

ESTRUCTURAS MENORES EN EL PALEOZOICO INFERIOR EN LAS NACIENTES DEL RÍO JACHAL, PROVINCIA DE SAN JUAN: SU DESCRIPCIÓN E INTERPRETACIÓN

José SELLÉS-MARTÍNEZ¹ y Diego AZCURRA².

¹ Depto. de Ciencias Geológicas, FCEyN, UBA, Pabellón 2-Ciudad Universitaria, 1428-Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
Email: pepe@gl.fcen.uba.ar

² SEGEMAR, Universidad de Buenos Aires.

RESUMEN

Se describe e interpreta un conjunto de estructuras menores, presentes en las unidades ordovícicas (Formaciones Yerba Loca y Los Sombreros) en los afloramientos próximos a la ruta 150 entre las localidades de Cuesta del Viento y Los Túneles. Se trata de clivajes de diferentes tipos, diaclasas y fracturas, zonas de cizalla, venas planares y escalonadas y bandas *kink*. Se destaca la presencia de venas de cuarzo que han sido plegadas y fracturadas en forma simultánea con el desarrollo del clivaje de plano axial, las que han permitido realizar cálculos del acortamiento asociado al proceso de solución por presión que conduce a la formación del clivaje de plano axial. El conjunto de estructuras menores es coherente con las estructuras mayores en las que se aloja y muestra un desplazamiento sistemático y apilamiento de la masa rocosa desde el oeste hacia el este. Sus características reflejan, además, la importancia de los procesos de solución por presión y reprecipitación durante la deformación, así como la acción de la deformación progresiva con rotación local de las estructuras con respecto al campo de esfuerzos remoto.

Palabras clave: *Precordillera, Río Jáchal, Paleozoico, Estructuras menores, Formación Yerba Loca.*

ABSTRACT: *Lower Paleozoic microstructures in the headwaters of Río Jachal, San Juan Province: their description and interpretation.*

group of microstructures present in the Ordovician Yerba Loca and Los Sombreros Formations (cropping out in the vicinity of Road 150, between cuesta del Viento and Los Túneles), are described and interpreted. Cleavage, joints and fractures, shear zones, planar and sigmoid (en echelon) veins and kink bands are most common among them. Folded and domino faulted quartz veins, resulting from pressure solution contraction during formation of axial plane cleavage, are an outstanding feature and allowed calculation of contraction associated to cleavage development. The assemblage of minor structures shows coherency with the major structures hosting them and evidences a systematic displacement and stacking of rock masses from west to east. They also show the important participation of pressure solution and re-crystallization processes during deformation, along with progressive deformation due to rotation of local structures in the regional stress field.

Keywords: *Precordillera, Jáchal River, Palaeozoic, Minor structures, Yerba Loca Formation.*

INTRODUCCIÓN

Esta contribución amplía las observaciones presentadas en Sellés-Martínez y Azcurra (2010, este volumen), en donde puede consultarse el mapa de ubicación y los rasgos macro y mesoestructurales, detallándose aquí las características e interpretación de las estructuras menores observables en las formaciones ordovícicas aflorantes en la margen sur del río Jáchal, a lo largo de la ruta 150, entre la localidad de Los Túneles y el embalse de la cuesta del Viento. Complementa también trabajos previos que han descrito e interpretado microestructuras en el área (von Gossen 1997 y Álvarez Marrón *et al.* 2006) y tra-

bajos puntuales como Sellés-Martínez *et al.* (1988). El objetivo del trabajo se enmarca en aquéllos ya señalados en la Parte 1, haciéndose énfasis en la descripción y caracterización de aquéllos rasgos que permiten recabar información que permita descifrar las condiciones en las cuales ha tenido lugar la deformación de estos materiales.

DESCRIPCIÓN DE LAS MICROESTRUCTURAS

Se utiliza aquí la expresión *estructuras menores* en un sentido lato, es decir, aquellas estructuras de dimensiones menores al metro (aún cuando alguna de sus dimensiones

pueda superarlo, como en el caso de las venas que, a pesar de tener espesores milimétricos pueden alcanzar varios metros cuadrados de superficie). Se describirán a continuación clivaje, diaclasamiento, fracturación y fallas menores, venas y formación de bandas *kink*, zonas de cizallamiento y microplegues incongruentes, junto con algunas otras estructuras particulares que se describen hacia el final de la contribución.

Clivaje

El clivaje se ha desarrollado muy bien en los niveles originalmente más ricos en fracción arcillosa de la Formación Yerba Loca, encontrándose ausente de los bancos carbo-

náticos y, por supuesto, en los diques y filones. El clivaje de plano axial (S2) desarrollado en la Formación Yerba Loca oblitera total o parcialmente cualquier clivaje anterior del tipo paralelo a Ss (tal como la esquistosidad S1 desarrollada por compactación vertical y diagénesis temprana). Entre los rasgos más interesantes que afectan a esta estructura y que se ilustran en la figura 1, puede mencionarse: *Concentración diferencial en bancos con gradación granométrica (Fig. 1a)*: La mayor labilidad a la solución por presión de los niveles más ricos en materiales arcillosos produce en ellos un mejor desarrollo del clivaje. Obsérvese la curiosa forma de gota que resulta de la erosión diferencial sobre estos niveles.

Desarrollo diferencial en bancos con diferente composición (Fig. 1b): El clivaje se habría generado en condiciones en las cuales los fluidos circulantes (probablemente de pH alcalino) han actuado más intensamente sobre los materiales silíceos que sobre los carbonáticos. Es así que el delgado banco carbonático no presenta clivaje y su resistencia a la disolución a permitido que inmediatamente junto a él se conservan relictos de S1, que ha sido completamente obliterado en los niveles siliciclásticos. Estos últimos han desarrollado un clivaje S2 oblicuo a Ss que, en ausencia de marcadores litológicos, hace difícil identificar Ss. Para compensar el acortamiento asociado al desarrollo de S2 el banco carbonático ha debido plegarse y micro-fallarse en forma inversa.

