

# **PSEUDOTAQUILITAS Y EL CARÁCTER PALEOSÍSMICO DE UN SEGMENTO DEL SISTEMA DE FALLAS DE BUCARAMANGA (SFB), NORESTE DEL MUNICIPIO DE PAILITAS, DEPARTAMENTO DEL CESAR, COLOMBIA**

**Julián Andrés López Isaza<sup>1</sup>; Mario Andrés Cuéllar Cárdenas<sup>1</sup>; Jairo Alonso Osorio Naranjo<sup>(2)</sup>;  
Luis Enrique Bernal Vargas<sup>1</sup>, Elizabeth Cortés Castillo<sup>1</sup>**

## **RESUMEN**

La ocurrencia de pseudotaquilas asociadas con cataclasitas encontradas en “lomos de presión” constituidos por rocas relacionadas con el Neis de Bucaramanga, desarrollados en algunos segmentos transpresivos del Sistema de Fallas Bucaramanga (**SFB**) evidencian el carácter paleosísmico del **SFB** al Noreste del Municipio de Pailitas, Departamento del Cesar, Colombia.

Las pseudotaquilas se caracterizan por presentarse como venas de falla, de inyección y cataclásticas, petrográficamente conformadas por clastos líticos, matriz de grano fino, granos reconocibles ópticamente y amígdulas. El origen a partir de un fundido para las pseudotaquilas está sugerido por las texturas de las venas, las cuales se caracterizan por presentarse como venas de inyección con márgenes de enfriamiento, bandas de flujo macroscópico y microscópico, microlitos de biotita en venas, microlitos de plagioclasa de composición albitica, fracturas tipo “placa de vidrio”, deformación en feldespato potásico y plagioclasa, bordes corroídos, cóncavos y redondeados; feldespato potásico y cuarzo recristalizado; clastos líticos embebidos por la matriz y amígdulas.

**Palabras Clave:** Pseudotaquilas, Sistema de Fallas de Bucaramanga, Carácter paleosísmico, Cordillera Oriental, Colombia

## **PSEUDOTACHYLITES AND THE PALEOSEISMIC CHARACTER OF THE BUCARAMANGA FAULT SYSTEM (BFS) RELIEF, EASTERN CORDILLERA, COLOMBIA**

### **ABSTRACT**

The occurrence of pseudotachylites associated with cataclasites found in “pressure backs” constituted by rocks related to the Bucaramanga Gneiss, developed in the transpressive segments of the Bucaramanga Faults System (**BFS**) Relief demonstrates the paleoseismic character of this one to the Northeast of the Municipality of Pailitas – Cesar Department, Colombia.

The pseudotachylites are characterized to appear as injection, cataclastic and fault veins, petrographically conformed by lithic clasts, fine grain matrix, optically observable grains and amygdals. The origin from melting for the pseudotachylites is suggested by the textures of the veins, which are characterized to display cooling margins, injection veins, macroscopic and microscopic flow bands, biotite microlites in veins, plagioclase microlites of albitic composition, “glass plate” type fractures, potassium feldspar and plagioclase deformation, and cleared, corroded and concave edges; potassium feldspar and quartz recrystallized; lithics clasts wrapped by the matrix and amygdals.

**Key words:** Pseudotachylites, Bucaramanga Faults System, Paleoseismic character, Eastern Cordillera, Colombia

<sup>1</sup>INGEOMINAS. Diagonal 53 No. 34 – 53, Oficina 210. Bogotá D.C., Colombia.

<sup>2</sup>Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, E-mail: jlopez@ingeominas.gov.co, macuellar@ingeominas.gov.co

## INTRODUCCIÓN

El término “pseudotaquilita relacionada a falla” es definido como una “roca en vetillas afáníticas, densa, color café oscuro, formada a partir de cataclasis extrema y/o fusión parcial dentro de una zona de falla” (Lin, 2008). Las pseudotaquilitas comprenden rocas constituidas por cristales y clastos líticos rotos ya sea redondeados o angulares de la roca que la hospeda (Philpotts, 1964; Sibson, 1975; Snoke *et al.*, 1998; Lin, 1993; 1999; Wenk *et al.*, 2000; Blenkinsop, 2002; Vernon, 2004; Passchier & Trouw, 2005), comúnmente con cuarzo y feldespatos (Blenkinsop, 2002), además de la presencia de microlitos (Allen, 1979; Maddock, 1983; Lin, 1994a, b; Wenk *et al.*, 2000). Todos estos fragmentos de roca y cristales se encuentran embebidos en una matriz vítrea-cristalina (Shand, 1916; Maddock, 1983; Nieto-Samaniego *et al.*, 2003; Di Toro *et al.*, 2005; Passchier & Trouw, 2005), la cual es a menudo de color más oscuro que el de la roca encajante (Lin, 1996; Wenk *et al.*, 2000), aunque puede llegar a ser incolora en sección delgada (Blenkinsop, 2002) y de composición química total un poco más básica (Maddock, 1992).

Es común encontrar las pseudotaquilitas como venas de plano de falla principal o venas de generación, usualmente planares con pocos milímetros de espesor (Sibson, 1975; Spray, 1992; Lin, 1996; Passchier & Trouw, 2005), desarrolladas en planos de cizalla individuales (Techmer, 1998); y como venas de inyección irregulares, que se ramifican desde de las venas de falla principales hacia la roca de caja (Lin, 1996; Passchier & Trouw, 2005). Los contactos entre las pseudotaquilitas y la roca de caja son generalmente tajantes (Passchier & Trouw, 1996, 2005), en donde las venas presentan un aspecto afánítico o brechóide (Wenk, 1978; Lin, 1996), con márgenes de enfriamiento (Blenkinsop, 2002; Vernon, 2004), y texturas debidas tanto a flujo (Lin, 1994a; Blenkinsop, 2002; Nieto-Samaniego *et al.*, 2003), con bandeamiento composicional (Passchier & Trouw, 2005); como a desvitrificación, la cual se caracteriza por el desarrollo de microlitos con hábitos tabulares y esferulíticos (Magloughlin, 1992; Lin, 1994; Di Toro & Pennacchioni, 2005).

Las pseudotaquilitas se desarrollan a partir de calentamiento por fricción que genera fusión (Allen, 1979; Swanson, 1992; Lin, 1994b; Spray, 1995; Winter, 2001) como último producto de cizallamiento (Sibson, 1975; Allen, 1979; Nieto-Samaniego *et al.*, 2003), en zonas de falla con movimiento friccional a lo largo de las zonas sismogénica y de alternancia, asociándose con cataclasis, brechas y milonitas de bajo grado,

