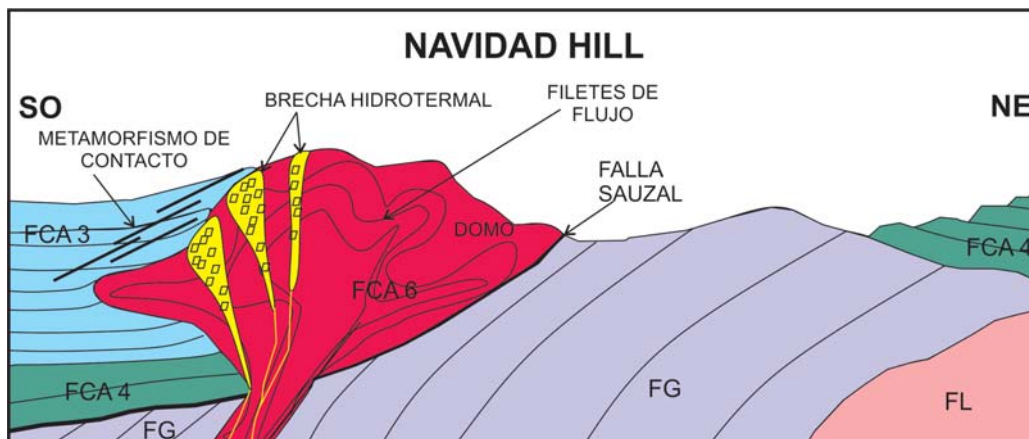


Figura 23. Modelo metalogénico esquemático de Navidad *Hill*.

trola la faja Esperanza, se extiende casi hasta la faja Navidad y cubre una superficie aproximada de 2 km² (2000 m en sentido NO-SE por 1000 m en dirección normal). El cuerpo muestra foliación de flujo, por sectores también plegamiento de flujo y localiza pequeñas manifestaciones de baritina ± calcita dispuestas como cristales euhedrales centimétricos relleno de brechas o en venillas. El brechamiento del intrusivo es débil y se concentra en pequeñas áreas. Es posible que existan cuerpos similares en profundidad, que cortados durante la exploración por sondeos fueron clasificados como lavas. Si bien no afloran en superficie, tendrían una vinculación espacial y genética con las fallas y diques principales (figura 25).

Los intrusivos presentan una textura similar a la descripta para las lavas del Grupo B de la FCA.

Poseen foliación y plegamiento de flujo y provocan un débil efecto térmico sobre las tobas y pelitas que intruyen. Bajo el microscopio los fenocristales, en su mayoría corresponden a xenocristales de cuarzo y de feldespatos que tienen morfología redondeada y muestran bordes de reacción. El cuarzo está fuertemente reabsorbido y rodeado por clinopiroxenos prismáticos en posición normal al contacto, en tanto que la plagioclasa sódica original exhibe una notable textura en tamiz y anillos simétricos al contorno compuestos por plagioclasa cálcica límpida. En menor proporción hay fenocristales más pequeños de plagioclasa cálcica y clinopiroxeno. La pasta muestra una textura intersertal a subofítica con microlitos de plagioclasa y clinopiroxeno bien orientados por el flujo magmático. Con frecuencia son portadores de



Figura 24. Vista al NO de Galena Hill, en donde el sector elevado a la derecha de la imagen es el domo basáltico contaminado y sobre la izquierda se observan los sedimentos volcánogénicos levemente deformados por el intrusivo.

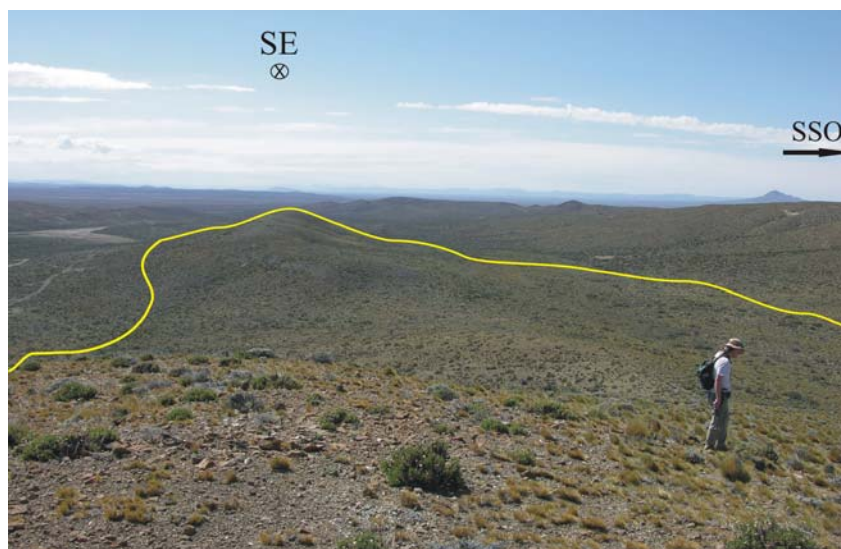


Figura 25. Vista general del filón capa ubicado en el extremo NO del *trend* Esperanza. El cuerpo constituye la zona más oscura de la fotografía que incluye la parte elevada central e izquierda, termina en proximidades de la huella y hacia la derecha se intruye en las areniscas de la FCA.

fragmentos de roca de tonalidad algo más oscura que se han denominado xenolitos. En realidad poseen una mineralogía similar a la roca que lo contiene y solo cambia el tamaño de los cristales lo que le otorga una coloración más oscura. Se los interpreta como comagmáticos y representarían un estadio temprano de cristalización, posiblemente constituyendo *crystals mush* en el borde de una cámara magmática somera.

Como parte de la investigación metalogénica se extrajeron muestras de los cuerpos intrusivos de la FCA (Nav 106, Nav 108 y Nav 481) y de una ignimbrita de la FG (Nav 107) para analizar su comportamiento geoquímico. Los resultados analíticos se presentan en la Tabla 2. En la figura 26 se muestra la clasificación de las rocas utilizando los diagramas de Le Maitre *et al.* (1989) y de Winchester y Floyd (1977); asimismo se indica el ambiente tectónico de formación de acuerdo con el diagrama de Pearce *et al.* (1984). En conjunto las muestras de los intrusivos se alinean en el campo calcoalcalino del diagrama TAS, lo que indicaría distintas proporciones de contaminación de un magma original que podría estar representado por la muestra Nav 108. En tanto que las restantes, por su posición en el diagrama, sugieren contaminación o mezcla magmática (?) que estaría indicada por la presencia de los xenocristales. Las rocas resultantes tienen composición inhomogénea entre basalto y dacita. En el diagrama de Winchester y Floyd (1977) la distribución de las mues-

tras marca una composición similar. En el diagrama discriminante de ambiente tectónico, las muestras de los intrusivos y de la ignimbrita están distribuidas sobre o próximas a la línea que separa los campos de intraplaca y retroarco.

Los análisis de roca total realizados por Hodder (2003, *comunicación verbal* en Williams, 2010) plotean principalmente en el campo de los basaltos traquiandesíticos a traquidacíticos en coincidencia parcial con los resultados obtenidos.

Sample	Nav-106	Nav-107	Nav-108	Nav-481
SiO ₂	58,40	73,90	52,80	64,25
TiO ₂	0,10	0,21	1,14	0,44
Al ₂ O ₃	16,50	13,10	16,58	15,37
Fe ₂ O ₃	6,35	1,53	4,29	3,85
MnO	0,35	0,03	0,68	0,08
MgO	3,16	0,24	0,35	2,49
CaO	6,10	0,32	10,73	4,48
Na ₂ O	3,53	2,17	3,90	4,25
K ₂ O	2,43	7,05	3,02	1,27
P ₂ O ₅	0,34	0,03	0,40	0,10
LOI	1,62	1,12	5,92	3,13
Total	98,88	99,70	99,81	99,71
Cr	83	49	82	91
Co	<20	<20	<20	<20
Ni	<20	<20	<20	<20
Cu	24	<20	33	<20
Zn	160	47	385	61
Rb	58	252	123	150
Sr	729	35	923	832
Y	15	35	22	20
Zr	187	176	188	183
Nb	<30	<30	<30	<30
Ba	<200	479	259	854
Pb	<80	<80	160	<80

Tabla 2: Datos geoquímicos de elementos mayoritarios y trazas de los intrusivos de la FCA (Nav 106, Nav 108 y Nav 481) y de una ignimbrita de la FG (Nav 107).

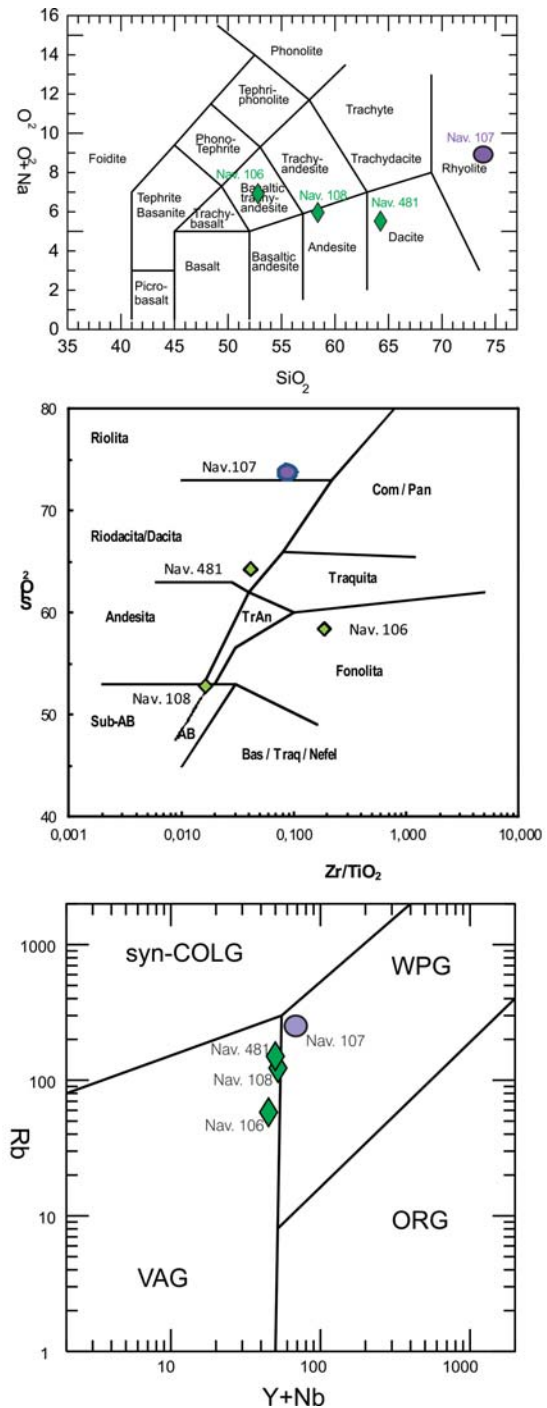


Figura 26. Clasificación química de las rocas analizadas. a. diagrama TAS (Le Maitre *et al.* 1989), b. diagrama de Winchester y Floyd (1977) c. diagrama de Pearce *et al.* (1984).

6.2.2. METALOTECTO TEXTURAL

La secuencia de rocas sedimentarias y volcanogénicas que constituyen el relleno del hemigraben en el sector Navidad presentan con frecuencia texturas brechosas de distintas características y con diferente relación con la mineralización. Este rasgo ha dado lugar a la asignación de las brechas a diferentes tipologías y a interpretar diferentes orígenes y roles en el proceso metalogénico.

Para clarificar esta situación se realizará la descripción detallada de las brechas de acuerdo a lo observado en el terreno y en testigos de sondeos. Posteriormente se enumerarán las clasificaciones realizadas por los diferentes autores y por último se postulará la clasificación e hipótesis genética que se sostiene en este trabajo.

a) Sobre la faja Navidad en el área comprendida entre los depósitos Baritina Hill hasta Navidad Hill afloran brechas en forma discontinua, que preferentemente se desarrollan sobre los intrusivos basálticos. Los sectores con brechamiento de mayor intensidad constituyen los depósitos minerales mencionados que se grafican en la figura 3. Las brechas son monomícticas y los clastos dominantes son de basaltos contaminados pertenecientes a los cuerpos intrusivos. Los fragmentos son de bordes irregulares y se ponen en contacto con un diseño de tipo *jigsaw*. La matriz está constituida por la mineralización polimetálica acompañada por la ganga y por fragmentos menores de roca (figuras 27 y 28). Esta textura evidencia la carencia de transporte de los clastos mayores que permanecerían *in situ*



Figura 27: Vista detallada de brecha que muestra contactos *jigsaw* entre los clastos amarillentos por alteración metasomática de basaltos contaminados intrusivos. Están englobados por una matriz de igual composición acompañada por minerales metalíferos (color negro). Los tamaños máximos son del orden de 30 cm y una gran irregularidad en la distribución de los fragmentos.

