

# Microestructuras asociadas a deformación frágil del relevo Ocaña-Curumaní. Sistema de Fallas de Bucaramanga

## MICROSTRUCTURES ASSOCIATED WITH BRITTLE DEFORMATION OF THE OCAÑA-CURUMANI RELIEF, BUCARAMANGA FAULT SYSTEM

MARIO ANDRÉS **Cuéllar Cárdenas**<sup>1</sup>

JULIÁN ANDRÉS **López Isaza**<sup>2</sup>

### RESUMEN

El relevo Ocaña-Curumaní del Sistema de Fallas de Bucaramanga (SFB) distribuye de manera asimétrica sus diferentes fases deformativas desde alto grado (milonitas) al oeste, cerca de la falla principal, hasta sistemas de cizalla cataclástica más al occidente. La deformación es definida por rocas de la serie cataclasita con protolitos cuarzofeldespáticos asociados al Neis de Bucaramanga, cartografiadas en la Plancha 55 El Banco, con composición mineralógica que comprende ortoclasa, microclina, cuarzo, plagioclasa, biotita, epidota, apatito, esfena y minerales opacos. La cataclasis se demuestra por la acumulación de deformación intracrystalina combinada con reducción en el tamaño de grano, donde las microestructuras que presentan los minerales registran la deformación a la que ha sido expuesta la roca y sugieren flujo cataclástico en sitios de dislocación tangencial por la generación y distribución de arreglos ortogonales de fracturas, además de microfracturas intragranulares, transgranulares y circungranulares, cizallas *Riedel*, estructuras de tipo extensional y microfallas.

### ABSTRACT

The Ocaña-Curumani relief of the Bucaramanga Fault System is distributed asymmetrically through different deformative phases: high degree (mylonites) near the main fault; shear cataclastic systems to the west. The deformation is defined by a cataclastic series of rocks with quartzfeldspathic protoliths associated with the Bucaramanga Gneiss (mapped in sheet 55 El Banco) with a mineralogical composition that includes orthoclase, microcline and plagioclase feldspars, quartz biotite epidote apatite sphene and opaque minerals. The cataclastic texture is demonstrated by the accumulation of combined intracrystalline deformation along with grain size reduction where the microstructures that display the minerals register the deformation to which the rock has been exposed. This suggests cataclastic flow in sites of tangential breakup by the generation and distribution of orthogonal adjustments of fractures, in addition to intragranular, transgranular and circumgranular microfractures, Riedel shears, extensional structures and microfaults.

### Palabras clave

Sistema de Fallas de Bucaramanga, rocas de falla, cataclasitas, deformación frágil.

### Key words

Bucaramanga Fault System, fault rocks, cataclasites, brittle deformation.

Artículo recibido el 24 de noviembre de 2008. Aprobado el 16 de diciembre de 2008.

<sup>1</sup> macuellar@ingeominas.gov.co INGEOMINAS, Colombia.

<sup>2</sup> jlopez@ingeominas.gov.co INGEOMINAS, Colombia.

## Introducción

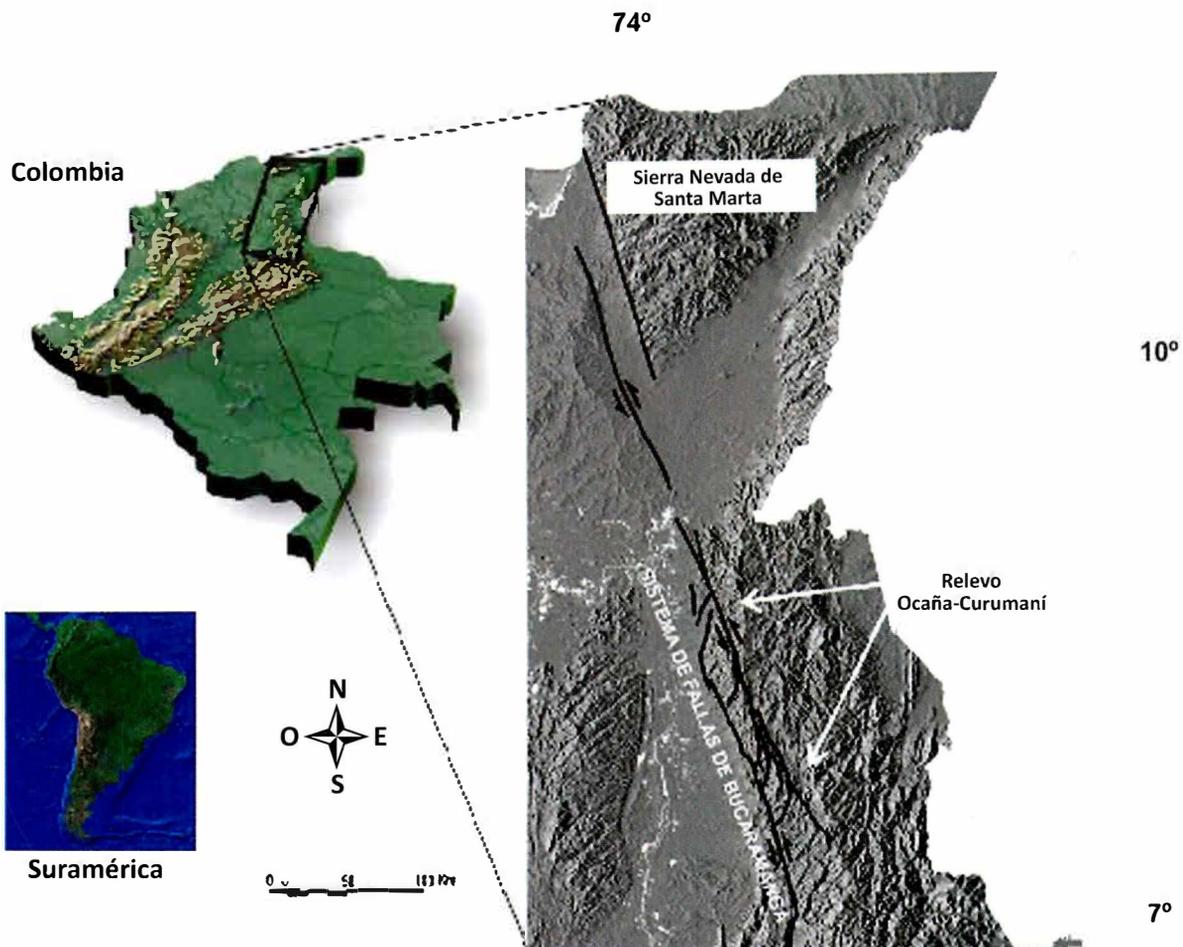
El Instituto Colombiano de Geología y Minería y la Universidad Industrial de Santander (2006) presentan la cartografía de la Plancha 55 El Banco, en la que se plantea un modelo estructural basado en consideraciones de campo y observaciones particulares de secciones delgadas de muestras de las unidades aflorantes. En este modelo resaltan dos puntos esenciales: el primero se relaciona con la caracterización de la zona de deformación del Sistema de Fallas de Bucaramanga (SFB), en el relevo Ocaña-Curumaní; en el segundo, en que la zona de daño, de aproximadamente 5 km de ancho, limita las fases deformativas asociadas a la exhumación de rocas de la unidad litoestratigráfica Neis de Bucaramanga, a manera de lomos de presión dentro de rocas miloníticas relacionadas con la Formación La Virgen. A partir de esta zona, hacia el oriente, se definieron estructuras graduales que se caracterizan por un mayor espaciamiento de las foliaciones y la transición a fracturas y pliegues con una longitud de onda de decenas de centímetros hasta metros.

