

ESTILOLITOS HORIZONTALES EN SEDIMENTITAS DEL CRETACICO DE LA CORDILLERA ORIENTAL, Y SU SIGNIFICADO TECTONICO

Jairo Mojica*

MOJICA, J. (1985): Estilolitos horizontales en sedimentitas del Cretácico de la Cordillera Oriental, y su significado tectónico.- Geol. Colombiana, 14, pp. 7-24, 15 Figs., Bogotá.

RESUMEN

Estilolitos son estructuras secundarias en forma de innumerables agujas, conos o pequeñas pirámides con estriaciones longitudinales, que se desarrollan ante todo en rocas sedimentarias. Dichas estructuras se generan, en diferentes momentos de la historia deformativa de los estratos, a partir de discontinuidades litológicas, como planos sedimentarios y diaclasas, por efecto de presiones dirigidas (efecto de presión-solución), diferenciándose dos tipos principales: estilolitos verticales (E-V) y estilolitos horizontales (E-H). Los primeros aparecen aproximadamente perpendiculares a la estratificación, los segundos más o menos paralelos a ella.

La presencia de E-H tiene un significado geológico muy importante, pues se considera que son producidos por empujes tectónicos, formándose las agujitas (= estilolitos s. str.) paralelamente a la dirección de máxima compresión (eje σ_1). Los E-V han de ser también de origen tectónico y al parecer propios sectores sometidos a distensión y fallamiento normal —caso en el cual σ_1 es vertical—, en momentos tempranos de la deformación, antes de que aparezcan los E-H; no obstante, algunos autores consideran que los E-V son consecuencia de sobrecarga litostática.

Observaciones de campo realizadas a lo largo de varios años, han permitido comprobar que los E-H son frecuentes en algunos conjuntos litológicos del Cretácico de la Cordillera Oriental Colombiana. Se trata de: a) paquetes de limolitas silíceas (porcelanitas o liditas), denominados genéricamente "Niveles de Plaeners", de la parte media del Grupo Guadalupe (Coniaciano/Santoniano - Maestrichtiano); b) pedernales oscuros ("cherts") que constituyen en buena proporción el Grupo Olini (Coniaciano-Campaniano) y las Formaciones de La Luna (Turoniano-Coniaciano), San Rafael (en parte Turoniano) e Hiló (Albiano), así como el tramo terminal de la Fm. Chipaque (Cenomiano-Coniaciano); c) areniscas cuarcíticas del sector central de la Fm. Une, entre Santa Rosa de Viterbo y Duitama.

Los resultados de las mediciones hasta ahora adelantadas en la Cordillera Oriental permiten distinguir dos regiones con arreglos particulares de las direcciones de los E-H. La primera comprende el tramo entre el S de Neiva y la terminación meridional de la Falla de Bucaramanga; en dicho tramo, la orientación de los E-H es muy constante, cercana a NW-SE, pero en algunos y escasos afloramientos se tienen también E-H con rumbos E-W y NE-SW. La segunda región comprende el sector septentrional del Macizo de Santander (alrededores de Pamplona), en donde los E-H muestran tres direcciones: una, muy notoria, de E a W, y dos subordinadas de NW a SW y de N a S.

* Universidad Nacional de Colombia

En todos los lugares se ha notado que los E-H son pre-cinemáticos a sin-cinemáticos y que la orientación de las agujas es, en general, normal a los ejes de los pliegues neogénicos; en ningún caso se ha detectado E-H post-cinemáticos. Así, los E-H deben representar direcciones de compresión de eventos acaecidos en etapas tempranas (paleogénicas) de la Orogenia Andina. La comparación de las orientaciones de σ_1 indicadas por los EH y las derivadas de estudios de diaclases recientes señala que en la región al SE de la Falla de Bucaramanga la posición de los esfuerzos compresivos no ha variado substancialmente durante el Cenozoico; por el contrario, en el área de Pamplona, ellos se han reorientado, durante el Cuaternario, hasta alcanzar la dirección actual, NW-SE.

ABSTRACT

Stylolites are secondary, conical or needle-like structures common in sedimentary rocks, and are originated at different moments of the deformative history of strata by dissolutionary effects due to directed pressures. Two main types may be distinguished: the vertical (V-S) and the horizontal stylolites (H-S). The presence of H-S is of great significance as they are supposed to be the result of tectonic pressures that align the needles (stylolites s. str.) in the direction of maximal compression (axis σ_1). The V-S appear to have relationship with tectonic processes and are considered to be a consequence of vertical pressures resulting from normal faulting, forming before the H-S, at early deformation stages. Although some authors consider that the V-S derive from solution of rock material due to pressure of the overburden.

Field studies show that the cherts present mainly in the upper Cretaceous sequence of the Colombian Eastern Cordillera contain numerous H-S, usually well developed, and lesser, smaller V-S. The H-S occur mainly in the central part of the Guadalupe Group (Coniacian/Santonian - Maestrichtian), the Olini Group (Coniacian-Campanian) and the top of the Chipaque Formation (Cenomanian-Coniacian); they are also found in the dark cherts of the Hiló (Albian), La Luna (Turonian-Coniacian) and San Rafael (Turonian in part) Formations. H-S were also found out at one place in quartzitic sandstones of the "Une Formation", between Duitama and Santa Rosa de Viterbo.

The results of measures carried out until now show that along the Eastern Cordillera there are two different assemblages of the H-S. The first one comprises the sector between SW Neiva and the southern termination of the Bucaramanga Fault, an important oblique slip of left lateral sense. The H-S orientations in this region are very regular, from NW to SE; subordinated NW-SW and E-W directions are also present at few outcrops. The second region corresponds with the northern part of the Santander Massif, (Pamplona area) where the H-S display three directions: a very conspicuous E-W, a less frequent NE-SW, and a scarce one N-S.

The relation between the stylolitic surfaces and the bedding planes indicates that the H-S are pre-cinematic to sin-cinematic (no post-cinematic ones have been found), the direction of the needles being normal to the b axis of folds. These facts suggest that the H-S represent compressive processes occurred in the early stages (Proto-Andine Phase) of the Andean Orogeny, during the Middle-Upper Eocene.

Comparison of the compression directions deduced from H-S with those derived from study of recent joints shows a re-orientation of stress (to NW-SE) in the Pamplona area during the Quaternary.

INTRODUCCION

En Julio de 1980 el autor reconoció estilolitos horizontales (abreviado E-H) en un afloramiento del Cretácico Superior de los alrededores de la Sabana de Bogotá. El lugar en cuestión está localizado al NE de Bogotá (Figs. 1 y 2), aproximadamente en el km 2,5 de la vía a La Calera. Allí los E-H aparecen en un paquete de porcelanitas (= lutitas silíceas) con intercalaciones

de arcillolitas grises, que buzan unos 35° hacia el NW, y que por su posición estratigráfica corresponden a un conjunto de los así llamados "Plaeners" (= Niveles de Liditas) del Grupo Guadalupe (Coniaciano Superior o Santoniano a Maestrichtiano Inferior). Observaciones posteriores demostraron que los E-H ocurren prácticamente en todos los lugares donde se encuentran los "Plaeners" mencionados. E-H son frecuentes también, en sitios alejados de Bogotá, en:

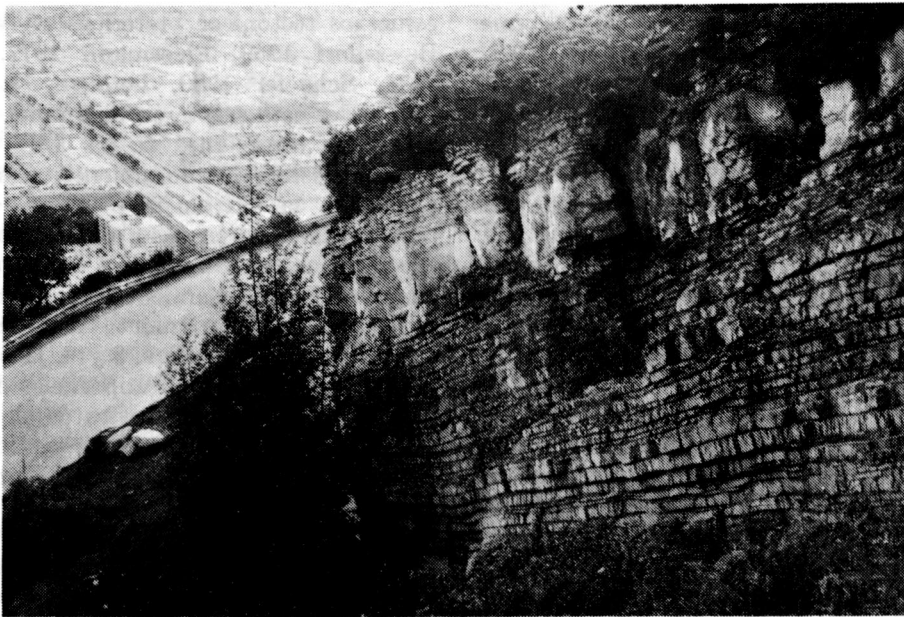


Fig. 1 Afloramiento de la Fm. Plaeners (Gr. Guadalupe) en la vía de Bogotá (al fondo) a La Calera. Nótese la estratificación en capas delgadas y el fracturamiento pronunciado. Estratos: 310/30.