Desarrollo de formas envolventes en torno a venas deformadas (Fig. 1c): La presencia de venas o cuerpos más resistentes genera habitualmente rotaciones muy locales del campo de esfuerzos y deflexión del clivaje en sus proximidades. En procesos de deformación progresiva la rotación de las estructuras con diferentes propiedades reológicas no es homogénea y esto produce la desviación gradual de los planos de clivaje entre ambas posiciones extremas en una aureola alrededor de los cuerpos más rígidos. En este caso la vena genera alrededor de la misma fenómenos comparables a las sombras de presión y geometrías en forma de huso cuando el clivaje rodea las charnelas.

Deflexión por deslizamiento interestratal (Fig. 1d):

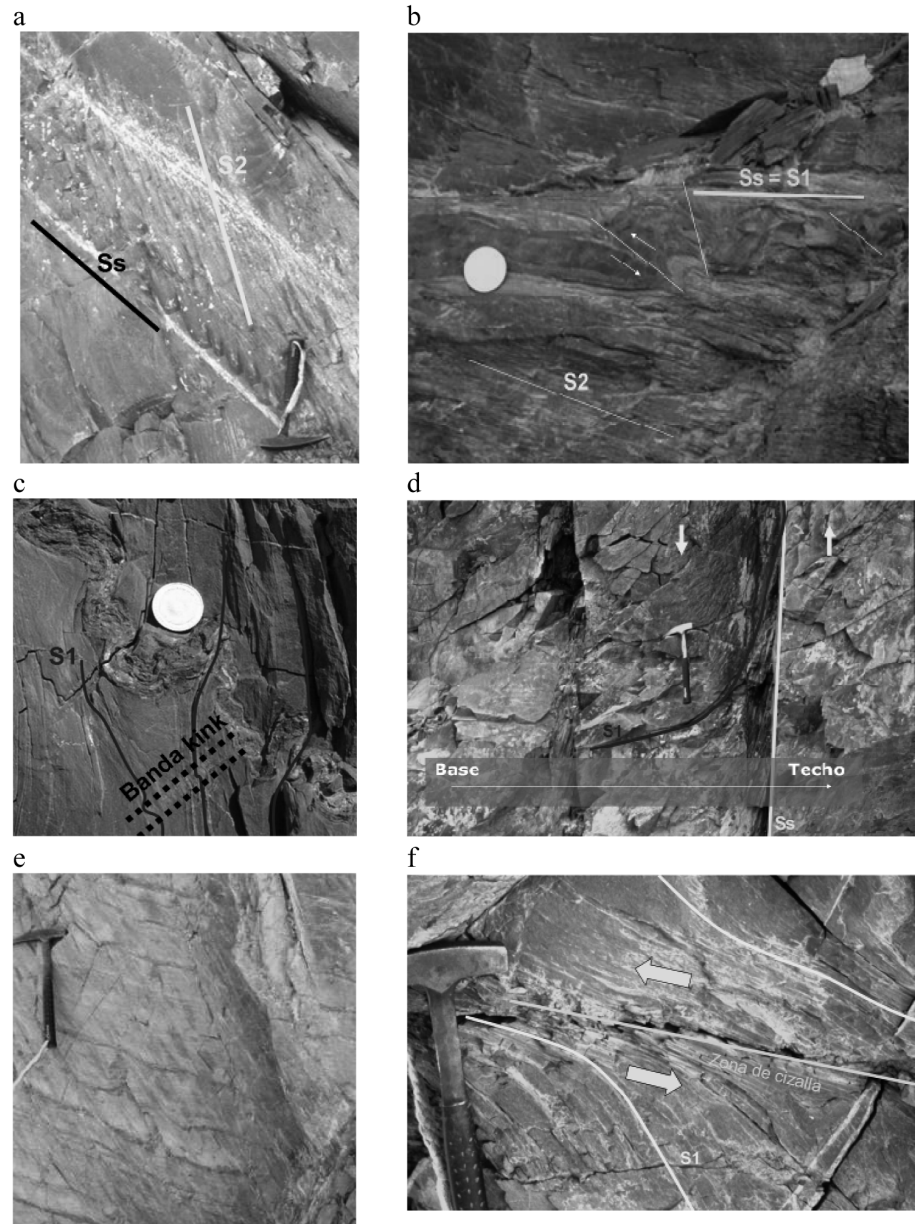


Figura 1: Diferentes tipos de clivaje y estructuras que lo afectan: a) Desarrollo diferencial del clivaje en bancos con gradación granométrica; b) Desarrollo diferencial del clivaje en bancos con diferente composición; c) Desarrollo de formas envolventes alrededor de venas plegadas; d) Flexión del clivaje por deslizamiento interestratal; e) Flexión y crenulación del clivaje por el desarrollo de zonas de cizalla; f) Crenulación del clivaje S2 por intersección con la Ss. Véase detalles en el texto.

La rotación local de las direcciones de compresión como resultado de la formación de una zona de cizalla paralela a los planos de estratificación asociada a la componente de flexodeslizamiento durante el plegamiento hace que los planos de S1 se hagan asintóticos a Ss. Esta relación ha sido frecuentemente aplicada durante este trabajo para determinar la posición relativa de anticlinales y sinclinales en ausencia de otros

indicadores de base y techo.

Crenulación por intersección de planos estructurales (Fig. 1e): La intersección de planos estructurales oblicuos (S1 -que refuerza Ss- y S2, en la ilustración) genera una crenulación de pequeña escala, en la cual una de las superficies (S1) es ligeramente rotada -y a veces desplazada por fallas a nivel microscópico- por la otra (S2).

