

## FOSILES DEFORMADOS Y OTRAS ESTRUCTURAS MICROTTECTONICAS EN LA FORMACION HILO (ALBIANO). ALREDEDORES DE SASAIMA, CUNDINAMARCA (COLOMBIA)

*Jairo Mojica\* y Adrian E. Scheidegger\*\**

MOJICA, J y SCHEIDEGGER, A. E. (1984): Fósiles deformados y otras estructuras microtectónicas en la Formación Hiló (Albiano). Alrededores de Sasaima, Cundinamarca (Colombia). *Geol. Colomb. 13*, pp. 41-54, 12 Figs., 1 tabla, Bogotá.

### RESUMEN

La Fm. Hiló (Albiano medio a superior) se compone de sedimentos oscuros, bituminosos, que incluyen principalmente shales limosos, areniscas finogranulares, y cherts limo-arenosos. Las rocas de la Fm. Hiló contienen abundantes elementos deformados, o producidos, por procesos tectónicos. Entre ellos están: fósiles estirados (amonitas y bivalvos), nódulos piritosos elongados, micropliegues, estilolitos horizontales, estriaciones de plegamiento, y diaclasas verticales y subhorizontales.

La medición sistemática de los elementos estructurales y microtectónicos antes enumerados, ha permitido la determinación de los esfuerzos pretéritos que afectaron las rocas de la Fm. Hiló en un afloramiento localizado en los alrededores de Sasaima (Cundinamarca).

Los resultados obtenidos del análisis de los parámetros estructurales mencionados ha permitido determinar una dirección de máxima elongación, o eje  $\sigma_3$  orientada según  $201^\circ \pm 3/26^\circ \pm 8$ , y una de máxima compresión, o eje  $\sigma_1$ , con azimut  $320^\circ (= 140^\circ E)$ . Con

---

\* Universidad Nacional de Colombia, Bogotá

\*\* Technische Universitat Wien, Austria.

estos valores queda definido el sistema de esfuerzos en el sitio de Sasaima. Una revisión rápida de otro afloramiento situado al SW de Sasaima, sobre el carreteable que conduce de Villeta a Guayabal de Siquima, cerca al sitio denominado Chimbe, confirma las conclusiones derivadas del primer afloramiento.

### ABSTRACT

The Hiló Formation (middle to upper Albian) consists of dark bituminous sediments which include mainly calcareous shales, fine-grained sandstones and calcareous to arenaceous cherts. The rocks of the Hiló Formation contain many deformed elements that were affected by tectonic processes. Among these we note: elongated fossils (ammonites and bivalves), elongated pyrite nodules, microfolds, horizontal stylolites, folding striations and vertical sub-horizontal joints.

The systematic measurement of the above-mentioned structural and microtectonic elements in an outcrop located in the vicinity of Sasaima (Cundinamarca) has made the determination of the paleostresses possible, which have affected the rocks of the Hiló Formation. The results obtained from the analysis of the structural parameters mentioned above made it possible to determine the direction of maximum elongation ( $\sigma_3$ ) as  $201^\circ \pm 3^\circ / 26^\circ \pm 8^\circ$  and the direction of maximum compression ( $\sigma_1$ ) as with an azimuth of  $320^\circ (= 140^\circ \text{E})$ . These values define the stress system in the area of Sasaima. A quick visit to another outcrop located to the SW of Sasaima, on the road that leads from Villeta to Guayabal de Siquima, near the village of Chimbe, confirms the conclusions deduced from the first outcrop.

### INTRODUCCION

Dentro del marco de un proyecto de intercambio cultural entre Colombia y Austria, en Febrero de 1983 se visitó una cantera en la vía a Villeta, a 70,4 km. al W de Bogotá (Fig. 1), y a una altura de 1.360 m. sobre el nivel del mar. El afloramiento se encuentra a 1,5 km. al S de la población de Sasaima, y, de acuerdo con la investigación geológica disponible, ha de representar las partes altas del originalmente denominado "Horizonte de Hiló" (v. Hubach 1931; Bürgl 1955), ahora elevado al rango de Formación Hiló del Grupo Villeta (v. Julivert 1968; Cáceres & Etayo 1969).

