

NEOTECTÓNICA Y VOLCANISMO MONOGENÉTICO CUATERNARIO SOBRE EL SEGMENTO CENTRAL DEL LINEAMIENTO CALAMA OLACAPATO TORO, NO ARGENTINO

Raúl SEGGIARO^{1,2}, Silvina GUZMÁN^{1,3}, Ricardo PEREYRA⁴, Mariana COPPOLECCHIA⁵ y Marcelo CEGARRA⁶

¹IBIGEO, Universidad Nacional de Salta-CONICET, Salta. E-mail: ruliseggiaro@yahoo.com.ar

²Servicio Geológico y Minero Argentino, Delegación Salta.

³Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera, CSIC, Barcelona.

⁴Universidad Nacional de Salta, Salta.

⁵Servicio Geológico y Minero Argentino, Delegación Córdoba.

⁶Servicio Geológico y Minero Argentino, Sede central Buenos Aires.

RESUMEN

Se describen dos secciones de depósitos cuaternarios en los alrededores de San Antonio de los Cobres en la Puna salteña que permiten relacionar la neotectónica del tramo central del lineamiento Calama - Olacapato - Toro con el magmatismo básico cuaternario emitido en la región. La sección del paraje Corte Blanco, al este de San Antonio de los Cobres, está integrada por depósitos de abanicos aluviales con abundante aporte de cenizas basálticas y la del área de Chorrillos, al OSO de San Antonio de los Cobres, por una sucesión de depósitos de oleadas piroclásticas e ignimbritas de composición basáltica con evidencias de interacción agua-magma. La composición mineral del material piroclástico es similar a la que registran las lavas de los volcanes monogenéticos cuaternarios Negro de Chorrillos y San Gerónimo, emplazados en las cercanías. Ambas secciones presentan evidencias de licuefacción (interpretadas aquí como sismitas) y se encuentran afectadas por fallas transcurrentes e inversas, oblicuas al rumbo NO-SE del lineamiento Calama - Olacapato - Toro y consistentes con una cinemática regional sinistral. Finalmente, en base a las relaciones de campo observadas, se propone al volcán Negro de Chorrillos como el centro de emisión de los depósitos piroclásticos aquí descriptos y que su actividad habría sido disparada por movimientos neotectónicos.

Palabras clave: *Puna, deformación cuaternaria, volcanismo monogénico, Andes Centrales, hidrovulcanismo*

ABSTRACT

Neotectonics and Quaternary monogenetic volcanism above the central segment of the Calama Olacapato Toro lineament, NW Argentina

Two sections of quaternary deposits in the vicinity of San Antonio de los Cobres at the Puna of Salta are described. These deposits allow relating neotectonics of the central segment of the Calama - Olacapato - Toro lineament with the basic quaternary magmatism erupted in the region. The paraje Corte Blanco section, east of San Antonio de los Cobres, consists of alluvial fan deposits with abundant supply of basaltic ashes and the Chorrillos area section, WNW of San Antonio de los Cobres, is represented by a succession of basaltic pyroclastic deposits of surges and ignimbrites that indicate magma-water interaction. The observed mineralogy of the pyroclastic deposits is similar to that recorded at the lavas of the quaternary monogenetic volcanoes Negro de Chorrillos and San Gerónimo, located in the vicinity. Both sections show evidences of liquefaction (interpreted here as seismites) and they are affected by transcurrent and reverse faults which are oblique to the NW-SE strike of the Calama - Olacapato - Toro lineament and are consistent with regional sinistral kinematics. Finally, on the basis of the observed field relationships, we suggest the Negro de Chorrillos volcano as the emission center of the described pyroclastic deposits and that its activity may have been triggered by neotectonic movements.

Keywords: *Puna, quaternary deformation, monogenetic volcanism, Central Andes, hydrovolcanism*

INTRODUCCIÓN

El lineamiento Calama - Olacapato - Toro (Viramonte *et al.* 1984, Salfity 1985) constituye un rasgo morfoestructural de

rumbo NO-SE del noroeste argentino que tuvo diversas interpretaciones sobre su origen e implicancia tectónica y magmática durante el ciclo andino (e.g., Riller *et al.* 2001, Matteini *et al.* 2002, Petrino-

vic *et al.* 2010, Acocella *et al.* 2011, Lanza *et al.* 2013, Norini *et al.* 2013, Giordano *et al.* 2013).

En la mayoría de los casos, su traza está integrada por segmentos de fallas discon-

tinuos y paralelos, que van desde la localidad de Calama en Chile, hasta la sierra de Castillejo, al sureste de la ciudad de Salta, atravesando la Puna de Atacama, la Puna Argentina y la Cordillera Oriental.

La región aquí estudiada corresponde al tramo central del lineamiento Calama - Olacapato - Toro ubicado en la Puna salteña, entre el abra de Chorrillos y Corte Blanco (Los Patos) (Fig. 1).

La columna estratigráfica está compuesta por leptosedimentitas del Complejo Puncoviscana (Turner 1960, Zimmermann 2005), sedimentitas y volcanitas ordovícicas del Grupo Santa Victoria, granitoides ordovícicos de la Formación Oire (Turner 1964), depósitos continentales cretácicos de *sin rift* del Subgrupo Pírgua (Reyes y Salfity 1973) y paleógenos de *post rift* de los Subgrupos Balbuena (Turner 1959) y Santa Bárbara (Moreno 1970) pertenecientes al Grupo Salta (Turner 1959), sedimentitas paleógenas y neógenas del Grupo Pastos Grandes (Turner 1964), volcanitas miocenas y volcanitas y sedimentitas pleistocenas (Fig. 2).

La traza del lineamiento Calama - Olacapato - Toro interrumpe en forma abrupta las sierras de Tanque, Cobres y Muñano elongadas según rumbos meridianos (Fig. 1). Estas sierras constituyen el reflejo topográfico de un sistema de corrimientos con doble vergencia caracterizado por la inversión tectónica de fallas normales cretácicas y la reactivación de fallas paleozoicas (Hongn *et al.* 2010, Seggiaro *et al.* 2010). La magnitud de los desplazamientos generados por las fallas y corrimientos de rumbo N-S y la recurrencia que ellas tuvieron durante su larga historia geológica contrasta con los desplazamientos observados sobre las fallas que siguen el rumbo del lineamiento Calama - Olacapato - Toro. En efecto, las fallas de rumbo NO-SE comprendidas entre el abra de Chorrillos y San Antonio de los Cobres (Fig. 1) son, en la mayoría de los casos, tramos reactivados de fallas antiguas con desplazamientos sobre depósitos cuaternarios que no superan los 5 metros.