Crenulación en zonas de cizalla (Fig. 1f): Este

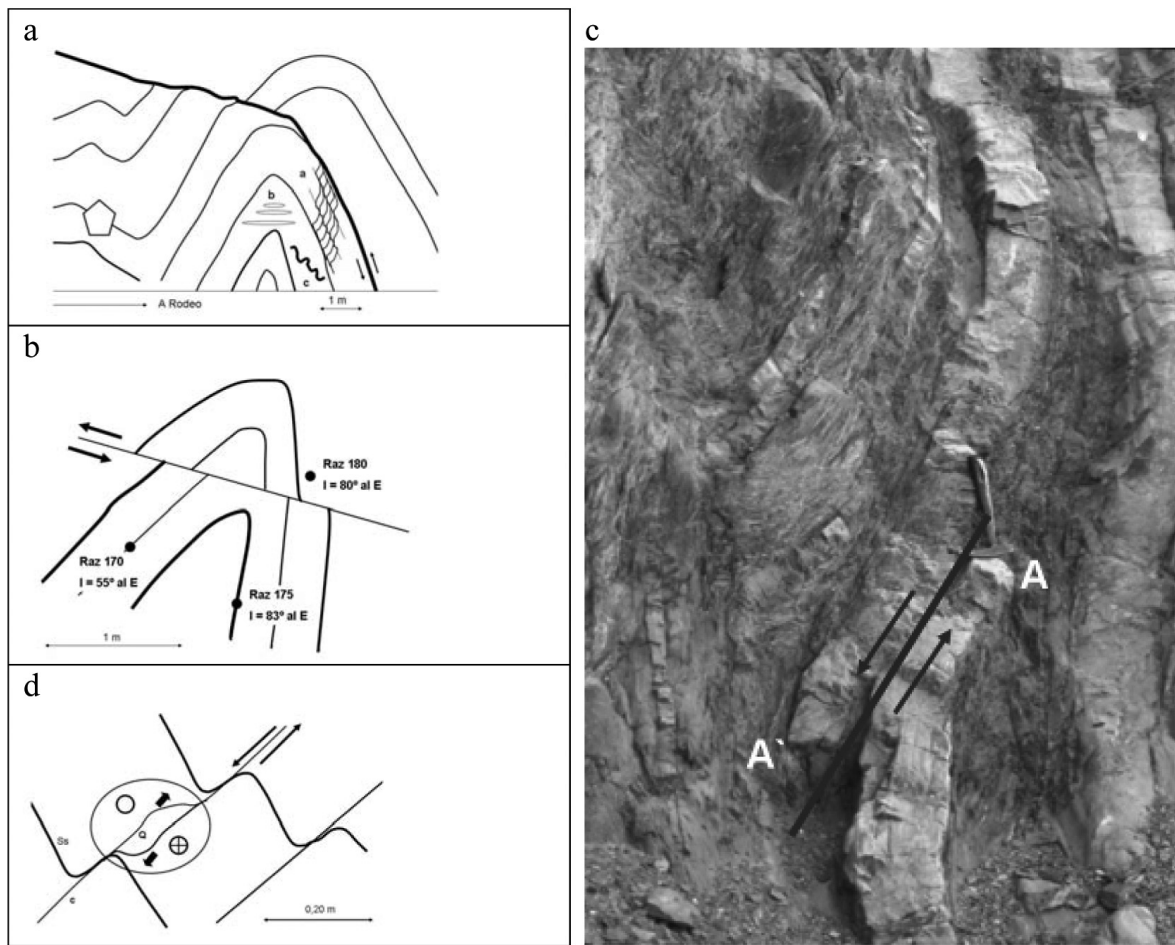


Figura 2: Fracturas no sistemáticas. a) Falla que se origina sobre el plano de estratificación y luego corta la charnela anticlinal. Un conjunto de estructuras menores enriquece este afloramiento, en el que pueden verse. a- Grietas de extensión perpendiculares al plano axial, rellenas de cuarzo, asociadas al engrosamiento de la charnela en los bancos más plásticos. b- Crenulación del clivaje por cizallamiento debido al deslizamiento paralelo de las capas en los flancos del pliegue. c- Vena replegada como consecuencia de su resistencia a la solución por presión durante el adelgazamiento del flanco por desarrollo del clivaje (véase también el ítem correspondiente a venas replegadas); b) Charnela desplazada con vergencia oriental por una falla inversa inclinada al oeste; c) Conjunto de microfallas interdigitadas en la Formación Yerba Loca, en las proximidades del Corrimiento de la Tranca; d) Cizallamiento de Ss por un conjunto de planos de falla inclinados al este. Q = vena de cuarzo. Ver discusiones en el texto.

rasgo es muy frecuente en el área. Puede aparecer como estructuras aisladas o bien con características de estructuras S-C cuando los planos de corte son sistemáticos. La ilustración representa un ejemplo del primer caso, pero el segundo es también abundante. En la figura 2a puede interpretarse como una estructura S-C la crenulación del clivaje S1 como consecuencia del flexo-deslizamiento tardío en el limbo occidental del anticlinal.

Diaclasamiento, fracturación y fallas menores

Diaclasas, fracturas no sistemáticas y fallas menores son muy comunes, pero dada la superposición de eventos deformativos a

lo largo de la historia geológica de la región, no es siempre fácil discriminar la edad de las mismas. Se las ha agrupado en la figura 2, que se describe en detalle a continuación. *Diaclasas:* Los juegos de diaclasas se encuentran mejor desarrollados en los niveles más potentes de areniscas, en las cuales el clivaje S2 está menos desarrollado. Se trata de planos netos, en general desprovistos de pátinas y que presentan mayor frecuencia en las cercanías de las zonas con mayor deformación. A medio camino entre la salida del túnel y el santuario se ha medido un sistema de fracturas caracterizado por la presencia de tres juegos principales (Sj) cuyas actitudes son Sj1: R Az 180 e inclinación 85° al E; Sj2: R Az 95 e inclinación

75 al N y Sj3: R Az 330 e inclinación 77 al SO. Estos juegos definen formas prismáticas muy netas y sobre la superficie de afloramiento se observan lineaciones que corresponden a la intersección de cada par de planos sobre el tercero.