En la cantera estudiada (Figs. 2 y 3) se extraen, en orden decreciente: a) Shales negros, limosos, con esporádicos (a veces muy abundantes) nódulos de pirita (Fig. 4). Dichos shales contienen restos notablemente deformados (Figs. 5, 6, 7) de amonitas (*Oxytropidoceras* sp. ante todo), bivalvos (*Inoceramus* sp.) y peces. b) Areniscas cuarcíticas duras, oscuras y bituminosas, de grano fino en capas de cm. a dm., internamente laminadas. c) Limolitas silíceas y cherts oscuros, por lo general bastante replegados y fracturados.

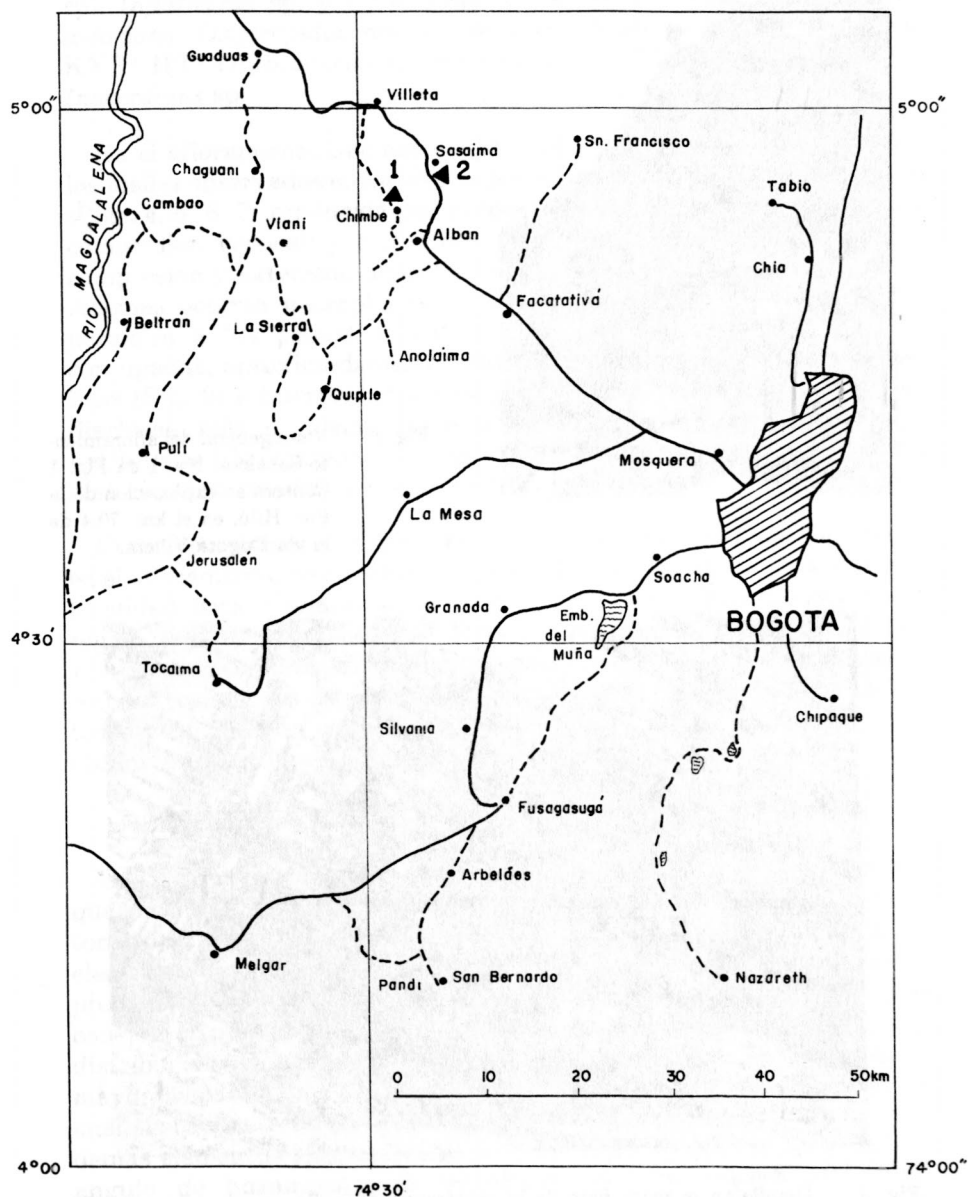


Fig. 1 Localización de los afloramientos estudiados.



