

Control tectónico de la red de drenaje de los Andes del norte argentino

Ricardo MON

Facultad de Ciencias Naturales e IML- Conicet. Miguel Lillo 205, 4000 S.M. de Tucumán
E-mail: monr@satlink.com

RESUMEN. Los ríos transversales que drenan la vertiente oriental de los Andes del norte argentino muestran bruscos desvíos hacia cursos longitudinales, inmediatamente al oeste de la traza de grandes cabalgamientos o de los bordes de láminas levantadas por fallas ubicadas en el lado opuesto de ellos. Los ríos desviados colectan otros ríos transversales antes de emerger en la dirección opuesta y de atravesar el frente montañoso. El desvío de los ríos se interpreta como la respuesta al levantamiento progresivo y al crecimiento lateral de cinturones fallados o de anticlinales propagados a lo largo de fallas ciegas. La mayor parte de los ríos de la región fueron desviados, pocos de ellos mantuvieron sus cursos a través de las estructuras en desarrollo. La reorganización del drenaje por el desarrollo de una topografía controlada estructuralmente influyó en la ubicación y en la concentración de los desagües de los ríos en el frente montañoso. Este segmento de los Andes, que se extiende a lo largo de más de 600 km, tiene sólo tres desagües representados por los ríos troncales Bermejo, Juramento y Salí-Dulce. El drenaje evolucionó desde el levantamiento de la Puna (12-15 Ma), después de la regresión marina final. El desvío de los ríos puede haber empezado después del levantamiento de la Cordillera Oriental (10 Ma) y prosiguió con el levantamiento de nuevas montañas hacia el este. El levantamiento de las cadenas montañosas avanzó de oeste a este. Los cinturones más orientales del Sistema Subandino y de las Sierras Pampeanas septentrionales se levantaron después de los 3 Ma. El levantamiento rápido de los obstáculos tectónicos puede explicar la tendencia al desvío de los ríos de esta región.

Palabras clave: *Drenaje, Levantamiento, Ríos desviados, Obstáculos tectónicos.*

ABSTRACT. *Tectonic control of the drainage in the Andes of northern Argentina.* Transverse rivers draining the eastern flank of the Andes of north Argentina show abrupt diversions to axial courses immediately west of the trace of big thrusts, or the borders of plates uplifted by faults located along the opposite side of them. The diverted rivers gather other transverse rivers before merging in the opposite direction and breaking through the mountain front. River diversion is interpreted as a response to progressive uplift and lateral growth of fault belts or anticlines propagating along blind thrusts. Most of the rivers of the region were diverted; few maintained their courses across growing structures. Drainage reorganization by the growth of structurally controlled topography influenced the location and concentrated the river outlets at the mountain front. This 600 km-long segment of the Andes has only three outlets represented by the trunk rivers Bermejo, Juramento and Salí-Dulce. The drainage pattern evolved since the Puna uplift (12-15 Ma), after the final marine regression. River deviations may have started after uplift of the Cordillera Oriental (10 Ma) and promulgated with the uplift of new mountains to the east, progressively from west to east. The easternmost belts of the Subandean system and northern Sierras Pampeanas were uplifted after 3 Ma, generating younger obstacles for the rivers. High uplift rates of the tectonic obstacles could explain the tendency to deviation of the rivers of this region.

Key words: *Drainage, Uplift, River, diversions, Tectonic obstacles.*

Introducción

El rasgo más significativo del relieve de esta región son los elevados cordones montañosos que componen la Puna, un área de drenaje endorreico con una altitud media próxima a los 3.800 m y con elevaciones que superan los 6.000 metros. La Puna está nítidamente delimitada por una divisoria de aguas que recorre su perímetro, tanto hacia el este como hacia el sur, y que separa la zona con drenaje interno de los cauces que pertenecen a la vertiente atlántica (Fig. 1). Representa la continuidad austral del llamado Altiplano Boliviano, aunque el relieve de la Puna argentina es mucho más accidentado. Los cordones montañosos de esta región, con orientación general norte-sur, están separados entre sí por amplias depresiones

