

papel de la gravedad y la erosión en las estructuras del borde oriental de la Sabana de Bogotá

(Cordillera Oriental, Colombia)

M. JULIVERT*

RESUMEN.—El borde oriental de la Sabana de Bogotá está formado por un anticlinal orientado N-S: el anticlinal de Bogotá-Usaquén, cuyos flancos están formados por las areniscas del Guadalupe Superior y en cuyo núcleo aflora el Guadalupe Inferior. Se describe la estratigrafía del Guadalupe Superior y se discuten los términos litológicos usados. Tectónicamente llaman la atención las inversiones que se presentan a lo largo de gran parte del flanco W del anticlinal de Bogotá-Usaquén; estas inversiones son de dos tipos, inversiones totales, de todo el flanco o inversiones de las capas más altas del flanco que despegan de los niveles más inferiores y toman posición inversa mientras los niveles más inferiores quedan en posición normal. Este último tipo de inversiones son fenómenos gravitativos del tipo de las "collapse structures" y deben su origen sobre todo al deslizamiento según el buzamiento, de un nivel arcilloso-silíceo muy bien estratificado que se sitúa entre las areniscas del Guadalupe Superior. El desencadenamiento de este proceso ha sido posible debido a que la erosión ha dejado este nivel plástico en posición muy superficial. En las inversiones totales no es posible de momento definir qué papel ha jugado la gravedad, pero sí puede afirmarse que por lo menos las etapas finales de la evolución del anticlinal de Bogotá-Usaquén tuvieron lugar cuando la cresta de este anticlinal había sido erosionada en gran parte de modo que los dos flancos del anticlinal pudieron jugar con cierta independencia el uno del otro.

ABSTRACT.—The eastern border of the Sabana de Bogotá is formed by an anticline with a N-S trend, the Bogotá-Usaquén anticline, the flanks of which are constituted by the Upper Guadalupe, and in the core of which the Lower Guadalupe is exposed. The stratigraphy of the Upper Guadalupe is described and the lithologic terms used are discussed. According with tectonics, one attention is drawn to the reversals which occur along a large part of the western flank of the Bogotá-Usaquén anticline. These reversals are of two types: total reversal of the whole flank, or reversal of only the upper beds of the flank, which separate from the lower ones and take on an attitude of reversal whereas the lower beds retain their normal position. The latter type of reversals are gravitational phenomena of the collapse structures type, and owe their origin principally to the slipping, according to dip, of a well stratified silico-argillaceous horizon interstratified with the sandstones of the Upper Guadalupe. This process is apparent owing to the fact that erosion has left this plastic horizon in a very exposed position. In the case of total reversals, it is not at present possible to define the influence exerted by gravity, but at least it can be affirmed that the final stages in formation of the Bogotá-Usaquén anticline took place when said anticline had already had most of its crest eroded so that each of its flanks could act with a certain degree of independence from each other.

* Universidad Industrial Santander. Bucaramanga.

RESUME.—La bordure Est de la Sabana de Bogotá est constitué par l'anticlinal de Bogotá-Usaquén d'orientation N-S; dans les flancs de cet anticlinal affleurent les grès du Guadalupe supérieur et dans le noyau affleure le Guadalupe inférieur. On étudie la stratigraphie du Guadalupe supérieur et on fait la discussion des termes lithologiques en usage. Du point de vue tectonique il faut signaler les inversions présentes le long du flanc W de l'anticlinal de Bogotá-Usaquén, on constate deux types d'inversions: inversions totales du flanc et inversions des couches supérieures du flanc qui adoptent une position inverse se détachant des niveaux plus inférieurs lesquels demeurent en position normale. Ce dernier type d'inversion est un phénomène de glissement du genre des "collapse structures" et son origine est dû surtout au glissement d'un niveau silico-argileux interstratifié dans les grès du Guadalupe supérieur. La formation de ces structures a été possible par le fait que l'érosion a laissé ce niveau plastique presque en surface. On ne peut pas encore définir le rôle joué par la gravité dans les inversions totales mais on peut affirmer qu'au moins les étapes finales de l'évolution de l'anticlinal de Bogotá-Usaquén eurent lieu au moment où la crête de l'anticlinal avait été érodé dans sa plus grande partie, ainsi les deux flancs de l'anticlinal ont pu jouer avec une certaine indépendance l'un de l'autre.