(están interdigitados), mientras que la morfología de los fragmentos menores que componen el relleno de la brecha indicarían movilidad. Este tipo de brecha sería el más abundante y representativo, pero reconoce fuertes variaciones de la morfología y del tamaño de los clastos basálticos, al igual que en la proporción, composición e intensidad del relleno mineralizante y de la alteración asociada. Un subtipo particular monolitológico con escasa movilidad de los fragmentos, sin matriz y generalmente relleno por minerales hidrotermales son las *crackle breccia* (figura 29). En Navidad Hill estas brechas adoptan la morfología de cuerpos tabulares tipo veta de orientación NO-SE que se destacan en el relieve por su dureza y su carácter brechoso (figura 30). Las muestras en superficie de estas vetas arrojan valores superiores a 5000 ppm de Ag.

b) En diversos sectores del techo del filón capa que aflora entre la faja Navidad y la faja Esperanza hay desarrollos brechosos incipientes que permiten el relleno de cavidades y planos de diaclasa o fallas menores con calcita y baritina. General-



Figura 28: Brecha angular *jigsaw* de basalto con relleno de calcita y baritina. Nótese la irregularidad de los fragmentos y la dispersión de sus tamaños y el borde de alteración hidrotermal.

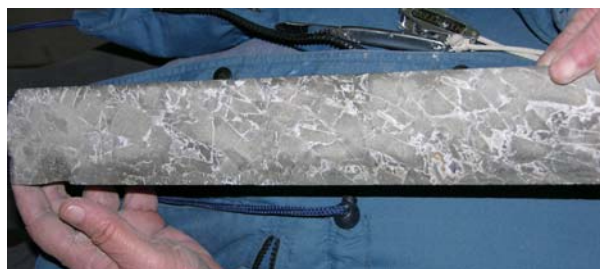


Figura 29. *Crackle* brecha de basalto contaminado en testigo de sondeo NV04-84 en Galena Hill a 67 m de profundidad desde boca de pozo. El relleno es calcita y baritina con escasos sulfuros.



Figura 30: Veta de textura brechosa con clastos de basalto contaminado y relleno de sulfuros de Ag, Pb, Zn y Cu, en el faldeo sur oeste de Navidad Hill. En el segundo plano se observan las plataformas de sondeo en Galena Hill.



Figura 31. Brecha angular con textura *jigsaw* rellena por minerales de ganga y atravesada por una venilla de aprox. 10 cm de potencia de similar composición. No se observan sulfuros y la mayoría de los clastos son de basaltos contaminados.

mente carecen de mineralización metalífera asociada. Este proceso de relleno a modo de brechas menores o venillas irregulares se intensifica en el extremo norte de la faja Navidad dando origen a la manifestación mineral Santana que fue explotada rudimentariamente en la década de 1950. Se trata de un conjunto de vetas subparalelas emplazadas en las rocas volcanosedimentarias de la FCA (unidad 5, figura 3), que aparecen al costado de un enjambre de diques basálticos con potencias métricas y una mineralogía compuesta por baritina y calcita.

- c) Otra variedad de brechas no aflorantes aunque de aparición frecuente en los sondeos, posee una textura compuesta por clastos angulosos de flujos basálticos contaminados, con proporciones variables de vesículas, rodeados por una matriz volcanoclástica de granulometría fina (< 2mm). Esta brecha posee múltiples variedades texturales, que muestran cambios en el tamaño de los clastos y en su agrupamiento. Desde fragmentos centimétricos - decimétricos aislados hasta fragmentos agrupados con arreglos *jigsaw* en donde la matriz minoritaria rellena el espacio intraclasto a manera de venillas discontinuas y de poco espesor (figura 31). También se han localizado en los sondeos del depósito Valle Esperanza y depósito Esperanza en los sedimentos volcanoclásticos que cubren las secuencias de flujos lávicos basálticos y en los estratos sedimentarios intercalados. La relación de este tipo de brecha y de su matriz con la mineralización es poco frecuente y muy irregular, a diferencia de la asociación sistemática observada en las brechas del sur de la faja Navidad en donde la

matriz es la mineralización. En las brechas de la faja Esperanza la mineralización está como venillas de espesores variables que atraviesan tanto los clastos como la matriz y puntalmente rellenan cavidades de morfología irregular o está finamente distribuida entre los fragmentos volcanogénicos de la matriz.

- d) Por último hay otras brechas no aflorantes que han sido reconocidas en el subsuelo de los depósitos Calcita NO y Calcita Hill, que presentan en los sondeos un espesor del orden de 100 m con clastos que alcanzan los 3 m de diámetro cuya composición incluye ignimbritas riolíticas, andesitas, basaltos y tobas y su morfología es variable.

De acuerdo a Williams (2010 pág. 209) «la secuencia de rocas volcanosedimentarias incluyen flujos lávicos subaéreos y subacuos, rocas piroclásticas y rocas fragmentadas con matriz de harina de roca molida cuyas texturas composición y geometría son consistentes con brechas de diatrema». Asimismo considera la brecha descrita en el punto **a** como brecha hidrotermal, mientras que a las descritas en los puntos **c** y **d** las denomina crackle breccia y brecha de matriz de roca molida respectivamente. Al grupo de brechas del punto **c** con escasos clastos rodeados de matriz las considera hialoclastitas.

Durante el desarrollo del mapeo se ha podido comprobar que las brechas descritas en el punto **a** y punto **b** son las más abundantes, aparecen en casi todos los depósitos y alojan selectivamente a la mineralización. En consecuencia se considera que poseen rasgos que permiten describirlas como va-

riaciones de brechas hidrotermales con mayor o menor participación de fragmentos, harina de roca, minerales metalíferos y ganga. La brecha descrita en el punto **c**, que normalmente tiene abundante matriz sedimentaria volcanogénica y escasos clastos volcánicos se la considera una brecha sedimentaria. Se habría formado durante el proceso de relleno de la cuenca, pero carece de evidencias de contacto de magma con sedimento húmedo o agua, por lo tanto no sería una hialoclastita. La brecha definida en el punto **d** que esta posicinada en el borde del depocentro y posee características de un conglomerado, correspondería a un depósito de borde activo de hemigraben, lo que es coincidente con la información geofísica del área.

6.3. MINERALOGÍA - TIPOLOGÍA

La mena hipogénica está compuesta por pirita argentífera, galena, calcopirita, plata nativa, esfalerita, argentita-acantita, estromeyerita, tenantita, anilita, bornita, freibergita, proustita-pirargirita y hematita especular, acompañadas por sus minerales secundarios y en ganga de baritina, calcita, con muy escasa sílice de acuerdo a Williams (2010). El autor también establece una secuencia paragenética en la cual los minerales mencionados se asocian en diferentes proporciones para los depósitos proximales o distales. Menciona textura coloforme y framboidal para la pirita con alto contenido en Pb y Ag que interpreta como indicativas de procesos de rápido enfriamiento de las soluciones hidrotermales. Cuando la mena de fina granulometría es dominante y producto de la asociación de varias especies minerales toma una coloración gris amarillenta que marca la abundancia



Figura 32. Aspecto macroscópico de mineralización con textura brechosa rellena por sulfuros/sulfosales masivos con su característico color gris oscuro y tonalidades amarillentas.

relativa de galena y pirita (figura 32). Con este color se la identifica en los afloramientos.

Las investigaciones, de EDX y EDAX, realizados por Bouhier *et al.* (2013 a, 2013 b) para un grupo de muestras extraídas de testigos de sondeos de Galena Hill confirman la presencia de piritosferas y esferulitas con tamaños máximos de 250 milimicrones compuestos por pirita, marcasita y galena reemplazada posteriormente por minerales de cobre y esfalerita. Le asigna a la textura framboidal un origen hidrotermal de menos de 220° C debido a la presencia de un sulfuro precursor (makina-wita-greigita) siguiendo las determinaciones de Wilkin and Barnes (1997). En tanto que las esferulitas (coloforme) estaría originada por un proceso de cristalización rápida a partir de fluidos saturados en múltiples centros de cristalización (Xu and Scott 2005).

Aunque hay antecedentes de numerosas determinaciones mineralógicas realizadas por las distintas empresas mineras que han explorado el yacimiento y caracterizado la mena para su beneficio, durante esta investigación se analizó calcográficamente un conjunto de muestras de afloramientos de la mena en los depósitos principales. También se estudiaron algunos fragmentos de mineralización, extraídos por sondeos, cedidos por las empresas para la investigación. Las muestras corresponden a los afloramientos de las brechas de Loma Galena, de Loma de la Plata, a las vetas de textura brechosa de Loma Navidad y a las venillas/concreciones que aparecen en los sedimentos de FCA en el entorno inmediato de los depósitos.

Según el análisis calcográfico realizado por Brodtkorb (2008) las especies minerales metalíferas reconocidas son galena, esfalerita y pirita como dominantes; el único mineral de plata identificado es acantita y su origen sería secundario. La galena con frecuencia muestra bordes reemplazados por anglesita y cerusita, no se determinaron calcográficamente minerales secundarios de zinc ni de cobre. La pirita aparece con morfología ovoidal tipo piritosfera y normalmente está reemplazada por limonitas (Tabla 3). Esta paragénesis analizada en forma conjunta con la mineralogía de superficie (azurita, malaquita, limonitas, etc.) indica que la mineralización superficial del depósito Navidad está oxidada, y se infiere la posible existencia de un nivel de enriquecimiento supergénico en profundidad.

Las observaciones de los asomos de mineralización y las determinaciones texturales en los cortes petrocalcográficos posibilitan establecer una secuencia multipulsante compleja, en el desarrollo del proceso hidrotermal. En una primera etapa y asociada al inicio

