

Tectónica gravitacional en la Cordillera Oriental al este de la Falla de Boyacá (Departamento de Boyacá)

ITALO REYES CH. *

RESUMEN

En la región en estudio pertenece estructuralmente al flanco noroccidental del gran levantamiento de El Cocuy-Pisba y se localiza en una faja contigua a la Falla de Soapaga. Esta falla es un límite tectónico de importancia dado que separa dos provincias con estilo morfoestructural muy diferente: el Macizo de Floresta y la cobertera plegada.

Hay evidencia de que el plegamiento de la cobertera neocretácico-terciaria es el resultado de deslizamientos tectónicos sobre una superficie inclinada, situada tal vez en el techo de las Areniscas de Une.

La tectónica gravitacional, además, se manifiesta en este sector de la Cordillera Oriental con deslizamientos locales de menor entidad, de los cuales se ilustran algunos ejemplos.

INTRODUCCION

En términos generales, hay que considerar dos distintas provincias tectónicas en la región:

* Acerías Paz del Río S.A. Apartado Postal 4260 Bogotá, D.E.

- El Macizo de Floresta, que corresponde a una zona compleja levantada.
- La cobertera plegada, formada por la serie sedimentaria neocretácico-terciaria.

Las dos provincias están separadas por la Falla de Soapaga, que representa un límite tectónico y geomorfológico de gran importancia.

El Macizo de Floresta

En la zona axial del Macizo de Floresta afloran las rocas más antiguas de la región (basamento cristalino), la Serie del Paleozoico Superior y la Formación Girón. La disposición de la discordancia cretácea claramente indica que la deformación es un gran anticlinal con cabeceo hacia el suroeste, donde los estratos de la Formación Tibasosa cierran la estructura (periclinal de Tibasosa).

El levantamiento de Floresta está delimitado longitudinalmente por las dos grandes fallas, al noroeste la de Boyacá y al sureste la de Soapaga, ambas con rumbo suroeste-noreste, lo que condiciona la configuración alargada del macizo en esa dirección.

Estructuralmente el macizo se puede dividir en tres unidades tectónicas principales, la unidad predevónica, la unidad del Paleozoico Superior y la unidad eocretácica.

La cobertera plegada

Toda la faja de terrenos inmediatamente al oriente de la Falla de Soapaga, constituidos por la serie neocretácico-terciaria, pertenece al flanco occidental de un gran levantamiento, que culmina fisiográficamente con las sierras y los páramos altos de este tramo de la Cordillera Oriental.

La deformación de la serie sedimentaria es una combinación de pliegues y fallas, pero predomina el estilo plicativo, conservando los mayores plegamientos la orientación SW-NE, que es la directriz tectónica normal de la cordillera en el Departamento de Boyacá.

Estos plegamientos están dislocados por numerosas fallas, en sistemas con orientaciones variables. En general, las fallas inversas longitudinales acompañan los anticlinales y se localizan preferentemente sobre un flanco. Las fallas

transversales dislocan los pliegues en sentido diagonal al rumbo de los ejes. Las fallas normales se agrupan en sistemas independientes y cortan las fallas inversas longitudinales indicando su origen en una fase posterior claramente distensiva.

Los plegamientos son básicamente del tipo disarmónico, aunque en las rocas terciarias la disarmonía es poco acentuada y los pliegues son más bien del tipo concéntrico. La disarmonía es evidente donde la diferencia en el estilo de plegamiento de las formaciones cretáceas marinas y las del Terciario crea un contraste estructural, especialmente en las zonas de mayor deformación.

La Falla de Soapaga

Como se mencionó anteriormente, esta gran falla separa dos regiones con estilo morfoestructural muy diferente y es evidente su influencia en la facies de los depósitos sedimentarios por lo menos durante todo el Terciario.

La falla pone en contacto la Formación Concentración (Eoceno Medio-Oligoceno) a veces con las formaciones antiguas, a veces con las del Cretáceo Inferior o Medio. En el río Soapaga se puede observar el contacto del Pre-Devónico metamórfico y la Formación Concentración. El desplazamiento máximo de la falla puede alcanzar los 3.000 m.

En cuanto a la edad precisa de la falla, la falta de estudios detallados no permite llegar a conclusiones definitivas. Es indudable que la Falla de Soapaga es de edad pre-Concentración y que fue el límite noroccidental de la cuenca de sedimentación de la Formación Concentración, como lo indica la ausencia de esta formación al occidente de la falla y la presencia de fragmentos de lilitas con foraminíferos cretácicos en una arenisca conglomerática del Concentración Inferior. Este hecho comprueba la existencia de «afloramientos» de rocas cretáceas en algunos lugares de la paleotopografía.

La variación de facies de los depósitos terciarios a un lado y al otro de la dislocación puede significar un constante desplazamiento de la falla durante todo ese período. Dentro del Cretáceo, a medida que nos acercamos a la transgresión cretácea, la variabilidad de facies se hace cada vez menos marcada, por lo que es imposible detectar la presunta actividad de la falla.

ORIGEN DE LAS ESTRUCTURAS

Cada una de las unidades tectónicas antes mencionadas tuvo su origen en los siguientes eventos, alcanzando el grado de deformación que hoy presenta. Naturalmente, el desenvolvimiento de las distintas fases geológicas es cada

vez más difícil de descifrar a medida que el análisis se remonta atrás en el tiempo. En todo caso, las grandes discordancias presentes en la región delimitan con claridad los principales eventos tectogenéticos.