longitudinales donde se ubican las cuencas cerradas con depósitos salinos (salares). En su sector norte, entre la frontera con Bolivia y el paralelo 24° lat. S aproximadamente, tiene un drenaje organizado con diseño enrejado formado por ríos de cierto significado tales como el Burras, Coranzulí, Grande de San Juan (Fig. 1) que mantienen caudales permanentes. Hacia el sur hay solo cauces menores que muestran una organización centrípeta hacia salares o pequeñas depresiones cerradas. (Fig.1). En las vertientes oriental y sur de la Puna tienen sus nacientes todos los ríos de la región. Estos fluyen a través del orógeno andino, que se encuentra aún activo, describiendo pronunciadas curvas, con largos tramos de dirección norte-sur, paralelos al rumbo de las estructuras mayores, hasta que logran abrirse paso hacia el este utilizando depresio-

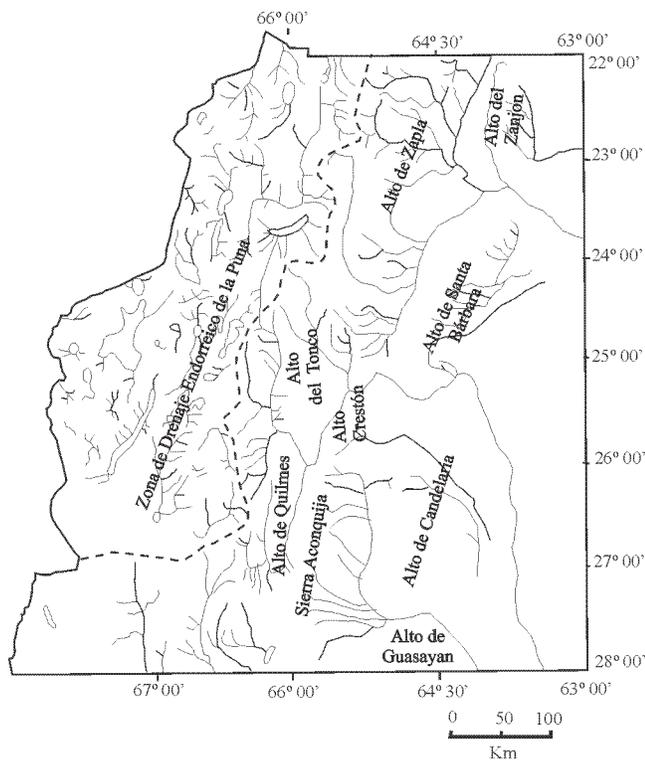


Figura 2: Ubicación de los principales obstáculos tectónicos responsables del desvío de los ríos.

representadas por grandes anticlinorios (Mon 1976), hacia el sur se agrega el alto de Guasayán, los ejes de estos sistemas de pliegues buzan tanto hacia el norte como hacia el sur, lo que hace que estas estructuras positivas estén separadas por depresiones axiales de la estructura regional. Es precisamente en estas depresiones donde se han ubicado los tres grandes desagües de esta región.

En el caso del curso superior del río Guachipas (río de las Conchas) y el río Toro han podido abrirse paso a través del cinturón más occidental de la Cordillera Oriental a través de puntos débiles asociados a rampas laterales en zonas de transferencia de fallas (Strecker y Marrett 1999).

El Juramento representa un caso especial dado que todo su recorrido, dentro del cinturón montañoso, se implanta en una depresión axial hacia donde buzan los ejes de los pliegues tanto en la Cordillera Oriental como en el Subandino (Fig. 5). Hay una correspondencia casi perfecta entre el cauce del río y la línea que forma el eje de la depresión axial.

Sólo dos ríos de cierto significado han podido superar los obstáculos estructurales sin desviarse: uno de ellos es el Toro y el otro es el Rosario, el primero pudo atravesar el alto denominado de Tonco y el otro el alto de Candelaria.