DETERMINACIONES CALCOGRAFICAS (Brodtkorb 2008)					
Num. de muestra.	Ubicación Coordenadas Geograficas.		Descripción Macroscópica.	Descripción Microscópica.	Observaciones.
Nav 36	42°25'5.95"S	68°48'41.29"O	Venilleo de calcita/sílice en roca porfírica.	Escasas chispas de 10 µm a 20 µm de pirita .	Venillas alojadas en basaltos de la FCA. Rumbo N 60° O.
Nav 34	42°25'8.87"S	68°48'35.57"O	Venas silíceas con cristales euhedrales de galena encajados en tobas silicificadas.	Granos idiomorfos de galena de aprox. 0.5 mm dentro de minerales de ganga. Abundantes ovoides de pirita/marcasita de 50 a 100 micrones.	Rocas volcánicas finas estratificadas en el depósito de Loma Navidad.
Nav 40 a 1	42°25'16.50"S	68°48'42.30"O	Venas silíceas (< 10 cm) con galena alojada en calizas estromatolíticas alteradas.	Cristales de galena con bordes alterados a anglesita y cerusita relictos entre 10 µm y 30 µm. Limonita (exovoides) proveniente de pirita marcasita . Cristales de acantita (secundaria ?)	Calizas estromatolíticas de la secuencia de la FCA entorno al depósito Loma Navidad.
Nav 40 a 2	42°25'16.50"S	68°48'42.30"O	Brecha hidrotermal con clastos de tobas y calizas cementada por sulfuros y baritina.	Cristales euhedrales de 100 µm de galena y esfalerita cementando clastos, con alteración parcial a anglesita y cerusita . Escasa acantita y cristales de pirita de 50 µm.	Idem anterior.
Nav 40 a 3	42°25'16.50"S	68°48'42.30"O	Brecha hidrotermal con clastos de tobas y calizas cementada por sulfuros y baritina.	Mineralogía similar a la anterior. Destacan piritíferas transformadas a limonitas.	Idem anterior.
Nav 47	42°24'52.45"S	68°49'18.08"O	Veta de cuarzo/ baritina con abundante limonita alojadas en latita.	Exovoides de marcasita totalmente limonitizado.	Veta en Loma Navidad. El muestreo geoquímico da > 5000 ppm de Ag y aprox. 5% de Pb
Nav 51	42°25'13.88"S	68°48'42.91"O	Brecha hidrotermal con clastos de latita piritizada.	Textura brechosa muy limonitizada con clastos afectados por diseminación de pirita de 20 µm a 40 µm.	Brecha hidrotermal en Loma Galena con clastos de composición basáltica.
Nav 110	42°25'21.76"S	68°51'43.35"O	Brecha hidrotermal con clastos de latita cementada por sulfuros y baritina/ calcita.	Textura brechosa cementada por galena y pirita .	Brecha hidrotermal de rumbo N 20°O. Sector Loma de la Plata.
Nav 06 - 272 - 13,7	42°25'14.74"S	68°48'43.98"O	Brecha hidrotermal sobre latita con relleno multiepisódico	Calcita con escasa galena y abundantes ovoides de marcasita .	Loma Galena. Muestra de testigo a 13,7 m de profundidad. Azimut N 25° Inclinación 60° .
Nav 06 -272 -25	42°25'14.52"S	68°48'43.86"O	Brecha con clastos claros < 3 cm cementada por material oscuro con sulfuros.	Numerosos ovoides de marcasita/pirita poca galena y esfalerita .	Idem anterior a 25 m de profundidad.
Nav 06 - 272 - 41	42°25'14.74"S	68°48'43.98"O	Brecha de la mena	Textura brechosa con relleno de sulfuros y carbonatos.	Idem anterior a 41 m de profundidad.
Nav 06 - 272 - 47	42°25'14.74"S	68°48'43.98"O	Brecha de latita con distintas granulometrías	Se observa un débil bandeamiento entre sulfuros y minerales transparentes. Abundantes ovoides de pirita/marcasita y poca galena y esfalerita .	Idem anterior a 47 m de profundidad.
Nav 06 -366 - 70	42°24'49.26"S	68°49'22.54"O	Brecha cementada por calcita. Muy pequeños cubos de pirita.	Textura Brechosa con al menos 3 episodios de relleno de calcita , con escasa pirita diseminada	Loma Navidad Muestra de sondeo a 70m de profundidad sobre secuencia de lavas basálticas.

Tabla 3. Observaciones calcográficas de la mineralización del Depósito Navidad.

de la circulación de fluidos hidrotermales se produciría la alteración argílica, carbonática de la roca encajante y la precipitación de calcita seguida de baritina acompañadas por la participación minoritaria de sulfuros. En la próxima etapa precipitaría la mineralización metalífera principal en donde participan sulfuros y sulfosales de Fe, Ag, Pb, Zn y Cu en condiciones variables pero siempre de baja temperatura, como lo muestran las texturas botroidales, la presencia de marcasita y de las piritíferas. Una etapa final muestra la participación de numerosos pulsos carbonáticos que finalizan con muy escasa sílice de tipo calcedonia. En los diferentes yacimientos del depósito Navidad aparecen paragénesis con participación variable de los minerales descritos participando en los distintos pulsos. Las variaciones se interpretan como estadios intermedios del desarrollo de la mineralización o el predominio de condiciones locales durante la formación del depósito mineral.

Debe destacarse que la mineralización principal constituye el relleno de brechas con clastos de intrusivos basálticos con morfologías variables, distribuidas en forma inhomogéneas a lo largo de las franjas (*trend*), que son asignadas a procesos de fragmentación hidrotermal. Se ubican sistemáticamente al costado o en la parte superior de los cuerpos intrusivos. Las características descriptas permiten

clasificar al depósito como epitermal de sulfuración intermedia (Sillitoe 1993) o como *base metal carbonatic rich epithermal* (Corbett and Leach 1998). Además la existencia de mineralizaciones brechadas y rellenadas por nuevos pulsos hidrotermales permite postular un estilo multiepisódico para el sistema hidrotermal generador.

Aunque no constituye un mineral de la ganga, mena o alteración hidrotermal es importante destacar la presencia de pirobitumen (figura 33) asociado a los minerales que rellenan las brechas hidrotermales, lo que



Figura 33 . Brecha hidrotermal con clastos de basaltos contaminados rellena por calcita, baritina, sulfuros y sulfosales. Destaca la presencia de pirobitumen (mineral negro a la izquierda de la moneda).

sugiere la existencia de materia orgánica (hidrocarburos) en el sistema hidrotermal. Esta presencia puede interpretarse como indicativa de la participación de fluidos supergénicos provenientes de la cuenca de Cañadón Asfalto. Otra característica que debe mencionarse es la textura crustificada que presentan algunas venillas, con los bordes compuestos por alternancias de bandas de calcita y/o baritina y una zona central rellena por sílice opaliforme (figura 34).

6.4. ALTERACIÓN

La ausencia de alteración hidrotermal intensa o penetrativa cubriendo áreas extensas es otro de los rasgos que caracterizan al depósito. La misma se distribuye como delgadas franjas decoloradas de alteración argílica intermedia (esmectita, illita, caolinita, halloysita), silíceo (calcedonia) y carbonática. Habría menor proporción de alteración potásica en fase adularia según Williams (2010). Quien en base a otros estudios describe, que esta asociación de alteraciones ha sido interpretada como producida por fluidos hidrotermales de temperaturas bajas a intermedias (100°- 200°C) y bajo pH.

Con el objetivo de corroborar y tipificar los procesos de alteración metasomáticos asociados al sistema hidrotermal, se realizó un muestreo selectivo de las rocas involucradas o próximas a los depósitos minerales de la faja Navidad. Se seleccionaron cinco muestras que fueron analizadas utilizando un equipo de reflectancia de luz infrarroja marca PIMA II SP del SEGEMAR (Godeas 2007), que sólo posibilita la identificación puntual de los minerales que están en la superficie de la muestra. En la muestra 23 que corresponde a un basalto contaminado con foliación magmática de Loma Baritina levemente decolorado, se determinó la presencia de caolinita; mientras que

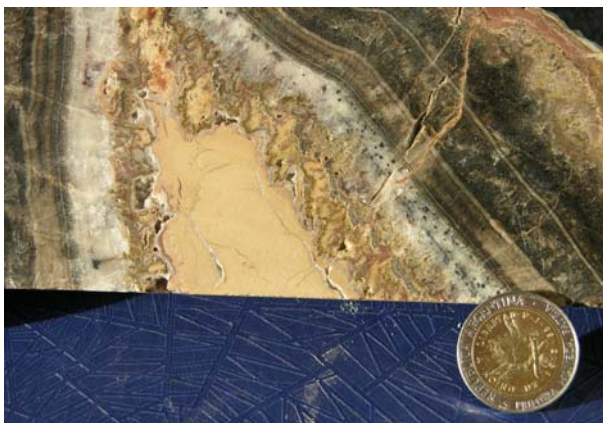


Figura 34. Vista de un fragmento de venilla (< 20 cm) que presenta crustificación simétrica notable con relleno central de sílice de grano fino.

una roca volcánica del mismo sector con vesículas y muy decolorada (blanquecina) se constató la presencia de montmorillonita. En una muestra de tobas interestratificadas de la parte alta de la FCA que constituye la roca de caja del intrusivo expuesto en Loma Galena se identificó illita (40%), caolinita (40%) y jarosita (20%); las proporciones señaladas se refieren a los minerales de alteración exclusivamente. Una muestra de pelitas muy alteradas que integran la misma secuencia de FCA en Loma Galena arrojó 50 % de illita y 50% de esmectita. En un clasto de basalto decolorado de la brecha del depósito Loma Galena se estableció la presencia de una mezcla de caolinita 60% e illita 40%. Las determinaciones difractométricas y microscópicas en Loma Navidad de Bouhier *et al.* (2013 b) establecieron la presencia de calcita, calcedonia, caolinita, illita, illita-esmectita, clorita y yugawaralita que reemplazan selectivamente a los fenocristales de feldespatos a la matriz de las brechas y a la pasta de las volcanitas. Asimismo determinaron la distribución de las alteraciones a manera de halos rodeando a la mineralización y postularon que se habrían formado a partir de fluidos de pH neutro a ácido y en su mayor parte a temperaturas inferiores a 230°C, excepto clorita e illita que se forman a 300°C (Corbett y Leach 1998; Hedenquist *et al.* 2000). Los autores postulan que la textura esferulítica en piritita y marcasita en las venas asociada a la calcita laminar son indicativas de ebullición o desequilibrio y que la textura coliforme se produce por cristalización rápida en la interfase fluido hidrotermal-agua meteórica durante el proceso de ebullición.

Las secciones delgadas de varios niveles de calizas estromatolíticas en el entorno inmediato de los yacimientos muestran fuerte alteración silíceo y reemplazo metasomático con desarrollo de cristales poiquilíticos de baritina y/o celestina que también se localiza en venillas delgadas.

Estas determinaciones son coherentes con las realizadas por los diversos autores que trabajaron en el área previamente, lo que permite confirmar las paragénesis metasomáticas y la tipología de los procesos de alteración presentes. Un proceso de reemplazo asociado al sistema hidrotermal se ha identificado en los niveles estromatolíticos expuestos en el flanco SO de Loma Navidad. Se manifiesta por la transformación inhomogénea y de distribución irregular aunque controlada por la estratificación, del banco originalmente carbonático por arcillas o sílice microcristalina de tipo calcedonia asociado con el desarrollo de cristales euhedrales o subhedrales \pm poiquilíticos de celestina. Esta asociación también puede incluir baritina.

Si bien no se han investigado las paragénesis expuestas en el resto de los depósitos de Navidad la similitud macroscópica de las áreas de decoloración o coloración variable asociadas a las mineralizaciones permite asumir la existencia de un proceso metasomático similar.

6.5. FUENTE DE LOS ELEMENTOS METÁLICOS Y NO METÁLICOS

Se entiende que una manera apropiada para investigar el origen de los minerales metalíferos y no metalíferos que forman el depósito Navidad es analizarlo en un contexto geológico y metalogénico regional. El depósito se encuentra ubicado en la provincia morfoestructural del macizo de Somún Curá (Ramos 1999), al sur del distrito Los Manantiales (Domínguez 1981, Márquez 1999). De acuerdo al mapa Metalogénico de la República Argentina (Zappettini *et al.* 1999) el área investigada integra la faja metalogénica POS-RJ que reúne a un grupo complejo de mineralizaciones polimetálicas auroargentíferas, fluoríticas y baritúnicas asociadas a la evolución del *rift* jurásico. Siguiendo a Cardo *et al.* (2004) Navidad junto al resto de mineralizaciones de la región integrarían la faja Los Manantiales que incluye a los depósitos Calcatreu, Mina Ángela, Santa Máxima, Cerro Risquero, Cañadón Bagual y Stela Maris. Dichas mineralizaciones se caracterizan por presentar depósitos polimetálicos con proporciones variables de gangas de calcita/ baritina y que de acuerdo a diversos autores tendrían un origen vinculado a sistemas hidrotermales asociados al volcanismo de la FLT.

Las asociaciones de minerales de mena y de ganga, definen un rango de parámetros de temperatura, presión y pH que permiten clasificar al depósito Navidad como epitermal. La escasa participación de sílice y el dominio de la paragénesis calcita/ baritina sumado a la abundancia de metales base y la ausencia de Au, indican condiciones particulares de formación y complementan la identidad como epitermales de sulfuración intermedia en el sentido de Sillitoe y Hedenquist (2003). Este análisis se complementa por exclusión, ya que este depósito carece de las asociaciones de mena y de alteración hidrotermal de los epitermales de alta sulfuración y por otra parte tiene un fuerte dominio de los metales base (Pb, Zn, Cu) y ausencia de Au. Las investigaciones mineralógicas realizadas por Bouhier *et al.* (2013 b) les permiten postular que los fluidos que formaron el depósito epitermal habrían tenido temperaturas inferiores a 300°C con texturas que indi-

can un proceso multiepisódico con eventos de ebullición y un pH neutro a ácido.