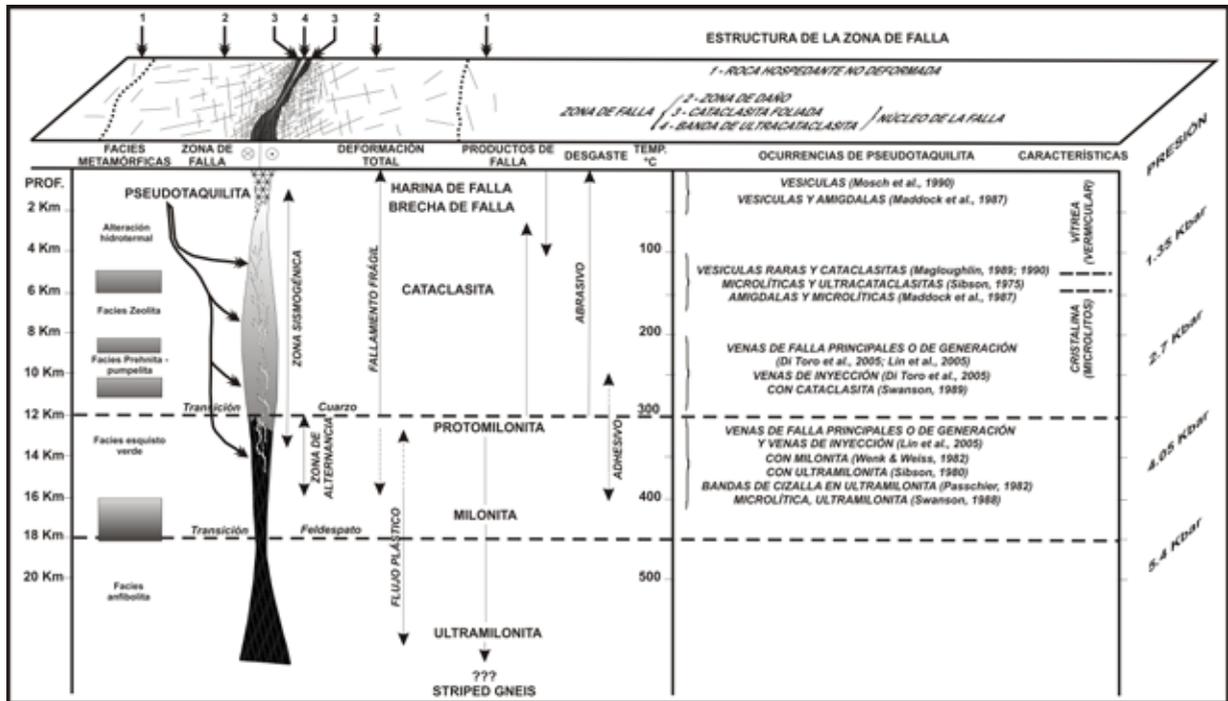
a profundidades inferiores a 16 Km (Sibson, 1975; Swanson, 1992; Wenk *et al.*, 2000; Davidson *et al.*, 2003; Rowe *et al.*, 2005), en las regiones intracontinentales de la litosfera (FIGURA 1). Además el fallamiento frágil es acompañado por actividad hidrotermal (Higgins, 1971, Wise *et al.*, 1984), y dado que las rocas de falla frágiles comúnmente muestran zonas de neomineralización y de alteración (Passchier & Trouw, 1996, 2005), se enfatiza en la importancia del conocimiento de estas áreas como distribuidoras y hospedantes de mineralizaciones o modificadoras de los cuerpos de mena (Killick, 2003).

En la actualidad son muy escasas las investigaciones realizadas en las fallas colombianas que reporten la presencia de pseudotaquilitas, e.g. para la Falla de Sabanalarga (Ordóñez, 2000), y que además describan sus características petrográficas, e.g. para el **SFB** al Este del Municipio de Pailitas, Departamento del Cesar, Colombia (Cuéllar, 2007). En este documento se describirán a partir de muestras de roca colectadas en secciones estructurales levantadas en la Plancha 55 “El Banco” (INGEOMINAS-UIS, 2006; Cuéllar, 2007), algunas de las características petrográficas de venas de pseudotaquilitas emplazadas en el Neis de Bucaramanga, generadas en un segmento del Sistema de Fallas de Bucaramanga (**SFB**), localizado al Noreste del Municipio de Pailitas, Departamento del Cesar.

## MARCO GEOLÓGICO

Las unidades litoestratigráficas identificadas en la zona de estudio (FIGURA 2), presentan edades desde el Neoproterozoico hasta el Cuaternario, y se encuentran constituidas por rocas metamórficas, volcánoclasticas, ígneas y sedimentarias con algunas discontinuidades regionales y depósitos fluviolacustres. Así, las rocas más antiguas (Neoproterozoicas), asociadas con el Neis de Bucaramanga (Ward *et al.*, 1973. **NPb**), incluyen neises de alto grado de metamorfismo que se distribuyen a manera de lomos de presión (*pull-up*) entre los Municipios de Pailitas y Curumaní en el Departamento del Cesar.

El Paleozoico Inferior, está representado por rocas metasedimentarias y milonitas (Cuéllar, 2007) relacionadas con la Formación La Virgen (INGEOMINAS-UIS, 2006. **Pzv**), las cuales afloran hacia la parte central del área. El Mesozoico está caracterizado por rocas de la Unidad Volcanoclastica de Noreán (Clavijo, 1994. **J1-2n**), las cuales son del Jurásico y están representadas por una secuencia volcánica y volcanosedimentaria de tobas y lavas de composición riolítica, dacítica y riodacítica que cubren la parte

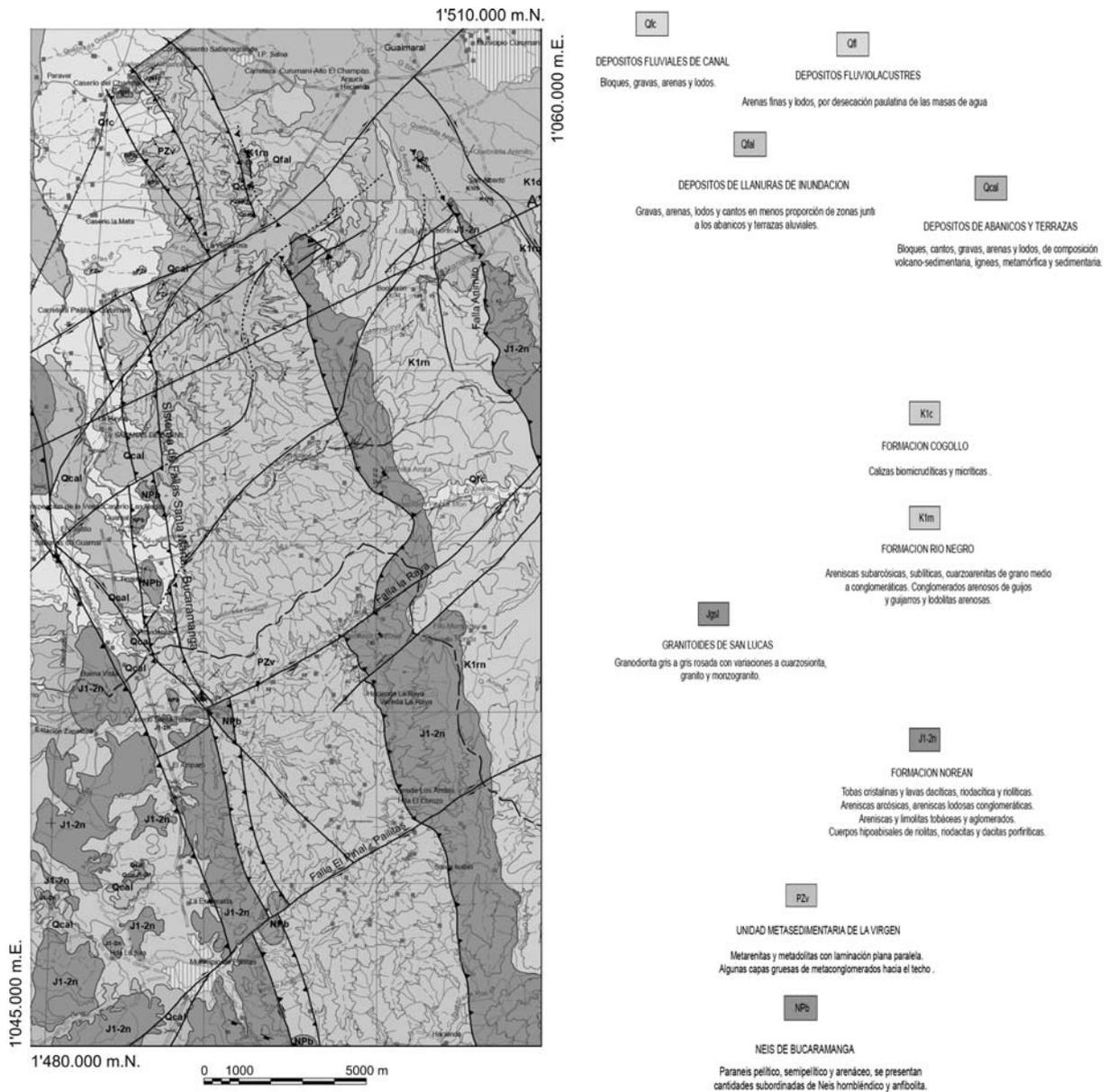


**FIGURA 1.** Perfil conceptual de una zona de falla mostrando la relación entre la profundidad, las rocas de falla asociadas y las clases de ocurrencia de pseudotaquilitas. Modificado de Sibson (1979; 1983), Wise *et al.* (1984), Scholz (1988, 2006), Swanson (1992), Passchier & Trouw (1996; 2005), Chester *et al.* (2004).

