

ALTERACIÓN, MINERALIZACIÓN DE Cu Y BITUMEN EN EL PROSPECTO BARDA GONZÁLEZ, NEUQUÉN

Josefina M. PONS¹, Marta FRANCHINI¹, Adolfo GIUSIANO², Agnes IMPICCINI³ y Marta GODEAS⁴

¹ Grupo Patagónico de Estudios Metalogenéticos, Departamento de Geología y Petróleo, CONICET-CIMAR. Emails: jpons@uncoma.edu.ar; mfranchi@uncoma.edu.ar

² Dirección Provincial de Hidrocarburos y Energía de la Provincia del Neuquén. Email: agiusiano@neuquen.gov.ar

³ Grupo Patagónico de Estudios Metalogenéticos, Departamento de Geología y Petróleo Universidad Nacional del Comahue. Email: aimpicc@uncoma.edu.ar

⁴ SEGEMAR. Email: mgodea@secind.mecon.gov.ar

RESUMEN

Barda González es un prospecto de Cu hospedado en las rocas sedimentarias cretácicas de la Formación Portezuelo (Grupo Neuquén) y localizado en la zona de fallas de la dorsal de Huincul, próximo a los yacimientos hidrocarbúferos Barda González, Bajo Barda González y Puesto Espinosa. La mineralización de Cu se extiende en un frente de 600 m por 2.000 m de largo en sentido nornoreste, siguiendo los niveles de areniscas gruesas y conglomerádicas que demarcan paleocanales fluviales. Estas rocas están decoloradas, alteradas y muy permeables por la ausencia de óxidos e hidróxidos de hierro, la disolución total a parcial de los cementos, los feldspatos y líticos volcánicos y la alteración de estos últimos a argilominerales (illita>caolinita). Los minerales de cobre están diseminados, en tubos o nódulos siempre en contacto con bitumen. Consisten en restos de calcosina, covellina, trazas de calcopirita y una variedad de minerales de cobre supergénicos (malaquita, con crisocola, brochantita, azurita, tenorita, turquesa, atacamita, volbortita). También hay pirita diseminada y trazas de psilomelano. En las muestras con las mayores concentraciones de Cu (16%) se detectaron anomalías de Mo (810 ppm), U (9,43 ppm), Th (40,6 ppm) y V (127-221 ppm). La geoquímica del bitumen indica que se trata de un residuo dejado por la migración de hidrocarburos generados a partir de rocas de origen marino del Jurásico (Formaciones Los Molles o Vaca Muerta). Las aguas de formación ricas en cloruros que migraron junto con los hidrocarburos, pudieron transportar el cobre y el azufre en solución. La migración de estos fluidos desde las rocas fuentes hacia los reservorios a través de las fallas y estratos permeables, habría desempeñado un rol muy importante en la extracción del cobre a partir del lavado de los óxidos e hidróxidos de hierro de los estratos rojos continentales infrayacentes. En su transporte y en contacto con los niveles permeables de la Formación Portezuelo, estos fluidos habrían generado la consecuente alteración de la roca hospedante, el aumento de la porosidad y permeabilidad de las areniscas y la precipitación de los sulfuros de cobre en la interfaz aguas/hidrocarburos.

Palabras clave: *Dorsal de Huincul, Areniscas permeables, Migración de hidrocarburos, Aguas de formación, Sulfuros de Cu.*

ABSTRACT: *Alteration, Cu mineralization and bitumen in the Barda González prospect, Neuquén.* Barda González is a stratiform sedimentary copper prospect hosted in the Cretaceous rocks of the Portezuelo Formation (Neuquén Group) and located in the Dorsal de Huincul fault zone, near the Barda González, Bajo Barda González and Puesto Espinosa oil fields. The Cu mineralization occurs in coarse sandstone and conglomerate layers along fluvial paleochannels 600 m wide by 2000 m long with a NNE strike. These rocks are bleached, altered and very permeable. They lack iron oxides and hydroxides and show total to partial dissolution of their cement and their feldspar and volcanic lithics that are also altered to clay minerals (illite>kaolinite). The copper minerals are disseminated, in tubes or nodules always in contact with bitumen. They consist of chalcocite, covellite, trace of chalcopyrite and a variety of supergene minerals (malachite with chrysocolla, brochantite, azurite, turquoise, atacamite, volborthite). There are also disseminated pyrite and traces of psilomelane. Mineralized sandstone samples with the highest Cu concentration (16%) have Mo (810 ppm), U (9.43 ppm), Th (40 ppm) and V (127-221 ppm) anomalies. The geochemistry of bitumen indicates that it is a residue of hydrocarbon migration generated from a Jurassic marine rocks (Los Molles or Vaca Muerta Formations). Upwelling chlorine-rich brines that accompanied the hydrocarbon migrations could have stripped Cu from the thick red bed sequence and S from the evaporites within the basin; S could have been also transported by hydrocarbons. The migration of these fluids from the source rocks to the reservoir through the faults and permeable layers would have played an important role in copper extraction from leaching iron oxides and hydroxides of the red beds, its transport and alteration of the sandstone (Portezuelo Formation) with the resulting increase of permeability and the copper-iron sulfides precipitation in the water/hydrocarbon interface.

Keywords: *Huincul High, Permeable sandstone, Oil migration, Formation waters, Cu sulfides.*

INTRODUCCIÓN

Barda González es uno de los prospectos de cobre sedimentario localizado en el ámbito de la dorsal de Huincul, en la cuenca Neuquina (Fig. 1a). Este prospecto ha sido seleccionado para su estudio debido a que presenta excelentes afloramientos de la roca sedimentaria hospedante de la mineralización y preserva muy buenos ejemplos de las relaciones texturales entre los minerales diagenéticos, los hidrocarburos sólidos y la mineralización de cobre.

Los prospectos de cobre en la región han sido y continúan siendo explorados por varias empresas mineras (Polimet- Degerstrom, Polimet-MIM, RTZ y en la actualidad Orion del Sur) pero sus reservas y tenores de Cu (50 Mt con 0,15 a 0,5% Cu; Lyons 1999) son aún inferiores a los que presentan los depósitos de Cu sedimentario de clase mundial (p. ej. White Pine, 170 Mt con 1% Cu; Lubin, 781Mt con 2,13% Cu; Hitzman *et al.* 2005 y referencias allí citadas).

Algunas hipótesis han sido postuladas para explicar el origen y la acumulación del cobre en las rocas sedimentarias de la cuenca Neuquina, pero no hay antecedentes recientes de estudios sobre su génesis. Ramos (1975) considera que el cobre, proveniente de la meteorización química de la roca madre, se incorpora a la roca hospedante en un período tardío después del soterramiento de los sedimentos por la presencia de materia orgánica. Para Lyons (1999), las aguas circulantes provenientes del orógeno andino alteran las areniscas y posteriormente precipitan el cobre. Finalmente Giusiano *et al.* (2006, 2008) postulan una nueva hipótesis genética que vincula la migración de los hidrocarburos y de los fluidos portadores de cobre a través del fallamiento de la dorsal de Huincul, con la mineralización de Cu presente en las areniscas cretácicas del Grupo Neuquén. Este trabajo describe la mineralización, las alteraciones de las rocas sedimentarias hospedantes y sus relaciones con los hidrocarburos sólidos (bitumen) y brinda nuevas

evidencias geológicas y mineralógicas que sustentan este nuevo modelo.

METODOLOGÍA

En el área del prospecto Barda González se realizaron perfiles estratigráficos de detalle con la descripción de las alteraciones y se tomaron muestras representativas de las rocas no alteradas y alteradas. Sobre las muestras seleccionadas se realizaron los siguientes estudios: petrográfico, calcográfico, análisis de difracción de rayos X, espectrometría de reflectancia SWIR, SEM-EDAX y de microsonda de electrones en los laboratorios del CIMAR, Universidad Nacional del Comahue, SEGEMAR y Washington State University.

Para determinar las diferencias geoquímicas entre las muestras de areniscas menos alteradas y las mineralizadas, se realizaron los análisis químicos de elementos mayoritarios y traza por ICP-MS en ACME-LAB. También se realizó la caracterización geoquímica de los hidrocarburos en Humble Geochemical Services, Texas, para determinar su composición, las posibles rocas madres y establecer hipótesis sobre sus migraciones.

GEOLOGÍA REGIONAL

La cuenca Neuquina tiene una superficie aproximada de 124.000 km²; abarca gran parte de la provincia del Neuquén (Fig. 1a), el sector occidental de las provincias de Río Negro y La Pampa y la porción suroccidental de la provincia de Mendoza. Su relleno mesozoico consiste en sedimentitas de origen marino y continental con 6.000 m de potencia, originadas por las transgresiones regionales del océano Pacífico y por eventos de desecación. Este esquema sedimentario se desarrolló en el ámbito de una cuenca de intrarco a trasarco, a través de un proceso que se inició en el Triásico Tardío con la configuración de un sistema de rifting y culminó en el Cretácico Tardío-Paleoceno con el inicio de la orogenia andina (Legarreta *et al.* 1993).