Fig. 2 Vista general del afloramiento Sasaima, No. 1 en Fig. 1. Cantera en explotación de la Fm. Hiló, en el km. 70.4 de la vía Bogotá-Villeta.

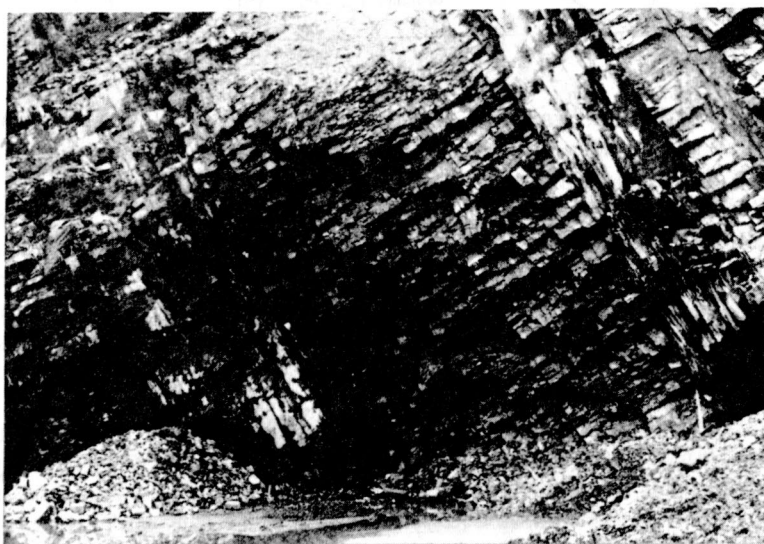


Fig. 3 Detalle en la parte baja de la cantera anterior. Se aprecia un paquete de areniscas duras y finogranulares, en capas delgadas, intercalado entre shales negros fosilíferos. Capas: 280/74

Según las determinaciones paleontológicas de Hubach (1931) y Bürgl (1955), la Fm. Hiló comprende la parte terminal del Cretácico Inferior (Albiano medio a superior). Hubach (op. cit.) reporta *Oxytropidoceras* sp., *Inflatoceras* sp. y *Lythoceras* sp.; Bürgl (1955:17) por su parte menciona *Oxytropidoceras multifidum* (Steinmann), *O. hubbardi* KNECHT, *Dipoloceras cf. pseudon* SPATH, *Dipoloceras* sp., *Inoceramus* sp.

En el afloramiento que nos ocupa, tanto los nódulos piritosos como los fósiles observados en los shales presentan una evidente deformación (Figs. 4, 5, 6, 7) producida por procesos diagenéticos (aplastamiento o compresión vertical) y tectónicos. Estos últimos se manifiestan por compresión y extensión lateral a lo largo de los planos sedimentarios. Además ocurren micropliegues (Fig. 8), estriaciones de plegamiento paralelas a los planos de estratificación, un sistema de diaclasas conjugadas, aproximadamente verticales, denominadas aquí diaclasas lisas (Fig. 9) e interpretadas como diaclasas de separación, y otro de diaclasas más o menos horizontales. En los cherts se observan estilolitos horizontales, cuyas superficies estilolíticas se hallan dislocadas (= rotadas) por efectos del plegamiento.

Como complemento y comprobación de las observaciones realizadas en el afloramiento de Sasaima, se visitó de manera rápida, una segunda localidad (sitio Chimbe) en la carretera que de Villeta conduce a la región de Bagazal y Guayabal de Siquima, según se muestra en la Fig. 1. Aparecen también allí fósiles deformados en capas de shales negros con intercalaciones de areniscas finogranulares. La deformación de los fósiles sugiere una orientación semejante del eje de elongación a la obtenida en el afloramiento Sasaima (v. m. adelante).