Nororiental y Suroccidental de la zona. En el Jurásico Superior intruye la unidad denominada informalmente como Granitoides de San Lucas (**Jgsl**), caracterizada por intrusiones de tipo ácido a intermedio, acompañadas por episodios tardíos de inyecciones dacíticas, riódacíticas y riolíticas. Al Cretácico inferior se asocia la Formación Río Negro (Julivert, 1968. **K1rn**) de edad Aptiano Inferior a Barremiano-Neocomiano, que está representada por rocas sedimentarias siliciclásticas y carbonatadas en la región Oriental y Norte del área. Al Cretácico Superior

se relaciona al Grupo Cogollo (Miller, 1960. **K1c**), que consta de calizas biomicrudíticas y micríticas con abundante contenido de conchas de bivalvos, serpúlidos y lamelibranquios aflorantes en la parte Nororiental. Finalmente, los Depósitos Cuaternarios, clasificados por su dinámica fluvial y de acumulación, se agrupan en abanicos aluviales y terrazas (**Qcal**), llanuras de inundación (**Qfal**) y depósitos de canal (**Qfc**), todos con espesores y composiciones variables, que afloran en la parte Noroccidental de la zona.

*Pseudotaquillas y el carácter paleosísmico de un segmento del sistema de fallas de Bucaramanga (sfb), Noreste del Municipio de Pailitas, Departamento del Cesar, Colombia\*.*



**FIGURA 2.** Mapa Geológico – Estructural del sector comprendido entre los municipios de Curumani al Norte y Pailitas al Sur. Tomado de INGEOMINAS-UIS (2006).

## METODOLOGÍA

Para la realización de este trabajo se efectuaron dos cortes orientados para cada una de las muestras, ambos perpendiculares a la foliación y de forma paralela y normal a la lineación de estiramiento, definidos por las secciones P y N respectivamente, en concordancia con lo expuesto por Passchier & Trouw (1996, 2005). Seguido se realizó el análisis de las secciones delgadas de roca en un microscopio petrográfico NIKON ALPHAPHOT-2 YS2, con el fin de establecer las condiciones de deformación, teniendo en cuenta la microestructura de los cristales de cuarzo, feldespatos y micas presentes, las fases mineralógicas neoformadas y los sistemas de deslizamiento intracristalino activos de acuerdo con lo planteado por Tullis *et al.* (1982); Knipe (1989); Passchier & Trouw (1996, 2005); Blenkinsop (2002) y Vernon (2004), entre otros. Adicionalmente para cada muestra se estableció el espesor de las venas de pseudotaquilita, su composición y estado de alteración, teniendo en cuenta las estructuras de desvitrificación descritas por Lofgren (1971a, b).

Una vez determinadas las características petrográficas en lámina delgada de roca se analizaron secciones pulidas con un MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO PHILIPS XL30 ESEM con microsonda EDAX modelo DX 4, con ventana detectora Super ultradelgada (SUTW), con el fin de determinar el aspecto superficial de los cristales y sus relaciones además de la composición química semicuantitativa de las fases minerales asociadas con la pseudotaquilita, bajo condiciones de sistema de alto vacío y energía de 30.00 kV. A partir de este análisis se obtuvieron imágenes de tipo **BSE** (*Backscattered Electron*) a diferentes escalas de detalle que permitieron establecer los rasgos submicroscópicos de las venas de pseudotaquilita no observables en el microscopio petrográfico.

## RESULTADOS OBTENIDOS

### **CLASIFICACIÓN DE LAS VENAS Y CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS**

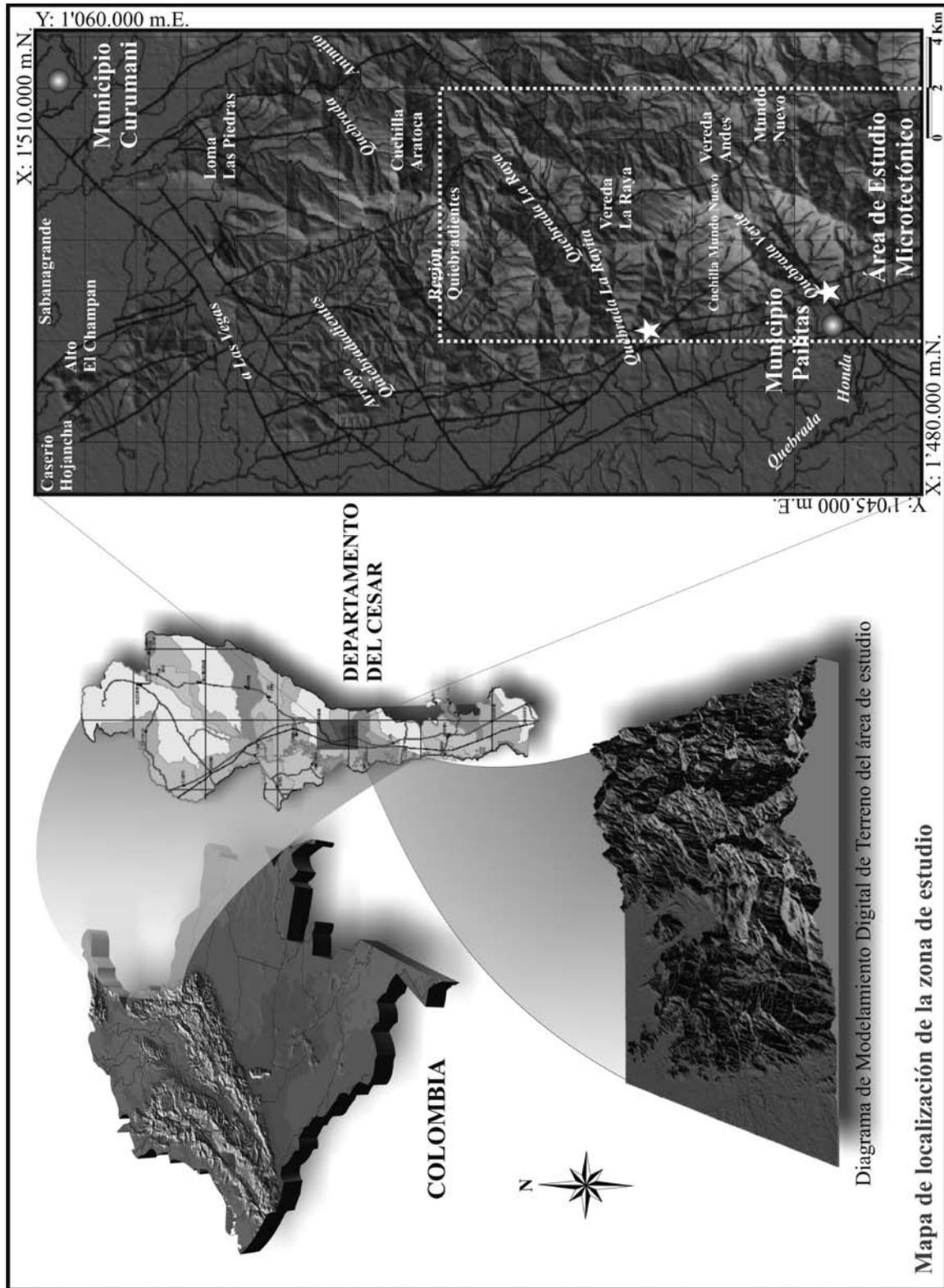
**Relaciones de campo** La zona de falla dentro de la que se encuentran las venas de pseudotaquilita corresponde al trazo de un segmento del **SFB**, el cual presenta un rumbo al Noroeste de 8° a 10°, con indicadores cinemáticos como estrías que sugieren un sentido de movimiento

sinextral. Las venas de pseudotaquilita se encuentran en afloramientos ubicados en los cauces de la Quebrada Verde y afluentes de la Quebrada La Rayita, localizadas al noreste del Municipio de Pailitas, Departamento del Cesar, Colombia (FIGURA 3)

Las pseudotaquilitas se presentan como venas y consisten de una matriz de color café a negro de grano fino, la cual encierra fragmentos de cristales y de la roca caja (FIGURAS 4, 5 y 6). Los fragmentos cristalinos son predominantemente cuarzo y feldespatos, en donde el tamaño de grano de los clastos varía de pocas micras a mm en relación a la matriz y se presentan pobremente seleccionados, con formas redondeadas y angulares, y en algunos casos con bahías de reacción que evidencian un origen a partir de fundido para la pseudotaquilita (FIGURA 6).