Fracturas no sistemáticas y fallas menores: Presentan desplazamiento reducido, a lo sumo de escasos metros y en muchos casos el plano se curva. En la figura 2a se reproduce una de estas fallas, que comienza sobre el plano de estratificación y luego corta la charnela anticlinal. Las fallas de dimensiones más reducidas son también muy comunes y sus superficies pueden ser planas o curvadas. Su importancia relativa con respecto a las estructuras de plegamiento pue-

de ser variable, en un caso observado la fractura es interna con respecto a un banco de unos 20 cm de potencia y sólo desplaza la laminación interna sin afectar a los bancos adyacentes, mientras que en otros (Fig. 2b) se produce el desplazamiento de toda la charnela anticlinal en sentido provergente. Estas fracturas funcionan como falla directa o inversa según incline al este o al oeste respectivamente, pero sistemáticamente desplazan el bloque superior hacia el este.

Numerosísimas fallas de escaso rechazo (menor de 20 cm) desplazan venas y bancos y se asocian a movimientos de acomodamiento de bloques durante la deformación. En la figura 2c se ilustra un caso muy interesante que se observa en la Formación Yerba Loca en las proximidades del corrimiento de la Tranca. Como resultado de la intensa deformación en la base del sobrecorrimiento, los bancos más duros se han fracturado e interdigitado con los bancos pelíticos, generando un diseño en corte similar a dos peines intercalados.

Planos de falla de escala métrica que generan estructuras de tipo S-C: Se reproducen en la figura 2d y aparecen asociados, generando la crenulación de Ss con un desplazamiento provergente del conjunto. Resultan de la compresión O-E y aunque aparentan una componente normal de desplazamiento si se los interpreta como planos de falla no puede presuponerse que se asocien a esfuerzos extensionales. Obsérvese que la apertura del espacio que rellena el cuarzo sería opuesta a la dirección de desplazamiento sobre el plano de falla, por lo que no debe descartarse una componente de desplazamiento perpendicular u oblicuo al plano de exposición en el afloramiento. Esta particularidad podría deberse también a la reactivación de uno de los planos limitantes de la zona de cizalla como falla frágil, con un sentido opuesto de desplazamiento, pero esta interpretación está limitada por el hecho de que el desplazamiento directo original sobre ese plano en particular debería haber sido por lo menos el doble del que muestra el conjunto de planos para poder desandar posteriormente el camino recorrido y llegar a su posición actual,

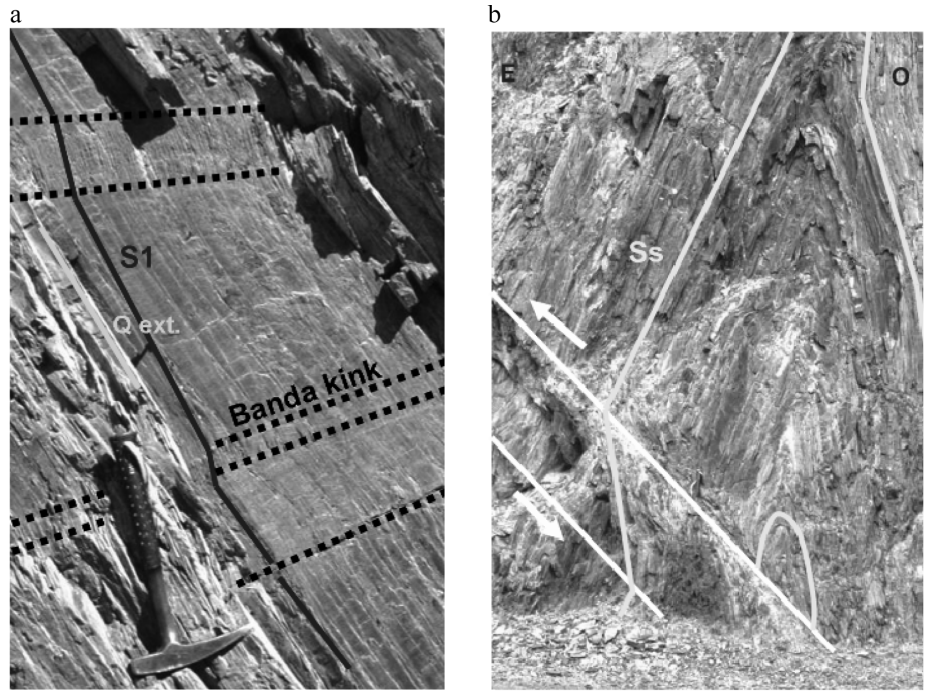


Figura 3: a) Bandas *kink* en la Formación Yerba Loca. Se observan también venas de cuarzo que se inyectan entre los planos de clivaje S2; b) Charnela anticlinal afectada por una banda *kink* que produce un desplazamiento provergente.

pero es difícil explicar porqué ese mismo plano se comportó luego como falla inversa y el resto no. Tampoco resultaría viable suponer un orden inverso para el proceso, por cuanto un desplazamiento normal póstumo debería haber producido la trituración del material en la zona de contraste mecánico entre las pelitas y el cuarzo.

Disyunción columnar: Especial interés entre las diaclasas merece la disyunción columnar, común en los diques y filones intruidos en las lavas almohadilladas. Se exploró la potencialidad de estas formas para reconstruir el elipsoide de deformación, pero no ha sido posible detectar aquí una distorsión notable de las secciones de las columnas que permitiera aplicar la técnica de Sellés-Martínez (1986), técnica que arrojara excelentes resultados en los afloramientos de Ventania.