La dorsal de Huincul es uno de los elementos morfoestructurales más característico de la cuenca Neuquina. Es un lineamiento estructural de escala regional desarrollado a los 39° de latitud sur con orientación este-oeste que se extiende por 270 km. Ha sido interpretada como una zona de fallas de desplazamiento lateral en sentido dextrógiro donde coexisten segmentos transpresivos y transtensivos como resultado del cambio del rumbo de las zonas de falla (Ploszkiewicz *et al.* 1984). De acuerdo con Silvestro y Zubiri (2008) la dorsal es el resultado de una convergencia oblicua NO-SE entre el cratón norpatagónico al sureste y la cuenca Neuquina al noroeste. El fallamiento que originó la dorsal de Huincul ha sufrido reactivaciones en distintos momentos del Jurásico Tardío y Cretácico (Cruz *et al.* 2002). Estas reactivaciones produjeron la inversión tectónica del sistema de fallas y la erosión o no depositación de rocas sedimentarias en diferentes zonas de la dorsal, dando como resultado la condensación de la columna estratigráfica y poniendo en contacto unidades del Jurásico Inferior con unidades del Cretácico Inferior (Cruz *et al.* 2002, Silvestro y Zubiri 2008). Las estructuras principales son fallas maestras de orientación este-oeste con ramificaciones en fallas secundarias y pliegues asociados. Muchas de las fallas son de origen profundo y se abortan en la base de la Formación Vaca Muerta (Tithoniano). Otras estructuras más próximas a la falla maestra nacen en niveles más someros, ocasionan el engrosamiento localizado del techo de la Formación Centenario (Hauteriviano-Barremiano) y cortan al Grupo Neuquén (Cretácico Superior) (Schioma *et al.* 2002). Los afloramientos del Grupo Neuquén (Cenomaniano-Campaniano) cubren gran parte del centro-este de la cuenca Neuquina, alcanzando espesores de hasta 1.300 m en el centro de la provincia del Neuquén (Cazau y Uliana 1973). Están compuestos por una espesa secuencia de areniscas rojas de grano fino a grueso hasta conglomerados con intercalaciones de arcilitas depositadas en un ambiente

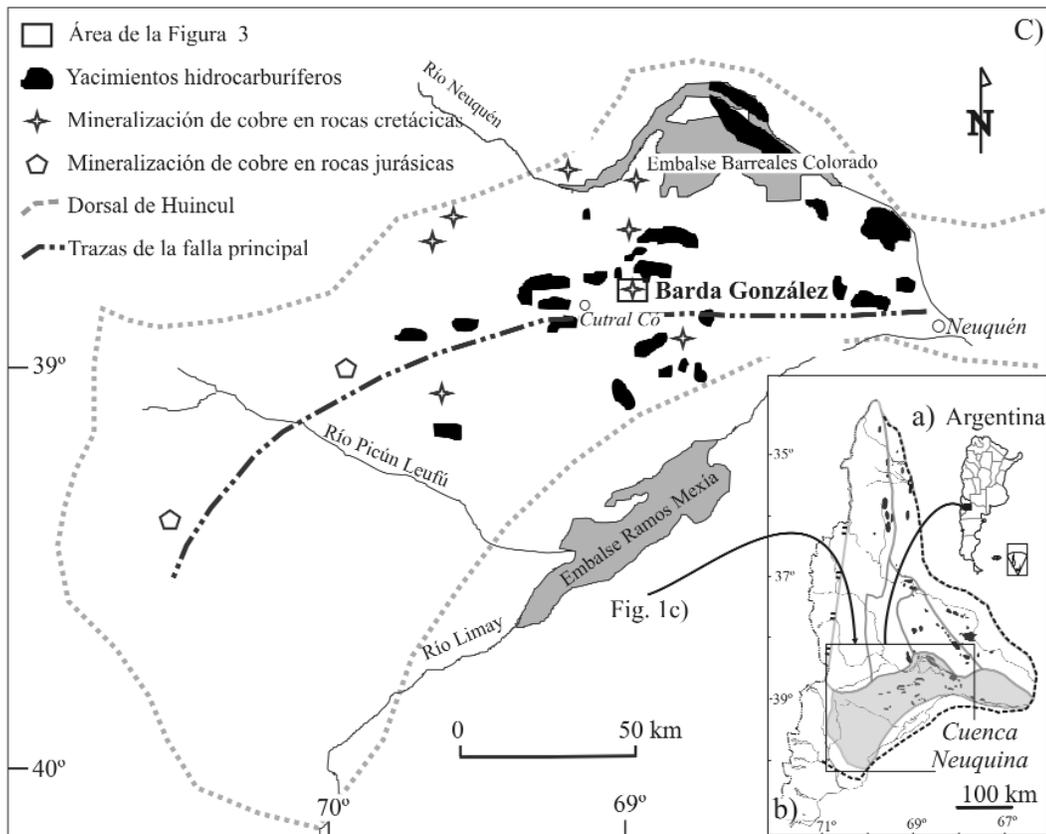


Figura 1: a y b) Mapa de ubicación de la dorsal de Huincul; c) Mapa de ubicación del prospecto Barda González, de los otros prospectos de cobre sedimentario y de los principales yacimientos hidrocarbúricos localizados en la dorsal de Huincul.

fluvial. Estas sedimentitas se apoyan en discordancia sobre rocas sedimentarias continentales del Grupo Rayoso (Aptiano-Albiano, Uliana *et al.* 1975) y están cubiertas por los depósitos marinos del Grupo Malargüe (Campaniano superior-Maestriciano inferior, Legarreta y Gulisano 1989). Litoestratigráficamente el Grupo Neuquén está integrado por el Subgrupo Río Limay (Formaciones Candeleros, Huincul y Lisandro, de Ferraris 1968), el Subgrupo Río Neuquén (Formaciones Portezuelo y Plottier, Cazau y Uliana 1973) y el Subgrupo Río Colorado (Formaciones Bajo de la Carpa y Anacleto, Cazau y Uliana 1973, Ramos 1981) (Fig. 2).

GEOLOGÍA

Barda González se localiza en la zona central de la dorsal de Huincul, donde predominan estructuras de acortamiento y desplazamiento de rumbo este-oeste con estructuras asociadas de orientación NNO (Cruz *et al.* 2002, Silvestro y Zubiri

2008). Está en las proximidades de los yacimientos hidrocarbúricos Barda González, Bajo Barda González y Puesto Espinosa (Fig. 1). En esta región afloran los estratos subhorizontales de las Formaciones Huincul, Lisandro y Portezuelo y las dos últimas constituyen una meseta de orientación este-oeste (Figs. 3a y b). La Formación Huincul aflora al sur y norte de la meseta y su techo está constituido por intercalaciones de areniscas de grano medio a areniscas conglomerádicas grises a grises blanquecinas, con clastos subangulosos de selección buena a moderada y niveles conglomerádicos ricos en intraclastos pelíticos blancos grisáceos. Las areniscas están compuestas por clastos fracturados de líticos volcánicos (25-40%), cuarzo (15-30%), feldespato (15-30%) y trazas de muscovita, cementados por calcita y tienen una porosidad variable entre 0 y 15%. Los líticos volcánicos tienen microinclusiones finas de pirita y posible magnetita. Los intraclastos de pelita son elipsoidales, llegan a medir hasta varios centímetros de longitud y están

compuestos por cuarzo, arcillas (interesratificados illita-esmectita con 50% capas expansivas > caolinita) y feldespato. La Formación Lisandro aflora en el tramo inferior de la meseta y consiste en fangolitas rojas con intercalaciones de areniscas grises de grano medio que aumentan en proporción hacia el techo (Fig. 2). Las fangolitas están compuestas por arcillas (88%, illita, caolinita y trazas de interestratificados illita-esmectita), cuarzo (10%), feldespato (2%) y trazas de calcita. El contacto entre la Formación Lisandro y la sección inferior de la Formación Portezuelo está definido por la presencia de los primeros bancos de areniscas de grano fino a medio que se encuentran sobre las fangolitas rojas (Fig. 2). La sección inferior de la Formación Portezuelo consiste en bancos de areniscas amarillentas, de grano medio, friables, con estratificación paralela y niveles de areniscas de grano grueso ricos en intraclastos pelíticos. Estos bancos tienen entre 1,5 a 2 m de espesor y están intercalados con lentes de arcilitas verdes y rojas