Las relaciones de yacencia de la mineralización muestran discordancia con respecto a la roca hospedante ya que se disponen como rellenos de brechas, como vetas delgadas (< 1m) definiendo su carácter epigenético y su edad relativa, que es posterior a la acumulación de las sedimentitas y volcanitas de la FCA y de su deformación plegante. Debe mencionarse que Williams (2010) describe la presencia de mineralización diseminada en los sedimentos del yacimiento Calcita NW y asocia a diatremas el origen de un importante volumen de las brechas.

El origen de los elementos químicos que integran la mineralización de Navidad continúa siendo un motivo de controversia, quizás debido a la escasa información e investigación enfocada en este aspecto. El rasgo más difícil de explicar es la asociación de una mineralización polimetálica rica en Ag con un magmatismo (lavas, filones capa y diques) de composición basáltica contaminada. No existen antecedentes bibliográficos de esta asociación a nivel internacional ni nacional. Sin embargo Sillitoe y Hedenquist (2003) que caracterizan a los depósitos de sulfuración intermedia con proporciones variables de Au y Ag, describen como metales básicos característicos con porcentajes que pueden superar el 10%, a esfalerita (pobres en Fe), galena, tetraedrita, tenantita y calcopirita. Asimismo indican que estos depósitos de Ag ricos en metales base tienen salinidades máximas entre 3,5% a 7% en peso de ClNa y que las relaciones entre los gases principales contenidos (N₂, H₂S y CO₂) indican una signatura magmática, que relacionan con arcos andesíticos calco-alcalinos.

Williams (2010) establece sobre estudios de muestras de los distintos depósitos del yacimiento la existencia de una mineralización compleja cuya paragénesis clasifica como: proximal, transicional o distal en relación a los conductos de alimentación del sistema hidrotermal, identificado por la presencia de brechas hidrotermales y alteración argílica intermedia hipogénica. Sin embargo, esta separación entre asociaciones paragenéticas y distancia al conducto hidrotermal no ha podido ser comprobada y las observaciones demuestran la presencia de manifestaciones minerales independientes en cada depósito, que habrían funcionado en forma sincrónica o con leve diacronismo. Además describe una zonación vertical para las vetas de Loma Navidad que comienzan con los asomos de superficie de mineralogía similar al resto de los depósitos, cuyas potencias decrecen en profundidad (~80 m) transformándose en venillas de sílice sin sulfuros, como un proceso que

se repite en otros depósitos y se intensifica a profundidades mayores. En cuanto a los fluidos mineralizantes plantea, sobre datos limitados, la posibilidad de que los cationes fuesen transportados en forma de complejos clorurados que por enfriamiento y dilución podrían cambiar a complejos sulfurados. Los minerales de Ag habrían precipitado por rápido enfriamiento de los complejos clorurados y por mezcla con aguas sulfato ácidas y bicarbonatadas. De acuerdo con Williams (2010) Galena Hill y Navidad Hill constituyen conductos del sistema hidrotermal controlados por una falla que atraviesa el basamento pero sin vinculación a una cámara magmática, donde Valle Esperanza ocupa una posición intermedia, mientras que Loma de la Plata es un depósito distal de un sistema hidrotermal único, cuya temperatura decrece desde 250°C a 125°C. Según el autor este concepto está reforzado por el diseño de la falla El Sauzal (*detachment fault*) que controlaría la migración de los fluidos desde el conducto a la parte distal. Estas afirmaciones no han podido ser corroboradas en los reconocimientos de terreno ni en el análisis de los testigos de sondeos pertenecientes a los distintos depósitos del yacimiento.

A partir del estudio de isótopos de Pb y de S sobre un reducido número de muestras de sulfuros y sulfatos extraídos de las mineralizaciones vetiformes de la Faja Metalogénica Los Manantiales, Sangster (2001) postula que la combinación de composiciones isotópicas de Pb para Mina Ángela representa a la corteza superior, con edades Pb mayores que la de la roca de caja lo que indica que el Pb fue extraído del basamento subyacente a las volcanitas de la FLT, posiblemente de edad paleozoica inferior. En tanto, los isótopos de S para el mismo depósito tienen composiciones de sulfuros derivados del manto o de la corteza profunda. Para el resto de los depósitos de la faja los resultados isotópicos son muy variables y en algunos casos indican fuentes de sulfatos marinos o fuentes mixtas.

Existe una fuerte similitud en la mineralogía de los yacimientos que integran la Faja Metalogénica Los Manantiales que se caracteriza por la participación de abundantes sulfuros (> 5%) con predominio de Pb/Zn/Cu y participaciones variables de Ag con Au escaso o ausente. La ganga se define por la asociación calcita/baritina como minerales dominantes y proporciones menores de sílice como cuarzo o calcedonia. Yacen como sistemas vetiformes alojados mayoritariamente en secuencias volcánicas mesosilíceas de la FLT. Esta similitud mineralógica puede interpretarse *a priori* como un parentesco genético que permitiría incluir a Navidad en el con-

texto de los otros depósitos que reconocen un origen vinculado a fluidos de origen magmático asociados a la actividad volcánica mesosilíceas jurásica. Aunque Navidad posee rasgos discretos como el emplazamiento de la mineralización en rocas volcánicas sedimentaria de la FCA, la proximidad espacial y la similitud mineralógica permitiría vincularlos genéticamente.

El funcionamiento de un sistema hidrotermal de la magnitud kilométrica en Navidad requiere la existencia de un aporte energético, de fluidos y elementos químicos que solo pueden explicarse con la existencia (?) de un cámara magmática somera a la cual se vincularían los flujos lávicos, los domos, los filones capa y los fluidos que producen dicha mineralización. La concentración de yacimientos siguiendo la faja Navidad no es accidental sino que se la interpreta como causal e indicativa del sitio de emplazamiento del conducto principal de alimentación del sistema hidrotermal. Esto guarda coherencia con la menor extensión e intensidad de la mineralización en los trenes Esperanza y Argenta que serían producidos por sistemas hidrotermales independientes del principal, aunque ligados al mismo magmatismo.

Las determinaciones geoquímicas de las rocas magmáticas han permitido determinar una fuerte inhomogeneidad de la cámara de donde provienen, al igual que una importante contaminación evidenciada por la participación de xenocristales de cuarzo y plagioclasas sódicas que provocan un elevado porcentaje de elementos como el Na y K que llevaron a clasificar a los basaltos contaminados como latitas. Una hipótesis de trabajo que es consistente con la mayoría de los rasgos singulares de esta mineralización sugiere la existencia de una cámara magmática somera sobresaturada en un período temprano de cristalización, ubicada debajo del borde NE del depocentro Gan Gan de la FCA. En esa etapa la cámara recibiría un aporte profundo de magma basáltico que se mezcla y dinamiza el sistema magmático, produciendo el volcanismo y la mineralización asociada.

6.6. EDAD DE LA MINERALIZACIÓN

El análisis de la edad de la mineralización del yacimiento Navidad se efectúa desde la óptica geológica que permite establecer su edad relativa a partir de las relaciones de contacto y de dataciones geocronológicas que permitieron obtener valores de edades absolutas de los procesos geológicos relacionados a su origen y evolución.

La existencia de pliegues medianos «fosilizados» por metamorfismo térmico en las tobas de FCA, la

ausencia de rocas del GCh en el entorno y su aparición sobre un borde E–O ubicado 50 km al S, permiten proponer, por estratigrafía, una edad máxima jurásica superior para el período mineralizante. Ya que primero se habrían acumulado en el depocentro los sedimentos y las volcanitas de la FCA, que posteriormente fueron plegados y fallados en las tres fajas que controlan el emplazamiento de los cuerpos intrusivos a los que se asocia la mineralización. Este razonamiento permite atribuirle a la mineralización una edad posterior a la depositación e inversión de la FCA y previa a la sedimentación del GCh. Se complementa con una datación $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de las ignimbritas de la FG que constituyen la base de la cuenca, una edad *plateau* de $182,8 \pm 0,8$ Ma que las ubica en el Toarciano, por lo que el resto de los procesos sería posterior.

Determinaciones U/Pb por el método CA-TIMS (Cúneo *et al.* 2013) realizadas sobre tobas intercaladas en los basaltos del Miembro inferior de la FCA en Cerro Cóndor han arrojado valores entre $178,76 \pm 0,092$ Ma y $176,15 \pm 0,12$ Ma; ello sumado a la edad de $157 \pm 0,4$ Ma para el Miembro superior de la FCA (Formación Cañadón Calcáreo) establece un rango comprendido entre el Liásico superior tardío y el Malm tardío para el desarrollo de los procesos mineralizantes.

6.7. LEYES Y RECURSOS

El trabajo realizado fue de orientación metalogénica y no se extrajeron muestras para determinar la ley mineral, ni se efectuaron cálculos sobre las dimensiones y volúmenes del depósito. Por este motivo para brindar un panorama sobre su potenciali-

dad económica se indican los datos de Williams (2010) basados en el estudio de prefactibilidad realizado por De Mark *et al.* (2010). Como información adicional para valorizar la magnitud del trabajo realizado, debe acotarse que la mayoría de los depósitos carece de expresión superficial o que la misma es muy parcial. En consecuencia toda la información ha sido obtenida por sondeos a diamantina con recuperación de testigos. Para la evaluación del yacimiento se han perforado aproximadamente 250.000 m que han permitido realizar la estimación de recursos medidos e indicados que figuran en la Tabla 4.

Los depósitos que componen el yacimiento tienen dimensiones y geometrías muy variables, desde morfologías tabulares (1800 m de largo por 500 m de ancho y entre 10 y 80 m de espesor Calcita NW) hasta otras en formas de escudo invertido (900m de largo, 250 a 500 m de ancho, 200 m de espesor en el centro y 10 m en los márgenes) según Williams (2010).

A modo de síntesis y considerando la totalidad de los depósitos, los recursos totales de la propiedad minera estimados con una ley de corte de 50 g/t de Ag equivalente, son los indicados en la Tabla 5, de acuerdo con Pan American Silver Corp. (<http://www.panamericansilver.com/operations/argentina/navidad/>).

El total involucra un contenido de 23.441,7 t de Ag y 1,35 Mt de Pb y permite calificarlo como un depósito de clase mundial (>2400 t/Ag) según Singer (1995), mientras que de acuerdo a la clasificación de Hammerberck (1998) sería de tamaño grande. Para una mayor información sobre la evaluación económica de los depósitos se remite al lector al trabajo de De Mark *et al.* (2010).

Deposit	Tons (Mt)	Ag (g/t)	Pb (kg/t)	Cu (kg/t)	Contained Ag (t)	Contained Pb (t)	Contained Cu (t)	Ag/Pb Ratios
Calcite NW	14,8	78	5.9	-	1154.4	87,32	-	13.2
Calcite Hill	17,5	100	5.5	-	1750	96,25	-	18.2
Navidad Hill	14	101	3.7	-	1414	51,8	-	27.3
Connector Zone	8,4	91	4.1	-	746.2	33,62	0	22.2
Galena Hill	51,7	124	18.9	-	6410.8	977,13	-	6.6
Barite Hill	7,7	153	2.8	-	1178.1	21,56	-	54.6
Loma de la Plata	29,1	169	0.9	5	4917.9	26,19	15	187.8
Valle Esperanza	12,2	172	2.1	-	2098.4	25,62	-	81.9
Total/averages	155,2	127	8.50	5.00	19,67	1,319.490	15	

Tabla 4. Recursos minerales de los diversos depósitos que integran el Proyecto Navidad (Williams, 2010).

Categoría	Toneladas (Mt)	Ag g/t	Pb %	Cu %
Medidas	15,4	137	1,44	0,1
Indicadas	139,8	126	0,79	0,04
Inferidas	45,9	81	0,57	0,02

Tabla 5. Recursos totales del Proyecto Navidad (Pan American Silver Corp.)

7. DISCUSIÓN

Si bien el depósito Navidad reúne numerosos rasgos singulares en esta discusión se abordarán específicamente dos de ellos, por su importancia y por el nivel de controversia existente. Uno es el vinculado a las brechas que controlan el emplazamiento de la mineralización y el otro se refiere a la existencia de cuerpos intrusivos que generan y controlan a los sistemas hidrotermales.

