

---

**EFFECTOS DINAMOMETAMORFICOS EN ROCAS DE DOS ZONAS  
DE FALLA DE LA FORMACION LA CEBILA,  
PROVINCIAS DE LA RIOJA Y CATAMARCA**

MARIA A. LEGUIZAMON, MARTA D'ANGIOLA  
y PATRICIA VINCIGUERRA (1)

---

**RESUMEN**

La revisión crítica de dos zonas de falla del basamento precámbrico de la quebrada de La Cébila, en los sectores de las minas de antimonio Santa Margarita, La Morenita y Grupo Ruma Supay ha permitido caracterizar el comportamiento petrológico y estructural de un conjunto de rocas metacuarcíticas y esquistosas de la parte Austral de la Sierra de Ambato. Las rocas fueron resumidas en cuatro tipos principales: brechas de metacuarcitas, protocataclasitas, jaboncillos de falla foliados (cataclasitas foliadas) y cuarcitas cataclastizadas, como resultado de los movimientos que afectaron la zona. Un quinto tipo de roca menos abundante fue clasificada como esquistos miloníticos (a medio camino de verdaderas milonitas SC II) ligadas a zonas de flujo laminar no coaxial o de cizallamiento transitorio, poco intenso. Se establecieron además las condiciones físicas bajo las cuales se formaron y los mecanismos de deformación que corresponden al tipo elástico friccional asociadas a flujos cataclásticos.

La deformación global en base a los datos obtenidos es multifásica y no continua. En los esquistos milonitizados los marcadores cinemáticos son indicadores de simetría monoclinica interna y son del tipo  $\sigma$  de Passchier y Simpson (1986) con baja deformación de cizalla.

Las estructuras encontradas permitieron establecer tres fases de deformación interna en el basamento F1, F2 y F3, en correspondencia con planos S1 paralelos al bandeo S<sub>0</sub> S<sub>2</sub> y C<sub>2</sub>, y S<sub>3</sub> respectivamente.

El estilo general del plegamiento es de edad precámbrica o paleozoico inferior y contemporáneo con el metamorfismo que afectó la zona que es de la Facies de Anfibolitas y que en su máxima expresión ultrametamórfica originó migmatitas. Los sistemas de fallas son de tipo inverso, y de flanco de anticlinal de posible edad Precarbónica, reactivadas posteriormente por los movimientos de bloque de fines del Terciario.

---

(1) Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Cátedra de Petrología II.

Se efectuaron diagramas petrofábricos en base a perfiles transversales a la zona de falla que permitieron determinar un gradiente de deformación creciente hacia la parte interna de la falla, de forma aproximadamente simétrica. Los esquistos mostraron simetría monoclinica próximas a milonitas SC II mientras que las rocas cuarcíticas presentaron simetrías triclinicas.

*Palabras clave:* Efectos dinamométricos - Formación La Cebila.

### ABSTRACT

DYNAMOMETRIC EFFECTS IN ROCKS OF TWO FAULT ZONES OF LA CEBILA FORMATION, LA RIOJA AND CATAMARCA PROVINCES. A new critical study of two fault zones in the Precambrian basement at Quebrada La Cébila in the area of the antimony mines Santa Margarita, La Morenita and Ruma Supay has enabled the authors to characterize the petrological and structural behaviour of a group of metaquartzites and schists in the southern tip of Sierra de Ambato.

Rocks were classified in four main types resulting from tectonic movements: metaquartzite breccias, protocataclases, foliated gouge (foliated cataclases) and cataclastized metaquartzites. A much rare, fifth tipo was classified as mylonitic (half way towards true mylonites SC II) associated to zones of feeble non coaxial laminar flow or transient shear. Prevailing physical conditions were also determined as well as the deformation mechanisms corresponding to the elastic frictional type associated to cataclastic flows.

From the data it is inferred that global deformation was multiphase and discontinuous. In mylonitic schist, kinematic markers are markers of internal monoclinic symmetry and belong to the Passchier and Simpson type  $\sigma$  (1986) with feeble shear deformation.

Structures enabled the recognition of three phases of internal deformation F1, F2 and F3, in the basement, corresponding to S1 planes parallel to S<sub>0</sub>, S<sub>2</sub> and C<sub>2</sub> and S<sub>3</sub> bandings, respectively.

The general style of fold is Precambrian or low Paleozoic. The metamorphism is contemporaneous with folding. The fault system is inverse and Precambrian; it was reactivated at the end of the Tertiary.

Petrofabrics diagrams were made based on transversal profiles to the fault area, that permitted determine one strain gradient that increase to wands the in side of the fault, in an approximately simmetrycal form. The schist sohwn a monoclinic simmetry, near to SC II mylonites while the quartzites rocks shown a triclinic symmetries.

*Key words:* Dynamometric effects - La Cébila Formation.

### INTRODUCCION

La Formación La Cébila, denominada como tal por González Bonorino (1951), constituye un ejemplo de rocas metacuarcíticas y esquistosas que forman parte del sector austral del Basamento Precámbrico de la Sierra de Ambato, en las Provincias de Catamarca y La Rioja.

Estas rocas han sufrido un metamorfismo regional de grado medio y además se han visto afectadas por diaclasamientos, fallamientos y/o cizallamientos de variada intensidad.

El objetivo principal de este trabajo ha sido determinar el comportamiento petrológico y estructural de estas rocas en dos zonas de falla ubicadas sobre la margen izquierda de la

quebrada, en los sectores correspondientes a las minas Santa Margarita y La Morenita y del grupo minero Ruma Supay, ambas con mineralización de antimonio. Estas rocas fueron primariamente plegadas en anticlinales y sinclinales a veces asimétricos, de variada longitud de onda y cuyos planos axiales inclinan fuertemente hacia el oeste (60 a 80°). El rumbo general de las estructuras es fundamentalmente N-S con leves desplazamientos de 10 a 20° hacia el NNE.

### ANTECEDENTES

Estas rocas fueron estudiadas brevemente por Sgrosso (1949) y ya con más detalle por González Bonorino (1950, 1951), autor de la denominación formacional de esta unidad. Otras descripciones corresponden a los informes inéditos de Espizúa (1970) y Caminos (1970). Desde el punto de vista de la mineralización se encuentran los informes inéditos de Harrington (1944) y Lavandaio (1969). El trabajo más completo desde el punto de vista petrológico-estructural se debe a Espizúa y Caminos (1979) quienes describen a las metamorfitas y sus características metamórfico-estructurales en una superficie de aproximadamente 60 km<sup>2</sup> entre los km 1.139 y 1.148 de la Ruta Nacional N° 60.

### GEOLOGIA: Generalidades

La Quebrada de La Cébila corre por un ancho valle tectónico delimitado lateralmente por dos grandes megafacturas de rumbo aproximado N-S. En el sector occidental se encuentran extensos y continuos afloramientos de un granito porfiroide de grano grueso con porfiroblastos de feldespato potásico peritítico de hasta 5 cm de largo rodeados por una base cuarzo-biotítico-muscovítico-feldespática.

Es común encontrar dentro de este intrusivo filones aplopegmatíticos de variado tamaño y longitud que a veces penetra en la roca de caja precámbrica del intrusivo. La edad del granito no está bien establecida, aunque se supone paleozoico medio (posiblemente Devónico).

Hacia el este de la quebrada aparecen migmatitas y areniscas gris blanquecinas, adosadas isoclinalmente a las rocas de mezcla. En el centro de la quebrada, constituyendo la mayor parte del valle tectónico, afloran paquetes alternantes de micacitas y metacuarcitas.