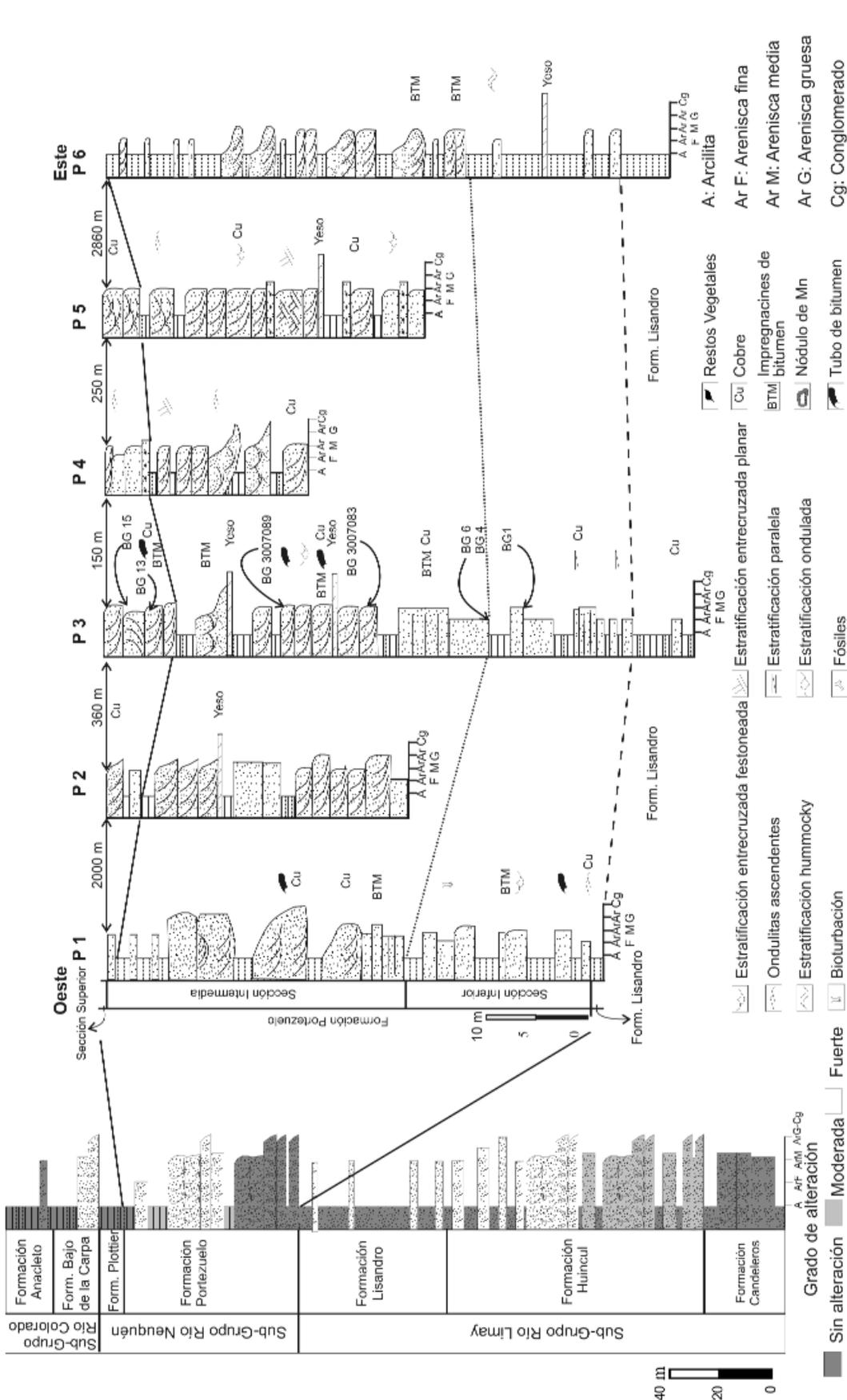


Figura 2: Columnas estratigráficas del Grupo Neuquén (modificada de Giusiano *et al.* 2008) y detalle de las zonas mineralizadas e impregnadas con hidrocarburos (Giusiano 2007). La línea discontinua negra indica el contacto entre la Formación Portezuelo y la Formación Lisandro y la línea negra continua los límites entre las diferentes secciones de la Formación Portezuelo.

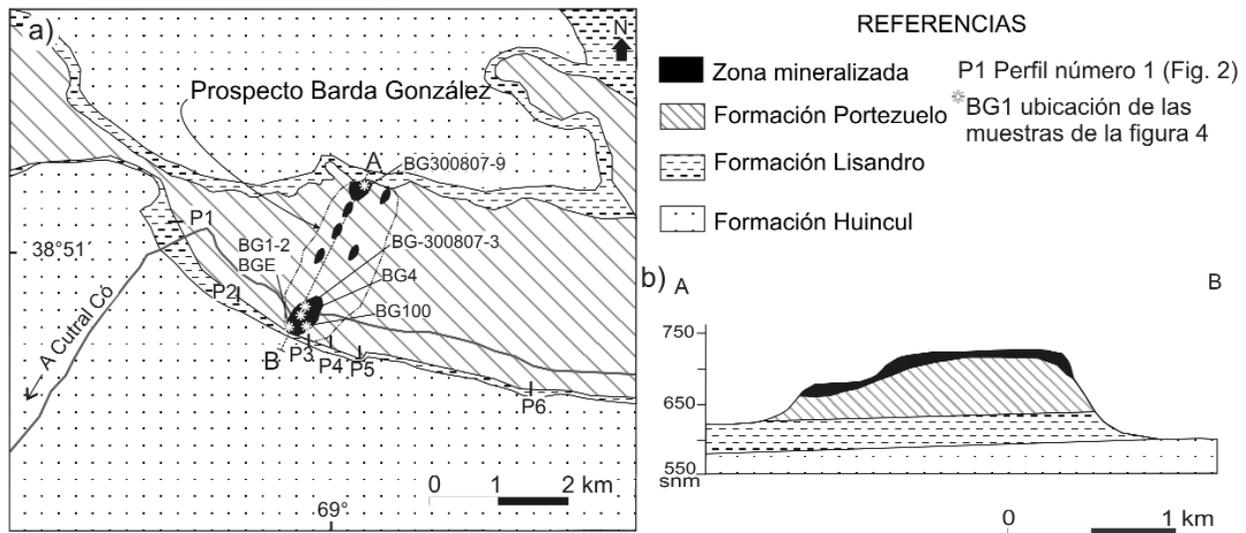


Figura 3: a) Mapa geológico del prospecto Barda González que muestra la ubicación de las zonas mineralizadas, los perfiles estratigráficos de la figura 2 y las muestras analizadas; b) Sección esquemática que muestra la distribución de la mineralización.

de hasta 1 m de espesor. Las areniscas están compuestas por clastos de feldespato (40%), cuarzo (35%), micas (<1%) y líticos volcánicos (0-1%) cementados por illita circungranular y tienen una porosidad de hasta 10% vol. La sección media está integrada por bancos espesos (2,5 a 4 m) de areniscas de grano medio a grueso con estratificación entrecruzada, intercaladas con bancos lenticulares de areniscas conglomerádicas y lentes arcillosos (Fig. 2). Las areniscas están compuestas por feldespatos (45%), cuarzo (30%), líticos carbonáticos (5%) y trazas de micas y turmalina cementados por carbonato (20%). Hay delgadas (5 cm) capas de yeso (anhidrita) horizontales intercaladas entre estas areniscas (Fig. 2). La sección superior contiene areniscas amarillentas de grano medio con estratificación entrecruzada y mayor participación de areniscas de grano fino intercaladas con niveles de arcilitas de hasta 20 cm de espesor (Fig. 2). Las areniscas de grano medio están compuestas por clastos de feldespatos (40%), cuarzo (30%), líticos volcánicos-pelíticos (29%), micas y turmalina (<1%), piritita diagenética (<1%) y relictos de un cemento carbonático (calcita espática) obturando la porosidad primaria y secundaria. Hay un cemento de yeso fibroso (o anhidrita) tardío que tapiza las superficies porales. Las areniscas de gra-

no fino se distinguen de las anteriores por su mayor proporción de micas (2-3%) y la presencia de matriz limolítica (12%). La fracción arcilla de la matriz está compuesta por 70% de interestratificados illita-esmectita con 65-70% de capas expansivas, 5-15% de caolinita, 10-25% de illita y trazas de cloritas. Las arcilitas están compuestas por 50% de illita, 30% de interestratificados illita-esmectita con 70% de capas expansivas y 20% de caolinita. La Formación Portezuelo presenta variaciones litológicas laterales correspondientes al pasaje de una zona con abundante cantidad de canales fluviales en el centro-oeste de la meseta, donde predomina el material arenoso, a una amplia llanura de inundación hacia el este de la meseta donde hay mayor participación de material fangolítico-limolítico (Fig. 2). Las areniscas de las Formaciones Huincul, Lisandro y Portezuelo se clasifican como areniscas feldespáticas (Folk *et al.* 1970). En general, los clastos presentan deformación mecánica (clastos competentes fracturados, de pelitas deformadas y micas flexuradas).

ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN

El potencial del prospecto Barda González fue descrito por Fernández Agui-

lar (1945) quien realizó el primer intento de cubicación de la mineralización de cobre. Granero Hernández y Schmid (1956) llevaron a cabo un estudio geológico-económico del área -denominada en ese momento Puesto González- y determinaron un volumen de 850 m³ con una ley de Cu de 1,68%. A partir del año 1995, distintas empresas mineras (Polimet-MIM; Río Tinto) realizaron más de 10.000 m de sondeos y cubicaron recursos del orden de los 35 millones de toneladas con una ley de 0,37% de Cu.

La mineralización de Cu se observa desde los niveles psamíticos de la base de la Formación Portezuelo, pero es más abundante a partir de la sección media y superior de esta formación (Fig. 2). Se extiende en un frente de 600 m de ancho por 2.000 m de largo en sentido nor-nor-este (Fig. 3a). La roca hospedante es una arenisca blanca grisácea, bien seleccionada y de grano medio a grueso, conglomerádica, compuesta por clastos subangulosos a angulosos de cuarzo, feldespatos, fragmentos líticos, con micas (biotita-muscovita) y turmalina como accesorios. Dentro de un contexto de capas rojas, un rasgo notable de las areniscas de la región es la decoloración dada por la lixiviación del cemento constituido por óxidos e hidróxidos de hierro (Fig. 4a) y por la alteración de feldespatos y líticos a minerales

arcillosos (illita >> caolinita), además de la presencia de hidrocarburos degradados (Figs. 4b y c). Las areniscas muy alteradas son deleznable, muy porosas y presentan clastos en islas (Fig. 4c), con engolfamientos y corrosión y siluetas de clastos marcadas por halos de bitumen debido a la disolución total a parcial de los cementos previos y de los clastos. Algunas areniscas alteradas presentan un cemento carbonático poiquilítico que incluye a los clastos disueltos, a parches del cemento carbonático previo, al bitumen y obtura la porosidad primaria y secundaria (Fig. 4c). Los intraclastos pelíticos y la fracción arcilla de las areniscas con matriz limosa, a diferencia de sus equivalentes no alterados, son blancos a blancos verdosos y carecen o presentan cantidades traza de interstratificados illita-esmectita.

La mineralización de cobre en Barda González se concentra en el centro de los afloramientos de la Formación Portezuelo donde abundan los paquetes arenosos (Figs. 2 y 3). Se encuentra en forma discontinua, con un patrón lenticular siguiendo niveles de areniscas y planos de estratificación con mayor permeabilidad (Fig. 4d). Se presenta como impregnaciones y motas en la arenisca (Fig. 4e) o cortando la estratificación en forma de tubos de escape, nódulos y halos (Fig. 4f, g y h), siempre en contacto con bitumen. También está en el contacto arenisca-intraclastos pelíticos junto con bitumen (Fig. 4i) o diseminada en los sectores donde la arenisca está homogéneamente impregnada por el bitumen. Existen zonas donde los planos de estratificación están impregnados por bitumen y cortados por halos de cobre color. La mena consiste en sulfuros de cobre y hierro tales como calcosina, covellina, pirita y trazas de calcopirita y en minerales supergénicos que en orden de abundancia son malaquita, crisocola, brochantita, azurita, turquesa, con trazas de atacamita y volbortita (Fig. 4j). También hay trazas de psilomelano intersticial y limonita pseudomórfica según pirita. En los cuadros 1 y 2 se brindan las composiciones químicas

de algunos minerales de cobre supergénicos.

En los niveles inferiores de la Formación Portezuelo, por debajo de las zonas más mineralizadas, las areniscas blanqueadas tienen mayor proporción de pirita diseminada (hasta 3% del volumen total de roca) asociada a trazas de calcopirita. Ambos minerales se encuentran intersticiales y en microvenillas rellenando las fracturas de los clastos en las areniscas. La calcosina es más abundante en la sección media donde hay impregnaciones de bitumen y se dispone intersticialmente en granos anhedral con bordes y parches de covellina (Fig. 4k). En la sección superior de la Formación Portezuelo predominan los minerales supergénicos de cobre obturando las porosidades primaria y secundaria o impregnando los intraclastos pelíticos, siempre asociados y en contacto con las motas e impregnaciones de bitumen. Hay areniscas mineralizadas verdes y celestes verdosas debido a la presencia de malaquita (Fig. 4l), azurita, brochantita y atacamita reemplazando al cemento carbonático (hay relictos de calcita). Es frecuente que estos minerales incluyan plumas finas residuales de calcosina (Fig. 4m) y covellina. Otras areniscas mineralizadas son celestes por la presencia de crisocola con trazas de turquesa que reemplazan al cemento de illita o a la matriz arcillosa. En estas zonas mineralizadas el bitumen suele presentar eflorescencias de un mineral amarillo-verdoso (Fig. 4j) laminar a hojoso que de acuerdo con los análisis químicos semicuantitativos (Cuadro 2) y difractogramas de Rayos X podría tratarse de volbortita $-Cu_3[(OH)V_2O_7] \cdot 2H_2O$. Los análisis químicos de la biotita clástica procedente de las areniscas mineralizadas e impregnadas por hidrocarburos presentan valores anormalmente altos de cobre (0,333 a 0,519; Muestra BG2, Cuadro 1).

Bitumen

El bitumen impregna las sedimentitas junto a los minerales de Cu y es más abundante en los niveles más permeables (conglomerados, areniscas de grano me-

dio-grueso, sin matriz; Figs. 4d a i). Presenta color marrón oscuro, brillo grueso y raya marrón clara. Tapiza los bordes y las fracturas de los clastos, rellena los poros de la arenisca (Figs. 4b y c) e incluye parches relictos del cemento carbonático. El bitumen está compuesto esencialmente de resinas, con cantidades subordinadas de saturados, aromáticos y asfaltenos (Fig. 5). Las parafinas normales indican que estos compuestos no han sido atacados por bacterias, en tanto que los biomarcadores aromáticos, con preponderancia de esteranos C_{27} (Fig. 5), sugieren su origen a partir de materia orgánica de origen marino. La parafina normal está dominada por los compuestos C_{14} al C_{18} (Fig. 5), por lo cual la fuente del bitumen debió haber alcanzado alta madurez térmica, cerca del tope de la ventana de generación de petróleo. El bitumen analizado se caracteriza por una relación pristano/fitano entre 1,3 y 1,5, por la abundancia de esteranos C_{27} , de parafinas normales dominadas por C_{14} y C_{18} y por la ausencia de oleanano (Fig. 5, Humble Geochemical Services 2008).

Geoquímica

La concentración de los elementos mayoritarios de las muestras de arcilita, areniscas menos alteradas, arenisca con cemento calcáreo y areniscas con alteración y mineralización se representan en la figura 6 y en el cuadro 3. Las areniscas menos alteradas tienen mayores concentraciones de SiO_2 (66,71-83,88%), Na_2O (2,15-2,95%) y K_2O (1,79-2,79%) y menores concentraciones de CuO (0,025-0,66%) con respecto a sus equivalentes alteradas. La arenisca menos alteradas con cemento calcáreo tiene los valores más bajos de SiO_2 y K_2O y las mayores concentraciones de C (1,92%) y Ca (10,90%), reflejando, por un lado, la presencia de calcita como cemento y, por el otro, la disolución del feldespato potásico. Del grupo de muestras analizadas, la arcilita presenta los contenidos más altos de Al_2O_3 (15%) y K_2O (3,10%), consistente con su mineralogía rica en minerales arcillosos, con illita dominante. Las areniscas mine-