Obstáculos tectónicos

Los obstáculos que desvían los ríos tienen distintas características estructurales. En determinados casos son desviados por frentes de falla que se elevan obstaculizándolos y desviándolos, en otros casos el desvío se produce por detrás de estructuras elevadas por fallas. Hay obstáculos que no

muestran, en superficie, relaciones con fallas, es probable que hayan sido levantados por fallas ciegas. Determinadas estructuras positivas están acompañadas por extensos afloramientos de rocas precuaternarias, otras prácticamente no afloran, o la magnitud de la elevación excede ampliamente a la zona aflorante, tal es el caso de los altos de Santa Bárbara y de Candelaria.

El frente de falla retroergente de la margen este del valle Calchaquí fue una estructura notablemente eficiente para el desvío de los ríos Calchaquí y Santa María (Fig. 4). El río el Cajón fue desviado por el levantamiento del alto de Quilmes mediante una falla que corre por su borde oriental. En este caso el desvío se habría producido detrás del bloque levantado por la falla (Figs. 3 y 4). Esta misma situación se da con las fallas del borde este de la Cordillera Oriental, que levantaron bloques que actuaron como barreras en el flanco opuesto al de las fallas (Fig. 4). Las elevaciones de los altos de El Zanjón, Santa Bárbara, Candelaria y Guasayán obedecen probablemente a fallas ciegas, dado que no muestran relaciones evidentes con las estructuras aflorantes.

El levantamiento de la Puna y su cierre como área de drenaje interno ha sido objeto de diferentes interpretaciones y es un aspecto de la tectónica andina todavía no completamente resuelto. Turner (1972) postuló que el levantamiento del borde oriental de la Puna debe haber sido posterior al del resto de la región y de esta manera se habría producido la obstrucción de los ríos que corrían hacia el este y la generación del drenaje endorreico. Se ha admitido que su elevación puede haberse

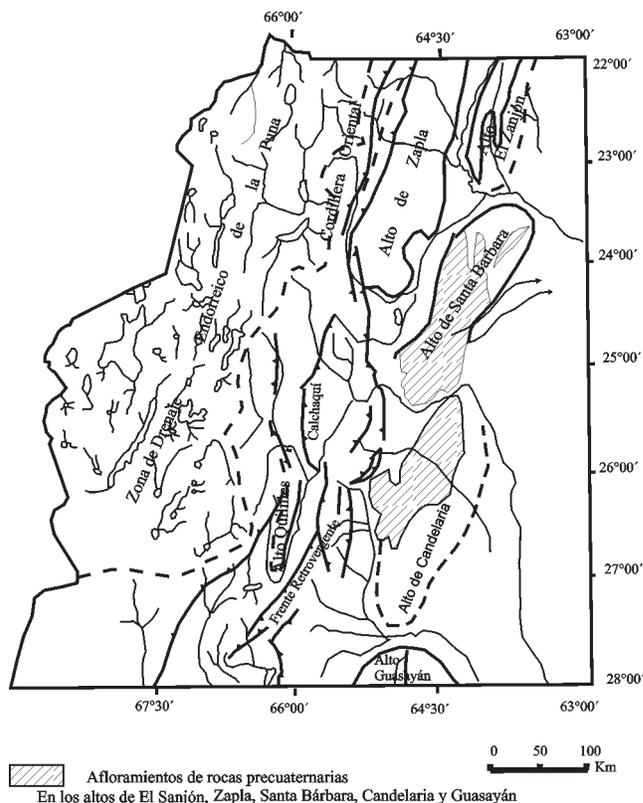


Figura 3: Mapa de las estructuras más significativas para el desvío de los ríos.