### ORIENTACION DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Con el propósito de establecer la posición estadística de los esfuerzos que produjeron la deformación y las estructuras microtectónicas, se tomaron numerosas medidas de la orientación de cada uno de los elementos estructurales (v. tabla 1). Luego los datos fueron promediados según el método de Kohlbeck & Scheidegger (1977), que consiste en ajustar los conjuntos de valores obtenidos en el campo a una distribución Dimroth-Watson, para determinar los parámetros de mayor probabilidad y los límites de confiabilidad. Los resultados de los análisis se muestran en la tabla 1, en la cual la dirección de los ejes y demás elementos longitudinales está dada por el azimut (N a E) y el ángulo de buzamiento; la orientación de las superficies (capas, diaclasas) por el azimut de la dirección del buzamiento, y el valor del ángulo de buzamiento.



Fig. 4 Nódulos de pirita deformados lateralmente. El eje de elongación corre aproximadamente del ángulo inferior derecho al superior izquierdo. Parte baja de la cantera, en el afloramiento Sasaima.



Fig. 5 Bivalvos (*Inoceramus* sp.) estirados. Vista de planta, sobre una capa de shales negros, en el afloramiento Sasaima.

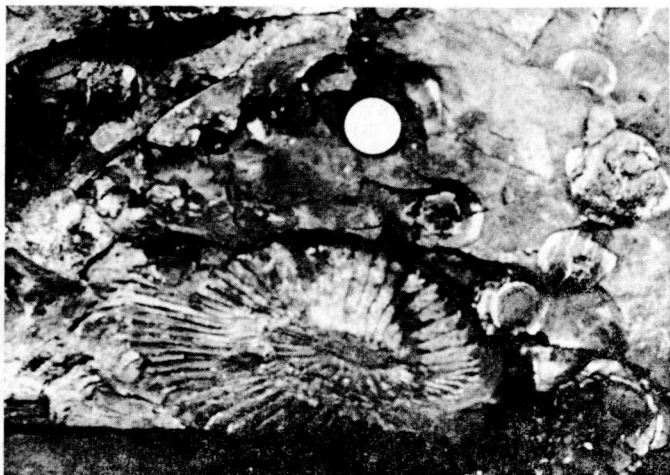


Fig. 6 Amonita (*Oxytropidoceras* sp.) deformada, y nódulos de pirita elongados. En el extremo inferior izquierdo se ve también un *Inoceramus* sp. estirado. Nótese las grietas rellenas, perpendiculares a la dirección de alargamiento, que cortan los nódulos. La dirección del eje de elongación es coherente en los tres elementos. Afloramiento Sasaima.



Fig. 7 Pequeña amonita deformada. La fecha indica aproximadamente el norte. Debajo de ella se indica la escala (en cm). Afloramiento Sasaima.



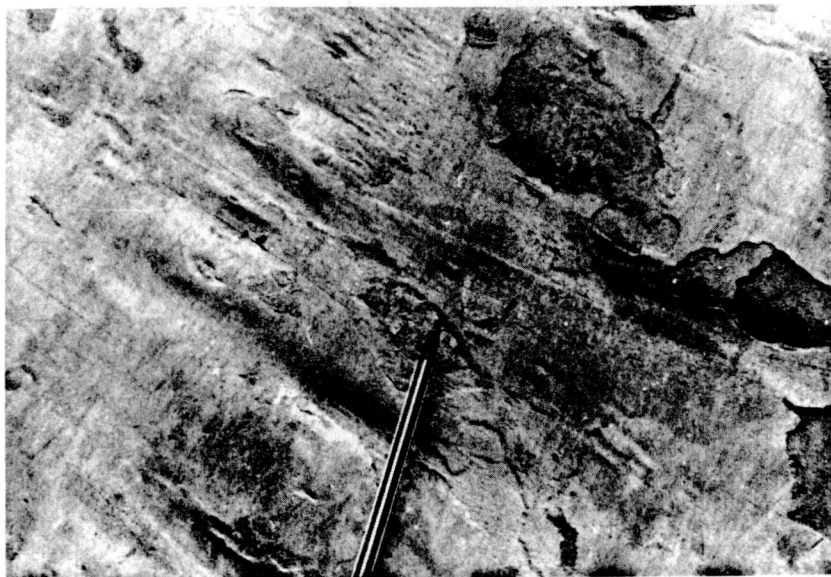


Fig. 8 Micropliegues en shales limosos. Afloramiento Sasaima.