En este trabajo se realizó el recorrido sistemático del terreno aprovechando los cortes de los drenajes principales y algunos carretables, a escala 1:25.000, con el fin de obtener los datos litológicos y estructurales, diferenciar unidades geológicas cartografiables y coleccionar muestras de mano orientadas. De igual manera, se realizaron análisis mesoestructurales, microestructurales y cinemáticos de las rocas de falla, con el fin de caracterizar eventos tectónicos superpuestos con base en las condiciones de deformación involucradas, los sentidos de cizalla registrados y su compatibilidad cinemática y las relaciones de superposición presentes. Las condiciones de deformación fueron establecidas teniendo en cuenta la microestructura de los cristales de cuarzo, feldespatos y micas, las fases mineralógicas neoformadas y los sistemas de deslizamiento intracristalino activos (Tullis et ál., 1982; Knipe, 1989; Passchier & Trouw, 1996, 2005).

## Antecedentes

En Colombia, son pocos los trabajos realizados con el fin de describir las rocas de falla y su relación con las fases deformativas. Para el sector afectado por el relevo Ocaña-Curumaní del SFB (figura 1), se ha reportado la presencia de rocas de falla (INGEOMINAS-UIS, 2006) y se han descrito las características de estas y su significado estructural (Cuéllar, 2007).

Las fallas están marcadas generalmente por el desarrollo de una variedad de tectonitas macro a microscópicas denominadas rocas de falla, caracterizadas por la reducción del tamaño de grano debida a procesos tectónicos. Muchos trabajos establecen que estas rocas pueden ser subdivididas en dos grupos o series: cataclasitas y milonitas (Spray, 1969; Sibson, 1977; Wise et ál., 1984). La serie cataclástica se origina en condiciones frágiles, típicas de la corteza superior (deformación por ruptura), en la zona sismogénica (Swanson, 1992). El principal criterio usado para la distinción entre cataclasitas y milonitas es la presencia de una foliación o estructura de flujo *fluxion structure* (Higgins, 1971), que refleja una fábrica cristalina preferencial en las últimas. Sin embargo, este criterio no es totalmente uniforme, dado que existen en la literatura casos reportados de cataclasitas foliadas a escalas microscópicas (Chester et ál., 1985). Algunas investigaciones han mostrado que las zonas de falla frágiles están conformadas por varios tipos de rocas (Higgins, 1971; Sibson, 1977) que, según Davis & Reynolds (1996), pueden clasificarse como incohesivas (brechas y gouge de falla) y cohesivas (cataclasitas y pseudotaquilas). Geológicamente, el fallamiento frágil está acompañado de actividad hidrotermal (Higgins, 1971; Wise et ál., 1984), y dado que las rocas de falla frágiles comúnmente muestran zonas de neomineralización y de alteración (Passchier & Trouw, 1996, 2005), destacan la importancia en el conocimiento de estas áreas como distribuidoras y hospedantes de mineralizaciones o modificadores de los cuerpos de mena (Killick, 2003).



► Figura 1. Mapa de localización del relevo Ocaña-Curumaní.

### Marco geológico

De acuerdo con INGEOMINAS-UIS (2006), las unidades litoestratigráficas identificadas en la zona de estudio presentan edades desde el Proterozoico Superior hasta el Cuaternario, y están constituidas por rocas metamórficas, volcanoclásticas, ígneas y sedimentarias con algunas discontinuidades regionales y depósitos fluvio-lacustres. Las rocas de edad Precámbrico, asociadas al Neis de Bucaramanga (Ward et ál., 1973), incluyen neises de alto grado metamórfico que se distribuyen entre los municipios de Pailitas y Curumaní. El Paleozoico Inferior, representado por la Formación La Virgen (INGEOMINAS-UIS, 2006), está caracterizado por rocas metasedimentarias que afloran hacia la parte central del área de estudio. El Jurásico está relacionado con la Unidad Volcanoclástica de Noreán (Clavijo,

1994), representada por una sucesión volcánica y volcanosedimentaria de tobas y lavas de composición riolítica, dacítica y riodacítica que cubren la parte nororiental y suroccidental de la zona. El Jurásico Superior se encuentra expresado por la unidad denominada, informalmente, Granitoides de San Lucas, caracterizada por intrusiones de tipo ácido a intermedio, acompañadas por episodios tardíos de inyecciones dacíticas, riodacíticas y riolíticas. El Cretácico Temprano, asociado a la Formación Río Negro (Julivert, 1968), de edad Aptiano Inferior a Barremiano-Neocomiano, está representado por rocas sedimentarias siliciclásticas y carbonatadas en la región oriental y norte del área. El Cretácico Superior está relacionado con el Grupo Cogollo (Miller, 1960), que consta de calizas biomicríticas y micríticas con abundante contenido de conchas



► Figura 2. Afloramiento en la margen sur de la quebrada La Raya. Desplazamiento centimétrico del bandeamiento macroscópico de la unidad litoestratigráfica Neis de Bucaramanga.

de bivalvos, serpúlidos y lamelibranquios aflorantes en la parte nororiental. Depósitos Cuaternarios clasificados por su dinámica fluvial y de acumulación, se agrupan en abanicos aluviales y terrazas, llanuras de inundación y depósitos de canal, de espesores y composiciones variables, que afloran en la parte noroccidental de la zona.

