

# Estructura andina de la cordillera oriental en el área de la Quebrada de Humahuaca, provincia de Jujuy, NO de Argentina.

L. Roberto Rodríguez Fernández<sup>1</sup>, Nemesio Heredia<sup>2</sup>, Raúl E. Seggiaro<sup>3</sup>  
y María A. González<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico Geominero de España, C/ Ríos Rosas 23, 28003 Madrid  
e-mail: roberto.geo@jet.es

<sup>2</sup> Instituto Tecnológico Geominero de España, Avda. República Argentina 30, 1º B, 24004 León  
e-mail: nheredia@jet.es

<sup>3</sup> Servicio Geológico y Minero Argentino, Avda. de Bolivia 4750, 4400 Salta  
e-mail: raul@ciunsa.edu.ar

<sup>4</sup> Servicio Geológico y Minero Argentino, Avda. Julio A. Roca 651, 8ª, 1322 Buenos Aires  
e-mail: mariale@secind.mecon.ar

Recibido el 30 de Septiembre de 1998. Aceptado el manuscrito revisado el 27 de Noviembre de 1998.

---

**Resumen:** El área estudiada de la Cordillera Oriental y Sierras Subandinas se caracteriza por la existencia de un basamento Precámbrico-Paleozoico, deformado por los ciclos orogénicos Panamericano y Famatiniano, y una cobertera discordante de edad Mesozoico y Cenozoico. Los materiales mesozoicos se alinean a lo largo de estrechos corredores, enmarcados generalmente por fallas de dirección submeridiana, y constituyen los depósitos sintectónicos con la extensión cretácica. La sucesión cenozoica representa en su mayor parte el relleno sinorogénico del surco de antepaís vinculado con la compresión andina. Existen sedimentos sinorogénicos más modernos (pliocuaternarios) depositados en una cuenca de tipo "piggy back". Las estructuras relacionadas con el evento tectónico extensional son fallas normales alineadas en bandas de dirección N-S. Las estructuras compresionales del ciclo Andino son cabalgamientos, fallas inversas y pliegues relacionados con una vergencia predominante hacia el este, que en muchos casos rejuegan estructuras extensionales previas. Las láminas tectónicas de la Cordillera Oriental comienzan a emplazarse entre los 17 y 14 Ma en el oeste hasta los 11 Ma en el este, transfiriéndose la deformación a las Sierras Subandinas hacia los 8,5 Ma. Durante el lapso temporal de 8,5 a 1,8 Ma se desarrollan la mayor parte de las estructuras de segunda generación de la Cordillera Oriental, algunas de las cuales continuaron su actividad hasta hace 1 Ma. Un último episodio de deformación transtensiva, vinculada a un decrecimiento de la velocidad de convergencia de las placas de Nazca y Sud-América, comienza a partir de los 1 a 2 Ma y continúa hasta la actualidad.

**Palabras clave:** Estructura Andina, Cordillera Oriental, inversion tectonica, NO Argentina.

**Abstract:** In the Eastern Cordillera and Subandean Ranges in northern Argentina, two large groups of rocks can be distinguished: an upper Proterozoic and Paleozoic basement, deformed during Panamerican and Famatinian orogenic cycles, and the Andean cover, lying unconformably over the old basement. Two main andean tectonostratigraphic units can be also defined: a preorogenic sequence (major part of Salta group), linked to an extensional tectonic event, and the upper part of Salta group and the Orán group that correspond to the sedimentary filling of a foreland basin adjacent to a fold-thrust belt. The structures related to the extensional tectonic process are normal faults arranged in a N-S trending bands. The most important compressional structures are reverse faults and thrusts, and scarce related folds. Most of the reverse faults result from inversion of the extensional faults during the compressional tectonics process. The analysis of different kinematic markers shows an East tectonic transport direction for the Andean compressional structure.

res. Structural and kinematics analysis allow us to distinguish several stages during the compressional event. Thrust faulting started at 17 to 14 Ma in westernmost tectonic units of the Eastern Cordillera and at 11 Ma in eastern thrust sheets. The compressive deformation was transferred to the Subandean Ranges at 8.5 Ma and lasted, at least locally until 1 Ma, and it probably caused the second generation of thrusts (out of sequence thrusts) in the Eastern Cordillera. Latest extensional and strike-slip faults started at 1-2 ma. and are still active.

**Key words:** Andean structure, Eastern Cordillera, inversion tectonics, NO Argentina.

El área objeto de este estudio se ubica dentro de la Cordillera de los Andes, cuya máxima altura en este área es el Nevado del Chañi (6.240 m) en el extremo suroccidental del sector investigado (ver Mapa fuera de texto). Más concretamente se sitúa en los alrededores de la Quebrada de Humahuaca, en el extremo noroccidental de la República Argentina, abarcando un sector de la parte septentrional de la Provincia de Jujuy, dentro de los departamentos de Humahuaca, Tilcara y Tumbaya (Fig. 1).

Esta zona une a la excelente calidad de sus afloramientos, un acceso rodado relativamente bueno, al discurrir por su fondo (valle del río Grande) la carretera nacional que va a Bolivia, la cual se encuentra asfaltada hasta la localidad de Humahuaca. Además existía una cartografía previa de todo el área realizada por Amengual *et al.* (1979), que ya mostraba sus rasgos estructurales más característicos: presencia de grandes fallas de rumbo N-S que afectaban también al basamento precámbrico y pliegues de esa misma dirección.

Desde el punto de vista geológico se sitúa fundamentalmente dentro de la unidad morfotectónica denominada Cordillera Oriental, si bien sus bordes oriental y occidental se puede considerar que forman parte de las unidades conocidas como Sierras Subandinas y Puna respectivamente (Fig. 1).

Desde el punto de vista estratigráfico, el sector investigado de la Cordillera Oriental, se caracteriza por la presencia de extensos afloramientos de materiales epizonales del basamento Precámbrico superior-Cámbrico inferior (Fm. Puncoviscana, ver Mapa fuera de texto) que no aparecen en el sector ocupado por las Sierras Subandinas. Por otro lado en la Cordillera Oriental por encima de los materiales precámbricos sólo afloran materiales del Paleozoico inferior, correspondientes a los grupos Mesón (Cámbrico) y Santa Victoria (Ordovícico), con un espesor que no supera los 3.000 m. En contraste, las Sierras Subandinas presentan una

potente y completa sucesión paleozoica (más de 4.000 m) que abarca desde el Ordovícico al Carbonífero, ya que el Cámbrico, al ir adelgazándose progresivamente hacia el E, está ausente en algunas de las secciones (Fig. 2 y Mapa f.t.). Esta sucesión precámbrico-paleozoica es eminentemente detrítica, estando constituida fundamentalmente por materiales siliciclásticos de grano medio y fino (areniscas y pizarras).