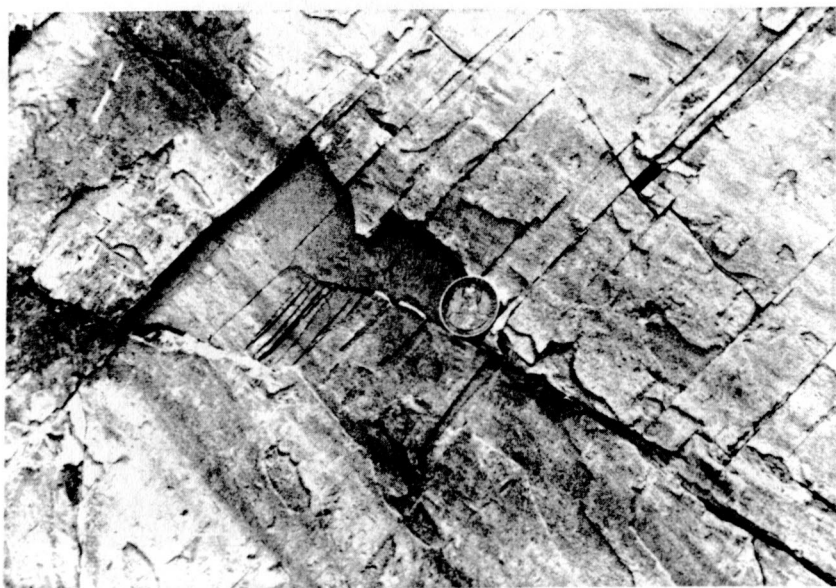


Fig. 9 Diaclasas de distensión. Afloramiento Sasaima.



La distribución estadística de los valores medidos se muestra también en diagramas de densidad (Figs. 10 y 11), obtenidos de la intersección de los ejes con la esfera unitaria, o de la proyección sobre ella de los polos de las diferentes superficies.

<i>Elementos estructurales</i>	<i>No. de Determinaciones</i>	<i>Dirección Promedio</i>
<b>SASAIMA:</b>		
Eje de elongación fósiles	14	$201 \pm 3/26 \pm 8$
Eje de elongación nódulos	15	$198 \pm 3/25 \pm 2$
Ejes de micropliegues	14	$205 \pm 3/29 \pm 3$
Estrias (dirección)	12	$320 \pm 11/57 \pm 6$
Estilolitos horizontales (dirección de las agujas)	8	$138 \pm 40/50 \pm 37$
Diaclasas lisas (verticales)	16	$10 \pm 9/71 \pm 9$
Diaclasas "horizontales"	13	$148 \pm 31/24 \pm 13$
Capas	23	$280 \pm 12/74 \pm 13$
<b>CHIMBE:</b>		
Eje de elongación fósiles	6	$204 \pm 13/28 \pm 11$
Capas	6	$142 \pm 12/52 \pm 10$

Tabla 1 Orientación de los elementos estructurales medidos.

### LOS ESFUERZOS

De la orientación promedio de los elementos estructurales se puede deducir el esquema de los esfuerzos que deformaron las rocas de la Fm. Hiló (Fig. 12).

La dirección de elongación está indicada por el eje de máximo estiramiento de fósiles y nódulos, así como por los ejes b de los micropliegues. En el caso de los nódulos de pirita, asumiendo que se trata de formas inicialmente circulares o esféricas, la deformación que presentan en la vista de planta representa prácticamente la deformación del círculo para dar la elipse. En ellos, la relación promedio entre los ejes menores y mayores indica un acortamiento de un 22%, valor éste que tiene un significado estrictamente puntual, pues está relacionado con la posición de los estratos en el contexto de los pliegues (v. Mattauer 1980).