Fig. 2 Estilolitos horizontales (superficies rugosas en la punta de la escala) en el lugar de la fig. 1. Nótese el espaciamiento irregular de las juntas estilolíticas y su terminación al llegar a las intercalaciones arcillosas, blandas. Longitud de la escala: 15 cm.

a) conjuntos de pedernales oscuros ("cherts") que constituyen en buena proporción el Grupo Olini (Coniaciano-Campaniano) al oeste de Villeta (Cundinamarca), la Fm. La Luna (Turoniano-Coniaciano) de las regiones de Pamplona y Gámeza, la Fm. San Rafael (parcialmente turoniana) al SSE de Villa de Leiva (Boyacá) y la Fm. Hiló (Albiano) en las cercanías de Sasaima (Cundinamarca). b) Tramos lidítico-fosfáticos del tope de la Fm. Chipaque (Cenomaniano-Coniaciano) al E de Bogotá, y de la parte terminal de la "Fm. Villeta" (Cenomaniano-Coniaciano) de las regiones de Prado-Dolores, Neiva y Yaguará (Departamentos del Tolima y Huila). E-H se encontraron así mismo en un punto entre Duitama y Santa Rosa de Viterbo (Boyacá), en areniscas de la parte media de la "Fm. Une". Las descripciones de las unidades mencionadas se hallan en su mayoría en Julivert (1968); en los casos de las Formaciones San Rafael y Une, véase Etayo (1968) y Renzoni et al. (1983), respectivamente.

Los E-H han sido usados exitosamente en otros países —ante todo europeos— para determinar

esfuerzos tectónicos pretéritos (v. Wagner 1964, Beiersdorf 1969, Plessmann 1972, Wunderlich 1974, Schaefer 1980, Letouzey & Trémolieres 1980). Por esta razón, en Colombia, se procedió a medir las direcciones de los E-H en el mayor número posible de afloramientos, con el ánimo de establecer la existencia o no de orientaciones preferenciales y, en caso afirmativo, su relación espacio-temporal con los ejes de plegamiento y los sistemas de diaclasamiento. Para ello, se tomó, en cada uno de los afloramientos listados en la tabla 1 y localizados en las Figs. 3 y 4, la orientación de los E-H en unas 25 a 30 superficies diferentes, así como la dirección de los estratos, de las diaclasas lisas y la de las superficies estilolíticas (v.m. adelante). Para este fin se utilizó una brújula de doble círculo (brújula de Clar), que permite leer con facilidad la dirección (expresada en azimut) y el ángulo de buzamiento de los planos y de las estructuras lineares, en este caso los E-H. Los datos obtenidos en cada sitio fueron tabulados y representados gráficamente utilizando una red estereográfica; los resultados se llevaron luego a mapas locales y regionales.

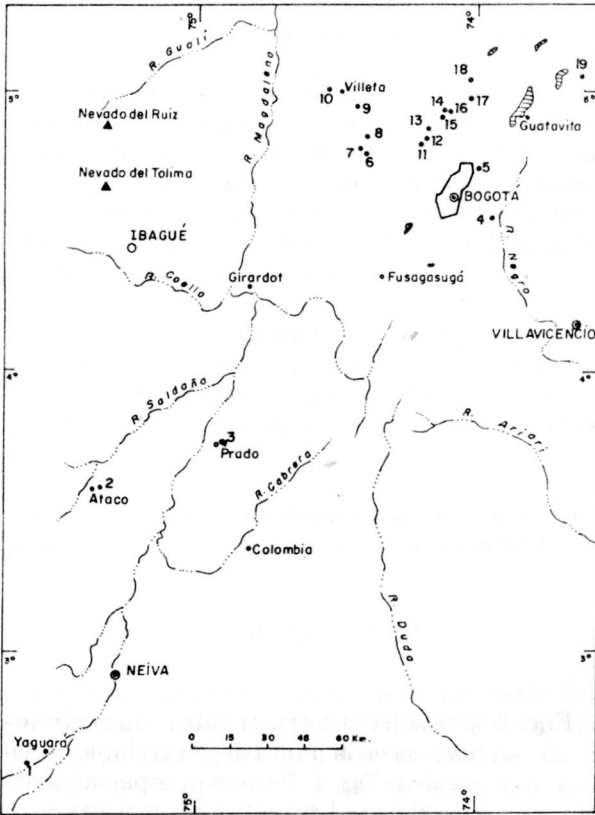


Fig. 3 Localización de los afloramientos 1 a 19.

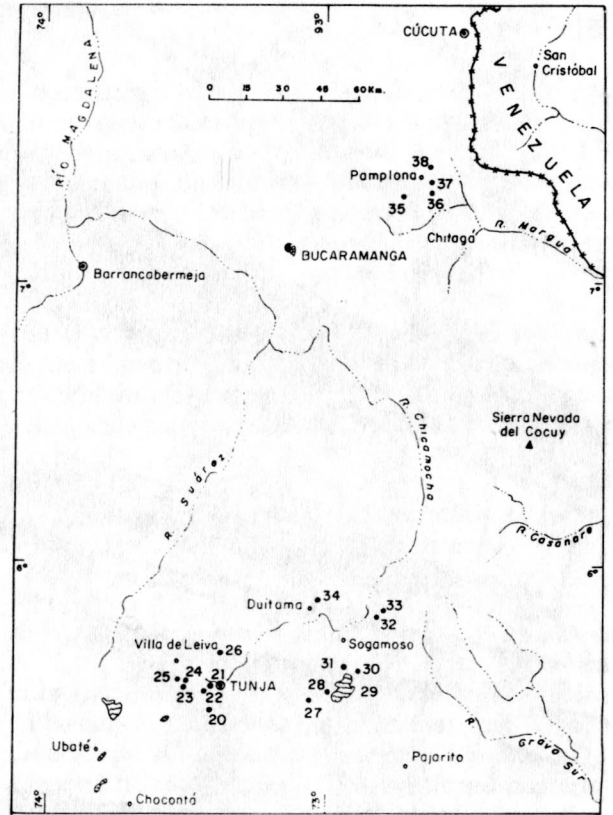


Fig. 4 Localización de los afloramientos 20 a 38.

TERMINOLOGIA

Teniendo en cuenta que el tema de los E-H es poco conocido en Latinoamérica, y que la bibliografía respectiva en idioma castellano es prácticamente inexistente, resulta apropiado presentar un resumen sobre la terminología usada en este trabajo, y una reseña corta sobre las ideas actuales acerca del origen de los estilolitos. La aclaración de la terminología seguida es un factor decisivo para la comprensión, porque en la literatura se encuentran definiciones encontradas sobre lo que debe entenderse por estilolitos, estilolitos horizontales y verticales, etc. Tal es el

caso de las definiciones de Wagner (1964), Plessmann (1972) y Letouzey & Trémolieres (1980) enfrentadas a las de Park & Schot (1968).

Los estilolitos (del griego *stylos* = aguja, *columna*; *lithos* = roca) son estructuras secundarias en forma de pequeñas, numerosas y casi siempre paralelas agujas, conos o pirámides con estriación longitudinal, que se desarrollan a partir de discontinuidades litológicas como planos sedimentarios o diaclasas; una vez terminado el proceso de estilolitización, dichas discontinuidades adquieren una topografía accidentada, caracterizada por su perfil zigzagueante, semejante al de las suturas de los huesos craneanos.

