

# DEFORMACIÓN CUATERNARIA ASOCIADA AL FRENTE DE LEVANTAMIENTO ORIENTAL DE LAS SIERRAS DE VELASCO Y AMBATO, SIERRAS PAMPEANAS OCCIDENTALES

Analia L. CASA<sup>1,3,4</sup>, Marcela G. YAMIN<sup>1,3,4</sup>, Marcelo I. CEGARRA<sup>1</sup>, Mariana COPPOLECCHIA<sup>2</sup> y Carlos H. COSTA<sup>5</sup>

<sup>1</sup> SEGEMAR, IGRM, Buenos Aires. Emails: ancasa@minplan.gov.ar; myamin@minplan.gov.ar; mcegar@minplan.gov.ar

<sup>2</sup> SEGEMAR, Delegación Córdoba, Córdoba. Email: mcoppo@gmail.com

<sup>3</sup> Laboratorio de Neotectónica (LaNeo), Departamento de Ciencias Geológicas, FCEyN, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.

<sup>4</sup> Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, La Plata.

<sup>5</sup> Departamento de Geología, Universidad Nacional de San Luis, San Luis. Email: costa@unsl.edu.ar

## RESUMEN

Sobre el frente oriental de la sierra de Velasco y extremo sur de la sierra de Ambato, Sierras Pampeanas Occidentales, se han hallado nuevas evidencias de actividad tectónica cuaternaria en cercanías de la ciudad de La Rioja. Los rasgos reconocidos corresponden a distintos tramos reactivados de las fallas que delimitan los frentes serranos y a estructuras que afectan los depósitos cuaternarios sobre el piedemonte. La sierra de Velasco Oriental se encuentra marginada por fallas de rumbo NNE e inclinación al ONO, mientras que la sierra de Ambato austral presenta estructuras de rumbo NE que inclinan al NO. En el bloque Carrizal estas direcciones se interfieren originando un sector de mayor complejidad estructural. La deformación observada evidencia la persistencia de un régimen compresivo durante el Cuaternario al que se asocian fallas inversas de vergencia oriental a sudoriental. Estas fallas continúan elevando los cordones serranos y constituyen potenciales fuentes sísmicas.

Palabras clave: *Neotectónica, Cuaternario, Sierras Pampeanas, sierra de Velasco, sierra de Ambato.*

**ABSTRACT:** *Quaternary deformation associated with the eastern uplift front of the Sierras de Velasco and Ambato, western Sierras Pampeanas.*

Along the eastern front of the Sierra de Velasco and at the southern end of the Sierra de Ambato, western Sierras Pampeanas, have been found new evidences of Quaternary tectonic activity near La Rioja city. Observed evidences correspond to different reactivated sections of the faults that bound the mountain fronts, as well as to structures affecting the Quaternary deposits on the piedmont. The bounding faults of the Sierra de Velasco Oriental-front exhibit a NNE trend and WNW dip, while structures at the southernmost Ambato range are characterized by NE trend and NW dip. The neotectonic faults of the El Carrizal block are the result of the interference of both structural trends, resulting in a sector with higher structural complexity. The here described deformation show the persistence of a compressive regime during the Quaternary, with eastern to southeastern verging reverse faults. It is considering that these faults are driving the current uplift of the mountain ranges and constitute potential earthquake sources.

Keywords: *Neotectonics, Quaternary, Sierras Pampeanas, Velasco range, Ambato range.*

## INTRODUCCIÓN

Las sierras de Velasco y Ambato forman parte de las Sierras Pampeanas Occidentales, se ubican entre los 27°30' y 29°10' (sierra de Ambato) y los 28°20' y 29°55' (sierra de Velasco) de latitud sur y los 67°20' y 65°45' de longitud oeste. Ambos bloques serranos constituyen el límite norte de la cuenca cenozoica de La Rioja y marginan por el sur a la depresión de Pipanaco (Fig. 1). Estas sierras están controladas por fallas inversas de alto ángulo en superficie en las que se concentró el levantamiento serrano durante el Ceno-

zoico (Caminos 1979).

La región registra una moderada actividad sísmica instrumental e histórica. Los últimos sismos destructivos registrados ocurrieron en 2002 en la provincia de La Rioja y en 2004 en la provincia de Catamarca (Fig. 1). El mecanismo focal obtenido para el sismo del 28/05/2002 corresponde a fallamiento inverso con rumbo NE; el sismo habría alcanzado una magnitud local (MI) de 6,0 a una profundidad de 10,9 km (Araujo *et al.* 2005). El mecanismo focal del sismo del 07/09/2004 corresponde a una fuente sísmica compresiva, de rumbo NE; habría alcanzado una

magnitud de momento (M<sub>w</sub>) de 6,2 a una profundidad hipocentral de 8 km (Alvarado y Beck 2005).

Estructuras geológicas sin registros evidentes o importantes de sismicidad podrían constituir fuentes sísmicas significativas en el futuro inmediato y quedarían excluidas de un análisis regional si sólo se tuviera en consideración la información sísmológica. Para identificar sismos anteriores al registro histórico la única fuente posible de información son las evidencias que los terremotos fuertes (magnitud  $\geq 6,0$ ) pudieron haber dejado en el registro geológico. En este artículo

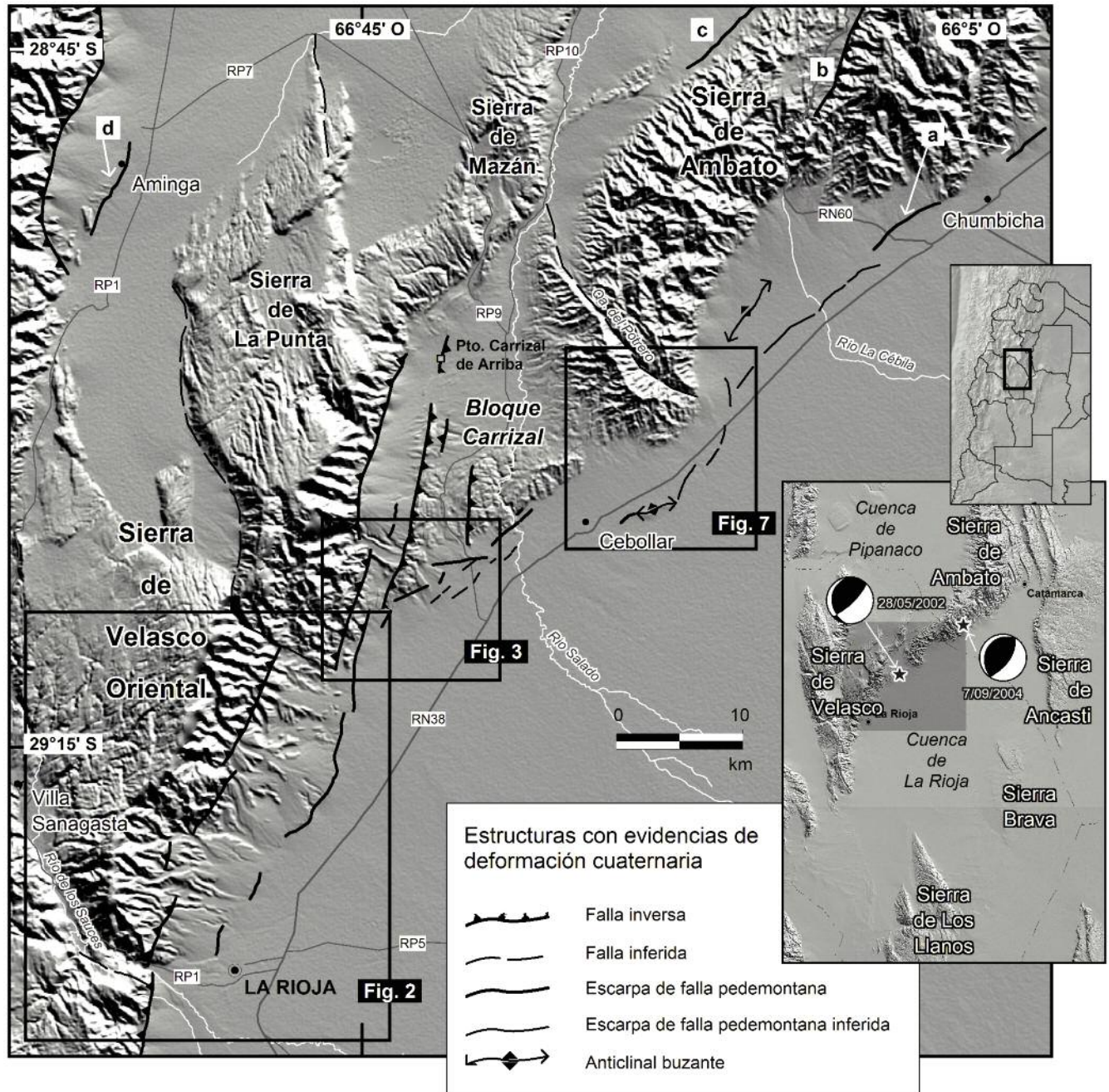


Figura 1: Esquema de ubicación de la zona de estudio y mapa de estructuras con deformación cuaternaria sobre modelo digital de elevaciones SRTM.

se dan a conocer nuevas evidencias de estructuración cuaternaria en las vertientes orientales de la sierra de Velasco y el sector sur de la sierra de Ambato; asimismo se analizan y presentan nuevos datos de estructuras cuya existencia y localización fue reconocida en trabajos previos (Costa *et al.* 2004, Costa 2008). La finalidad de este trabajo es aportar información de es-

tructuras con actividad neotectónica y avanzar en el análisis de la deformación cuaternaria a estas latitudes. Para ello se efectuó la interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales y se recogieron datos de campo para la construcción de mapas morfotectónicos de detalle. Los rasgos estudiados se concentran en el sector pedemontano sobre la cuenca

de La Rioja y sobre los límites de los bloques serranos que la circundan (Fig. 1). Cada sector serrano con su piedemonte adyacente presenta diferencias en la geometría de las estructuras con deformación cuaternaria que permiten dividirlos en tres dominios estructurales. Un dominio estructural se define como una región homogénea con respecto a la orienta-

ción, o modelo simple de orientaciones, de elementos de fábrica; este concepto se puede utilizar a distintas escalas de observación (Hobbs *et al.* 1981). El dominio definido en la sierra de Velasco está caracterizado por fallas de rumbo NNE e inclinación al ONO, mientras que el de la sierra de Ambato en su extremo austral presenta estructuras de rumbo NE que inclinan al NO. En el encuentro de ambas serranías estas direcciones se interfieren, originando un modelo de orientaciones estructurales distinto que caracteriza al denominado bloque Carrizal (Fig. 1). Las estructuras cuaternarias estudiadas constituyen potenciales fuentes sismogénicas para la región, cuya importancia se intensifica por ubicarse en cercanías de las ciudades de La Rioja y San Fernando del Valle de Catamarca.

