

ESTRUCTURA Y NEOTECTÓNICA DE LAS LOMAS DE OLMEDO, ZONA DE TRANSICIÓN ENTRE LOS SISTEMAS SUBANDINO Y DE SANTA BÁRBARA PROVINCIA DE SALTA

Victor A. RAMOS¹, Ricardo N. ALONSO² y Manfred STRECKER³

¹ Laboratorio de Tectónica Andina, Universidad de Buenos Aires, CONICET.

Email: andes@gl.fcen.uba.ar

² Secretario de Minería. Facultad de Ciencias Naturales, Departamento de Geología, Universidad Nacional de Salta (rналonso@sinectis.com.ar)

³ Institut für Geowissenschaften, Universität Potsdam (strecker@geo.uni-potsdam.de)

ABSTRACT: *Structure and neotectonics of the Lomas de Olmedo, a transition zone between the Subandean and Santa Bárbara Systems, province of Salta.*

The present study shows evidence of neotectonic deformation in the Northwestern Argentina region of Lomas de Olmedo, province of Salta. This region is located in the orogenic front at 24°S latitude and encompasses a transition zone between the Sierras Subandinas to the north, a thin-skinned belt with east vergence, or Subandean System sensu stricto, and a southern segment corresponding to the Santa Bárbara System produced by tectonic inversion of normal faults with west vergence. Between this two segments of different behavior are the Lomas de Olmedo, which have a complex array of active faults. Paleogene deposits of the sag phases produced during thermal subsidence of the Salta rift system, and Neogene synorogenic deposits related to the Andean uplift are folded and thrust on the Quaternary deposits of the El Chorro Formation of Quaternary age. The ¹⁴C ages from gastropod shells from this unit belonging to *Pomacea canaliculata* yielded an age of $7,962 \pm 45$ BP years for these deposits. The reverse faults with east vergence indicate a shortening rate for most of the Holocene of 2.34 mm/a for the tectonic thrust front in the transition zone between the two fold and thrust belts of the Subandean area.

Keywords: *Andes, thrust front, active faults, neotectonics, Subandean System, Holocene*

RESUMEN

El presente estudio muestra las evidencias de deformación neotectónica en la región del noroeste argentino de lomas de Olmedo, provincia de Salta. Esta región ubicada en el frente orogénico a los 24°S de latitud comprende la zona de transición entre las Sierras Subandinas al norte, de tipo epidérmico con vergencia al este, o Sistema Subandino sensu stricto, y un segmento austral correspondiente al Sistema de Santa Bárbara producido por inversión tectónica de fallas normales con vergencia al oeste. Entre estos dos segmentos con diferente comportamiento se ubican las lomas de Olmedo, que muestran un complejo diseño de fallas activas. Depósitos de edad paleógena que constituyen las facies de hundimiento térmico de las fases finales del rift del Grupo Salta y los depósitos sinorogénicos neógenos de la cuenca de antepaís subandina, se hallan plegados y corridos sobre depósitos cuaternarios en el anticlinal de lomas de Olmedo. Los sedimentos terciarios están corridos sobre los depósitos lacustres de la Formación El Chorro de edad cuaternaria. Las edades ¹⁴C en conchillas de gasterópodos de esta unidad pertenecientes a *Pomacea canaliculata* arrojaron una edad de 7.962 ± 45 BP años para estos depósitos. Las fallas inversas con vergencia al este indican para la mayor parte del Holoceno una tasa de acortamiento orogénico de $2,34$ mm/a para el frente tectónico en la zona de transición entre los dos sistemas de la faja plegada y corrida subandina

Palabras clave: *Andes, frente de corrimientos, fallas activas, neotectónica, Sistema Subandino, Holoceno.*

INTRODUCCION

La región subandina de los Andes del noroeste argentino comprende dos sistemas de corrimientos con estilos estructurales diferentes y marcados contrastes en su constitución geológica. Estas diferencias ya reconocidas por Mingramm y Russo (1972), entre un sistema epidérmico y otro donde el basamento se involucra en la deformación, permitió separar en dos provincias geológicas distintivas ambas unidades: el

Sistema Subandino y el Sistema de Santa Bárbara (Rolleri 1976, Baldis *et al.* 1976, Ramos 1999a). Ambos sistemas están en contacto tectónico con el Sistema Interandino, que comprende la transición con la Cordillera Oriental hacia el oeste (Kley y Monaldi 2002). El límite entre ambos sistemas se ubicaría entre los 23°30' y 24°00' de latitud sur (Fig. 1).

En esta zona se encuentran las lomas de Olmedo, correspondientes a una estructura de escaso relieve que se ubica en la zona de

transición entre esas dos grandes unidades. El objetivo del presente trabajo es dar a conocer en esta región la presencia de una fuerte tectónica activa en el frente de corrimiento orogénico cuaternario emergente, cuyos resultados preliminares fueron anticipados por Ramos *et al.* (2003). En el presente trabajo se brindarán las primeras edades que permiten constreñir esta deformación y sobre esta base calcular la velocidad media de acortamiento orogénico durante el Holoceno. La velocidad de acortamiento obte-

nida es comparada con datos de GPS de otros sectores más al norte y sur de la presente y con valores de acortamiento del Sistema Subandino, analizando las diferencias observadas con este sistema. Entre 23° y 24° de latitud sur no existen velocidades de desplazamiento intersísmicas medidas por GPS, dado que a estas latitudes el terremoto de Antofagasta de 1995 ha producido y sigue produciendo perturbaciones posísmicas (Klotz *et al.* 1999).

UBICACIÓN DEL ÁREA

Las lomas de Olmedo se ubican en el departamento Orán de la provincia de Salta, cercanas al límite con la provincia de Jujuy, entre los 24°30' y 24°50' de latitud sur y entre los 63°45' y los 64°00' de longitud oeste. Se localizan al este del río San Francisco y al sur del río Bermejo apenas emergiendo de la extensa llanura chaqueña (Fig. 2). Constituyen lomas aisladas de 200 a 300 m de altura sobre la llanura chaqueña circundante. Se accede desde la ciudad de San Pedro en Jujuy, vía Palma Sola hasta el paraje El Retiro, ubicado en los faldeos orientales de las lomas de Olmedo, sobre la ruta provincial 13 que une La Estrella con La Unión.

INVESTIGACIONES ANTERIORES

Los primeros reconocimientos de lomas de Olmedo fueron realizados por el Dr. K. Egon Bohem, quien participó en los levantamientos topográficos y geológicos de la región aledaña al arroyo del Retiro y mapeó la geología de las lomas del Turco y La Laja (Bohem 1932). Estos levantamientos fueron complementados por los reconocimientos realizados en 1932 en el sector norte de la zona de estudio correspondiente a las lomas del Retiro por Wellhoefer (1935). Este autor dio a conocer posteriormente algunas observaciones generales sobre la región chaqueña de Salta (Wellhoefer 1936). Estos dos levantamientos inéditos son hasta ahora los únicos trabajos detallados de la región, complementados por la síntesis realizada por Zunino (1937).