Los materiales mesozoicos, correspondientes al Cretácico y a la parte basal del Terciario (Grupo Salta), presentan un espesor muy variable (250 a 3.000 m) y se alinean a lo largo de estrechos corredores de dirección submeridiana, enmarcados generalmente por fallas de esa misma dirección (Fig. 1 y Mapa f.t.). Los sedimentos terciarios (Grupo Orán), alcanzan un espesor cercano a los 1.000 m, ocupando amplias depresiones de dirección N-S, situadas entre las alineaciones montañosas. La mayor parte del Grupo Salta representa el relleno sinorogénico con la extensión cretácica (Grier, 1990). En su parte basal (Subgrupo Pírgüa), predominan los sedimentos siliciclásticos organizados en una secuencia estrato y grano decreciente, vinculados con el relleno de las depresiones originadas por la acción de las fallas extensionales; su parte superior (Subgrupos Balbuena y Santa Bárbara), es expansiva sobre la inferior y en ella abundan los sedimentos carbonatados y lutíticos vinculados con una etapa de subsidencia térmica. La parte alta del Subgrupo Santa Bárbara (Fm. Lumbrera) y la sucesión del Grupo Orán representan el relleno sinorogénico del surco de antepaís vinculado con la compresión andina (Monaldi *et al.*, 1993), presentando una secuencia general estrato y granocreciente, con un predominio de los términos arenoso/lutíticos en su parte basal y conglomeráticos a techo.

Por último existen sedimentos más modernos (pliocuaternarios) pertenecientes al Grupo Humahuaca (300 m), que afloran solamente en algunos sectores

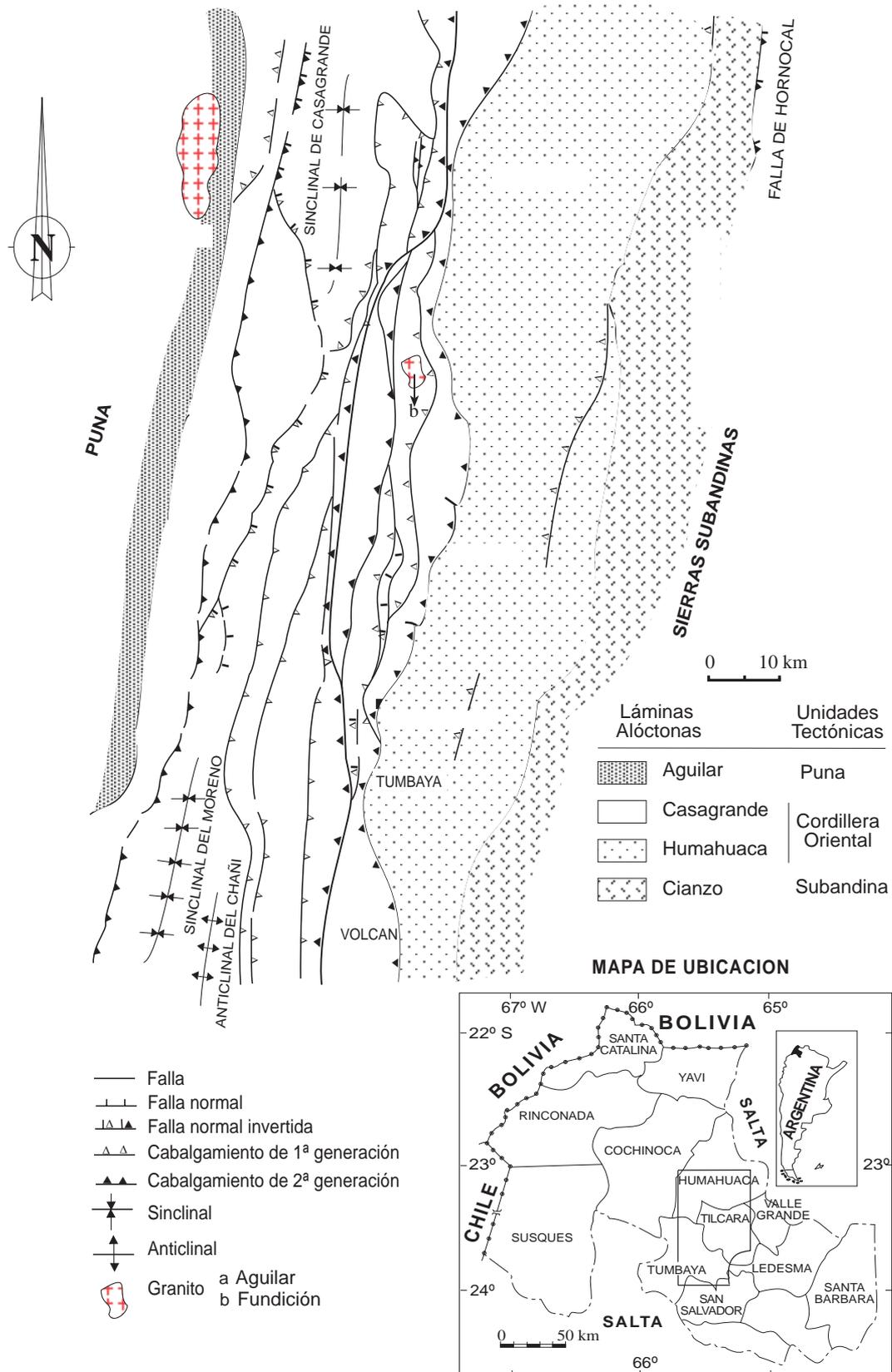


Fig. 1. Esquema tectónico y de ubicación del área estudiada dentro de la Provincia de Jujuy.

de la quebrada del mismo nombre. Representan el relleno sinorogénico de una cuenca confinada (piggy back basin) y se encuentran deformados, a veces de forma espectacular, por fallas y cabalgamientos de actividad reciente.

En el área estudiada se observan estructuras tectónicas atribuibles a eventos sobreimpuestos correspondientes a ciclos orogénicos diferentes (Mon *et al.* 1993, Omarini y Sureda, 1993). Así se pueden identificar pliegues apretados con esquistosidad de plano axial relacionada, asignados a la denominada fase Tilcárica (Turner y Méndez, 1975), desarrollada al final del ciclo Panamericano en el Cámbrico inferior. También se pueden observar cabalgamientos y pliegues relacionados, con vergencia al oeste, atribuibles a la fase Oclóyica, desarrollada durante el ciclo Famatiniano (Aceñolaza y Toselli, 1973), a fines del Ordovícico. Las últimas estructuras en formarse pertenecen al ciclo Andino, son las más evidentes así como las responsables de la estructuración actual de la Cordillera de los Andes en este sector (Boll y Hernández, 1986; Bianucci *et al.*, 1987; Aramayo Flores, 1989; Grier, 1990; Hernández *et al.*, 1991; Kley y Reinhardt, 1993; Stark *et al.*, 1996, entre otros), siendo el objeto fundamental de este estudio.