**Clasificación de las venas:** Las venas que contienen pseudotaquilita asociadas con las rocas objeto de este estudio pueden clasificarse como (FIGURA 3): 1) *Venas de Falla*, que se asocian a las venas generadas sobre una superficie o plano de cizalla con evidencia petrográfica de un origen fundido (e.g. microlitos y texturas de flujo) y rasgos planares rectos con márgenes de enfriamiento y espesores máximos de 8 mm, en las que el tamaño de los fragmentos de cristales de cuarzo y feldespato varía de micras a milímetros, el porcentaje de fragmentos de cristales y roca caja es de 60% como valor máximo en algunos sectores y los fragmentos presentan una redondez de moderada a muy buena (FIGURA 6); 2) *Venas de Inyección*, que corresponden pequeñas venas que se desprenden en alto ángulo de las venas de falla, semejantes a una intrusión (FIGURA 3), en las que no es tan común la presencia de fragmentos de cristales (FIGURA 6e); y 3) *Venas cataclásticas*, las cuales presentan fragmentos de cristales con tamaños de grano grueso a muy fino con poca o sin evidencia microscópica de fusión, como resultado del dominio de la cataclasis (FIGURA 2d).

Las evidencias que confirman un origen a partir de un fundido para las pseudotaquilitas están dadas por rasgos como márgenes de enfriamiento, venas de inyección, bandas de flujo macroscópico y microscópico y clastos líticos embebidos por la matriz, los cuales pueden ser angulares o redondeados y desarrollan en algunos casos bahías de reacción.



**FIGURA 3.** Mapa de localización de las localidades en las que se encontraron las pseudotaquillas reportadas en este estudio.

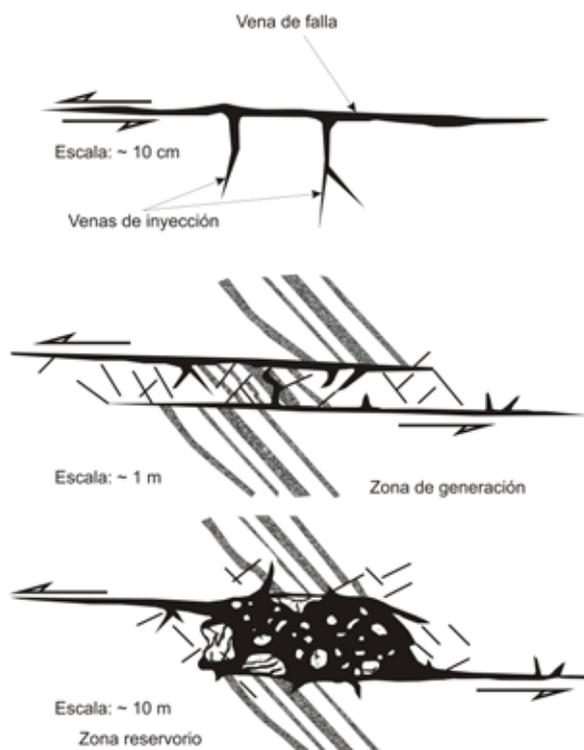
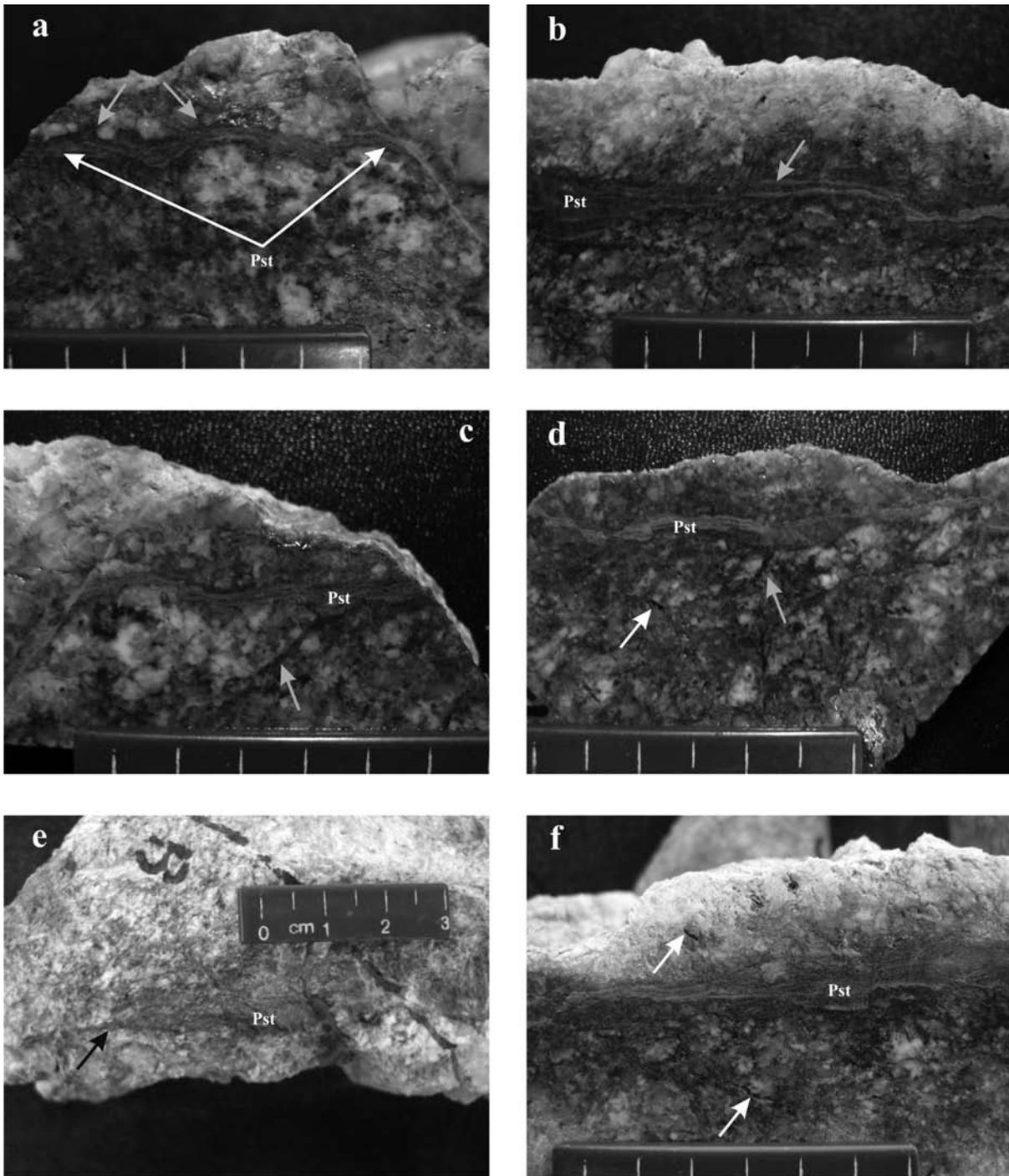