Bandas *kink*

La presencia de niveles con alto contenido de minerales laminares ha facilitado, como ya se ha dicho, el desarrollo del clivaje y la aparición de una fuerte anisotropía reológica en el material. La compresión confinada del mismo, sobre todo cuando los es-

fuerzos forman un cierto ángulo con el plano de anisotropía, facilita el desarrollo de bandas *kink* (véase por ejemplo Sellés-Martínez 1995). Las bandas pueden ser de tipo conjugado y también desarrollar sistemas monótonos (provergentes o antivergentes) que, al hacerse muy frecuentes desembocan en estructuras del tipo S-C (cizallamiento de la esquistosidad) y crenulaciones. En la figura 3 se ilustran algunos ejemplos de *kinks* con anchos de bandas centimétricos, aunque pueden encontrarse ejemplos que exceden el metro de ancho de banda.

Venas

Como se ha señalado anteriormente, son frecuentes en el área las venas con diversas geometrías y orientaciones, de diferentes orígenes, tanto en el tiempo como en el mecanismo de formación, las que se reproducen en la figura 4.

Venas cuarzosas en la Formación Yerba Loca: Son comunes en las facies clásticas de esta formación y las hay de muy diversas geometrías, asociadas a diferentes momentos del proceso de deformación, pero generalmente sintectónicas. Las más simples son de

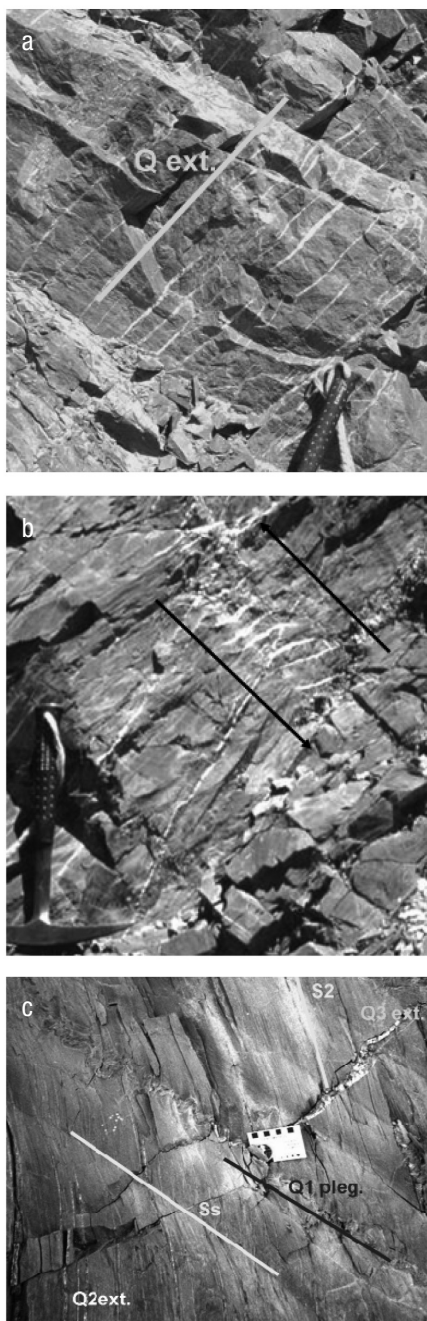


Figura 4: Diferentes tipos de venas. a) Venas de cuarzo de geometría prismática y espesor milimétrico; b) Venas escalonadas con gajos ahusados, pueden observarse dos juegos paralelos. El sentido de la cizalla estaría indicando un desplazamiento de los bloques superiores hacia la izquierda de la fotografía; c) Venas planas paralelas al clivaje (Q2ext.), interpretadas como fracturas póstumas de relajación, ya que su emplazamiento se opone a la dirección de compresión, evidenciada tanto por el desarrollo del clivaje S2 como por el replegamiento de la vena (Q1pleg.) que se observa en el centro de la fotografía. Q3ext. Corresponde a otra vena extensional menos sistemática.



Figura 5: a) Vena plegada durante el desarrollo del clivaje, obsérvese como S2 se curva alrededor de un limbo replegado en el centro de la foto. Esta estructura estaría indicando el fuerte acortamiento asociado al desarrollo del clivaje, localmente expresado como una compresión actuando en diagonal desde el ángulo superior derecho de la foto; b) Vena fracturada y desplazada por el deslizamiento debido a la cizalla interestratal durante el desarrollo del clivaje.

cuarzo, planas, de espesor milimétrico y se disponen en actitud más o menos perpendicular a la estratificación (Fig. 4a). Otro tipo, bastante abundante, es escalonado con gajos de forma ahusada o sigmoidal en perfil (Fig. 4b). Se presenta con diversas orientaciones y generalmente indican cizallamiento provergente del conjunto. Aparecen a veces como juegos conjugados y no son raros los casos en que puede reconocerse rotación del sistema dentro del campo de esfuerzos, evidenciado por el desarrollo secuencial de nuevas fracturas o fuerte rotación de las sigmoides. Aparecen también juegos de venas planas, muy delgadas, pero que se presentan asociadas en gran número y que se disponen paralelamente a los planos de clivaje. Estas venas (Fig. 4c) deben haberse desarrollado como consecuencia del relajamiento al reducirse o desaparecer el esfuerzo compresivo máximo. Serían por lo tanto póstumas y posteriores a los conjuntos de venas que han sido deformados sintectónicamente.