En las páginas siguientes se van a describir las principales estructuras, del Ciclo Orogénico Andino, separando la etapa previa extensional (Cretácico-Terciario inferior) de la compresional (Terciario-Cuaternario), en la que se separan a su vez el sector de la Cordillera Oriental del de las Sierras Subandinas, que presentan un estilo tectónico diferente. Asimismo se discutirá la edad atribuible a los diferentes eventos deformativos a la luz de los datos cronoestratigráficos y geocronológicos disponibles, así como la relación entre estos y los depósitos sinorogénicos con ellos relacionados. Por último, se realizará un intento de reconstrucción del proceso cinemático que ha conducido a la génesis de la estructura observable en los cortes geológicos.

### **El Ciclo Orogénico Andino**

Las estructuras más evidentes en el mapa y los cortes geológicos (Mapa f.t. y Fig. 2), son las relacionadas con el ciclo Andino. Este ciclo comienza en esta zona con el desarrollo de un rift durante el

Cretácico y culmina durante el Terciario con una etapa compresiva que se extiende hasta el Cuaternario. Esta última fase da lugar a la mayor parte de la estructuración de la zona, constituida fundamentalmente por cabalgamientos y pliegues relacionados con estos, desarrollados en condiciones no metamórficas.

#### *La extensión cretácica*

Durante el Cretácico inferior se produce la implantación de un importante periodo extensional, evidenciado por el desarrollo de un rift intracratónico (Grier, 1990). El Subgrupo Pirgüa, integrado por depósitos conglomerático-areniscosos, constituye la unidad sedimentaria sintectónica relacionada con la etapa de desarrollo del rift, y se caracteriza por la gran variabilidad de espesores que presentan sus depósitos (0 a 2.000 m). Con esta etapa también se puede vincular la intrusión de varios cuerpos graníticos como los de Aguilar y Fundición, ubicados en la parte noroccidental del área estudiada (Fig. 1 y Mapa f.t.), así como la extrusión de cuerpos volcánicos y subvolcánicos alcalinos que aparecen intercalados a diversas alturas dentro del Subgrupo Pirgüa (Rubiolo, 1992).

La tectónica distensiva cretácica se manifiesta por la presencia de un sistema de fallas directas o normales, de trazado normalmente rectilíneo y dirección predominante N-S o NNE-SSO, (Fig.1 y Mapa f.t.). Estas fallas se encuentran, en muchos casos, parcialmente invertidas por la compresión andina, si bien esto no impide reconocer su geometría y sentido de movimiento original. En general se observa que las fallas más occidentales hunden su bloque oriental y las más orientales el occidental (Fig. 2), mostrándose en general, bastante verticales en superficie. Esta disposición estructural parece indicar que la geometría más probable es la de una estructura de tipo "graben" compartimentada en varios semigrabenes que dan lugar a depocentros locales durante la sedimentación del Subgrupo Pirgüa. La evolución en profundidad del sistema extensional es difícil de precisar, debido a la escasez de datos profundos en esta zona, aunque pensamos que lo más probable es que todas las fallas normales se unan a una superficie de despegue común reutilizada durante la etapa compresiva.

Una falla extensional singular es la falla de Hornocal, que con una dirección ENE-OSO trunca el sinclinal de Cianzo en el sector NE del área estudiada (Figs. 1 y 3 y Mapa f.t.). Esta importante estructura representa probablemente el re juego de una antigua fractura paleozoica (limita por el O los afloramientos silúrico-devónicos y carboníferos) y ha condicionado claramente la sedimentación de las unidades cretácicas, actuando durante este periodo de tiempo como borde local de cuenca. Este hecho queda evidenciado por la presencia en su bloque hundido, situado en su labio suroriental, de una serie cretácica completa, caracterizada además por la presencia de un potente Subgrupo Pírgüa que se apoya discordantemente sobre sedimentos carboníferos. Por el contrario en su bloque elevado una gran parte de las unidades cretácicas están ausentes, apoyándose la parte alta del Subgrupo Santa Bárbara directamente sobre el substrato Ordovícico.

Durante el período de post-rift, desde el Cretácico superior hasta el Paleoceno, se desarrolló una etapa gobernada por la subsidencia térmica, cuyo registro sedimentario está representado por los Subgrupos Balbuena y Santa Bárbara, que son expansivos respecto a los depósitos del Subgrupo Pírgüa, apoyándose a veces directamente sobre el substrato paleozoico. En la parte superior del Subgrupo Santa Bárbara, se puede observar el tránsito a los depósitos sinorogénicos con la etapa compresional, representados por la Formación Lumbreira (Monaldi *et al.*, 1993).

#### *La tectónica compresional andina*

El conjunto de estructuras más evidentes en el mapa y los cortes geológicos (Figs. 1, 2 y Mapa f.t.) son las relacionadas con la tectónica compresional andina y están representadas por un conjunto de fallas de rumbo regional N-S a NNE-SSE, que siguen la misma dirección de los cordones montañosos. El hecho de que tanto en la Puna como en la Cordillera Oriental, las alineaciones montañosas estén, en su mayoría, flanqueadas por fallas inversas, ha hecho que estos relieves fueran interpretados hasta tiempos recientes como producto de una tectónica esencialmente vertical o "tectónica de bloques", caracterizada por la existencia de fallas inversas de alto ángulo.

La ampliación de la información del subsuelo y la aplicación de modelos de deformación orogénica tangencial, ha conducido a reinterpretar recientemente las estructuras de la Cordillera Oriental y de las Sierras Subandinas como características de un cinturón orogénico formado por un sistema de cabalgamientos. En este sentido, los trabajos de Boll y Hernández (1986) en el sector de Tres Cruces, inmediatamente al norte del área estudiada, muestran ya fallas con geometría lítrica, con rampas y rellanos, dispuestas en láminas apiladas y en abanicos imbricados.