### ESTRATIGRAFIA

La secuencia estratigráfica está integrada por las siguientes unidades:

#### Precámbrico

— Formación La Cébila: (González Bonorino, 1950). Las rocas de esta Formación son esquistos micáceos o micacitas biotítico muscovíticos a veces con nódulos de andalusita y cordierita, con escasa sillimanita, alternantes con metacuarcitas aluminosas y/o cloríticas con cuarzo, muscovita, sericita, biotita, sillimanita, circón, epidotos y magnetita.

— Basamento cristalino de la Sierra de Ambato. Formado por:

a) Esquistos inyectados y migmatitas y b) Cuerpos graníticos sintectónicos y postectónicos que afloran en el flanco occidental de la sierra. En el área estudiada solamente se encontraron migmatitas epibolíticas con foliación predominante norte-sur e inclinaciones casi verticales.

#### Paleozoico

— Granito porfiroide: Ubicado en la margen occidental del valle tectónico, con dimensio-

nes batolíticas y composición granítica, presenta con las rocas de la Formación La Cébila contacto tectónico en su mayor extensión, pero en los sectores de contacto normal es más bien concordante hasta transicional. La edad de este cuerpo ha sido referida con dudas al Devónico.

— Formación Trampeadero: (González Díaz, 1970). Se trata de un conjunto de sedimentitas areniscosas micáceas amarillentas con estratificación marcada en potentes bancos con buzamiento  $30^\circ$  al este, en relación de discordancia angular sobre la Formación La Cébila. La edad del conjunto es asignada al Carbónico.

#### Cuaternario

— Sedimentitas aluviales: Tanto la quebrada principal de La Cébila como las secundarias y subsidiarias están recubiertas por aluviones de delgado espesor, dado el tipo juvenil de desarrollo geomórfico.

### METAMORFISMO

El grado metamórfico alcanzado por las rocas de esta región corresponde a la Facies de Anfibolita, testimoniando un metamorfismo de grado alto que en su máxima expresión ultrametamórfica originó migmatitas, y en menor grado esquistos y metacuarcitas, a partir de una secuencia areniscosa algo arcillosa.

En realidad el metamorfismo alcanzó su máximo en las migmatitas de la Sierra de Ambato con Facies de Anfibolita subfacies B<sub>2-3</sub> con sillimanita, mientras que en las metacuarcitas el grado metamórfico pareciera ser algo menor.

Espizúa y Caminos (1979) suponen que las rocas metamórficas descritas forman parte de la aureola térmica del batolito de la Sierra de Ambato austral y de Velazco y las correlacionan con las Facies de Hornfelds Hornblendífero de metamorfismo de contacto, como con las facies de metamorfismo regional de baja presión, asumiendo que la naturaleza del fenómeno está en relación directa con la extensión alcanzada por el mismo y cuya asignación a estos terrenos dependerá de la amplitud que posea la aureola térmica.

La edad del metamorfismo correspondería a un Precámbrico tardío o Paleozoico inferior.

### GEOLOGIA DE LAS ZONAS DE ESTUDIO

Las zonas estudiadas comprenden dos sectores elegidos teniendo en cuenta las características deformacionales de las rocas y que corresponden a dos zonas de fallas secundarias ubicadas una al sur de las minas Santa Margarita y la otra a unos 10 km más al norte en las proximidades del grupo minero Ruma Supay. (Fig. 1).

La zona de Santa Margarita y La Morenita se caracteriza por presentar una zona de falla localizada en un flanco de anticlinal cuyo plano axial con rumbo N-S inclina unos  $60^\circ$  al oeste. El tamaño del pliegue es de 150 m de semilongitud de onda con una altura de cresta de aproximadamente 100 m dando pendientes relativamente empinadas en ambos flancos. No se trata de un pliegue aislado sino de una sucesión de pliegues que siguen aproximadamente la misma vergencia para este sector. La falla presenta rumbo N-S y una inclinación de  $62^\circ$  al oeste casi en coincidencia con el plano axial.

El método de trabajo consistió en el levantamiento de un perfil (A-B) transversal a la zona de falla de donde se extrajeron 12 muestras orientadas de rocas metacuarcíticas y esquistas que representan los dos principales tipos litológicos que alternan en paquetes delgados pero con mayor predominancia de niveles metacuarcíticos. (Fig. 2).

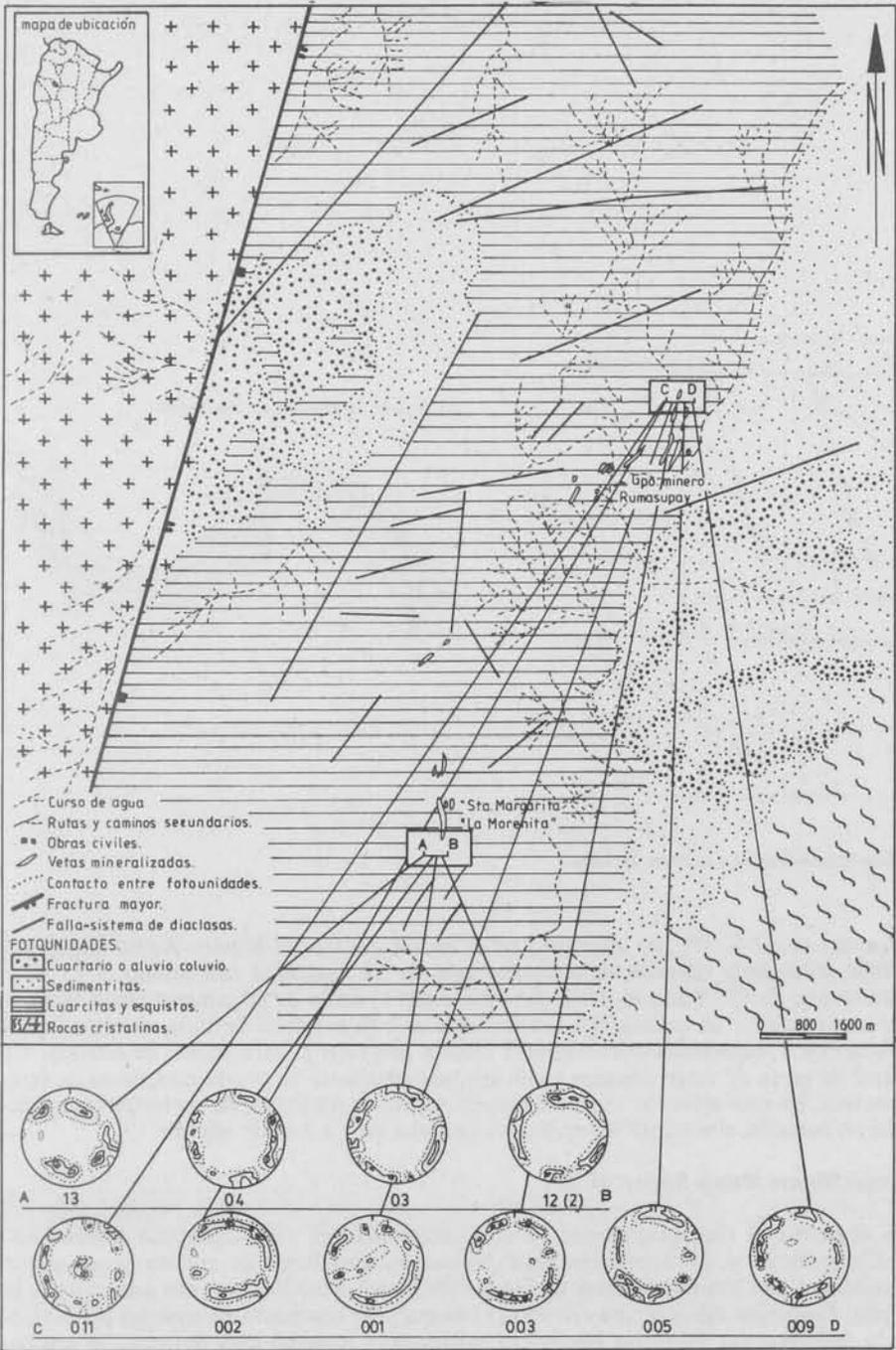


Fig. 1. Mapa geológico y diagramas petrofabrics.