Tal como se planteó en el capítulo Metalotecto textural, las brechas alojan la mayor parte de la mineralización del depósito Navidad. Aunque existen varias propuestas en cuanto a su origen, se efectuará el análisis de las propuestas de Williams (2010) y de las planteadas en este trabajo, contrastándolas con modelos genéticos que poseen mayor grado de información y de certidumbre.

Debe mencionarse que tanto los clastos como el relleno de las brechas presentan variaciones en el tamaño, la forma y en el emplazamiento. Williams (2010) postula una predominancia del brechamiento volcánico tipo diatrema y ha determinado diversos tipos de brechas que se describen sintéticamente a continuación:

- Uno de los tipos de brecha caracteriza a los depósitos minerales alojados en la faja Navidad, desde Baritina Hill a Calcita Hill a las que asigna un origen freático. Describe numerosas variaciones desde una *crackle breccia* monolitológica a una brecha heterolítica con clastos rotados hacia el centro.
- Otro tipo con matriz de harina de roca (*rock – flour matrix breccia*) expuesto en el extremo norte de la faja Navidad entre Calcita Hill y Calcita NW que es heterolítico y tiene clastos de las ignimbritas inferiores, de los flujos andesíticos, de tobas y del flujo latítico inferior (basalto contaminado). La morfología de los clastos varía de subangular a redondeada y su tamaño alcanza los 3 m de diámetro. El manto brechoso (¿?) tiene un espesor máximo de 150 m.
- Un tipo de brecha distinto producido por emplazamiento subácueo de flujos magmáticos en Galena Hill que interpreta como posibles hialoclastitas.
- Y por último, un tipo de brecha tardía que involucra fragmentos portadores de mineralización y/o ganga hidrotermal.

Asimismo Bouhier *et al.* (2013a) plantean de manera preliminar la existencia de dos zonas principales de mineralización, una vinculada a las bre-

chas freáticas y la más importante en el contacto de las volcanitas con las sedimentitas superiores, donde postula la existencia de un frente redox que provoca la precipitación de minerales más intensa posiblemente asignable a un yacimiento de tipo sulfuro masivo.

En este trabajo y en base a las observaciones realizadas en los depósitos minerales expuestos de los tres trenes mineralizados, puede afirmarse que es notable la presencia de brechas hidrotermales características por ser predominantemente monolitológicas (basaltos contaminados) de morfología irregular y con escaso desplazamiento de su posición original y por ubicarse en las proximidades de los cuerpos intrusivos. De acuerdo a la clasificación de brechas relacionadas con mineralización desarrollada por Sillitoe (1985) corresponden a brechas hidromagmáticas en la sub-clase de brechas freáticas, a las que el autor les atribuye un origen vinculado al incremento de la presión hidrostática de los fluidos mineralizantes por debajo de una barrera impermeable. En la clasificación genética de Lawless and White (1990) corresponderían a brechas freáticas. La concurrencia de sistemas hidrotermales asociados espacialmente a los intrusivos (Galena Hill, Navidad Hill, etc.) y con una cubierta tobácea, calcárea y pelítica de baja permeabilidad o impermeable (FCA inferior) como se puede observar en los depósitos mencionados, sería la explicación genética para el desarrollo de las brechas mineralizadas. Con respecto a las brechas con matriz de harina de roca localizada en el borde NE del área mineralizada (Calcita Hill y Calcita NW) debe mencionarse que, de acuerdo a registros sísmicos, su ubicación coincide con la traza de la falla del borde activo del hemigraben de la FCA y su origen podría ser sintectónico. Esta afirmación está fundamentada además en el espesor, irregularidad de morfologías, tamaños, variación litológica y características de la matriz del depósito brechoso (¿?) que podría corresponder a un paraconglomerado o conglomerado de borde de cuenca. En ese caso la matriz dominante sería terrígena y la mineralización que pudiese alojar tendría carácter epigenético.

En cuanto a las brechas supuestamente hialoclasticas no expuestas en superficie, fueron investigadas en los testigos de sondeos de los yacimientos Esperanza y Loma de la Plata. En ellos pudo observarse que cortan secuencias de flujos lávicos intercalados con sedimentos y que engloban fragmentos de latitas de morfología irregular. Dichos clastos no poseen bordes congelados ni presentan procesos de reacción con el sedimento, en consecuencia esta

aparición de clastos se asigna a un proceso de caída accidental posterior al enfriamiento de la lava.

Las mineralizaciones tienen evidencias de varios pulsos de actividad, ello permitiría la incorporación de mineralización o ganga en forma de clastos. Esta textura estaría provocada por el brechamiento hidrotermal de rellenos previos que participan del desarrollo del mismo sistema mineralizante. En consecuencia se las considera una variación de las brechas hidrotermales.

Una referencia específica con respecto a la composición de los fragmentos de las brechas muestra que existe una coincidencia entre los investigadores sobre el dominio de los clastos de basaltos contaminados en relación al resto de las litologías, que serían sedimentarias o volcanogénicas y aparecen en forma escasa o están ausentes.

A modo de comparación y por la similitud textural se enumeran algunos rasgos de las brechas de Kelian Gold Mine en Kalimantan (Indonesia) realizado por Davis *et al.* (2008). En ese yacimiento un paquete espeso de areniscas volcánicas, limonitas, conglomerados y brechas de ambiente subácueo y edad cretácica superior, ha sido intruído por diques/stocks andesíticos y dioríticos miocenos y por dos tipos de cuerpos riolíticos. Alrededor de los intrusivos por el contacto con agua meteórica se produjeron complejos sistemas de brechas hidráulicas y de brechas tipo *maar*/diatrema que son los que controlan el emplazamiento de la mineralización epitermal aurífera de alta sulfuración. La mayoría de los clastos de las brechas diatrémicas y de las tipo *maar* son de las sedimentitas que constituyen el relleno de la cuenca, este rasgo contrasta notablemente con la composición de los clastos de las brechas del depósito Navidad dominados por basaltos contaminados. También existen fuertes diferencias en cuanto al tamaño y a la morfología de los cuerpos mineralizados formados por estos procesos freatomagmáticos. La propuesta genética para las brechas del depósito Navidad, en este trabajo, es la ausencia de sistemas *maar*/diatrema por el contraste con las características de las brechas del depósito Kelian.

El otro aspecto controversial y de gran importancia para determinar la génesis del depósito es la tipología de rocas ígneas vinculadas. La principal dificultad en el estudio de las litofacies ígneas y volcánicas involucradas, en la evolución del depocentro Gan Gan, es la existencia de litologías texturalmente similares pero con yacencia diferente. Como ya se expuso en el capítulo 6.2.1. las rocas magmáticas aparecen como secuencias lávicas con rasgos extrusivos evidentes y como cuerpos intrusivos concor-

dantes y discordantes. Los intrusivos discordantes son diques de longitudes kilométricas que atraviesan la totalidad de la secuencia volcano sedimentaria que rellena la cuenca. En especial corresponde destacar que los diques de basaltos contaminados cortan a las secuencias de lavas basálticas contaminadas interpuestas en los sedimentos de la FCA que aunque son parte del mismo evento magmático su edad es levemente más antigua. Esto representa una marcada diferencia con el criterio expuesto por Williams (2005) quien tanto en el texto como en el perfil de la figura 4 de su trabajo considera a las latitas inferiores y superiores como flujos lávicos, que se superponen a mantos de andesitas. No obstante ello, para el extremo norte del *trend* Argenta describe la continuidad lateral de un cuerpo único de latitas superiores (lavas) intercaladas en grauvacas, confirmado mediante sondeos. Este cuerpo corresponde en realidad a un intrusivo concordante de tipo filón capa que aparece en la superficie en el extremo norte del proyecto, entre la faja Esperanza y la faja Argenta.

En un análisis regional es notable que las rocas básicas extrusivas e intrusivas se concentran sobre el borde noreste de la cuenca, mientras que el borde sur está dominado por las sedimentitas arcósicas. Esta asimetría, que es coincidente con la localización de los cuerpos básicos intrusivos puede en principio asignarse a la ubicación nororiental de la falla que posibilita la habilitación de la cuenca (?) y la extrusión del magma. También debe mencionarse que los yacimientos del depósito Navidad se concentran sobre el mismo flanco de cuenca en coincidencia espacial con los intrusivos basálticos.

Las rocas basálticas contaminadas (latitas inferiores en el sentido de Williams 2010) se caracterizan por poseer fragmentos rocosos redondeados de dimensión centimétrica con textura más gruesa aunque con idéntica composición mineralógica que han sido denominados autolitos. Sus rasgos texturales y mineralógicos son coincidentes con los *crystal mush*, que son frecuentes en las rocas volcánicas que llegan a la superficie terrestre luego de una período de estadía en una cámara magmática que permite la cristalización en sus bordes que se encuentran más fríos y que son arrastrados por el flujo durante la erupción o intrusión.

8. CONCLUSIONES

La investigación del depósito Navidad y su emplazamiento en rocas volcano sedimentarias de la

FCA ha permitido describir e interpretar muchos de sus rasgos singulares como: la tipología, los metalotectos de control, la magnitud del depósito, su edad y analizar la posible repetición de sistemas hidrotermales semejantes en otros depocentros de la FCA en el macizo de Somún Curá.

Las relaciones de contacto discordantes (de corte) entre las rocas volcánicas/sedimentarias y la mineralización/alteración, muestran claramente que se trata de un proceso posterior al relleno y diagénesis de la secuencia que colmata la cuenca de FCA, por lo tanto es una mineralización epigenética. La identificación de la mena como estratoligada y singenética que estaba fundada en la distribución de la mineralización en capas/estratos no ha podido ser corroborada.

La investigación detallada de la yacencia de las manifestaciones minerales establece que la mineralización ocurre ligada espacialmente con la fase intrusiva de la FCA, donde aparece en una posición sobreyacente y discontinua. Se concentra en las fajas Navidad, Esperanza y Argenta que son los sitios de emplazamiento de los intrusivos discordantes principales. Esto explica la ausencia de mineralización en el espacio existente entre las fajas (figura 3).

La mena hipogénica está compuesta por pirita argentífera, galena, calcopirita, plata nativa, esfalerita, argentita-acantita, estromeyerita, tenantita, anilita, bornita, freibergita, proustita-pirargirita y hematita especular, acompañada por sus minerales secundarios y en ganga de baritina, calcita, con muy escasa sílice. Los sulfuros se presentan con texturas brechosas, botroidales y con frecuentes piritosferas.

La alteración hidrotermal se presenta como delgadas franjas decoloradas que acompañan en forma discontinua a los trenes mineralizados y se componen de alteración argílica intermedia (esmectita, illita, caolinita, halloysita), silíceo (calcedonia) y carbonática con menor proporción de alteración potásica en fase adularia. Yugawaralita y clorita son minerales acompañantes.

La mineralogía/textura de los minerales de mena y de alteración indica temperaturas inferiores a 230–300°C y condiciones de pH neutro a ácido en situaciones de ebullición en la interfase entre los fluidos mineralizantes y las aguas superficiales.

La abundancia de metales base como minerales de mena, la tipología de la alteración metasomática, la temperatura y pH de los fluidos hidrotermales permiten clasificar al depósito como epitermal de sulfuración intermedia.

La textura de la mineralización es brechosa y ha sido interpretada por Williams (2010) y por Lhotka

(2010) como de origen volcánico/diatrémico, generada por un proceso sincrónico con la acumulación de las rocas volcano sedimentarias. Si bien se reconocieron varios tipos de brechas, predominan ampliamente las de tipo hidrotermal que se distribuyen irregularmente sobre los intrusivos o en el contacto con la roca hospedante y muestran una notable disminución de potencia en profundidad (< 150 m). Este comportamiento ha sido corroborado durante la exploración por sondeos.

En las brechas se reconoce un fuerte dominio de los clastos de intrusivos, pero de manera restringida aparecen clastos de lavas y/o sedimentos piroclásticos. También hay escasa mineralización alojada en las rocas clásticas como delgadas venillas, concreciones (< de 10 cm) y brechas menores que poseen un relleno compuesto por sulfuros±baritina±calcita (Loma Calcita, Calcita NO, Zona Conector).

La gran variación en el relleno mineral entre las brechas de clastos de intrusivos y las restantes tipologías, se atribuye al comportamiento reológico diferencial de los basaltos contaminados y a su participación en la generación/movilización de los fluidos mineralizantes.