Los registros de desplazamientos normales y transcurrentes en depósitos volcáni-

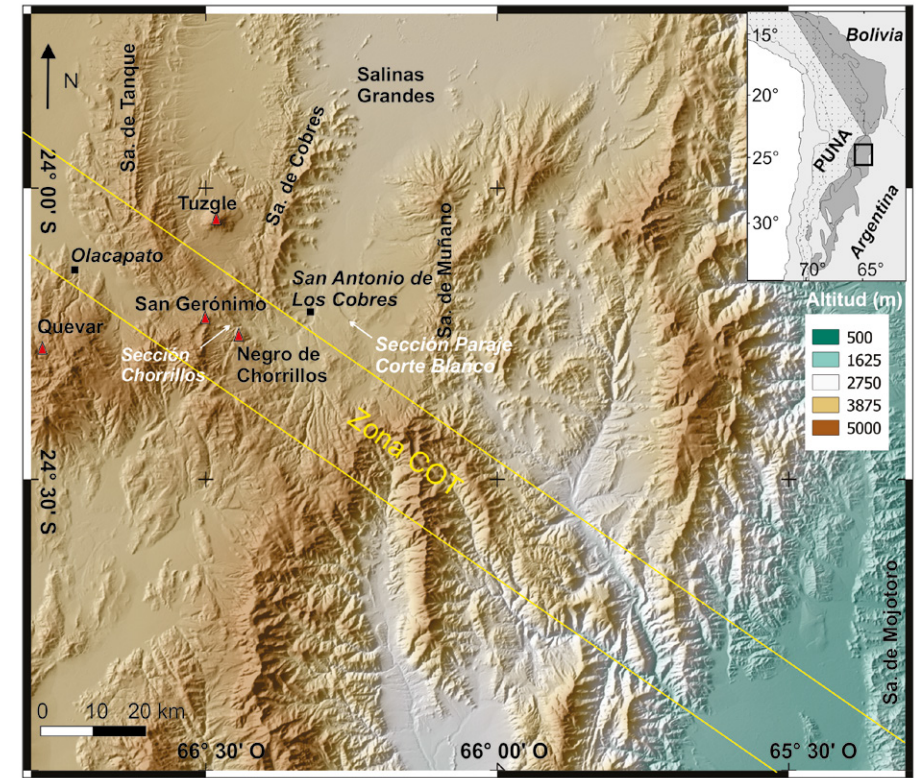


Figura 1: Imagen de modelo de elevación digital, donde se marca la zona del lineamiento Calama - Olacapato - Toro (COT) y de localidades y accidentes geográficos mencionados en el texto. El recuadro en el cuadrante superior derecho indica la ubicación de la zona de estudio.

cos y sedimentarios modernos (Petrinovic *et al.* 2006, Lanza *et al.* 2013, Giordano *et al.* 2013) indican la existencia de una actividad tectónica cuaternaria a lo largo del lineamiento Calama - Olacapato - Toro que habría disparado las erupciones que dieron lugar a los centros volcánicos más recientes (Petrinovic y Colombo Piñol 2006).

En este trabajo se presentan nuevas evidencias que vinculan los movimientos neotectónicos relacionados al lineamiento Calama - Olacapato - Toro con el volcanismo monogenético cuaternario, representado en el área estudiada por los volcanes San Gerónimo y Negro de Chorrillos (Fig. 1).

GEOLOGÍA DEL CUATERNARIO EN LAS CERCANÍAS DE SAN ANTONIO DE LOS COBRES

Las cuencas cuaternarias de la Puna corresponden a sistemas endorreicos in-

dependientes con nivel de base en los salares. Sus depósitos están mayoritariamente integrados por aportes de abanicos aluviales surcados por canales fluviales efímeros y con facies distales de lagos evaporíticos. En la presente contribución enfocamos las observaciones en depósitos inconsolidados de abanicos aluviales cuaternarios con intercalaciones de niveles de cenizas volcánicas basálticas retrabajadas ubicados en el paraje Corte Blanco (Fig. 1) y con intercalaciones de depósitos volcánicos basálticos primarios aflorantes en las cercanías de Chorrillos (Sección Chorrillos en figura 1). Ambas secciones fueron seleccionadas debido a que registran evidencias de neotectónica relacionada con el volcanismo basáltico cuaternario de la región.

Sección del paraje Corte Blanco

Al este de San Antonio de los Cobres (Figs. 1 y 2) se desarrolla un sistema de abanicos aluviales con poca pendiente y extendido aproximadamente 5 km des-

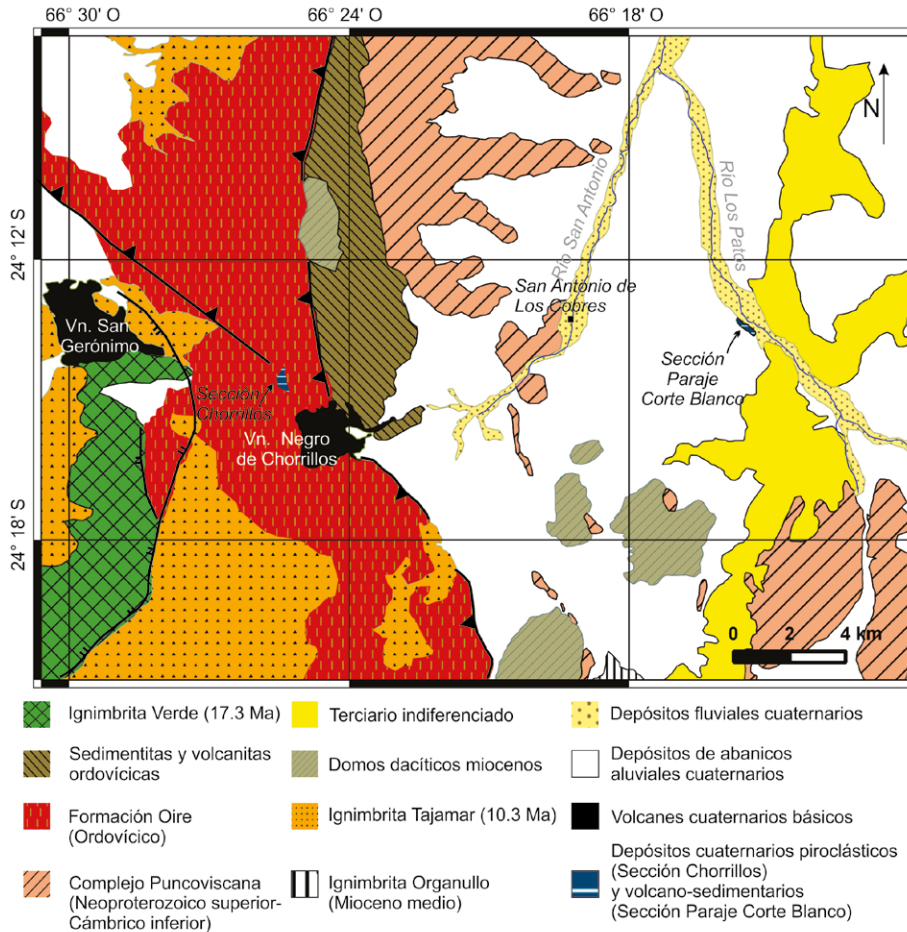


Figura 2: Mapa geológico regional con la ubicación de las secciones del paraje Corte Blanco y Chorrillos.

de del frente montañoso. La extensión y las características morfológicas de estos abanicos son acordes con sistemas deposicionales de frentes montañosos tectónicamente estables o con ascenso lento (Burbank y Anderson 2001). Están incididos por tributarios del río San Antonio cuyo nivel de base corresponde a las Salinas Grandes de Jujuy. El río Los Patos es el tributario de mayor longitud (Fig. 2). Los depósitos aluviales están integrados en forma dominante por conglomerados polimícticos gruesos que varían rítmicamente de clasto soportados a bancos con matriz areno limosa. Los bancos de conglomerados son en su mayoría lenticulares con arreglos de estructuras internas cruzadas de bajo ángulo y en artesa. Los clastos mayores varían entre 10 cm y 20 cm de diámetro, predominan los de formas tabulares subredondeados y se encuentran a menudo imbricados, mos-

trando un régimen de flujo tractivo con dirección de paleocorriente hacia el oeste. La composición de los clastos es variada, pero contiene una proporción mayoritaria de leptometamorfitas provenientes del Complejo Puncoviscana.