Con posterioridad se iniciaron estudios sísmicos y gravimétricos del área, además de

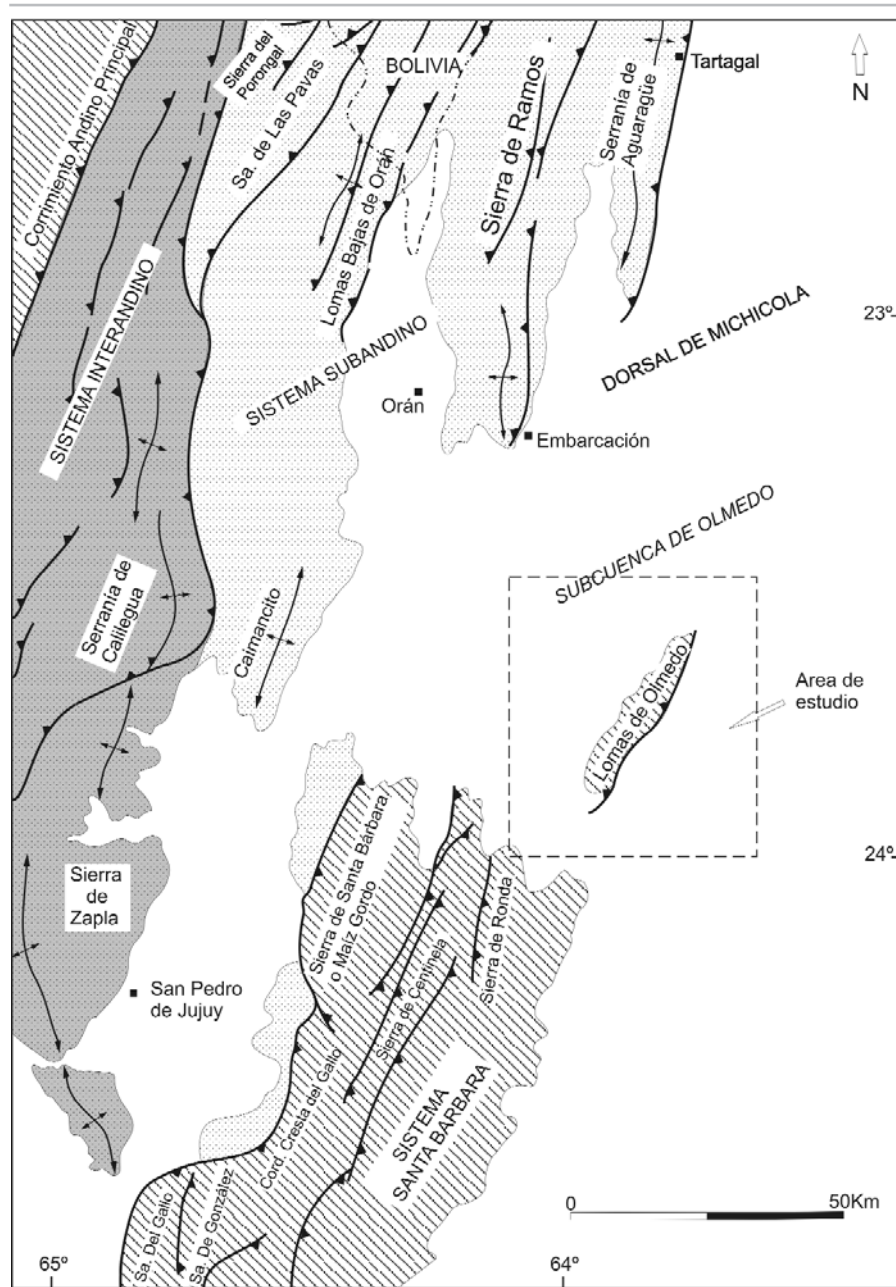


Figura 1: Mapa de ubicación del área de estudio. Nótese que al oeste del Sistema Subandino y del de Santa Bárbara, se halla en contacto tectónico con el Sistema Interandino.

reconocimientos regionales y su integración geológica a la subcuena lomas de Olmedo de la cuenca del Grupo Salta (véase revisión en Bianucci 1999). A pesar de los años transcurridos las detalladas secciones estructurales de Bohem (1932) siguen siendo aún un hito fundamental para la comprensión de la tectónica de la región.

La identificación de las unidades aflorantes en la región fue establecida por los estudios de Hagerman (1933), quien por instruccio-

nes de José María Sobral, por esa época director general de Minas y Geología de la Nación, realizó el levantamiento de la región subandina de Santa Bárbara. En este levantamiento geológico dividió las secuencias cretácicas y terciarias en una serie de unidades que correlacionó entre el sector subandino y la Cordillera Oriental, dando a conocer posteriormente una detallada síntesis de la sedimentología (Hagerman 1936). En años más recientes se realizó un análisis

estructural de Lomas de Olmedo y regiones aledañas (Ramos 1971).

RESEÑA ESTRATIGRÁFICA

En la región de lomas de Olmedo afloran rocas exclusivamente cenozoicas, correspondientes a la parte superior del Subgrupo Santa Bárbara del Grupo Salta y a los depósitos terciarios del Grupo Orán (véase para mayores detalles a Salfit y Marquillas 1999 y Ramos 1999b). Dentro de estas unidades están expuestas la sección superior del Subgrupo Santa Bárbara y los Subgrupos Metán y Jujuy del Grupo Orán (Fig. 2).

SUBGRUPO SANTA BÁRBARA

Este subgrupo se halla representado por las Formaciones Mealla, Maíz Gordo y Lumbra. Si bien este subgrupo tiene buen desarrollo en el subsuelo donde en la perforación lomas de Olmedo alcanzó 1.262 m (Moreno 1970), en superficie afloran solamente sus dos unidades superiores.

Formación Maíz Gordo: Esta unidad definida en la sierra homónima por Moreno (1970) se encuentra expuesta en el núcleo de las lomas de Olmedo y de los 300 metros que se registran en el subsuelo sólo se constatan en superficie escasos 100 metros. El primero en reconocer estos afloramientos fue Bohem (1932) quien los describió como la Serie Aguada que, contrastando con la unidad superior, muestra un predominio de colores grises, verdes y gris azulados. Este autor reconoció dos miembros, uno superior predominantemente margoso de 60 m con escasas intercalaciones calcáreas y otro inferior de calizas y margas. Las margas del miembro superior presentan bancos de caliza oolítica intercalados con abundantes restos de huesos y escamas de peces fósiles. En la cantera cercana a la laguna Taguaypi se hallaron restos de placas sueltas de quelonios. El miembro inferior además de las margas verdes presenta abundantes bancos de caliza estromatolítica, caliza dolomítica silicificada, con nódulos de ftanita, arcillas grises y negras intercaladas. Tiene unos 30 m de espesor y ya Bohem (1932) había correlacionado su serie Aguada con la unidad W inferior de Hagerman (1933), actualmente homologada a la Formación Maíz