Tabla 1. Afloramientos investigados con estilolitos horizontales. Localización: Figs. 3 y 4

Afloram.	Litología/Unidad	Localidad
1	Plaeners/Gr. Guadalupe	Río Yaguará, sitio El Boquerón, 8 km al SW de Yaguará.
2	Plaeners/Gr. Guadalupe	Camino a Balsillas, 2.5 km al E de Ataco.
3	Plaeners/Gr. Guadalupe	Vía Prado-Represa Hidropardo, entrada al túnel.
4	Cherts negros, tope Fm. Chipaque	Vía Bogotá-Choachí, 400 m antes de Q. El Raizal; h = 2.790 m.
5	Plaeners/Gr. Guadalupe	Vía Bogotá-La Calera, km 2.5
6	Plaeners/Gr. Guadalupe	Vía Bogotá-Zipacón-Cachipay, 9.5 km adelante de Zipacón; h = 2430 m.
7	Plaeners/Gr. Guadalupe	Vía Bogotá-Cachipay, 12.5 km adelante de Zipacón; h = 2.270 m.
8	Plaeners/Gr. Guadalupe	Vía Bogotá-Villeta, 2.5 adelante del puerto (= Alto La Tribuna).
9	Limolitas silíceas/Fm. Hiló, Gr. Villeta	Vía Bogotá-Villeta, km 70.4, 1.5 km al S de Sasaima; h = 1.630 m.
10	Cherts negros fosfáticos/Gr. Guadalupe (= Gr. Olini)	Q. La Bolsa, 6 km al W de Villeta.
11	Plaeners/Gr. Guadalupe	"Autopista Bogotá-Medellín", km 12, Cantera El Cajón.
12	Plaeners/Gr. Guadalupe	Vía Bogotá-Tenjo, 200 m al N de la Capilla Olaya Herrera, casa Chitasugá.
13	Plaeners/Gr. Guadalupe	Vía Bogotá-Subachoque, cantera costado N, 9 km antes de Subachoque.
14	Plaeners/Gr. Guadalupe	Vía Subachoque-Tabio, 100 m antes de la divisoria de aguas.

Afloram.	Litología/Unidad	Localidad
15	Plaeners/Gr. Guadalupe	Camino real Subachoque-Tabio, 500 m antes de la divisoria de aguas.
16	Plaeners/Gr. Guadalupe	300 m al E del afloramiento 14.
17	Plaeners/Gr. Guadalupe	Vía Bogotá-Zipacquirá, 4 km al N de Cajicá.
18	Plaeners/Gr. Guadalupe	Vía Zipacquirá-Pacho, km 5.
19	Plaeners/Gr. Guadalupe	Vía El Sisga-Guateque, km 13, h = 2.290 m.
20	Plaeners/Gr. Guadalupe	Vía Bogotá-Tunja, km 125.1, 600 m adelante del Puente de Boyacá.
21	Plaeners/Gr. Guadalupe	Vía Tunja-Villa de Leiva, km 10, Alto El Volador; h = 2.980 m.
22	Plaeners/Gr. Guadalupe	Cucaita, cerros 1.5 km al SW.
23	Limolitas silíceas/Fm. San Rafael	Vía Tunja-Villa de Leiva, Q. Churuvita, aguas arriba aprox. 1.5 km.
24	Limolitas silíceas/Fm. San Rafael	Vía Tunja-Villa de Leiva, costado N del puente sobre la Q. Churuvita.
25	Plaeners/Gr. Guadalupe	Vía Tunja-Villa de Leiva, 0.5 km por la desviación a Samacá.
26	Plaeners/Gr. Guadalupe	Vía Tunja-Arcabuco, km 16.
27	Plaeners/Gr. Guadalupe	Mina de Fosfatos de Pesca, aprox. 12 km al SE de Pesca.
28	Plaeners/Gr. Guadalupe	Vía Sogamoso-Iza-Tota, Río Tota, 2 km antes de Cúitiva.
29	Plaeners/Gr. Guadalupe	Laguna de Tota, 3 km al N de Aquitania.
30	Plaeners/Gr. Guadalupe	Vía Sogamoso-Pajarito, km 19.3.
31	Plaeners/Gr. Guadalupe	Vía Sogamoso-Lago de Tota, km 10.7.
32	Cherts/Fm. La Luna	Río Gámeza, 3 km al S de Gámeza.
33	Cherts/Fm. La Luna	3 km al E de Gámeza, h = 2.830 m.
34	Areniscas/Fm. Une	Vía Duitama-Santa Rosa, km 6.8.
35	Cherts/Fm. La Luna	Vía Pamplona-Bucaramanga, sitio Armenia. Partida a Mutiscua.
36	Cherts/Fm. La Luna	Vía Pamplona-Chigatá, km 15 (aprox.).
37	Cherts/Fm. La Luna	Vía Pamplona-Chigatá, km 2.5
38	Cherts/Fm. La Luna	Vía Pamplona-Cúcuta, km 3.5.

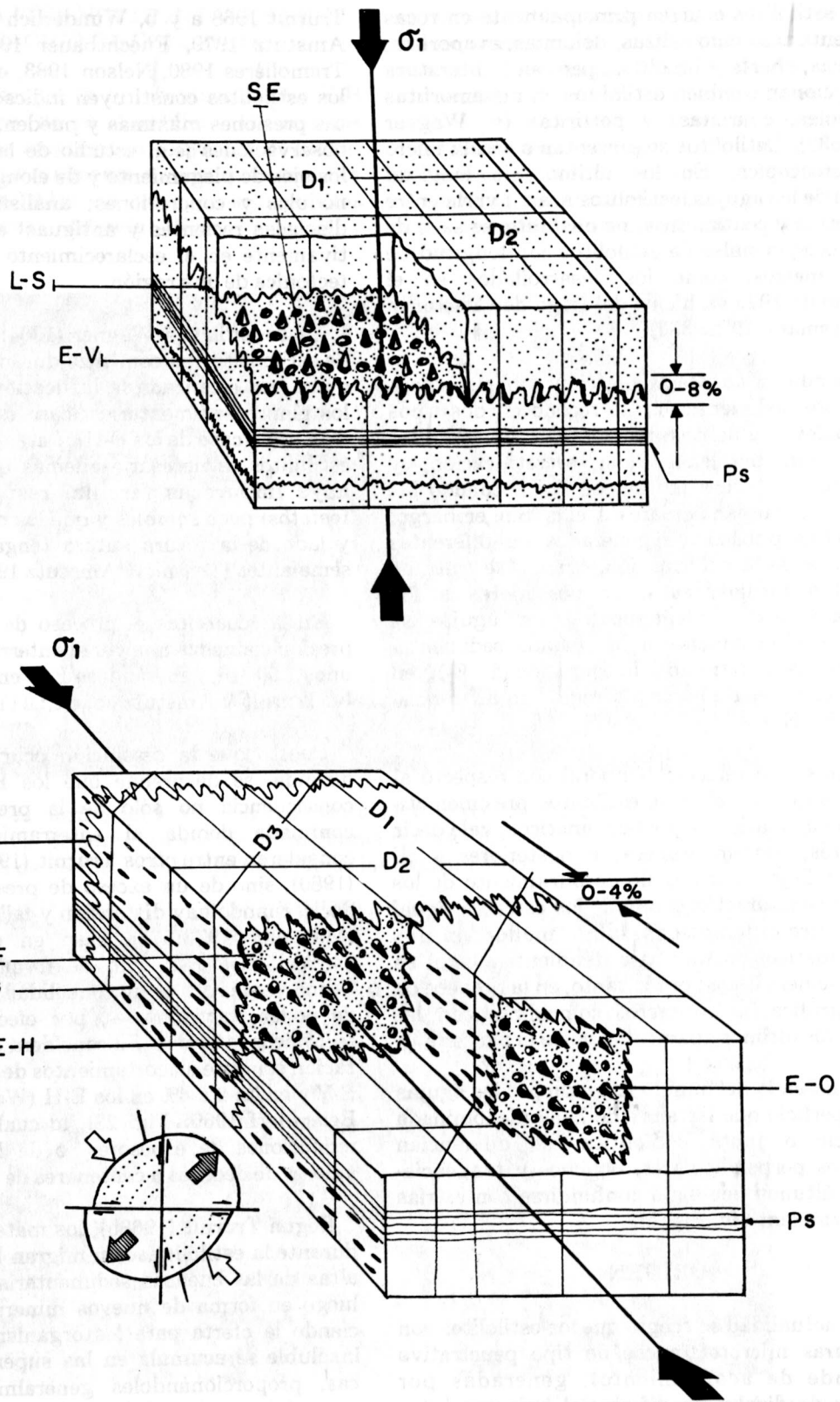


Fig. 5 Esquema que muestra la diferencia entre estilolitos verticales (arriba) y estilolitos horizontales (abajo). D1, D2, D3: diaclasas lisas; LS: línea de sutura; PS: plano sedimentario; SE: superficie estilolítica.

Los estilolitos ocurren principalmente en rocas sedimentarias como calizas, dolomías, evaporitas, areniscas, cherts y limolitas, pero en la literatura se mencionan también estilolitos en metamorfitas (mármoles, cuarcitas) y porfiritas (v. Wagner 1964: 532). Estilolitos se presentan a escala micro y macroscópica. En los últimos, la longitud normal de las agujas (estilolitos s. str.) varía entre milímetros y centímetros; no obstante, se sabe de casos excepcionales de estilolitos con longitud de varios metros, como los desarrollados en el invierno de 1929 en hielos del Lago de Constanza (v. Plessmann 1972: 337).