Dado el objetivo de este trabajo, aquí se tratará solamente acerca del origen de las estructuras relativas a la cobertera sedimentaria.

La interrupción de la sedimentación de la Formación Concentración en el Oligoceno Superior indica el inicio de la Orogénesis Andina, que tuvo su mayor actividad en el Mioceno y que prosiguió posiblemente durante todo el Plioceno.

Las dislocaciones ocurridas en esta fase tectogenética son principalmente fallas profundas que desmiembran el basamento en bloques. En general, los bloques están deformados en amplios anticlinales y sinclinales, afectados por fallas, o simplemente basculados.

En relación con la estructura de la Cordillera Oriental y las fallas que la interesan, JULIVERT M. (1970) resumen: «The general structure of the chain is that of a raised block between the Magdalena Valley and Los Llanos of eastern Colombia. Tilting, differential lift, and faulting produced differences in height of the order of 10.000 m in the upper surface of the basement. The faultst in the basement are reverse faults, often high-angle reverse faults (some of them reactivated normal faults of pre-Cretaceous age)».

En la región en estudio, esta característica estructural interesa el basamento cristalino, la unidad tectónica del Paleozoico Superior y la unidad tectónica del Cretáceo Inferior.

La cobertera sedimentaria, correspondiente a los terrenos que yacen por encima de las Areniscas de Une, presenta una tectónica de pliegues independiente de la estructura del basamento. Existe la evidencia que estos plegamientos son el resultado del acomodamiento de la cobertera sedimentaria sobre la tectónica rígida del basamento; es decir, a medida que el basamento se dislocaba a causa de importantes fallas, los terrenos neocretácico-terciarios se iban adaptando plásticamente a la nueva situación estructural.

Pero el acomodamiento final de la cobertera y la acentuación de los plegamientos, según opinión del autor, se deben principalmente a deslizamiento tectónico sobre una superficie inclinada, situada en algún nivel plástico por encima de las Areniscas de Une. Numerosas evidencias apoyan esta aseveración, como son:

- La posición de las crestas de los anticlinales es cada vez más alta hacia el sureste.

- Los pliegues son generalmente asimétricos con convergencia hacia el noroeste, o sea, en el sentido del deslizamiento.
- Las fallas inversas longitudinales que acompañan los pliegues buzanan, en general, hacia el sureste.
- Las Areniscas de Une, que forman las sierras altas de Pisba, La Alfombra, Bijagual, incluso hasta el páramo de Chingaza y Une, presentan constantemente buzamiento hacia el noreste, exponiendo amplias superficies con pendiente estructural.

Además, los conglomerados aluviales del Plio-Pleistoceno, cuyos elementos están constituidos exclusivamente de areniscas cretáceas, presuponen extensas superficies aflorantes de este tipo de roca en las partes más altas de la paleotopografía. Considerando improbable una acción tan profunda de la erosión, las areniscas debieron quedar expuestas por desmantelamiento tectónico.

Este hecho indica que los deslizamientos tectónicos ocurrieron a finales del Plioceno, es decir, cuando ya era en acto el levantamiento epirogénico de la cordillera.

Las Areniscas de Une que forman las sierras altas son cuarcíticas por acrecimiento y recristalización de los granos de cuarzo y los esporádicos mantos de carbón presentes han alcanzado el rango de antracitas, lo que confirma el leve dinamometamorfismo a que fue sometida la formación.

Donde se localice exactamente la superficie de deslizamiento de la cobertera sedimentaria afectada por este fenómeno, es una respuesta que sólo podrá obtenerse a raíz de una investigación muy detallada de la cordillera.

Es de anotar que, de acuerdo a esta interpretación del estilo estructural de la cobertera, las fallas inversas longitudinales presentes no afectan el eo-Cretáceo ni mucho menos los terrenos pre-cretáceos, ya que pierden inclinación con la profundidad, yendo a conectarse con la supuesta zona de deslizamiento general.

LOS DESLIZAMIENTOS TECTONICOS

Sin llegar al extremo de constituir mantos de corrimiento, y ésto se ha escrito repetidas veces, los plegamientos de la cobertera muestran, al contrario, una estructura sencilla y conservan su individualización aún cuando están afectados por las fallas inversas longitudinales acompañantes.

El grado de disarmonía, por lo general suave, se acentúa en las zonas de apilamiento de las masas dislocadas, especialmente contra los obstáculos que representan los bloques levantados por las fallas de Soapaga y Boyacá.

En todo caso, parece que la intensidad de la deformación por acción de la gravedad aumenta de suroeste a noreste de acuerdo a la ubicación de los sitios más elevados de la cordillera. Entre Socotá (19 km al noreste de Paz de Río) y Jericó las estructuras se van haciendo más complicadas; en el sector de Capitanejo el amontonamiento de estratos es complejo, pudiéndose observar, por ejemplo, mantos de carbón de la Formación Guaduas sumamente replegados formando bolsones hasta de 10 m de espesor y transformados en antracitas. (Fig. 1).

El perfil geomorfológico de la región central de la cordillera en el Departamento de Boyacá (zona Tunja-Duitama) presenta dos elevaciones características que corresponden a los afloramientos de las Areniscas de Une (Figura 2). Al noroeste de Sogamoso la morfología cambia debido al levantamiento del Macizo de Floresta y solamente se observa un alto estructural, donde aflora la formación Une buzando hacia el noreste (Figura 3).