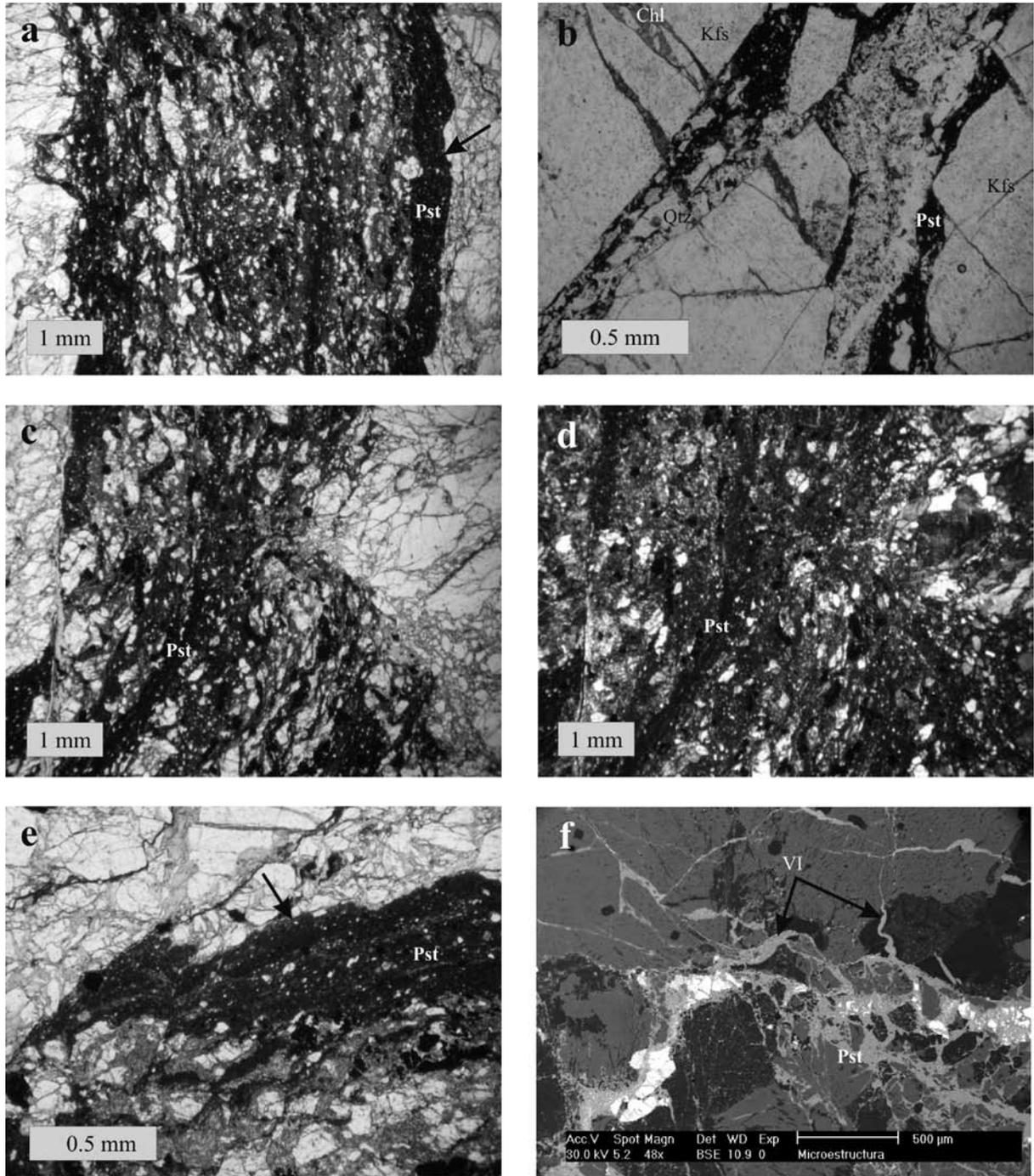
FIGURA 4. Modos de presentación de las pseudotaquilitas. Tomado de Curewitz & Karson (1999).

**Características petrográficas:** Las venas se encuentran conformadas por 1) *Clastos líticos*, que corresponden a fragmentos de minerales (cuarzo y feldespato) y agregados minerales (roca) no recrystalizados durante la formación de las pseudotaquilitas. Es común observarlos con bordes angulares, corroídos, cóncavos y redondeados, indicativos de fusión parcial (Wenk *et al.*, 2000); 2) *Matriz de grano fino*, que equivalen a minerales que no son reconocibles ni con el ojo desnudo ni con microscopio petrográfico. Representa el fundido solidificado como vidrio (Barker, 2005); 3) *Granos reconocibles ópticamente*, los cuales cristalizan a partir del fundido y corresponden a microcristales, asociados comúnmente a las márgenes oscuras debidas a enfriamiento; 4) *Amígdulas*, que presentan formas esféricas bien desarrolladas, y mineralógicamente se asocian con minerales opacos (magnetita e ilmenita). Microscópicamente las pseudotaquilitas se caracterizan por presentar: 1) *Márgenes de enfriamiento* (FIGURAS 5, 6, 7), las cuales se caracterizan por exhibir colores oscuros (por lo general café oscuro a negro), ausencia de clastos líticos y una clara textura de flujo; 2) *Venas de inyección* (FIGURA 5, 6), las cuales se desprenden desde la vena de falla hacia la roca distribuyéndose de manera aleatoria, 3) *Bandas de flujo macroscópico y microscópico* (FIGURA 5, 6, 7), dadas por el cambio en la tonalidad como por la orientación de algunos de