### Petrografía

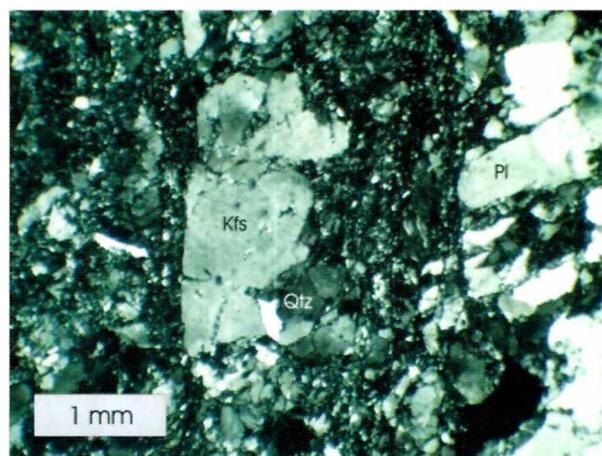
La unidad litoestratigráfica Neis de Bucaramanga (Ward et ál., 1973) registra evidencias de deformación frágil relacionadas con la actividad tectónica del relevo Ocaña-Curumaní del Sistema de Fallas de Bucaramanga (SFB). Macroscópicamente, la unidad presenta bandeamiento por sectores y sobreimposición de sistemas frágiles menores con desplazamientos centimétricos (figura 2). En general, la composición mineralógica comprende feldespato potásico (ortoclasa y microclina), cuarzo, plagioclasa, biotita, epidota, apatito, esfena, y opacos. En la escala de afloramiento, presenta diques de composición félsica y máfica en menor proporción, con espesores de 3 a 15 cm, al igual que venas félsicas extensionales.

### Características petrográficas y mecanismos de deformación

La zona de cataclasitas presenta un ancho discontinuo aproximado de 5 a 15 m en afloramiento, y

se caracteriza por incluir un material con aspecto brechoide, en el que se observan porfiroclastos de feldespato de forma *augen*, incluidos en una textura de flujo. Microscópicamente, las cataclasitas constan de feldespato potásico, plagioclasa y cuarzo y, en menor proporción, epidota, magnetita, clorita y biotita, dispersos en una matriz cuarzofeldespática con tamaño de grano fino a muy fino (figura 3).

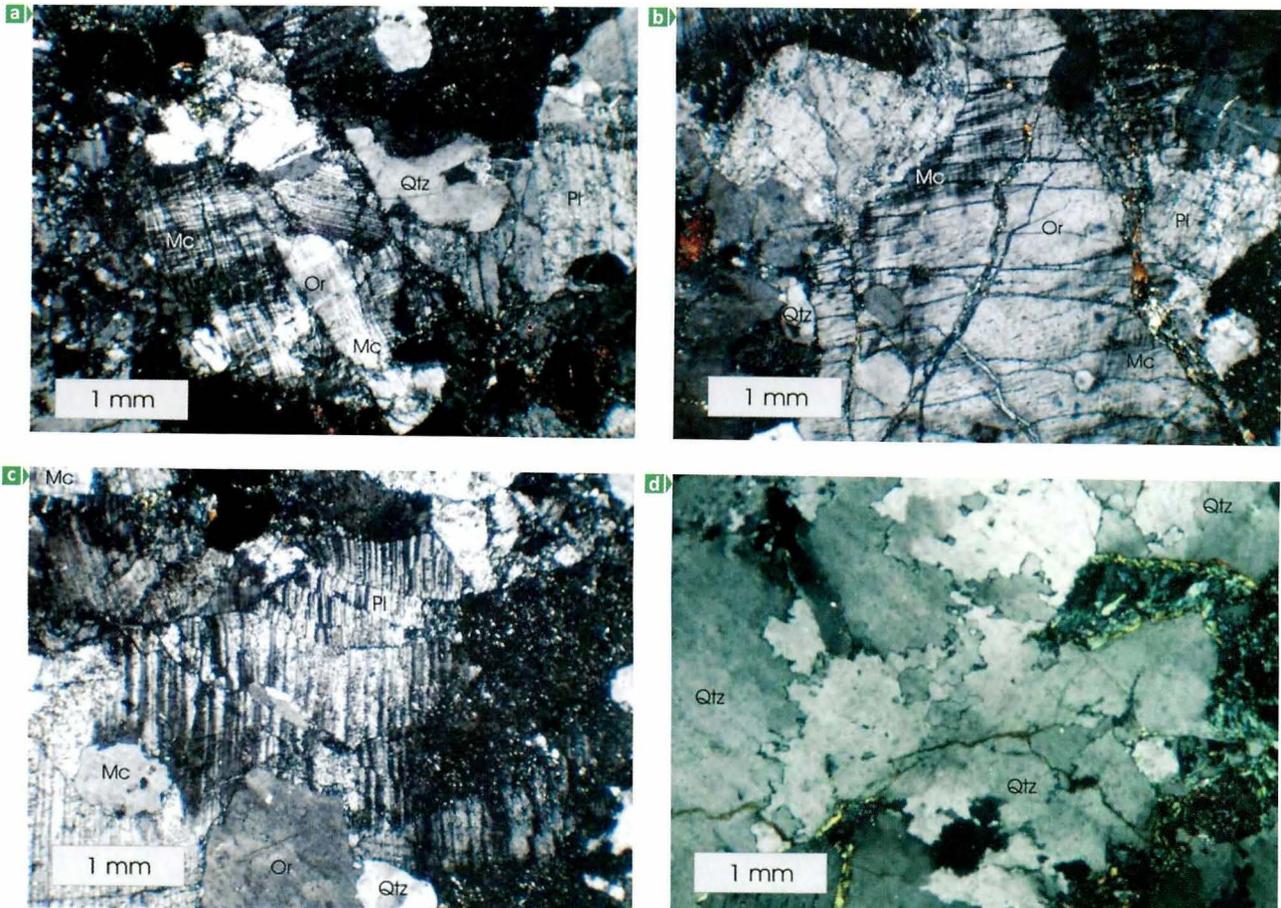
Los feldespatos pueden encontrarse como cristales relictos o neoblastos. Los cristales relictos corresponden a plagioclasa y feldespato potásico, fracturados y recristalizados en asociación con cuarzo



► Figura 3. Cataclasita constituida por porfiroclastos de cuarzo (Qtz), feldespato (Kfs) y plagioclasa (Pl), dispersos en una matriz cuarzofeldespática con tamaño de grano fino a muy fino. Luz polarizada cruzada. Muestra IGM 1201083 H↑→.