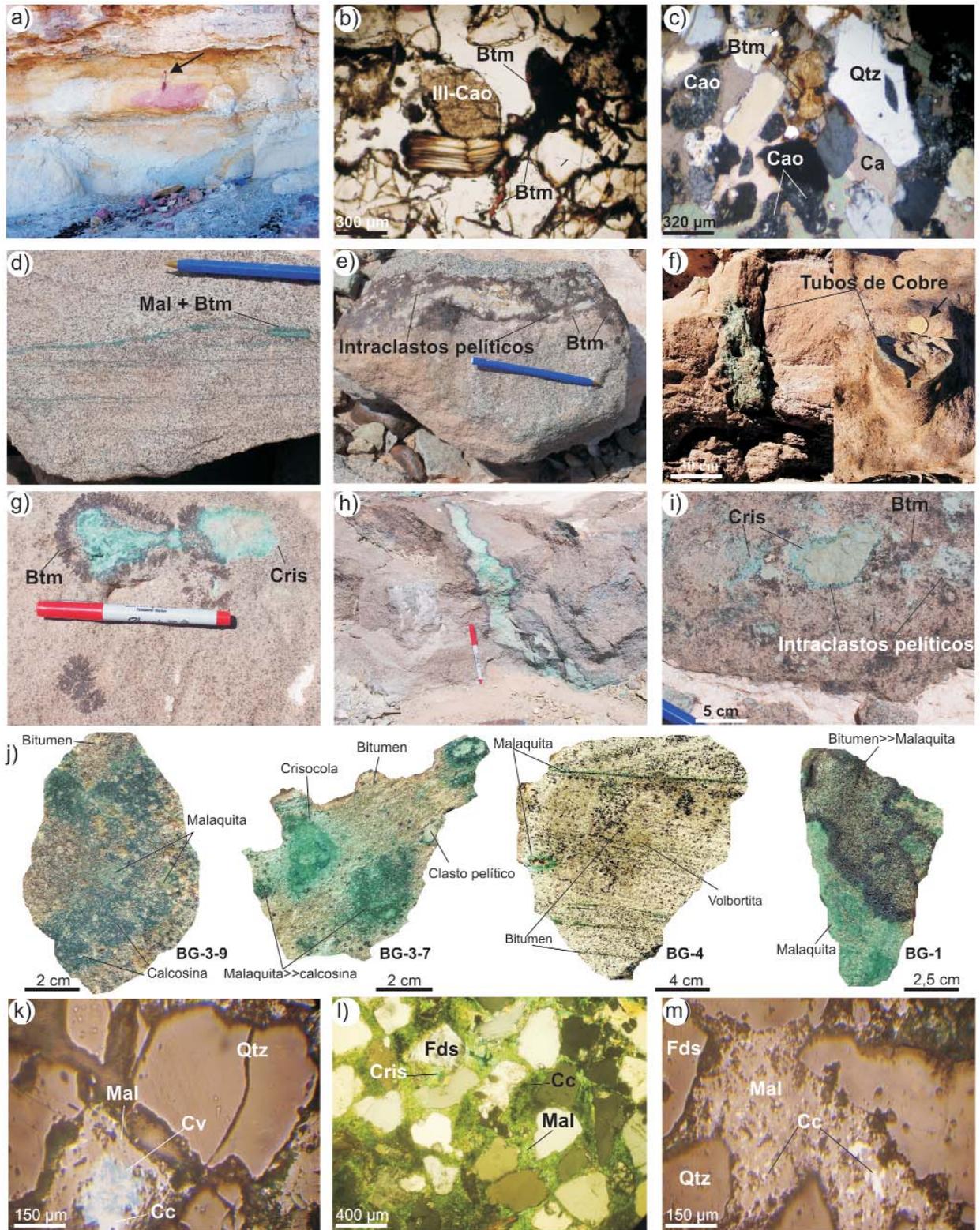


Figura 4: a) Único afloramiento de las sedimentitas alteradas de la Formación Portezuelo en el que se preservan relictos de la arenisca con cemento de óxidos e hidróxidos de hierro. La flecha negra indica la posición de la escala (lapicera); b y c) Fotomicrografías de secciones delgadas que muestran las alteraciones, evidencias de disolución (clastos en islas y corrosión de bordes de granos) y el bitumen; d a i) Fotografías del aspecto de los afloramientos con mineralización e impregnaciones de bitumen; j) Muestras de rocas mineralizadas (BG300807-9, BG300807-3, BG4-1, BG-1), cuyas ubicaciones se brindan en la figura 3a; k a m) Fotomicrografías de secciones delgadas que muestran las texturas de los minerales de cobre (ver explicación en el texto). Btm = bitumen; Ca= calcita Cao= caolinita; Cc= calcosina; Cris = crisocola; Cv = covellina; Ill = illita; Fds = feldespato; Mal= malaquita; Qtz = cuarzo.

CUADRO 1: Composición química de mica incolora, biotita, malaquita, atacamita y brochantita en areniscas mineralizadas

Muestra	BG-2	BG-2	BG-2	BG-2	BG-2	BG-2	BG- E	BG- E	BG- 13	BG- 13	BG- 13	BG- 13	BG- 13	BG- 13
Mineral	Mica incolora		Biotita				Malaquita				Atacamita		Brochantita	
% peso														
SiO ₂	48,81	47,71	32,77	31,00	35,90	35,23	0,12	0,03	n.d.	n.d.	0,01	0,27	0,35	0,13
Al ₂ O ₃	38,23	36,76	18,40	17,50	19,78	18,54	0,03	0,01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
K ₂ O	9,47	8,89	4,27	2,89	3,97	5,09	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Na ₂ O	0,57	0,32	0,11	0,10	0,10	0,10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
CaO	0,01	0,02	0,29	0,33	0,25	0,27	0,01	0,10	0,04	0,04	0,08	0,03	0,02	0,01
TiO ₂	0,64	0,93	2,90	2,66	2,64	3,08	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
MgO	0,77	0,96	9,91	10,41	11,71	12,17	n.d.	n.d.	0,21	0,97	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
1FeO	2,50	2,20	17,50	17,54	15,84	12,83	n.d.	n.d.	0,07	0,01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
MnO	0,00	0,02	0,67	1,24	0,17	0,08	n.d.	n.d.	0,03	0,22	n.d.	n.d.	0,00	0,00
Cl	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	17,18	16,86	n.d.	n.d.
CuO	0,26	0,26	3,11	4,17	2,94	3,46	70,44	67,45	71,88	70,48	57,20	56,33	70,57	75,53
CO ₂	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	16,73	17,01	16,58	16,75	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
SO ₃	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	18,33	19,41
Total	101,26	98,07	89,93	87,84	93,30	90,85	87,33	84,60	88,80	88,48	100,00	100,00	89,28	95,08
Cationes para 22 (O)			22 (O)				4 (O)				1 (Cl)		7 (O)	
Si	6,09	6,09	5,23	5,10	5,39	5,42	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01
Al	5,63	5,61	3,46	3,40	3,49	3,36	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
K	1,51	1,47	0,87	0,61	0,76	1,00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Na	0,14	0,08	0,04	0,03	0,03	0,03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ca	0,00	0,00	0,05	0,06	0,04	0,05	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	0,06	0,09	0,35	0,33	0,30	0,36	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Mg	0,14	0,19	2,34	2,56	2,62	2,79	0,00	0,00	0,01	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	0,26	0,24	2,34	2,42	1,99	1,65	n.d.	n.d.	0,00	0,00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Mn	0,00	0,00	0,09	0,17	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,02	0,03	0,38	0,52	0,33	0,40	2,14	2,06	2,15	2,10	1,86	1,87	3,92	3,95
C	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,93	0,96	0,91	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00
S	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,01	1,01

n.d. = no detectado; 1 = todo el hierro como Fe³⁺

realizadas tiene una correlación negativa del SiO₂, del Na₂O y del K₂O y positiva del C con respecto las concentraciones de CuO, lo cual es coherente con su mineralogía rica en malaquita y con la disolución previa de los clastos. Con respecto a las concentraciones de elementos traza (Cuadro 3), se detectaron anomalías de Mo (810ppm), U (9,43ppm) y Th (40,6 ppm) en las muestras con las mayores concentraciones de Cu (16%) y anomalías de V (127-221ppm) en las muestras que presentan eflorescencias de volbortita e impregnaciones de bitumen.

DISCUSIÓN

La mineralización de cobre en el prospecto Barda González se hospeda en rocas clásticas cretácicas del Grupo Neuquén (Formación Portezuelo), siguiendo los niveles de areniscas de grano medio a

CUADRO 2: Composición de volbortita y crisocola. Análisis químicos semicuantitativos realizados con EDAX

Muestra	BG3-2	BG3-3	BG3-4	BG3-6	BG3-7
Posible mineral	Volbortita*			Crisocola*	
Elementos	At %				
Al -L	13,09	12,62	8,12	12,58	12,58
Si K	12,65	12,59	65,86	64,67	64,67
V K	27,39	27,1	1,8	0,54	0,54
Fe K	2,42	2,5	0,91	1,18	1,18
Cu K	43,97	45,19	22,95	20,77	20,77
Th L	0,2	n/d	0,1	n/d	n/d
U L	0,28		0,26	0,26	0,26
Total	100	100	100	100	100

* Estos minerales se confirmaron en los difractogramas de RX.

grueso y conglomerádicas que demarcan paleocanales fluviales. Las relaciones cronológicas entre los minerales cementantes, el bitumen y la mineralización de Cu permitieron determinar lo siguiente: 1) un primer evento de cementación de illita circungranular y de calcita, 2) alteración y disolución parcial de clastos y disolución de cementos, 3) precipitación de

sulfuros de cobre y hierro en contacto con el bitumen que habría actuado como fuente reductora, 4) un segundo evento de disolución y de cementación carbonática, 5) la alteración supergénica de los sulfuros y de los cementos y sus reemplazos por los carbonatos y silicatos de Cu (con sulfatos, fosfatos y cloruros de Cu), 6) las eflorescencias de volbortita siem-