Venas replegadas y fracturadas: El caso de la vena replegada que aparece en la figura 4c no es excepcional y su desarrollo se vincula a la progresión del proceso de la formación del clivaje que ha producido su

plegamiento por contraste reológico y finalmente su segmentación y desplazamiento de los fragmentos en una estructura de dominó. Esto último como consecuencia de la cizalla interestratal desarrollada a favor del deslizamiento sobre los planos de clivaje durante el plegamiento. En la figura 5 se presentan dos ejemplos extremos, desde plegamiento suave a fracturación en dominó. Es muy notable la flexión de los planos de clivaje alrededor de las charnelas y de los fragmentos de vena, dando formas ahusadas, indicadoras del espesor eliminado por disolución en los microlitones. Sobre la estructura de la figura 5b se han realizado un cálculo del acortamiento mínimo aparente causado por disolución de material en los planos de clivaje, habiéndose obtenido un valor de e igual a $-0,69$; representando e el acortamiento unitario expresado como la relación $e = (l_f / l_0) - 1$, siendo l_0 la longitud inicial y l_f la final. El cálculo se ha realizado en forma gráfica, comparando la distancia actual entre dos puntos de la vena convenientemente apartados y la distancia que los separa cuando se reconstruye la geometría originalmente continua y planar de la misma. Debe tenerse en cuenta

que el valor de acortamiento obtenido puede estar influenciado por diversos factores que van desde la oblicuidad del plano de afloramiento con respecto a la dirección de mayor compresión en el momento de generarse la estructura a la perturbación que la elongación paralela vertical, paralela al plano axial, puede introducir en la geometría de la vena.

Venas en los afloramientos de lavas almohadilladas: En esta área, la más occidental de la sierra Negra, las venas más antiguas son atectónicas y están asociadas a los momentos inmediatamente posteriores a la acumulación de las almohadillas en el fondo marino. Por un lado se desarrollan los relenos de los intersticios entre almohadillas, de forma más o menos triangular con lados cóncavos y que a veces presentan zonación concéntrica, mientras que en el interior de las almohadillas se desarrollan tanto microfracturas radiales como fracturas paralelas, de disposición generalmente vertical y extremos ahusados. Ambas corresponden al relleno de las fracturas originadas en la contracción por enfriamiento y probablemente también en el aplastamiento de la pila de almohadillas por su propio peso. El relleno es generalmente fibroso, con capas verdosas y blanquecinas. Sumamente llamativas resultan también en esta zona las venas que se han desarrollado en el dique que aflora frente al ingreso al obrador. Las mismas ocupan las fracturas de disyunción y presentan textura fibrosa, dispuesta perpendicularmente a las paredes de las fracturas. Como se ha señalado todas estas fracturas y sus relenos son inmediatamente posteriores al proceso de extrusión (en el caso de las lavas almohadilladas) o emplazamiento (en el caso de los diques) y asociadas a la fracturación como respuesta a los esfuerzos generados por el enfriamiento súbito en un medio, como el submarino, en el que los fluidos son omnipresentes. Otros sistemas de venas, de génesis claramente posterior a las anteriores por cuanto son de neto carácter tectónico, pero de difícil datación, presentan anchos de hasta 15 cm, geometrías anastomosadas y orientaciones variables.

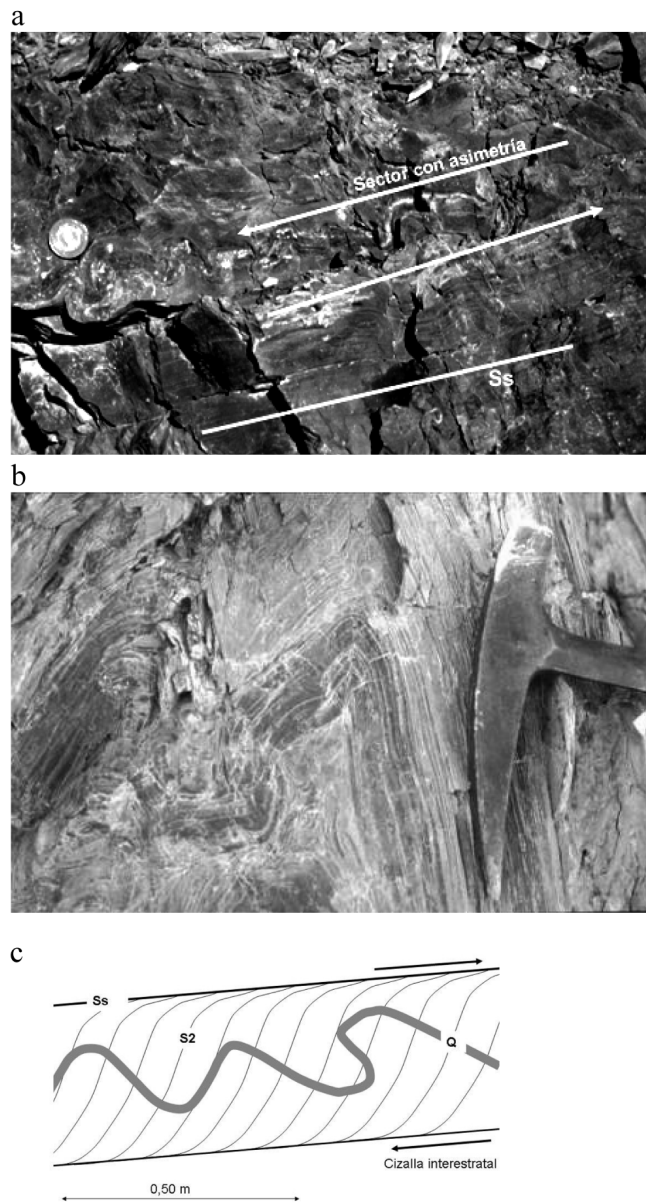


Figura 6: a) Acortamiento de un banco carbonático por plegamiento incongruente en una masa de roca que se acorta por solución por presión durante el desarrollo del clivaje. Puede observarse que la discontinuidad mecánica ha favorecido la inyección de una vena de cuarzo blanquecino en la superficie Ss, la que también acompaña el plegamiento; b) Replegamiento de las charnelas en escala centimétrica asociada, en este caso, a un anticlinal cuyos flancos se extienden en forma rectilínea por más de un par de metros antes de curvarse para formar los sinclinales correspondientes; c) Venas plegadas en forma incongruente con el sentido del cizallamiento interestratal. So: Estratificación, S2 Clivaje de plano axial deformado por la cizalla interstratal.