En las proximidades del paraje Corte Blanco (Figs. 1 y 2), la parte media a superior de la secuencia conglomerádica es interrumpida por la intercalación de areniscas finas y areniscas conglomerádicas finas a medianas. Estas areniscas resaltan por su tonalidad negruzca otorgada por el abundante contenido de cenizas basálticas retrabajadas que integran la matriz. Los bancos de areniscas, de 4 m y de 2 m de espesor están separados por 1,5 m de conglomerados medianos masivos de color castaño. Presentan estructuras internas laminares paralelas, en artesas y entrecruzadas de bajo ángulo. La laminación interna está configurada en ma-

yor proporción por areniscas finas con intercalaciones de conglomerados integrados por clastos aplanados de 0,2 a 1 cm de diámetro. Se destaca la presencia de clastos subredondeados dispersos con tamaños comprendidos entre 3 y 5 cm de diámetro que, en algunos casos, distorsionan la laminación interna. En el conjunto arenoso y de coloración gris oscuro resalta la intercalación de bancos pelíticos claros de 5 a 10 cm de espesor, que muestran estructuras de expulsión de agua, microplegues e inyección de material fino en los niveles arenosos adyacentes (Fig. 3 a, b y c). Estas estructuras aisladas y desorganizadas, generadas por una fase fluidizada de material fino, obliteran y se superponen a las estructuras sedimentarias deposicionales, adoptando rasgos específicos de licuefacción.

Los niveles conglomerádicos que se encuentran debajo de las areniscas están deformados por un sistema de fallas inversas planares de bajo ángulo (ver Cuadro 1, puntos 1-3), vergentes al este con desplazamientos que van de pocos centímetros hasta alcanzar los 5 metros (Fig. 4a). En algunos sectores los conglomerados que integran el mismo abanico aluvial, están cortados por sistemas de fallas transcurrentes sinestras de alto ángulo con componente normal (Fig. 4b) (ver Cuadro 1, puntos 4 y 5). Las fallas que cortan los estratos conglomerádicos están selladas por las areniscas con cenizas basálticas suprayacentes.

Sección del área de Chorrillos

En los alrededores del volcán Negro de Chorrillos afloran depósitos estratificados integrados exclusivamente por piroclastos juveniles y fragmentos líticos de basamento, intercalados en sucesiones conglomerádicas cuaternarias.

Los componentes piroclásticos juveniles están dominados por cenizas basálticas vesiculares y no vesiculares y por cristolitos. Se disponen en intercalaciones de bancos masivos con bancos laminados de composición similar (Fig. 5). Los depósitos laminados están integrados por cenizas y lapilli medianamente seleccionados

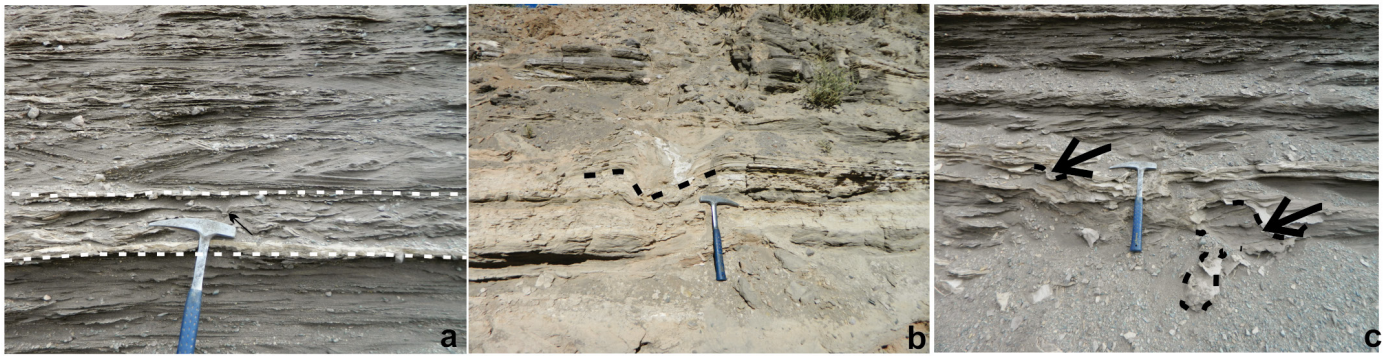


Figura 3: Fotografías de las estructuras de licuefacción en el depósito de abanico aluvial con cenizas basálticas de la sección del paraje Corte Blanco: micropliegues e inyección de material fino en areniscas. a) se resaltan en líneas de puntos las capas que registran estas estructuras; b-c) se indican en líneas de puntos los micropliegues.

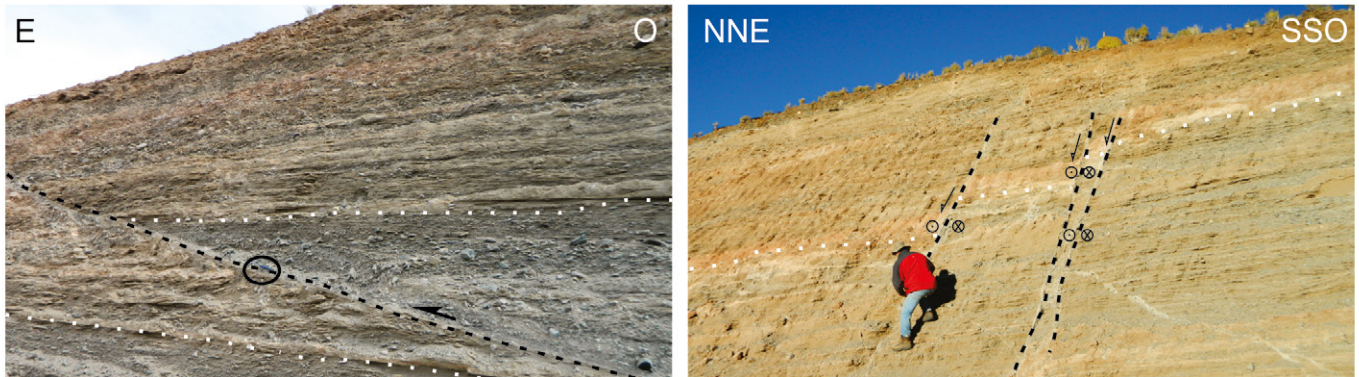


Figura 4: Fallas en el depósito de abanico aluvial del área del paraje Corte Blanco. Las trazas de los planos de falla se marcan en líneas de puntos negras, las de las bases de estratos correlacionables en líneas de puntos blancas: a) Falla inversa vergente al este; en círculo se marca una piqueta como referencia de escala; b) Fallas transcurrentes sinestrales.

dispuestos en estructuras internas paralelas (Fig. 6a) y cruzadas con inclinaciones que varían entre 30° y 45° (Fig. 6b) Se destaca también la presencia de ondulaciones asimétricas.