CONTENIDO

GENERALIDADES SOBRE LA ESTRUCTURA DEL BORDE E DE LA SABANA DE BOGOTA

DISCUSION DE LA ESTRATIGRAFIA DE LA FORMACION GUADALUPE

Planteamiento

La sucesión estratigráfica del Guadalupe Superior en Usaquén

El contacto Guadalupe-Guaduas

LOS FENOMENOS DE INVERSION

El sector al S del río San Cristóbal

El sector de Guadalupe

El sector de Monserrate-Cable

El sector de la carretera a La Calera

El sector de Usaquén

Relación entre las inversiones y la sucesión litológica del Guadalupe

El papel de la gravedad, mecanismo de formación

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

GENERALIDADES SOBRE LA ESTRUCTURA DEL BORDE E DE LA SABANA DE BOGOTA

El límite oriental de la Sabana de Bogotá lo constituyen unos cerros bastante abruptos (Guadalupe, Monserrate, Cable), que destacan fuertemente sobre la Sabana, elevándose por encima de los 3.000 m, separados entre sí por cañones abiertos por una serie de quebradas que vierten en la Sabana. Este conjunto de cerros, alineados N-S, son el flanco occidental de una estructura anticlinal (anticlinal de Bogotá) que en la zona de Bogotá forma el borde de la Sabana.

Esta estructura, conocida desde antiguo, ha sido estudiada recientemente con cierto detalle.* En ella ha llamado siempre la atención la inversión de una gran parte de su flanco occidental y de una buena parte de su flanco oriental, estas inversiones dieron lugar a que en un principio se interpretara este pliegue como un anticlinal en abanico (H. Tanner, inédito; reproducido en Ramírez J. E. y Durán, L. G., pp. 56-57; 1957); la interpretación del anticlinal de Bogotá como pliegue inclinado (o tumbado), a veces hacia el E y otras al W, se encuentra en los trabajos de Royo Gómez (1942) y Hubach (1945) y más recientemente de R. de la Espriella y Villegas (1960), quienes insisten especialmente en el papel de una falla oblicua a la dirección del pliegue, que pasa entre Monserrate y Guadalupe y que consideran un elemento estructural importante por cuanto corta transversalmente el anticlinal de Bogotá, separando en él dos zonas; una zona al S de la falla (Guadalupe) en que el pliegue es un anticlinal inclinado hacia el E y una zona al N de la falla (Monserrate, Cable) en que el anticlinal está inclinado, casi tumbado, hacia el W; la supuesta estructura en abanico aparece al enlazar los dos flancos del anticlinal atravesando la falla, que es oblicua al pliegue, y por consiguiente tal interpretación no es tectónicamente válida. Al S de Monserrate, en el Río San Cristóbal, tiene lugar un nuevo cambio y el anticlinal vuelve a quedar tumbado hacia la Sabana, es decir hacia el W.

El anticlinal de Bogotá es una estructura que presenta longitudinalmente una serie de cambios; de S a N pueden distinguirse en él varias zonas. Al S del río San Cristóbal el anticlinal de Bogotá es un pliegue tumbado hacia la Sabana, las areniscas del Guadalupe en su flanco E están en posición normal buzando suavemente hacia el oriente, el flanco occidental es inverso, las areniscas del Guadalupe buzando de 30 a 60° al E; las capas estratigráficamente más superiores (formaciones Guaduas, Bogotá y Usme; Hubach 1957) van pasando gradualmente a una posición normal si bien en algunos puntos la inversión alcanza incluso a la Arenisca de La Regadera (base de la formación Usme). Entre el río San Cristóbal y la carretera de Bogotá a Choachí, el flanco W es normal y el flanco E inverso. Desde la carretera Bogotá-Choachí, hasta la Carretera a La Calera,** el anticlinal está tumbado hacia la Sabana aunque el flanco inverso no alcanza la horizontalidad por lo que no se trata propiamente de un pliegue tumbado; hacia el N el flanco inverso va haciéndose normal. En la zona de la carretera a La Calera este anticlinal hunde su eje bruscamente y dibuja una terminación periclinal e inmediatamente vuelve a levantarlo más fuertemente aún formando así una estructura sinclinal transversal que morfológicamente se traduce en el amplio collado por el que pasa la carretera. Desde esta estructura transversal hacia el N se desarrolla una nueva zona en la que salvo inversiones locales aunque a veces muy espectaculares (Usaquén) del flanco W, el anticlinal es recto y bastante amplio; debe hacerse notar que el eje del anticlinal al N y al S de la estructura sinclinal transversal no está alineado sino que al N de ésta el eje anticlinal está desplazado hacia el oriente, por este motivo es mejor tal vez hablar de anticlinal de Usaquén al referirse a la estructura al N del sinclinal transversal.

* Un corte a lo largo de la carretera Bogotá-Choachí ha sido dado a conocer por R. de la Espriella (1960); la región entre esta carretera y La Calera ha sido estudiada por Ujueta (Geología del NE de Bogotá, Informe Serv. Geol. Nal., en preparación).