Al sur de Paipa el destape de la Formación Une muestra entre 7 y 8 km de longitud de pendiente estructural, mientras que los plegamientos que afectan el neo-Cretáceo y el Terciario no pasan de 3 km de amplitud, lo que indica independencia estructural entre la cobertera y el substrato eo-Cretácico.

El afloramiento de la superficie de deslizamiento no es claramente indentificable en el terreno, pero sí hay manifestaciones del desplazamiento de la masa de estratos. En efecto, es posible observar plegamientos en la formación de base del Cretáceo Superior cuya distancia entre ejes (anticlinales y sinclinales) oscila entre 500 y 700 m, localizados directamente sobre la pendiente estructural de las Areniscas de Une. Además, es probable la existencia de más de una superficie de resbalamiento, formando láminas dentro de las formaciones de mayor plasticidad.

Los desplazamientos en cuestión no han ocurrido en forma homogénea en toda la región, sino que existen movimientos diferenciales entre uno y otro bloque, en relación a obstáculos locales dentro de la misma cobertera. Esto explica la frecuencia de zonas muy dislocadas contiguas a otras relativamente sanas, separadas por fallas transversales disyuntivas.

En cuanto a la situación geográfica, de acuerdo al mapa adjunto, en la zona Tunja-Duitama-Toca existen dos superficies de corrimiento localizadas en los bloques desplazados por la Falla de Soapaga. La línea de desprendimiento occidental (Línea de Bijagual) es diagonal a la diretriz tectónica y se desvanece en el sector de Duitama debido al cambio estructural producido por el levantamiento de Floresta. Al contrario, la línea de desprendimiento oriental (Línea de Pisba) se desarrolla constantemente paralela a la Falla de Soapaga.

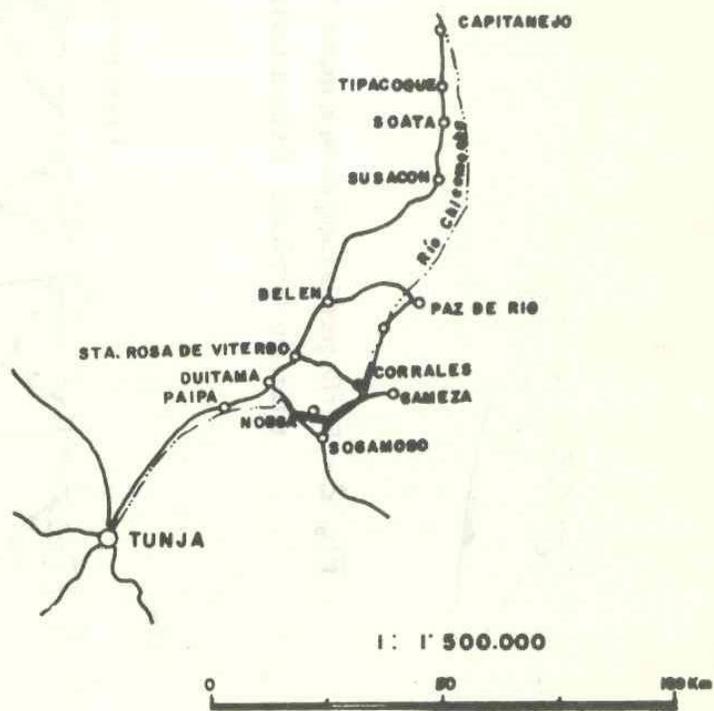


Fig.1 - Mapa de localización de la región estudiada.

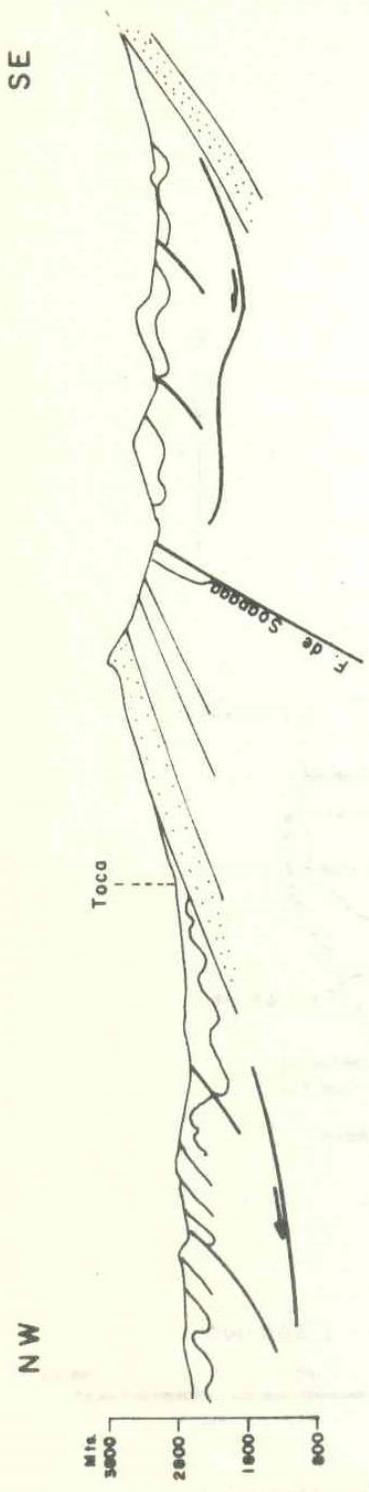


Fig. 2 - Perfil geomorfológico de la región Tunja - Duitama, relacionado con la situación tectónica. Escala horizontal 1: 500.000