Otros micropliegues

En la figura 6a los micropliegues afectan a bancos delgados, de unos pocos centímetros de espesor, cuya composición y comportamiento reológico al momento de la deformación contrastaban notablemente con el de los niveles ricos en arcillas, los que se acortaron por desarrollo de clivaje, mientras los menos lábiles debieron plegarse y fracturarse. En la figura 6b los pliegues y fracturas menores modifican la geometría de un anticlinal de mayores dimensiones y aparecen como estructuras aisladas, ya que no se observan en los flancos. En general

se los ha observado del lado oriental de las charnelas. En la figura 6c como resultado de la oposición de la dirección de inclinación de los planos axiales de los micropliegues con la dirección del cizallamiento mostrado por la estructura S-C que afecta a S2 aparece una cierta incongruencia. Esta podría explicarse si el plegamiento es anterior a la cizalla interstratal y considerando que, probablemente, la estructura haya rotado también con respecto al campo de esfuerzos remotos. Esta rotación habría tenido lugar en el marco de un proceso de deformación progresiva, en el cual las superficies de cli-

vaje han rotado (en sentido horario en la imagen) más rápidamente que los flancos axiales de los pliegues, menos susceptibles a la disolución por presión y cristalización reorientada.

Manchas elípticas

La figura 7 ilustra típicas manchas de reducción que se observan en algunos niveles de la Formación Yerba Loca y que un estudio sistemático, fuera de los alcances de este trabajo, podría indicar si las mismas son útiles o no como marcadores de deformación.

Microcrenulaciones cizalladas

Estas estructuras se encontraron en las proximidades del km 269, en un banco de chert de unos 12 cm de espesor. Las microcrenulaciones se muestrearon y analizaron a la lupa y microscopio, indicando fuerte cizallamiento paralelo a las capas, formación de fajas *kink* y pliegues de tipo *chevron* en el marco de un proceso de deformación progresiva del sistema con rotación de las estructuras dentro del campo de esfuerzos regional tal como lo evidencian las sombras de presión de los cristales de pirita (Sellés-Martínez *et al.* 1988). En la figura 8 pueden verse detalles de esta muy interesante estructura.

DISCUSIÓN

El conjunto de estructuras descritas pone de relevancia la importancia de la deformación penetrativa en las unidades ordovícicas que afloran entre las localidades de Los Túneles y el embalse Cuesta del Viento. Dadas sus características su desarrollo se habría producido mayormente durante el proceso de emplazamiento del bloque que Álvarez Marrón *et al.* (2006) denominan Alóctono Occidental, quedando reservado para la orogenia andina el desarrollo de nuevos sobrecorrimientos y fracturas, que en algunos casos son controladas por las anisotropías pre-existentes. La longitud de onda de los pliegues es acortada -y su vergencia aumentada- cuando su orientación es favorable. El replegamiento de charnelas, que se observa en pliegues de dife-



Figura 7: Manchas elípticas de reducción en la Formación Yerba Loca

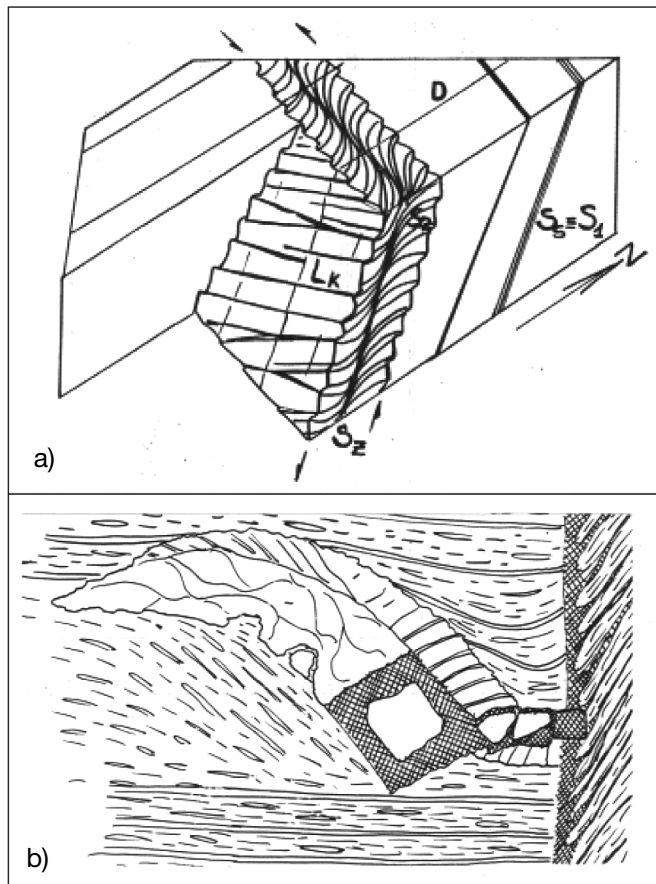


Figura 8: a) Crenulación en un banco de chert. Las sigmoides se desarrollan perpendicularmente a la estratificación. Esquema de la orientación de la estructura; b) Aspecto de una de las bandas al microscopio. Puede observarse una cola de crecimiento curvada, asociada a un cristal de pirita, que curiosamente carece de su cola complementaria del otro lado del cristal y que muestra una vena de crecimiento que se extiende sobre la superficie de contacto del cristal y la cola con el chert finamente bandeado. Sobre el extremo derecho de la fotografía se observa un kink (en posición vertical) en el que es evidente la flexión del bandeado (Sellés Martínez *et al.* 1988).