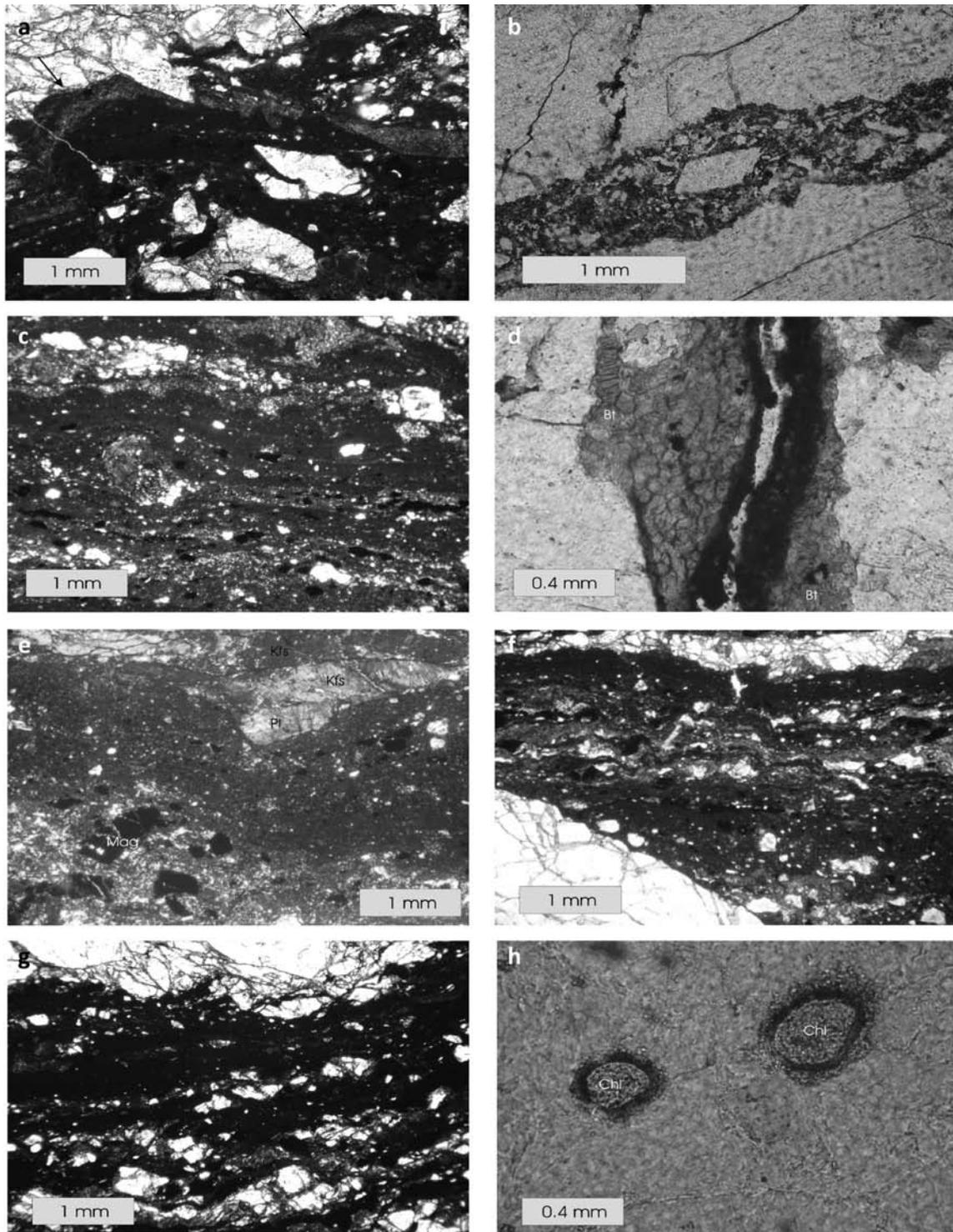
los fragmentos de cristales y aglomerados cristalinos, en algunos casos de forma paralela a las márgenes de las venas; 4) *Microlitos de biotita en venas* (FIGURA 7), 5) *Deformación en feldespato potásico y plagioclasa* (FIGURA 7), la cual se evidencia por el fracturamiento de los cristales; 6) *Bordes de los cristales y agregados cristalinos*, los cuales presentan formas corroídas, cóncavas y redondeadas (FIGURAS 5, 6, 7); 7) *Recrystalización*, observada en cristales de feldespato potásico y cuarzo; 8) *Clastos líticos embebidos por la matriz* (FIGURAS 6, 7); 9) *Amígdulas* (FIGURA 7), 10) *Microlitos de plagioclasa* (FIGURA 8), 11) *Estructuras típicas de cristalización de vidrio* como lo son las fracturas tipo “placa de vidrio” en venas de inyección y vacuolas en vidrio silicificado (FIGURA 8); 12) *Texturas de desvitrificación* como lo son *esferulitos*, los cuales se encuentran constituidos por cuarzo y micas, *microlitos*, compuestos principalmente por feldespato (albita), y una *naturaleza anisotrópica de la matriz* dada por la presencia de nuevas fases minerales (cuarzo y micas probablemente) evidenciada por una débil birrefringencia; 13) *Frentes de hidratación* (FIGURA 8) dada por el desarrollo de fracturas tipo placa de vidrio; 14) *Globulitos* (FIGURA 7) que corresponden a formas circulares aisladas y en agregados; y 15) *Presencia de cristales de magnetita e ilmenita en las venas* (FIGURAS 6, 7), ambas fases minerales como cristales aislados y formando agregados minerales con tamaños de grano



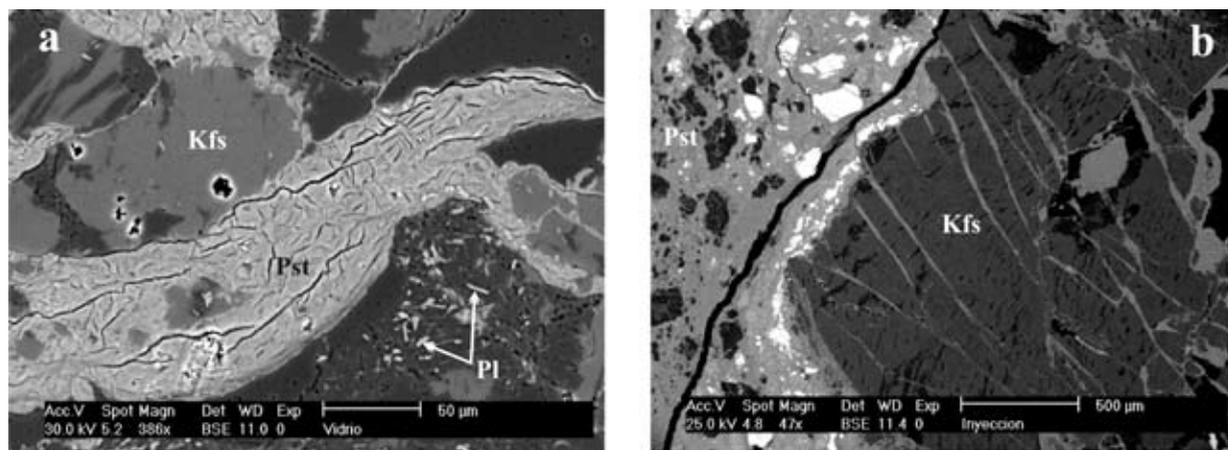
**FIGURA 5.** Características macroscópicas de las venas de pseudotaquilita. **a)** Vena de pseudotaquilita (**Pst**) con márgenes de enfriamiento opacos y paredes corroídas, cóncavas y redondeadas (saetas). Nótese la presencia de inyecciones que se desprenden de la vena principal hacia la roca que la hospeda. **b)** Microfallamiento posterior a la formación de las venas de pseudotaquilita. Nótese el bandeamiento de la vena como evidencia de la estructura de flujo. **c)** y **d)** Venas de inyección (saetas grises). Nótese la presencia de cavidades miarolíticas (saeta blanca). **e)** Aspecto típico de afloramiento de las venas de pseudotaquilita. Nótese el adelgazamiento (saeta) de la vena. **f)** Bandeamiento de la vena como evidencia de la estructura de flujo. Nótese la presencia de cavidades miarolíticas (saeta blanca) en la roca caja y de márgenes de enfriamiento en la vena.



**FIGURA 6.** Características petrográficas de las venas de pseudotaquilita. **a)** Vena de pseudotaquilita (**Pst**) con márgenes de enfriamiento opacas y paredes corroídas (saetas). Nótese la presencia de abundantes clastos líticos redondeados y angulares de fragmentos de la roca caja correspondientes a cristales de cuarzo (**Qtz**) y feldespato potásico (**Kfs**) aislados y en agregados cristalinos, además de cristales de óxidos (magnetita e ilmenita) envueltos en una matriz oscura de grano fino. Luz polarizada plana. **b)** Venas de Falla. Venas generadas sobre una superficie de cizalla con evidencia petrográfica de un origen fundido. Luz polarizada plana. **c)** y **d)** Fragmentos de policristalinos de cuarzo y feldspatos con tamaños de grano grueso a muy fino embebidos en pseudotaquilita. Luz polarizada plana (c) y cruzada (d). **e)** Vena de Inyección. Nótese la presencia de márgenes de enfriamiento. Luz polarizada plana. **f)** Imagen BSE de Venas de Inyección. Corresponden a venas pequeñas generadas por la inyección del material y que se desprenden en alto ángulo en relación a las venas de falla. Luz polarizada plana.



**FIGURA 7.** a) Márgenes de enfriamiento entre la vena de pseudotaquilita y la roca encajante. Las flechas indican la margen de enfriamiento. Nótese la presencia de bordes corridos e inyecciones. Luz polarizada plana. b) Venas de inyección. Luz polarizada plana. c. Bandas de flujo microscópico. Luz polarizada cruzada. d. Microlitos de biotita (Bt) en venas. Luz polarizada plana. e. Deformación en feldespato potásico (Kfs) y plagioclasa (Pl). Mag: Magnetita. Luz polarizada cruzada. f. Bordes corroídos, cóncavos y redondeados. Luz polarizada plana. g. Clastos líticos embebidos por la matriz. Luz polarizada plana. h. Amígdulas cloritizadas (Chl). Luz polarizada plana. Tomado de Cuéllar (2007).