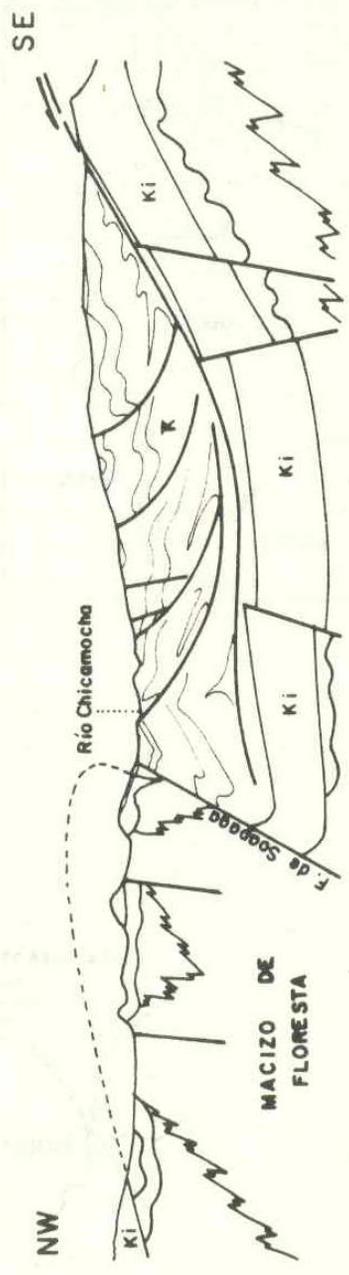


Fig. 3 - Perfil morfoestructural de la región al norte de Sogamoso. Obsérvese el acomodamiento gravitacional de la cobertura neocretácico - terciaria sobre una presunta superficie de deslizamiento.

En el sector comprendido entre Duitama y Bonza hay una buena exposición del fenómeno gravitacional, donde se observan las formaciones plásticas (F. Churuvita y F. Conejo) con volcamientos acentuados que contrastan con la firme posición de las areniscas de la Formación Une. Sobre la autopista Tunja-Duitama, en el sitio donde se desprende la carretera que lleva a Bonza, puede verse una zona de resbalamiento, con replegamiento de las capas desplazadas y fracturación de los horizontes más resistentes de base. La estructura de Bonza representa el trayecto terminal de la Línea de Bijagual, donde los fenómenos gravitacionales están ya atenuados (Figura 4).

ESTRUCTURAS GRAVITACIONALES MENORES

Estructuras menores, ligadas a la erosión de los plegamientos y originadas por deslizamientos tectónicos locales, son muy comunes en la región. En general, puede afirmarse que donde exista una pendiente estructural sobre formaciones compactas es casi segura la presencia de un apilamiento de estratos, más o menos replegados, en la parte baja de tal estructura.

Fenómenos de este tipo pueden haber ocurrido a lo largo de todo el Cuaternario, durante el rápido levantamiento de la región. La extensión de las zonas deslizadas es muy variable y está relacionada principalmente con el espesor del material involucrado y con el grado de plasticidad que presenta.

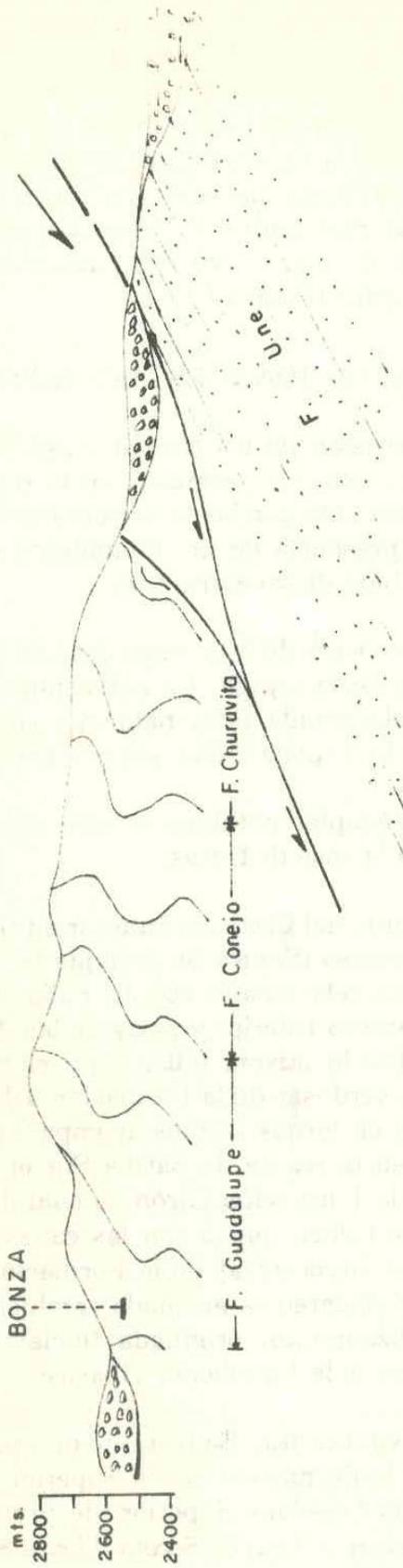
A continuación se ilustran algunos ejemplos notables de esta clase de estructuras, cuyas características son en cada caso distintas.