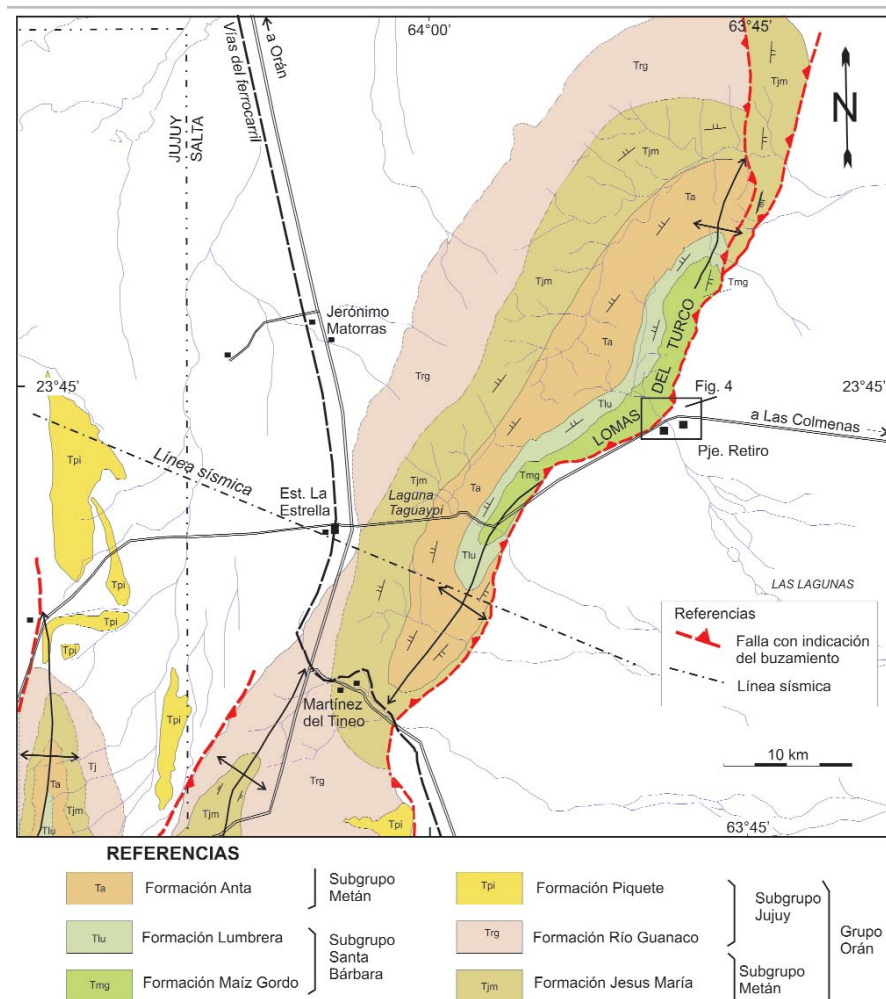


Figura 2: Mapa geológico estructural de las lomas de Olmedo basado en los reconocimientos iniciales de Bohem (1932) y de Ramos (1971).

Gordo. Los fósiles portadores de esta unidad, principalmente su contenido palinológico, permiten asignarle una edad paleocena tardía - eocena temprana (Quattrocchio y del Papa 2000).

Formación Lumbra: Esta unidad superior compuesta de margas coloradas del Subgrupo Santa Bárbara se encuentra bien expuesta en la quebrada del Retiro, en gran parte de las lomas de Olmedo, así como al sur en el anticlinal de la Laguna. Bohem (1932) denominó a esta unidad la Serie Loma, reconociendo tres miembros con casi 500 m de espesor, más potente que en su localidad tipo en el arroyo Mealla (Hagerman 1933).

La unidad inferior está integrada por dos sucesiones, una inferior de margas coloradas bien estratificadas de 60 m de potencia sin fósiles, con delgadas intercalaciones de

areniscas calcáreas de 0,80 hasta 3 m de espesor y otra superior de margas policromas de 180 m de espesor de colores violetas, coloradas, grises, verdosas y blancas que se interponen a delgados niveles de toba de unos 10 cm de potencia y se intercalan con bancos calcáreos de 30 cm, con laminación estromatolítica. Bohem (1932) ha encontrado restos de conchillas de gasterópodos en los supuestos bancos de toba. En el trabajo de campo se encontraron a unos pocos centenares de metros de El Chorro, huesos fosilizados en ganga roja procedentes de esta unidad y asignados a mamíferos. Por encima de ésta se encuentra la franja verde con arcillas y margas grises con calizas estromatolíticas. Esta franja de margas gris azuladas con bancos de caliza de unos 18 m de espesor se intercala entre las margas coloradas superiores y las margas poli-

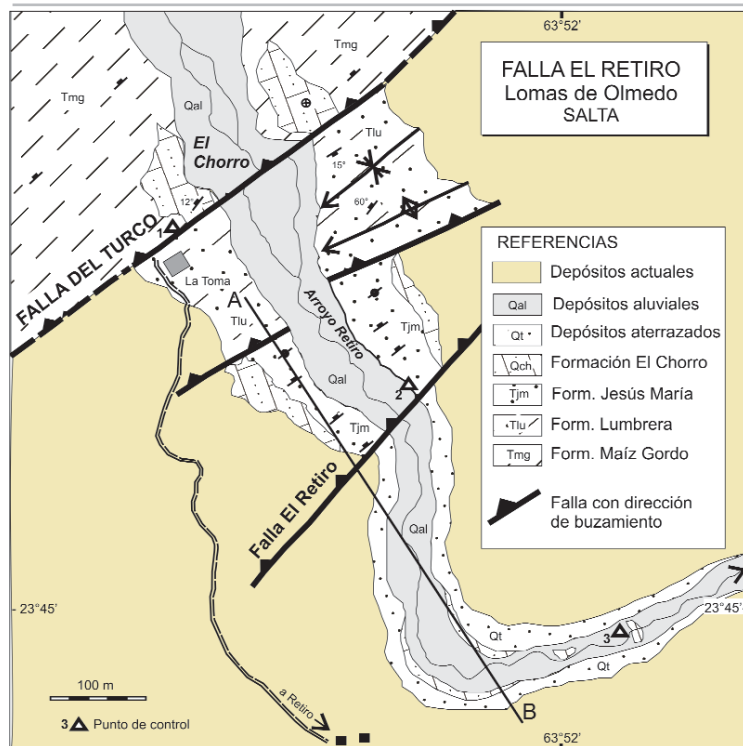


Figura 3: Mapa geológico de detalle de la quebrada del Retiro, ladera oriental de lomas de Olmedo.

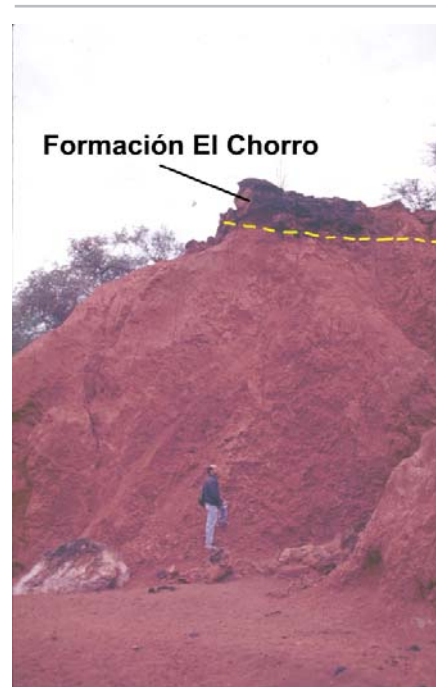


Figura 4: Depósitos calcáreos de la Formación El Chorro (Holoceno) en discordancia sobre los depósitos neógenos.

cromas de la base. Los bancos calcáreos son portadores de *Pucalibius steinmanni*, descritos por Bohem (1932) como el "fósil problemático" de Bonarelli (1921, pág. 66). Un banco de estromatolitos de esta unidad es un excelente estrato guía que marca el límite superior. En la región al norte de lomas de Olmedo estos bancos calcáreos están asociados a malaquita y minerales oxidados de cobre. En esta franja verde Welhoefer (1932) encontró restos de plantas, peces y otros fósiles al norte de la quebrada del Retiro, cuyo estado de preservación no permitió su clasificación.