**FIGURA 8.** Imágenes Backscattered Electron (BSE) de pseudotaquilitas (Pst). a) Vena de inyección de pseudotaquilita con fracturas tipo “placa de vidrio” (centro de la imagen) y microlitos de plagioclasa (sector inferior derecho de la imagen); b) Contacto entre una vena de pseudotaquilita y un cristal de feldespato potásico (Kfs).

que logran superar las 200 micras.

## DISCUSIÓN

Las evidencias petrográficas como márgenes de enfriamiento opacos; venas de inyección; bandas de flujo macroscópico y microscópico en la matriz; microlitos de biotita en venas, deformación en feldespato potásico y plagioclasa; bordes de los cristales y agregados cristalinos; bahías de corrosión; recristalización; clastos líticos embebidos por la matriz; amígdulas; microlitos de plagioclasa sódica; fracturas tipo “placa de vidrio” en venas de inyección y vacuolas en vidrio silicificado; texturas de desvitrificación como lo son esferulitos, microlitos, frentes de hidratación, globulitos, y la naturaleza anisotrópica de la matriz; presencia de cristales de magnetita e ilmenita en las venas; al igual que los resultados químicos que prueban que la composición de los microlitos de feldespato presenta altos contenidos de  $\text{Na}_2\text{O}$  con respecto al  $\text{CaO}$  (que en algunos casos está ausente) sugieren la generación de pseudotaquilitas debidas a fricción por fallamiento sísmico.

El color opaco de la matriz en las venas es debido al alto contenido de óxidos (FIGURAS 6, 7), los cuales, a su vez, están relacionados con el aumento en la cristalinidad de las pseudotaquilitas (Philpotts, 1964). La presencia de una débil birrefringencia, esferulitos, globulitos y frentes de hidratación (Lofgren, 1971a, b) evidenciados por el desarrollo de fracturas en “placa de vidrio” (Nieto-Samaniego *et al.*, 2003), sugieren la presencia de agua, la cual puede ser aportada por la fusión de micas (biotita y mica blanca), durante la formación de pseudotaquilita por fricción en el evento sísmico. Las pseudotaquilitas aprovechan las microfracturas transgranulares para su emplazamiento como venas de inyección a partir de las

venas de falla, las cuales pueden ser generadas durante el evento sísmico o pueden corresponder a microfracturas anteriores al evento tectónico. La forma de presentación de las venas de pseudotaquilita en las muestras analizadas como venas de falla y venas de inyección concuerdan con las clasificaciones de Sibson (1975), Magloughlin & Spray (1992), Wenk *et al.* (2000), Di Toro *et al.* (2005), y Barker (2005) para las venas.

De acuerdo con las evidencias petrográficas y las relaciones encontradas para las pseudotaquilitas estudiadas, el mecanismo generador de pseudotaquilitas es detonado por la ocurrencia de un evento tectónico que da inicio a la ocurrencia de ondas sísmicas, las cuales, al pasar a través de la roca con incremento en la tasa de deformación, se asocian a zonas de cizalla friccional, y ocasionan un fracturamiento inicial del material con desarrollo de pulverización y fusión cuando el calor no es disipado rápidamente, formando pseudotaquilitas por un enfriamiento rápido del fundido generado (Wenk *et al.*, 2000) durante la deformación frágil de la roca, por encima de la zona de transición del cuarzo, a profundidades menores de 12 Km, en la zona sismogénica de fallamiento frágil (Swanson; 1992). Se asocian con actividad sísmica (Sibson, 1975, 1977, 1980; Snoko, *et al.*, 1998; Takagi *et al.*, 2000; Barker, 2005), y son formadas durante episodios de deslizamiento sísmico (Barker, 2005). Adicionalmente se encuentran comúnmente con cataclasitas (Philpotts, 1964; Sibson, 1975; Anderson *et al.*, 1983; Magloughlin & Spray, 1992; Hibbard, 1995; Takagi *et al.*, 2000; Wenk *et al.*, 2000; y Barker, 2005), y sugieren la existencia de sismos con órdenes de magnitud pequeños (Barker, 2005).

## CONCLUSIONES

Con base en lo reportado en este trabajo se puede sugerir para el Sistema de Fallas de Bucaramanga: 1) Las pseudotaquilitas se generan en cataclasitas asociadas a los intervalos transpresivos del SFB, en los sectores en donde ocurren saltos a la derecha en segmentos relacionados a la zona de falla; 2) La ocurrencia de movimientos sísmicos con profundidades menores a 12 Km como mecanismo detonador de la formación de pseudotaquilitas, con base en las microestructuras y las rocas de falla en las que se emplazan; 3) Teniendo en cuenta lo descrito por Sibson (1975) en lo referente al significado paleosísmico de las pseudotaquilitas, la zona en la que se encuentran testifica en favor del desarrollo de actividad sísmica asociada con el SFB localizado al Noreste del Municipio de Pailitas - Departamento del Cesar, Colombia, el cual pondría en riesgo a las comunidades aledañas al SFB por la ocurrencia de movimientos telúricos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo manifiestan sus más sinceros agradecimientos a INGEOMINAS, en especial al Proyecto "Modelo Geológico Integral y Potencial de Recursos en el Territorio Colombiano", por el apoyo económico y logístico del mismo en el momento de la realización de las transectas estructurales. Adicionalmente agradecemos al Profesor Uwe Altemberger de la Universidad de Postdam, Alemania, por sus aclaraciones y sugerencias, y al profesor Andreas Kammer de la Universidad Nacional de Colombia por las discusiones relacionadas con el origen y características de las pseudotaquilitas.

## REFERENCIAS

Allen, A. R. 1979. Mechanism of frictional fusion in fault zones. *Journal of Structural Geology*, 1(3): 231-243.

Anderson, J. L., Osborne, R. H. and Palmer, D. F. 1983. Cataclastic rocks of the San Gabriel Faults – An expression of deformation at deeper crustal levels in the San Andreas Fault Zone. *Tectonophysics*, 98: 209-251.

Barker, A. J. 1994. *Introduction to Metamorphic textures and microstructures*. Blackie Academic and Professional. Great Britain, 170 p.

Barker, S. L. L. 2005. Pseudotachylyte-generating faults in Central Otago, New Zealand. *Tectonophysics*, 397: 211-223.

Blenkinsop, T. 2000. *Deformation Microstructures and Mechanism in Mineral and Rocks*. Kluwer Academic Publishers, Norwel (USA), 150 p.

Chester, F. M., Friedman, M. and Logan, J. M. 1985. Foliated cataclasites. *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, Colombia. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. 106 p.

Curewitz, D. and Karson, J. F. 1999. Ultracataclasis, sintering, and frictional melting in pseudotachylytes from East Greenland. *Journal of Structural Geology*. 21: 1693-1713.

Davidson, C., Davis, K. J., Bailey, C. M., Tape, C. H., Singleton, J. and Singer, B. 2003. Age, origin, and significance of brittle faulting and pseudotachylyte along the Coast shear zone, Prince Rupert, British Columbia. *Geology*, 31(1): 43-46.

Di Toro, G. and Pennacchioni, G. Teza, G. 2005. Fault plane processes and mesoscopic structure of a strong-type seismogenic fault in tonalities (Adamello Batholiths, Southern Alps). En: Ferré, E.C., Allen, J.L. and Lin, A. Pseudotachylytes and Seismogenic Friction: Current Research. *Tectonophysics*, 402 (1-4): 55-80.

Di Toro, G., Pennacchioni, G. and Teza, G. 2005. Can pseudotachylytes be used to infer earthquake source parameters?. An example of limitations in the study of exhumed faults. En: Ferré, E.C., Allen, J.L. and Lin, A. Pseudotachylytes and Seismogenic Friction: Current Research. *Tectonophysics*, 402 (1-4): 3-20.