Inversión del conjunto calcáreo del Cretáceo Inferior en todo el borde occidental del valle de Sogamoso (Figura 5). Aunque la inversión de los estratos es un fenómeno relacionado con la Falla de Soapaga, las calizas y margas del Cretáceo Inferior y parte de las Areniscas de Une se hallan volcadas sobre la misma falla. Aquí el horizonte de despegue son las arcillolitas verdosas de la Formación Tibasosa. Este motivo estructural se repite en largos tramos acompañando la Falla de Soapaga. Sin embargo, en la región de Sátiva Sur el corrimiento involucra también parte de la Formación Girón, la cual desliza sobre bancos más resistentes y se coloca, junto con las calizas cretáceas, por encima de las arcillolitas oligocénicas de la Formación Concentración (Figura 7). El conjunto calcáreo se acomoda también sobre una segunda superficie de deslizamiento, originada inicialmente en el mecanismo horizonte plástico de la Formación Tibasosa.

Bloque deslizado de Coscativá (Socotá). Se trata de una pila de estratos constituida por parte de la Formación Socha Superior, las Areniscas de Socha y la Formación Guaduas Superior, desprendida según una línea que coincide en parte con la Falla de Socotá (Figura 8) y deslizada

NW

SE



Escala. 1: 25.000

Fig. 4 - Estructura gravitacional de Bonza. Los estratos del cretáceo superior han resbalado sobre la formación Una.

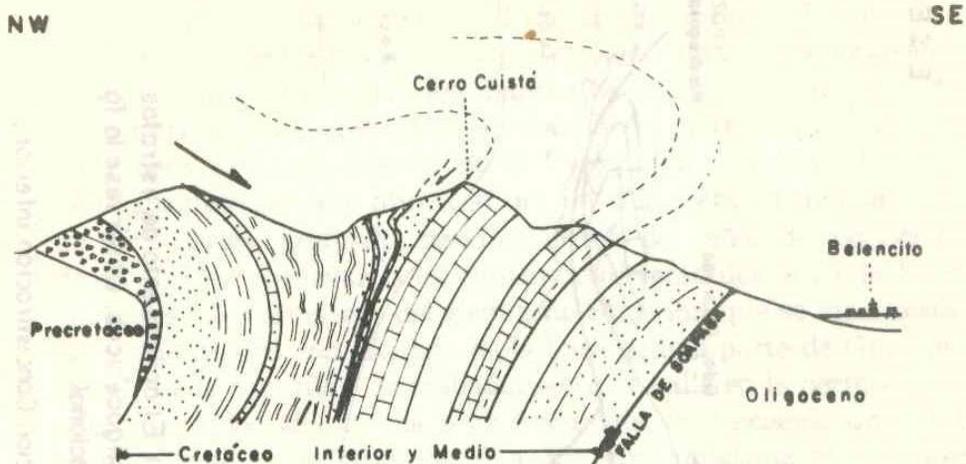


Fig. 5 - Inversión de los estratos del Cretáceo Inferior y Medio en el borde occidental del valle de Sogomoso.

Escala 1:25 000

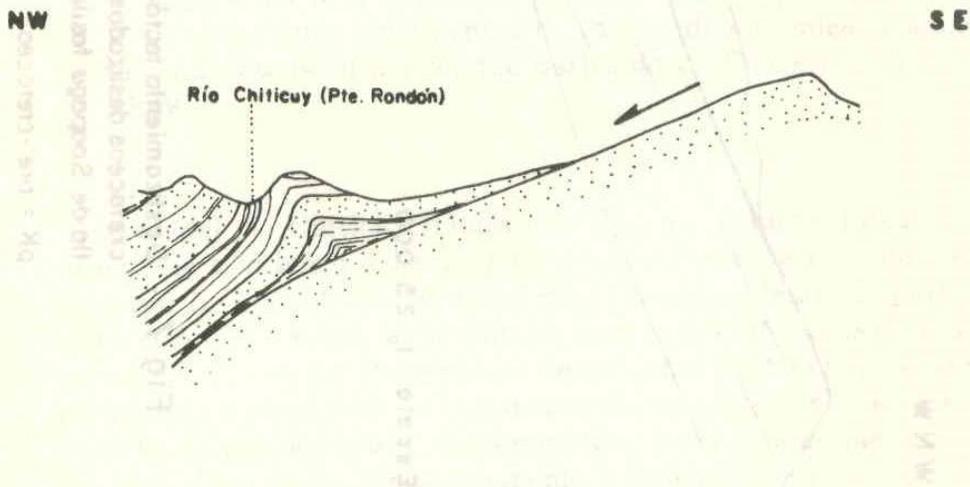


Fig. 6 - Flexura del río Chiticuy (Duitama) originada por resbalamiento de una pila de estratos sobre una pendiente estructural en la formación Uñe.