Teniendo en cuenta la posición con respecto a los planos sedimentarios, se reconocen dos tipos principales: estilolitos horizontales, cuando las agujas son paralelas a la estratificación, y estilolitos verticales (abreviado E-V), cuando las agujas son perpendiculares a ella. Sin embargo, como ellos pueden ser generados en diferentes momentos de la deformación, cuando se trata de estilolitos tardíos, es decir posteriores a los basculamientos o plegamientos, las agujas se producen oblicuamente a los planos sedimentarios; en casos extremos, la aparición de E-H en capas verticales da lugar a arreglos no diferenciables de los E-V.

Según sea la relación temporal con respecto al plegamiento, se habla de estilolitos pre-cinemáticos, sin-cinemáticos y post-cinemáticos, vale decir anteriores, contemporáneos, o posteriores a él. Ello se refleja en el ángulo de buzamiento de los E-H, en comparación con el de los estratos: igual en los pre-cinemáticos, algo menor en los sin-cinemáticos, y muy bajo (tendiente a cero) en los post-cinemáticos; por lo tanto, en la proyección estereográfica, los primeros coincidirán con las capas y los últimos aparecerán hacia la periferia.

Dependiendo del ángulo formado por las agujas y la superficie que las sirve de base (denominada superficie o junta estilolítica, se diferencian estilolitos perpendiculares, oblicuos y tangenciales; los últimos tienden a confundirse con estrías de deslizamiento (v. Fig. 5).

ORIGEN

En la actualidad se acepta que los estilolitos son estructuras microtectónicas de tipo penetrativo (por ende de acortamiento), generadas por procesos de disolución diferencial bajo presiones dirigidas, orientándose las agujas paralelamente al eje de máxima compresión σ_1 (Heald 1955, Wagner 1964, Plessman 1972, Park & Schot 1968,

Trurnit 1968 a y b, Wunderlich 1975, Trurnit & Amstutz 1979, Fuechtbauer 1979, Letouzey & Trémolières 1980, Nelson 1983, entre otros). Así, los estilolitos constituyen indicadores de pretéritas presiones máximas y pueden, junto con otras observaciones (e.g. estudio de las direcciones de los ejes de plegamiento y de elongación de fósiles, nódulos y concreciones; análisis estadístico de diaclasas recientes y antiguas) ayudar significativamente en el esclarecimiento de la evolución tectónica de una región.

De acuerdo con Wagner (1964: 532), el proceso de estilolitización comienza durante la diagénesis, o una vez alcanzada la litificación, aprovechando los planos sedimentarios (caso de los E-V) o las diaclasas (caso de los E-H). Para que se produzcan estilolitos es necesario además que en las rocas haya impurezas (arcilla, restos carbonosos, fosfatos) poco solubles y que los materiales a lado y lado de la futura sutura tengan solubilidades semejantes (Trurnit & Amstutz 1979: 1111).

En las cuarcitas el proceso de disolución bajo presión comienza una vez el enterramiento alcanza unos 1.000 m, generándose E-V en primer término (v. Trurnit & Amstutz op. cit.: 1110).

Puesto que la disolución ocurre bajo presión dirigida, se desprende que los E-V han de ser consecuencia no sólo de la presión litostática confinada debida al enterramiento, como lo consideran entre otros Trurnit (1968b) y Schaefer (1980), sino de un exceso de presión vertical, es decir, cuando hay distensión y fallamiento normal (Mattauer 1976:375), caso en el cual σ_1 es vertical. Los E-H han de formarse más tarde —una vez la roca se ha consolidado hasta el punto de poder fracturarse—, por efecto de empujes tectónicos laterales. Se considera que la estilolitización conduce a acortamientos de hasta 8% en los E-V y hasta 2 a 4% en los E-H (Wagner 1964:536; Beiersdorf 1969: Fig. 28), lo cual se traduce en reducciones de espesores, o de longitudes, con valores de decenas a centenares de metros.

Según Trurnit (1968b), los materiales disueltos durante la estilolitización migran hacia las partes altas de las cuencas sedimentarias, precipitando luego en forma de nuevos minerales, o enriqueciendo la oferta para los organismos; el residuo insoluble se acumula en las superficies estilolíticas, proporcionándoles generalmente un color oscuro a negro, y puede ser rico en minerales cuya concentración inicial era baja. Trurnit & Amstutz (1979:1121) opinan que muchos yacimientos sedimentarios deben su origen a este mecanismo.

LOS ESTILOTITOS HORIZONTALES EN EL CRETACICO DE COLOMBIA

Como se mencionó en la introducción, los E-H en el Cretácico de la Cordillera Oriental se presentan, en su mayoría, en conjuntos de lutitas silíceas, y excepcionalmente en areniscas cuarcíticas. Se trata en todos los casos de sedimentitas con estratificación delgada (Figs. 1 y 2) y

persistente laminación interna que controlan, respectivamente, la longitud de las suturas y la altura de las agujas (v.m. adelante). Los E-H aparecen por lo común sobre superficies "planas" (Fig. 6), en las cuales, aún en una misma capa, el relieve de las agujas puede alcanzar desde fracciones de milímetro hasta casi un centímetro (Fig. 7); la distancia entre las juntas estilolíticas varía irregularmente desde unos pocos centíme-



Fig. 6 Estilolitos horizontales en el afloramiento 11 (Cantera El Cajón; Fm. Plaeners). Nótese la abundancia de superficies estilolíticas (caras rugosas menos iluminadas) y su relación con los sistemas de diaclasas lisas. Orientación de las capas: 95/35; longitud de la escala: 42 mm.



Fig. 7 Superficie estilolítica (bajo la escala) con desarrollo desigual de E-H: La altura de las agujas decrece a lado y lado de la escala. Nótese las diaclasas lisas y el aspecto bandedo de la superficie estilolítica. Afloramiento 11 (Cantera El Cajón, Formación Plaeners). Longitud de la escala: 42 mm.

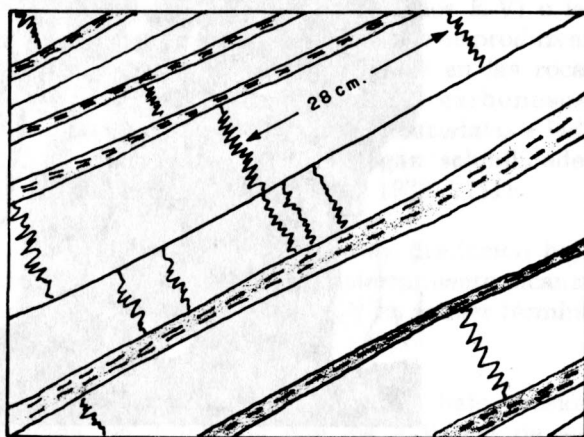
tros hasta tres o más decímetros (Figs. 2 y 3). Los estilolitos se restringen a las capas silíceas, es decir, se interrumpen al llegar a las intercalaciones arcillosas o de shales, sin que se manifieste una correspondencia estricta en la cantidad de suturas en una y otra capa. De otro lado, según se aprecia en las figuras 2 y 6, cuando de E-H se trata, las juntas estilolíticas son siempre perpendiculares a la estratificación, al contrario de las superficies con E-V, siempre paralelas a ella. Dichas relaciones se mantienen aún en estratos plegados, lo cual significa una rotación de las superficies estilolíticas en igual proporción que las capas, y demuestra que se está ante estilolitos precinemáticos a sin-cinemáticos (v. Fig. 9).

En una misma superficie estilolítica se observan muchas veces E-H, con diferentes alturas, alineados por tamaños (Fig. 7). Se trata seguramente de una geometría controlada por los cambios de composición (= cambios de solubilidad) asociados a la laminación original de las rocas. Según esto, los conos de mayor altura se desarrollan a lo largo de láminas con elevado contenido de sílice, y los más bajos en aquellas ricas en arcilla, bitumen o fosfato.

Como regla general, las superficies estilolíticas frescas contienen restos de arcilla y pátinas de óxidos o material carbonoso. La estriación de los conos es por lo común muy fina, y por lo tanto poco notoria en superficies no lavadas. En ciertos afloramientos se ven superficies con E-H agrupados en parches, es decir que ocupan tan solo partes del área disponible para su crecimiento, o que han sido reabsorbidos en algunos sectores, lo cual todavía no es claro.