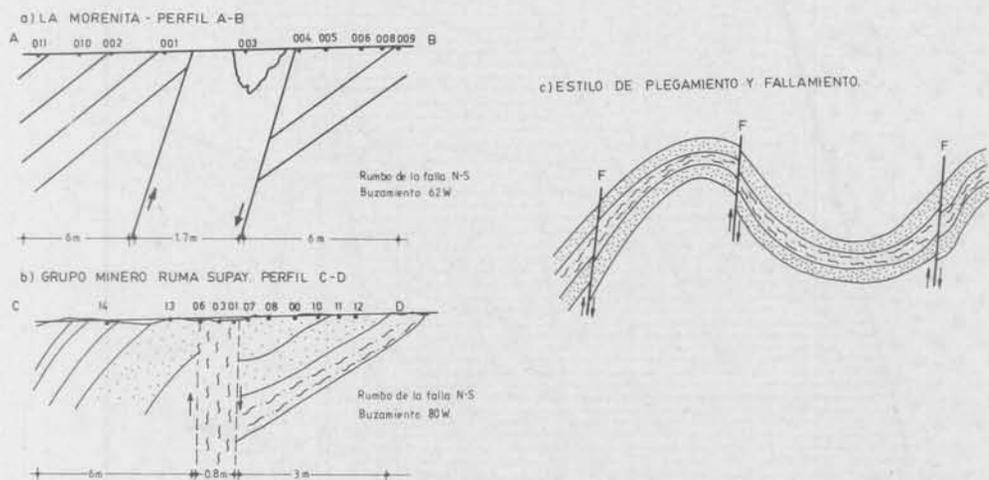


Fig. 2. Perfiles transversales a la zona de falla.

El segundo perfil (C-D) fue levantado en el sector del Grupo Minero Ruma Supay sobre otra falla secundaria ubicada en el flanco este de un anticlinal con rumbo  $N 13^{\circ} E$  y fuerte buzamiento de  $80^{\circ}$  hacia el oeste. En este sector el estilo de plegamiento está caracterizado por una sucesión de anticlinales y sinclinales de baja longitud de onda, resultando anticlinales abiertos y espaciados con menores alturas respecto al otro sector de estudio. La semilongitud de onda de estos pliegues es de aproximadamente 60 m con una altura de cresta de 20 metros. En este sector se recolectaron 16 muestras orientadas de metacuarcitas y esquistos que en sucesión alternante se repiten en camadas de 2 a 3 m de espesor.

#### Sector Grupo Minero Ruma Supay: (C-D)

Desde el punto de vista petrológico las rocas corresponden a metacuarcitas cuarzo-muscovítico-sillimaníticas, y metacuarcitas muscovíticas andalusíticas, de colores grises claros hasta amarillentos con impregnaciones de óxidos de hierro a medida que nos acercamos a la zona de falla. Presentan además una estructura maciza muy compacta en aquellas poco afectadas por la deformación, mientras que por el contrario en aquellas muy deformadas son comunes las estructuras brechosas con fuertes diaclasamientos ya sea verticales, oblicuos has-

ta horizontales. Las capas de esquistos intercalados son composicionalmente albiticos, muscovíticos, biotíticos, sillimaníticos, que al igual que las metacuarcitas no obstante presentar colores grises claros, adquieren tonalidades parduscas pronunciadas por impregnaciones de óxido e hidróxidos de hierro.

Las metacuarcitas situadas fuera de la zona de falla son clasificadas de acuerdo a su metamorfismo dinámico como *metacuarcitas cataclastizadas* (Leguizamón, 1987). Al microscopio presentan una textura formada por un mosaico granoblástico con tendencia por sectores a la poligonización de agregados cristalinos, extinción relámpago, y poco pronunciada fracturación intracristalina siguiendo los contornos de los granos primitivos; los efectos de deformación son prácticamente nulos.

En el borde de la zona de falla las metacuarcitas presentan una estructura brechosa muy definida en muestra de mano, con fuertes impregnaciones ocráceas castaño oscuro. Estas rocas fueron clasificadas de acuerdo a su deformación como *brechas de falla* con textura lenticlástica formada por lentes aplastadas de cuarzo de tamaño aproximado de 1 milímetro. Se ha observado un clivaje de fractura con planos S curvos que intersectan una leve esquistosidad S1 dispuesta casi verticalmente. Al microscopio los granos "hosts" o relícticos están elongados en grado variable. La matriz está constituida por material fino en parte recristalizado y reemplaza por sílice, la que ha sido acompañada por hematita y limonita. Llamativamente hay agregados de tridimita rellenando oquedades que han quedado en la brecha como resultado del ensanchamiento de microfracturas ya sea en forma de ojos o nidos de 3 mm o más de diámetro. La tridimita es fácilmente distinguible por su forma cristalina alargada y en cuña.

Dentro de la zona de falla, que tiene un ancho de unos 80 cm, las rocas toman un aspecto blanquecino, son untuosas al tacto debido al material llamado jaboncillo de falla, que si bien es sumamente blanco con fragmentos menores de 1 mm, presentan una marcada foliación oblicua a los bordes de la falla. Hemos clasificado estas rocas como *cataclasitas foliadas* originadas a partir de jaboncillos foliados con granos finos hasta ultrafinos de cuarzo

(0.01 mm). Esta foliación parece estar en respuesta a pequeñas superficies de cizalla oblicuas interpretadas como posibles cizallas de Riedel, las que no pudieron ser medidas debido a que los contactos con la roca de caja son más bien transicionales mediante franjas de microbrechas de cuarcitas o brechas de falla propiamente dichas. Las microestructuras observadas en las cataclasitas foliadas indican que hubo fenómenos de disolución y precipitación de sílice que posiblemente se extendieron en las rocas más brechosas adyacentes pero que sin embargo no fueron lo suficientemente importantes para tornar los procesos cataclásticos en fuertes deformaciones de zonas de cizalla. Las cataclasitas foliadas vistas al microscopio muestran granos de cuarzo relícticos con fuertes deformaciones intracristalinas, crecimiento secundario de cuarzo en zonas cizalladas y sericita muy fina formando trenes e hilos que siguen los contornos de los granos "hosts" o relícticos los que además se presentan rodeados de arcillas. Hay mortero fino siguiendo los planos C de cizallamiento. El tamaño de cuarzo va de 0.1 a 0.5 mm y el tamaño medio es de 0.2 mm como producto de una fuerte conminución del tamaño de grano con respecto a la cuarcita original (Foto 1).