### Reseña estratigráfica

la sierra de Velasco y el sector austral de la sierra de Ambato están principalmente constituidos por bloques de basamento ígneo-metamórfico de edad precámbrica a paleozoica. En la vertiente oriental se reconoce a la Formación La Cébila (González Bonorino 1951) formada por mica-citas, cuarcitas y esquistos micáceos del Ordovícico Inferior (Verdecchia *et al.* 2007); la Formación Antinaco (Turner 1971) que comprende a gneises, migmatitas, granitos migmatíticos y esquistos inyectados, atribuida al Ordovícico Superior-Devónico Inferior (Cravero y González Díaz 1999) y la Formación Paimán (Turner 1971). Esta última agrupa granitos, granodioritas y tonalitas, junto con aplitas y pegmatitas y abarca varios pulsos intrusivos que van desde el Ordovícico al Carbonífero (Cravero y González Díaz 1999, Grosse *et al.* 2008). Pequeños afloramientos de sedimentitas neopaleozoicas se observan en la periferia de los bloques serranos. Predominan hacia el extremo sur de la sierra de Velasco donde se reconoce la Formación Patquía y en la quebrada de la Cébila donde fueron citados como Formación Trampeadero (González Díaz 1970). La distribución de afloramientos de nive-

les mesozoicos está aun en revisión; Hünicken *et al.* (2001) hallaron restos de huevos de dinosaurios saurópodos pertenecientes al Cretácico Tardío en el valle de Sanagasta, dentro de niveles que se asignaban al Terciario.

La secuencia neógena que aflora en la región comienza con los depósitos clásticos, calizas y tobas de la Formación Los Llanos (Zuzec 1978), que ha sido atribuida al Mioceno medio-Plioceno (Ezpeleta *et al.* 2006). La Formación Los Llanos aflora por debajo de las coberturas cuaternarias en pequeños destapes vinculados frecuentemente a la deformación cuaternaria. En el sector norte de la sierra de Velasco los depósitos neógenos de limolitas arcillosas y areniscas, con cantidades variables de cemento carbonático, han sido referidos como Formación Salicas (Socic 1973); por hallazgos fósiles esta formación se ubicaría en el Mioceno tardío (Tauber 2005). Según Tauber (2005) la Formación Salicas sería posterior a la Formación Los Llanos.

Finalmente, sobre las rocas precedentes se encuentran en discordancia angular depósitos aluviales cuaternarios que constituyen distintos niveles de agradación; en algunos sectores están afectados por deformación tardío-cenozoica.

### MARCO TECTÓNICO

Las sierras de Velasco y Ambato corresponden a bloques de basamento de las Sierras Pampeanas, levantados durante la deformación andina mediante fallas inversas de alto ángulo que conforman una faja plegada y corrida de piel gruesa. la sierra de Velasco presenta un frente de falla principal al oriente, mientras que el extremo sur de la sierra de Ambato muestra fallamiento en ambos lados del bloque.

El piedemonte oriental de ambas sierras se desarrolla sobre la cuenca La Rioja cuyo relleno cenozoico se acumuló traslapando las pequeñas cuencas extensionales mesozoicas y los altos de basamento paleozoico que han sido reconocidos en los perfiles sísmicos registrados por

YPF (Fisher *et al.* 2002) y a partir de datos de perforaciones para explotación de agua subterránea, sísmica de refracción y gravimetría (Tineo 1981).

La cuenca La Rioja se desarrolla entre las sierras de Velasco al oeste y Ancasti al este, con un límite más irregular al sur dado por pequeños bloques como las sierras de Los Llanos y Brava (Fig. 1) que manifiestan la propagación de estructuras profundas. Corresponde a una cuenca asimétrica, cuya profundidad en los sectores de mayor desarrollo es del orden de los 3.000 (Fisher *et al.* 2002) a 4.000 metros (Tineo 1981). La potencia de la secuencia neógena alcanzaría los 1.500 m (hasta 3.000 m para Fisher *et al.* 2002), mientras que los espesores de depósitos cuaternarios se estiman en 600 m en los sectores de mayor profundidad de la cuenca (Tineo 1981). Los espesores disminuyen hacia el este, donde comienza a influir la estructuración de la sierra Brava (Fig. 1) cuyas fallas inversas presentan vergencia al oeste.

Si bien no hay dataciones para precisar la edad del levantamiento de estas serranías, datos regionales sobre la edad de las unidades sedimentarias afectadas por el fallamiento inverso vinculado a la subhorizontalización de la placa de Nazca (Jordan y Allmendinger 1986), permiten estimar que sería posterior a los 10 Ma.

La ciudad de La Rioja estaría ubicada sobre una posible zona de transferencia vinculada a una falla inversa de rumbo general E-O con alto ángulo de inclinación al sur. Asimismo, los perfiles sísmicos analizados muestran un desplazamiento diferente en las fallas inversas de rumbo meridional, ubicadas al norte y sur de la zona de transferencia (Fisher *et al.* 2002). Aceñolaza y Bortolotti (1981) describieron fallas inversas de rumbo NO y NNO, de alto ángulo e inclinación opuesta, que convergen sobre el valle tectónico del río de Los Sauces.

El frente montañoso bajo análisis está formado por dos unidades morfotectónicas principales, las sierras de Velasco y Ambato, que pueden ser subdivididas en unidades de menor jerarquía útiles para el

entendimiento y caracterización de la deformación neotectónica de la zona.

La sierra de Velasco ha sido morfológicamente subdividida en sierra de Velasco Oriental y Occidental. Dentro de la zona a considerar se inscribe la sierra de Velasco Oriental, que hacia el norte se subdivide en bloques menores como la sierra de La Punta y la sierra de Mazán (Fig. 1). Hacia el este se desarrolla la sierra de Ambato que en su extremo sur puede subdividirse en el bloque Carrizal y la sierra de Ambato austral.

La disposición típica de los bloques pampeanos se ve perturbada en el límite entre las sierras de Velasco y Ambato. Allí, el bloque Carrizal no presenta un frente serrano abrupto ni un flanco tendido que conserve la peneplanicie desarrollada sobre el basamento ígneo-metamórfico. Esta unidad morfotectónica, de menor elevación que las sierras que la circundan, se caracteriza por presentar estructuras con vergencia opuesta a las fallas que controlan el frente de la sierra de Velasco Oriental (Fig. 1) pero consistentes con la orientación y vergencia de las estructuras del frente occidental de la sierra de Ambato, fuera de la zona de estudio.

## ANTECEDENTES NEOTECTÓNICOS DE LA REGIÓN

Menciones acerca de la estructuración cuaternaria de las sierras de Velasco y Ambato se encuentran en estudios enfocados a la prospección hidrogeológica, al mapeo geológico regional y, posteriormente, a la evaluación del peligro sísmico de la región.

González Díaz (1974) mencionó pedimentos desarrollados sobre las rocas del basamento de la sierra de Ambato en su vertiente occidental, al oeste de la quebrada de La Cébila. Esta erosión se habría producido durante el Plio-Cuaternario y las superficies se habían exhumado en el Cuaternario producto de la estructuración de la sierra de Ambato (González Díaz 1974). La falla La Cébila, el sistema de fallas Quebrada La Aguadita y el

grupo de fallas Ambato austral se vinculan a la actividad cuaternaria del frente suroccidental de la sierra de Ambato (González Díaz 1974, Costa *et al.* 2008). Castaño (1976) describió los aspectos geológicos e hidrológicos del piedemonte de la sierra de Velasco Oriental e incluyó observaciones relacionadas con la tectónica cuaternaria de la sierra de La Punta (Fig. 1). Definió cuatro niveles de agradación cuaternaria entre los que destacó el primero, que habría sido depositado con anterioridad a la estructuración de la sierra de La Punta. La actividad cuaternaria en los alrededores de la localidad de Templeque, en extremo norte de la sierra, fue citada en estudios posteriores (Costa 2008). Tineo (1981) mencionó la reactivación de las fracturas que limitan la cuenca de La Rioja en su borde occidental. Asimismo, vinculó a la falla que afecta la quebrada de Los Sauces con una basculación diferencial de la sierra de Velasco que habría dado lugar a la erosión de los niveles pedemontanos más antiguos al sur de dicha quebrada. Aceñolaza y Bortolotti (1981) interpretaron esta diferencia por la deformación diferencial vinculada al sistema de fallas de la quebrada de La Rioja, compuesto por fallas inversas de rumbo NO y alto ángulo, cuyas inclinaciones opuestas dan origen al valle tectónico que contiene al río de Los Sauces.