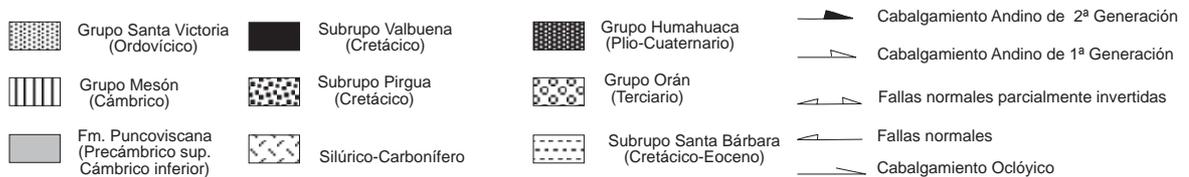
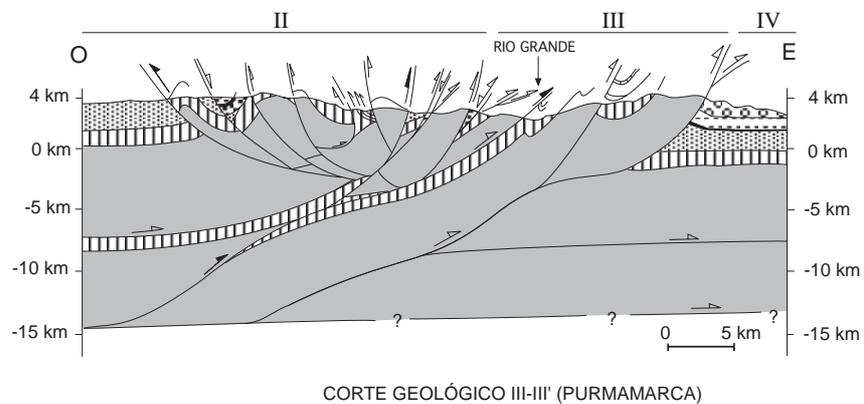
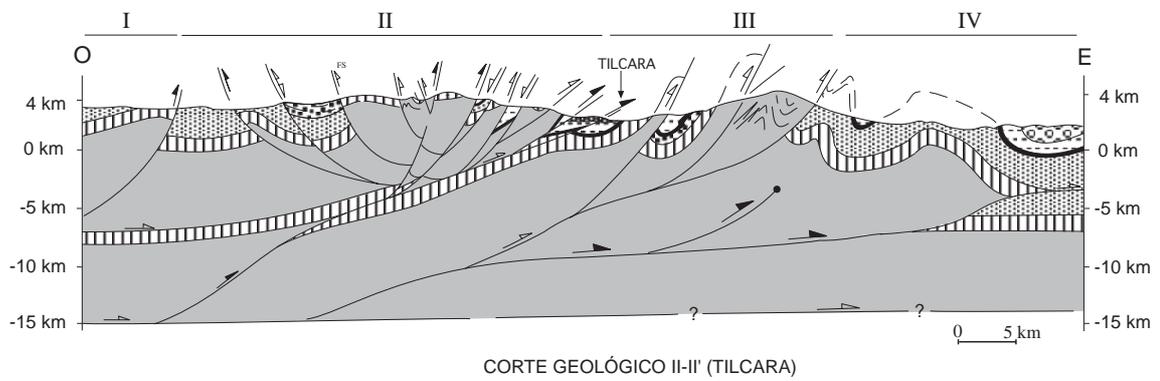
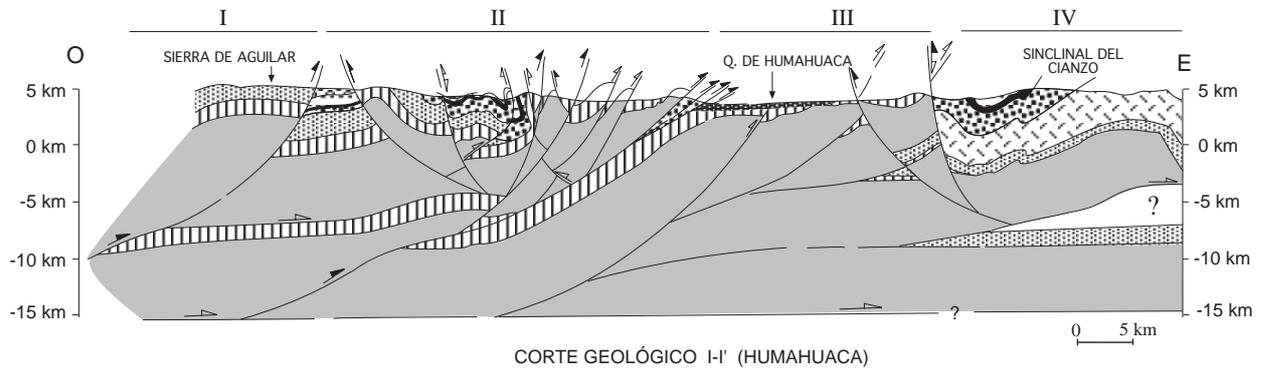
Las superficies de despegue basales se sitúan en el basamento precámbrico-cámbrico en la Cordillera Oriental y en la cobertera paleozoica o mesozoica (más al E del área estudiada) en las Sierras Subandinas, lo que permite considerar a ambas unidades como ejemplos de sistemas de cabalgamientos que involucran al basamento ("thick skinned") y epidérmicos ("thin skinned"), respectivamente (Fig 2).

Durante la realización de este trabajo, se han diferenciado, de oeste a este, cuatro láminas alóctonas mayores (Figs. 1 y 2), denominadas: Aguilar, Casagrande, Humahuaca y Cianzo. La lámina más occidental, representada sólo en el corte I-I' de la Fig. 2, correspondería a la Unidad Tectónica de la Puna, las láminas de Casagrande y Humahuaca componen la Unidad de la Cordillera Oriental en este sector y la de Cianzo representa el sector más occidental de las Sierras Subandinas.

#### *La estructura compresional andina en la Cordillera Oriental y en la Puna.*

La estructura de este sector viene determinada por la presencia de tres láminas alóctonas superpuestas: Aguilar, Casagrande y Humahuaca.

El cabalgamiento frontal de la lámina de Aguilar coincide con el límite oriental de la Puna (Corte I-I' de la Figs. 1 y 2). Se trata de un cabalgamiento que ha rejugado posteriormente como un fuera de secuencia que corta a sedimentos cuaternarios, los mismos que lo fosilizan hacia el Sur. Por el contrario, sedimentos más antiguos, correlacionables con los del Grupo Humahuaca, aparecen fosilizando a alguno de los cabalgamientos más occidentales de la lámina de Casagrande (ver trazado del corte I-I' sobre Mapa f.t.).



**Fig. 2.** Cortes Geológicos, situación en Mapa fuera de texto. Láminas alóctonas: I) Aguilar, II) Casagrande, III) Humahuaca, IV) Cianzo; para su situación ver Fig. 1.

La lámina de Casagrande presenta un gran número de retrocabalgamientos en su borde occidental que en algunos casos también han rejogado posteriormente. Estos retrocabalgamientos cortan algunos cabalgamientos previos y se ven favorecidos por la presencia de fallas normales previas inclinadas al E. El cabalgamiento basal de la lámina de Casagrande presenta una geometría muy plana, situando durante la mayor parte de su recorrido la Fm. Puncoviscana sobre la parte alta del Grupo Mesón. Esta lámina aparece cortada por cabalgamientos fuera de secuencia que se originarían en la lámina infra-yacente (Humahuaca), que afectan sobre todo a su parte media y oriental.