rentes dimensiones, podría ser consecuencia también de una compresión adicional actuando sobre estructuras previas. Este proceso no necesariamente representaría dos episodios diferentes, ya que puede ser consecuencia de una rotación local del sistema frente a los esfuerzos remotos y

también del bloqueo de la posibilidad de crecimiento de ciertas estructuras como consecuencia de su geometría o de la transformación gradual de las propiedades reológicas de los materiales involucrados. La mayor fragilidad que se observa en el comportamiento de las charnelas que se

repliegan (en algunos casos los repliegues muestran evidencias de fracturación) podría ser consecuencia de la litificación progresiva del material por el avance de la compactación tectónica y la cementación por recristalización de las partículas más finas. Cuando las fracturas cortan transversalmente los planos axiales de los pliegues, evidencian en todos los casos un transporte del bloque superior en dirección al este y, dadas sus características de deformación frágil que interseca a las estructuras dúctiles podrían adscribirse (aunque siempre con dudas) a la deformación ándica. Las condiciones de formación de las estructuras paleozoicas (S1, S2, venas oblicuas a Ss y grietas escalonadas) indicarían una importante presencia de fluidos que favorecen el desarrollo de procesos de solución por presión, migración y reprecipitación de cuarzo. Si tenemos en cuenta que los bancos carbonáticos se presentan intactos podemos establecer que el pH de los fluidos circulantes era francamente alcalino. Durante la relajación extensional, cuya cronología exacta no puede establecerse con los datos disponibles, se produce la inyección de venas de cuarzo en las fracturas que se desarrollan a favor del contraste reológico en los microlitones y que se disponen paralelamente a S2. Las condiciones de alta presión confinante, la existencia de una fuerte anisotropía planar y la presencia de componentes de cizalla ha favorecido el desarrollo de bandas *kink*, en juegos conjugados o bien en sistemas paralelos que producen una rotación del sistema techo hacia el este. El desarrollo de bandas de cizallamiento a diferentes escalas, desde centimétricas a métricas, acompaña este sentido de desplazamiento y pone de relieve la importancia que las estructuras de corte, penetrativas a nivel de afloramiento tienen en el desplazamiento convergente de las masas de roca, más allá del desplazamiento de todo el conjunto sobre los grandes planos de sobrecorrimiento.

CONCLUSIONES

Con respecto al ambiente de formación de las estructuras descritas podemos señalar que algunas de ellas están vinculadas a con-

diciones de presión, temperatura y circulación de fluidos que han facilitado la deformación a nivel penetrativo y desarrollo tanto de los diferentes tipos de clivaje como de algunos de los casos de crenulación descritos. Esto no como consecuencia de orogénias diferentes, sino cuando las mismas se suceden en el tiempo en un proceso de deformación progresiva con rotación de las estructuras locales en el campo de esfuerzos remotos. Estas condiciones habrían caracterizado la deformación durante la compresión del Paleozoico, alcanzándose el grado de facies de esquistos verdes incipiente, mientras que las unidades almohadilladas muestran también la acción del metamorfismo de fondo oceánico. La compresión ándica, en un ambiente de deformación de piel fina, genera estructuras frágiles, que a nivel microestructural se traducen en fracturas y fallas que cortan a las estructuras preexistentes (como el caso de aquéllas que cortan transversalmente los pliegues de escala métrica y desplazan las charnelas en sentido techo al este, acorde con la vergencia de los movimientos ándicos. Las conclusiones obtenidas a nivel de este grupo de estructuras de menores dimensiones son así coherentes con las que han brindado las estructuras mayores descritas en la parte 1 de esta contribución.

Finalmente cabe señalar que es de importancia capital comenzar una campaña de cartografía geológica de detalle, que permita extender las observaciones realizadas en las proximidades del río Jáchal hacia el norte y el sur, tarea que no resulta fácil por las características de la zona y la falta de fotografías aéreas en escala adecuada que faciliten la labor. La cartografía de las meso y micro estructuras permitiría profundizar en el estudio de la distribución espacial y relaciones de intersección entre las mismas, información sin duda imprescindible para avanzar en la diferenciación de las edades relativas de las mismas.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido financiado por la Universidad de Buenos Aires a través de los subsidios Ubacyt 158 y EX75. Se agra-

dece a Laura Giambiagi y a otro árbitro anónimo sus sugerencias y correcciones, las que permitieron mejorar esta contribución. Gracias también a Fernando Hongn por su infinita paciencia y amabilidad durante el proceso de gestión de los manuscritos.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Álvarez-Marrón, J., Rodríguez-Fernández, R., Heredia, N., Busquets, P., Colombo, F. y Brown, D. 2006. Neogene structures overprinting Paleozoic thrust systems in the Andean Precordillera at 30° S latitude. *Journal of the Geological Society* 163: 1-16, London.
- Sellés-Martínez, J. 1986. Graphic methods for the reconstruction of the strain ellipse from distorted regular polygons. *Tectonophysics* 3: 393-396
- Sellés-Martínez, J., Caselli, J. A. y Mena, M. 1988. Cizallamiento dúctil sobreimpuesto al clivaje de crenulación diferenciado en sedimentitas ordovícicas del área de Rodeo (Provincia de San Juan). 5° Reunión de Microtectónica (Córdoba), Actas: 80-83.
- Sellés-Martínez, J. 1995. What do kink bands mean? Second International Conference on Mechanics of Faulted and Jointed Rocks (Wien, Austria). *Proceedings*: 311-315.
- Sellés-Martínez, J. y Azcurra, D. 2010. Estructura menores del Paleozoico inferior de las nacientes del Río Jáchal, Provincia de San Juan: Su descripción e interpretación. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 66(1-2): 80-93
- von Gossen, W. 1997. Early Paleozoic and Andean structural evolution in the Río Jáchal section of the Argentine Precordillera. *Journal of South American Earth Sciences* 10: 361-388.

Recibido: 9 de noviembre, 2009
Aceptado: 7 de diciembre, 2009