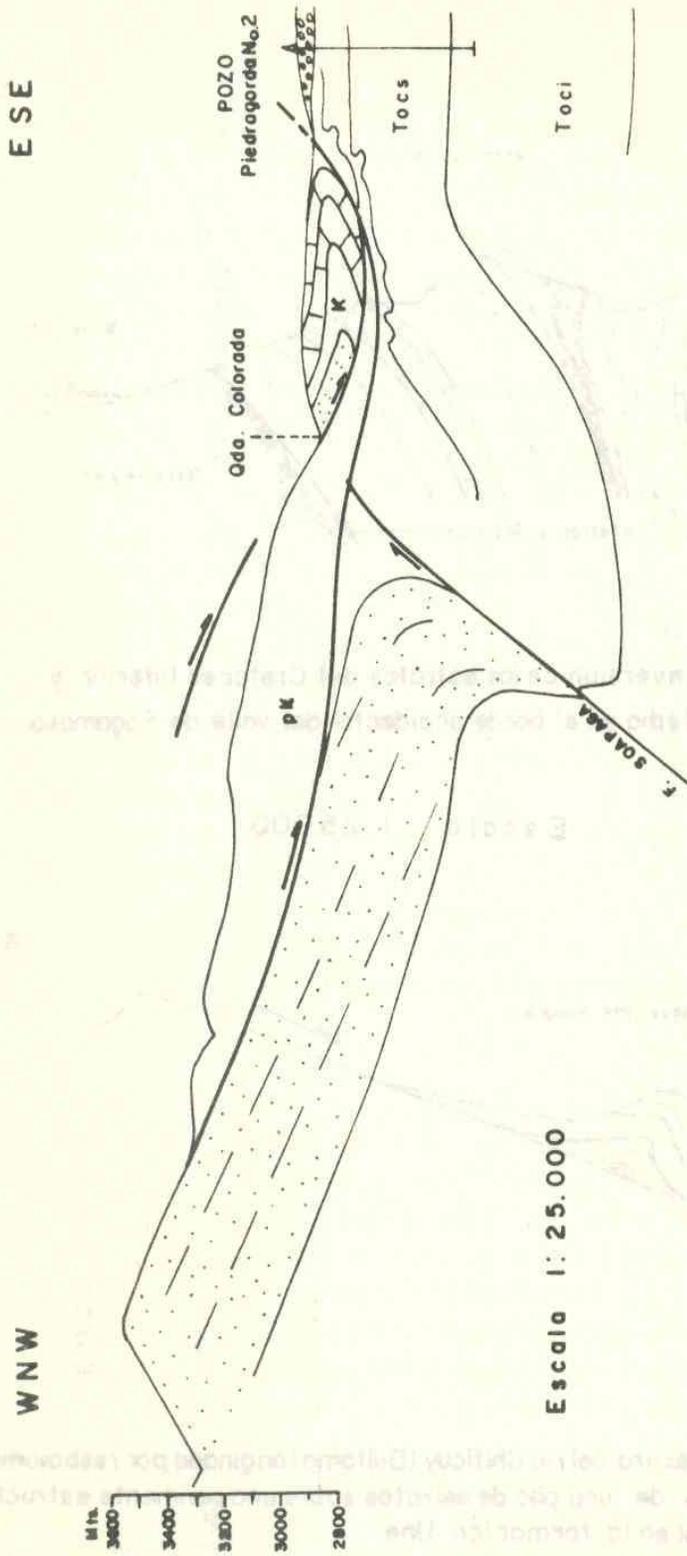


Fig. 7 - Deslizamiento tectónico en el sector de Sátiva Sur. El apilamiento de estratos cretáceos deslizados descansa sobre las capas oligocénicas. Obsérvese la faja de Soapaga fossilizada por la estructura gravitacional.

pK = pre -cretáceo; K = Cretáceo; Toci = Formación Concentración inferior; Tocs = Formación Concentración superior.

sobre una superficie que se localiza en la porción inferior de la Formación Guaduas. Las secciones geológicas entre las perforaciones realizadas para la exploración del carbón permiten observar la estructura de la zona, según la pendiente del deslizamiento y transversalmente (Figura 9). La línea de desprendimiento es observable en la localidad El Morro, donde afloran los estratos cretáceos fuertemente inclinados; la distancia stratigráfica entre los mantos de carbón y la arenisca de techo de la Formación Ermitaño es apenas de 30 metros, quedando eliminada toda la parte inferior de la Formación Guaduas. La superficie de deslizamiento casi nunca aflora en el terreno, a menos que exista un corte natural profundo, como es el caso del cañón del río Cómeza donde es posible observar la discontinuidad tectónica entre la Formación Guaduas y las areniscas del Ermitaño Superior, que se manifiesta por la presencia de una zona fallada en la base de una parte de Guaduas. Otro indicio de la superficie de resbalamiento se halla en la perforación T-231, que cruzó a los 465 m una zona fracturada, evidenciando un cambio de inclinación de los estratos de 9° a 30° aproximadamente. Es interesante que el carbón de Socotá muestra un más alto poder calorífico y un mayor grado de poder coquizante, lo que se debe al dinamometamorfismo a que fue sometido durante el deslizamiento del bloque. El efecto metamórfico sobre las rocas puede observarse en las areniscas de las formaciones afectadas por el resbalamiento, como las Areniscas de Socha, que presentan amplias zonas recristalizadas, visibles en los afloramientos y en las muestras de corazón obtenidas con las perforaciones. En particular, todas las areniscas de la Formación Guaduas son areniscas cuarcíticas, con tendencia a verdaderas cuarcitas en la zona próxima a la superficie de deslizamiento, fenómeno que no ocurre en los demás yacimientos de carbón de tectónica sencilla en la región. La extensión del bloque deslizado de Coscativá es alrededor de 7 km^2 .

Flexura del río Chiticuy (Duitama). Es una pequeña flexura que se desarrolla a lo largo del río Chiticuy, al noreste de Duitama, en una longitud de unos 4 km. Se trata de un resbalamiento de parte de la Formación Une sobre las areniscas compactas inferiores de la misma formación (Cerro La Pedrera). El corrimiento dejó expuesta una pendiente estructural sobre las areniscas de base, las cuales se presentan cuarcíticas por el suave dinamometamorfismo. Las areniscas superiores son, al contrario, moderadamente friables (Figura 6).