Las fallas inversas y cabalgamientos no solo reutilizan gran parte de las estructuras extensionales cretácicas sino que crean también estructuras nuevas que aparecen truncando a las fallas normales anteriores (Figs. 1 y 2). A veces se observa que cabalgamientos nuevos y fallas extensionales convergen lateralmente y en profundidad (Fig. 2 y Mapa f.t.), delimitando estructuras del tipo "shortcuts" o atajos (Gillcrist *et al.* 1987).

Una gran parte de los cabalgamientos son bastante verticales en superficie aunque presentan una geometría lítrica en profundidad, uniéndose a una superficie de despegue común (Boll y Hernández, 1986). La geometría profunda de estas fallas inversas, vendría condicionada a su vez por la del sistema extensional mesozoico, que se encuentra solo parcialmente invertido. Los pliegues corresponden casi siempre a estructuras de flexión de falla "fault-bend folds", de gran radio y escala cartográfica, con elevado ángulo entre flancos. Únicamente en las proximidades de alguna de las grandes fallas inversas se nuclean pliegues a escala decamétrica a hectométrica, algo más evolucionados. Los sinclorios más importantes se nuclean generalmente sobre los semigrábenes que configuraron el extenso graben cretácico (Fig. 2 y Mapa f.t.).

En las secciones estructurales se ha representado la superficie de despegue principal de la lámina de Casagrande, situada en el basamento precámbrico, a una profundidad de aproximadamente 15 km (Fig. 2). En la lámina de Humahuaca se ha situado a 20 km de profundidad, siendo esta profundidad coincidente con la obtenida para el despegue basal andino en perfiles realizados entre otros por Bianucci *et al.*

(1987), Aramayo Flores (1989), Cladouhos (1993), y Allmendinger y Zapata (1996) en secciones vecinas, situadas al norte del área estudiada.

#### *La estructura compresional andina en las Sierras Subandinas.*

La característica fundamental de la estructura de las Sierras Subandinas, es la presencia de cabalgamientos con transporte tectónico hacia el este, cuyas superficies de despegue se encuentran situadas dentro de la secuencia mesozoico-terciaria. También es significativo el mayor desarrollo de pliegues, tanto de propagación como de flexión de falla (Fig. 2), que llegan a ser las estructuras con mejor expresión cartográfica. Sin embargo en la zona de este estudio, situada en el límite entre la Cordillera Oriental y la parte más occidental de las Sierras Subandinas, existe una "zona de transición" evidenciada por el cambio de estilo tectónico de basamento ("thick skinned") a epidérmico ("thin skinned") respectivamente. En esta zona de transición se produce la transferencia del nivel de despegue basal desde la Fm. Puncoviscana a una secuencia paleozoica que han sido poco estructurada por el Orógeno Famatiniano (Silúrico a Carbonífero inferior). Más al al E, fuera ya de la zona estudiada, se produce la transferencia del nivel de despegue basal a los sedimentos mesozoico-terciarios, que se estructuran como una cobertera despegada.

En el área abarcada por este estudio el límite entre la Cordillera Oriental y las Sierras Subandinas puede situarse en el cabalgamiento frontal de la lámina de Humahuaca, cuyo nivel de despegue se sitúa en su mayor parte, tanto cartográficamente como sobre los cortes, en la Fm. Puncoviscana (Fig. 2 y Mapa f.t.). Al E de este límite, el cabalgamiento basal de la lámina de Cianzo, ya en las Sierras Subandinas (Fig. 1) pasa a cortar niveles más altos de la sucesión estratigráfica, hasta alcanzar la secuencia silúrico-carbonífera (cortes I-I' y II-II' del Mapa f.t.).

Además de las estructuras descritas se han observado algunas estructuras de compensación lateral del tipo de rampas oblicuas, condicionadas También por la presencia de accidentes antiguos. La más espectacular esta representada por el rejuego como retrocabalgamiento de la falla extensional de

Hornocal, con un trazado cartográfico NE-SO (Figs. 1 y 2 y Mapa f.t.).

#### *Edad de la compresión andina: discusión*

En numerosos trabajos sobre la tectónica compresional andina en el noroeste argentino (Boll y Hernández, 1986; Bianucci, 1987; Aramayo Flores, 1989; Hernández *et al.*, 1991; Stark *et al.*, 1996), se establecen ya las correlaciones entre los eventos tectónicos y los sedimentos sinorogénicos con ellos relacionados, lo que permite asignar edades a los mismos. En general se considera que el fin del proceso distensivo habría tenido lugar en el Eoceno inferior, desarrollándose los primeros eventos compresivos a partir del Eoceno medio. La Formación Lumbrera (parte más alta del grupo Salta) representa el primer sedimento sinorogénico (Monaldi *et al.*, 1993), constituyendo el Grupo Orán el grueso de la secuencia sinorogénica. Esta secuencia, estrato y granocreciente, es más joven hacia el este y refleja el avance del frente orogénico sobre un antepaís en el que se estarían depositando un complejo sistema de abanicos aluviales progradantes, de los que los sedimentos eminentemente lutíticos de la Fm. Lumbrera (techo del Grupo Salta) representan las partes más distales y los gruesos conglomerados del techo de Grupo Orán sus términos más proximales.

Los datos geocronológicos disponibles parecen indicar que el desarrollo de los cabalgamientos en el límite de la Puna con la Cordillera Oriental no comenzó hasta el Mioceno inferior-medio, entre los 17 y 14 Ma (Marret *et al.*, 1994) y continuó (con estructuras fuera de secuencia) hasta los 4 Ma., desarrollándose estructuras locales hasta hace 1 Ma. (Marret *et al.*, 1994). A partir del Mioceno superior la aceleración en la velocidad de convergencia de las placas de Nazca y Sud-América (Gubbels *et al.*, 1993) facilita la reactivación del proceso compresional dando lugar a la transferencia de la deformación hacia las Sierras Subandinas. En este sector se desarrolla una tectónica de cobertera o epidérmica con despegues que desvinculan el basamento de la deformación, de manera que la Cordillera Oriental podría haber actuado como un "bulldozer", o percutor de la deformación del prisma compresional subandino.