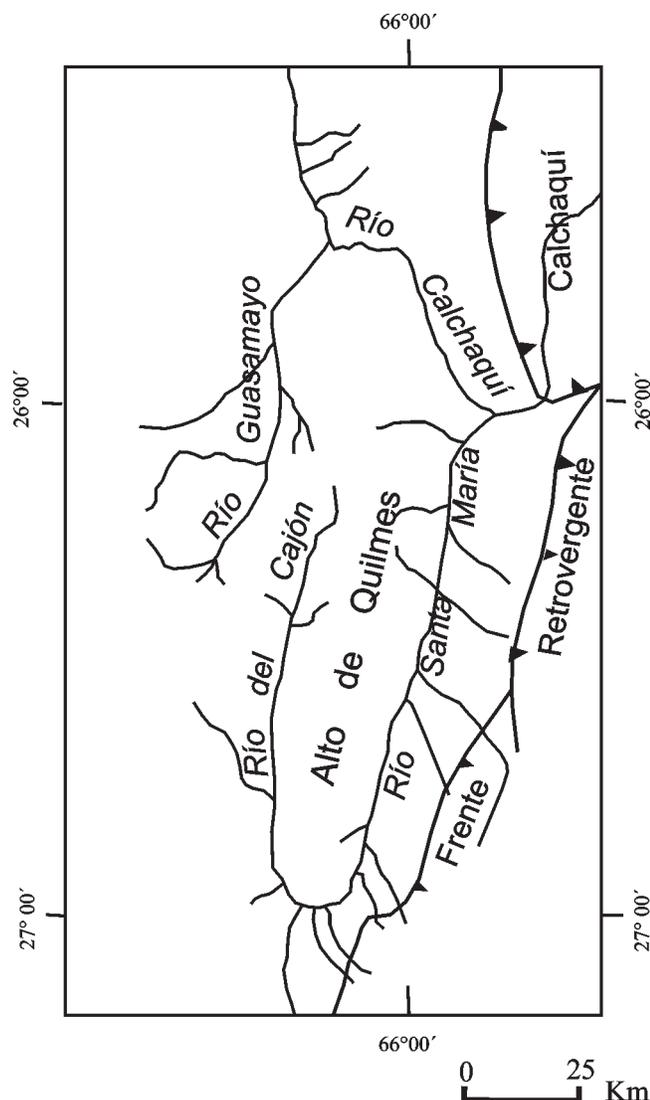


Figura 4: Mapa del área de Quilmes y valle Calchaquí con las estructuras responsables de los levantamientos que han producido el desvío de los ríos.

producido por aportes magmáticos cenozoicos o por acortamiento tectónico; el primer mecanismo puede haber sido especialmente activo en su porción occidental (Jordan y Alonso 1987). De cualquier modo estos procesos nos son excluyentes; es probable que ambos hayan operado simultáneamente para levantarla y producir el notable engrosamiento cortical que la acompaña. De acuerdo a Turner (1972) el levantamiento de la Puna habría continuado hasta el Pleistoceno. Según Jordan y Alonso (1987), la Puna continúa aún elevándose de manera tal que los ríos de la vertiente atlántica no han sido capaces de penetrar en ella. Los resultados de este trabajo confirman esta hipótesis; incluso se verifica que en las cabeceras de algunos ríos la erosión retrocedente ha producido muescas o indentaduras en el borde puneño sin lograr capturar a los ríos de su sistema interno endorreico. Esta situación es especialmente notable en las nacientes de los ríos Grande, Toro y Calchaquí (Fig. 1). La estructura profunda de la Puna

es pobremente conocida. Los cortes esquemáticos de la figura 6 representan reconstrucciones de la estructura basadas en la extrapolación de datos de superficie extraídos de los mapas geológicos existentes (Schwab 1973, Mon y Hongn 1991, Mon y Salfity 1996). Se verifica en ellos que la Puna está formada por un conjunto de láminas imbricadas con vergencia hacia el este en su porción occidental y retrovergentes en la oriental. Sin embargo las estructuras responsables de su levantamiento exceden ampliamente al ámbito de la Puna. Al norte de 24° lat. S la Cordillera Oriental representa el borde la Puna y ambas unidades forman parte de una espesa lámina cortical corrida hacia el este sobre el Sistema Subandino (Mon y Drozdowski 1999). Al sur de 24° lat. S se produce un cambio tectónico significativo: el borde de la Puna no está marcado por grandes cabalgamientos, como ocurre más al norte, sino que, en este sector, puede haber sido levantado por un cabalgamiento profundo ciego que introduce por debajo de ella una lámina cortical que produjo su elevación. (Mon y Drozdowski 1999, Mon 2001).

Edad de los levantamientos.