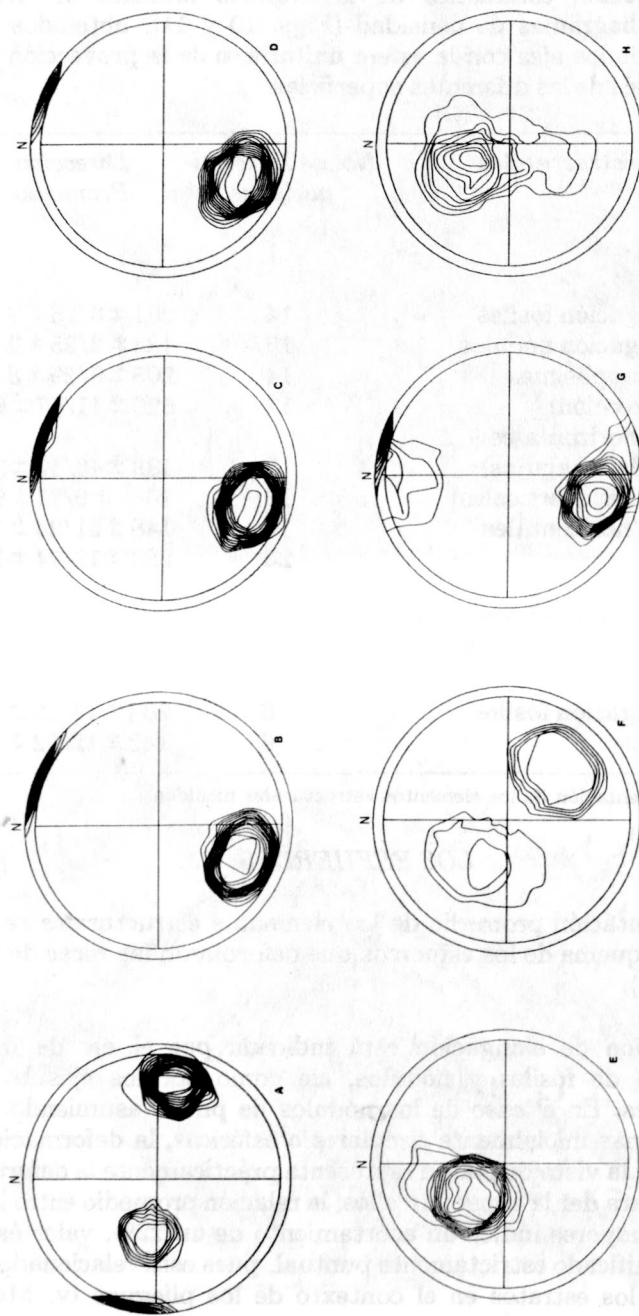


Fig. 10 SASAIMA: Diagramas de densidad. A: capas; B: dirección de estiramiento de fósiles; C: dirección de elongación en nódulos de pirita; D: ejes de micropliegues; E: dirección de estrías; F: dirección de estilolitos horizontales; G: diaclasas verticales, lisas; H: diaclasas subhorizontales.

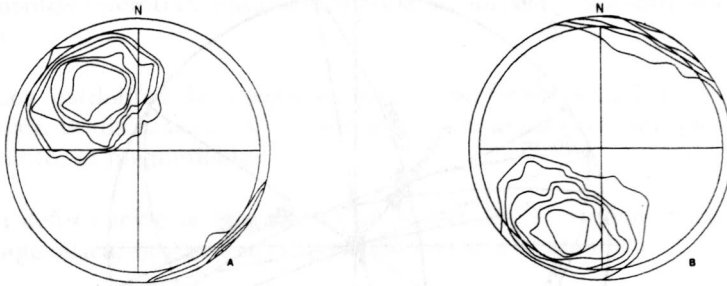


Fig. 11 CHIMBE: Diagramas de densidad, A: capas; B: dirección de estiramiento de fósiles;