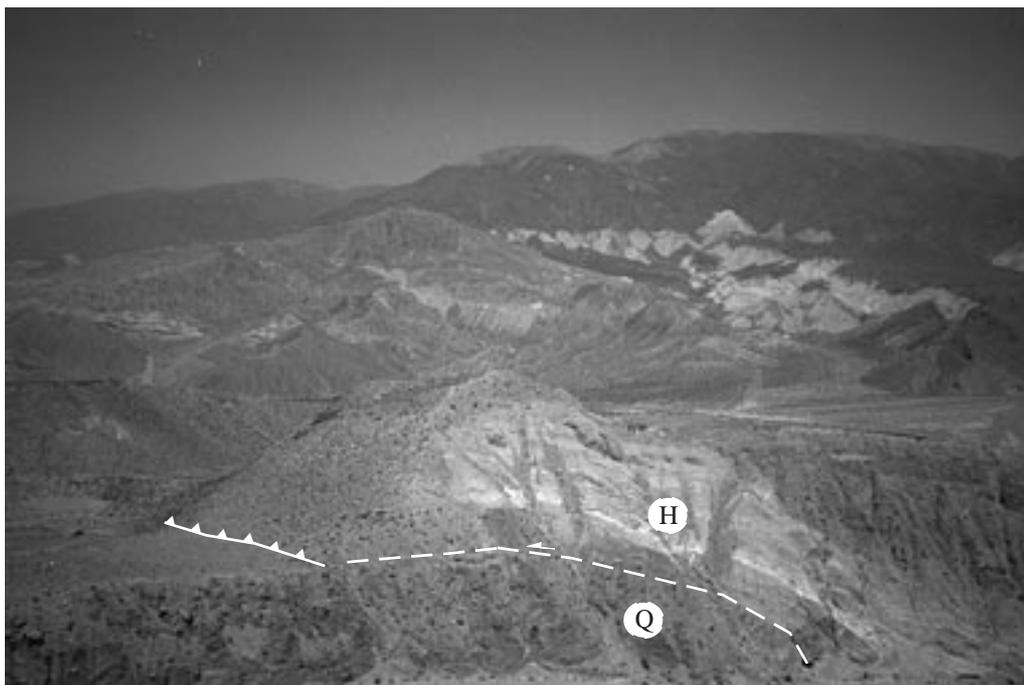
Así a la altura de la cuenca del río Iruya, un poco al norte del área estudiada, el ascenso de la parte frontal de la Cordillera Oriental se produjo a partir de los 11,4 Ma (Vergani, 1988; Hernández *et al.*, 1996). A los 8,5 Ma existen evidencias del inicio de la sedimentación del Grupo Orán dentro de las Sierras Subandinas, como respuesta al levantamiento de la parte más occidental de estas, interrumpiéndose el aporte sedimentario desde la Cordillera Oriental. El frente Subandino continuó su desarrollo hacia el este hasta hace 1,8 Ma (Hernández *et al.*, 1996).

Durante ese lapso temporal (8,5-1,8 Ma) debieron desarrollarse la mayor parte de las estructuras de segunda generación (fuera de secuencia) de la Cordillera Oriental, que continúan aisladamente en actividad hasta el Cuaternario (Cabalgamiento de Aguilar, límite Cordillera Oriental-Puna), e incluso hasta hace 1 Ma (Cabalgamiento de Tilcara, Fig. 3).

A partir de los 2 Ma y sobre todo al acabar el proceso compresivo (<1 Ma) se desarrollan pequeñas fallas de desgarre y fallas normales con ellas relacionadas que parecen indicar un contexto cinemático transtensional, con extensión ENE-OSO (Marrett *et al.*, 1994). Estructuras con estas características se han podido observar en los alrededores de la localidad de Maimará. Este contexto transtensivo dura hasta la actualidad y parece vinculado a un decrecimiento de la velocidad de convergencia de las placas de Nazca y Sud-América (Gubbels *et al.*, 1993).

#### *Cinemática y secuencia de emplazamiento de los cabalgamientos.*

Las líneas de bifurcación de los cabalgamientos permiten obtener una dirección de movimiento de estos O-E o ONO-ESE. El sentido de transporte dominante deducido de otros marcadores cinemáticos como pliegues menores, migración de los depocentros de la secuencia sinorogénica, etc., es hacia el este; aunque son frecuentes las estructuras con transporte hacia el oeste, especialmente en su sector occidental (Figs. 1 y 2). Las fallas inversas con transporte hacia el este son las que implican los mayores acortamientos. Las fallas inversas con vergencia occidental han sido interpretadas como retrocabalgamientos.



**Fig. 3.** Cabalgamiento de los limos y tobas (H) de la Fm. Maimará (Gr. Humahuaca) sobre sedimentos cuaternarios poco consolidados (Q). Alrededores de la localidad de Tilcara. Oeste a la izquierda.

El mecanismo general de propagación de los cabalgamientos parece ser hacia adelante (“forward”), tal y como lo atestigua el hecho de que las formaciones sinorogénicas del Grupo Orán sean más jóvenes en el este (Sierras Subandinas), que en el oeste (Cordillera Oriental). Sin embargo existen buenos ejemplos de estructuras fuera de secuencia, como lo atestigua el hecho de que las formaciones sinorogénicas depositadas en la Quebrada de Humahuaca (Grupo Humahuaca), dentro de la Cordillera Oriental, sean más jóvenes que las de las Sierras Subandinas o el que algunos cabalgamientos afecten a sedimentos que más al este fosilizan a otros cabalgamientos.

Teniendo en cuenta estas observaciones y las relaciones geométricas entre las diferentes estructuras, se han podido diferenciar tres etapas principales de emplazamiento para las láminas cabalgantes en el área estudiada, si bien el proceso de deformación ha de entenderse como continuo, sin solución de continuidad entre cada etapa. En la primera etapa se emplaza la lámina más occidental (Lámina de Aguilar, Figs. 1 y 2) y posteriormente la de Casagrande, cuyo frente se sitúa aproximadamente en la actual valle del río Grande (Figs. 1 y 2 y Mapa f.t.), invirtiendo parcialmente el “graben” mesozoico. Su despegue basal estaría a unos 12 a 15 km de profundi-

dad (Fig. 2). La inversión de algunas fallas normales del sector más occidental, con buzamiento hacia el este, propicia la existencia de retrocabalgamientos durante el emplazamiento de esta lámina alóctona, con una dirección de transporte tectónico hacia el oeste. Por delante de esta unidad se emplazan, en una típica secuencia “forward”, los cabalgamientos más orientales pertenecientes a la lámina de Humahuaca, con un nivel de despegue situado ya a casi 20 km de profundidad. El tránsito hacia las Sierras Subandinas se produce cuando este cabalgamiento basal asciende hacia niveles más superficiales y más altos en la secuencia estratigráfica (Fig. 2), dejando de aflorar por lo tanto los materiales cámbrico-precámbricos. Por último se produce el emplazamiento de estructuras “fuera de secuencia” o de segunda generación (Figs. 1 y 2 y Mapa f.t.), que aprovechan en parte estructuras anteriores, dando lugar También a estructuras nuevas que afectan a los sedimentos más recientes (Grupo Humahuaca, e incluso depósitos cuaternarios). El Grupo Humahuaca se deposita en una pequeña cuenca intramontañosa confinada, situada al pie de los relieves creados por el rejuego del frente de la lámina de Casagrande, esta cuenca estaría siendo transportada (“piggy back basin”), ya que el frente orogénico se situaría en ese momento mucho más al E, en la par-

te frontal de las Sierras Subandinas. Un excelente ejemplo de estructuras cabalgantes recientes puede observarse en las proximidades de Tilcara (Fig. 3), donde las arenas y tobas de la Formación Maimará (Salfity *et al.*, 1984), conteniendo micromamíferos fósiles del Mioceno terminal-Plioceno inferior, se superponen de forma espectacular a sedimentos fluviales cuaternarios poco consolidados.