(figura 4b), los cuales se identifican como ortoclasa (no maclada), con tamaño de grano grueso a fino (menor a 8 mm), contactos interlobulados, extinción ondulante, alto fracturamiento, y texturas de desmezcla (pertitas) y de inversión a microclina (figura 4a); la microclina (maclada), con tamaño de grano variable de medio a muy fino (menor a 3 mm), presenta maclas deformadas, dobladas y *kinking*. La plagioclasa (oligoclasa y andesina) se observa maclada siguiendo la ley de la albita, albita-carlsbad, carlsbad y periclina, alterada a sericita, tamaño de grano variable de medio a muy fino (menor a 3 mm), cristales fracturados, maclas dobladas, *kinking* y maclas de deformación (figura 4c).

El cuarzo se presenta en agregados policristalinos monominerálicos con tamaño de grano medio a muy fino (menor a 3 mm), con bordes interlobulados, recristalización por migración de borde de grano (figura 4d), desarrollo de subgranos, pinado (*pinning*), extinción ondulante y lamellas de deformación (figura 5a). De igual manera, se presentan fracturados por sectores, y como agregados monominerálicos recristalizados en los bordes de los feldespatos a manera de textura manto-núcleo. La biotita se observa en agregados policristalinos poliminerálicos, con tamaño de grano medio a fino, evidencias de deformación (cristales doblados y *kinking*); en algunos casos está totalmente alterada



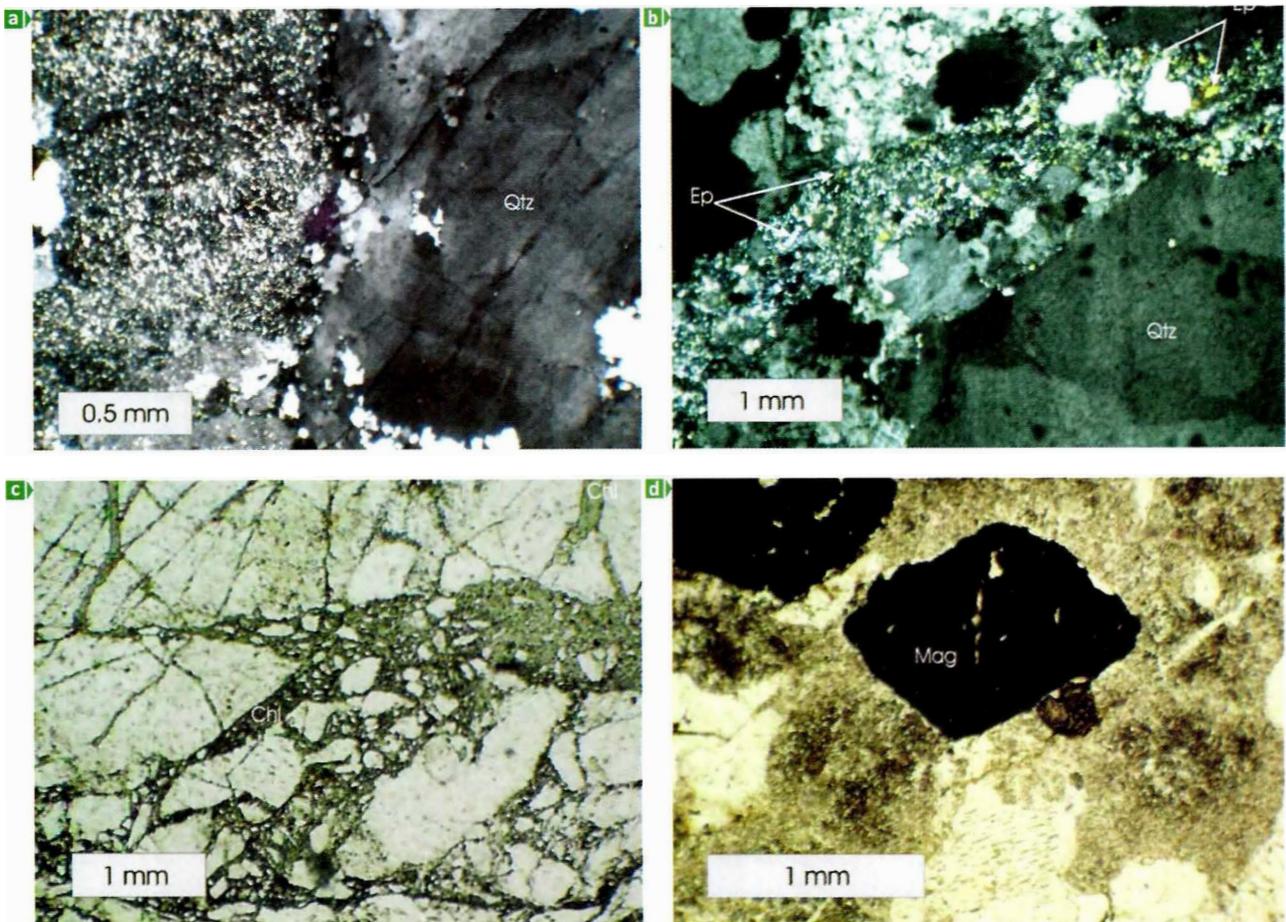
► **Figura 4.** a. Ortoclasa (Or) con texturas de inversión a microclina (Mc). Luz polarizada cruzada. Muestra IGM 1201074 H←B↑. b. Microclina (Mc) como producto de inversión de ortoclasa (Or). Se presenta *kinking* y fracturamiento en el feldespato potásico y la plagioclasa y recristalización de cuarzo. Luz polarizada cruzada. Muestra IGM 1201074 B→. c. Plagioclasa (Pl) con fracturamiento, “*kinking*” y maclas de deformación. Luz polarizada cruzada. Muestra IGM 1201074 H←B↑. d. Cristales de cuarzo (Qtz) con bordes interlobulados y evidencias de deformación dinámica caracterizada por recristalización por migración de borde de grano. Luz polarizada cruzada.

a clorita. Es común observarla asociada a epidota y opacos. Así mismo, se presenta como un mineral neocristalizado con tamaño de grano muy fino, en agregados cristalinos asociados a venas de pseudotaquilita (Cuéllar, 2007; López et ál., 2008). El apatito se presenta como cristales aislados euhedrales a anhedrales con formas redondeadas, asociados a biotita-clorita y opacos (magnetita). La epidota se presenta diseminada en la roca asociada principalmente a minerales opacos (magnetita) y biotita-clorita, rellenando venas, que sugieren temperaturas de fusión por encima de la temperatura de la epidota. De acuerdo con Takagi et ál. (2000), las venas de la epidota sugieren actividad de fluidos durante la deformación (figura 5b). La clorita se observa como

producto de desvitrificación de la pseudotaquilita (figura 5c). La magnetita se presenta como cristales aislados con desarrollo de lamellas de deformación, y se asocia a epidota, clorita y biotita (figura 5d). Además, es común observar esfena, rutilo y circón como minerales accesorios.