Como en la mayor parte de los orógenos, la deformación en este sector andino ha progresado desde las zonas internas hacia el antepaís. Prácticamente todos los autores coinciden en que el levantamiento de la Puna se produjo en el Mioceno medio (Turner 1972, Jordan y Alonso 1987, Kleinert y Strecker 2001). Sin embargo Coutand *et al* (2001), en base a información recogida en la Puna Oriental, sugieren que la deformación y levantamiento pueden haberse iniciado durante el Eoceno. A partir del levantamiento de la Puna la deformación progresó hacia el este levantando montañas cada vez más jóvenes en esa dirección. La elevación de la Cordillera Oriental habría ocurrido a partir de los 10 Ma (fase quechua) mientras que el levantamiento de las Sierras Pampeanas septentrionales y el Sistema Subandino se habría producido con la fase diaguita (Salfity *et al.* 1984) a partir de los 3, 5 Ma (Jordan y Alonso 1997). Sobre el levantamiento del alto de Quilmes y de la sierra de Aconquija se disponen los datos proporcionados por Kleinert y Strecker (2001). Estos muestran que, luego de la implantación del sistema fluvial hace unos 12 Ma, después de la regresión del mar paranense, el levantamiento de nuevos cordones montañosos fue avanzando de oeste a este, primero el alto coincidente con la sierra de Quilmes hace unos 5,4 Ma y posteriormente la sierra de Aconquija después de los 3 Ma. De acuerdo a estas dataciones puede postularse que las nacientes de los ríos Cajón – Santa María se desviaron con el levantamiento del alto de Quilmes y que posteriormente experimentaron un nuevo desvío con el levantamiento de la sierra de Aconquija por la acción del frente retrovergente Calchaquí. Siguiendo esta idea, puede postularse que los altos situados en el sector este de la región: Zanjón, Santa Bárbara, Candelaria y Guasayán habrían sido los últimos obstáculos que se levantaron, hace unos 3 Ma, para producir la concentración final en los cauces troncales. Cabe señalar que estos desvíos progresan longitudinalmente a medida que se van elevando los obstáculos. Estos crecen simultáneamente en altura y en longitud.

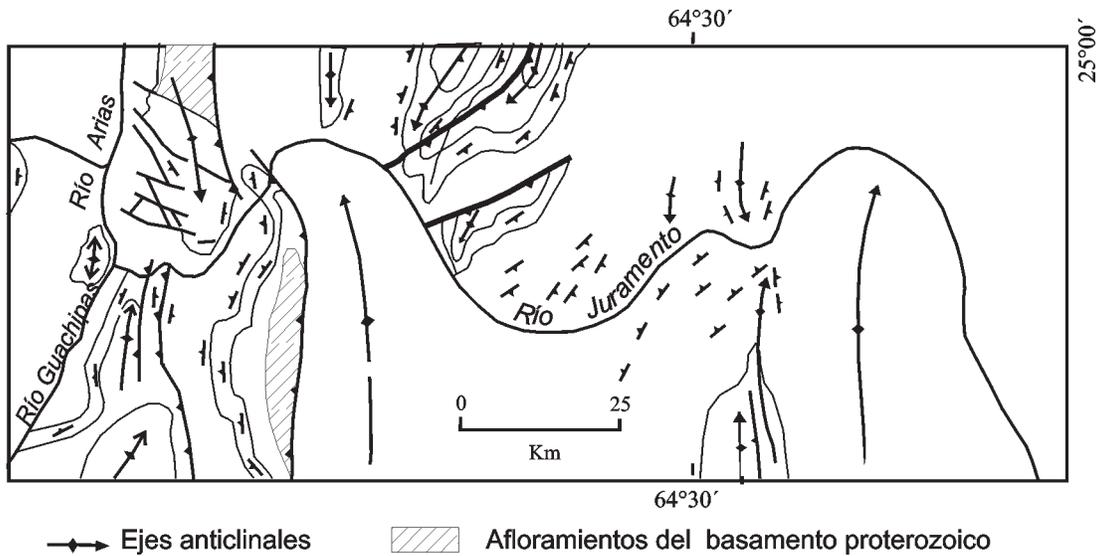


Figura 5: Mapa de la depresión estructural axial que condiciona el recorrido del río Juramento.