Al sur de la sierra de Velasco se han citado evidencias de actividad neotectónica que probablemente llegan al Holoceno (Massabie *et al.* 1998). La falla Patquía Viejo, de unos 60 km de longitud, se manifiesta por una escarpa de falla de rumbo NNO con cara libre al este. La actividad neotectónica de esta estructura está sugerida por anomalías en el drenaje y depósitos de abanicos terminales aguas abajo de la traza de falla.

Al noreste, sobre el piedemonte oriental del bloque de Ambato, en los alrededores de las localidades de Los Ángeles y Huillapima, se han citado desplazamientos cuaternarios de fallas inversas que afectaron los depósitos pedemontanos (Pappetti y Eremchuk 2004). El sismo de 2004 en Los Ángeles, localidad catamar-

queña ubicada 30 km al norte de Chumbicha, alcanzó una magnitud  $M_w$  de 6,2 y una profundidad de unos 8 km con una fuente compresional (Alvarado y Beck 2005). Si bien no se han realizado levantamientos de detalle, tampoco se han reportado evidencias de rupturas en superficie a causa del citado sismo.

Sobre el pie oriental de la sierra de Velasco Occidental, en los alrededores de las localidades de Anillaco y Aminga, Costa *et al.* (2004b) describieron rupturas superficiales cuaternarias sobre la falla Aminga que se dispone subparalelamente al frente serrano (Fig. 1).

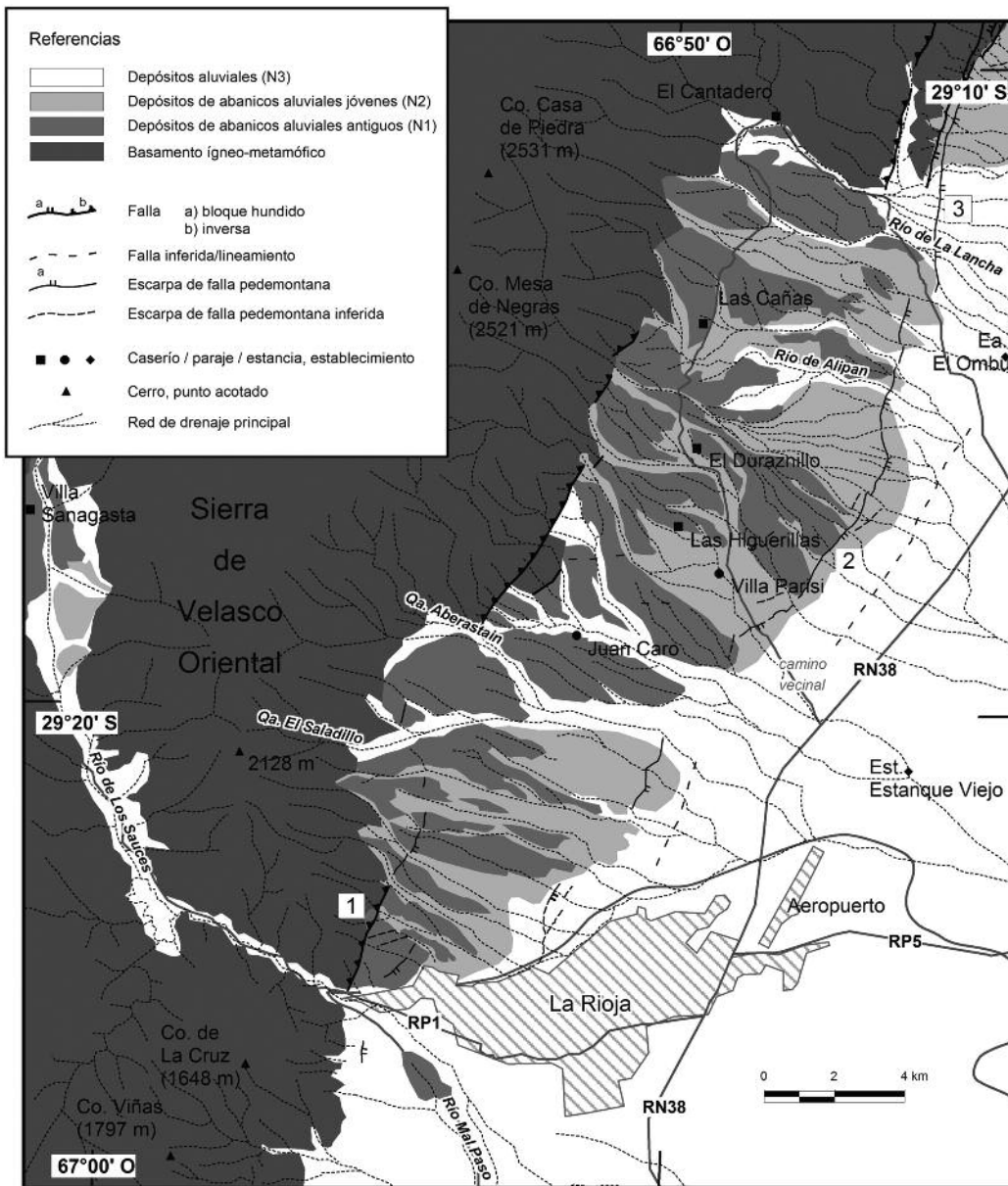
Finalmente, al norte de la zona de estudio, la falla Villa Mazán afecta depósitos aluviales cuaternarios atribuidos tentativamente al Pleistoceno superior (Costa 2008).

## ACTIVIDAD NEOTECTÓNICA EN EL PIEDEMONTTE ORIENTAL DE LA SIERRA DE VELASCO ORIENTAL

Las evidencias de actividad tectónica cuaternaria en la sierra de Velasco Oriental corresponden a tramos reactivados de la falla que delimita el frente serrano y a propagaciones o ramificaciones de estructuras profundas que afectan los depósitos pedemontanos adyacentes.

### Frente oriental de la sierra de Velasco Oriental, al norte de la ciudad de La Rioja

A lo largo de todo el piedemonte de la sierra de Velasco Oriental, en el sector que se extiende al norte de la desembocadura del río de Los Sauces hasta el caserío El Cantadero, se han identificado escarpas de falla y lineamientos definidos por anomalías de drenaje alineadas, con orientación general NNE a NE (Fig. 2). Al norte de la ciudad de La Rioja el frente de levantamiento serrano está delimitado por la falla Los Sauces, la cual presenta evidencias de reactivación cuaternaria (Costa 2008). La falla, de rumbo general  $N20^\circ E$  y vergencia oriental, presen-



**Figura 2:** Mapa morfoestructural de la sierra de Velasco Oriental en cercanías de la ciudad de La Rioja. Ubicación en figura 1. Estructuras mencionadas en el texto: 1) Falla Los Sauces; 2) falla El Duraznillo; 3) escarpas de falla pedemontanas de la sierra de La Punta.

ta asociadas escarpas de falla de disposición subparalela y oblicua. Deflexiones en el drenaje vinculadas a esta estructura principal podrían explicarse con la participación de movimientos transcurrentes durante el Cuaternario (Costa 2008). La falla Los Sauces manifiesta su propagación hacia el norte a través de una escarpa de falla pedemontana que afecta los depósitos de abanicos aluviales antiguos (N1) y que se define hasta la quebrada El Saladillo. Allí, la línea del frente serrano se desplaza hacia el oeste mostrando una mayor sinuosidad; si bien esto es característico de frentes con baja tasa

de actividad tectónica, la presencia de una escarpa en el piedemonte indica la reactivación cuaternaria de la falla en este tramo (Fig. 2).

Al norte de la quebrada Aberastain el frente vuelve a emerger a lo largo de 5 km con características similares a las de la falla Los Sauces, continuidad que se desdibuja al norte del caserío Las Cañas hasta El Cantadero. En este sector el frente de la sierra se ubica unos 8 km hacia el este y está controlado por la falla frontal de la sierra de La Punta (Fig. 1). Esta presenta una ramificación frontal que corta los depósitos aluviales jóvenes (N2) y

continúa claramente hacia el sur donde afecta los depósitos aluviales N3 a la latitud del río de La Lancha (3 en Fig. 2).

Al oeste de la estancia El Ombú se reconocen numerosas escarpas de falla que afectan los depósitos aluviales jóvenes (N2) y que se alinean hacia el sur con la escarpa de falla El Duraznillo, denominada por Costa (2008) a la latitud de Las Higuierillas donde disloca principalmente los depósitos aluviales antiguos (N1). Este rasgo morfotectónico pierde continuidad en el cruce del camino vecinal, en las cercanías de Villa Parisi.

Una serie de escarpas pedemontanas ali-

neadas con la falla El Duraznillo se reconocieron hacia el sur de la traza principal. Una de ellas se localiza al sur de la quebrada El Saladillo; presenta 2 km de longitud, cara libre al E y afecta los depósitos del segundo nivel (N2). Esta deformación en el piedemonte coincide aguas arriba con el tramo de mayor sinuosidad del frente serrano. Los depósitos aluviales N3 son afectados por otra escarpa de falla muy próxima a la ciudad capital, con su cara libre al este y un desnivel medido que alcanza los 15 metros.

Hacia el este de estos rasgos se reconocieron anomalías en la red de drenaje que presentan una continuidad lineal vinculada probablemente a una escarpa de falla, aunque sobre este rasgo morfológico no fue posible definir ningún relieve asociado. Entre las perturbaciones observadas cabe citar el desarrollo local de meandros y meandros comprimidos así como la concentración anómala de vegetación, que podrían ser interpretados como resultado de movimientos tectónicos durante el Cuaternario.