El rejuego reciente de alguno de los cabalgamientos de primera generación, como el retrocabalgamiento que limita por el oeste la Cordillera Oriental, o el de Aguilar, explican el actual resalte que presenta esta unidad morfológica sobre la de la Puna, estimable en unos 500 a 1.000 m, según las zonas.

### Conclusiones

La estructura compresional andina de la Cordillera Oriental y Sierras Subandinas esta fuertemente condicionada por la existencia de una importante tectónica distensiva cretácica vinculada al desarrollo de un rift intracratónico.

Las estructuras más comunes son las fallas inversas y cabalgamientos, que rejuegan las estructuras extensionales cretácicas, aunque se crean también estructuras nuevas que truncan a las anteriores. Los pliegues son casi siempre de flexión de falla, existiendo también algunos de propagación, siendo más abundantes en las Sierras Subandinas.

El sentido de transporte predominante de las estructuras cabalgantes es hacia el este, aunque son frecuentes las estructuras con vergencia al oeste (retrocabalgamientos), en el sector occidental, allí donde son más abundantes las estructuras extensionales previas, con la misma disposición geométrica.

### Referencias

- Aceñolaza, F. y Toselli, A. (1973): Consideraciones estratigráficas y tectónicas sobre el Paleozoico inferior del Noroeste Argentino. *Memorias II Congr. Latinoamer. Geol.*, 2: 755-763.
- Allmendinger, R. W. and Zapata, T. R. (1996): Imaging the Andean Structure of the Eastern Cordillera on reprocessed YPF seismic reflection data. *Actas XIII Congr. Geol. Argentino*, 2: 125-134.
- Amengual, R.; Méndez, V.; Navarini, A.; Viera, V. y Zanettini, J. (1979): *Mapa Geológico a E. 1:400.000 de la Región Noroeste, provincias de Salta y Jujuy, República Argentina*. Dirección General de Fabricaciones Militares, Buenos Aires.
- Aramayo Flores, F. (1989): El cinturón plegado y sobrecorrido del Norte Argentino. *Bol. Inf. Petrol.*, Marzo: 16 p.

La secuencia de propagación es hacia adelante (“forward”), sin embargo existen importantes estructuras fuera de secuencia con actividad reciente.

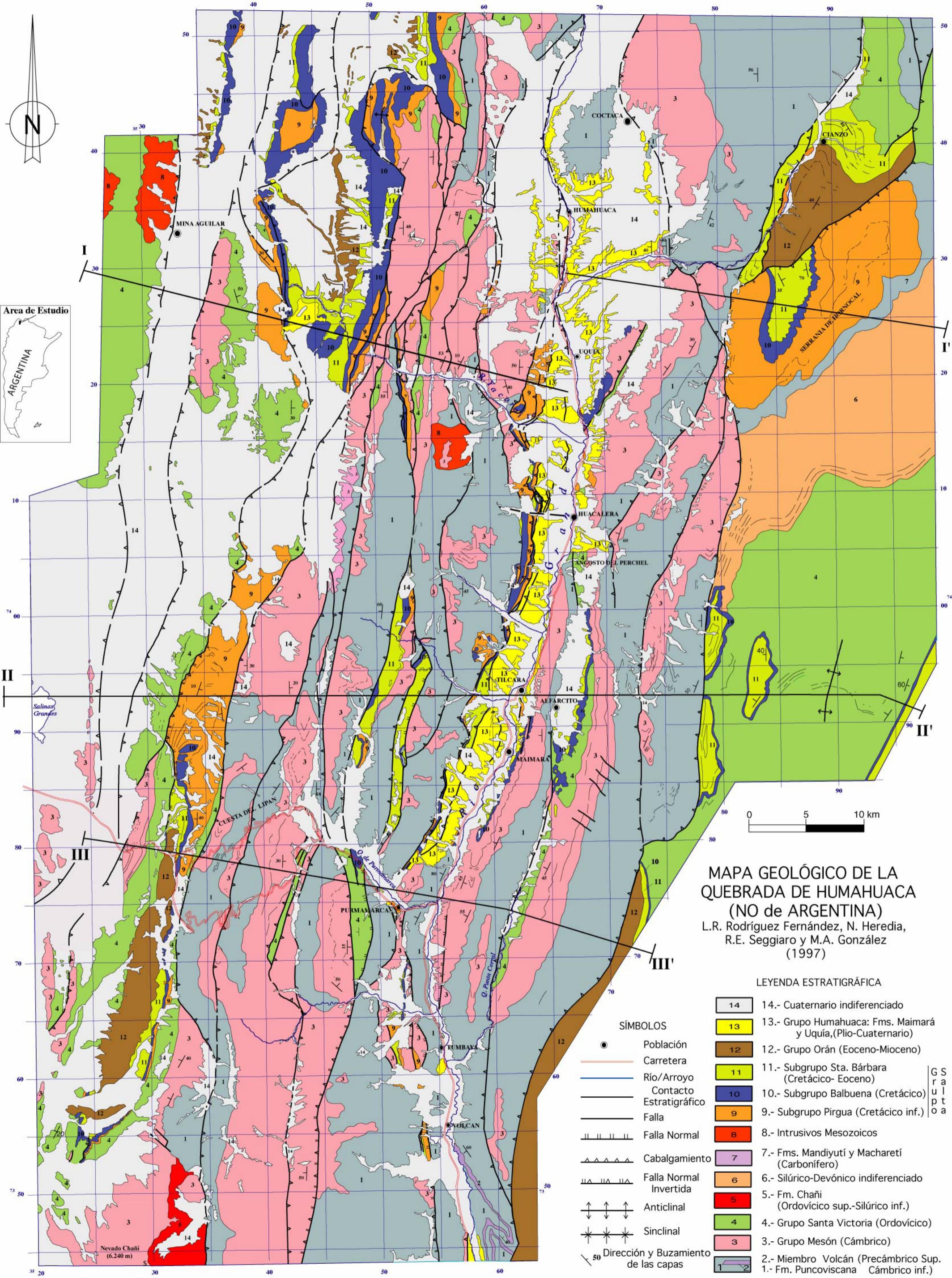
Se pueden diferenciar tres etapas de emplazamiento para las estructuras de la Cordillera Oriental y Sierras Subandinas: en una primera etapa se emplazan las láminas más occidentales (Aguilar y Casagrande) que implican la inversión de la estructura extensional previa y cuyo nivel de despegue se sitúa entre 12 y 15 km de profundidad. A continuación se emplazan por delante, en una típica secuencia “forward”, los cabalgamientos pertenecientes a la lámina de Humahuaca, con un nivel de despegue situado en el basamento, a 20 km de profundidad. El tránsito hacia las Sierras Subandinas se produce cuando el cabalgamiento basal asciende hacia niveles más altos en la secuencia estratigráfica. Por último se produce el emplazamiento de estructuras “fuera de secuencia” o de segunda generación que aprovechan en parte estructuras anteriores, dando lugar También a estructuras nuevas que afectan a los sedimentos más recientes.