En forma local, las brechas hidrotermales están controladas por estructuras lineales (diaclasas – fallas menores) que tienen morfología vetiforme (Loma Navidad).

Las rocas intrusivas son basaltos contaminados que poseen xenocristales de cuarzo con coronas de reacción piroxénicas y xenocristales de plagioclasas con textura en tamiz (bordes cálcicos) en una pasta de textura fluidal con microcristales de plagioclasa/piroxeno y son interpretados como evidencia de mezcla de magmas.

Los basaltos contaminados denominados localmente como latitas o traquiandesitas pueden disponerse: a) como lavas intercaladas en los sedimentos del volcanismo asociado a la generación del hemigraben (depocentro Gan Gan) o b) como intrusivos durante la etapa de inversión tectónica que controla su emplazamiento a manera de diques, domos y filones capa vinculados directamente con la mineralización.

La existencia de pliegues medianos «fosilizados» por metamorfismo térmico en las tobas de FCA, la ausencia de rocas del Grupo Chubut en el entorno y su aparición sobre un borde tectónico E–O 50 km al S, permiten proponer, por estratigrafía, una edad mínima Jurásica superior para el período mineralizante.

Determinaciones U/Pb del Miembro inferior de la FCA arrojan valores de $178,76 \pm 0,092$ Ma y $176,15 \pm 0,12$ Ma; en tanto que el Miembro superior

da una edad de $157 \pm 0,4$ Ma. Estos datos, sumados a la asociación espacial y genética de la mineralización con los basaltos contaminados del Miembro inferior, dan un rango comprendido entre el Liásico superior tardío y el Malm tardío para el desarrollo de los procesos mineralizantes.

El depósito Navidad, de acuerdo a los recursos medidos e inferidos informados por la empresa Aquiline Resources S.A., sería un yacimiento argentífero polimetálico de tamaño grande.

Las características descriptas permiten postular que la mineralización responde a la existencia de un metalotecto litológico (intrusivos de FCA) asociado con un metalotecto estructural (fallas mayores de los hemigrábenes Jurásicos) y a un metalotecto textural (brechas hidrotermales ligadas a los intrusivos) vinculados al proceso de generación e inversión del depocentro Gan Gan de la FCA. Ello abre una interesante perspectiva exploratoria para el resto de los hemigrábenes/depocentros de la FCA.

En síntesis, Navidad es un depósito epitermal de sulfuración intermedia portador de 23.441,7 t de Ag y

1,35 Mt de Pb asociado a diques, domos y filones capa de basaltos contaminados de la FCA, emplazado en brechas hidrotermales con débil alteración argílica, carbonática y silíceo, que posee una mena compuesta por sulfosales de Ag y metales base en ganga de calcita y baritina del Jurásico inferior tardío.

AGRADECIMIENTOS

A las autoridades de las empresas mineras IMA (Inversiones Mineras Argentinas) y Aquiline Resources Inc. por la autorización para ingresar a las propiedades mineras, consultar mapas y testigos. Al personal del SEGEMAR que con su colaboración ha posibilitado la realización y conclusión de esta investigación.

Los autores desean destacar la importante contribución del Licenciado Mario Alberto Zubia para la realización de este trabajo. Asimismo queremos expresar nuestro pesar por la pérdida de un amigo y colega.

BIBLIOGRAFÍA

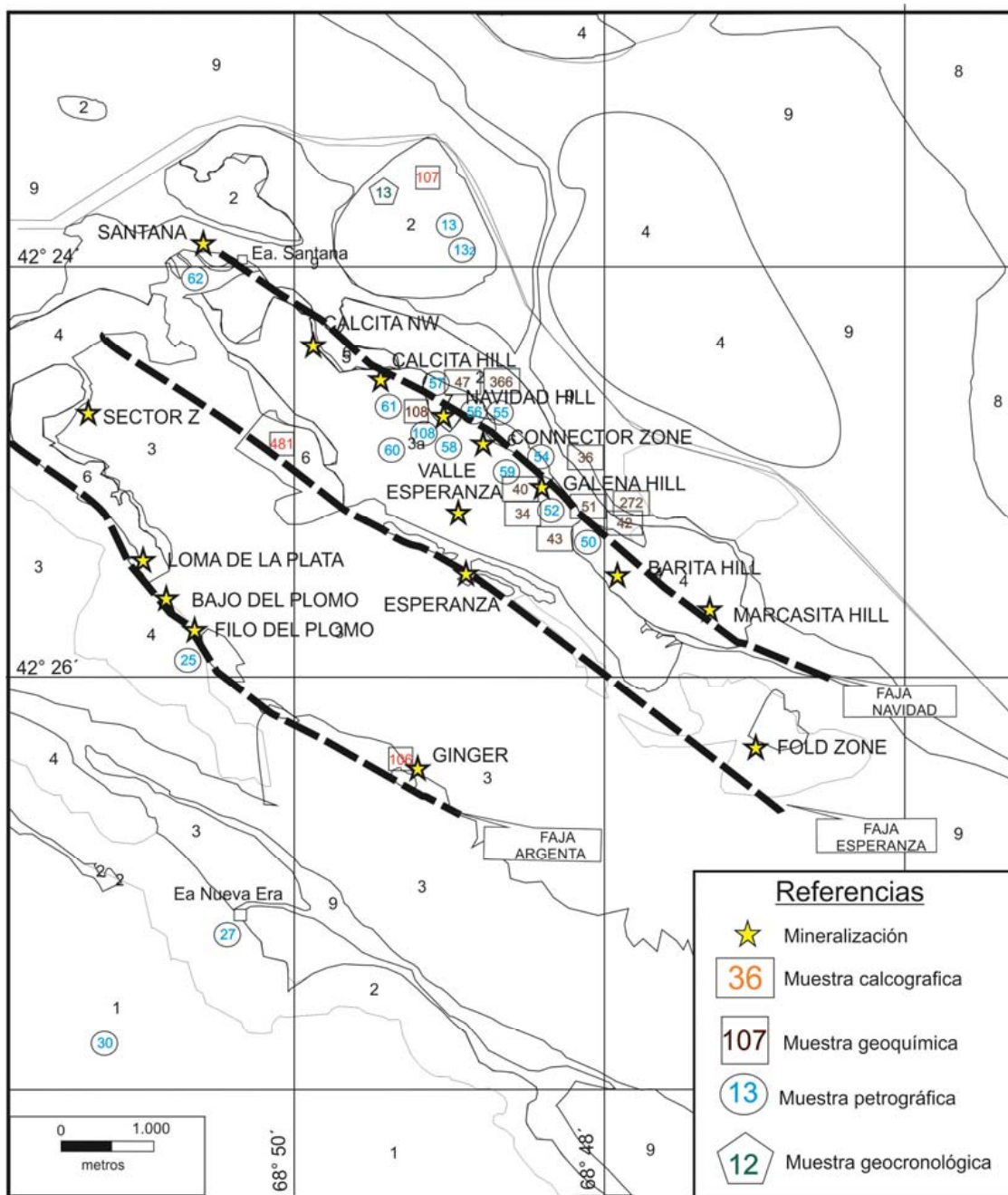
- ALLAR, J.O. 2008. Análisis de paleocorrientes jurásicas en la sección inferior de la Formación Cañadón Asfalto en el área del prospecto de Ag Navidad. Universidad Nacional de la Patagonia SJB. (inédito). Comodoro Rivadavia.
- ALRIC, V.Y., HALLER, M.J., FERAUD, G., BERTAND, H. y ZUBIA, M. 1996. Cronología $^{40}\text{Ar} / ^{39}\text{Ar}$ del vulcanismo jurásico de la Patagonia Extranadina. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 1:243-250. Buenos Aires.
- ARDOLINO, A.A y FRANCHI, M. 1996. Hoja Geológica 4369-I, Telsen. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 215. 104 p. Buenos Aires.
- ARDOLINO, A.A, LIZUAIN, A. y SALANI, F. 2001. Hoja Geológica 4369-II, Gan Gan. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 317. (Mapa). Buenos Aires.
- BOUHIER, V., PAOLINI, M., JIMENEZ, M., FRANCHINI, M., MAS, G. y IMPICCINI, A. 2013a. Proyecto Navidad, Chubut, Argentina. Análisis de la alteración y mineralización en el depósito Loma Galena. 10° Congreso Argentino de Geología Económica, depósitos minerales y metalogénesis, Actas I: 53-60. San Juan.
- BOUHIER, V., MAS, G. y FRANCHINI, M. 2013b. Variedades texturales de pirita en el yacimiento Loma Galena y su relación con la mineralización de Ag-Pb (Zn-Cu), Proyecto Navidad, Chubut, Argentina. 11° Congreso de Mineralogía y Metalogénesis, Actas I: 117-182. San Juan.
- BRODTKORB, M. 2008. Informe calcográfico de muestras del Proyecto Navidad, Chubut. SEGEMAR. (Inédito). Buenos Aires.
- CABALERI, N., VOLKHEIMER, W., ARMELLA, C., GALLEGO, O., SILVA NIETO, D., PÁEZ, M., CAGNONI, M., RAMOS, A., PANARELLO, H. y KOUKHARSKY, M. 2010. Estratigrafía, análisis de facies y paleoambientes de la Formación Cañadón Asfalto en el depocentro jurásico Cerro Cóndor, provincia del Chubut. Revista de la Asociación Geológica Argentina 66 (3): 349 – 367.
- CARDO, R., SEGAL, S. ZUBIA, M. 2004. Metalogénesis del oro en la Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino. Anales 38, 132 p., Buenos Aires.
- CERREDO, M., LÓPEZ DE LUCHI, M., OSTERA, H., CAGNONI, M. y LINARES, E. 2000. Amphibolic tonalites in the south western of the North Patagonian Massif. Geochemistry, age and tectonic setting. 9° Congreso Geológico Chileno, Actas 2: 712-715, Puerto Varas.
- COBERTT, G.J. and LEACH, T.M. 1998. Southwest Pacific Rim gold-copper systems. Society of Economic Geologist, Special Publication 6.
- CROCE, R. 1950. Contribución al conocimiento de la Geología y constitución de la Sierra Pire Mahuida y sus estribaciones al NE de Gastre, Chubut. Instituto Nacional de Investigación de las Ciencias Naturales, Museo Bernardino Rivadavia, Ciencias Geológicas 1(2). Buenos Aires.
- CUCHI, R., BUSTEROS, A. y LEMA, H. 2001. Hoja Geológica 4169-II, Los Menucos. Provincia de Río Negro. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 265, 67 p. Buenos Aires.
- CÚNEO, R., RAMEZANI, J., SCASSO, R., POL, D., ESCAPA, I., ZAVATTIERI, A.M., and BOWRING, S.A. 2013. High-precision U-Pb geochronology and a new chronostratigraphy for the Cañadón Asfalto Basin, Chubut, central Patagonia: Implications for terrestrial faunal and floral evolution in Jurassic. Gondwana Research.
- DALLA SALDA, L., VARELA, R., CINGOLANI, C. y ARAGÓN, E. 1994. The Río Chico Paleozoic Crystalline Complex and the evolution of Northern Patagonia. Journal of South American Earth Sciences, 7 (3): 1-10.
- DAVIES, A.G.S., COOKE, D.R., GEMMELL, J.B. and SIMPSON, K.A. 2008. Diatremes breccias at the Kelian gold mine Kalimantan: precursors to epithermal gold mineralization. Economic Geology, v.103: 689-716.
- DESSANTI, R.N. 1956. Geología de la Zona de «Mina Ángela», Departamento Gastre (Chubut). Secretaría de Minería, Instituto de Geología y Minería. Carpeta 323 (inédito). Buenos Aires.
- DOMÍNGUEZ, E.A. 1981. Génesis y geoquímica de la mineralización de los yacimientos «Los Manantiales» y «Lago Fontana». Revista de la Asociación Geológica Argentina, 26 (2): 123-142. Buenos Aires.
- DE MARK, P., CHULICK, J.J., WILLIAMS, D.K., SPRING, D., and WELLS, J.A. 2010. Navidad project, Chubut province, Argentina, by Snowden, On Behalf of Pan American Silver: (<http://www.sedar.com>).
- DUNN, R.E., MADDEN, R.H., KOHN, M.J., SCHMITZ, M.D., STRÖMBERG, C.A.E., CARLINI, A.A., RE, G.H. y CROWLEY, J. 2013. A new chronology for middle Eocene – early Miocene South American Land Mammal Ages. Geological Society of America Bulletin, v 125 (3-4):p 539-555.
- FERNÁNDEZ, R., BLESÁ, A., MOREIRA, P., ECHEVESTE, H., MYKIETIUK, K.,