Los depósitos masivos no poseen estructura interna evidente (Fig. 6c), la matriz está compuesta exclusivamente por piroclastos juveniles (cenizas y cristaloclastos) y presentan participación dispersa de fragmentos líticos angulosos (15% en vol.) de 0,5 a 1 cm de diámetro de granitoides pertenecientes a la Formación Oire (Méndez *et al.* 1973) de edad ordovícica (ver Bahlburg *et al.* 2016 y trabajos ahí citados).

En la sucesión aflorante se registraron 10 niveles con laminación interna que varían entre 0,20 y 1 m de espesor y 2 bancos masivos, uno en la parte media de la columna de 0,80 m y otro en el techo de la secuencia de 1 m de espesor (Fig. 5). En

CUADRO 1: Datos estructurales de fallas encontradas en las secciones paraje Corte Blanco y Chorrillos.

| | Planos de Falla | | Estrías | | movimiento |
|--------------------------|-----------------|-----|---------|-----|------------------|
| | DBz | Bz | DBz | Bz | |
| | 1 | 230 | 40 | | inverso |
| | 2 | 265 | 20 | | inverso |
| Área Paraje Corte Blanco | 3 | 300 | 30 | | inverso |
| | 4 | 235 | 60 | 307 | sinistral-normal |
| | 5 | 210 | 90 | 300 | sinistral |
| Área Chorrillos | 6 | 247 | 44 | | inverso |
| | 7 | 180 | 20 | | inverso |

la mitad inferior de la columna intercalan conglomerados aluviales gruesos de composición variada dispuestos en sucesión grano y estrato decreciente (Fig. 5) que erosionan y canalizan los estratos piroclásticos basálticos.

Los bancos piroclásticos se disponen en relación de *onlap* sobre un paleo-relieve (Fig. 6d) labrado al norte del volcán Negro de Chorrillos. El conjunto se encuentra plegado formando un sinclinal simé-

trico suave (Fig. 7) al que se asocian fallas inversas (Fig. 8 a, b) con vergencia hacia el NE (Cuadro 1) que muestran desplazamientos de escasos centímetros a 3 metros.

Sobre la secuencia piroclástica se apoya en continuidad estratigráfica un banco de areniscas conglomerádicas finas con gradación inversa que presenta abundante contenido de material piroclástico re-trabajado. En este banco se identificaron es-

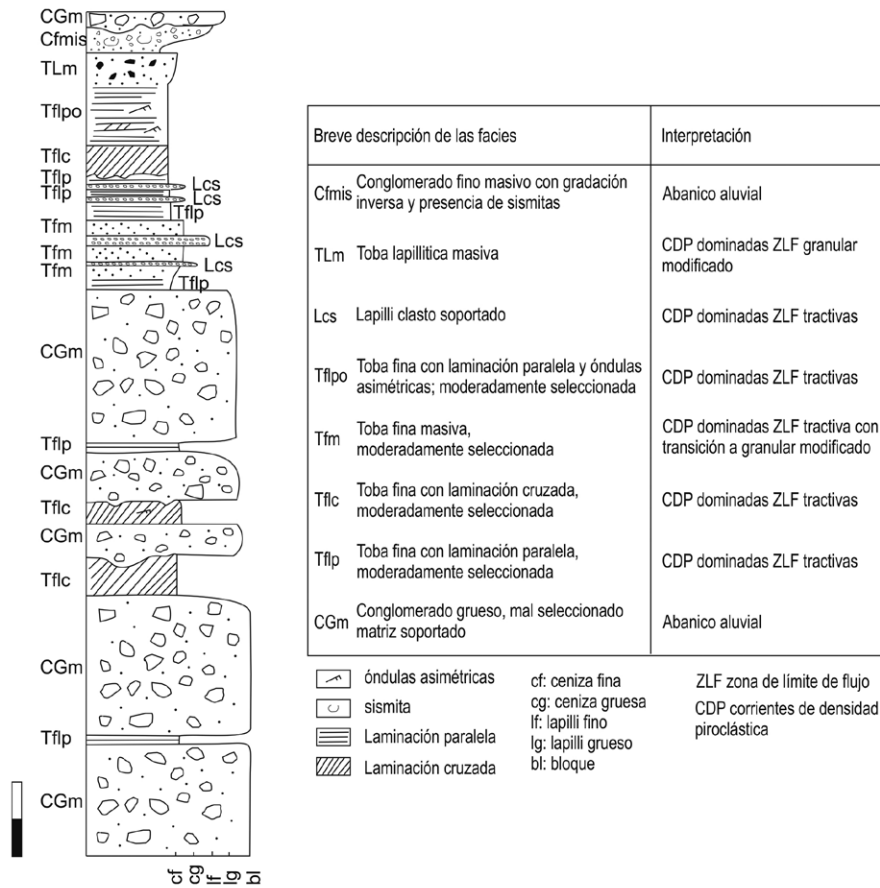


Figura 5: Columna litológica de los depósitos piroclásticos primarios de la sección Chorrillos y las intercalaciones sedimentarias. Para las facies sedimentarias se debe interpretar la granulometría equivalente a la de las facies piroclásticas.

estructuras de licuefacción en facies plásticas fluidificadas (Fig. 9 a, b) que intruyen las rocas circundantes, similares a las observadas en el área del paraje Corte Blanco. A los fines de caracterizar genéticamente y de evaluar la procedencia de los depósitos piroclásticos se realizaron análisis granulométricos y composicionales

a partir de material tamizado con mallas entre 14 y 120 (Cuadro 2).

La variación granulométrica muestra una grano selección mediana donde los fragmentos más gruesos corresponden exclusivamente a líticos de composición granítica y metamórfica mientras que el material volcánico aparece en granulo-

metrías menores. La fracción más gruesa de estos últimos corresponde a fragmentos de basaltos vesiculados y redondeados y a medida que disminuye la granulometría predominan cristales individuales de piroxenos (clinopiroxenos y ortopiroxenos), feldespatos y xenocristales de cuarzo (Cuadro 2).

Dado que los cristales de cuarzo y feldespato aparecen en todas las fracciones granulométricas no fue posible identificar con exactitud su procedencia detrítica y/o volcánica. Estos cristales se presentan medianamente redondeados, lo que sugiere un posible proceso de desgaste por abrasión durante el transporte tractivo o un redondeamiento por procesos de inestabilidad debido a su carácter de xenocristales.

DISCUSIÓN

La presencia de depósitos piroclásticos basálticos intercalados en secuencias sedimentarias cuaternarias en los alrededores de San Antonio de los Cobres abre la discusión acerca de su génesis, primaria o secundaria y de su procedencia.