La unidad superior está formada por margas duras de color rojo, bien compactas y buena estratificación de 250 m de espesor. Tanto en lomas de Olmedo como en el anticlinal de la Laguna se encuentran bancos de yeso y tobas intercaladas. Los bancos de tobas de caída pliniana tienen un espesor de 10 a 20 cm. En las capas basales se encuentran fragmentos rodados de arcilla gris y calizas, en parte con aspecto conglomerádico. Estos niveles le permitieron ya a Hagerman (1933) establecer que correspondía a una secuencia diferente a la basal, que según su interpretación pertenecería a un nuevo sistema deltaico.

El amplio contenido fosilífero de la franja

verde ha sido recientemente analizado por del Papa *et al.* (2002) y permite no sólo corroborar su edad eocena, sino también el ambiente lagunar donde se desarrolló.

GRUPO ORÁN

Esta unidad así definida por Gebhard *et al.* (1974) comprende a los Subgrupos Metán y Jujuy, que se corresponden al Terciario Subandino y a los Estratos Jujeños de Bonarelli (1913).

Subgrupo Metán: Este subgrupo es actualmente dividido en tres unidades, las Formaciones Río Seco, Anta y Jesús María de acuerdo con la propuesta de Gebhard *et al.* (1974). Estas tres unidades se pueden correlacionar aproximadamente con las identificadas en lomas de Olmedo por Bohem (1932). Este autor incluyó al Terciario Subandino de la región bajo estudio en su Serie Laja, en la que reconoció tres miembros T1, T2 y T3. En las nacientes del arroyo Retiro se eleva un cordón de lomitas con crestas agudas formadas en la base por areniscas blandas de color pardo que rematan en un banco silicificado de hasta un metro de espesor con abundantes gasterópodos. Le siguen bancos de areniscas calcáreas con fajas de color rojizo y gri-

sáceo y arcillas micáceas gris negruzcas a pardas, intercaladas con una arenisca blanda homogénea y con mucha mica de color chocolate y disyunción plana. Esta secuencia fue correlacionada por Hagerman (en Bohem 1932) con su sección Tc correspondiente al Terciario Subandino de Bonarelli (1921), actual Subgrupo Metán.

La sucesión más antigua (T1) puede ser correlacionada con la Formación Anta, y está expuesta en los alrededores de la Aguada y en la quebrada del Retiro, donde constituye el labio bajo de la falla del Turco. Está compuesta por areniscas arcillosas, arcillas y lutitas rojas que según Hagerman (1933) serían la base de sus areniscas superiores.

La sección intermedia (T2) está compuesta por areniscas blancas, que en el anticlinal de la laguna, en la base de la serie está representada por una sucesión de areniscas blanquecinas de grano mediano hasta grueso, en sectores pardo amarillentas, con un espesor de 65 m. Estas areniscas están intercaladas con bancos arcillosos y areniscas finas de laminación entrecruzada. En estos niveles Welhoefer (en Hagerman 1933) mencionó la presencia de troncos silicificados correlacionables a los helechos que fueron determinados por Halle como *Tempyska corda* en

el Potrero de Cachipunco (Hagerman 1933, pág. 487).

La unidad superior (T3) puede ser correlacionada con la Formación Jesús María, es la de mayor desarrollo y presenta unos 200 m aflorantes. Está compuesta por areniscas de grano fino hasta mediano, de color pardo rojizo, con mucha mica, especialmente biotita, con intercalaciones de arcillas. Estas areniscas se hallan parcialmente silicificadas, como ha sido observado en diversas localidades. En algunos sectores presentan abundantes diaclasas con relleno carbonático e inclinación entre 10 y 20° al oeste.

El banco con gasterópodos descrito hacia la parte basal de T3 y el techo de T2, podría correlacionarse con las capas con *Corbicula* sp. y gasterópodos, características de la Formación Anta, que Ramos y Alonso (1995) asignaron al importante episodio de inundación vinculado a la transgresión Paranense. La edad de este subgrupo está comprendida entre el Mioceno medio al superior en la región inmediata al sur (Galli *et al.* 1996). *Subgrupo Jujuy*: Esta unidad fue así denominada por Gebhard *et al.* (1974) para denominar a los Estratos Jujueños de Bonarelli (1913). Comprende dos unidades, la inferior Formación Río Guanaco y la superior Formación Piquete. En el sector occidental de las lomas de Olmedo y en los alrededores de la laguna Taguaypi se describen arenas finas parecidas al loess y micáceas, que ya Bohem (1932) había correlacionado con los estratos jujueños de Hagerman (1933), descritos como Ts en la sierra de Santa Bárbara en la región inmediata al sur. Estos niveles son asignados actualmente a la Formación Río Guanaco. Dado sus pobres afloramientos su extensión areal en el mapa se ha basado casi exclusivamente en su expresión fotogeológica. Asimismo se han identificado tentativamente los afloramientos de la Formación Piquete que se indican en la figura 2. La edad de este subgrupo está comprendida entre Mioceno más alto y el Plioceno (Galli *et al.* 1996).

CUATERNARIO

En la quebrada del Retiro se han reconocido tres unidades cuaternarias: la Formación El Chorro, los depósitos aterrazados y los depósitos aluviales actuales.



Figura 5: Coquina con restos de gasterópodos correspondientes a *Pomacea canaliculata* (Lamarck) de la Formación El Chorro.

Formación El Chorro (nov. nom.): Esta nueva unidad se propone para designar una serie de depósitos de tufos calcáreos, travertinos, finos niveles de ónix y arenas parcialmente litificadas, cuya localidad tipo se halla en el paraje El Chorro, nombre bajo el que los lugareños denominan la cascada del arroyo El Retiro, en las cercanías de la toma de agua de la localidad homónima (Fig. 3). Esta unidad ya había sido descrita por Bohem (1932) quien la identificó como "tobas calcáreas" de 8 a 10 metros de espesor en discordancia angular sobre las arcillas y areniscas terciarias, a las que interpretó como el Cuaternario más antiguo (Fig. 4). Esta asignación temporal estuvo basada en que las encontró plegadas e infirió que durante el Cuaternario más antiguo había habido todavía fuertes movimientos tectónicos.

Sus afloramientos se extienden agua arriba de El Chorro; en el tramo medio agua abajo del mismo sobre ambas laderas de la quebrada y como escasos afloramientos que sobresalen de su planicie aluvial en la parte inferior del arroyo. Donde su base está expuesta están en marcada discordancia angular sobre los depósitos terciarios. Agua arriba de El Chorro están caracterizados por arenas y arcillas verde amarillentas, sólo parcialmente cementadas por caliche de unos 3 m de espesor, que están basculadas unos 12° al oeste. Por encima le siguen 1,70 m de arenas arcillosas, casi sin cementación

que inclinan unos 4 a 5° al oeste. Entre ambas secciones hay una leve discontinuidad erosiva. Las variaciones de inclinación entre ambos paquetes indicaría que serían depósitos sintectónicos y que a medida que la falla del Turco se levanta basculan hacia el oeste (véase estructura más adelante).