Con posterioridad al desarrollo de las estructuras compresionales descritas se desarrollan pequeñas fallas de desgarre y fallas directas o normales con ellas relacionadas que parecen indicar un contexto cinemático transtensional con extensión ENE-OSO.

### Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco de un convenio de cooperación suscrito entre el Instituto Tecnológico Geominero de España (IT-GE) y el Servicio Geológico y Minero Argentino (SEGEMAR), que ha contado con la financiación de la Agencia Española de Cooperación Internacional a través del Instituto de Cooperación Iberoamericana (ICI). Los autores agradecen a los Drs. Alberto Marcos y Josep Poblet la lectura crítica del manuscrito original.

- Bianucci, H.; Fernández Garrasino, C. y Sánchez, E. (1987): Corrimientos de bajo ángulo entre La Quiaca y Abra Pampa (Prov. Jujuy, Argentina). *Actas X Congr. Geol. Argentino*: 165-168.
- Boll, A. y Hernández, M. (1986): Interpretación Estructural del área Tres Cruces-Provincia de Jujuy-Argentina., *Bol. Inf. Petrol.*, II (7): 2-14.
- Cladouhos, T. (1993): *Quantitative analysis of faults: fault kinematics from the Andes of NW Argentina and SW Bolivia, a finite strain method, and a fault growth model*. Tesis Doctoral, Univ. de Cornell. 220 p.
- Gillcrist, R.; Coward, M. and Mugnier, J. L. (1987): Structural inversion and its control. examples from the Alpine foreland and the French Alps. *Geodinámica Acta*, 1 (1): 5-34.
- Grier, M., (1990): *The influence of the cretaceous Salta rift basin on the development of andean structural geometries. NW Argentina Andes*. Tesis Doctoral, Univ. de Cornell.



**MAPA GEOLÓGICO DE LA QUEBRADA DE HUMAHUACA (NO de ARGENTINA)**  
 L.R. Rodríguez Fernández, N. Heredia, R.E. Seggiaro y M.A. González (1997)

**LEYENDA ESTRATIGRÁFICA**

14	14.- Cuaternario indiferenciado
13	13.- Grupo Humahuaca: Fms. Maimará y Uquía, (Plio-Cuaternario)
12	12.- Grupo Orán (Eoceno-Mioceno)
11	11.- Subgrupo Sta. Bárbara (Cretácico- Eoceno)
10	10.- Subgrupo Balbuena (Cretácico)
9	9.- Subgrupo Pigua (Cretácico inf.)
8	8.- Intrusivos Mesozoicos
7	7.- Fms. Mandiyutí y Macharetí (Carbonífero)
6	6.- Silúrico-Devónico indiferenciado
5	5.- Fm. Chañi (Ordovícico sup.-Silúrico inf.)
4	4.- Grupo Santa Victoria (Ordovícico)
3	3.- Grupo Mesón (Cámbrico)
2	2.- Miembro Volcán (Precámbrico Sup.)
1	1.- Fm. Puncoviscana (Cámbrico inf.)

**SÍMBOLOS**

- Población
- Carretera
- Río/Arroyo
- Contacto Estratigráfico
- Falla
- ||| Falla Normal
- ▲▲▲ Cabalgamiento
- ||| Falla Normal Invertida
- ↕ Anticinal
- ✳ Sinclinal
- ↖ Dirección y Buzamiento de las capas

G S r a u l p t o a

- Gubbels, T.; Isacks, B. and Farrar, E., (1993): High level surfaces, plateau uplift, and foreland development, Bolivian central Andes. *Geology*, 21: 695-698.
- Hernández, R.; Reynolds, J. y Disalvo, A. (1996): *Análisis tectosedimentario y ubicación geocronológica del Grupo Orán en el río Iruya*. Informe inédito Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF): 56 p.
- Kley, J. and Reinhardt, M. (1993): Geothermal and Tectonic evolution of the Eastern Cordillera and Subandean Ranges of Southern Bolivia. En: *Tectonic of the southern Central Andes* (K.-J. Reutter, E. Scheuber & P. J. Wigger, Eds.) Springer-Verlag, Berlín: 155-170.
- Marret, R. A.; Allmendinger, R. W.; Alonso, R. N. and Drake, R. E., (1994): Late Cenozoic tectonic evolution of the Puna Plateau and adjacent foreland, northwestern Argentine Andes. *Jour. South Amer. Earth Sci.*, 7: 179-208.
- Mon, R.; Ramer, S. y Mena, R. (1993): Estructuras Superpuestas en la Cordillera Oriental, Provincia de Jujuy, Argentina. *Actas XII Congr. Geol. Argentino*, III: 48-54.
- Monaldi, C. R.; Salfity, J. A.; Vitulli, N. y Ortiz, A. (1993): Estructuras de crecimiento episódico en el subsuelo de la Laguna Guayatayoc, Jujuy, Argentina. *Actas XII Congr. Geol. Argentino*, III: 55-64.
- Omarini, R. y Sureda, R. (1993): Evolución geodinámica y configuración paleogeográfica en los Andes Centrales del Proterozoico Superior al Paleozoico Inferior: modelos alternativos y problemas. *Actas XII Congr. Geol. Argentino*, III: 291-307.
- Rubio, D. G. (1992): Zur Geologie, Petrographie und Geochemie der Alkali-Magmatite der Sierra de Santa Victoria (E-Kordillere, NW-Argentinien). *Klausth. Geowiss. Diss.*, 41: 145 p.
- Stark, D. y Schulz, A. (1996): La configuración estructural del límite Cordillera Oriental-Sierras Subandinas en el extremo norte de la República Argentina. *Memorias XII Congr. Geol. Boliviano*: 221-229.
- Salfity, J. A.; Brandan, E. M.; Monaldi, C. R. y Gallardo, E. F. (1984): Tectónica compresiva cuaternaria en la Cordillera Oriental Argentina, latitud de Tilcara (Jujuy). *Actas IX Congr. Geol. Argentino*, II: 427-434.
- Turner, J. y Méndez, V. (1975): Geología del sector Oriental de los Departamentos de Santa Victoria e Iruya. Provincia de Salta. República Argentina. *Bol. Acad. Nac. Ciencias Argentina*, 51(1-2): 11-24.
- Vergani, G. y Stark, D. (1989): Cordillera Principal. *Segundo Simposio de Geología de la Argentina*. Acad. Nac. Ciencias Argentina: 651-694.