La estratificación cruzada con inclinaciones de láminas que varían entre 30° y 45°, la presencia de clastos angulosos del basamento con tamaños mayores que los de las cenizas, la grano selección moderada y con fuertes variaciones entre láminas, constituyen argumentos favorables para atribuir a los depósitos basálticos descritos en la sección del área de Chorrillos una génesis volcánica primaria a partir de flujos piroclásticos. El origen de

CUADRO 2: Análisis modal y granulométrico de depósitos de oleadas piroclásticas de la sección Chorrillos. Se usan las abreviaturas de Whitney y Evans (2010).

| Phi (Φ) | Peso (g) | % (en peso) | Análisis modal | | | | % en peso inferido de minerales/rocas | | | | Observaciones |
|---------|----------|-------------|----------------|----|-------|---------|---------------------------------------|-----|-------|---------|---|
| | | | Qz, Fsp, L | Px | Micas | Basalto | Qz, Fsp, L | Px | Micas | Basalto | |
| -0,5 | 1,52 | 2,4 | 100 | 0 | 0 | 0 | 2,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | Ausencia de material volcánico |
| 0,75 | 1,25 | 2,0 | 97 | 0 | 3 | 0 | 1,9 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | Basaltos redondeados y vesiculares con cristales de plagioclasa |
| 1,5 | 5,61 | 8,8 | 40 | 0 | 0 | 60 | 3,5 | 0,0 | 0,0 | 5,3 | Primeros cristales de origen volcánico (Opx, Cpx) |
| 2 | 14,23 | 22,3 | 30 | 10 | 0 | 60 | 6,7 | 2,2 | 0,0 | 13,4 | Opx>Cpx (algunos euédrales) |
| 2,5 | 22,81 | 35,7 | 35 | 15 | 0 | 50 | 12,5 | 5,4 | 0,0 | 17,8 | Xenocristales de cuarzo con coronas de reacción |
| 3 | 15,85 | 24,8 | 30 | 35 | 0 | 35 | 7,4 | 8,7 | 0,0 | 8,7 | Totalidad de material volcánico (fragmentos de basaltos y cristales: Px, xenocristales de Qz y Fsp) |
| >3 | 2,66 | 4,2 | 30 | 50 | 0 | 20 | 1,2 | 2,1 | 0,0 | 0,8 | |

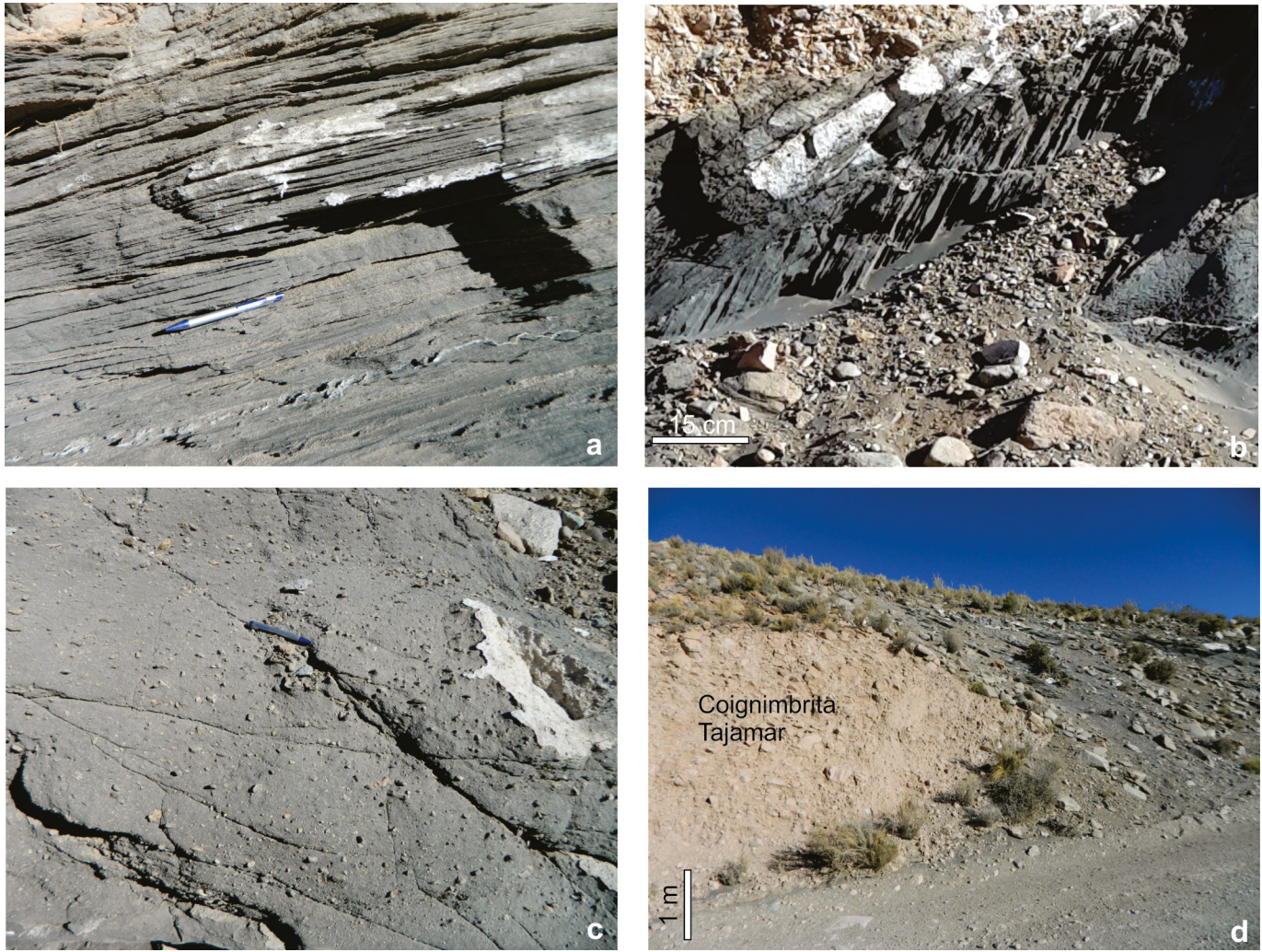


Figura 6: Detalles de los depósitos piroclásticos de la sección Chorrillos: a) surges con laminación paralela; b) surges con laminación cruzada de alto ángulo (40°); c) ignimbrita con fragmentos líticos de granitoides ordovícicos; d) bancos piroclásticos dispuestos en onlap sobre la Ignimbrita Tajamar.

las tobas finamente laminadas y de las tobas lapillíticas masivas podría explicarse a partir de erupciones freatomagmáticas generadas al entrar en contacto un magma básico con un cuerpo de agua superficial o un acuífero alojado en los granitoides de la Formación Oire. En este sentido, estudios estructurales llevados a cabo en zonas próximas (entre Tocomar y el volcán Tuzgle) y en rocas de edad similar revelan la existencia de una intensa fracturación de los granitoides de la Formación Oire (Giordano *et al.* 2013). El grado de fracturación aumenta considerablemente en la región atravesada por la faja del lineamiento Calama - Olacapato - Toro, donde la permeabilidad secundaria de los granitoides constituye la prin-

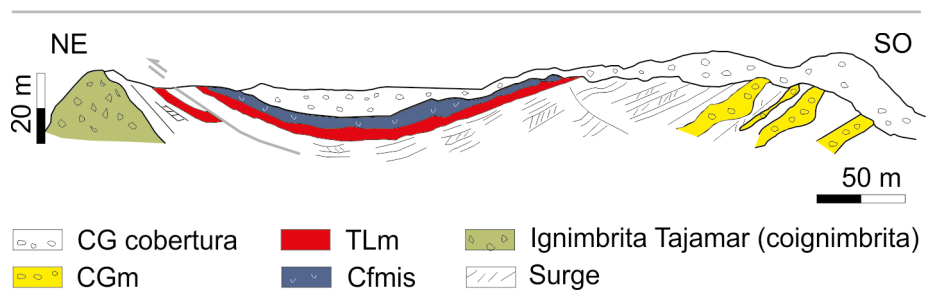


Figura 7: Perfil esquemático de la sección Chorrillos. Las capas forman un sinclinal abierto con una falla inversa en su flanco oriental. CG cobertura: conglomerado grueso de cobertura; CG: conglomerado grueso masivo; TLm: toba lapillítica masiva; Cfmis: conglomerado fino masivo con gradación inversa y presencia de sismitas.