En todos los sitios estudiados se nota que los E-V son menos numerosos y de menor envergadura que los E-H. En los últimos, el ángulo entre las agujas y el plano estilolítico es por lo general cercano a 90°, aunque, esporádicamente, se tienen estilolitos oblicuos o tangenciales.

La medición de la orientación de los E-H que motivan esta nota no conlleva mayores dificultades ya que, como se evidencia en las figuras 2 y 6, en los afloramientos conocidos el número de juntas estilolíticas es siempre alto. El cuadro que se obtiene es normalmente sencillo, puesto que los E-H se concentran alrededor de ciertos valores (Fig. 10) con poca dispersión. Esta depende no



□ Pedernal ≡≡≡ Lutitas bituminosas

Fig. 8 Esquema que muestra el espaciado irregular de las juntas estilolíticas, y su terminación abrupta en los cambios litológicos. Vista de perfil, afloramiento 36, en la vía Pamplona Chitagá. Capas: 230/28; E-H: 242/30.

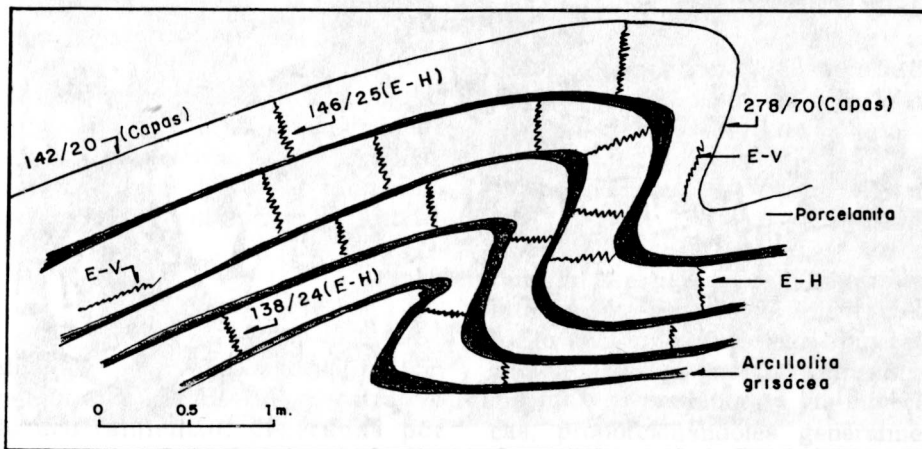
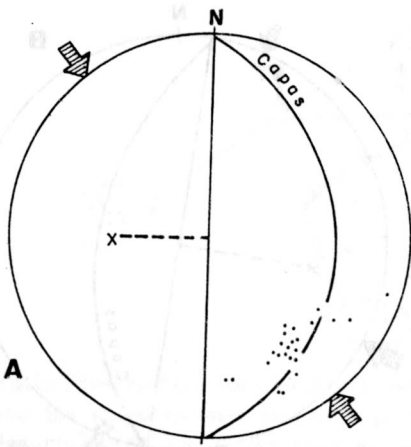
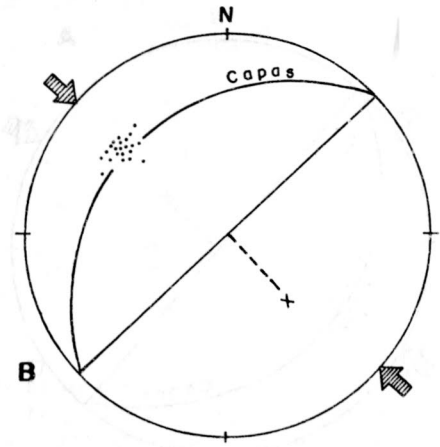


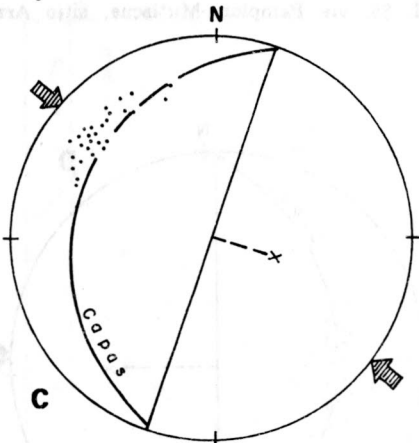
Fig. 9 Estilolitos horizontales en el afloramiento 11 (Cantera El Cajón, km 12 de la "Autopista Bogotá-Medellín"). Las superficies estilolíticas han sido rotadas en igual magnitud que los estratos; se trata entonces de E-H pre-cinemáticos a sin-cinemáticos.



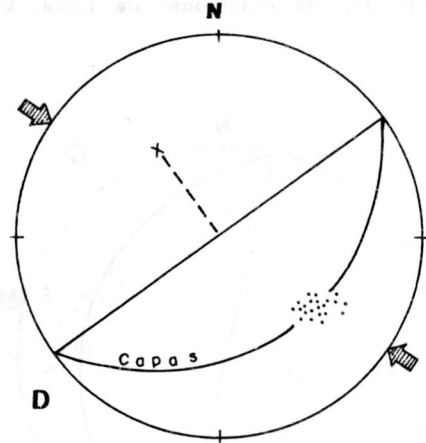
A fl. 11, Autopista Bogotá-Medellín, Cantera El Cajón.



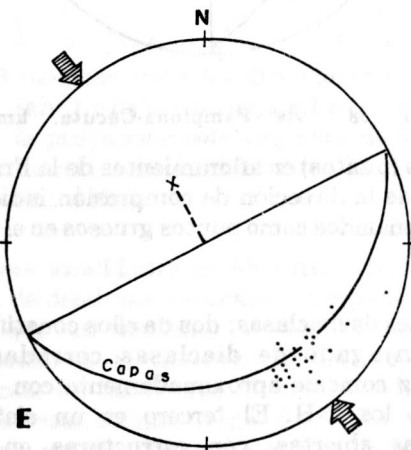
Afl. 5, Vía Bogotá- La Calera, km. 2,5.



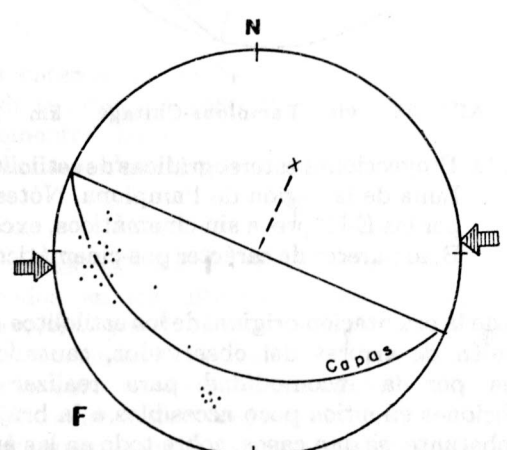
Afl. 7, vía Bogotá-Cachipay 12,5 km. adelante de Zipacón.



Afl. 21, vía Tunja-Villa de Leiva, Alto El Volador.

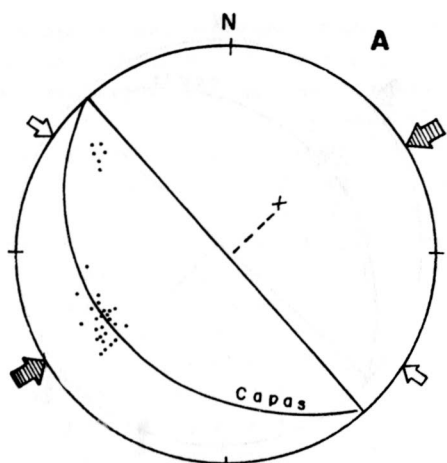


Afl. 26, VIA Tunja-Arcabuco, km. 18.

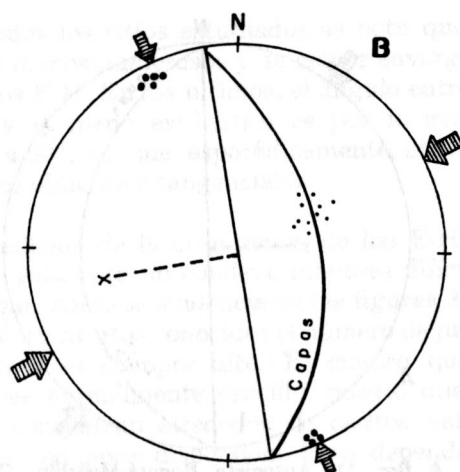


Afl. 16, vía Subachoque-Tabio, divisor de aguas

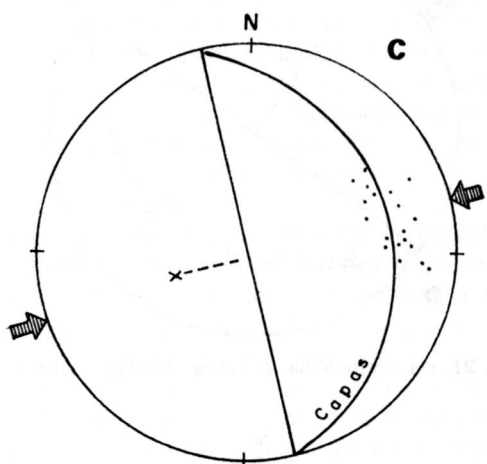
Fig. 10 Proyecciones estereográficas de direcciones de estilolitos horizontales (puntos) en algunos afloramientos de los "Niveles de Plaeners" en el Altiplano Cundi-boyacense. Las flechas indican la orientación deducida de σ_1 que generó los E-H. Estos son en su mayoría pre-a cinemáticos y en su dirección de buzamiento coincidentes con las capas. En F se aprecia una población de E-H (pre-cinemáticos) aproximadamente paralelos al rumbo de los estratos. X: Polo promedio de los estratos.