Agua debajo de El Chorro, estas arenas y arcillas están fuertemente cementadas, resaltando por su mayor dureza relativa y los colores verde amarillentos adquieren un color grisáceo. El espesor es menor y no sobrepasa los 4 m. En el tercer grupo de afloramientos estos bancos de caliche, sobresalen agua abajo del arroyo Retiro como crestas carbonáticas en la planicie aluvial. El ambiente de formación de esta unidad se halla ligado a la precipitación de carbonatos asociados a la falla del Turco, que se produce por aguas termales que salen de esa falla y precipitan los sedimentos agua abajo del salto (véase Fig. 6). Esta falla es la única que presenta precipitaciones carbonáticas asociadas a fallamiento.

Contenido fosilífero: En los bancos de caliche son frecuentes los restos de gasterópodos (Fig. 5) que han sido clasificados como *Pomacea canaliculata* (Lamarck, 1822). Estos gasterópodos en la actualidad están representados desde el norte de América del Sur hasta la latitud de 36°.

Se los encuentra también en América Central, el Caribe y aún en el sur de Estados Unidos (Cazzaniga 1987). En Argentina, *P.*



Figura 6: Falla del Turco, ubicada en el pie de sierra de las lomas de Olmedo sobre el valle del arroyo El Retiro (véase ubicación en figuras 2 y 3).

canaliculata es una especie de amplia distribución desde Salta y Formosa hasta la provincia de Buenos Aires. Los organismos de esta especie habitan cuerpos lénticos, aunque puede hallárselos a lo largo de ríos y arroyos de escasa corriente (Cazzaniga 1990).

Depósitos aterrazados: En ambas márgenes del arroyo El Retiro, agua abajo de la falla homónima, afloran arenas finas, limos arcillosos, friables, de incipiente litificación, de color amarillento verdoso con abundantes venillas y niveles ocreos por alteración. Se apoyan agua abajo sobre la Formación El Chorro en forma concordante. En este sector su espesor es de 3 a 4 metros. Su edad sería holocena a reciente, por apoyarse por encima de la Formación el Chorro.

Depósitos aluviales actuales: La planicie de inundación del río está compuesta por arenas finas y limos arcillosos, que cubren a los depósitos anteriores.

DATACIÓN RADIOCARBÓNICA

Se han realizado dos dataciones por ^{14}C en gasterópodos correspondientes a *Pomacea canaliculata*, preservados en los carbonatos de la Formación El Chorro procedentes de la margen sur del arroyo El Retiro. Se han seleccionado conchillas bien preservadas,

las muestras RA-1-04 y RA-2-04. Ambas muestras tuvieron suficiente carbono para una datación confiable y los resultados son así consistentes. Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ están en el rango de los carbonatos de agua dulce, como se puede predecir de la naturaleza de las conchillas.

Se han obtenido los siguientes datos analíticos:

Muestra: RA-1-04: Cantidad 0,8 mg de C
PMC (corregido): $38,02 \pm 0,20$
Edad carbono 14: **$7,765 \pm 40 \text{ BP}$**
 $\delta^{13}\text{C}$ (promille): $-14,15 \pm 0,19$

Muestra: RA-2-04, 0,7 mg de C
PMC (corregido): $36,20 \pm 0,22$
Edad carbono 14: **$8,160 \pm 50 \text{ BP}$**
 $\delta^{13}\text{C}$ (promille): $-13,12 \pm 0,32$

Donde PMC corresponde al porcentaje de carbonato moderno (*percent modern carbonate*), e indica la cantidad de carbonato moderno (desde 1950), corregida por los procesos de fraccionamiento de masa. Sobre esta base se ha obtenido una edad promedio de **$7,962 \pm 45 \text{ BP}$** años que permite asignar a los depósitos de caliche de la Formación El Chorro una edad holocena inferior.

ESTRUCTURA

Las primeras noticias sobre la estructura de lomas de Olmedo se deben a Bohem (1932) quien describió en la quebrada de El Retiro la falla del Turco, en relación a la loma del Turco, nombre local con el que se referían en aquella época a la loma principal ubicada hacia el oeste de El Chorro (Fig. 6). Este autor interpretó que las lomas de Olmedo, si bien aisladas geográficamente de las serranías del sur, eran la continuación norte de la sierra de Ronda. Bohem (1932) destacó que el rumbo general es $\text{N}10^\circ\text{E}$, pero al llegar a lomas de Olmedo hay una fuerte inflexión al $\text{N}60^\circ\text{E}$, rumbo dominante de la falla del Turco (Figs. 2 y 3).

El análisis de una línea sísmica que atraviesa las lomas de Olmedo (Fig. 7), indica que la estructura principal es una falla inversa buzando al oeste de inclinaciones medias. Un incipiente retrocorrimiento alabea levemente a las secuencias terciarias del flanco occidental, que alcanza mayor desarrollo hacia el sur de Martínez del Tineo donde adquiere expresión superficial (véase Fig. 2). La estructura de lomas de Olmedo, tendría así diferente vergencia que las del Sistema de Santa Bárbara, aunque el ángulo de inclinación de la falla pareciera más empinado y permitiría interpretarla como una falla de inversión tectónica. Esta estructura a escala

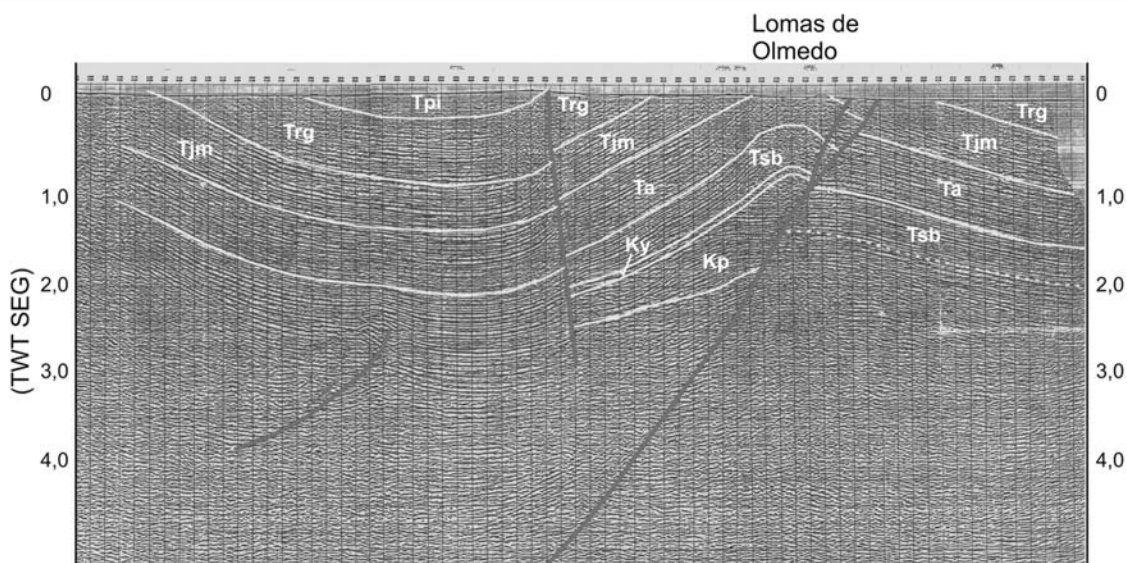


Figura 7: Línea sísmica expresada en tiempo de las lomas de Olmedo donde se puede apreciar la estructura interpretada. Kp: Subgrupo Pírgua, Ky: Subgrupo Balbuena, Tsb: Subgrupo Santa Bárbara, Ta: Formación Anta, Tjm: Form. Jesús María, Trg: Form. Río Guanaco, Tpi: Form. Piquete.