Las *cataclasitas foliadas* que se encuentran en la zona central de la falla muestran una foliación anastomosante con signos de replegamientos y planos de cizallamientos oblicuos en el pasaje a las rocas adyacentes. Los planos de cizalla son de bajo ángulo y son acompañados por mortero fino.

Las *microbrechas* o *protocataclasitas* aparecen intercaladas entre las *brechas* y las *cataclasitas foliadas* en el borde este de la falla. Son de color gris claro, con tonalidades ocrá-

ceas amarillentas con un diaclasamiento en dos direcciones que se cruzan en un ángulo de aproximadamente 45 grados. Al microscopio presentan más bien textura granoclástica, con granos "hosts" o relícticos de cuarzo fracturados, con recristalización de borde de 0,6 a 0,9 mm de tamaño. Hay zonas de cuarzo con puntos triples y "hosts" de muscovita recristalizada de 1,2 mm de longitud formando husos de tipo "peces" que han recristalizado a medida que continuaba la deformación. Es evidente un fuerte brechamiento con zonas de granos relícticos que han sido cortados y cizallados por posibles reactivaciones tectónicas. Estructuralmente los granos de cuarzo no obstante presentarse triturados muestran una leve orientación oblicua a la esquistosidad  $S_1$  con un ángulo de aproximadamente 10 grados.

En el lado oeste dentro de la falla se mantienen las *cataclasitas foliadas* con las características descritas precedentemente. Casi en el contacto son comunes los espejos de fricción con superficies pulidas lisas y brillantes, asociadas a no muy marcadas estriaciones.

En este mismo sector las cuarcitas muestran intercalaciones de esquistos cuarzo-albitico-biotítico-sillimanítico, o *esquistos milonitizados*, los que se hacen más abundantes prosiguiendo en dirección oeste. Los colores de estos esquistos a menudo están enmascarados por óxidos de hierro que penetran profusamente los planos S de debilidad. La esquistosidad macroscópica varía de regular a muy buena. Entre los planos S se observa un bandeado  $S_0$  dado por una fina alternancia de filosilicatos y minerales cuarzo-feldespáticos (albita-feldespato potásico) de grano fino. Los bordes de estos granos "hosts" son irregulares con escaso crecimiento de granos nuevos; en algunos sectores forman colas de presión asimétricas en forma de cuña, con pequeños granos de cuarzo (0,06 mm) dinámicamente recristalizado. El sentido de rotación de los granos es dextrógiro comprobado por las intrusiones de mica sigmoidal primitivas. Las colas se acomodan siguiendo las direcciones de flujo de la roca. El otro tipo de grano relecto son los granos de feldespato alcalino que contienen inclusiones poco alineadas de cuarzos nuevos y de mica; los de plagioclasa muestran un clivaje polisintético preservado pero incluye nuevos granos de cuarzo en los bordes dando intercrecimientos.

La mica original es la biotita dispuesta en bandas gruesas que marcan planos de esquistosidad mimética  $S_1$ . Está estirada en grado variable con abundantes acodamientos y formando plegamientos y replegamiento que podrían representar una crenulación extensional como consecuencia del achatamiento coaxial oblicuo a la foliación preexistente  $S_1$ .

Se encontraron "peces" de mica o mica "Fisch" (Lister y Snocke, 1984) o mica en escama de pez (Allmendinger, 1987) con forma sigmoidal con muy bajo ángulo respecto de  $S_1$ , que estarían orientados en respuesta a planos de cizallamiento  $C_2$  aproximadamente paralelos a  $S_1$  y que dados los bajos valores angulares marcarían un fuerte achatamiento "d". (Foto 2). Este tipo de indicador cinemático se origina por combinación de procesos plásticos y quebradizos.

Los "peces" de mica son discontinuos y no aparecen en forma regular en la roca; sin embargo donde están presentes marcarían zonas de deformación de cizalla transitoria, las que pueden ir cambiando a medida que varía la deformación. Mientras que las superficies de cizallamiento  $C_2$  con bajos valores próximos a las superficies  $S_1$ , la orientación de los "peces" de mica indicarían una segunda superficie de esquistosidad sigmoidal  $S_2$  poco definida. Acompañando la disposición oblicua de los "peces" de mica hay cuarzo recristalizados y elongado dispuestos en forma envolvente a los mismos, y que parecerían indicar una recristalización sincrónica con la deformación de la cizalla  $C_2$ . (Fotos 3 y 4).

Por último existe un tercer y discontinuo sistema de planos S ( $S_3$ ) dado por la orientación de una biotita gruesa transversal o levemente oblicua a  $S_1$  de recristalización tardía tectónica con bordes más bien irregulares y poca señal de haber sufrido deformación.

Continuando con la descripción de las rocas en la parte oeste de la zona de falla, los esquistos cuarzo-albítico-biotítico-sillimaníticos se intercalan con escasos niveles metacuarcíticos esquistosos (*metacuarcitas cataclastizadas*), que presentan un clivaje de fractura en dos direcciones que se cortan con un ángulo aproximado de  $30^\circ$  (clivaje de fractura rómbica). En estas cuarcitas esquistosas la esquistosidad  $S_1$  es transpuesta a posiciones casi verticales. Al microscopio la textura es granoblástica con cuarzos que presentan puntos triples y una leve elongación paralela indicando condiciones de aplastamiento entre los planos  $S_1$ .

Las características de deformación de los cuarzos son las siguientes: extinción levemente ondulante, fracturación intracrystalina y escasísimo mortero (2 %). La biotita con tamaño de 0.15 a 0.9 mm forma escasos acodamientos y se acomoda entre los granos de cuarzo, ya sea siguiendo los planos  $S_1$  o según el clivaje de fractura rómbica o cizallamiento oblicuo de forma no muy marcada. Como accesorios se encontraron apatita, turmalina y circón.

### Sector Santa Margarita - La Morenita (A-B)

En este sector hemos trabajado sobre un anticlinal fallado (Fig. 2c) con una falla de flanco de rumbo N-S y buzamiento de  $62^\circ$  hacia el oeste. La zona de falla coincide con un sec-

tor mineralizado con antimonio, donde se han efectuado labores que permitieron la observación en profundidad de las rocas afectadas por metamorfismo dinámico.

Dicho sector abarca una secuencia predominantemente metacuarcítica y en menor grado esquistosa, formando una sucesión de pliegues de 150 m de semilongitud de onda y con alturas que varían entre los 100 y 120 metros. El rumbo de la falla coincide con el plano axial aunque éste se encuentre un poco más inclinado subverticalmente.

Las rocas desde el punto de vista sedimentario presentan casi la misma mineralogía que en el sector Ruma Supay. Difieren solamente en la presencia de una muscovita en porfiroblastos de aspecto metasomático y postectónico, presentando a menudo sillimanita asociada y una leve extinción ondulante como único indicio de deformación. El resto de la mineralogía corresponde a abundante cuarzo, escasos granos de cordierita y sericita en cantidades escasas (3 a 5 %). Estas cuarcitas ya sea por metamorfismo de contacto y/o regional, fueron transformadas en metacuarcitas a las que se les sobreimpone el metamorfismo dinámico por el fallamiento.