- ANDRADA DE PALOMERA, P. y TESSONE, M. 2008. Los depósitos de oro y plata vinculados al magmatismo jurásico de la Patagonia: revisión y perspectivas para la exploración. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 63 (4): 665-681.
- FIGARI, E.G. 2005. Evolución tectónica de la cuenca de Cañadón Asfalto (zona del Valle Medio del Río Chubut). Universidad Nacional De Buenos Aires, Tesis Doctoral 198p. (Inédito). Buenos Aires.
- FIGARI, E. y COURTADE, S. 1993. Evolución Tectosedimentaria de La Cuenca Cañadón Asfalto, Chubut, Argentina. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Actas 1°: (66-77). Mendoza.
- FRANZESE, J.R., PANKHURST, R.J., RAPELA, C.W, SPALLETTI, L.A., FANNING, M. y MURAVCHIK, M. 2002. Nuevas evidencias geocronológicas sobre el magmatismo gondwanico en el noroeste del macizo norpatagónico. 15° Congreso Geológico Argentino. Actas 1: 144-148. El Calafate 2002.
- GIACOSA, R. 2009. Observaciones estructurales en la zona del prospecto Navidad. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino. (inédito) Comodoro Rivadavia.
- GODEAS, M. 2007. Estudios de muestras mediante espectrometría de reflectancia con SWIR del Proyecto Navidad. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino. (Inédito). Buenos Aires.
- GONZÁLEZ, P., COLLUCIA, A. y FRANCHI, M. 1999. Hoja Geológica 4169-III, Ingeniero Jacobacci. Provincia de Río Negro. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 265, 67 p. Buenos Aires.
- HAMMERBECK, E.C.I. 1998. International Metallogenic Map of Africa. Commission for the Geological Map of the World (UNESCO) and Council for Geoscience. Pretoria, South Africa.
- HEDENQUIST, J.W., ARRIBAS, A.R. and GONZÁLEZ-URIEN, E. 2000. Exploration for epithermal gold deposits, *Reviews in Economic Geology*, 13: 245-277.
- LAWLESS, J.V. and WHITE, P.J. 1990. Ore related breccias: a genetic classification, with particular reference to epithermal deposits. 12° New Zeland Geothermal workshop, 197-202.
- LEMA, H., BUSTEROS, A., GIACOSA, R., DALPONTE, M., GODEAS, M. y ZUBIA, M. 2005. Geología del Complejo Los Menucos Macizo Nordpatagónico, Provincia De Rio Negro. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas I:27-32. La Plata.
- LE MAITRE, R.W. (Ed.) 1989. A classification of igneous rocks and glossary of terms. Blackwell, Oxford. 193 p.
- LESTA, P y FERRELO, R. 1972. Región Extraanadina de Chubut y norte de Santa Cruz. En Leanza, A. (Ed.), *Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias, 601-653. Córdoba.
- LHOTKA, P., KAIN, S. Y PATTERSON, K. 2005. Proyecto Navidad – importante y novedoso estilo de mineralización jurásica de plata y plomo en Patagonia (Chubut, Argentina). XVI Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 361-368. La Plata.
- LHOTKA, P. 2010. Discovery history of the Navidad Silver Deposits, Chubut, Argentina: one thousand years in the waiting. *Economic Geologists*, Special Publication 15.
- MÁRQUEZ, M.J. 1999. Los sistemas hidrotermales del distrito Los Manantiales. En Zappettini, E. (Ed.): *Recursos Minerales de la República Argentina*, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Anales 35, Vol. 2: 1167-1175.
- MÁRQUEZ, M.J., ZUBIA, M. y ARISMENDI, A. 1988. Mineralizaciones subvolcanicas jurásicas del Chubut Central. 3° Congreso Nacional de Geología. Económica. Actas: 3: 55-68 Olavarría.
- MÁRQUEZ, M.J., ZUBIA, M. y FERNÁNDEZ, M. 2010 b. Mezcla de magma (δ ?) en latitas de la Formación Cañadón Asfalto, SO del Macizo de Somún Curá, Patagonia. 14° Simposio Argentino del Jurásico. Bahía Blanca.
- MÁRQUEZ, M.J. y NAVARRETE, C. 2011. La tectónica compresiva pre Aptiana Albiana en la Sierra de los Pichiñanes, Chubut, Argentina. 18° Congreso Geológico Argentino, Simposio 1, La Patagonia en el contexto geodinámico de Gondwana. Neuquén.
- MAZZONI, M. 1985. La Formación Sarmiento y el vulcanismo Paleógeno. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 40 (1-2): 60-68.
- NULLO, F.E. 1974. Descripción Geológica de la Hoja 41d, Lipetrén, Provincia de Rio Negro. Servicio Geológico Nacional, (inédito) Buenos Aires.
- NULLO, F.E. 1978. Descripción Geológica de la Hoja 41d, Lipetrén, Provincia de Rio Negro. Servicio Geológico Nacional, Boletín N° 199, (89 p.) Buenos Aires.
- PAGE, R y PAGE, S. 1993. Petrología y significado tectónico del Jurásico Volcánico del Chubut Central. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 48 (1): 41-58.
- PARISI, C. 1981. Informe preliminar proyecto 04-HG Gastre, 4369-B6. Dirección Nacional de Minería y Geología, Plan Patagonia Comahue Geológico Minero. (Inédito). Comodoro Rivadavia.

- PEARCE, J., HARRIS, N. y TINDLE, A. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25: 953-956.
- PEZZUCHI, H. 1982. Informe preliminar proyecto 04-HG Gastre, 4369-II - BI. Dirección Nacional de Minería y Geología, Plan Patagonia Comahue Geológico Minero. (Inédito). Comodoro Rivadavia.
- PREZ, H. 1985. Informe preliminar proyecto 04-HG Gastre, 4369-I - A6. Dirección Nacional de Minería y Geología, Plan Patagonia Comahue Geológico Minero. (Inédito). Comodoro Rivadavia.
- PROSERPIO, C. 1978. Descripción Geológica de la Hoja 42 d Gastre. Provincia del Chubut. Dirección Nacional de Minería y Geología, Boletín 159: 1-75.
- RAMOS, V. 1999. Las provincias geológicas del territorio argentino. En: Caminos, E. (Ed.) *Geología Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29 (3): 41-96.
- RAPELA, C.W., DÍAS, C.F., FRANZECE, J.R., ALONSO, G. y VENVENUTO, A.R. 1991. El Batolito de la Patagonia Central, evidencias de un magmatismo triásico jurásico asociado a fallas transcurrentes. *Revista Geológica de Chile*, 18 (2):121 -138.
- RAPELA, C.W. y PANKHURST, R.J. 1992. The granites of northern Patagonia and the Gastre Fault System in relation to the break-up of Gondwana. From STOREY, B.C., ALABASTER, T. and PANKHURST, R. J. (Eds.): *Magmatism and the Causes of Continental Break-up*, Geological Society Special Publication, 68: 209-220.
- RAPELA, C.W. y PANKHURST, R.J. 1993. El volcanismo riolítico del noreste de la Patagonia: un evento meso jurásico de corta duración y origen profundo. 12° Congreso Geológico Argentino, Actas 4:179 – 188. Mendoza.
- RAPELA, C.W., PANKHURST, R.J. y HARRISON, S.M. 1992. Triassic «Gondwana» granites of the Gastre district, North Patagonian Massif. *Transaction of the Royal Society of Edimburg: Earth Sciences*, 83: 291-304.
- RAVAZZOLI, I.A. y SESANA, F.L. 1977. Descripción geológica de la Hoja 41 c, Río Chico. Provincia del Río Negro., Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 148. Buenos Aires.
- SALANI, F. 1985. Caracterización petrológica y metalogénica del volcanismo ácido terciario de la sierra de Pire Mahuida, provincia del Chubut. Segunda Parte (CONICET, inédito). Buenos Aires.
- SALANI, F. 1990. Caracterización Geológica y Petrológica del volcanismo ácido de la Sierra de Pire Mahuida, Provincia del Chubut. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Tesis Doctoral, 162p (inédito). Buenos Aires.
- SALANI, F. y PAGE, R. 1987. El Complejo Volcánico Pire Mahuida, Provincia del Chubut. 10 Congreso Geológico Argentino, Simposio de Vulcanismo, Actas 4: 165-167. Tucumán.
- SALANI, F. y PARICA, C. 1990. Consideraciones sobre la edad y petrogénesis de las volcanitas del Complejo Pire Mahuida, Provincia del Chubut. 11° Congreso Geológico Argentino. Actas 1:125-128. San Juan.
- SANGSTER, A.L. 2001. Polymetallic vein deposits and occurrences Central Chubut Province, Argentina. Servicio Geológico Minero Argentino, Serie Contribuciones Técnicas. Recursos Minerales 18.
- SILLITOE, R. H. 1993. Epithermal models: genetic types, geometrical controls and shallow features. *Mineral Deposit Modeling: Geological Association of Canada Special Paper*, 40, 403-417.
- SILLITOE, R.H. 1985. Ore Related Breccias in volcanoplutonic arcs. *Economic Geology*, 80(6): 1467-1514.
- SILLITOE, R.H. y HEDENQUIST, J.W. 2003. Linkages between volcanotectonic setting, ore-fluids compositions, and epithermal precious-metal deposits. *Economic Geologist*, Special Publication 10:315-343.
- SILVA NIETO, D., CABALERI, N., SALANI, F. y COLUCCIA, A. 2002. Cañadón Asfalto, una cuenca tipo Pull Apart en el área de Cerro Cóndor, Provincia del Chubut. 15° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 238-243. El Calafate.
- SINGER, D.A. 1995. World class base and precious metal deposit: A quantitative analysis. *Economic Geology*, v.90, p. 88-104.
- SUÁREZ, M., MÁRQUEZ, M.J., DE LA CRUZ, R., NAVARRETE, C. y FANNING, M. 2014. Cenomanian-? early Turonian minimum age of the Chubut Group, Argentina: SHRIMP U/Pb geochronology. *Journal of South American Earth Sciences*, 50: 67 – 74.
- STIPANICIC, P.N., RODRIGO, F., BAULIES, O.L. y MARTINEZ, C.G. 1968. Las Formaciones Presenionanas en el denominado Macizo Nord patagónico y sus regiones adyacentes. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 19 (2): 85-107.
- VOLKHEIMER, W. 1964. Estratigrafía en la zona extranadina del departamento de Cushamen, Chubut, entre los paralelos 42° y 42° 30' y los meridianos 70° y 71°. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 19 (2): 85-107.)

- VOLKHEIMER, W. y LAGE, J. 1981. Descripción Geológica de la Hoja 42 c, Cerro Mirador. Provincia del Chubut., Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 181. Buenos Aires.
- WALKER, J.D., GEISSMANN, J.W., BOWRING, S.A. and BABCOCK, L.E. 2013. The Geological Society of America Time Scale. GSA Bulletin, 125, (3/4): 250-272. Doi 10.1130/B 307/2.1. 1figure, 1 table.
- WILLIAMS, D.K. 2008. The Geology and mineralization of the Navidad Project Chubut province, Argentina. Aquiline Resources Inc. Argentina Mining. Mendoza.
- WILLIAMS, D.K. 2010. Geology and mineralization of the Navidad, Ag-Cu-Pb-Zn District, Chubut Province, Argentina. Economic Geologists, Special Publication 15, 203 – 227.
- WILKIN, R.T. y BARNES, H.L. 1997. Formation processes of framboidal pyrite. *Geochimica et Cosmochimica, Acta*, 61(2):323-339.
- WINCHESTER, J.A. y FLOYD, P.A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Geochemical Geology*, 20:325-343.
- XU, Q. y SCOTT, S. 2005. Spherulitic pyrite in seafloor hydrothermal deposits: Products of rapid crystallization from mixing fluids. *Mineral Deposit Research. Meeting the Global Challenge*: 711-713.
- ZAFFARANA, C., POMA, S.M.N., LAGORIO, S., GREGORI, D., SOMOZA, R., BUSTEOS, A., SILVA NIETO, D. y GIACOSA, R. 2014. Petrogénesis de las volcánitas Lonco Trapial, Magmatismo del Jurásico Temprano de Patagonia Central. 19 Congreso Geológico Argentino, Petrología Ígnea y Metamórfica. T8-58. Córdoba.
- ZAPPETTINI, E., GODEAS, M. y SEGAL, S. 1999. Mapa Metalogénico de la República Argentina. Sub Secretaría de Minería de la Nación. Servicio Geológico Minero Argentino. Buenos Aires.