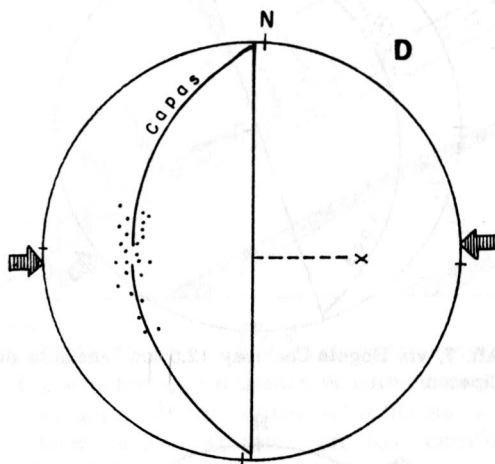
Afl. 37, vía Pamplona- La Lejía, km 2.5.



Afl. 35, vía Pamplona-Mutiscua, sitio Armenia.



Afl. 36, vía Pamplona-Chitagá, km 15



Afl. 38, vía Pamplona-Cúcuta, km 3.5.

Fig. 11 Proyecciones estereográficas de estilolitos horizontales (puntos) en afloramientos de la Fm. La Luna de la región de Pamplona. Nótese la variación de la dirección de compresión indicada por los E-H, pre- a sin-cinemáticos, excepto aquellos señalados como puntos gruesos en el caso B, al parecer de carácter pos-cinemático.

sólo de la orientación original de los estilolitos sino también de errores del observador, causados a veces por la incomodidad para realizar las mediciones en sitios poco accesibles a la brújula. No obstante, se dan casos, sobre todo en las áreas al NE de Tunja y cercanías de Pamplona, en los que, en un mismo afloramiento los E-H presentan dos concentraciones con arreglo más o menos ortogonal (Figs. 11 y 12).

La relación entre las diaclasas lisas y la orientación de los E-H no es siempre clara. En algunos lugares (Fig. 13) se tienen tres sistemas

verticales de diaclasas; dos de ellos constituyen un par conjugado de diaclasas cerradas, cuya bisectriz coincide aproximadamente con la dirección de los E-H. El tercero es un sistema de fracturas abiertas, con estructuras en pluma, también paralelas al rumbo de los E-H, que pueden ser interpretadas como diaclasas de extensión. En estos casos se obtiene un cuadro coherente de las direcciones de compresión máxima pretérita (deducida de los E-H) y reciente (indicada por la bisectriz del ángulo agudo formado por las diaclasas verticales lisas; v. Kohlbeck & Scheidegger 1977, Scheidegger 1983).

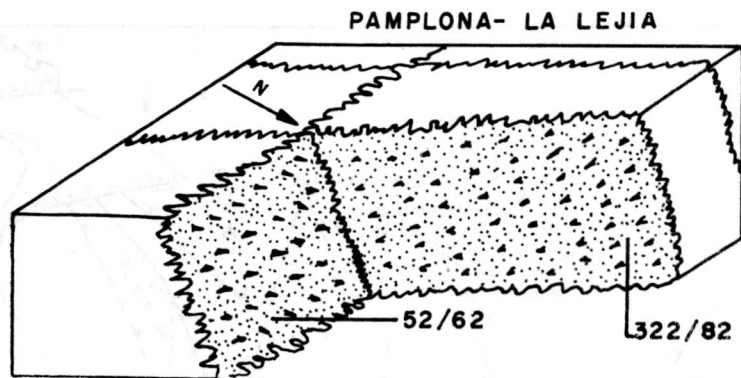


Fig. 12 Estilolitos horizontales en dos direcciones aproximadamente perpendiculares. 52/62 y 322/82 son las orientaciones de las superficies estilolíticas; la primera presenta estilolitos mejor desarrollados. Las direcciones respectivas de los E-H son 225/30 y 330/15. Afloramiento 37.

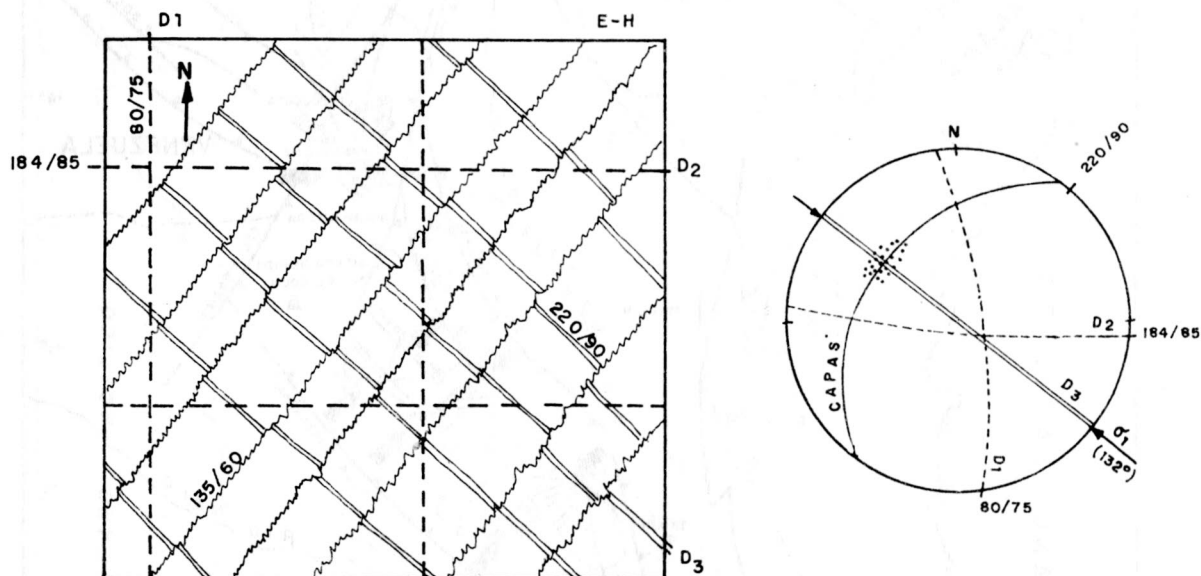


Fig. 13 Relación entre las direcciones de los E-H y tres sistemas de diaclasas en el afloramiento 5 (km 2.5 de la vía Bogotá-La Calera). A la izquierda se tiene una vista de planta; a la derecha, la proyección estereográfica de los diferentes elementos. D1 y D2 conforman un sistema de diaclasas de cizallamiento. D3 es un sistema de diaclasas de extensión, paralelo a la dirección de los E-H.

En otras localidades se identificaron sólo dos sistemas de diaclasas verticales, arregladas de tal manera que un conjunto es aproximadamente perpendicular a la mayoría de las superficies estilolíticas, en tanto que el otro tiende a ser paralelo a estas últimas (Figs. 6 y 7). Lo anterior indica que en esos lugares no hay coincidencia entre los esfuerzos paleo- y neo-tectónicos, o que las rocas contienen planos heredados de debilidad que condicionan el arreglo de las diaclasas recientes, lo cual está aún por investigar. Vale la pena aclarar en este punto que, de acuerdo con la definición consignada en Bates & Jackson (1980:421), la neo-tectónica tiene que ver con el estudio de las estructuras corticales post-

miocénicas, es decir de los eventos deformativos ocurridos en los últimos 5 millones de años, incluyendo, por lo tanto, aquellos catalogados como "recientes", "actuales" y "presentes". En nuestro caso se trata entonces de los procesos tectónicos acaecidos luego de la fase "final" del levantamiento andino, según se describe más adelante.