Hanmer, S. 1987. Textural maps-units in quartzfeldespatic mylonitic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 24: 2065-2073.

Higgins, M. W. 1971. *Cataclastic Rocks*. Geological Survey Professional Paper, 687.

Hibbard, M. J. 1995. *Petrography to petrogenesis*. Prentice Hall. New Jersey, 587 p.

- INGEOMINAS. 1988. Mapa Geológico de Colombia. Escala 1:1'500.000. Bogotá.
- INGEOMINAS-UIS. 2005. Compilación y levantamiento de la información cartográfica, geológica, geoquímica y geofísica de la Serranía de San Lucas. Acuerdo Específico N° 004 complementario al Convenio Marco de Cooperación N° 005 de 2005. Ingeominas. Bogotá.
- INGEOMINAS-UIS. 2006. Mapa Geológico de la Plancha 55 "El Banco". Bogotá.
- Julivert, M. 1968. Lexique Stratigraphique International Amerique Latine Colombia (Premiere Partie). Paris, Francia. Centre National de la Recherche Scientifique, 5(4a), 651 p. Colombie.
- 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.
- Lin, A. 1994a. Glassy pseudotachylyte veins from the Fuyun Fault Zone, Northwest China. *Journal of Structural Geology*, 16(1): 71-83.
- Lin, A. 1994b. Microlite morphology and Chemistry in Pseudotachylite, from the Fuyun Fault Zone, China. *The Journal of Geology*, 102(3): 317-329.
- Lin, A. 1996. Injection veins of crushing-originated pseudotachylyte and fault gouge formed during seismic faulting. *Engineering Geology*, 43: 213-224.
- Lin, A. 1999. Roundness of clast in pseudotachylytes and cataclastic rocks as an indicator of frictional melting. *Journal of Structural Geology*, 21: 473-478.
- Lin, A. 2008. Fossil Earthquakes: The formation and preservation of pseudotachylytes. In: *Lecture notes in Earth Sciences*. Springer. Springer-Verlag Berlin Heiderberg, 348 p.
- Lofgren, G. 1971a. Experimentally produced devitrification textures in natural rhyolitic glass. *Geological Society of America Bulletin*, 82: 111-124.
- Lofgren, G. 1971b. Spherulitic textures in glassy and crystalline rocks. *Journal of Geophysical Research*, 76(3): 5635-5648.
- Maddock, R. H. 1983. Melt origin of fault-generated pseudotachylytes demonstrated by textures. *Geology*, 11: 106-108.
- Magloughlin, J. F. and Spray, J. G. 1992. Frictional melting processes and products in geological materials: introduction and discussion. En: Magloughlin, J.F. and Spray, J.G. (Eds.), *Frictional melting processes and products in geological materials*. *Tectonophysics*, 204: 197-204.
- 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. No 3. 3er Congr. Geol. Venezuela, Memoria. Tomo 2. Caracas; pp. 685-718.
- Nieto-Samaniego, A. F., Alaniz-Alvarez, S. A. and Tolson, G. 2003. Características y criterios de identificación de las pseudotaquilitas asociadas a la Falla de los Planes, La Paz, B. C. S. *GEOS*, 23(3): 295-301.
- Ordóñez, O. 2000. Rocas en zonas de falla. *Revista Dyna*, 129: 71-76.
- Passchier, C. W. and Trouw, R. A. J. 1996. *Microtectonics*. Springer. Berlin, 289 p.
- Passchier, C. W. and Trouw, R. A. J. 2005. *Microtectonics*. Springer-Verlag. Berlin, Segunda Edición, revisada y alargada. 366 p.
- Philpotts, A. R. 1964. Origin of pseudotachylytes. *American Journal of Science*, 262: 1008-1035.
- Rowe, C. D., Moore, J. C., Meneghihi, F. and McKeirman, A. W. 2005. Large-scale pseudotachylytes and fluid cataclases from an ancient subduction thrust fault. *Geology*, 33(12): 937-940.
- Shand, S. J. 1916. The pseudotachylyte of Parijs (Orange Free State) and its relation to "trap-shotten gneiss" and "flinty crush rock". *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, 72: 198-221.
- Shelley, D. 1993. *Igneous and metamorphic rocks under the microscope*. Chapman and Hall. London, 445 p.
- Scholz, C. H. 1988. The brittle-plastic transition and the deep of seismic faulting. *Geologische Rundschau*, 77: 319-328.

- Scholz, C. H. 2006. The mechanics of Earthquakes and faulting. Second edition. Cambridge University Press. United Kingdom, 471 p.
- Sibson, R. H. 1975. Generation of pseudotachylite by ancient seismic faulting. *Geophysics Journal of the Royal Astronomic Society*, 43: 775-794.
- Sibson, R. H. 1977. Fault rocks and fault mechanisms. *Journal of the Geological Society of London*, 133: 191-213.
- Sibson, R. H. 1980. Transient discontinuities in ductile shear zones. *Journal of Structural Geology*, 2(1/2): 165-171.
- Sibson, R. H. 1983. Continental fault structure and the shallow earthquake source. *Journal of the Geological Society of London*, 140: 741-767.
- Snoke, A. W., Tullis, J. and Todd, V. R. 1998. Fault-related rocks: A photographic atlas. Princeton University Press. New Jersey, 617 p.
- Spry, A. 1969. Metamorphic textures. Pergamon Press. Great Britain, 350 p.
- Spray, J. G. 1992. A physical basis for the frictional melting of some rock-forming minerals. En: Magloughlin, J.F. and Spray, J.G. (Eds.), *Frictional melting processes and products in geological materials*. *Tectonophysics*, 204: 205-221.
- Spray, J. G. 1995. Pseudotachylite controversy: Fact or fiction?. *Geology*, 23(12): 1119-1122.
- Swanson, M. T. 1989. Fault structure, wear mechanisms and rupture processes in pseudotachylite generation. *Tectonophysics*, 204: 223-242.
- Takagi, H., Goto, K. and Shigematsu, N. 2000. Ultramylonite bands derived from cataclasite and pseudotachylite in granites, northeast Japan. *Journal of Structural Geology*, 22: 1325-1339.
- Techmer, K. S. 1998. Mesoscopic and microscopic aspects of pseudotachylite. En: Snoke, A. W., Tullis, J. and Todd, V. R. 1998. *Fault-related rocks: A photographic atlas*. Princeton University Press. New Jersey, 617 p.
- Tullis, R. J., Snoke, A. W. and Todd, V. R. 1982. Penrose conference report. Significance and Petrogenesis of mylonitic rocks. *Geology*, 10(5): 227-230.
- Tullis, J. and Yund, R. A. 1985. Dynamic recrystallization of feldspar: a mechanism for ductile shear zone formation. *Geology*, 10: 227-230.
- Vernon, R. H. 2004. A practical guide to Rock Microstructure. Cambridge University Press, First Edition. United Kingdom, 594 p.
- Ward, D., Goldsmith, R., Cruz, J., Jaramillo, L. y Vargas, R. 1973. Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona, Departamento de Santander. *Ingeominas. Boletín Geológico Bogotá*, 21(1-3): 1-32.
- Wenk, H. R., Johnson, L. R. and Ratschbacher, L. 2000. Pseudotachylites in the Eastern Peninsular Ridges of California. *Tectonophysics*, 321: 253-277.
- Winter, J. D. 2001. An introduction to igneous and metamorphic petrology. Prentice Hall, 697 p.
- Wise, D. V., Dunn, D. E, Engelder, J. T., Geiser, P. A., Hatcher, R. D., Kish, S. A. Odem, A. L. and Scharnel, S. 1984. Fault related rocks: suggestions for terminology. *Geology*, 12: 391-394.

---

Trabajo recibido: agosto 4 de 2008

Trabajo aceptado: noviembre 10 de 2008