Si bien el trabajo se concentró al norte de la ciudad de La Rioja, al sur del río de Los Sauces se ha observado una pequeña escarpa al pie del cerro de La Cruz y, distantes entre 4 y 6 km del frente, se han distinguido remanentes de un nivel aluvial antiguo cuya conservación podría estar relacionada a la actividad de ramificaciones de la falla principal. Las evidencias descritas en el extremo sur de la sierra de Velasco, como la falla Patquía Viejo (Massabie *et al.* 1998), podrían estar vinculadas a las aquí citadas manifestando la continuidad de la deformación cuaternaria al sur de la ciudad capital.

El piedemonte de la sierra de Velasco está tapizado por una abundante cobertura vegetal y en particular en cercanías de la ciudad de La Rioja, está obliterado por la actividad antrópica (emprendimientos agrícolas y canteras de áridos) que produjo modificaciones en el paisaje perturbando el reconocimiento de los rasgos neotectónicos originales.

Los rasgos estructurales y morfotectónicos identificados se distribuyen en dos fa-

jas paralelas al frente serrano, separadas entre 4 y 8 km, las cuales presentan cierta continuidad espacial a lo largo de todo el piedemonte riojano afectando los tres niveles de agradación diferenciados (Fig. 2).

#### **Frente oriental de la sierra de La Punta**

A la latitud del bloque Carrizal el frente de la sierra de Velasco Oriental presenta una orientación N10°E. El sector pedemontano constituye una bajada aluvial que hacia el este se interrumpe por el levantamiento de la sierra de Ambato, en particular del bloque Carrizal. Los abanicos más antiguos (N1 en Fig. 3) se encuentran afectados por estructuras de rumbo NNE subparalelas al frente de la sierra. En superficie se observan escarpas de falla pedemontanas de escasa longitud (1 km) con cara libre al este (Fig. 1). También se observan escarpas de falla cercanas al frente de la sierra que indicarían reactivaciones cuaternarias de la estructura frontal (Fig. 1) o ramificaciones cercanas a la línea del frente.

La estructura que controla el frente oriental de la sierra de La Punta migra y se propaga al sur en el piedemonte, mediante una escarpa de cara libre al este (3 en Fig. 2). Estos rasgos morfotectónicos cuaternarios continúan en forma discontinua hasta la ciudad capital.

### **ACTIVIDAD NEOTECTÓNICA EN EL BLOQUE CARRIZAL Y EL PIEDEMONTA ORIENTAL DE LA SIERRA DE AMBATO**

Tanto en el bloque Carrizal como en el extremo sur de la sierra de Ambato los dominios estructurales comienzan a variar. En el bloque Carrizal una de las orientaciones de estructuras con deformación cuaternaria coincide con las predominantes en la sierra de Velasco, pero su inclinación es opuesta. Hacia el este comienzan a predominar estructuras con orientación ENE.

#### **Bloque Carrizal**

En este sector las evidencias de actividad

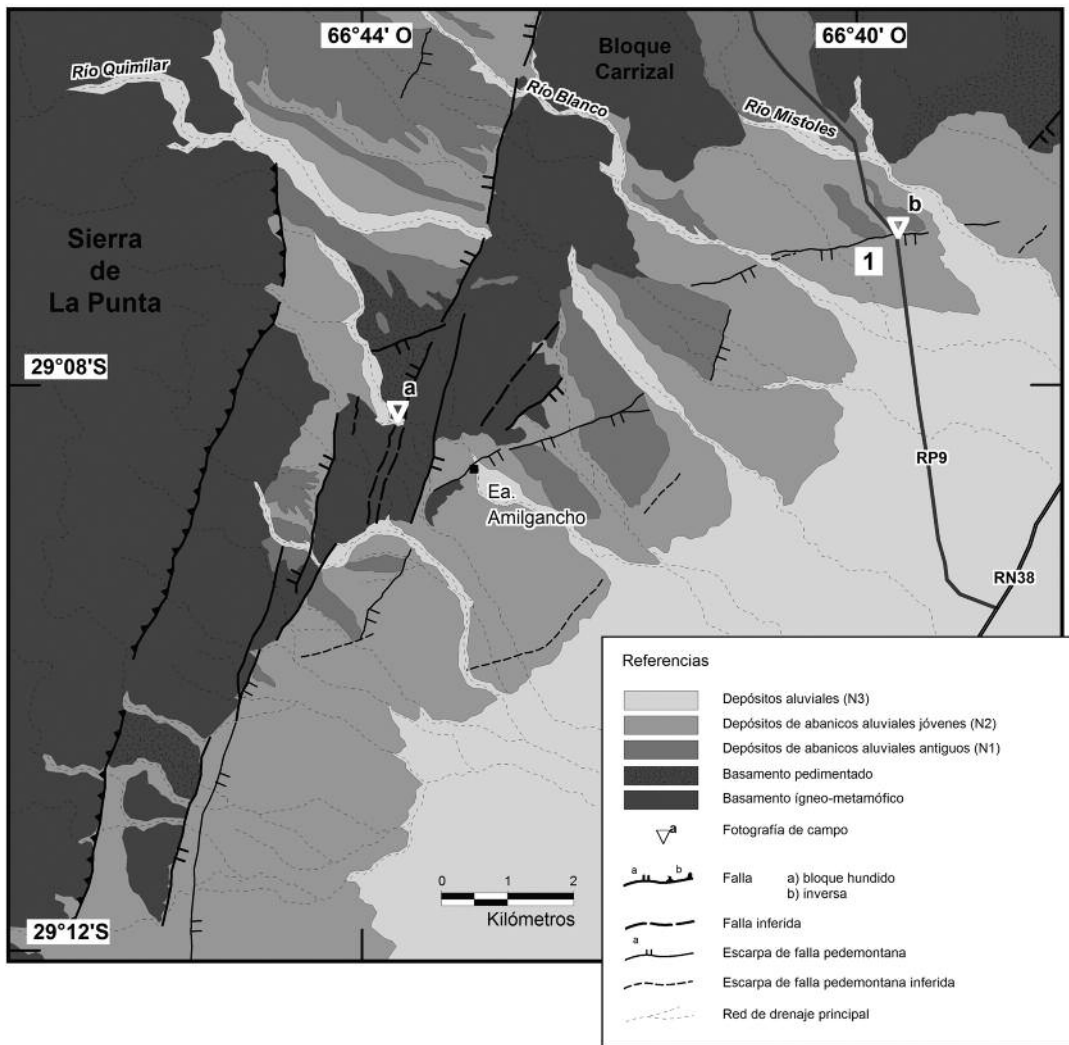
cuaternaria corresponden a la reactivación de las fallas que delimitan el bloque Carrizal con direcciones coincidentes con las de la sierra de Velasco Oriental (NNE, Fig. 1) y a las prolongaciones de estas estructuras en el piedemonte, así como a escarpas de falla pedemontanas que corresponden al dominio de la sierra de Ambato austral (rumbo ENE). Este bloque serrano constituye una zona de interferencia entre los dominios estructurales de las sierras de Velasco Oriental y Ambato.

*Carrizal de Arriba:* Proserpio (1967) describió el pedimento cubierto ubicado sobre el pie oriental de la sierra de La Punta (Fig. 1). Esta superficie de pedimentación se desarrolló sobre la secuencia neógena de la Formación Salicas (Mioceno tardío) que se halla plegada.

Sobre el pie occidental del extremo sur de la sierra de Ambato, hacia la depresión delimitada además por la sierra de Velasco al oeste y el bloque Carrizal al sur, la superficie de pedimentación se desarrolló sobre rocas metamórficas. Según González Díaz (1974) la cobertura de esta superficie corresponde al primer nivel de agradación cuaternario y se halla desplazado por movimientos tectónicos en el límite Plio-Pleistoceno. Estos movimientos habrían ascendido el bloque Carrizal perturbando la red de drenaje, principalmente el curso normal del río Salado en su salida hacia la cuenca de La Rioja (Fig. 1).

Costa (2008) al oeste del puesto Carrizal de Arriba destacó obstrucciones en el drenaje y convergencia de cursos, controlados por la generación de escarpas de falla contrapendiente (cara libre al oeste) con rumbo subparalelo al frente de la sierra de La Punta, que permitieron la acumulación de sedimentos finos de playa o barreal que han sido a su vez perturbados por el crecimiento de uno de los ramales. Según los citados autores la edad de este último movimiento registrado llegaría al Holoceno.

Al norte del puesto Carrizal de Arriba la secuencia neógena está dispuesta en forma periclinal a la sierra de Mazán, que en



**Figura 3:** Mapa del piedemonte sur del bloque Carrizal en el que se observa la disposición opuesta de las estructuras que marginan los bloques menores respecto de la sierra de Velasco y, hacia el este, las estructuras de rumbo ENE como la escarpa de falla Bazán (1). Ubicación en figura 1.

este sector mantiene rumbo NE. Allí se detectaron desplazamientos paralelos a la estratificación (*flexural slip*) de las capas de la Formación Salicas (de rumbo N45°E e inclinación 30°SE). Estos desplazamientos son transversales a las fallas de orientación N-S que marginan la sierra de La Punta y que caracterizan al bloque Carrizal.

*Amilgancho:* Hacia el este de la antigua Estancia Amilgancho, ubicada al pie del bloque Carrizal, se desarrolla una importante escarpa de falla pedemontana de rumbo ENE, con cara libre al SSE, que afecta los depósitos aluviales más antiguos de la vertiente oriental del bloque (Fig. 3).