RESULTADOS E INTERPRETACION

La integración de los resultados obtenidos en las 38 localidades hasta ahora investigadas muestra que las orientaciones de los E-H en las rocas cretácicas de la Cordillera Oriental constituyen

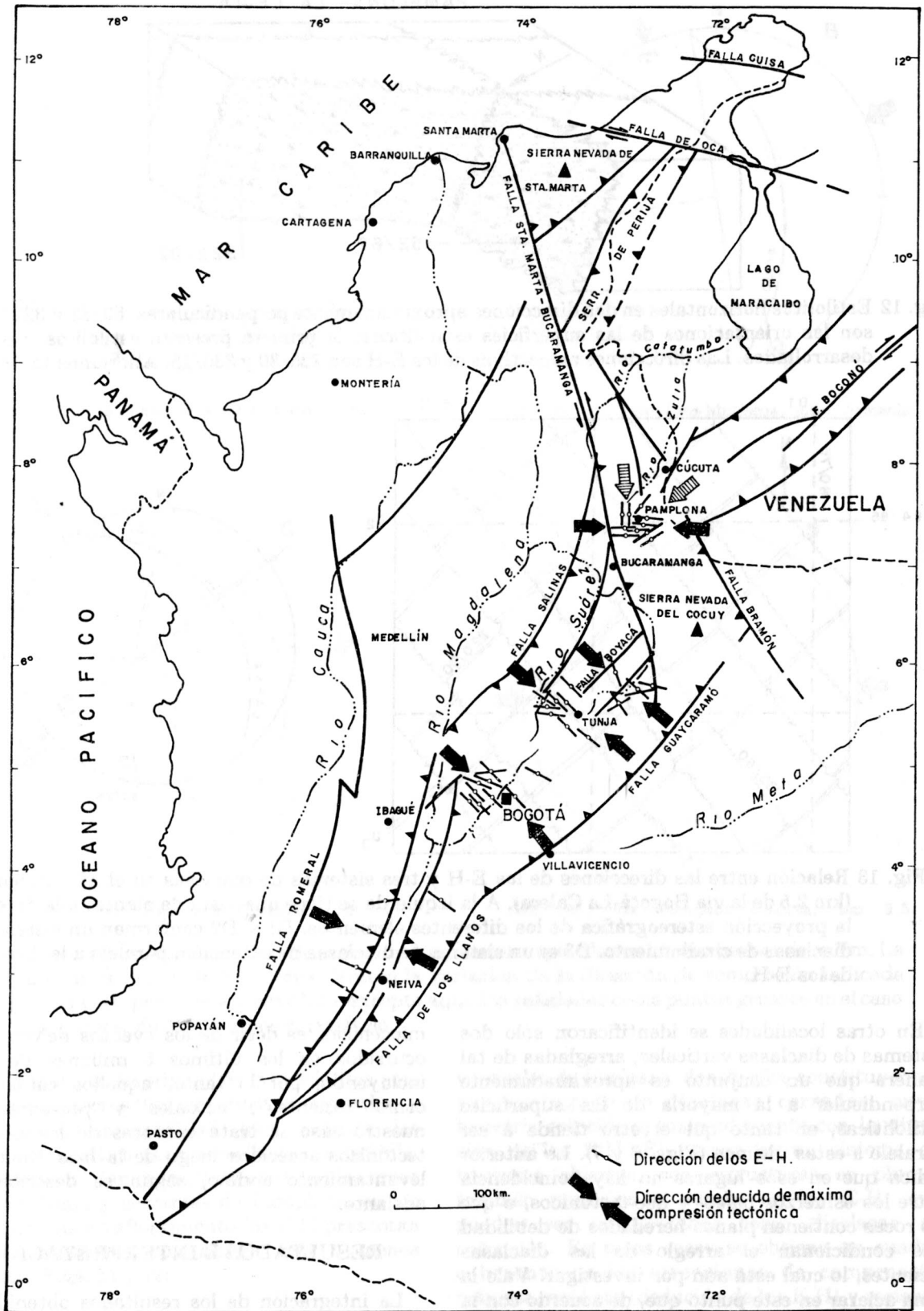


Fig. 14 Resultados de la medición de estilolitos horizontales en rocas del Cretácico de la Cordillera Oriental de Colombia.

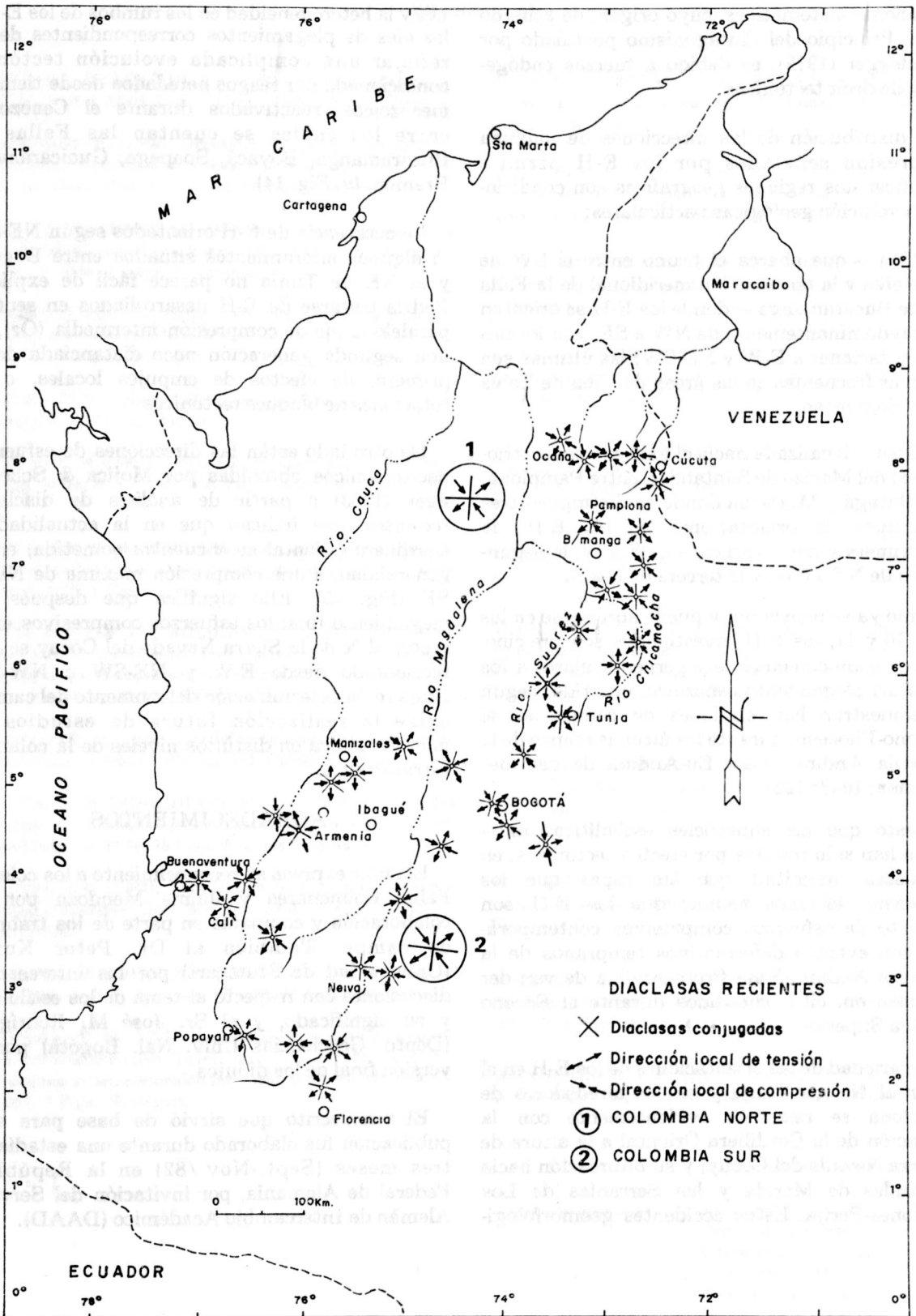


Fig. 15 Direcciones de compresión neotectónica deducidas a partir de mediciones de diaclasas recientes (según Mojica & Scheidegger 1983)

poblaciones sistemáticas, cuyo origen, de acuerdo con el Principio del Antagonismo postulado por Scheidegger (1979), es debido a fuerzas endógenas, vale decir tectónicas.

La distribución de las direcciones de máxima compresión señaladas por los E-H permite identificar dos regiones geográficas con condiciones y evolución geológicas particulares:

- a) Una —que abarca el tramo entre el SW de Neiva y la terminación meridional de la Falla de Bucaramanga— donde los E-H se orientan predominantemente de NW a SE, con locales variaciones a E-W y NE-SW; las últimas son más frecuentes en las áreas de Villa de Leiva y Sogamoso.
- b) Otra —localizada hacia el extremo septentrional del Macizo de Santander, entre Pamplona, Chitagá y Mutiscua donde se distinguen tres grupos de orientaciones de los E-H: la primera y más destacada de E a W, la segunda de NE a SW, y la tercera de N a S.