### Microestructuras

La cataclasis se encuentra evidenciada por la generación y distribución de arreglos ortogonales de fracturas y microfracturas intragranulares, transgranulares y circungranulares (Blenkinsop, 2000), las cuales pueden presentar desplazamiento que originan microfallas que producen la fragmentación de los cristales.



► **Figura 5.** a. Cuarzo (Qtz) con recrystalización por migración de borde de grano, desarrollo de subgranos, pinado (*pinning*), extinción ondulante y lamellas de deformación. Luz polarizada cruzada. 1201076 T. b. Venas de epidota (Ep). Luz polarizada cruzada. c. Clorita (Chl) como producto de alteración de pseudotaquilita. Luz polarizada plana. 1201074 B→. d. Magnetita (Mag) con desarrollo de lamellas de deformación. Luz polarizada plana. 1201070 T.

Las *microfracturas intragranulares*, esencialmente debidas a mecanismos de deformación que obedecen a choque y defectos de los cristales (dislocaciones y clivajes pre y sindeformacionales), son inducidas por microfallas (Blenkinsop, 2000), las cuales afectan los cristales de feldespato y cuarzo en menor grado. Para las muestras analizadas, es común encontrar estas microfracturas realzadas por alteración de los feldespatos (figura 6a) o generando diferenciación y desplazamiento de bloques similares a estructuras en dominó (figura 6b), debido a la acción de cizalla no coaxial (figura 6c).

Las *microfracturas transgranulares*, donde los mecanismos de deformación obedecen a inducción por microfallas y por defectos (Blenkinsop, 2000), en las muestras analizadas se observa que afectan la unidad Neis de Bucaramanga casi en su totalidad y están asociadas comúnmente a microfracturas de extensión (figura 6d), relacionadas con cizalla.

Las *microfracturas circungranulares*, donde los mecanismos de deformación obedecen a defectos preexistentes y contactos intergranulares (Blenkinsop, 2000), afectan la unidad Neis de Bucaramanga y están asociadas comúnmente a microfracturas de extensión (figura 6e), en las que es común observar una reducción en el tamaño de grano.

Estos tipos de mecanismos de deformación, con el aumento progresivo del esfuerzo que actúa sobre los cristales, es el responsable de la reducción en el tamaño de grano de las cataclasitas, dando origen a fragmentación de cristales y texturas tipo mortero (figura 6f) a partir de fracturas de tipo extensional y cizallas *riedel* (figura 7a).

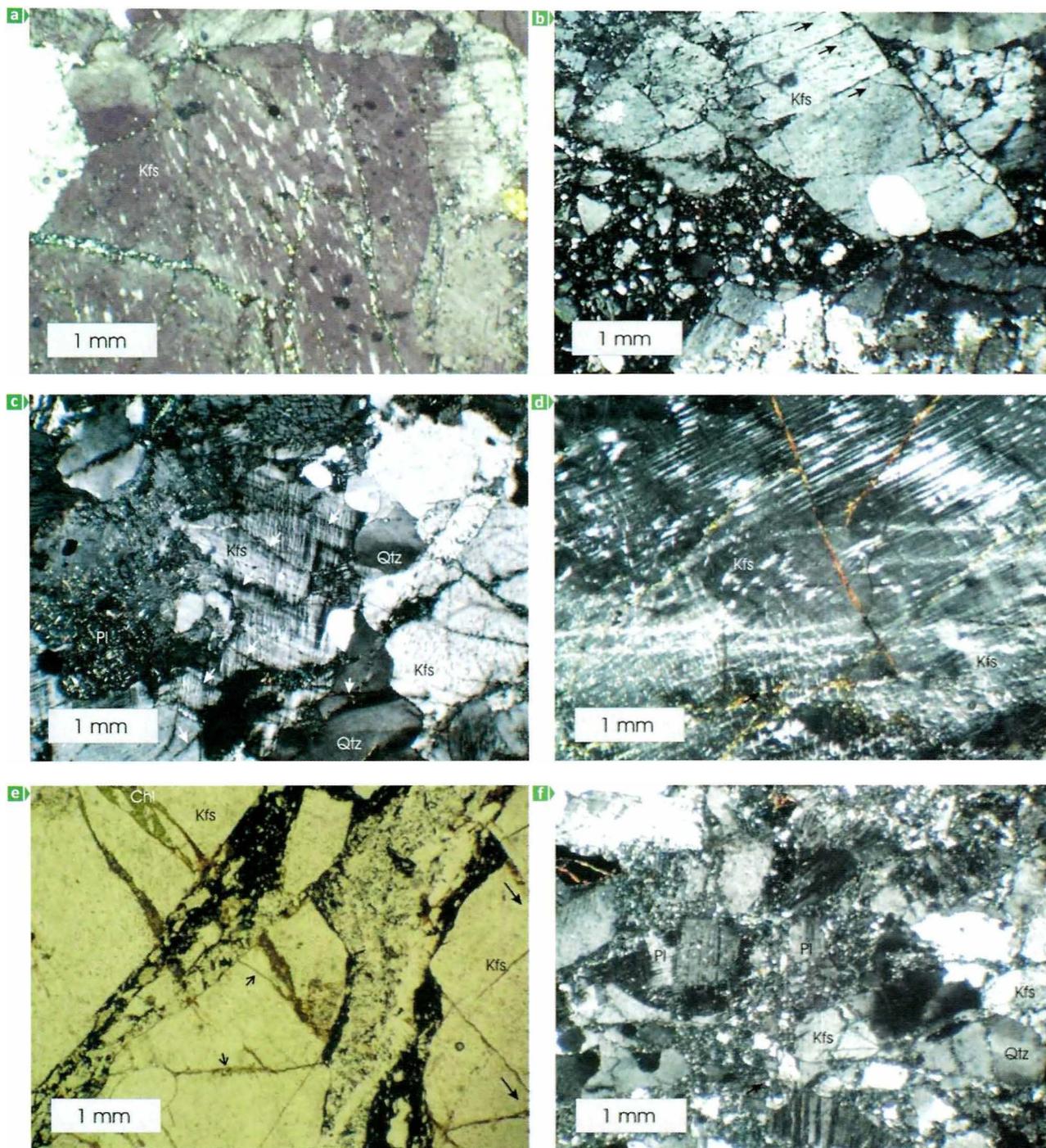
Además de las microfracturas analizadas, la fábrica interna de las cataclasitas contiene microestructuras usadas para determinar sentidos de cizalla, las cuales corresponden a conjuntos de fracturas subsidiarias con distinta orientación y sentido de movimiento, subdivididas en cizallas tipo *Riedel* como: R, R', P y Y (figura 7a), y permiten inferir una orientación del sentido de cizalla de las zonas de deformación frágil. La cinemática sinextral se establece por la deflexión de cizallas antiguas y de las foliaciones (S) en cataclasitas o gouge de falla.