Hacia el oeste, al otro lado de la serranía, es donde se evidencia la vergencia opuesta de las fallas con respecto a las que mar-

ginan la sierra de Velasco. Al oeste de la estancia una de estas escarpas rocosas desarrolla su cara libre al este. En el sitio a (Fig. 3) se han observado depósitos finos que se interpretan como acumulaciones provocadas por el endicamiento o al menos el entretencimiento de la escorrentía producto del levantamiento cuaternario de la falla occidental que limita al bloque Carrizal, con vergencia al oeste. Corresponde a un suelo desarrollado sobre depósitos arcillo-limosos con gravillas (fragmentos de rocas del basamento igneo-metamórfico) conservado en los laterales de la quebrada que ha sido labrada sobre un nivel de roca pedimentado (Fig. 4).

Se observaron además, pequeñas acumulaciones de agua en el labio hundido que manifiestan una anomalía en el drenaje

en respuesta a la actividad tectónica cuaternaria.

Hacia el norte, el límite occidental del bloque Carrizal se hunde en la depresión tectónica pero algunas de sus estructuras continúan perturbando el drenaje y deforman los depósitos cuaternarios (véase descripción Carrizal de Arriba).

Hacia el sudeste se registra un desnivel dentro del depósito aluvial joven (escarpa de falla inferida, Fig. 3) que se manifiesta principalmente por la erosión fluvial de pequeñas cabeceras. Aguas arriba de este sector de drenaje anómalo los canales presentan una mayor incisión y en algunos casos mayor sinuosidad o desarrollo local de meandros. Si bien en toda la zona abunda la cobertura vegetal, aguas abajo en este sector los cauces presentan aun mayor cobertura y tienen menor de-

finición.

Los abanicos aluviales jóvenes (N2) se interdigitan con los depósitos aluviales del nivel inferior (N3) en el sector distal de la bajada. Los depósitos aluviales jóvenes (N2), junto con los del nivel más antiguo (N1), son los que están afectados por la mayoría de las estructuras mencionadas. En este sector, los depósitos del nivel inferior (N3) no presentan evidencias de perturbaciones tectónicas.

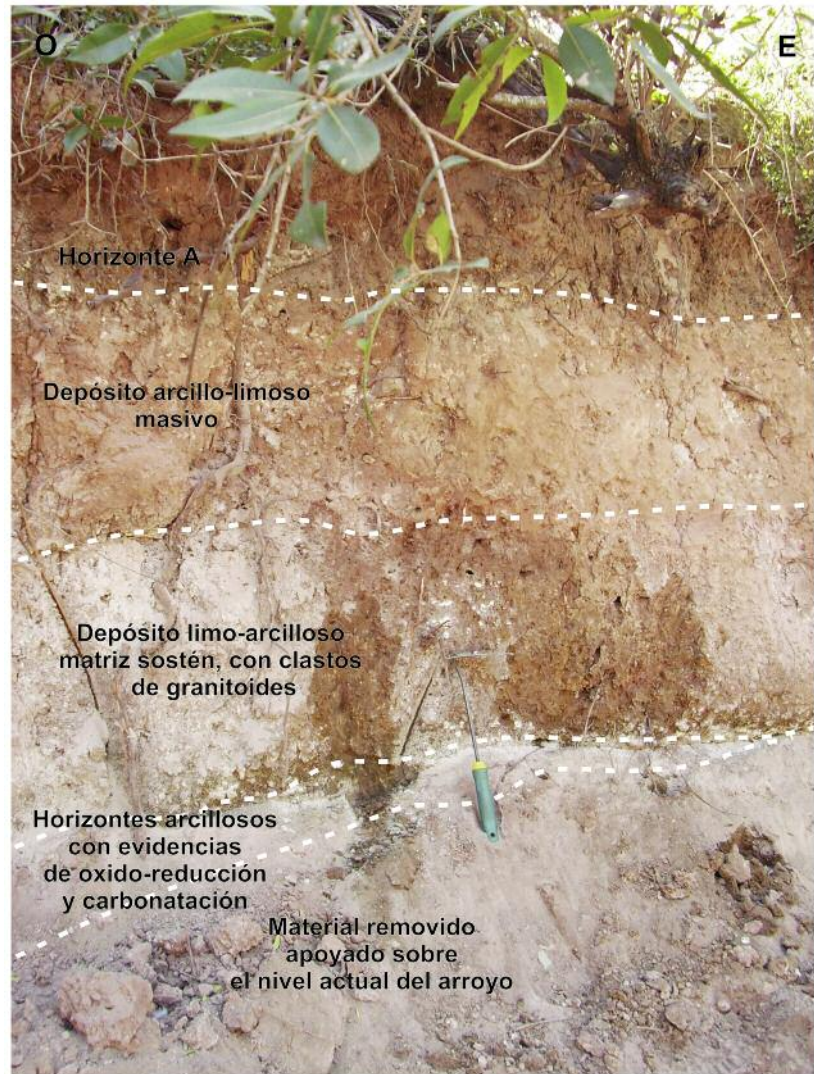
Relictos del primer nivel se conservan en la parte alta del bloque Carrizal (N1, Fig. 3), manifestando el desplazamiento de la serranía con posterioridad a la acumulación de la antigua bajada proveniente del oeste.

**Bazán:** La expresión morfológica de la falla Bazán corresponde a una escarpa de falla pedemontana de 4 km de longitud, con orientación ENE y cara libre SSE (Fig. 5).

Sobre el lateral oeste de la ruta provincial 9 un corte artificial que atraviesa la falla perpendicularmente a su rumbo (Fig. 3) permite apreciar la zona de falla que pone en contacto capas rojas del Neógeno con niveles de gravas gruesas cuaternarias, ambos cubiertos por sedimentos coluviales más jóvenes (Fig. 6). Las sedimentitas neógenas son asignadas a la Formación Los Llanos y están compuestas por areniscas finas a medianas con intercalaciones sabulíticas y esporádicas capas tobáceas de 1 a 2 cm de espesor.

La falla muestra un plano poco definido con fuerte inclinación al NNO, con una zona de falla de 30 cm de espesor, poco cohesiva y sin una estructura interna, integrada por clastos triturados de los niveles cuaternarios y de las sedimentitas neógenas. Dentro de las rocas neógenas se encuentran planos de fracturas y pequeñas fallas secundarias de rumbo subparalelo a la traza de la escarpa y alta inclinación al NNO y SSE. Estos planos controlan zonas de fuerte cementación carbonática que en parte obliteran la estratificación primaria.

La estratificación de los sedimentos neógenos es subhorizontal a ligeramente inclinada al SSE cerca de la falla y al NNO



**Figura 4:** Fotografía del depósito aflorante en el punto a de la figura 3, sobre la margen izquierda del arroyo. Se interpreta como un depósito de endicamiento producto del desplazamiento de la falla inversa que margina el bloque Carrizal por el oeste y que habría interrumpido el drenaje normal, hacia el este, proveniente de la sierra de La Punta.

al alejarse de ella (fuera de la figura). Pequeños pliegues de arrastre próximos a las fallas secundarias indican la cinemática inversa.

Los depósitos cuaternarios del bloque yacente muestran zonas con cementación carbonática irregular, donde se aprecian clastos movidos y rotados presumiblemente por la deformación asociada a la estructura. En el bloque colgante se aprecia una pequeña cuña de material cuaternario, que es también afectada por fracturas con cementación carbonática, las cuales incluso parecen alcanzar en parte a la cubierta superficial (Fig. 6). No

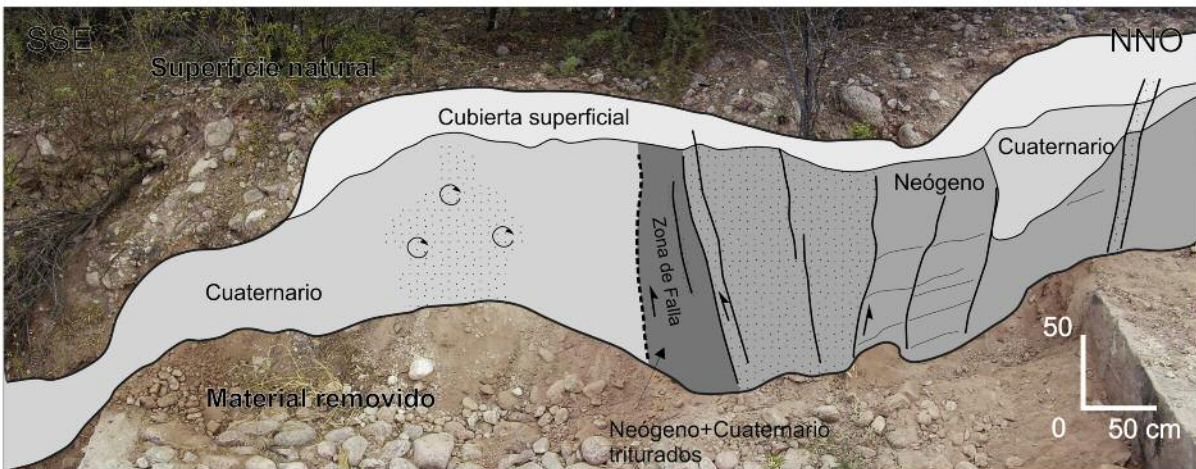
se pudo determinar si esta cuña es truncada por el plano de fractura que afecta al Neógeno o si es un relleno controlado por dicho plano.

Sobre el bloque serrano, aguas arriba de la escarpa de falla Bazán y disectado por el río Místoles, se conserva un depósito aluvial sobreelevado respecto de los niveles aluviales pedemontanos (Fig. 3) con capas de areniscas y conglomerados que inclinan contrapendiente unos 7° al NO. Este depósito aluvial, al igual que los relictos cercanos a la Estancia Amilgancho, se habría depositado con anterioridad al levantamiento del bloque Carrizal.