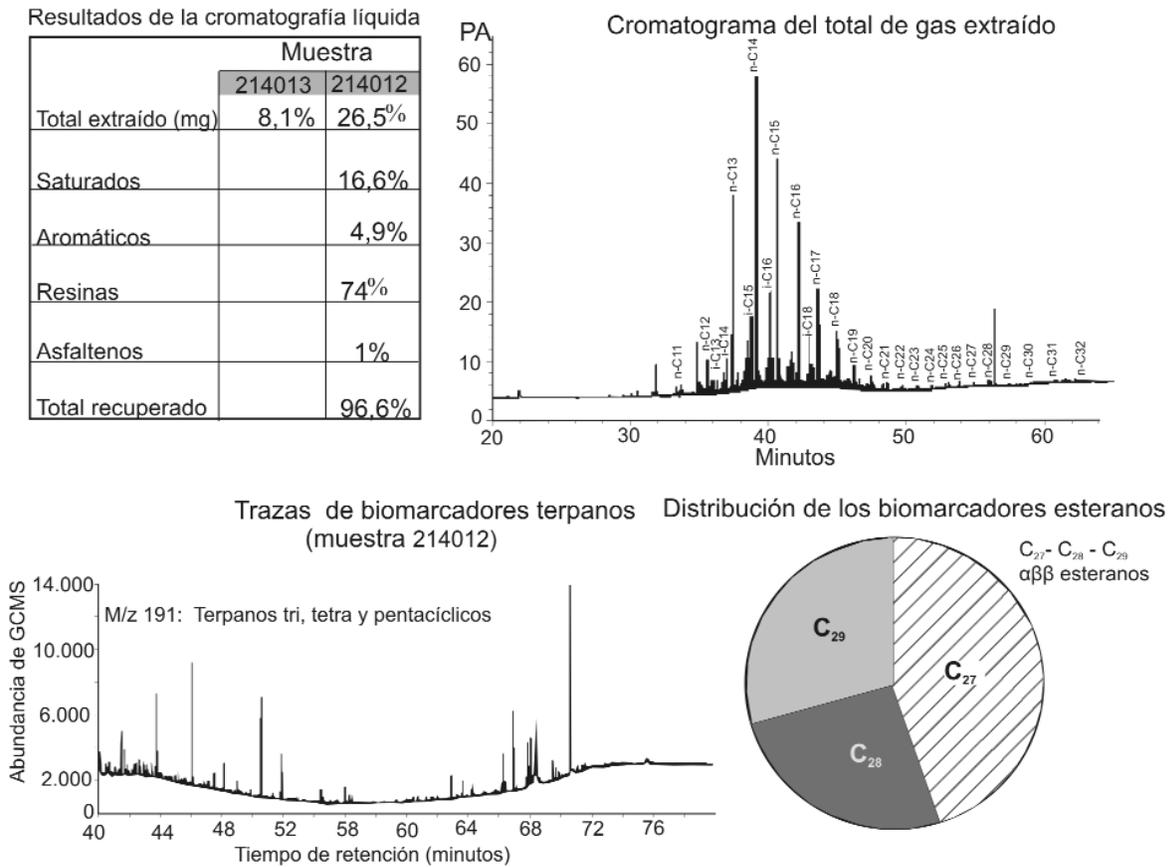


Figura 5: Análisis cromatográfico y de los biomarcadores del bitumen asociado a la mineralización de cobre del prospecto Barda González (muestras analizadas en el laboratorio comercial *Humble Geochemical Services*, en Texas).

pre se hallan en la superficie del bitumen y, finalmente, 7) una precipitación tardía de yeso-anhidrita.

Las rocas sedimentarias de las Formaciones Huincul, Lisandro y Portezuelo, que fueron previamente compactadas mecánicamente (clastos fracturados, flexurados y deformados), cementadas (illita circungranular y cemento carbonático) y enrojecidas durante la diagénesis (Areniscas Coloradas, Gerth 1925) en la región de estudio se presentan decoloradas y alteradas, al igual que en otros prospectos de Cu localizados en la dorsal de Huincul (Giusiano *et al.* 2008) y en rocas sedimentarias localizadas por encima de yacimientos hidrocarbúferos (Shumacher 1996). La alteración de las areniscas es producto del lavado de los óxidos e hidróxidos de hierro, de la disolución del cemento carbonático y de la disolución parcial de los feldspatos y líticos volcá-

nicos y su alteración a argilominerales (illita > caolinita). Estos cambios mineralógicos de las areniscas alteradas se manifiestan también en sus composiciones químicas por la disminución en las concentraciones de SiO_2 , Na_2O y K_2O . La alteración habría generado el aumento de la porosidad y de la permeabilidad de las rocas favoreciendo el pasaje de los fluidos. La presencia de pirita intersticial y calcopirita en los niveles inferiores y de calcosina y covellina en la sección media de la Formación Portezuelo podrían estar esbozando una zonación mineralógica.

La asociación espacial de los minerales de Cu con bitumen, descrita por primera vez por Giusiano *et al.* (2006), sugiere que esta mineralización parece haber tenido lugar a lo largo de la interfaz hidrocarburos/fluidos portadores de Cu. En algunos depósitos de Cu hospedados en rocas sedimentarias de clase mundial, se ha

reconocido la importancia de los hidrocarburos como fuente reductora en la precipitación del Cu (Hiztman *et al.* 2005). Durante la historia geológica de la cuenca Neuquina, los hidrocarburos migraron desde las rocas generadoras (Formaciones Los Molles y Vaca Muerta) hasta su entrapamiento final en los reservorios, a través de canales verticales como las fallas de la dorsal de Huincul (Cruz *et al.* 2002) y/o de estratos permeables (Veiga *et al.* 2002). Estas migraciones se realizaron en varias etapas desde el Cretácico Temprano al Mioceno (Legarreta *et al.* 2003). De acuerdo con los resultados de los análisis cromatográficos, el bitumen que impregna las areniscas mineralizadas del prospecto Barda González es el residuo de la migración de hidrocarburos a gran escala. Estos hidrocarburos se originaron a partir de materia orgánica marina con edades más jóvenes

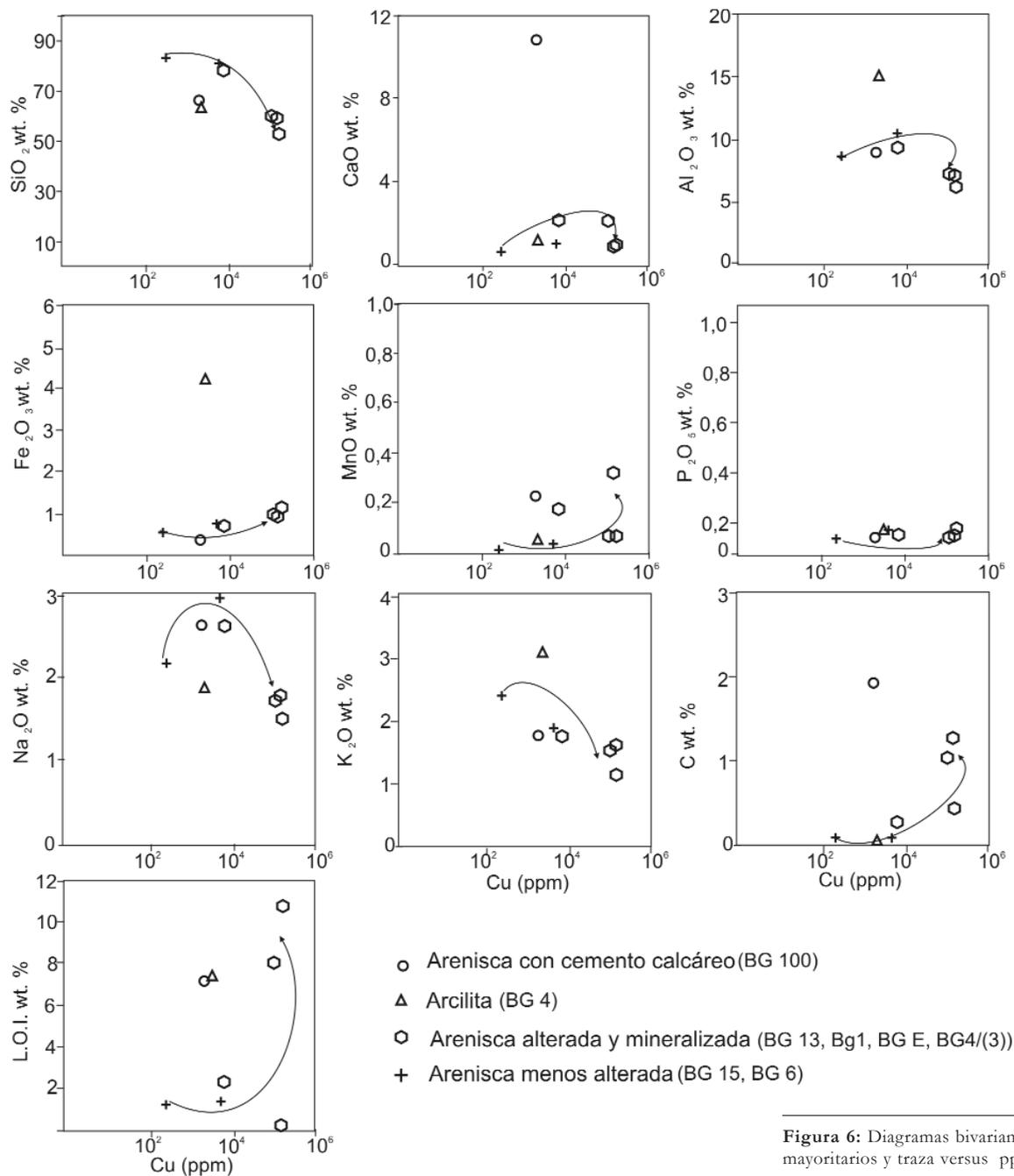


Figura 6: Diagramas bivariantes de elementos mayoritarios y traza versus ppm de cobre.

que el Triásico Inferior pero más antiguas que el Cretácico Superior, intervalo de tiempo que incluye a las Formaciones Los Molles y Vaca Muerta, consideradas las principales rocas generadoras de los sistemas petroleros definidos para la dorsal de Huincul (Legarreta *et al.* 2003, Villar *et al.* 2005).