También es común observar estructuras tipo extensional (figura 7b), asociadas a fallas en las que existen arreglos paralelos de defectos *en-écheleon*, aprovechados para la neomineralización.

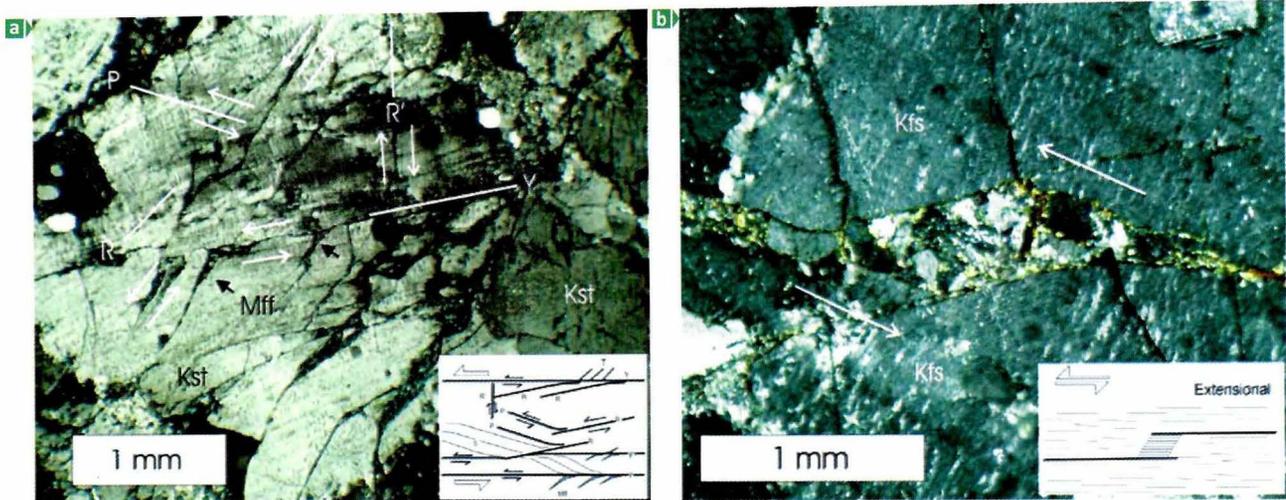
Las microfallas están relacionadas con el desplazamiento de venas, límites de grano, fragmentos de cristales (figura 8a), y la presencia de fragmentos de cristales deformados por flujo cataclástico embebidos en cemento precipitado (figura 8b). Los fragmentos cristalinos de cuarzo y feldespato presentan formas angulares, pobremente seleccionados, y varían en tamaño de grano desde micras hasta grueso en algunos casos. Se observan texturas en rompecabezas (figura 8c) y texturas en la que los fragmentos cristalinos se encuentran embebidos en la matriz, aislados (figura 8d). Las bandas de deformación observadas a escala de granos (figura 8e) se relacionan con mecanismos que obedecen a defectos en los cristales de cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico (ortoclasa), como dislocaciones, bandas *kink*, lamellas de deformación y microfracturas plásticas mal unidas.

## Discusión

La microestructura analizada para las rocas de la unidad litoestratigráfica Neis de Bucaramanga se caracteriza por acumulación en la deformación intracristalina combinada con procesos de reducción en el tamaño de grano. En general, las microestructuras desarrolladas en los minerales estudiados registran la deformación a la que ha sido expuesta esta unidad y sugieren como mecanismo generador la ocurrencia de flujo cataclástico en sitios de dislocación tangencial asociada a deformación frágil, similar a la encontrada para otros lugares (Tullis & Yund, 1985; Pryer, 1993). El desarrollo de subgranos en bloques en cuarzo, recristalización por migración de límite de grano, recristalización de borde de grano, y reducción en el tamaño de los cristales de cuarzo, sugiere la ocurrencia de abrasión durante el fallamiento, lo que concuerda con lo encontrado por Pryer (1993). Microfracturas debidas a transcurrencia (transpresión) y extensión sugieren una orientación del tensor de esfuer-



► **Figura 6.** a. Feldespato potásico (Kfs) con desarrollo de microfracturas intragranulares. Luz polarizada cruzada. Muestra IGM 1201083 H $\uparrow$ T $\rightarrow$ . b. Feldespato potásico con desarrollo de bloques similares a estructuras en dominó. Las flechas indican los desplazamientos de los bloques de feldespato potásico. Luz polarizada cruzada. Muestra IGM 1201076 T. c. Cristales de feldespato potásico (Kfs), plagioclasa (Pl) y cuarzo (Qtz), con desarrollo de microfracturas de cizalla intragranular (flechas blancas). Luz polarizada cruzada. Muestra IGM 1201074 H $\leftarrow$ B $\uparrow$ . d. Feldespato potásico con desarrollo de microfracturas transgranulares. Luz polarizada cruzada. e. Microfracturas de extensión donde se aprecia reducción del tamaño de grano. Las flechas de mayor longitud representan el movimiento del bloque de feldespato potásico (Kfs) que da origen a las fracturas de extensión. Las flechas de menor extensión muestran límites de grano generados por fracturas circungranulares, en algunos casos rellenas por clorita (Chl). Luz polarizada plana. f. Microfotografía que muestra deformación frágil de feldespato potásico (Kfs), plagioclasa (Pl) y cuarzo (Qtz), con desarrollo de textura tipo mortero. Luz polarizada cruzada.



► **Figura 7.** a. Cizallas tipo riedel y extensionales en feldespato potásico (Kfs). Luz polarizada cruzada. Muestra IGM 1201076 T. Recuadro cizallas tipo *Riedel* (cizallas R, R', P, Y y T). Mff- microfracturas. Fuente: Tomado de Passchier and Trouw (1995). b. Desarrollo de estructuras tipo extensional. Luz polarizada cruzada. Muestra IGM 1201070 T.

zos en ángulos menores de  $45^\circ$  con respecto al plano de cizalla principal, mientras que la presencia de extinción ondulante y lamellas de deformación en cuarzo manifiestan la presencia de recristalización dinámica, lo que concuerda con lo encontrado por Shelley (1993) y Passchier & Trouw (1996, 2005).