El sector correspondiente al jaboncillo de falla ha quedado pobremente representado, debido a la extracción del material por el laboreo minero existente; no obstante hemos medido su anchura en 1,70 metros. No hemos podido comprobar la presencia de cataclasis foliadas. Las rocas son en general *metacuarcitas cataclastizadas* que pasan al interior de la zona de falla o de jaboncillo mediante *microbrechas* o *protocataclasis*, con extinción ondulante en los cuarzos, laminillas de Boehm, maclas deformadas en la cordierita, fracturación preferentemente intercrystalina y leve estiramiento en los granos de cuarzo. Los fenómenos de recristalización de subfranos menores son escasos, ya sea como bordes de grano o sectores entre granos, preservándose de una manera bastante perfecta las texturas granoblásticas. Solamente en el borde oeste de la falla encontramos *brechas* en las que se observa una importante conminución del tamaño de grano, desde 1 mm hasta 0.03 mm (casi el tamaño de grano del mortero). Casi todas las brechas se prolongan en profundidad unos pocos metros, el tamaño para una misma muestra es desigual resultando texturas más bien seriadas.

Por lo tanto las rocas analizadas podemos resumirlas en cuatro tipos: *brechas de metacuarcitas*, *protocataclasis*, *jaboncillos de falla no foliados* y *cuarcitas cataclastizadas* como pequeña cantidad de mortero (3 a 4 %). Las brechas y microbrechas se ubican preferente-

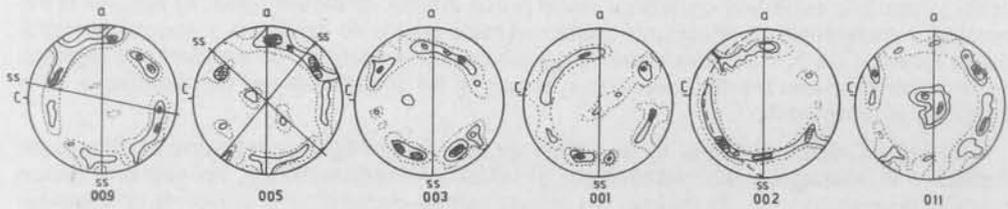
mente hacia los bordes, sobre todo en el lado oeste de la falla; el jaboncillo queda a modo de retazos dentro de una zona de laboreos mientras que las metacuarcitas cataclastizadas se extienden más allá de la zona de falla pasando a metacuarcitas normales con poco o nada de deformación.

Es de remarcar la presencia de abundantes manifestaciones ocráceas de óxidos e hidróxidos de hierro que tiñen a las brechas y en parte al jaboncillo, como también la mineralización de antimonio en finas vetillas.

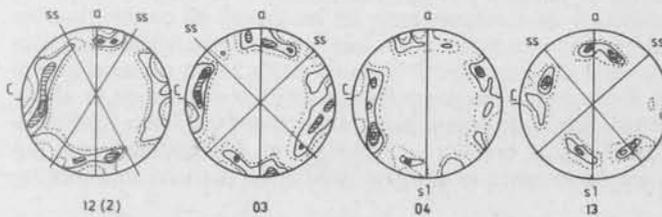
### PETROFABRICA

De las muestras extraídas en los dos perfiles, se han estudiado las petrofábricas de aquellas que se consideraron las más representativas. Se midieron orientaciones en los ejes C del cuarzo mediante el uso de la platina universal tomándose 200 puntos en cada corte delgado. Los datos obtenidos fueron ploteados usando la red estereográfica de Schmidt, obteniéndose los diagramas de puntos correspondientes, sobre los cuales se confeccionaron los diagramas de contorno usando la técnica del contador central y periférico. Se dibujaron los contornos de 2, 4, 6 y 8 % en trazo lleno. Para mayor precisión se dibujó el de 1 % en trazo punteado. (Fig. 3).

#### a) SECTOR GRUPO MINERO RUMA SUPAY (C-D)



#### b) SECTOR SANTA MARGARITA - LA MORENITA (A-B)



- | N-S
- X Clivaje rómbico
- ss Clivaje de fractura
- s1 Esquistosidad
- 8 %
- 6-8
- 4-6
- 2-4
- 1-2 200 medic.

Se presenta una síntesis comparativa de los diferentes tipos de roca y su interpretación petrográfica. (Tabla 1).

Tabla 1. Tipos de rocas y su petrografía (ver Fig. 3)

a. Sector Grupo Minero Ruma Supay (C-D).

009 Metacuarcita cataclastizada	005 Microbrecha o protocataclasis	003 Microbrecha de metacuarcita	001 Brecha gruesa	002 Metacuarcita brechosa fina	011 Metacuarcita fresca
Dos sistemas de clivaje de fractura (N-S y N 70 W). Corona casi completa, aspecto: roca sedimentaria con poca deformación, alejada de zona de falla. Algunos puntos cercanos a la vertical. Corona con máximos de 2 - 4 y 6% sin simetría.	Roca de caja sobre límite zona de falla clivaje de fractura rómbico. Difusa faja cruzada. Zonas aisladas (1-2% ) que pueden corresponder a granos recristalizados.	Caballo de caja. Dentro zona de falla. Faja cruzada difusa que indicaría una mayor orientación coincidente con el aumento de deformación. Máximos de hasta 6% sin granos verticales. Simetría triclínica. Clivaje de fractura N-S y vertical.	Roca de caja adyacente a la zona de Falla. Clivaje de fractura N-S y vertical. Faja difusa similar a la de la muestra 003 pero algo desplazada. Simetría triclínica. Algunos granos verticales que podrían corresponder a recristalización tardío-tectónica.	Roca de caja relativamente cercana a zona de falla. Clivaje (SS) inclina 20° al este. Corona discontinua que refleja fábrica al azar heredada de sus orígenes sedimentario, porfirítico con tendencia a formar fajas cruzadas. Simetría triclínica.	Roca alajada zona de falla, con poco indicio de deformación. Corona prácticamente continua, con una concentración importante cercana a la vertical. Texturalmente granoblástica. Los granos con eje C verticales son de menor tamaño, con bordes rectos y crecimiento secundario. Podría tratarse de recrist. asignada a sectores de granos Gamma (Lister y Pirce, 1978).

b. Sector Santa Margarita - La Morenita (A - B).

12(2) Metacuarcita cataclastizada	03 Cataclasis foliada	04 Cataclasis foliada	13 Esquisto milonitizado
Roca de caja cercana a zona de falla. Clivaje de fractura rómbico (30°) y esquistosidad (S1) vertical. Corona casi continua con dos máximos de 6% y varios difusos de 4%. Roca sedimentaria sometida a cataclasis poco importante.	Roca del área central de zona de falla. Clivaje rómbico y sistema de diáclasis que se cortan a 45°. Corona discontinua con máximos de 4% y 6% que no guardan simetría. Indicaría posibles porciones anastomosantes correspondientes al centro de la zona fallada, que fueron comprobadas microscópicamente.	Zona de falla propiamente dicha. Planos de clivaje anastomosante y esquistosidad normal. Corona discontinua, con un máximo importante de 8% y otro de 6% diametralmente opuestos, que podrían corresponder a dos sistemas conjugados. Evidencias de mayor deformación.	Al microscopio se observa un sistema de clivaje rómbico que se corta a 30° y un sistema casi vertical correspondiente a la esquistosidad. Simetría monoclinica característica de rocas miloníticas, coincidente con presencia de indicadores cinemáticos (peces de mica y porfiroclastos de cuarzo) correspondientes a las milonitas SC II (Lister y Snoke, 1984).