Causa de los desvíos

La mayor parte de los ríos de la vertiente atlántica de esta región fueron desviados. Más arriba se señalaron las excepciones de los ríos Toro y Rosario. De acuerdo a Humphrey y Konrad (2000), los ríos se desvían cuando los obstáculos crecen a una velocidad tal que la carga de sedimentos no llega a nivelarlos. Vale decir de que la posibilidad de que un río se desvíe o que incida está controlada por la velocidad del levantamiento del obstáculo y por la carga de sedimentos del río. En el caso de los ríos de esta región, se supone que no pudo haber habido escasez de sedimentos dado que, al iniciarse los movimientos de ascenso que exhumaron las láminas falladas, hubo una rápida denudación de la cubierta sedimentaria pobremente consolidada que las cubría (Sobel y

Strecker 2003) lo que debe haber generado un gran volumen de sedimentos en un lapso breve. De manera que debe admitirse que los desvíos fueron causados por el ascenso rápido de los obstáculos debido a la deformación de la vertiente oriental andina y su antepaís. Estos comenzaron a producirse hace unos 10 Ma en las porciones más occidentales de la región y a partir de los 3 Ma en las más orientales. En la actualidad continúan activos.

Conclusiones

La implantación de los grandes ríos de los Andes del norte argentino se debe a causas tectónicas que han producido una significativa concentración del flujo superficial del agua

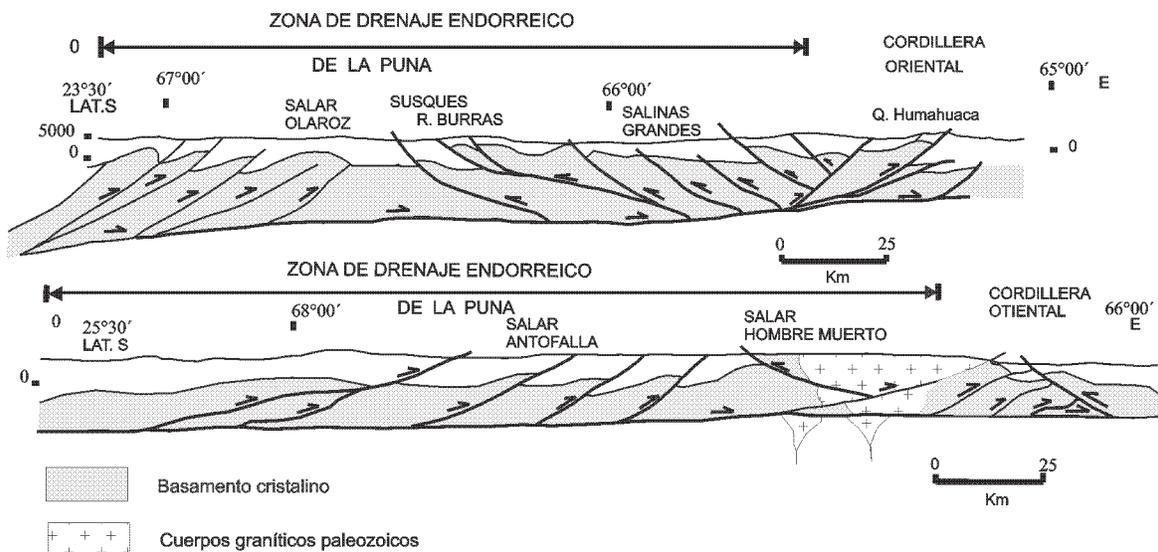


Figura 6: Cortes geológicos esquemáticos de la Puna, la ubicación de sus trazas se encuentra en la figura 1.

que precipita en la región. Por otra parte la ubicación de los desagües también está controlada por hechos de origen tectónico como son las depresiones axiales de las estructuras mencionadas más arriba. Resulta también evidente que los cabalgamientos responsables de la generación de las franjas plegadas y falladas de la Cordillera Oriental y de las Sierras Pampeanas septentrionales han continuado activos hasta épocas muy recientes, incluso hasta la actualidad. Lo mismo ocurre con los cabalgamientos ciegos responsables de la formación de los grandes pliegues propagados a lo largo de fallas del Sistema Subandino. La correspondencia entre las estructuras, el relieve y el drenaje muestra un ajuste notable, de donde resulta que la configuración de la red de drenaje es un importante indicador de las deformaciones recientes que experimentó este tramo de la vertiente oriental andina.