cipal vía de circulación de fluidos magmáticos y de aguas termales (Giordano *et al.* 2013). Un ejemplo de ello lo constituye la emisión de flujos piroclásticos a partir de explosiones freáticas en Tocomar, des-

criptos por Petrinovic *et al.* (2005) y Petrinovic y Colombo Piñol (2006). Dadas estas condiciones, se interpreta que la interacción agua - magma habría incrementado la explosividad de volca-

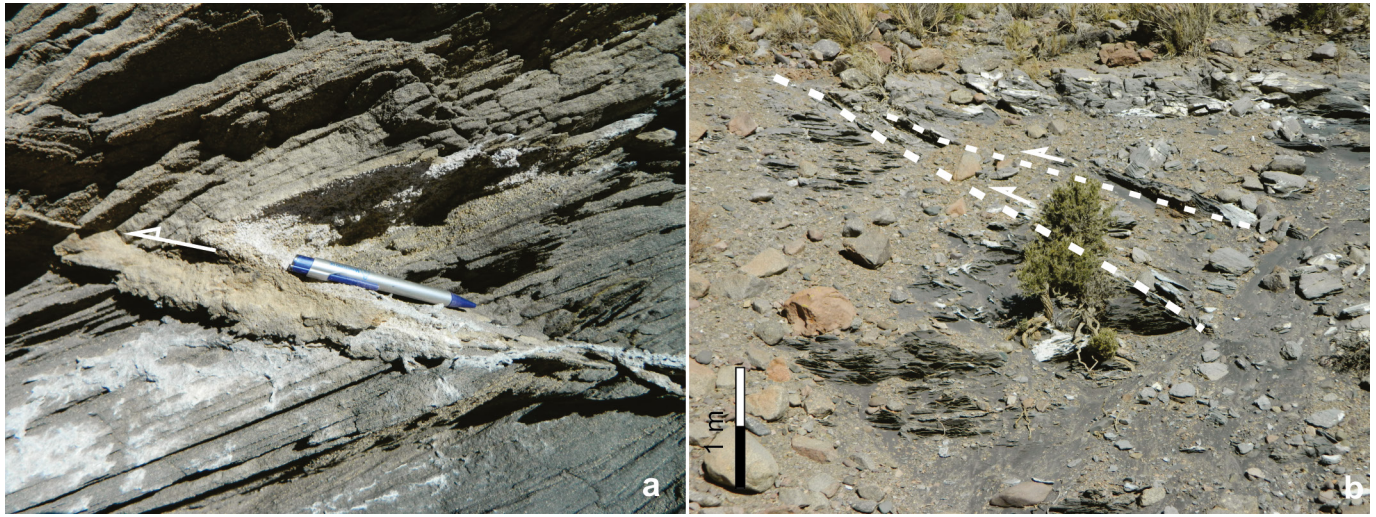


Figura 8: Fallas inversas en los depósitos piroclásticos de la sección Chorrillos: a) Falla con desplazamiento de pocos centímetros en un banco de surge; b) Fallas con desplazamiento de varios metros en el flanco oriental del sinclinal.



Figura 9: Estructuras de sismitas en un banco con cenizas retrabajadas apoyado sobre los depósitos piroclásticos de la sección Chorrillos: a) Vista general con la ubicación de las sismitas; b) Detalle de las sismitas.

nes básicos monogenéticos, dando como resultado la generación de oleadas piroclásticas rasantes y flujos concentrados producidos por el colapso de columnas eruptivas de poca altura. Las características de estos depósitos incluyen la presencia de ceniza fina que representan una elevada fragmentación del magma e intercalaciones de capas masivas con otras finamente estratificadas.

Weinstein (2007), Dufek *et al.* (2015) y Harp y Valentine (2015) describen ejemplos similares, que involucran la transición desde erupciones estrombolianas a freatomagmáticas en volcanes monoge-

néticos.

Respecto a la procedencia de los depósitos piroclásticos, los posibles centros de emisión cuaternarios de composición basáltica más próximos a los afloramientos estudiados corresponden a los volcanes monogenéticos San Gerónimo y Negro de Chorrillos.

Los estudios mineralógicos resultaron insuficientes para discriminar la procedencia de los depósitos piroclásticos entre uno de estos dos volcanes. El volcán Negro de Chorrillos fue estudiado en detalle por Urquizo Furlán (2012), quien diferenció unidades de lavas, depósitos de

colapsos y otras unidades que integran el cono de escoria, acumuladas en tres fases eruptivas que van de estrombolianas a hawaianas. Está compuesto por lavas porfídicas con fenocristales y microfenocristales de olivino, clinopiroxeno, ortopiroxeno, flogopita y xenocristales de cuarzo y feldespato (Deruelle 1991, Urquizo Furlán 2012). Esta composición es similar a la de las lavas del volcán San Gerónimo (olivino, ortopiroxeno, clinopiroxeno, hornblenda, flogopita y xenocristales de feldespato y cuarzo), descritas petrográficamente por Deruelle (1982, 1991). No obstante la similitud minera-

lógica entre ambos volcanes, la presencia exclusiva de fragmentos líticos angulosos de la Formación Oire en los depósitos aquí estudiados, constituye un argumento para sugerir al volcán Negro de Chorrillos como probable centro de procedencia. En efecto, la roca de caja donde se emplaza el aparato volcánico Negro de Chorrillos está integrada por la Formación Oire, mientras que el volcán San Gerónimo está alojado en el interior de la caldera Aguas Calientes, donde la roca de caja está integrada por potentes depósitos de ignimbritas (Petrinovic *et al.* 2010), ausentes como líticos en los depósitos de Chorrillos. Otro argumento a favor del volcán Negro de Chorrillos como centro de emisión consiste en la proximidad y disposición de los depósitos piroclásticos en un valle directamente comunicado con dicho volcán. Por el contrario, el volcán San Gerónimo está separado de estos depósitos por una barrera topográfica que supera los 1000 m de altura y además no se encontraron afloramientos similares en los valles que lo circundan.

Las lavas emitidas por el volcán San Gerónimo se encauzan en un valle fluvial aún activo que erosionó a los depósitos piroclásticos aquí estudiados mostrando una marcada diferencia temporal entre ambos volcanes.

Esta relación resulta contradictoria con las edades radiométricas que sitúan al volcán Negro de Chorrillos con $0,45 \pm 0,10$ Ma (En Linares y González 1990), $0,20 \pm 0,15$ Ma (Schwab y Lippolt 1974) o $0,20 \pm 0,08$ Ma (Aquater 1980) como más joven que el San Gerónimo, datado en $0,78$ Ma $\pm 0,10$ Ma (Aquater 1979), lo que podría indicar que el volcán San Gerónimo tuvo pulsos eruptivos anteriores y posteriores al volcán Negro de Chorrillos.