## CONCLUSIONES

1. Las *cataclasitas foliadas* que forman parte de la zona de jaboncillo de falla, son similares a las descritas por Chester (1983) y Chester et al. (1985) para la falla de la Formación Punchbowl subsidiaria al sistema de fallas de la Gran Falla de San Andrés. Estos autores dan condiciones de formación de estas rocas con profundidades de enterramiento que no superan los 4 km y con bajas presiones efectivas de fallamiento que no superan 45 Mpa. (Megapascal; 1 Mpa. = 0,01 kbars). Estas *cataclasitas foliadas* son las responsables de producir espejos de falla bien foliados asociados a fallamiento frágil, con bajas temperaturas de no más de 100 grados centígrados.

2. Bajo estas condiciones físicas los minerales y preferentemente los silicatos se deformarán primariamente por cataclasis, con movimientos de fractura y rotación rígida de fragmentos de grano, con deslizamiento friccional a lo largo de los bordes de los granos. Los fluidos, además de la disolución y precipitación de sílice que tuvieron lugar durante el fallamiento, fueron insignificantes como para producir fuertes deformaciones de zona de falla en las rocas estudiadas (Chester, 1983).

3. Las cizallas discretas que penetraron los jaboncillos foliados serían paralelas a las cizallas de Riedel (Logan et al., 1979). Nosotros no hemos podido hacer tal comprobación en las dos fallas analizadas.

4. Las rocas foliadas sólo se pueden producir por fenómenos cataclásticos.

5. El flujo cataclástico puede conducir al achatamiento de los componentes minerales con generación de flujo o estructuras de fluxión de idéntica manera que la deformación dúctil.

6. Los procesos cataclásticos en las fábricas miloníticas tal como fueron imaginadas por Lapworth (1885) pueden originar estructuras de fluxión, independientemente de que el tipo de fallamiento sea dúctil (como se cree generalmente) o frágil, como ocurre en las rocas que hemos estudiado en la Formación La Cébila.

7. Los esquistos desde el punto de vista dinámico son equiparables a las milonitas SC II de Lister dadas las características estructurales que presentan. En realidad estarían a mitad de camino de ser verdaderas milonitas SC II. Este tipo de milonitas se forman en rocas cuarzo-micáceas bajo condiciones de *decrecimiento* de presión, con "peces" de mica producidos por boudinage y microfallamiento de los granos de mica preexistentes y se caracterizan además por presentar superficies C bien definidas y dominantes, y superficies S no claramente discernibles, involucradas con discontinuidades de desplazamiento transitorio. En nuestro caso las microfracturas que observamos en los esquistos podrían ser coincidentes con zonas de cizallas transitoria, relacionadas con un mayor flujo laminar no coaxial que en las cuarcitas, cuyo origen debe buscarse más que en las condiciones de enterramiento de regímenes cuasi-plásticos o de altas deformaciones de cizalla, en una mayor capacidad de "ablandamiento" y absorción de la deformación de los esquistos por ser más incompetentes que las cuarcitas. Esto no quita que podamos llegar a determinar en la zona, otras regiones donde estas rocas sean verdaderamente milonitas SC II, formadas bajo condiciones de fuertes flujos laminares, con indicadores cinemáticos más evidentes que los que hasta ahora hemos encontrado.

8. El fallamiento encontrado es de tipo inverso y genera deformaciones predominantemente frágiles, basándonos en la tipología de las rocas: *metacuarcitas catalastizadas*, *metacuarcitas brechadas*, *brechas de metacuarcitas*, *cataclasitas foliadas* y *esquistos milonitizados* o *miloníticos* (Milonitas SC II) éstos últimos ligados a zonas de flujo no coaxial poco intenso.

9. Las *brechas de falla* revelan stresses bajos en correspondencia con una zona cortical superficial con profundidades de 1 a 4 km y temperaturas menores de 200 grados centígrados. Su importancia reside en que marcan los últimos movimientos de la falla, es decir su edad más reciente. Las *microbrechas* o *protocataclasitas* tienen también temperaturas bajas de formación (250° C) y sus condiciones físicas se pueden relacionar con regímenes elástico friccionales que ocurren entre los 4 y 10 km; son sumamente importantes como indicadores de reactivaciones tectónicas.

10. El *mecanismo de deformación elástico friccional*, con zonas de flujo cataclástico que generó las cataclasitas foliadas en el centro mismo de la falla experimentó un rápido aumento en la velocidad de deformación y por fallamiento cataclástico se originaron las *microbrechas* y *brechas de falla*, en rocas con alto nivel de competencia. Por el contrario en rocas de bajo nivel de competencia como los *esquistos miloníticos*, las condiciones de deformación aún perteneciendo a regímenes elástico-friccionales, permitieron el desarrollo de *zonas de flujo laminar no coaxial* o de *cizallamiento transitorio* poco intenso que cambiaba a medida que también cambiaba la deformación y que originaron rocas a mitad de camino de ser verdaderas milonitas SC II. Por último las rocas cataclastizadas (*metacuarcitas cataclastizadas*) apenas alcanzaron a absorber los fenómenos dinámicos preservando las características originales casi intactas corroborado con los diagramas petrofábricos. Las *brechas* y *microbrechas* estarían mostrando fenómenos de reactivación tectónica y condiciones someras de formación así como también la última edad de los movimientos friccionales que deben haber sido de reptación o deslizamiento estable (con velocidades promedio de 1 a 2 cm por año) dada la baja presión de confinamiento que soportaron las rocas, al menos durante el último movimiento que afectó a la zona. Si hubieron otros anteriores (como es probable), debieron haber seguido la misma línea de evolución físico química, dada la ausencia de relictos de movimientos más intensos que indiquen regímenes plásticos, al menos en los sectores estudiados de la formación La Cébila.

11. Con respecto a los indicadores cinemáticos hemos detectado en los *esquistos milonitizados* (Milonitas SC II) *porfiroclastos de cuarzo* y "*peces*" de *mica sigmoidal*. Los primeros tienen forma de simetría monoclinica. Esta geometría y sus colas son generalmente usadas como indicadores del sentido de vorticidad. Tomando como base la simetría de sus colas, los indicadores de cuarzo parecen corresponder al tipo  $\sigma$  de Passchier y Simpson (1986). Este tipo especial tiene sus colas recrystalizadas en forma de cuña y una línea media yace en los lados opuestos a un plano de referencia ( $X_1$ ) paralelo a las colas, que además contiene a los ejes de simetría del sistema. Fig. 4).

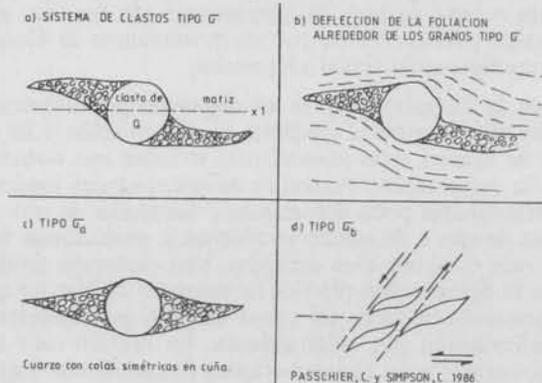


Fig. 4. Indicadores cinemáticos.