La migración de los hidrocarburos desde sus fuentes (Formaciones Los Molles y Vaca Muerta) hacia los reservorios a tra-

vés de fallas y fracturas del sistema de la dorsal de Huincul y de los estratos permeables continentales (Formaciones Lajas-Challaco y Tordillo), estuvo acompañada de aguas de formación. En los sistemas petroleros de la cuenca Neuquina estas aguas de formación, que representan un volumen 10 veces mayor que el volumen de hidrocarburos (Surdam *et al.* 1989), tienen concentraciones elevadas de cloruros. En el área de estudio, las aguas de

formación de la roca reservorio de la Formación Lotena contienen entre 60 y 80 g/l de cloruros (Schiuma *et al.* 2002) con predominio de ClNa (Pluspetrol PersCom; Cuadro 4). Con estos porcentajes elevados de cloruros (Hitzman *et al.* 2005), las aguas habrían podido lixiviar el cobre de los estratos continentales rojos subyacentes (Formaciones Tordillo y Centenario, Grupo Neuquén) que en esta región de la dorsal alcanzan ~ 2000m de

CUADRO 3: Análisis químicos de muestras del prospecto de Barda González con distinto grado de alteración

Muestra	BG-15	BG-6	BG-100	BG 4 (2)	BG-1	BG-13	BG-E	BG 4 (3)
% peso								
SiO ₂	80,38	83,88	66,71	63,30	59,63	53,50	60,65	79,81
Al ₂ O ₃	10,30	8,64	8,88	15,02	7,06	6,27	7,15	9,40
Fe ₂ O ₃	0,74	0,56	0,38	4,22	0,82	1,05	0,90	0,68
FeO	< 0,01	< 0,01	0,17	0,45	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
MnO	0,02	0,011	0,23	0,05	0,32	0,07	0,06	0,18
MgO	0,29	0,29	0,35	2,43	0,29	0,28	0,29	0,34
CaO	0,99	0,6	10,90	1,14	0,83	0,91	2,08	2,09
Na ₂ O	2,95	2,15	2,62	1,88	1,75	1,49	1,71	2,59
K ₂ O	1,84	2,39	1,79	3,10	1,60	1,16	1,55	1,78
TiO ₂	0,33	0,143	0,18	0,83	0,18	0,77	0,17	0,29
P ₂ O ₅	0,09	0,06	0,06	0,09	0,07	0,09	0,06	0,08
C	0,06	0,05	1,92	0,06	1,27	0,43	1,03	0,27
S	0,01	0,03	0,02	0,02	0,07	0,32	0,02	< 0,01
LOI	1,33	1,24	7,38	7,25	< 0,01	10,96	8,16	2,37
Total	99,26	99,95	99,64	99,76	70,20	76,55	82,78	99,59
Ppm								
Sc	5	3	3	13	5	8	6	5
Be	2	2	2	5	2	1	1	3
V	25	18	41	221	93	107	83	127
Cr	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Co	3	2	3	18	3	< 1	2	4
Ni	< 20	< 20	< 20	30	< 20	< 20	< 20	< 20
Cu	4860	250	1870	2230	142000	158000	103000	6640
Zn	< 30	< 30	< 30	100	50	< 30	< 30	< 30
Ga	10	8	8	23	7	8	7	10
Ge	2	1	2	3	1	4	1	2
As	< 5	< 5	< 5	8	6	< 5	< 5	17
Rb	77	96	68	164	57	42	57	70
Sr	144	126	151	154	121	86	113	139
Y	45	11	12	37	17	90	36	19
Zr	277	86	132	351	145	674	110	233
Nb	7	4	5	19	4	15	3	6
Mo	< 2	< 2	< 2	15	< 2	810	< 2	5
Ag	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1	< 0,5	< 0,5
In	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Sn	< 1	< 1	3	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Sb	4	2	3	4	2	3	2	4
Cs	4	4	3	15	3	2	3	3
Ba	278	781	1296	765	236	161	217	327
W	1,30	0,60	0,80	2,90	0,70	1,30	0,70	1,00
Tl	1,94	2,04	1,85	4,39	0,40	0,15	0,52	2,03
Pb	25,00	21,00	23,00	16,00	61,00	72,00	49,00	30,00
Bi	0,40	0,10	0,70	0,30	0,60	3,30	1,90	0,20
Th	13,50	5,30	7,07	17,40	6,69	40,60	5,28	10,40
U	3,32	1,18	2,49	6,18	4,78	9,43	2,74	2,59

BG6 y BG15 = areniscas menos alteradas; BG100 = arenisca menos alterada con cemento de calcita; BG 4(2) = arcilita menos alterada; BG-1 = nódulos ricos en bitumen >> malaquita; BG13; BGE y BG 4(4) areniscas mineralizadas con impregnaciones de bitumen.

espesor (Cruz *et al.* 2002). Es importante tener en cuenta que la disponibilidad del Cu en las sedimentitas continentales está relacionada al proceso diagenético de enrojecimiento de los sedimentos tales co-

mo alteración de mafitos, liberación del hierro, del cobre y de otros metales, formación de óxidos-hidróxidos de hierro con el Cu y metales no ferrosos adsorbidos y transformación de óxidos e hidró-

xidos en hematita (Walker 1989).

El azufre necesario para formar los sulfuros de hierro y cobre podría provenir de los mismos estratos rojos continentales que presentan yeso y/o anhidrita como cemento y de algunas formaciones del subsuelo que contienen evaporitas (como por ejemplo la Formación Auquilco que se localiza hacia el engolfamiento de la cuenca). Otra posible fuente podrían ser los hidrocarburos generados en la Formación Vaca Muerta, cuyos querógenos tipo II son ricos en azufre (Villar *et al.* 2005).

Para producir la decoloración de los estratos rojos es necesario que existan fluidos ácidos o reductores que remuevan los óxidos de hierro. Estos fluidos ácidos, H₂S y ácidos orgánicos R-COOH, pueden formarse durante la oxidación de los hidrocarburos al reaccionar con las aguas de formación de las rocas sedimentarias y son capaces de disolver los óxidos de hierro, los carbonatos y alterar los feldspatos (Schumacher 1996, Hitzman *et al.* 2005) como también de producir CO₂ que luego puede incorporarse al sistema como carbonatos tardíos (Schumacher 1996, Wilson *et al.* 2003). El cemento carbonático tardío, que incluye halos de bitumen, podría ser el resultado de la oxidación de los hidrocarburos. Esta cementación tardía es reconocida como una de las alteraciones más comunes asociadas al pasaje de hidrocarburos a través de las rocas (Schumacher 1996, Seewald 2003).

CONCLUSIONES

Es la primera vez que se brindan para esta región estudios de detalle de las alteraciones de las rocas sedimentarias, los eventos de cementación-disolución, impregnación del bitumen y la mineralización de cobre, que permiten establecer sus relaciones cronológicas y determinar las posibles rocas fuentes del bitumen. Los resultados presentados hasta el momento sugieren que los controles de la mineralización de cobre fueron litológicos y estructurales. Por lo tanto, las mi-

CUADRO 4: Composición de las aguas de formación del reservorio Lotena en el yacimiento A. Baguales (Petrolab S.R.L.-PLUSPETROL)

POZO AB 1043					
Cationes		mg/L	meq/L	ppm	Método *
Sodio	Na ⁺	27607,4	1423,49	30064	5.3.28.4
Calcio	Ca ⁺⁺	3888,56	194,428	3570,8	5.3.8.3
Magnesio	Mg ⁺⁺	698,227	57,42	641,16	5.3.18.4
Bario	Ba ⁺⁺	1025	14,9243	941,23	5.3.4.3
Hierro	Fe ⁺⁺	56,4	2,0197	51,791	5.3.16.1
Potasio	K ⁺	299,115	7,65078	274,67	5.3.26.3
Total Cationes		33574,7	1699,93	35544	
Aniones		mg/L	meq/L	ppm	Método *
Cloruros	Cl ⁻	59893,3	1689,18	54998	5.3.10.1
Sulfatos	SO ₄ ⁻	0,0001	2,1E-06	9E-05	5.3.31.2
Alcalinidad					
Bicarbonatos	CO ₃ H ⁻	655,53	10,7464	601,96	5.3.1.2
Carbonatos	CO ₃ ⁻	0	0	0	5.3.1.2
Hidroxilos	OH ⁻	0	0	0	5.3.1.2
Total Aniones		60548,9	1699,93	55600	

* En todos los métodos se hace referencia a la norma API RP 45

graciones de los hidrocarburos y de las aguas de formación ricas en cloruros a través de las fallas de la dorsal de Huincul y estratos permeables, habrían desempeñado un rol muy importante en: 1) la extracción del cobre a partir del lavado de los óxidos e hidróxidos de hierro de los estratos rojos, 2) el transporte del cobre hasta la zonas mineralizadas, 3) la alteración de las areniscas, 4) el aumento de la porosidad y de la permeabilidad de las rocas hospedantes y 5) la precipitación de los sulfuros de cobre y hierro por la acción reductora de los hidrocarburos.