Por otra parte, las areniscas oscuras con alta proporción de matriz basáltica intercaladas en abanicos aluviales inactivos del paraje Corte Blanco, al este de San Antonio de los Cobres, revelan un fuerte aporte de cenizas a la cuenca, que por su proximidad, composición y yacencia en niveles cuaternarios antiguos, son correlacionables con los depósitos piroclásticos de Chorrillos.

El importante aporte de cenizas volcánicas a los depósitos sedimentarios habría provocado una modificación en el régimen del abanico aluvial del paraje Corte Blanco, con la generación de facies finas que interrumpieron las secuencias conglomerádicas tractivas.

Estas observaciones permiten concluir que además de lavas y piroclastos balísticos descritos en trabajos anteriores (Derruelle 1991, Urquiza Furlán 2012), la actividad volcánica del Negro de Chorrillos registra depósitos de flujos piroclásticos reducidos y de dispersión aérea de cenizas posteriormente retrabajadas.

Las características morfológicas y de escalas de las estructuras de licuefacción y la granulometría de las capas fluidizadas intercaladas en los depósitos piroclásticos primarios de Chorrillos y retrabajados del paraje Corte Blanco presentan similitud con los diseños de sismitas descritos por Montenat *et al.* (2007) y Moretti y van Loon (2014). Esta analogía induce a atribuir el origen de las estructuras de licuefacción registradas a bruscas vibraciones en los sedimentos generadas por la migración de ondas sísmicas correspondientes a una actividad neotectónica sincrónica con el volcanismo.

La tectónica cuaternaria como disparador de la actividad volcánica a lo largo del lineamiento Calama - Olacapato - Toro fue documentada en la región por Petrinovic (1999) y Petrinovic y Colombo Piñol (2006). Al suroeste de San Antonio de los Cobres, Petrinovic *et al.* (2006) y Lanza *et al.* (2013) describieron fallas que cortan depósitos sedimentarios modernos y lavas del volcán Negro de Chorrillos. La cinemática de estas fallas obtenida por Lanza *et al.* (2013) es similar a la calculada por Schurr *et al.* (1999) para eventos sísmicos recientes con epicentros ubicados pocos km al sudeste del área de estudio. Las escasas fallas menores registradas en los depósitos cuaternarios, en este trabajo, no son suficientes para elaborar un modelo cinemático confiable, no obstante, se destaca que a partir de su integración como parte de un mismo sistema tectónico (Fig. 10) las mismas resultan, en forma preliminar, coincidentes

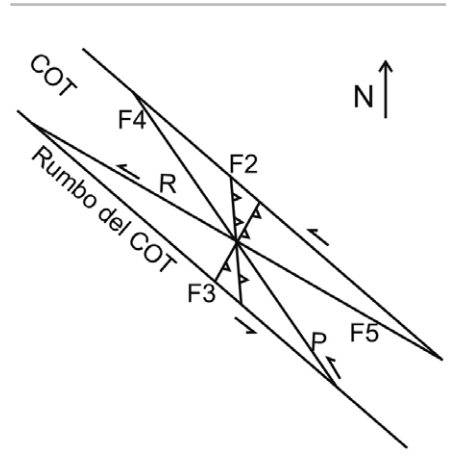


Figura 10: Esquema estructural en la sección del paraje Corte Blanco. Las orientaciones de fallas menores transcurrentes e inversas son consistentes con un modelo sinistral según el rumbo general del lineamiento Calama - Olacapato - Toro (COT). Con la letra F seguida de un número se indican los números de las fallas correspondientes al Cuadro 1.

con el modelo transcurrente sinistral obtenido por Petrinovic *et al.* (2006) y Giordano *et al.* (2013) para el tramo central del lineamiento Calama - Olacapato - Toro.

CONCLUSIONES

En este trabajo se reconoce por primera vez la existencia de depósitos de corrientes de densidad piroclásticos basálticos cuaternarios primarios y retrabajados provenientes del volcán Negro de Chorrillos, localizado sobre el lineamiento Calama - Olacapato - Toro, al sudoeste de San Antonio de los Cobres. Los depósitos piroclásticos primarios se disponen en una sucesión de cuerpos laminados correspondientes a oleadas piroclásticas y masivos correspondientes a ignimbritas dispuestos al sudoeste del volcán Negro de Chorrillos. Los depósitos retrabajados se encuentran en las proximidades del paraje Corte Blanco.

Ambas series de depósitos registran evidencias de actividad neotectónica previa, contemporánea y posterior a su emisión, resumidas en la presencia de fallas selladas por bancos con abundante aporte de cenizas basálticas en el área del paraje Corte Blanco, sismitas intercaladas en estos mismos bancos y en bancos suprayacentes a los flujos piroclásticos de Cho-

rrillos y en fallas inversas que cortan y pliegan estos últimos depósitos.

En forma preliminar el conjunto de familias de fallas pre y pos volcánicas registradas revelan una cinemática transcurrente sinistral consistente con los resultados obtenidos por otros autores (Petrinovic *et al.* 2010, Lanza *et al.* 2013, Norini *et al.* 2013) para el lineamiento Calama - Olacapato - Toro a nivel regional.