ANEXOS



Mapa de ubicación de muestras calcográficas, geoquímicas, petrográficas y geocronológica

SÍNTESIS DE LAS DETERMINACIONES PETROGRÁFICAS

N° MUESTRA	Descripción Macroscópica	MICROSCOPIA				Pasta	Clastos	Matriz	Alteración	Clasificación	Observaciones
		Textura	Fenocristales								
Nav 13	Roca rojiza, textura porfídica con <i>flames</i> claros y litoclastos	cristaloclastica	feldespato potásico	litoclastos volcánicos escasos	vitroclástica	desvitrificación incipiente	Ignimbrita riolítica	FG mantos de < 10m			
Nav 13-2	Roca rojiza fragmental	clástica		litoclastos volcánicos escasos	clástica fina < 1mm	limonitización	Arenisca volcánica	FG estratos centimétricos			
Nav 25	Roca gris oscura porfídica	porfídica	cuarzo, plagioclasa	plagioclasa, piroxeno opacos		proplítica	Basalto contaminado	FCA miembro inferior			
Nav 27	Roca gris rojiza con textura porfídica y <i>flames</i>		plagioclasa (oligoclasa), biotita	litoclastos volcánicos gris oscuro	vitroclástica, eutaxítica	desvitrificación incipiente, carbonática	Ignimbrita andesítica	FG mantos potentes			
Nav 30	Roca gris con textura gruesa y enclaves	granular holocristalina	Plagioclasa, cuarzo, feldespato alcalino, biotita, anfíbol			textura sin deformación frágil ni dúctil	Pófirio granodiorítico	FL Enclaves microgranulares básicos			
Nav 50	Roca gris oscura porfídica	porfídica	cuarzo, plagioclasa	plagioclasa, piroxeno opacos		proplítica, carbonática	Basalto contaminado	FCA miembro inferior			
Nav 52	Roca gris amarillenta de grano fino con estilolitas	micrítica		bioclastos	calcita fina	tinción limonítica y silicificación local	Caliza micrítica	FCA Estromatolitos laminares y esféricos			
Nav 53	Roca estratificada gris de grano fino	clástica	accidentales minoritarios: cuarzo, apatita, calcita	silice micro a criptocristalina con fina estratificación		desvitrificación ? silicificación ??	Toba alterada	FCA Tobas con intercalaciones de calizas			
Nav 54 - Nav 55 - Nav 56 - Nav 57 - Nav 58 - Nav 62	Roca porfídica de color castaño violáceo oscuro con foliación de flujo	porfídica	plagioclasa, cuarzo, biotita	plagioclasa, piroxeno, biotita ??		desferización, carbonática	Basalto contaminado	FCA Dique, filón, domo con foliación magmática trend Navidad y otros			
Nav 58-1- Nav 63	Roca gris amarillenta de grano fino	bioclastica		bioclastos	calcita fina en bandas finas	silicificación, reemplazo por beritina, celestina	Caliza micrítica alterada	FCA Caliza estromatolítica Loma Navidad			



GOBIERNO DE CHILE
SERVICIO NACIONAL DE
GEOLOGÍA Y MINERÍA

Muestra : **NV-13**
Material : Sanidina
N° interno : 11968-01

Análisis de step heating

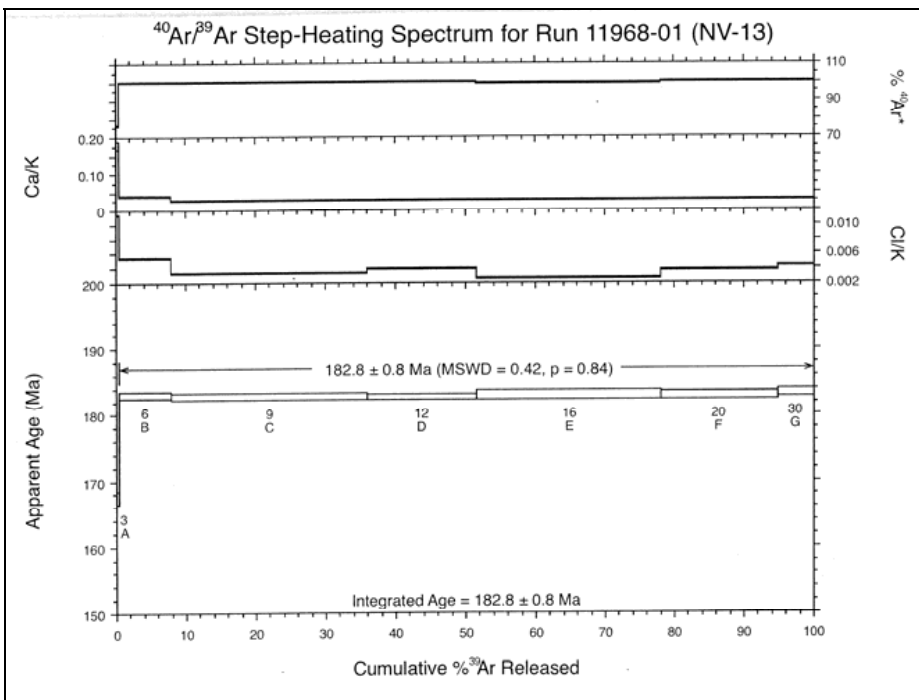
Edad integrada: 182.8 ± 0.8 Ma
Edad Plateau : **182.8 ± 0.8 Ma**
 N° de pasos en el plateau: 6/7 (99.4% del gas en el plateau)
 MSWD Plateau: 0.42

Análisis de Isócrona

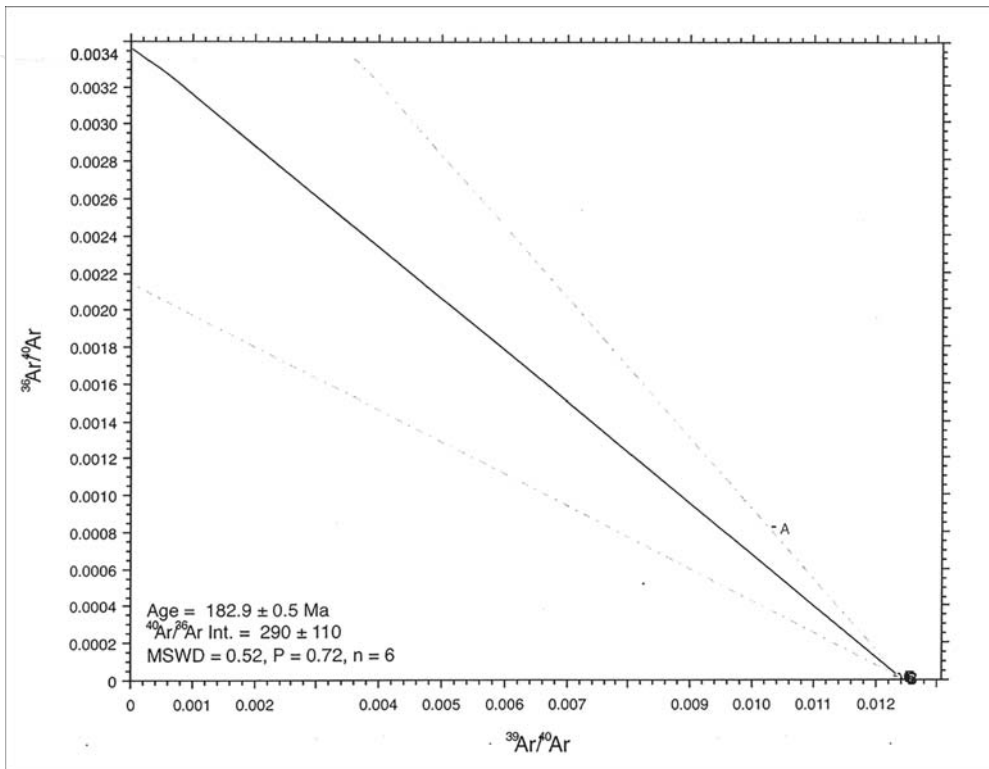
Edad Isócrona: 182.9 ± 1.0 Ma
 Pasos: 6/7 (Sin paso A)
 Intercepto 40/36: 290 ± 110
 MSWD Isócrona: 0.52

Comentarios:

Los resultados obtenidos son concordantes, no se aprecia exceso de Ar. Se recomienda utilizar la edad obtenida en el plateau. El alto error en el intercepto 40/36 de la isócrona esta dado por la similitud de Ar radiogenico que tienen todos los pasos (sobre 99%) lo que agrupa todos los pasos en el extremo del grafico de la isócrona dejando una gran dispersión en el otro extremo.



Datación Muestra NV-13



40Ar/39Ar Step-Heating Data for Run 11968-01; NV-13

Run ID	Watts	Ca/K	Cl/K	36Ar/39Ar	%36Ar(Ca)	40*Ar/39Ar	Mol 39Ar	% Step	Cum. %	%40Ar*	Age (Ma)	± Age	Group
NV-13, Run ID# 11968-01 (J = 0.0013272 ± 2.8000000e-6):													
11968-01A	3.0	0.17662	0.01136	0.079021	0.0	73.24933	0.8751	0.6	0.6	75.8	167.37482	0.49181	1
11968-01B	6.0	0.03591	0.00550	0.000587	0.9	80.39317	11.4512	7.5	8.0	99.8	182.89719	0.24137	1
11968-01C	9.0	0.02679	0.00346	0.001065	0.4	80.33622	43.0255	28.1	36.1	99.6	182.77398	0.23616	1
11968-01D	12.0	0.02627	0.00389	0.001511	0.3	80.29552	23.8353	15.5	51.6	99.4	182.68592	0.19769	1
11968-01E	16.0	0.02533	0.00268	0.001607	0.2	80.42928	40.6330	26.5	78.1	99.4	182.97531	0.33714	1
11968-01F	20.0	0.02650	0.00368	0.001564	0.3	80.36614	25.8299	16.8	95.0	99.4	182.83871	0.33345	1
11968-01G	30.0	0.02788	0.00423	0.001526	0.3	80.53502	7.6966	5.0	100.0	99.4	183.20406	0.33437	1
Integ. Age =											182.8	0.8	1
(*) Plateau Age =											182.80000	0.80000	

Sample	ID	Material	Integ. Age	Error	Age	Error	MSWD	Prob.	Steps	n/n-total	% Gas	12
NV-13	11968-01	Sanidina	182.8	0.8	182.8	0.8	0.4	0.84	B-G	6/7	99.4	

Isochron Information

Data
Summary Isochron Data for 11968-01A to 11968-01G

Run ID	Status	40*Ar/39Ar (36/40)isoch†	%±	(39/40)isoch	%±	Correl 36/3†	Group
NV-13							1
11968-01A	Deleted	73.24933	0.0008179	0.6	0.01035	0.243	0.068
11968-01B	OK	80.39317	0.0000072	3.5	0.01241	0.138	0.024
11968-01C	OK	80.33622	0.0000132	1.8	0.01240	0.136	0.032
11968-01D	OK	80.29552	0.0000187	1.9	0.01239	0.113	0.036
11968-01E	OK	80.42928	0.0000198	1.0	0.01236	0.194	0.045
11968-01F	OK	80.36614	0.0000193	1.7	0.01237	0.191	0.034
11968-01G	OK	80.53502	0.0000188	3.4	0.01235	0.191	0.015

Sample	Aliquot	Age	MSE	40/36tr	MSE	MSWD	Prob	n	Pct. Gas	Steps
NV-13	11968-01	182.856	0.52	291.0	109.5	0.522	0.720	6	0.0	-