La alteración de los estratos rojos, la presencia de bitumen y la identificación de las posibles vías de migración (fallas y estratos permeables) de los fluidos, son elementos a tener en cuenta en la exploración de este tipo de depósitos en la región.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se desarrolló en el marco de las tareas de investigación del plan de beca Postdoctoral del CONICET. Los autores agradecen la colaboración de la empresa Orión del Sur por el apoyo brindado en las tareas de campo, a la geóloga Meli de la empresa Pluspetrol S.A. por brindar información inédita de las aguas de reservorio de la zona del prospecto, al

Lic. Danieli por la lectura crítica del trabajo y a los Drs. Cesaretti y Carbone por sus excelentes sugerencias que ayudaron a mejorar este manuscrito.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Cazau, L. y Uliana, M. 1973. El Cretácico Superior continental de la Cuenca Neuquina. 5° Congreso Geológico Argentino, Actas 3:131-163.
- Cruz, C. E., Boll, A., Gómez Omil, R., Martínez, E. A., Arregui, C., Gulisano, C., Laffitte, G. A. y Villar, H. 2002. Hábitat de hidrocarburos y sistemas de carga Los Molles y Vaca Muerta en el sector central de la Cuenca Neuquina, Argentina. 5° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas en CD, trabajo 29: 20 p.
- de Ferraris, C. 1968. El Cretácico del norte de la Patagonia. 3° Jornadas Geológicas Argentinas, Actas 1:121-144, Buenos Aires.
- Fernández Aguilar, R. 1945. Los yacimientos de areniscas cupríferas del Neuquén. Dirección de Minas, Geología e Hidrología, Publicación 58: 1-27, Buenos Aires.
- Folk, R.L., Andrews, P.B. y Lewis, D.W. 1970. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand. New Zealand Journal of Geology and Geophysics 13: 937-968.
- Gerth, E. 1925. Estratigrafía y distribución de los

sedimentos mesozoicos en los Andes Argentinos. Academia Nacional de Ciencias, Actas 9(1): 11-55, Córdoba.

- Giusiano, A. 2007. Correlación de los perfiles de Barda González. Informe Empresa Minera Orión del Sur, (inédito), 3 p.
- Giusiano, A., Franchini, M., Impiccini, A. y O'Leary, S. 2006. Mineralización de Cu asociada a bitumen en las areniscas cretácicas, prospección Barda González, Neuquén, Argentina. 11° Congreso Geológico Chileno, Actas 2: 255-258, Antofagasta.
- Giusiano, A., Franchini, M.B., Impiccini, A. y Pons M.J., 2008. Mineralización de Cu en sedimentitas Mesozóicas del Grupo Neuquén y hábitat de los hidrocarburos en la Dorsal de Huincul Neuquén. 17° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 769-770, Salta.
- Granero Hernández, A. y Schmid, J. 1956. Estudio geológico económico de las areniscas cupríferas de la zona de Plaza Huincul. Dirección General de Fabricaciones Militares, Informe 191, 93 p., Buenos Aires.
- Hiztman, M., Kirkham, R., Broughton, D., Thorson, J. y Selly, D. 2005. The Sediment-Hosted Stratiform Copper Ore System. Economic Geology 100th Anniversary Volume: 609-642.
- Legarreta, L. y Gulisano, C.A. 1989. Análisis estratigráfico de la Cuenca Neuquina (Triásico superior-Terciario inferior), Argentina. En Chebli, G. y Spalletti, L. (eds.) Cuencas Sedimentarias Argentinas. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Tucumán, Serie Correlación Geológica 6: 221-243, Tucumán.
- Legarreta, L., Gulisano, C.A. y Uliana, M.A. 1993. Las secuencias Sedimentarias Jurásico-Cretácicas. En Ramos, V.A. (ed.) Geología y Recursos Naturales de Mendoza. Relatorio del 12° Congreso Geológico Argentino, 87-114. Mendoza.
- Legarreta, L., Cruz, C., Vergani, G., Laffitte, G. y Villar, H. 2003. Source Rocks, Reserves and Resources in the Neuquén Basin, Argentina: Mass Balance Approach and Exploratory Potential. International Congress and Exhibitions of the AAPG, American Association of Petroleum Geologists, Bulletin 87(13): 1-10, Barcelona.
- Lyons, W. 1999. Las areniscas cupríferas del Neuquén. En Zappettini E. (ed.) Recursos Minerales de la República Argentina. Instituto de

- Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Anales 35: 1149-1158, Buenos Aires.
- Ploszkiewicz, J.V., Orchueta, J.C., Vaillard, R.F. y Viñes, R.F. 1984. Compresión y desplazamiento lateral en la zona de Falla Huincul, estructuras asociadas, Provincia del Neuquén. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 163-169, San Carlos de Bariloche.
- Ramos, V.A. 1975. Los ciclos sedimentarios y biorhexistacia en el control de las manifestaciones cupríferas del Neuquén extraandino, Argentina. 2° Congreso Ibero-Americano de Geología Económica, Actas, 5: 373-394.
- Ramos, V.A. 1981. Descripción geológica de la Hoja 33c. Los Chuhuidos Norte. Servicio Geológico Nacional Boletín 182: 1-103, Buenos Aires.
- Schioma, M., Saavedra, C., Malone, P., Cevallos, M., Rebori, L. y Vergani G. 2002. Los reservorios del Gupo Lotena. Argentina. En Schioma, M., Hinterwimmer, G. y Vergani, G. (eds.) Rocas Reservorios de las Cuenas Productivas de la Argentina. Cuenca Neuquina, Grupo Lotena. 5° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos: 303-334, Mar del Plata.
- Schumacher, D. 1996. Hydrocarbon-induced alteration of soils and sediments. En Schumacher, D. y Abrams, M. (eds.) Hydrocarbon migration and its near surface expression, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 66: 71-89.
- Seewald, J.S. 2003. Organic-inorganic interactions in petroleum-producing sedimentary basins. *Nature* 426: 327-333.
- Silvestro, J. y Zubiri, M. 2008. Convergencia oblicua: Modelo estructural alternativo para la Dorsal neuquina (39° S)-Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63 (1): 49-64.
- Surdan, R., Crossey, L., Hagan, E. y Heasler, H. 1989. Organic-inorganic sandstone diagenesis. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 73: 1-23.
- Uliana, M.A., Dellapé, D.A. y Pando, G.A. 1975. Estratigrafía de las sedimentitas rayosianas (Cretácico inferior de las provincias de Neuquén y Mendoza). 2° Congreso Ibero-Americano de Geología Económica, Actas 1: 177-196, Buenos Aires.
- Veiga, R., Pángaro, F. y Fernández, M. 2002. Modelo bidimensional y migración de Hidrocarburos en el ámbito occidental de la Dorsal de Huincul, Cuenca Neuquina, Argentina. 6° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas en CD, Mar del Plata.
- Villar, H.J., Legarreta, L., Cruz, C., Laffite, G.A. y Vergani, G. 2005. Los cinco sistemas petroleros coexistentes en el sector sudeste de la Cuenca Neuquina: Definición geoquímica y comparación a lo largo de una transecta de 150 km. 7° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas en CD, Mar del Plata.
- Walker, T. 1989. Application of diagenetic alterations in red beds to the origin of copper in stratiform copper deposits. En Boyle, R., Brown, A., Jefferson, C., Jowett, E. y Kirkham, R. (eds.) *Sediment-hosted Stratiform Copper Deposits*. Geological Association of Canada, Special Paper 36: 85-96.
- Wilson, N., Zentilli, M. y Spiro, B. 2003. A sulfur, carbon, oxygen and strontium isotope study of the volcanic-hosted El Soldado mantle-type copper deposit, Chile: the essential role of bacteria and petroleum. *Economic Geology* 98: 163-174.

Recibido: 04 de septiembre, 2008

Aceptado: 01 de marzo, 2009