Las pertitas en flama con formas elipsoidales, encontradas en los feldespatos potásicos, se presentan orientadas de manera paralela a subparalela a la dirección de aplastamiento, formando parte de cristales rotados por efectos de la deformación cataclástica. Estas pertitas, correspondientes a texturas debidas a desmezcla, formadas durante el rápido enfriamiento del feldespato potásico (ortoclasa) de alta temperatura (Spry, 1969; Bard, 1985; Barker, 1994), aprovechan para su emplazamiento sitios de deformación intracristalina (Pryer, 1993; Pryer & Robin, 1995; Passchier y Trouw, 1996; 2005) y vacíos dejados por esfuerzos menores que los requeridos para que los feldespatos se deformen de forma frágil (Pryer & Robin, 1995; Passchier & Trouw, 2005). Además de las pertitas en flama descritas, es común observar otros tipos de pertitas con formas interpenetradas, en manchas, tablero y vara, las cuales evidencian un protolito ígneo para

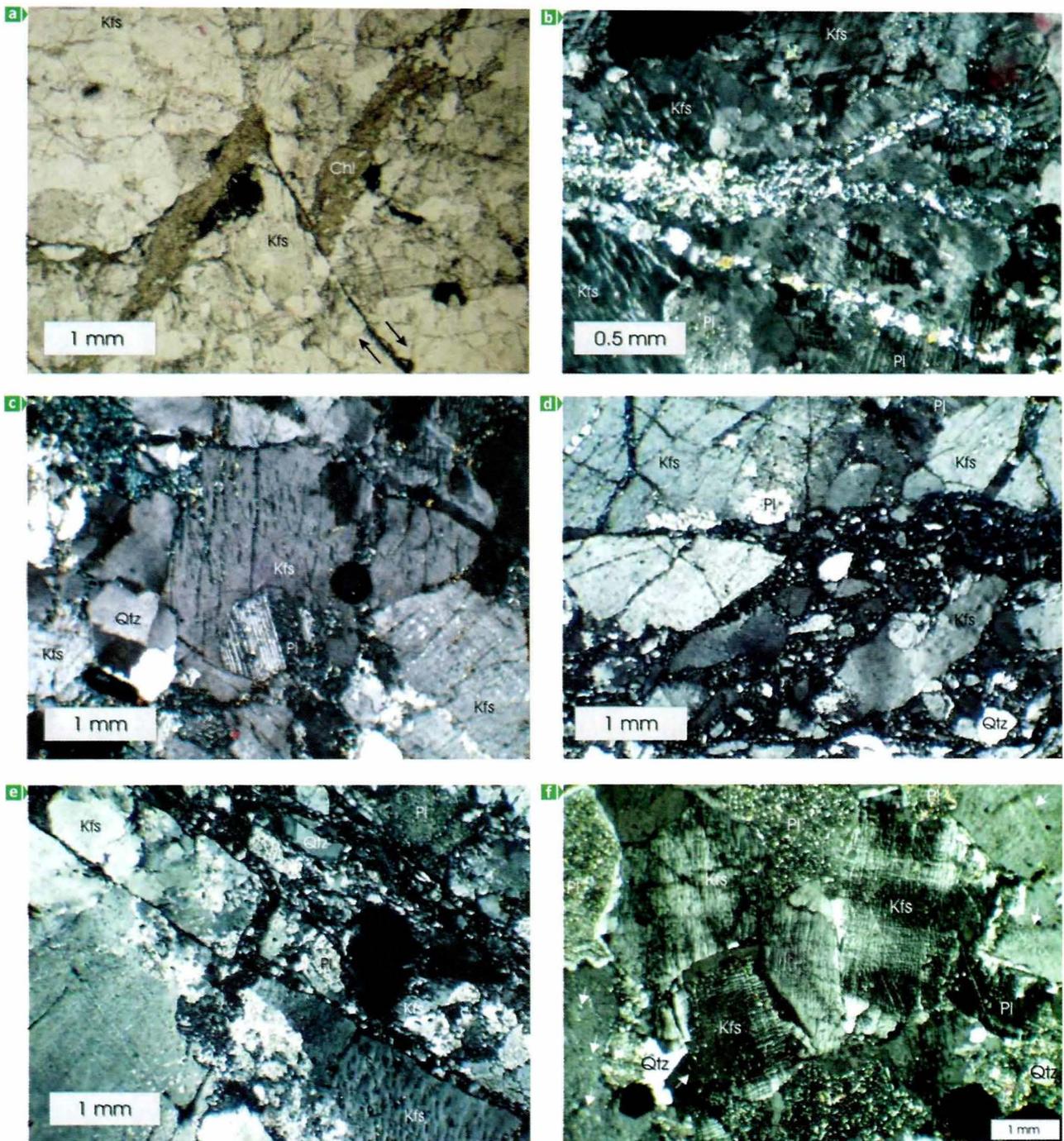
los feldespatos junto con las microclinas producidas a partir de la inversión de la ortoclasa.

Las microestructuras analizadas para los feldespatos sugieren recristalización de borde de grano que genera estructuras de tipo núcleo y manto, mientras que el desarrollo de bordes aserrados, *microkinking* y microfracturamiento, maclas dobladas, maclas de deformación, y la desmezcla de feldespato potásico (ortoclasa) sugieren temperaturas inferiores a  $450^\circ\text{C}$ , por debajo del rango de deformación frágil del feldespato de acuerdo con lo reportado por Pryer (1993).

## Conclusiones

Las rocas de la serie cataclasita asociadas a la unidad litoestratigráfica Neis de Bucaramanga se caracterizan por:

1. Se desarrollan en protolitos cuarzofeldespáticos del Neis de Bucaramanga.
2. Microscópicamente, consiste en profiroclastos de feldespato, plagioclasa y cuarzo, epidota, magnetita, clorita y biotita, dispersos en una matriz cuarzofeldespática con tamaño de grano fino a muy fino.
3. La generación y distribución de los arreglos ortogonales de las fracturas y microfracturas in-



► **Figura 8.** a. Microfallamiento dextral de una vena de clorita (Chl). Luz polarizada paralela. Muestra IGM 1201074 H←B↑. b. Fragmentos de cristales deformados por cataclasis embebidos en un cemento precipitado. Luz polarizada cruzada. Kfs: Feldespato potásico; Pl: Plagioclasa. c. Desarrollo de texturas tipo rompecabezas en cristales de cuarzo (Qtz), feldespato (Kfs) y plagioclasa (Pl). Luz polarizada cruzada. Muestra IGM 1201076 T. d. Flujo cataclástico. Fragmentos cristalinos de feldespato, cuarzo y plagioclasa embebidos en una matriz. Luz polarizada cruzada. Muestra IGM 1201074 B→. e. Desarrollo de bandas de deformación cristalina en feldespato potásico (Kfs) y cuarzo (Qtz). Luz polarizada cruzada. Muestra IGM 1201076 H↑T→. f. Desarrollo de pertitas en flama elipsoidales, feldespato potásico (Kfs), plagioclasa (Pl). Qtz: Cuarzo. Luz polarizada cruzada.

trgranulares, transgranulares y circungranulares (Blenkinsop, 2000) dan origen a microfallas que producen fragmentación en los cristales.