AGRADECIMIENTOS

Esta contribución fue realizada en el marco del Proyecto PNUD ARG 07/008 ejecutado por el Servicio Geológico Minero Argentino en el área Concordia - La Poma de la Puna Argentina. Se agradece a los proyectos CIUNSa N° 2085/0 y PICT 419-2012. Se agradece al Dr. Viramonte y a un revisor anónimo por las valiosas sugerencias aportadas al manuscrito.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Acocella, V., Gioncada, A., Omarini, R., Riller, U., Mazzuoli, R. y Vezzoli, L. 2011. Tectonomagmatic characteristics of the back-arc portion of the Calama-Olapato-El Toro Fault Zone, Central Andes. *Tectonics* 30: doi: 10.1029/2010TC002854.
- Aquater 1979. Estudio del potencial geotérmico de la Provincia de Jujuy, República Argentina, Fase de reconocimiento. Secretaría de Estado de Minería, Contrato Saipen Argentina S.A.- Gobierno de Jujuy, 129 p., Jujuy.
- Aquater 1980. Exploración geotérmica del área del Cerro Tuzgle. Provincia de Jujuy, República Argentina. Secretaría de Estado de Minería, Argentina (Inédito), 170 p., Buenos Aires.
- Bahlburg, H., Berndt, J. y Gerdes, A. 2016. The ages and tectonic setting of the Faja Eruptiva de la Puna Oriental, Ordovician, NW Argentina. *Lithos* 256-257: 41-54.
- Burbank, D.W. y Anderson, R.S. 2001. *Tectonic geomorphology*. Blackwell Science, 273 p., Oxford.
- Deruelle, B. 1982. Petrology of the Plio-Quaternary volcanism of the South-Central and Meridional Andes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 14: 77-124.
- Deruelle, B. 1991. Petrology of quaternary shoshonitic lavas of northwestern Argentina. En: Harmon, R. S. y Rapela, C. W. (eds.), *Andean magmatism and its tectonic setting*. Geological Society of America Special Paper 265: 201-216, Colorado.
- Dufek, J., Esposti Ongaro, T. y Roche, O. 2015. Pyroclastic Density Currents: Processes and Models. En: Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S., Rymer, H. y Stix, J. (eds.), *The encyclopedia of volcanoes second edition*. Elsevier, 631-648, Amsterdam.
- Giordano, G., Pinton, A., Cianfarra, P., Baez, W., Chiodi, A., Viramonte, J., Norini, G. y Groppelli, G. 2013. Structural control on geothermal circulation in the cerro Tuzgle-Tocomar geothermal volcanic area (Puna plateau, Argentina). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 249: 77-94.
- Harp, A.G. y Valentine, G.A. 2015. Shallow plumbing and eruptive processes of a scoria cone built on steep terrain. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 294: 37-55.
- Hongn, F., Mon, R., Petrinovic, I., Del Papa, C. y Powell, J. 2010. Inversión y reactivación tectónicas Cretácico-Cenozoicas en el Noroeste Argentino: Influencia de las heterogeneidades del basamento Neoproterozoico-Paleozoico inferior. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 66: 38-53.
- Lanza, F., Tibaldi, A., Bonali, F.L. y Corazzato, C. 2013. Space-time variations of stresses in the Miocene-Quaternary along the Calama-Olapato-El Toro Fault Zone, Central Andes. *Tectonophysics* 593: 33-56.
- Linares, E. y González, R.R. 1990. Catálogo de edades radimétricas de la República Argentina 1957-1987. Asociación Geológica Argentina, Publicaciones Especiales Serie B, Didáctica y Complementaria 19, 628 p., Buenos Aires.
- Matteini, M., Mazzuoli, R., Omarini, R., Cas, R. y Maas, R. 2002. The geochemical variations of the upper Cenozoic volcanism along the Calama-Olapato-El Toro transversal fault system in central Andes (~24°S): petrogenetic and geodynamic implications. *Tectonophysics* 345: 211-227.
- Méndez, V., Navarini, A., Plaza, D. y Viera, V. 1973. Faja Eruptiva de la Puna Oriental. 5° Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 89-100, Carlos Paz.
- Montenat, C., Barrier, P., Ott d'Estevou, P. y Hibsich, C. 2007. Seismites: an attempt at critical analysis and classification. *Sedimentary Geology* 196: 5-30.
- Moreno, J.A. 1970. Estratigrafía y paleogeografía del Cretácico superior en la cuenca del noroeste argentino, con especial mención de los Subgrupos Balbuena y Santa Bárbara. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 25: 9-44.
- Moretti, M. y van Loon, A.J. 2014. Restrictions to the application of "diagnostic" criteria for recognizing ancient seismites. *Journal of Paleogeography* 3:162-173.
- Norini, G., Báez, W., Becchio, R., Viramonte, J., Giordano, G., Arnosio, M., Pinton, A. y Groppelli, G. 2013. The Calama-Olapato-El Toro fault system in the Puna Plateau, Central Andes: geodynamic implications and stratovolcanoes emplacement. *Tectonophysics* 608: 1280-1297.
- Petrinovic, I.A. 1999. La Caldera de colapso del cerro Aguas Calientes, Salta; República Argentina; evolución y esquema estructural. *Acta Geológica Hispana* 34: 243-255.
- Petrinovic, I.A. y Colombo Piñol, F. 2006. Phreatic to phreatomagmatic eruptions in the Tocomar volcanic centre, Puna, Argentina. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 158: 37-50.
- Petrinovic, I.A., Arnosio, J.M., Alvarado, G.E. y Guzmán, S. 2005. Erupciones freáticas sintectónicas en el campo geotérmico de Tocomar, Salta. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60:132-141.
- Petrinovic, I.A., Riller, U., Brod, J.A., Alvarado, G. y Arnosio, M. 2006. Bimodal volcanism in a tectonic transfer zone: evidence for tectonically controlled magmatism in the southern Central Andes, NW Argentina. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 152: 240-252.
- Petrinovic, I.A., Martí, J., Aguirre-Díaz, G.J., Guzmán, S., Geyer, A. y Salado Paz, N. 2010. The Cerro Águas Calientes caldera, NW Argentina: an example of a tectonically controlled, polygenetic collapse caldera, and its regional significance. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 194: 15-26.
- Reyes, F.C. y Salfity, J.A. 1973. Consideraciones sobre la estratigrafía del Cretácico (Subgrupo Pirgua) del noroeste argentino. 5° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 355-385, Carlos Paz.
- Riller, U., Petrinovic, I., Ramelow, J., Strecker, M.R. y Onken, O. 2001. Late Cenozoic tec-

- tonism, collapse caldera and plateau formation in the Central Andes. *Earth and Planetary Science Letters* 188: 299-311.
- Salfity, J.A. 1985. Lineamientos transversales al rumbo andino en el noroeste argentino. 4° Congreso Geológico Chileno, Actas 2: 119-137, Antofagasta.
- Schurr, B., Asch, G., Rietbrock, A., Kind, R., Pardo, M., Heit, B. y Monfret, T. 1999. Seismicity and average velocities beneath the Argentine Puna Plateau. *Geophysical Research Letters* 26: 3025-3028.
- Schwab, K. y Lippolt, H. 1974. K-Ar mineral ages and Late Cenozoic history of the Salar de Cauchari Area (Argentine Puna). *International Association Volcanism Geochem Earth Interior Proceedings*: 697-714, Santiago.
- Seggiaro, R., Becchio, R., Ramallo, E. y Bercheñi, V. 2010. Hoja Geológica 2366 - III Susques. Programa Nacional de Carta Geológica de la República Argentina 1:250.000 SEGEMAR-IGRM, Boletín 348, 98 p, Buenos Aires.
- Turner, J.C.M. 1959. Estratigrafía del cordón de Escaya y de la sierra Rinconada. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 15: 15-39.
- Turner, J.C.M. 1960. Estratigrafía de la sierra de Santa Victoria, provincias de Salta y Jujuy. *Academia Nacional de Ciencias* 41: 163-196, Córdoba.
- Turner, J.C.M. 1964. Descripción geológica de la hoja 2c Santa Victoria (provincias de Salta y Jujuy). *Boletín del Instituto de Geología y Minería* 104, 83 p., Buenos Aires.
- Urquiza Furlán, P. 2012. Mecanismos de erupción y modelo de facies del volcán monogenético Negro de Chorrillos, Puna salteña. Tesis de grado, Universidad Nacional de Salta (inédita), 119p., Salta.
- Viramonte, J.G., Galliski, M., Araña Saavedra, V., Aparicio, A., García Cacho L. y Escorza, M. 1984. El finivulcanismo básico de la depresión de Arizaro, Provincia de Salta, República Argentina. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 234-251, Buenos Aires.
- Weinstein, Y. 2007. A transition from strombolian to phreatomagmatic activity induced by a lava flow damming water in a valley. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 159: 267-284.
- Whitney, D.L. y Evans, B. W. 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist* 95: 185-187.
- Zimmermann, U. 2005. Provenance Studies of very low to lowgrade metasedimentary rocks of the Puncoviscana Complex, northwest Argentina. En: Vaughan, A.P.M., Leat, P.T. y Pankhurst, R.J. (eds) *Terrane processes at the margins of Gondwana*. Geological Society of London, Special Publication 246: 381-416, London.

Recibido: 14 de diciembre, 2015

Aceptado: 30 de junio, 2016