Ya que el eje de elongación (eje  $\sigma_3$ ) es normal a la compresión máxima, ésta última debe estar en la superficie polar (círculo  $\sigma_1$ ) a la intersección de  $\sigma_3$  (v. Fig. 12A). Puesto que la dirección de extensión de los fósiles y los nódulos piritosos está contenida en las superficies de estratificación, pues sobre ellas fue medida, sus polos quedarán contenidos en el círculo  $\sigma_1$ . Las estriaciones están contenidas también en los planos estratigráficos ya que sobre ellos se midieron. Entonces se deduce que, en el caso que nos ocupa, las estriaciones son normales a la dirección de elongación. Por lo tanto se trata de estrias de plegamiento, que al igual que los estilolitos, se desarrollan en la dirección de mayor presión (v. Mattauer 1980:343). Así, para el eje  $\sigma_1$  se obtiene por construcción gráfica un azimuth de N320° E (= N140° E). El polo obtenido para las diaclasas lisas o verticales es de  $190^\circ \pm 9/9 \pm 9$ , y se encuentra dentro del límite de error de la dirección  $\sigma_3$ ; por esta razón queda justificada la interpretación de las diaclasas lisas como diaclasas de distensión. A pesar de que la dispersión de valores es alta, las diaclasas horizontales representan aproximadamente la superficie polar de las estriaciones, que cae entonces en el plano  $\sigma_3$ , de tal manera que las diaclasas horizontales se encuentran normales a la compresión máxima.

Con esto queda explicado el cuadro de esfuerzos en los afloramientos considerados. Es claro que las deformaciones, incluyendo las diaclasas, deben estar relacionadas con el plegamiento y levantamiento de la Cordillera Oriental colombiana, ocurrido en el Terciario Superior, principalmente entre el Mioceno y el Plioceno. (v. van der Hammen & al. 1973; Howe 1974; van Houten 1976).