Por último es importante considerar también las numerosísimas pequeñas estructuras gravitacionales que se localizan en los flancos de los plegamientos, en el caso de anticlinales cuyas crestas hayan sido desmanteladas por la erosión. Generalmente los terrenos implicados en estos resbalamientos son las

lidadas de la Formación Ermitaño o cualquier horizonte arcilloso de comportamiento plástico, cuya deformación final se resuelve en complicados repliegues en la zona de apilamiento. Este tipo de estructuras fue estudiado en detalle por JULIVERT, M. (1961, 1962), en la Sabana de Bogotá.

CONCLUSIONES

Existe toda una gama de estructuras en la Cordillera Oriental de Colombia que evidencia la importancia de la tectónica gravitacional en la deformación de la cobertera sedimentaria neocretácico-terciaria.

Los fenómenos gravitacionales van desde amplias zonas deslizadas a partir de líneas que siguen la directriz tectónica de la cordillera, hasta estructuras locales de dimensiones menores y con orientaciones variables.

La tectónica por deslizamiento gravitacional parece haber actuado sobre la cobertera solamente en el costado noroccidental del gran levantamiento que marca la divisoria entre los valles interandinos y los Llanos Orientales.

ABSTRACT

From a structural point of view the area of this report belongs to the north-western flank of the El Cocuy-Pisba uplift, in a narrow zone adjacent to the Soapaga Fault. This fault is an important tectonic boundary, dividing two provinces with different geomorphology and structural style: the Floresta Massif and the Folded Belt.

There is evidence that folding of the neocretaceous and tertiary sedimentary belt is the result of gliding tectonics down an inclined surface, probably located on the top of the Une Sandstone Formation.

Gravitational tectonics phenomena, moreover, are seen in this part of the Cordillera Oriental also as minor locally glidings, some of which are illustrated here as an example.

REFERENCIAS

- CEDIEL, F. (1969). Geología del Macizo de Floresta. Primer Congreso Colombiano de Geología. Memoria, p. 17-28, Bogotá.
- IRVING, E. (1971). La evolución estructural de los Andes más septentrionales de Colombia. INGEOMINAS, Bol. Geol. Vol. XIX, No. 2, Bogotá.
- JULIVERT, M. (1961). El papel de la gravedad y la erosión en las estructuras del borde oriental de la Sabana de Bogotá. UIS, Bol. de Geol. No. 8, Bucaramanga.

JULIVERT, M. (1962). La Estratigrafía de la formación Guadalupe y las estructuras por gravedad en la serranía de Chía (Sabana de Bogotá). UIS, Bol. de Geol. No. 11, Bucaramanga.

JULIVERT, M. (1970). Cover and Basement Tectonics in the Cordillera Oriental of Colombia, South America and a Comparison with some other folded Chains. Geol. Soc. of Am. Bull. Vol. 81 No. 12, p. 3623-3643.

RENZONI, G. (1981). Geología del Cuadrángulo J-12, Tunja. INGEOMINAS, Bol. Geol. Vol. XXIV, No. 2, p. 31-48, Bogotá.

REYES, I. (1970). Estructura geológica del yacimiento de Carbón de Samacá. ACERIAS PAZ DEL RIO, S.A. Archivo de Geología, Belencito.

REYES, I. (1977). Resultado de las investigaciones geológicas en la región de Socotá (Departamento de Boyacá). ACERIAS PAZ DEL RIO, S.A. Archivo de Geología, Belencito.

REYES, I. (1984). Geología de la región de Duitama-Sogamoso-Paz del Río (Departamento de Boyacá). UPTC. Regional Sogamoso.

WALHAL, B. & BERRY, D. (1961). third Field Conference, Paipa, Belencito, Paz del Río Area. Colombian Society of Petroleum Geologists and Geophysicists, Bogotá.