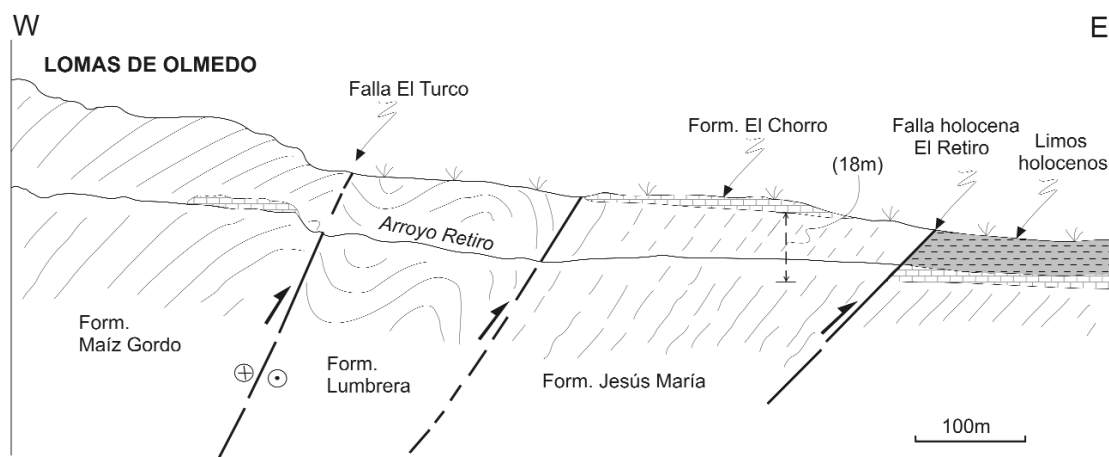


Figura 8: Sección estructural detallada donde se pueden observar los desplazamientos cuaternarios de las fallas El Retiro y El Turco.

regional tendría características comunes tanto con el Sistema Subandino como con el Sistema de Santa Bárbara, aunque la vergencia sería similar al primero.

Los estudios efectuados en el terreno muestran que la falla del Turco tiene un rumbo N54°E y fuerte inclinación al noroeste a la latitud del arroyo del Retiro. Está asociada a fallas menores secundarias, subparalelas a la principal de rumbo N78°E e inclinación de 88°, donde se preservan estrías con buzamiento de 23°W, que permiten inferir que además de su carácter inverso tienen un fuerte componente transcurrente de desplazamiento dextrógiro. Esta falla tiene un rechazo vertical mínimo de carácter inverso con respecto a los depósitos cuaternarios de la Formación El Chorro de 10,80 m en

la zona del salto. Agua abajo la Formación Lumbreira presenta un sinclinal y un anticlinal cuyos flancos inclinan 15° al este y 60° al oeste, mostrando sus planos axiales una fuerte vergencia hacia el este (Fig. 7).

Una segunda falla inversa más al este, también de alto ángulo produce el cabalgamiento de la Formación Lumbreira sobre los depósitos neógenos de la Formación Jesús María (Figs 9 a, b). Los estratos de esta unidad se hallan fuertemente inclinados entre 50 y 60° al oeste y en contacto tectónico sobre los limos y arenas finas correspondientes a los depósitos aterrazados. Esta falla, que denominamos El Retiro, tiene un rumbo de N51°E y un buzamiento de 44° al oeste. El plano de falla es muy friable, pero se observan delicados espejos de falla

con lineaciones paralelas a la inclinación que denotan una componente inversa casi exclusiva.

Con respecto a la estructura se podría concluir que tanto la falla del Turco como la del Retiro, tienen componentes inversas e importantes levantamientos cuaternarios; la primera es subvertical en superficie, mientras que la segunda está inclinada sólo 44° al oeste.

DISCUSIÓN FINAL

La falla del Turco por su brusco cambio de rumbo y su buzamiento subvertical, denota un fuerte control del basamento y componentes dextrógiros en su desplazamiento. Podría corresponder a una falla de inver-



Figura 9: a) Falla que pone en contacto los depósitos terciarios de la Formación Jesús María con los limos y arenas finas de los depósitos aterrazados pleistocenos, b) detalle del plano de falla donde se han observado las estrías paralelas a la inclinación.

sión tectónica de alto ángulo con componentes de rumbo, asociada a un escalón de la cuenca de rift como los que describen Boll *et al.* (1989), Comínguez y Ramos (1994) y Bianucci (1999) para la subcuenca lomas de Olmedo. Sobre la base de su resalto vertical medido para el Cuaternario esta falla tendría una velocidad mínima de levantamiento de 1,36 mm/a desconociéndose su componente de rumbo.

La falla del Retiro, donde se puede observar a la Formación El Chorro, tanto en la pared colgante como en la basal, está mejor acotada. Tiene un levantamiento vertical de

16,30 m por sobre el nivel del río, hasta la base de la Formación El Chorro. Si se asume un espesor a esta altura de esta unidad de 1,70 m el rechazo vertical sería de 18 m. Este valor implica un acortamiento horizontal de 18,30 m, que dada la edad de 7.962 ± 45 BP años de la Formación El Chorro, permite calcular una tasa absoluta de levantamiento de 2,26 mm/a y una velocidad de acortamiento de 2,34 mm/a durante la mayor parte del Holoceno.

Los valores obtenidos se pueden comparar con las mediciones geodésicas satelitales del Subandino Sur de Bolivia, medidas por

Kendrick *et al.* (2001). En la localidad de Entre Ríos (ENRI), en la parte externa del Subandino Sur a la latitud de Villamontes (véase Fig. 10) estos autores han medido un desplazamiento GPS anual de 4,1 mm/a, la que se incrementa hacia el oeste a 7,8 mm/a en Tarija. Al oeste del Sistema Subandino de Argentina, dos estaciones han medido una en Yavi (YAVI) 9,2 mm/a y otra en Tres Cruces (TRES) 9,8 mm/a (véase Fig. 10). Estas dos últimas localidades tienen un registro de siete años de duración que permiten obtener valores bastante precisos. Estas mediciones en el Subandino están indicando un fuerte gradiente de desplazamiento entre la parte estable de América del Sur y el extremo occidental de la faja plegada y corrida subandina en el sector no perturbado donde se observan desplazamientos intersísmicos en el campo de velocidades de GPS (Fig. 10).

Estos valores sorprendentemente son equivalentes a los calculados en el sector argentino del subandino para los últimos 10 Ma por Ramos *et al.* (2004) de 7 a 9 mm/a sobre la base de los estudios magnetoestratigráficos de Hernández *et al.* (1996) y Echavarría *et al.* (2003). Es interesante remarcar que la sierra de Aguaragüe, a cuyo pie se halla en la parte sur del subandino el frente de corrimiento ha comenzado a levantarse recién en los últimos 2,7 Ma (Echavarría y Hernández 2005), estando las lomas de Olmedo al este del mencionado frente, lo que daría un indicio de su levantamiento casi exclusivamente en el Pleistoceno.