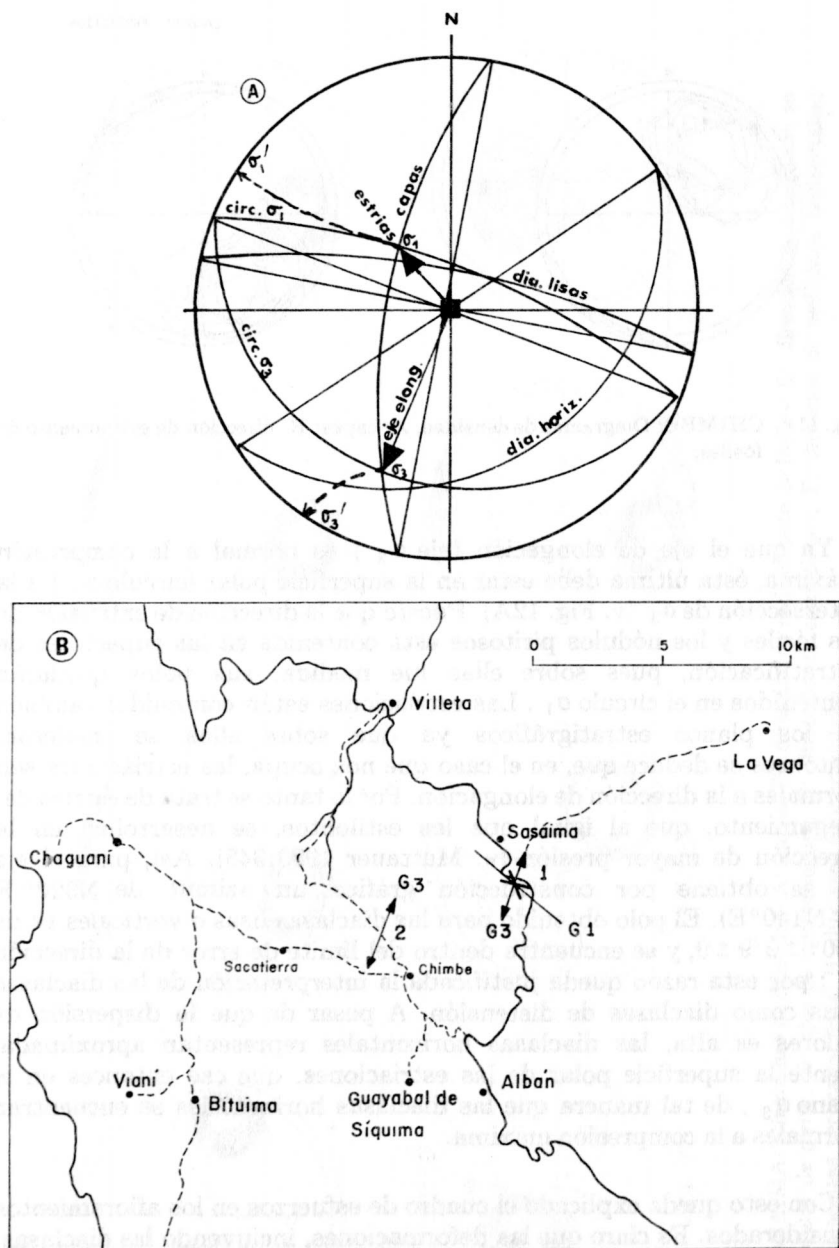


Fig. 12 A: proyección estereográfica de los elementos microtectónicos del afloramiento Sasaima; B: orientación de los ejes de compresión  $\sigma_1$  y de distensión  $\sigma_3$  en los afloramientos Sasaima y Chimbe, ambos Fm. Hiló.

Finalmente cabe anotar que las relaciones de campo señalan que los elementos microtectónicos estudiados no son estrictamente coetáneos. Así:

- Los estilolitos horizontales (con superficies estilolíticas rotadas según la dislocación de los estratos) son anteriores sin que se sepa cuánto, al plegamiento.
- La deformación lateral de fósiles y nódulos es evidentemente post-diagenética, quizás contemporánea con el plegamiento.
- Las diaclasas, siempre lisas y libres de relleno mineral alguno, son sin duda los elementos más jóvenes, posiblemente neotectónicos, ya que como se observa en el campo, cortan a los anteriores.

#### REFERENCIAS CITADAS

BÜRGL, H. (1955): El Anticlinal de Apulo.- Bol. Geol. 3, 2, pp. 2-22, Bogotá.

CACERES, C. y ETAYO, F. (1969): Bosquejo geológico de la región del Tequendama.- Guía excursión pre-congreso, 1er. Congr. Col. Geol., 23 pp., Bogotá.

HOWE, M. W. (1974): Non marine Neiva Formation (Pliocene?), Upper Magdalena Valley, Colombia Regional tectonism.-Geol. Soc. Amer. Bull. 85, pp. 1031-1042. New York.

HUBACH, E. (1931): Exploración de la región de Apulo-San Antonio-Viotá.- Bol. Min. Petrol. 4, 25-27, pp. 41-60, Bogotá.

JULIVERT, M. (1968): Colombia (première partie).- Lexique stratigr. internat. V, 4a, pp. 1-650, Centre Nat. Rech. Sci., Paris.

KOHLBECK, F. y SCHEIDEGGER, A. E. (1977): On the theory of the evaluation of joint orientation measurements.-Rock Mech. 9, pp. 9-25. Viena

MATTAUER, M. (1980): Les déformations des matériaux de l'écorce terrestre.- 2me. éd., 494 pp., Hermann, Paris.

VAN DER HAMMEN, T., WERNER, J. H. y VAN DOMMELEN, H. (1973): Palynological record of the upheaval of the Northern Andes: A study of Pliocene and lower Quaternary of the Eastern Cordillera and the early evolution of its high-andean biota.- Rev. Paleobot. Palyn. 16, pp. 1-122. Amsterdam.

VAN HOUTEN, F. B. (1976): Late Cenozoic volcanoclastic deposits Andean Foredeep.- Geol. Soc. Amer. Bull. 87, pp. 481-495. New York.

Manuscrito recibido, mayo 23 de 1984

Jairo Mojica

Departamento de Geociencias

Universidad Nacional de Colombia

Apartado 14490

Bogotá, Colombia

Adrian E. Scheidegger

Technische Universität Wien

Institut für Theoretische

Geodäsie und Geophysik

Abteilung Geophysik

Gusshausstrasse 27-29

A-1040 Wien - Austria