Como ya se mencionó, y puede apreciarse en las Figs. 10 y 11, los E-H investigados son pre-cinemáticos a sin-cinemáticos y perpendiculares a los ejes b del plegamiento cenozoico, ocurrido, según lo demuestran las relaciones de campo, en el Mioceno-Plioceno, durante las últimas etapas de la Orogenia Andina (Fase Eu-Andina de van der Hammen, 1958: 125).

Puesto que las superficies estilolíticas antedichas han sido rotadas por efectos tectónicos, en la misma magnitud que las capas que los contienen, debemos asumir que los E-H son producto de esfuerzos compresivos contemporáneos con eventos deformativos tempranos de la Orogenia Andina (Fase Proto-Andina de van der Hammen op. cit.), sucedidos durante el Eoceno Medio a Superior.

La variedad de las orientaciones de los E-H en el sector al NE de Tunja y en los alrededores de Pamplona se relaciona evidentemente con la desviación de la Cordillera Oriental a la altura de la Sierra Nevada del Cocuy, y su bifurcación hacia los Andes de Mérida y las Serranías de Los Motilones-Perijá. Estos accidentes geomorfológi-

cos y la heterogeneidad en los rumbos de los E-H y los ejes de plegamientos correspondientes deben reflejar una complicada evolución tectónica condicionada por rasgos heredados desde tiempos mesozoicos, reactivados durante el Cenozoico, entre los cuales se cuentan las Fallas de Bucaramanga, Boyacá, Soapaga, Guaicaramó y Bramón. (v. Fig. 14).

La ocurrencia de E-H orientados según NE-SW en algunos afloramientos situados entre Bogotá y al NE de Tunja no parece fácil de explicar. Podría tratarse de E-H desarrollados en sentido paralelo al eje de compresión intermedia (O_2), de una segunda generación poco distanciada de la primera, de efectos de empujes locales, o de rotaciones de bloques tectónicos.

De otro lado están las direcciones de esfuerzos neo-tectónicos obtenidas por Mojica & Scheidegger (1983) a partir de análisis de diaclasas recientes, que indican que en la actualidad la Cordillera Oriental se encuentra sometida, en su generalidad, a una compresión máxima de NW a SE (Fig. 15). Ello significa que después del plegamiento final los esfuerzos compresivos en el sector al N de la Sierra Nevada del Cocuy se han reorientado desde E-W y NE-SW a NW-SE. Empero, la determinación del momento del cambio exige la realización futura de estudios de microtectónica en distintos niveles de la columna estratigráfica.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su reconocimiento a los colegas Fabio Colmenares y Jaime Mendoza por su colaboración y compañía en parte de los trabajos de campo. También al Dr. Peter Kuisle (Universidad de Stuttgart) por las interesantes discusiones con respecto al tema de los estilolitos y su significado, y al Sr. José M. Rodríguez (Depto. Geociencias Univ. Nal. Bogotá) por la versión final de los dibujos.

El manuscrito que sirvió de base para esta publicación fue elaborado durante una estadia de tres meses (Sept.-Nov./82) en la República Federal de Alemania, por invitación del Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD).

REFERENCIAS

- BATES, R.L. & JACKSON, J.A. (1980): *Glossary of Geology* (2nd. Ed.).- Am. Geol. Inst., 751 pp., Falls Church, Virginia.
- BEIERSDOF, H. (1969): *Druckspannungsindizien in Karbonatgesteinen Sud-Niedersachsens, Ost-Westfalens und Nord-Hessens.*- Geol. Mitt., 8, 217-262, 28 Fig., Aachen.
- ETAYO S., F. (1968): *Sinopsis estratigráfica de la región de Villa de Leiva y zonas próximas.*- Bol. Geol. U.I.S., 21, 19-32, 4 Figs., 1 tabla, 1 mapa, Bucaramanga.
- FUECHTBAUER, H. (1979): *Die Sandsteindiagenese im Spiegel der neueren Literatur.*- Geol. Rundschau, 68, 1125-1151, 7 Figs., Stuttgart.
- HEALD, M.T. (1955): *Stylolites in Sandstones.*- Jour. Geology, 63, 101-114, Chicago.
- JULIVERT, M. (1968): *Colombie (premiere partie).*- Lexique stratigr. internat., V, 4a: 650 pp., Centre Nat. Rech. Sci., Paris.
- KOHLBECK, F. & SCHEIDEGGER A.E. (1977): *On the theory of evaluation of joint orientation measurements.*- Rock Mech. 9, 9-25, 5 Figs., Viena.
- LETOUZEY, J. & TREMOLIERES, P. (1980): *Paleo-Stress Fields around the Mediterranean since the Mesozoic from Microtectonics. Comparison with Plate Tectonic Data.*- Rock Mech., Suppl. 9, 173-192, 9 Figs., Viena.
- MATTAUER, M. (1976): *Las deformaciones de los materiales de la corteza terrestre.*- 524 pp., Ed. Omega, Barcelona.
- MOJICA, J. & SCHEIDEGGER, A.E. (1983): *Diaclasas recientes en Colombia y su significado tectónico.*- Geol. Colombiana. 12. 57-90, 15 Figs., 5 tablas, Bogotá.
- NELSON, R.A. (1983): *Localization of aggregate Stylolites by Rock Properties.*- Geol. Soc. Am. Bull., 67 (2), 313-322, 11 Figs., Tulsa.
- PARK, W.C. & SCHOT, E.H. (1968): *Stylolites: their nature and origin.*- J. Sed. Petr., 38, 175-191, 14 Figs., Menasha.
- PLESSMANN, W. (1972): *Horizontal-Stylolithen im französisch-schweizerischen Tafel- und Faltenjura und ihre Einpassung in den regionalen Rahmen.*- Geol. Rundschau, 61, 332-247, 7 Figs., Stuttgart.
- RENZONI, G. ROSAS, H. & ETAYO S., F. (1983): *Mapa Geológico de la Plancha 171, Duitama, esc. 1:100.000.- Ingeominas, Bogotá.*
- SCHAEFER, K. (1980): *Paleo- and Recent Stress Fields in Tunisia and Libya from the Cenozoic Structural Bearing.*- Rock Mech., Suppl. 9, 147-158, 5 Figs., Viena.
- SCHEIDEGGER, A.E. (1979): *The Principle of Antagonism in the Earth's Evolution.*- Tectonophysics, 55, T7-T10, Amsterdam.
- SCHEIDEGGER, A.E. (1983): *La conexión entre la geomorfología y algunos rasgos neotectónicos.*- Geol. Colombiana, 12, 33-56, 23 Figs., Bogotá.
- TRURNIT, P. (1968a): *Die Schnitffuehrung bei der Beurteilung von Druck-Loesungsphaenomenen.*- Schweiz. Min. Petr. Mitt 48, H 2, 485-508, Basel.
- TRURNIT, P. (1968b): *Druck-Loesungstadien innerhalb der Entwicklung einer Geosynclinale.*- N. Jb. Geol. Palaeont. Mh. 6, 376-384, 3 Figs., Stuttgart.
- TRURNIT, P. & AMSTUTZ, G.C. (1979): *Die Bedeutung des Rueckstandes von Druck-Loesungsvorgangen fuer die stratigraphische Abfolgen, Wechsel-lagerung and Lagerstaetenbildung.*- Geol. Rundschau, 68, 1107-1124, 16 Figs., Stuttgart.
- VAN DER HAMMEN, TH. (1958): *Estratigrafia del Terciario y Maestrichtiano continentales y Tectogénesis de Los Andes Colombianos.*- Bol. Geol. VI (1-3), 67-128, 7 planchas, Bogotá.
- WAGNER, G.H. (1964): *Kleintektonische Untersuchungen im Gebiet des Noerdlinger Rieses.*- Geol. Jb. 81, 519-600, 45 Figs. 5 tablas, Hannover.
- WAGNER, G.H. (1967): *Druckspannungsindizien in den Sedimenttafeln des Rheinischen Schildes.*- Geol. Rdsch., 56, 906-913, 2 Figs., Stuttgart.
- WUNDERLICH, H.G. (1975): *Das neu Bild der Erde.*- 367 pp., 46 Figs. 16 tablas, Hoffman und Campe, Hamburgo.

Manuscrito recibido en marzo 28/85

Dirección del autor: Jairo Mojica
 Depto. de Geociencias
 Universidad Nacional
 Apartado 14490
 Bogotá - Colombia