Agradecimientos

Este trabajo se hizo con el apoyo material del CONICET y de la Universidad Nacional de Tucumán, instituciones a las que el autor les manifiesta su agradecimiento.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Coutand, I., Cobbold, P.R., de Urreiztieta, M., Gautier, P., Chauvin, A., Gapais, D., Rossello, E.A. y Lopez-Gamundi, O. 2001. Style and history of Andean deformation, Puna plateau, northwestern Argentina. *Tectonics* 20 (2): 210-234.
- Damanti, J.F. 1993. Geomorphic and structural control on facies patterns and sediment composition in a modern foreland. En Marzo, M y Puigdefabregas, C. (eds.) *Alluvial sedimentation*. International Association of Sedimentologists Special Publication 17: 221-233.
- Gupta, S. 1997. Himalayan drainage patterns and the origin of fluvial megafans in the Ganges foreland basin. *Geology* 25(1):11-14.
- Humphrey, N.F. y Konrad, S.K. 2000. River incision or diversion in response to bedrock uplift. *Geology* 28 (1): 43-46.
- Jordan, T.E. y Alonso, R.N. 1987. Cenozoic stratigraphy and basin tectonics of the Andes mountains, 20°-28° south latitude. *The American Association of Petroleum Geologists, Bulletin* 71(1): 49-64.
- Kleinert, K. y Strecker, M.R. 2001. Climate change in response to orographic barrier uplift: paleosol and stable isotope evidence from the Neogene Santa María basin, northwestern Argentina. *Geological Society of America, Bulletin* 113(6): 728-742.
- Mon, R. 1976. The structure of the eastern border of the Andes in northwestern Argentina. *Geologische Rundschau* 65: 211-222.
- Mon, R. 2001. Estructuras curvadas y levantamientos verticales en la Cordillera Oriental (prov. Salta y Tucumán) *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 56: 367-376.
- Mon, R. y Hongn, F.D. 1991 The structure of the Precambrian and lower Paleozoic basement of the Central Andes between 22° and 32° S Lat. *Geologische Rundschau* 80: 745-758.
- Mon, R. y Salfity, J.A. 1996. Tectonic evolution of the Andes of North Argentina. *American Association of Petroleum Geologists, Memoir* 62: 269-283.
- Mon, R. y Drozdowski, G. 1999. Estructura doble-vergente en los Andes del Norte Argentino. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 54(1): 3-8.
- Potter, P.E. 1978. Significance and origin of big rivers. *Journal of Geology* 86: 13-33.
- Salfity, J.A., Gorustovich, S.A., Moya, M.C. y Amengual, R. 1984. Marco tectónico de la sedimentación y efusividad cenozoicas en la Puna argentina. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 539-554.
- Schwab, K. 1973. Die stratigraphie in der Umgebung des Salar de Cauchari (NW-Argentinien). Ein Beitrag zur erdgeschichtlichen Entwicklung der Puna. *Geotektonische Forschung* 43, 168 p., Stuttgart.
- Sobel, R.E. y Strecker, M.R. 2003. Uplift, exhumation, and precipitation: Tectonic and climatic control of Late Cenozoic landscape evolution in the northern Sierras Pampeanas, Argentina. *Basin Research* 15(14): 431-451
- Strecker, M.R. y Marrett, R. 1999. Kinematic evolution of fault ramps and its role in development of landslides and lakes in the northwestern Argentine Andes. *Geology* 27 (4): 307-310.
- Turner, J.C.M. 1972. Puna. En Leanza, A.F. (ed.) *Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias: 91-116, Córdoba.

Recibido: 6 de junio, 2004

Aceptado: 6 de enero, 2005