Los datos de GPS muestran un fuerte gradiente de desplazamiento entre el sector occidental de 9,8-9,2 mm/a y 4,1 mm/a en el sector frontal. Es interesante este último valor de Entre Ríos, dado que presenta valores similares a los 2,34 mm/a calculados para el frente orogénico activo del Sistema Subandino a los 24° de latitud sur. Si bien el valor es menor, es generalmente aceptado que el acortamiento orogénico es máximo hacia el sur de Bolivia y decrece paulatinamente hacia el sur (Ramos *et al.* 2004).

A estas latitudes no se tenían valores de desplazamiento intersísmicos, dada la fuerte perturbación ocasionada por el terremoto de Antofagasta de 1995 en Chile ($M_w =$

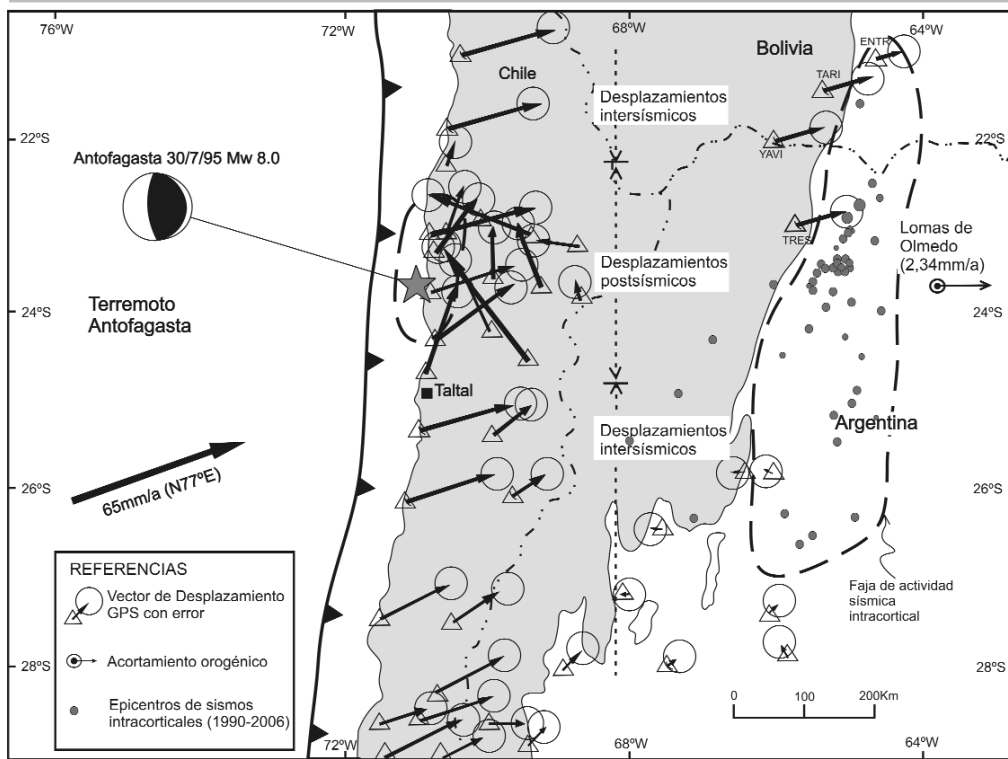


Figura 10: Datos de GPS con indicación de los vectores de desplazamiento. Nótese la perturbación producida por los desplazamientos postsísmicos del terremoto de Antofagasta. Se indica el acortamiento orogénico observado en lomas de Olmedo para comparación. Base de datos basada en Klotz *et al.* (2003) y Bevis *et al.* (2001) para el sector norte.

8) (véase Klotz *et al.* 1999), que aún registra importantes desplazamientos postsísmicos en el margen continental (Fig. 10). La falta de datos de GPS que muestren la deformación normal intersísmica en el segmento analizado, convierten a estos datos en las primeras evidencias de tasas de acortamiento orogénico a estas latitudes para la mayor parte del Holoceno.

Como conclusión de los estudios efectuados se podría afirmar que se ha constatado una importante tectónica cuaternaria en las lomas de Olmedo. La misma no había pasado desapercibida a los prolijos relevamientos de Bohem (1932), pero debido a las fuertes dislocaciones observadas en la Formación El Chorro las había asignado al Cuaternario más antiguo. Sin embargo las dataciones ^{14}C efectuadas en conchillas seleccionadas de *Pomacea canaliculata* han arrojado una edad de 7.962 años para esta unidad. Sobre esta base se han podido establecer por primera vez en el Sistema Subandino velocidades holocenas de acortamiento de 2,34 mm/a para el frente de corrimiento en la zona de transición, que denotan la importante actividad tectónica de los Andes a estas latitudes, como es atestiguada por la presencia de numerosos sismos intracorticales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su reconocimiento por el apoyo financiero a la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica a unos de los autores (V.A.R.) y la S.F.B. mediante el proyecto S.F.B. 267 que financió parte de las tareas de campo. Se desea agradecer a la Lic. Dora Davies de la U.N.S.A. la determinación de los gasterópodos.

LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Baldis, B.A., Gorroño, A., Ploszkiwicz, J.V. y Sarudiansky, R.M. 1976. Geotectónica de la Cordillera Oriental, Sierras Subandinas y áreas adyacentes. 6º Congreso Geológico Argentino (Bahía Blanca), Actas 1: 3-22.
- Bevis, M., y Martel, S.J. 2001. Oblique plate convergente and interseismic strain accumulation. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 2 (August 13): 2000GC000125.
- Bianucci, H.A. 1999. Estructura y evolución estructural del rift; relación con la estratigrafía. Subcuenca de Lomas de Olmedo (rama oriental). En González Bonorino, G., Oмарini, R. y Viramonte, J. (eds.) *Geología del Noroeste Argentino, Relatorio 1*: 292-300.
- Bohem, K.E. 1932. Resultados principales de los

estudios geológicos en las Lomas de Olmedo de la Segunda Comisión Geológica del Norte. *Yacimientos Petrolíferos Fiscales* (informe inédito), 29 p., Buenos Aires.