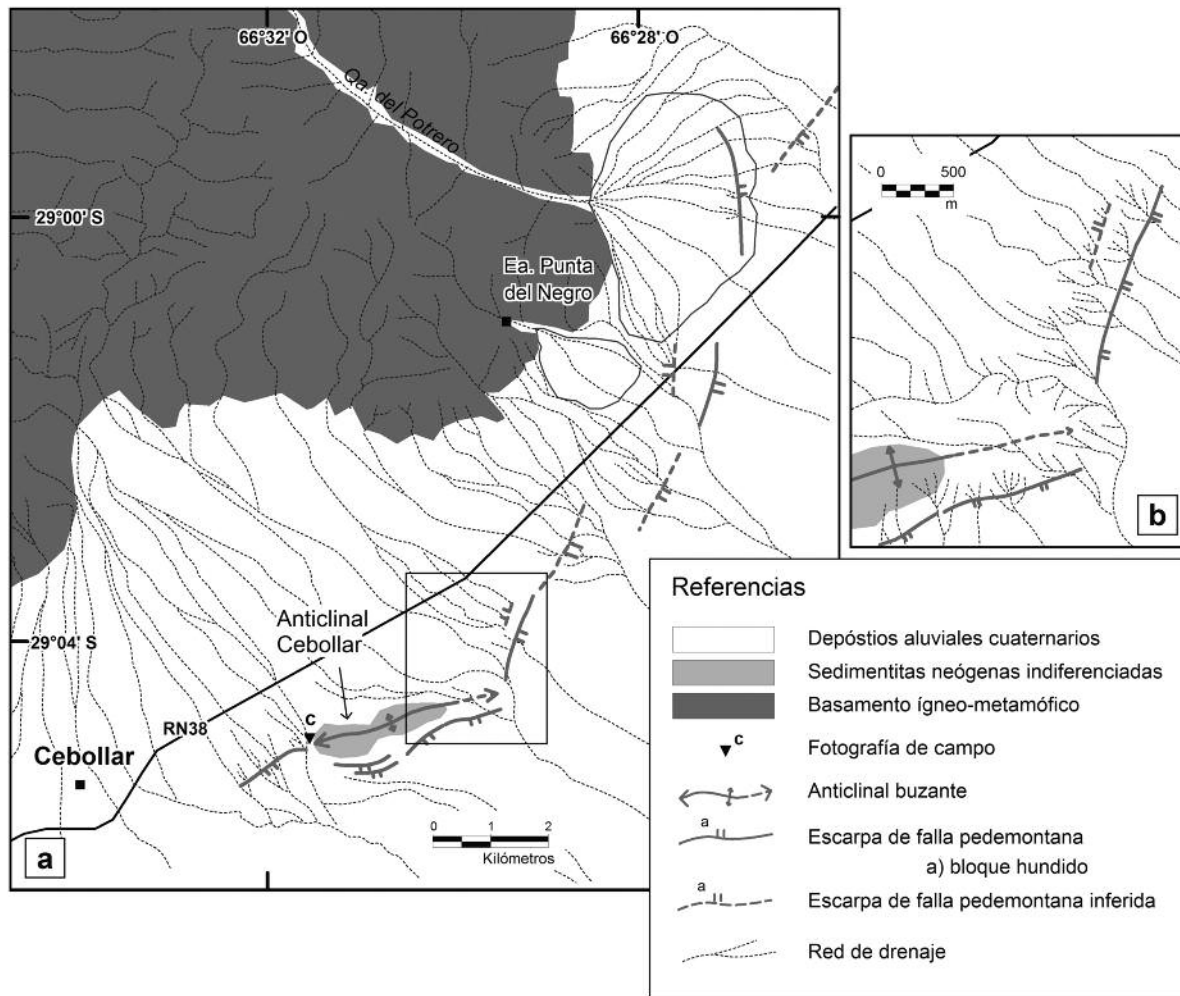


**Figura 5:** Fotografía aérea oblicua de la escarpa de falla Bazán donde se observan los dos niveles aluviales cuaternarios (N1, N2, Fig. 3) desplazados por la estructura. Se observa el cruce de la ruta provincial N° 9 donde se realizó el corte estructural (Fig. 6, punto b en Fig. 3) (modificado de Costa 2008).



— Estratificación | — Fracturas | ○ Clastos movidos | □ Cementación carbonática

**Figura 6:** Corte estructural de la escarpa de falla Bazán mostrando las características de la zona de falla sobre el destape de la ruta provincial 9.



**Figura 7:** a) Mapa morfoestructural del piedemonte de la sierra de Ambato al noreste de la localidad de Cebollar, donde se observa el plegamiento neógeno cuya propagación afectó los depósitos pedemontanos cuaternarios; ubicación en figura 1; b) detalle de las anomalías de drenaje que evidencian actividad tectónica durante el Cuaternario. El rectángulo de la figura 7a indica la ubicación del detalle.

En el piedemonte del bloque Carrizal, trazas discontinuas de alrededor de un kilómetro de longitud corresponden a escarpas y lineamientos estructurales de rumbo NE. Hacia el noreste del sector de Bazán, sobre ambos márgenes del río Salado, este rumbo se observa en dos escarpas de falla subparalelas que en parte coinciden con el borde sur del bloque (Fig. 1) y cuya reactivación afectó un nivel de basamento pedimentado y los depósitos aluviales cuaternarios adosados a la serranía.

#### Frente oriental de la sierra de Ambato austral

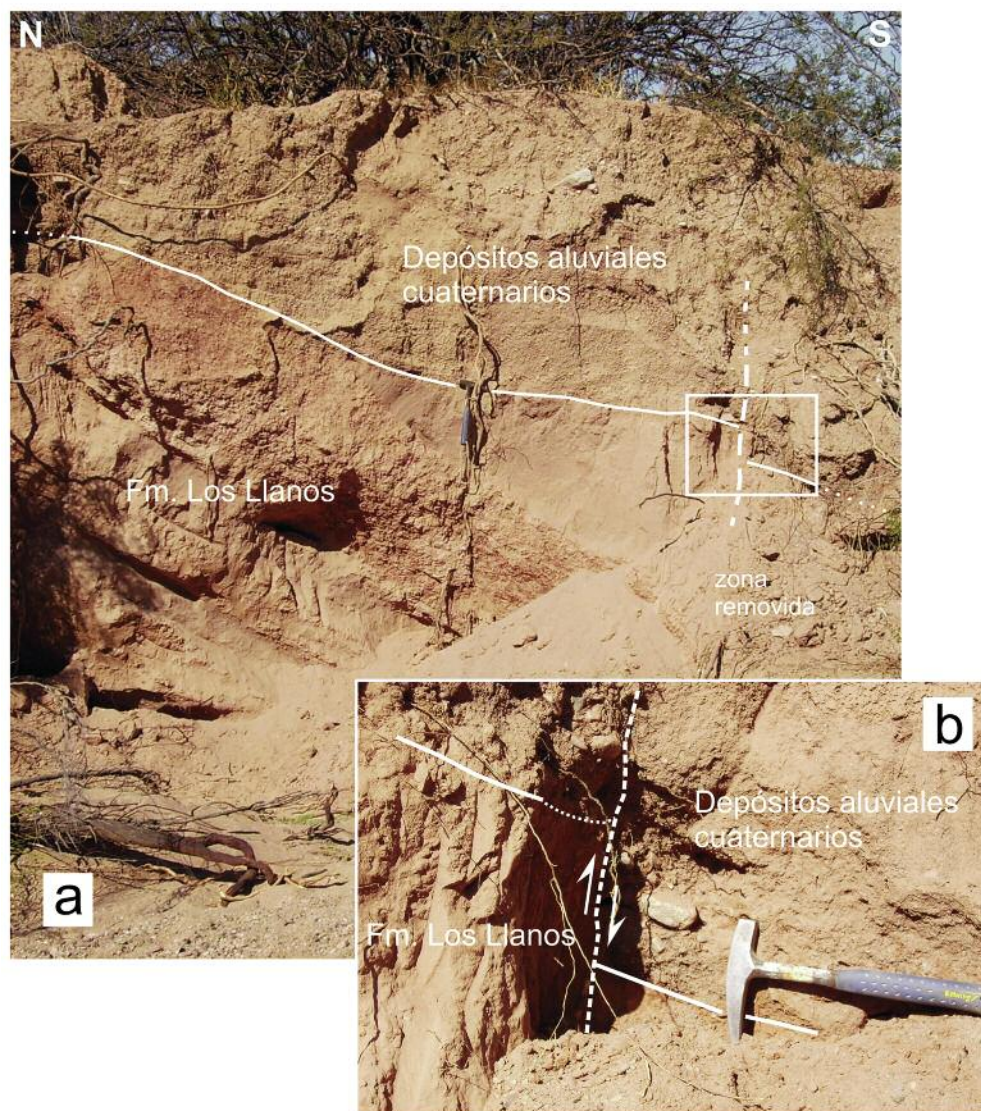
En este sector se hallaron evidencias directas de deformación neógena y cuaternaria, tales como escarpas de falla y pliegues, que afectan al piedemonte entre las localidades de Cebollar y Chumbicha (Fig.

1). Asimismo, se identificaron perturbaciones en el drenaje superficial que fueron interpretadas como evidencias indirectas de actividad cuaternaria.