4. Hospedan pseudotaquilitas emplazadas por inyección aprovechando microfracturas y microfallas.
5. Confirman que la cinemática dominante para el SBF es sinextral.

## Referencias bibliográficas

- Bard, J. P. (1985). *Microtexturas de rocas ígneas y metamórficas*. Masson S.A.
- Barker, A. J. (1994). *Introduction to metamorphic textures and microstructures*. Oxford: Blackie Academic and Professional.
- Blenkinsop, T. (2000). *Deformation microstructures and mechanism in mineral and rocks*. Norwel, USA: Kluwer Academic Publishers.
- Chester, F. M., Friedman, M. & Logan, J. M. (1985). Foliated cataclases. *Tectonophysics*, 111, 139-146.
- Clavijo, J. (1994). Mapa geológico de la Plancha 75, Aguachica. En proceso de publicación. Bucaramanga: INGEOMINAS.
- Cuéllar, M. A. (2007). *Análisis estructural del segmento sur de la traza de la Falla Santa Marta-Bucaramanga (FSMB), municipios de Pailitas y Curumaní Departamento del Cesar*. Tesis de Maestría. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Davis, G. H. & Reynolds, S. J. (1996). *Structural geology of rocks and regions*. New York: Wiley & Sons.
- Hibbard, M. J. (1995). *Petrography to petrogenesis*. New Jersey: Prentice Hall.
- Higgins, M. W. (1971). Cataclastic rocks. *Geological Survey Professional Paper*, 687.
- INGEOMINAS-UIS. (2005). *Compilación y levantamiento de la información cartográfica, geológica, geoquímica y geofísica de la Serranía de San Lucas*. Acuerdo Específico 004, complementario al Convenio Marco de Cooperación 005 de 2005. Bogotá: INGEOMINAS.
- INGEOMINAS-UIS. (2006). Mapa Geológico de la Plancha 55. El Banco. Bogotá: INGEOMINAS.
- Julivert, M. (1968). Lexique stratigraphique international Amerique Latine, Colombie (premiere partie). Paris: Centre National de la Recherche Scientifique.
- Killick, A. M. (2003). Fault rock classification: An aid to structural interpretation in mine and exploration geology. *South African Journal of Geology*, 106, 395-402.
- Knipe, R. J. (1989). Deformation mechanism recognition from natural tectonics. *Journal of Structural Geology*, 11(1-2), 81-92.
- López, J. A., Cuéllar, M. A., Osorio, J. A., Bernal, L. E., & Cortés, E. (2008). Pseudotaquilitas y el carácter paleosísmico de un segmento del Sistema de Fallas de Bucaramanga (SFB), noreste del municipio de Pailitas, departamento del Cesar, Colombia. *Boletín de Geología*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Miller, J. B. (1960). Directrices tectónicas en la Sierra de Perijá y partes adyacentes de Venezuela y Colombia. *Bol. Geol. Minist. Min. Hidroc.*, publ. esp. n.º 3. 3er Congr. Geol. Venezuela, *Memoria*. Tomo 2. Caracas, pp. 685-718.
- Passchier, C. W. & Trouw, R. A. J. (1996). *Microtectonics*. Berlín: Springer-Verlag.
- Passchier, C. W. and Trouw, R. A. J. (2005). *Microtectonics*. 2nd edition. Berlín: Springer-Verlag.
- Pryer, L. L. (1993). Microstructures in feldspars from a major crustal thrust zone: The Grenville Front, Ontario, Canada. *Journal of Structural Geology*, 15, 21-36.

## Agradecimientos

Los autores manifiestan sus más sinceros agradecimientos a INGEOMINAS, en especial al Proyecto G1-05 Modelo Geológico Integral y Potencial de Recursos en el Territorio Colombiano, por el apoyo económico y logístico del mismo, y a la geóloga Elizabeth Cortés de INGEOMINAS por el apoyo técnico. ■

- Pryer, L. L. & Robin, P. Y. F. (1995). Retrograde metamorphic reactions in deforming granites and the origin of the flame perthite. *Journal of Metamorphic Geology*, 14, 645-658.
- Shelley, D. (1993). *Igneous and metamorphic rocks under the microscope*. Londres: Chapman and Hall.
- Sibson, R. H. (1977). Fault rocks and fault mechanisms. *Journal of the Geological Society of London*, 133, 191-213.
- Spry, A. (1969). *Metamorphic textures*. Oxford: Pergamon Press.
- Swanson, M. T. (1992). Fault structure, wear mechanisms and rupture processes in pseudotachylyte generation. *Tectonophysics*, 204, 223-242.
- Takagi, H., Goto, K. & Shigematsu, N. (2000). Ultramylonite bands derived from cataclasite and pseudotachylyte in granites, northeast Japan. *Journal of Structural Geology*, 22, 1325-1339.
- Tullis, R. J., Snoke, A. W. & Todd, V. R. (1982). Penrose conference report. Significance and Petrogenesis of mylonitic rocks. *Geology*, 10(5), 227-230.
- Tullis, J. & Yund, R. A. (1985). Dynamic recrystallization of feldspar: a mechanism for ductile shear zone formation. *Geology*, 13, 238-241.
- Vernon, R. H. (2004). *A practical guide to rock microstructure*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ward, D., Goldsmith, R., Cruz, J., Jaramillo, L. & Vargas, R. (1973). Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona, Departamento de Santander. *Boletín Geológico*, 21(1-3), 1-32.
- Winter, J. D. (2001). *An introduction to igneous and metamorphic petrology*. Londres: Prentice Hall.
- Wise, D. V., Dunn, D. E., Engelder, J. T., Geiser, P. A., Hatcher, R. D., Kish, S. A., Odem, A. L. & Scharnel, S. (1984). Fault related rocks: suggestions for terminology. *Geology*, 12, 391-394.