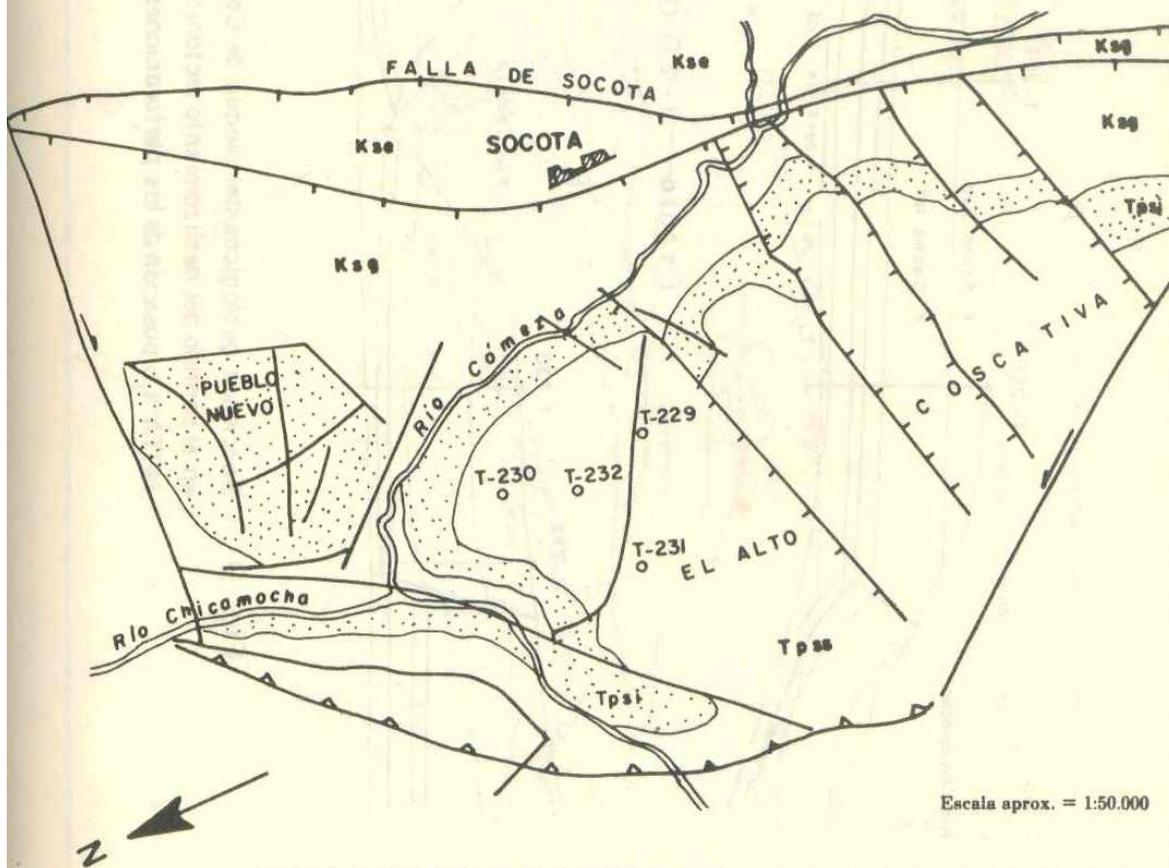


FIGURA 8.— Bloque de Coscativá. El sentido del desplazamiento está indicado por las flechas laterales.
Kse = Formación Ermitaño; Ksg = Formación Guaduas; Tpsi = Formación Socha inferior;
Tpsu = Formación Socha Superior.

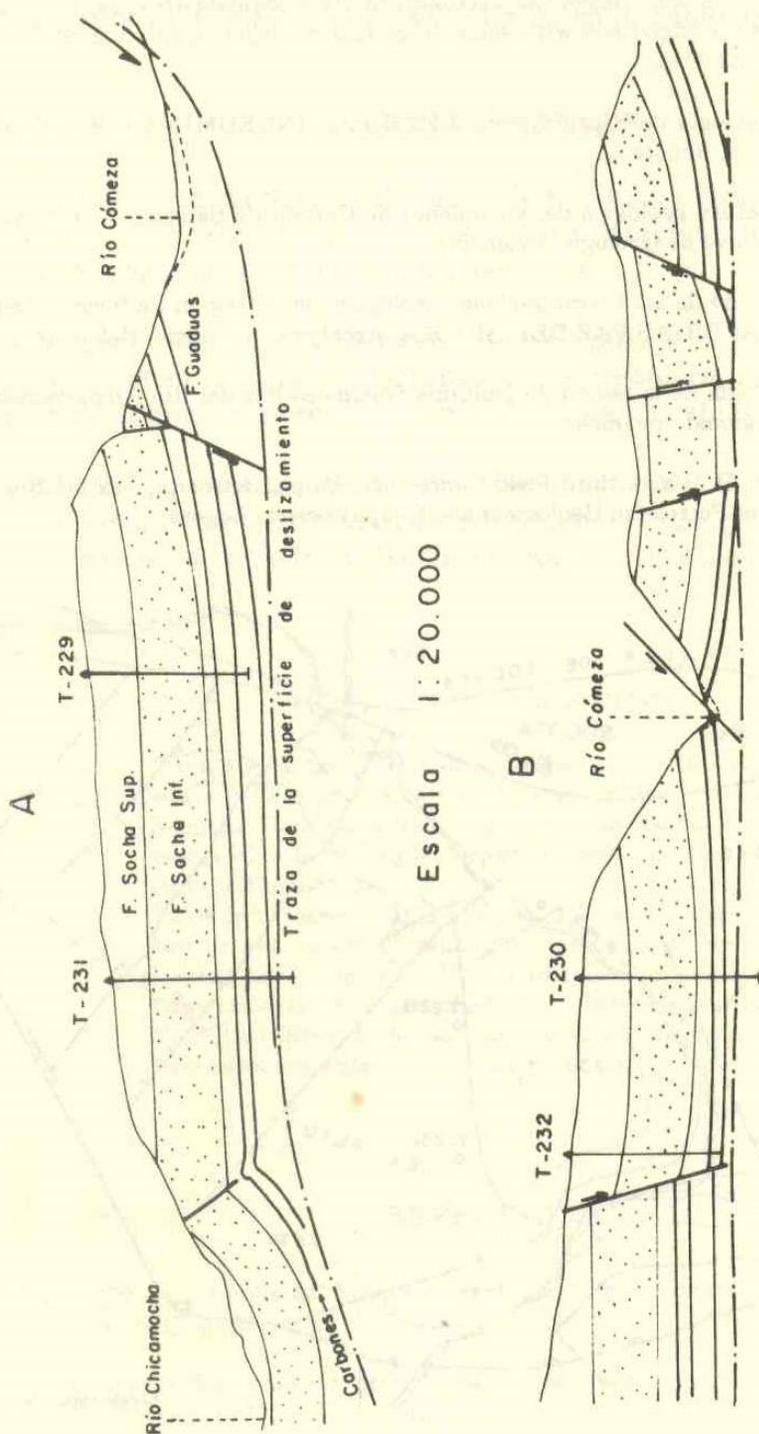


Fig. 9 Secciones geológicas del bloque de Coscativá. A) Sección longitudinal en el sentido del deslizamiento tectónico. B) Sección transversal del bloque. **NOTA.** La posición de las perforaciones dan la orientación de los cortes.