Los tipos  $\sigma$  se dividen a su vez en dos clases:  $\sigma_a$  donde el porfiroclasto está aislado en la matriz de tipo homogénea y el tipo  $\sigma_b$  en el cual el porfiroclasto está asociado a bandas de foliación o esquistosidad de cizalla en la matriz, representado por la posición de *peces de mica sigmoidales* definiendo de esta manera planos C de cizalla angular. Su origen se debe a flujo no coaxial de la matriz adyacente junto con recristalización débil dinámica. Estos porfiroclastos indicarían *baja deformación de cizalla* corroborada por el espaciamiento y falta de alineación de la mica sigmoidal que yace oblicuamente con bajo ángulo respecto del plano de flujo  $S_1$ , que sigue la dirección de las colas del porfiroclasto. Las observaciones han sido realizadas en secciones delgadas normales a la vorticidad global inferida de la roca.

Por lo que concluimos que los dos tipos presentes de porfiroclastos  $\sigma_a$  y  $\sigma_b$ , los primeros con colas más bien acuñadas y los segundos como "peces" de mica asociados a cizallas angulares, indican el pasaje gradual de estas rocas a verdaderas Milonitas SC II ya que los porfiroclastos  $\sigma$  son típicos de las Milonitas SC.

No obstante la interpretación de tales sistemas de profiroblastos en los estudios de patrones de flujo es complicada debido a la gran variabilidad de formas que pueden ocurrir en una roca *poliminerálica* que llevaría a la ocurrencia de geometrías conflictivas dentro de la misma roca.

Sin embargo hemos encontrado que la simetría interna monoclinica podría reflejar regímenes de flujo no coaxial por lo menos en algún momento de su historia de deformación en estas rocas.

12. En el campo hemos observado en las márgenes de las zonas sometidas a fallamiento que en el sector de las cataclasis foliadas hay evidencias de plegamientos y replegamientos, es decir, un sentido de vorticidad que descarta mecanismos de cizalla simple, sino más bien un camino no coaxial o rotacional de la deformación. Esta deformación en base a estos datos es *multifásica y no continua*.

13. Las estructuras  $S_0$  vistas al microscopio (bandeado),  $S_1$  (esquistosidad paralela al bandeado),  $S_2$  y  $C_2$  (esquistosidad y cizallamiento respectivamente) y  $S_3$  (esquistosidad tardía tectónica) observadas en los esquistos, corresponden a diferentes fases de deformación interna (al menos tres fases) que afectaron al Basamento Precámbrico y por lo tanto son consideradas las de mayor antigüedad. El estudio de estas fases será objeto de posteriores investigaciones sobre perfiles regionales. El estilo general del plegamiento es de indudable edad Precámbrica o Paleozoica inferior, contemporánea con el metamorfismo que afectó la zona.

Los sistemas de falla anticlinal sobre los que hemos trabajado pueden considerarse como producidas durante o poco después del plegamiento (en ese caso serían Precarbónicas) las que fueron reactivadas posteriormente por los movimientos de bloques de fines del terciario que le dieron la configuración actual a las sierras.

14. Basándonos en la interpretación de los diagramas petrofábricos podemos observar que existe una relación directa entre el gradiente de deformación y las orientaciones preferenciales de los ejes c de cuarzo, estas orientaciones se hacen más notorias y mejor definidas con el incremento de la deformación. Partiendo de orientaciones preferenciales mal definidas mostradas por metacuarcitas poco deformadas y heredadas de una fábrica sedimentaria isótropa, los diagramas de ejes c de cuarzo se ordenan y evolucionan formando progresivamente fajas cruzadas más o menos bien definidas. Una evolución similar fue descrita por Bouchez (1977), para la deformación plástica de cuarcitas a bajas temperaturas en un área de gradiente de deformación natural, así como también por Sylvester y Christie (1968) en condiciones de deformación por aplastamiento. En nuestro caso se comprobaría esta relación para zonas sometidas a un régimen elástico-friccional con baja deformación de cizalla de escasa presión confinante.

Si la historia deformacional de la zona hubiera sido simple, se podría haber interpretado el sentido de la cizalla, ya que en cizalla simple progresiva las fábricas se vuelven asimétricas respecto al sentido de cizalla.

Pero como suponemos que el área estuvo sometida a una historia deformacional compleja con varios eventos superpuestos, son insuficientes los elementos de juicio con los que contamos para continuar con la interpretación.

Con respecto a los submáximos centrales que sólo se observan en algunas rocas del perfil La Morenita-Santa Margarita, se han encontrado formas similares que se presentan en rocas cuarcíticas con granos cintados que han sido sometidos a una fuerte deformación (Bou-

chez, op. cit.). Sin embargo la zona estuvo sometida a deformación frágil; por lo tanto, no se pueden analogar los resultados obtenidos y se interpretan en consecuencia como producto de recristalización cataclástica y no a un fenómeno dinámico.

#### BIBLIOGRAFIA

- ALLMENDINGER, R. W., 1987. Técnicas Modernas de Análisis Estructural. *A.G.A. Serie B. Didáct. y Compl. N° 16. Buenos Aires.*
- BOUCHEZ, J. L., 1977. Plastic deformation of quartzites at low temperature in an area of natural strain gradient. *Fabrics Microstructures and Microtectonic. Tectonophysics*, 39: 25-50.
- CAMINOS, R., 1970. Petrografía de algunas rocas de la Hoja 15e, Valle de Mazán, Provincias de La Rioja y Catamarca. *Ser. Geol. Nac. Bs. As. Informe Inédito*, 275.
- CHESTER, F. M., 1983. Mechanical properties and fabric of the Punchbowl fault zone, California. *M. Sci. Thesis. Texas A & M. Univ. College Station Tex.* 143 p.
- CHESTER, F. M., FRIEDMAN, M. y LOGAN, J. M., 1985. Foliated cataclasites. *Tectonophysics*, III, 139-146. *Elsevier Sc. Pub. Co. Amsterdam.*
- ESPIZUA, S. M., 1970. Petrología y estructuras de los Distritos Mineros Ruma Supay y La Morenita, Qda. de La Cébila. Sa. de Ambato, Catamarca - La Rioja. *Serv. Geol. Nac. Bs. As., Informe Inédito*, 279.
- ESPIZUA, S. M. y CAMINOS, R., 1979. Las rocas metamórficas de la Formación La Cébila, Sa. de Ambato, Provincias de Catamarca y La Rioja. *Bol. Acad. Nac. Cien. Córdoba*, 53 (1, 2): 125-142.
- GONZALEZ BONORINO, F., 1950. Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas. *Asoc. Geol. Arg. Rev. Bs. As.* 5 (3): 81-110.
- GONZALEZ BONORINO, F., 1951. Una nueva Formación Precámbrica en el Noroeste Argentino. *Com. Cien. Mus. La Plata*, (5).
- GONZALEZ DIAZ, E., 1970. El Carbónico Superior (Westfaliano-estefaniano) de la Quebrada de La Cébila, Noroeste de La Rioja. *IV Jorn. Geol. Arg. An. Bs. As. II.*
- HARRINGTON, H. J., 1944. Los yacimientos de antimonio de la Qda. de La Cébila, C.P.I. *S.A. Bs. As. Informe Inédito.*
- LAPWORTH, Ch., 1885. The Highland controversy in British Geology. Its causes, course and consequences. *Nature* 32: 558-559.
- LAVANDAIO, E., 1969. Depósitos de antimonio de La Quebrada de La Cébila. *Serv. Min. Nac. Bs. As. Informe Inédito.*
- LEGUIZAMON, M. A., 1987. Las rocas cataclásticas. *Ed. Argentina. Serie Geociencias. N° 2. La Plata.*
- LISTER, G. S. y PRICE, G., 1978. Fabric development in a quartz-feldspar Mylonite. *Tectonophysics*, 49(37-39). *Elsevier Sc. Pub. Comp. Amsterdam.*
- LISTER, G. S. y SNOKE, A. N., 1984. S-C Mylonites. *Journ. of. Struc. Geol.* 6: 617-638.