**Cebollar:** Rasgos estructurales y morfoestructónicos fueron identificados en el ámbito pedemontano del extremo sur de la sierra de Ambato, al noreste de la localidad de Cebollar (Fig. 7). En este sector (c en Fig. 7a), afloran depósitos de probable edad miocena-pliocena constituidos por areniscas masivas con intercalaciones tobáceas y bancos pelíticos laminados atribuibles a la Formación Los Llanos y equivalentes. En uno de los arroyos de orientación SSE se expone la estructura neógena (Fig. 8a) caracterizada por un anticlinal asimétrico de rumbo ENE y vergencia SSE, con flancos que inclinan  $35^{\circ}$ S y  $19^{\circ}$ N, de unos 500 m de semilongitud de onda. En el flanco sur una falla

menor desplaza la cobertura aluvial cuaternaria, arenas y gravas finas de color castaño grisáceo, con un rechazo vertical aparente de 15 cm (Fig. 8b).

Hacia el oeste, en dirección al eje del pliegue aflora una escarpa de falla con cara libre al SE y un resalto topográfico de 10 metros. La continuidad de este rasgo hacia el oeste se interpreta a partir de anomalías en la red de drenaje manifiestas por un mayor grado de incisión de los cursos y por el desarrollo de pequeños arroyos tributarios sobre el bloque elevado. Otras escarpas de falla pedemontanas de similar disposición espacial fueron fotointerpretadas al sur del anticlinal. Asimismo, cambios en el patrón de la red de drenaje marcan un alto topográfico al este del anticlinal. Este dorso y el conjunto de escarpas mencionado estarían indicando una propagación lateral y frontal de la



**Figura 8:** a) Fotografía del flanco sur del anticlinal de Cebollar (vista al este) en el corte de uno de los arroyos que bajan hacia el SE, punto c en figura 7a; b) detalle de la ruptura cuaternaria. El rectángulo de la figura 8a indica la ubicación del detalle.

deformación durante el Cuaternario (Fig. 7b).

Tanto la traza de las escarpas de falla como la traza axial del pliegue son subparalelas a la orientación de la falla Bazán ubicada en el piedemonte del bloque Carrizal (Figs. 1 y 3).

Vinculadas a un mayor carcavamiento de los cursos en el piedemonte serrano se distinguen otras escarpas de rumbo NNE. Una escarpa de falla de orientación N-S y cara libre al E disloca al abanico pleistoceno desarrollado en la desembocadura de la quebrada del Potrero (Fig. 7).

Por fotointerpretación se identificó un lineamiento asociado a anomalías en la red de drenaje, similares a las ya descritas, que permiten inferir una escarpa de falla

pedemontana con orientación NE (cuadrante noreste de la figura 7a). Esta disposición espacial coincide con la de la escarpa de falla Chumbicha, ubicada más al norte en el piedemonte oriental de la sierra de Ambato, provincia de Catamarca (Fig. 1).

En este ámbito pedemontano predominan estructuras de rumbo ENE, NNE y NE distribuidas al sur, centro y norte respectivamente del sector bajo análisis (Fig. 7a). Estas direcciones son compatibles con los dominios estructurales que controlan el crecimiento tectónico de los frentes serranos de Velasco, del bloque Carrizal y de la sierra de Ambato en los alrededores de Chumbicha (Fig. 1).

*Chumbicha:* En las inmediaciones de Chum-

bicha (Fig. 1) aflora una escarpa de falla pedemontana de rumbo N50°E y cara libre al este; corresponde a la falla Chumbicha inventariada por Costa *et al.* (2000, 2008) y mencionada en mapas de compilación previos como una estructura con deformación cuaternaria. Al sur de esta localidad, la falla Chumbicha afecta principalmente a un nivel cuaternario antiguo, más degradado, mientras que hacia el sur de la ruta nacional N° 60 la escarpa de falla continúa dislocando depósitos aluviales más jóvenes. Al norte de la localidad, afecta depósitos aluviales con mayor grado de preservación de la geoforma del abanico original y por lo tanto también más jóvenes.

Al sur de la ruta nacional N° 60, hacia la

quebrada del Potrero, se observan anomalías de drenaje tales como deflexiones y desvíos que permiten interpretar una suave flexura en los depósitos cuaternarios (Costa 2008). Posiblemente corresponda a un braquianticlinal en crecimiento, cuyo eje de rumbo general N30°E es subparalelo al frente de la sierra (Fig. 1), asociado a la propagación de una falla.

Aguas abajo se reconoce un lineamiento subparalelo al frente serrano, de orientación NE, a lo largo de 15 km aproximadamente (Costa 2008) que se caracteriza por presentar un control en el drenaje superficial. Sin embargo, no fue posible definir si estamos en presencia de una estructura geológica o un rasgo antrópico (una posible huella antigua enmascarada por una abundante cobertura vegetal). Si bien no hay certeza del origen tectónico del lineamiento, en las cercanías de la escarpa de falla Chumbicha, donde los abanicos aluviales son dislocados, el rasgo morfológico es más evidente.

## DISCUSIÓN

La distribución regional de estructuras con deformación cuaternaria refleja la interferencia de los dominios estructurales de la sierra de Velasco Oriental y de la sierra de Ambato. La orientación de las estructuras que limitan los bloques menores no mantiene un rumbo predominante, si bien la orientación del frente oriental de ambas sierras mantiene una disposición NE (Fig. 1).

La orientación de las estructuras con deformación cuaternaria no tendría relación con la dirección NNO-SSE de las fajas de deformación cataclásticas y miloníticas paleozoicas que afectan al basamento ígneo-metamórfico (Precámbrico-Paleozoico inferior) de la sierra de Velasco. Si bien las direcciones reactivadas o neoformadas dentro del piedemonte son subparalelas con los frentes montañosos, o coincidentes con fracturas del basamento, no reactivan las direcciones típicas de la deformación ordovícica superior-devónica determinadas por López y Toselli (1993).

Dado que no existen afloramientos de la secuencia mesozoica, aun no es fácil reconstruir la geometría de los depocentros extensionales. En las interpretaciones de las líneas sísmicas que atraviesan la cuenca de La Rioja (Fisher *et al.* 2002) se describen fallas de rumbo N a NNE, de corta longitud en planta, que inclinan tanto al este como al oeste y que presentan desplazamientos variables. Algunas de estas estructuras podrían estar invertidas tectónicamente afectando a los niveles cenozoicos.

Los datos de paleodeformación cenozoica para el extremo sur de la sierra de Ambato indican direcciones preferenciales de acortamiento SO-NE durante el Neógeno (de Urreiztieta *et al.* 1996). Estas direcciones de acortamiento no se corresponden directamente con aquellas necesarias para generar las estructuras con deformación neógena y cuaternaria presentadas en esta contribución.

En cuanto a las orientaciones de las estructuras identificadas en el frente suroccidental de la sierra de Ambato, los ejes de deformación calculados por de Urreiztieta *et al.* (1996) implican componentes de rumbo que no permiten explicar la orientación de los anticlinales, cuyos ejes se disponen subparalelos a la dirección de acortamiento calculada en varias localidades. Asimismo, la superposición entre las deformaciones neógena y cuaternaria asociada al plegamiento de Cebollar, no permite diferenciar una variación en la dirección de acortamiento en este sector, como la propuesta por Marrett *et al.* (1994) en distintas localidades de la Puna. La geometría de las estructuras con deformación cuaternaria observadas en el piedemonte oriental de las sierras de Velasco y Ambato es variable en cuanto a orientación en planta de los rasgos a lo largo de los frentes serranos y de sus piedemontes; las evidencias permiten interpretar desplazamientos de tipo inverso en todos los casos, con planos de inclinación opuesta dentro del bloque Carrizal. No se han observado evidencias de fallas normales como en el extremo sur de la Puna (Allmendinger *et al.* 1989) o en el

extremo norte de la sierra de Ambato (Mon 1999).

En el frente oriental de la sierra de Velasco la deformación cuaternaria migró hacia el ámbito pedemontano, su evidencia más clara es la escarpa de falla El Duraznillo. Asimismo, las escarpas cercanas a la ciudad de La Rioja podrían ser el resultado de la migración de la falla Los Sauces.

La presencia de un lineamiento estructural, NO-SE, entre la sierra de Velasco Oriental y la sierra de La Punta permitiría inferir una ligazón entre las fallas que afectan los piedemontes de ambas sierras; sin embargo, las escarpas presentan una disposición espacial semejante que podría sugerir la propagación de una misma falla.

## CONCLUSIONES

El frente oriental de la sierra de Velasco presenta numerosos rasgos de actividad tectónica cuaternaria. Sobre el piedemonte de la sierra de Velasco Oriental se describieron reactivaciones en distintos tramos de una estructura de rumbo NNE que controla el frente de la sierra y en las ramificaciones frontales, que afectaron al menos tres niveles de depósitos aluviales pedemontanos.

Asimismo, el frente oriental de la sierra de Ambato presenta ramificaciones y anomalías en el drenaje que serían consecuencia de la actividad tectónica durante el Cuaternario. En su extremo austral las evidencias de deformación cuaternaria son fallas inversas de rumbo NE y vergencia oriental como la falla Chumbicha.

En el piedemonte de la sierra de Ambato Austral se observa la interacción con el dominio estructural de la sierra de Velasco Oriental (NNE) que da lugar a escarpas de falla de orientación ENE relacionadas al anticlinal de Cebollar. Este dominio caracteriza al piedemonte adyacente al bloque Carrizal, donde la falla Bazán mantiene una orientación ENE junto a estructuras de rumbo NNE y NE.

Dentro del bloque Carrizal la interacción del dominio estructural NNE, con ver-

gencia al este de la sierra de Velasco Oriental y de vergencia oeste en la sierra de Ambato Occidental, se evidencia en la recurrente actividad de fallas con ambas direcciones de transporte tectónico que afectaron niveles cuaternarios de distinta edad relativa.