- Boll, A., Gómez Omil, R.J. y Hernández, R.M. 1989. Síntesis estratigráfica del Grupo Salta. Comisión Geológica 6. *Yacimientos Petrolíferos Fiscales* (informe inédito), Buenos Aires.
- Bonarelli, G. 1913. Las Sierras Subandinas del Alto y Aguaraigüe y los yacimientos petrolíferos del Distrito Minero de Tartagal. *Anales Ministerio de Agricultura, Sección Geología y Minería* 8(4): 1-50, Buenos Aires.
- Bonarelli, G. 1921. Tercera contribución al conocimiento geológico de las regiones petrolíferas subandinas del norte (Provincias de Salta y Jujuy). *Anales del Ministerio de Agricultura, Sección Geología, Mineralogía y Geología* 15 (1): 1-96, Buenos Aires.
- Cazzaniga, N. J. 1987. *Pomacea canaliculata* (Lamarck, 1801) en Catamarca (Argentina) y un comentario sobre *Ampullaria catamarcensis* Sowerby, 1874 (Gastropoda, Ampullariidae). *Iheringia, Serie Zoología* (66): 43-68.
- Cazzaniga, N. J. 1990. Predation of *Pomacea canaliculata* (Ampullariidae) on adults *Biomphalaria peregrina* (Planorbidae). *Annals of Tropical Medicine and Parasitology* 84(1): 97-100.
- Comínguez, A. y Ramos, V.A. 1994. Geometry

- and seismic expression of the Cretaceous Salta rift system, northwestern Argentina. En Tankard, A.J., Suárez S. R. y Welsink, H.J. (eds.) *Petroleum Basins of South America*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 62: 325-340.
- Del Papa, C., García, V. y Quattrocchio, M. 2002. Sedimentary facies and palynofacies assemblages in Eocene perennial lake, Lumbraera Formation, Northwest Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 15(5): 553-569.
- Echavarría, L., Hernández, R., Allmendinger, R.W., y Reynolds, J. 2003. Subandean thrust and fold belt of northwestern Argentina: Geometry and timing of the Andean evolution. *American association of Petroleum Geologists, Bulletin* 87: 965-985.
- Echavarría, L. y Hernández, R. 2005. El crecimiento de las Sierras Subandinas del noroeste argentino y su relación con la teoría de la cuña tectónica. 15° Congreso Geológico Argentino (La Plata), Actas 2: 37-42.
- Galli, C.I., Hernández, R. y Reynolds, J.H. 1996. Análisis paleoambiental y ubicación geocronológica del Subgrupo Metán (Grupo Orán, Neógeno) en el río Piedras, Departamento Metán, Salta, Argentina. *Boletín de Informaciones Petroleras, Tercera Serie* 12(46): 98-107, Buenos Aires.
- Gebhard, J.A., Giudici, A.R. y Oliver Gascón, J. 1974. Geología de la comarca entre el río Juramento y arroyo Las Tortugas, provincias de Salta y Jujuy, República Argentina. *Asociación Geológica Argentina, Revista* 19 (3): 359-375, Buenos Aires.
- Hagerman, T. 1933. Informe preliminar sobre el levantamiento geológico del departamento de Santa Bárbara en la provincia de Jujuy. *Boletín de Informaciones Petroleras (Primera Época)* 10(107): 450-495.
- Hagerman, T. 1936. Investigaciones sobre el material clástico en formaciones del Norte Argentino. *Boletín de Informaciones Petroleras (Primera Época)* 13(139): 75-120.
- Hernández, R.M., Reynolds, J. y Disalvo, A. 1996. Análisis tectosedimentario y ubicación geocronológica del Grupo Orán en el Río Iruya. *Boletín de Informaciones Petroleras, Tercera Serie* 12(45): 80-93, Buenos Aires.
- Kendrick, E.C., Bevis, M., Smalley Jr., R.F. y Brooks, B.A. 2001. An integrated crustal velocity field for the Central Andes. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 2, 10. 1029/2001GC000191.
- Kley, J. y Monaldi, C.R. 2002. Tectonic inversion in the Santa Bárbara System of the central Andean foreland thrust belt, Northwestern Argentina. *Tectonics* 21(6): 11-18.
- Klotz, J., Angermann, D., Michel, G.W., Porth, R., Reigber, C., Reinking, J., Viramonte, J., Perdomo, R., Rios, V.H., Barrientos, S., Barriga, R., and Cifuentes, O. 1999. GPS-derived Deformation of the Central Andes Including the 1995 Antofagasta Mw= 8.0 Earthquake. *Pure and Applied Geophysics* 154: 709-730.
- Klotz, J., Khazaradze, G., Angermann, D., Reigber, C., Perdomo, R., and Cifuentes, O. 2001. Earthquake cycle dominates contemporary crustal deformation in Central and Southern Andes. *Earth and Planetary Science Letters* 193: 437-446.
- Mingramm, A. y Russo, A. 1972. Sierras Subandinas y Chaco Salteño. In 1° Simposio Geología Regional Argentina. Leanza, A.F. (Ed.) Academia Nacional de Ciencias: 185-211, Córdoba.
- 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. *Asociación Geológica Argentina, Revista* 25(1): 9-44.
- Quattrocchio, M.E. 1999. Zonación palinológica: Cuenca del Grupo Salta (Paleoceno-Eoceno). En González Bonorino, G., Omarini, R. y Viramonte, J. (eds.) *Geología del Noroeste Argentino, Relatorio* 1: 301-307.
- Quattrocchio, M.E. y del Papa, C. 2000. Paleambiente de la secuencia Maíz Gordo (Paleoceno tardío - Eoceno temprano?), Arroyo las Tortugas, Cuenca del Grupo Salta (NO Argentina). *Palinología y Sedimentología. Revista Española de Paleontología* 15 (1): 57-70.
- Ramos, V.A. 1971. Levantamiento fotogeológico del Noroeste Argentino: Hoja Lomas de Olmedo, escala 1:50.000, Geophoto Services, Buenos Aires.
- Ramos, V.A. 1999a. Las provincias geológicas del territorio argentino. En Caminos, R. (Ed.). *Geología Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29(3): 41-96, Buenos Aires.
- Ramos, V.A., 1999b. Los depósitos terciarios sinorogénicos de la región andina. En Caminos, R. (Ed.) *Geología Argentina*, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29(22): 651-682, Buenos Aires.
- Ramos V.A. y Alonso, R.N. 1995. El mar paranaense en la provincia de Jujuy. *Revista Instituto de Geología y Minería* 10: 73-82, S.S. de Jujuy.
- Ramos, V.A., Alonso, R. y Strecker, M. 2003. Neotectónica cuaternaria en Lomas de Olmedo, provincia de Salta - Argentina. 10° Congreso Geológico Chileno (Concepción), Actas electrónicas (11 p.).
- Ramos, V.A., Zapata, T., Cristallini, E. y Introcaso, A. 2004. The Andean thrust system: latitudinal variations in structural styles and orogenic shortening. En McClay, K. (ed.) *Thrust Tectonics*, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 82 (3): 30-50.
- Rolleri, E.O. 1976. Sistema de San Bárbara. 6° Congreso Geológico Argentino (Bahía Blanca), Actas 1: 240-255, Buenos Aires.
- Salfity, J.A. y Marquillas, R.A. 1999. La cuenca cretácico-terciaria del norte argentino. En Caminos, R. (ed.) *Geología Argentina*, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29: 613-626, Buenos Aires.
- Wellhoefer, B. 1935. Informe sobre estudios geológicos en la zona de las Lomas del Retiro, parte septentrional de las Lomas de Olmedo. *Yacimientos Petrolíferos Fiscales (informe inédito)* 13 p. Buenos Aires.
- Wellhoefer, B. 1936. Zur Geologie der Erdlagerstätten am westrand des Argentinischen Chacos. *Zeitschrift Deutsche Geologische Gesellschaft* 88: 8.
- Zunino, J.J. 1937. Informe geológico sobre la zona de Lomas de Olmedo - Lomas Bayas. *Yacimientos Petrolíferos Fiscales (informe inédito)*, Buenos Aires.

Recibido: 30 de junio, 2006

Aceptado: 15 de noviembre, 2006