- LOGAN, J. M.; FIEDMAN, M.; HIGGS, N.; DENGO, C. y SHIMAMOTO, T., 1979. Experimental studies of simulated gouge and their application studies of natural fault zones. *Proc. 8th Conf. on Analysis of. Actualfault Zones in Bedrock. US Geol. Surv. Open File Rep. 79-1239: 305-343.*
- PASSCHIER, C. W. y SIMPSON, C., 1986. Porphyroclast system as kinematic indicators. *Journ. of Struct. Geol.* 8: 831-843.
- SGROSSO, P., 1949. Los yacimientos de Minerales de Antimonio de la Qda. de La Cébila. Provincia de La Rioja. *Informe Sec. de Ind. y Com. Dir. de Min. y Geol.*
- SYLVESTER, A. G. y CHRISTIE, J. M., 1968. The origin of crossed-girdle orientation of optic axes in deformed quartzites. *Journ. of Geol.* 76: 571-580.

Manuscrito recibido el 6 de Julio de 1988

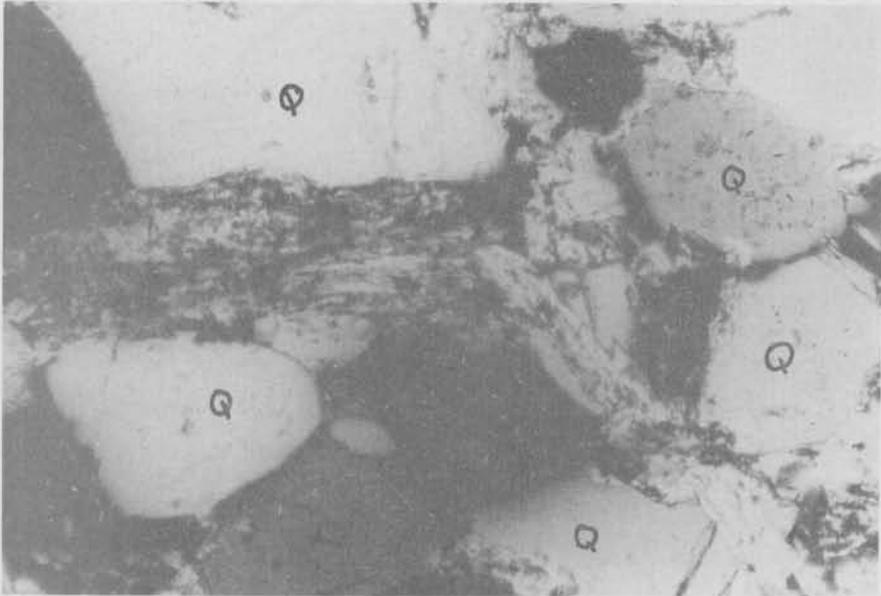


Foto 1: Cataclasita foliada. Granos "host" de cuarzo con fracturación intracristalina, rodeados por material sericítico arcilloso. (Aumento x 10, sección delgada).

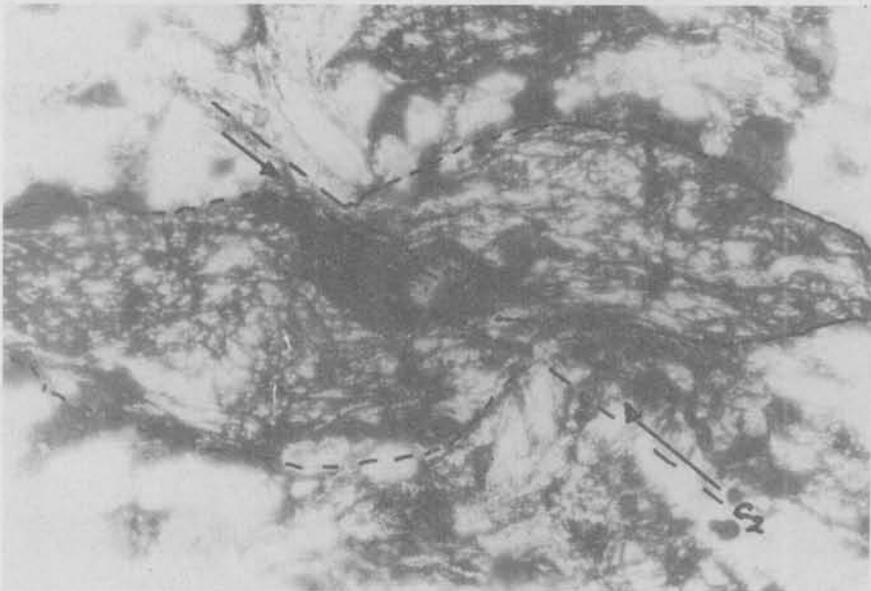


Foto 2: Dos peces de mica separados por superficie de cizallamiento  $C_2$  y con bajo ángulo respecto a  $S_1$ . Esquistos milonitizados. (Aumento x 10, sección delgada)

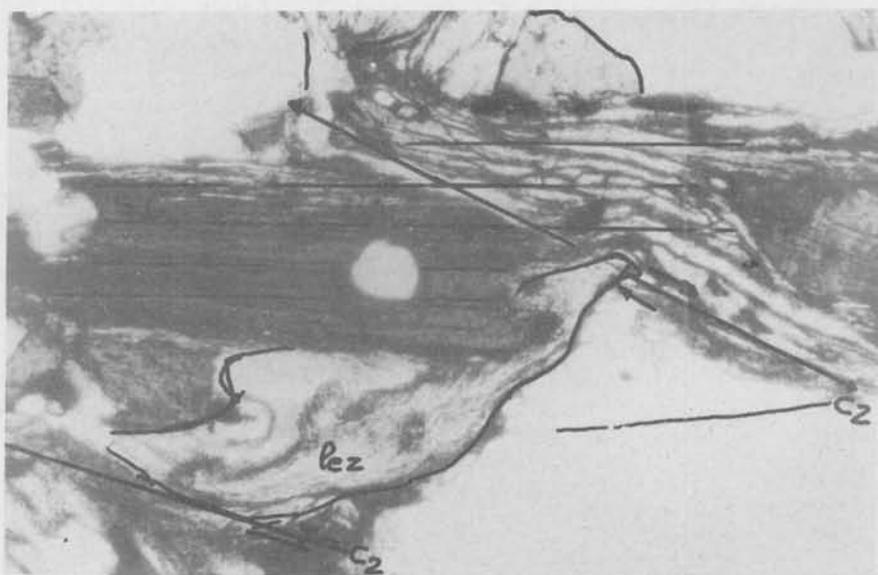


Foto 3: Planos  $S_1$  de esquistosidad, en la parte inferior pez de mica sigmoide y estirado con bajo ángulo respecto de  $S_1$  y  $C_2$ . Esquisto milonitizado. (Aumento x 10, sección delgada).



Foto 4: Detalle de cuarzo recrystalizado en los contactos de dos peces de mica y el de la parte inferior con fuerte combamiento en una de sus colas indicando un virtual desplazamiento cizallante. Esquisto milonitizado. (Aumento x 10, sección delgada).