Los indicios estructurales y de geomorfología tectónica aportan nuevos datos acerca de las características, crecimiento y propagación de las estructuras neógenas y cuaternarias del sector pedemontano. En él, la deformación neógena prosiguió durante el Cuaternario, tal como lo sugieren los rasgos asociados al anticlinal de Cebollar, como las fallas menores y escarpas de falla que afectan depósitos jóvenes y las evidencias indirectas reveladas por anomalías en la red de drenaje.

La mayoría de estas estructuras tienen asociadas importantes deformaciones superficiales con evidencias de actividad recurrente a través del tiempo, por lo que deberían ser consideradas como potenciales fuentes sismogénicas.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Servicio Geológico Minero Argentino por el apoyo brindado y la autorización para publicar el presente trabajo. En particular, a la Delegación La Rioja y al Lic. Ramón Carrizo quien facilitó amablemente bibliografía de utilidad para el presente estudio. Al Lic. Herman Hunicken, de la Dirección de Minería de La Rioja, por su colaboración en las tareas de campo. Al Dr. Raúl Giacosa y al árbitro anónimo por sus valiosas correcciones y sugerencias que contribuyeron a la elaboración final del trabajo.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Aceñolaza, F.G. y Bortolotti, P. 1981. Estratigrafía y evolución tectónica de la quebrada de La Rioja; *Acta Geológica Lilloana* 15(3): 31-39.
- Assumpção, M. y Araujo, M. 1993. Effect of the Altiplano-Puna plateau, South America, on the regional intraplate stresses. *Tectonophysics* 221: 475-496.
- Allmendinger, R.W., Strecker, M., Eremchuk, J.E. y Francis, P. 1989. Neotectonic deformation of the southern Puna plateau, NW Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 2(2): 111-130.
- Alvarado, P. y Beck, S. 2005. The magnitude 6.2 Catamarca earthquake on 7 september 2004, Argentina. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 525-532, Buenos Aires.
- Araujo, M.A., Pérez, A.M. y Millán, M.H. 2005. The last destructive earthquakes occurred in La Rioja (05-28-2002) and Catamarca (09-07-2004), northwestern Pampean ranges, Argentina. 6th International Symposium on Andean Geodynamics, Extended Abstracts: 53-56, Barcelona.
- Caminos, R. 1979. Sierras Pampeanas noroccidentales. En Turner J.C.M. (ed.) 2° Simposio de Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias 1: 225-291, Córdoba.
- Castaño, O.F. 1976. Aspectos geológicos e hidrogeológicos de la zona de La Costa, departamentos Castro Barros y Arauco, La Rioja. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 31(1): 11-22.
- Costa, C. 2008. Neotectónica. Caracterización preliminar del peligro sísmico en la provincia de La Rioja. En González, M.A., González Díaz, E.F., Elissondo, M., Juárez, P., Coppolecchia, M., Costa, C., Cisneros, H., Tello, G. y Hunicken, H. (eds.) Peligrosidad sísmica en la sierra de Velasco, provincia de La Rioja. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Serie Contribuciones Técnicas: Peligrosidad Geológica 14: 30-65, Buenos Aires.
- Costa, C., Carignano, C., Hunicken, H., Cisneros, H., Elissondo, M., Valdivia, R. y González Díaz, E. 2004. La falla Aminga (sierra de Velasco, La Rioja): nueva evidencia de rupturas superficiales cuaternarias en las Sierras Pampeanas. 12° Reunión sobre Microtectónica y Geología Estructural, Resúmenes: 8, Salta.
- Costa, C., Casa, A., Yamin, M., Coppolecchia M., Pérez, I. y Cisneros, H. 2008. Nuevo mapa e inventario de deformaciones cuaternarias argentinas. 17° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 1132, Buenos Aires.
- Costa, C., Machette, M., Dart, R., Bastías, H., Paredes, J., Perucca, L., Tello, G. y Haller, K. 2000. Map and Database of Quaternary Faults and Folds in Argentina. United States Geological Survey Open-File Report 00-0108, 76 p., Denver.
- Cravero, O. y González Díaz, E.F. 1999. Hoja Geológica 2966-III La Rioja, provincia de La Rioja. Servicio Geológico Minero Argentino, Instituto de Geología y Recursos Minerales (inédito), 49 p., versión preliminar, Buenos Aires.
- de Urreiztieta, M., Gapais, D., Le Corre, C., Cobbold, P. R. y Rossello, E. 1996. Cenozoic dextral transpression and basin development at the southern edge of the Puna Plateau, northwestern Argentina. *Tectonophysics* 254: 17-39.
- Ezpeleta, M., Dávila, F.M. y Astini, R.A. 2006. Estratigrafía y paleoambientes de la Formación Los Llanos (La Rioja): una secuencia condensada miocena en el antepaís fragmentado andino central. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 61(2): 171-186.
- Fisher, N., Jordan, T. y Brown, L. 2002. Structural and stratigraphic evolution of the La Rioja Basin, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 15: 141-156.
- González Bonorino, F. 1951. Una nueva Formación Precámbrica en el noroeste argentino. *Comunicaciones Científicas del Museo de La Plata* 5: 4-6, La Plata.
- González Díaz, E.F. 1970. El Carbónico superior alto (Westfaliano-Estefaniano) de la Quebrada de La Cébila (NE de La Rioja). 4° Jornadas Geológicas Argentinas, Actas 2: 163-186, Buenos Aires.
- González Díaz, E.F. 1974. Superficies de erosión (abanicos rocosos) exhumadas en el flanco occidental de la sierra de Ambato, al sur de la quebrada de la Cébila (La Rioja). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 29(1): 5-22.
- Grosse P., Söllner, F., Báez, M.A., Toselli, A.J., Rossi, J.N. y de la Rosa, J.D. 2008. Lower Carboniferous post-orogenic granites in central-eastern Sierra de Velasco, Sierras Pampeanas, Argentina: U-Pb monazite geochronology, geochemistry and Sr-Nd isotopes. *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)* 98(5): 1001-1025.
- Hunicken, M., Tauber, A. y Leguizamón, R. 2001. Hallazgo de huevos y nidos de dinosaurios, asociados a restos de vegetales silicificados: asignación al Cretácico de las secuencias portadoras aflorantes en Sanagasta, provincia de La Rioja. 17° Jornadas Argentinas de Paleon-

- toología de Vertebrados, Ameghiniana, Suplemento Resúmenes 38: 10R.
- Jordan, T.E. y Allmendinger, R.W. 1986. The Sierras Pampeanas of Argentina: a modern analogue of rocky mountain foreland deformation. *American Journal of Science* 286: 737-764.
- López, J.P. y Toselli, A. 1993. La faja milonítica TiPA: faldeo oriental del Sistema de Famatina, Argentina. 12° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 39-42, Buenos Aires.
- Marrett, R. A., Allmendinger, R.W., Alonso, R.N. y Drake, R.E. 1994. Late Cenozoic tectonic evolution of the Puna Plateau and adjacent foreland, northwestern Argentine Andes. *Journal of South American Earth Sciences* 7(2): 179-207.
- Massabie, A., Limarino, C. y Page, S. 1998. Estructura y actividad neotectónica en los Llanos de La Rioja, Sierras Pampeanas Noroccidentales, Argentina. 10° Congreso Latinoamericano de Geología y 6° Congreso Nacional de Geología Económica, Actas 2: 11-16, Buenos Aires.
- Mon, R. 1999. Normal faulting and major rock slides in the north Pampean ranges of Argentina. 4° International Symposium on Andean Geodynamics: 512-515, Göttingen.
- Papetti, L. y Eremchuk, J. 2004. Evidencias de neotectónica en el borde oriental de la sierra de Ambato, provincia de Catamarca. *Revista Ciencia y Técnica* 9(11): 7 p. Editorial Científica Universitaria, Universidad Nacional de Catamarca. Edición online: <http://editorial.unca.edu.ar/RevCyT11.htm>.
- Proserpio, C.A. 1967. Observaciones geológicas en la zona de Los Pozuelos-Carrizal, Departamento Capital de la provincia de La Rioja. Trabajo Final de Licenciatura, Universidad de Buenos Aires, (inédito), 41 p., Buenos Aires.
- Socic, M.V.J. 1973. Descripción de la Hoja Geológica 14e, Salar de Pipanaco. Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín 137, 47 p., Buenos Aires.
- Tauber, A.A. 2005. Mamíferos fósiles y edad de la Formación Salicas (Mioceno tardío) de la sierra de Velasco, La Rioja, Argentina. *Ameghiniana* 42(2): 443-460.
- Tineo, A. 1981. Lineamientos geológicos de la cuenca oriental de La Rioja entre las sierras de Velasco y las sierras Brava. *Acta Geológica Lilloana* 15(3): 41-48.
- Turner, J.C. 1971. Descripción Geológica de la Hoja 15d, Famatina, provincia de La Rioja. Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín 126, 96 p., Buenos Aires.
- Verdecchia, S.O., Baldo, E.G., Benedetto, J.L. y Borghi, P.A. 2007. The first shelly faunas from metamorphic rocks of the Sierras Pampeanas (La Cébila Formation, Sierra de Ambato, Argentina): age and paleogeographic implications. *Ameghiniana* 44: 493-498.
- Zuzek, A.B. 1978. Descripción Geológica de la Hoja 18f, Chamental, provincia de La Rioja. Servicio Geológico Nacional, Boletín 161, 34 p., Buenos Aires.

Recibido: 21 de abril, 2010

Aceptado: 18 de noviembre, 2010