**La carretera que sale de la calle 84, es decir, la que va a La Calera atravesando el anticlinal al S de Usaquén.

No va a seguirse describiendo aquí el anticlinal de Bogotá-Usaquén, con lo dicho puede ya abordarse el estudio de las inversiones de su flanco W. Con esta somera descripción no se pretende más que dar una visión de conjunto, si no de todo el pliegue, pues éste se prosigue más al N y más al S del área considerada, si por lo menos de un sector lo suficiente extenso del mismo para poder analizar el significado y las características de las inversiones de su flanco occidental. Datos sobre el anticlinal Bogotá-Usaquén pueden encontrarse especialmente en los trabajos de Hubach (1945 a, b; 1947 a, b; 1950, 1957) y los ya citados de R. de la Espriella y Villegas y de Ujueta.

DISCUSION DE LA ESTRATIGRAFIA DE LA FORMACION GUADALUPE

Planteamiento.—La estratigrafía de la región de la Sabana de Bogotá es conocida en sus grandes rasgos, la mejor síntesis que de ella existe ha sido publicada por Hubach (1957). No obstante, antes de entrar en el análisis de las inversiones es necesario precisar algunos puntos de la estratigrafía de la Formación Guadalupe por cuanto existe un notable confusio-nismo en la aplicación de algunos términos. Clásicamente el Guadalupe se ha dividido en una parte inferior predominantemente lutítica y una parte superior predominantemente arenosa; en esta parte superior se han distinguido tres niveles que de abajo a arriba son: Arenisca Dura, Nivel de Plaeners, Arenisca Tierna (Hubach 1957); también se ha citado la existencia de otra arenisca, la Arenisca de Labor (Hubach 1957, pp. 101-102), aunque sin precisarse bien su importancia y considerándola como una intercalación en el nivel de plaeners. Sin entrar a discutir la propiedad o impropiedad de estos nombres, de hecho ya muy arraigados en la bibliografía geológica colombiana, conviene discutir qué significado se les da, pues si se analiza el modo como han sido empleados por distintos autores, o aún por un mismo autor en distintas regiones, se ve que los mismos nombres se han usado para distintas cosas. Un análisis a fondo del problema se deja para un trabajo posterior sobre un área más amplia, aquí solo va a indicarse en qué sentido se usan los términos litoestratigráficos que aparecen en este trabajo para evitar que sea fuente de nuevas confusiones.

La sucesión estratigráfica del Guadalupe Superior en Usaquén.—Un buen corte del Guadalupe Superior puede obtenerse inmediatamente al N de Usaquén, a lo largo de la quebrada frente al restaurante La Bella Suiza. La existencia de canteras por una parte y por otra la existencia de amplios afloramientos naturales permite obtener una sucesión estratigráfica con todo detalle de casi todo el Guadalupe Superior, solo su parte más baja no aflora bien y falta además el contacto con el Guaduas, oculto bajo el cuaternario de la Sabana, si bien este límite Guadalupe-Guaduas debe estar muy cerca de la última capa que aflora en esta sección.

Aunque esta serie ha sido tomada con todo detalle, su publicación detallada se reserva para más adelante, junto con el estudio petrográfico de las muestras; de un modo más esquematizado esta serie está representada en la figura 1. En esta figura puede verse que existen dos niveles en que predominan las areniscas, separados por un nivel blando, que morfológicamente forma un collado bien visible al S de la quebrada y en el que prácticamente faltan los niveles de areniscas, pues cuando éstas existen son

de grano extraordinariamente fino, casi limos y se encuentran en forma de capas delgadas. El nivel de areniscas inferior alterna en su parte alta con capas silíceas, a esta arenisca inferior se le va a denominar Arenisca Dura, de acuerdo con Hubach (1947 b, ls. 13 y 14). La Arenisca Dura forma los relieves importantes que bordean la Sabana por el E (Guadalupe, Monserrate, Cable), por lo menos en su parte más alta; es una arenisca de grano fino bastante compacta que se explota en toda la región de la Sabana como piedra de triturado; el límite superior de este nivel puede situarse por encima del banco más alto de arenisca, es decir inmediatamente por debajo de un nivel arcilloso azul con gran abundancia de *Siphogenerinoides*, este nivel es el Nivel de Plaeners, nombre usado desde antiguo aunque sus límites, especialmente el superior, han quedado siempre indefinidos; en el presente trabajo se coloca el límite superior de este nivel en la base del primer banco grueso de arenisca con el cual empieza el nivel superior de areniscas. El nivel de plaeners tiene alrededor de 150 m, está formado por capas arcillosas y silíceas con todos los términos de tránsito y se caracteriza por la ausencia de bancos de arenisca importantes. En el nivel superior de areniscas se pueden distinguir dos par-

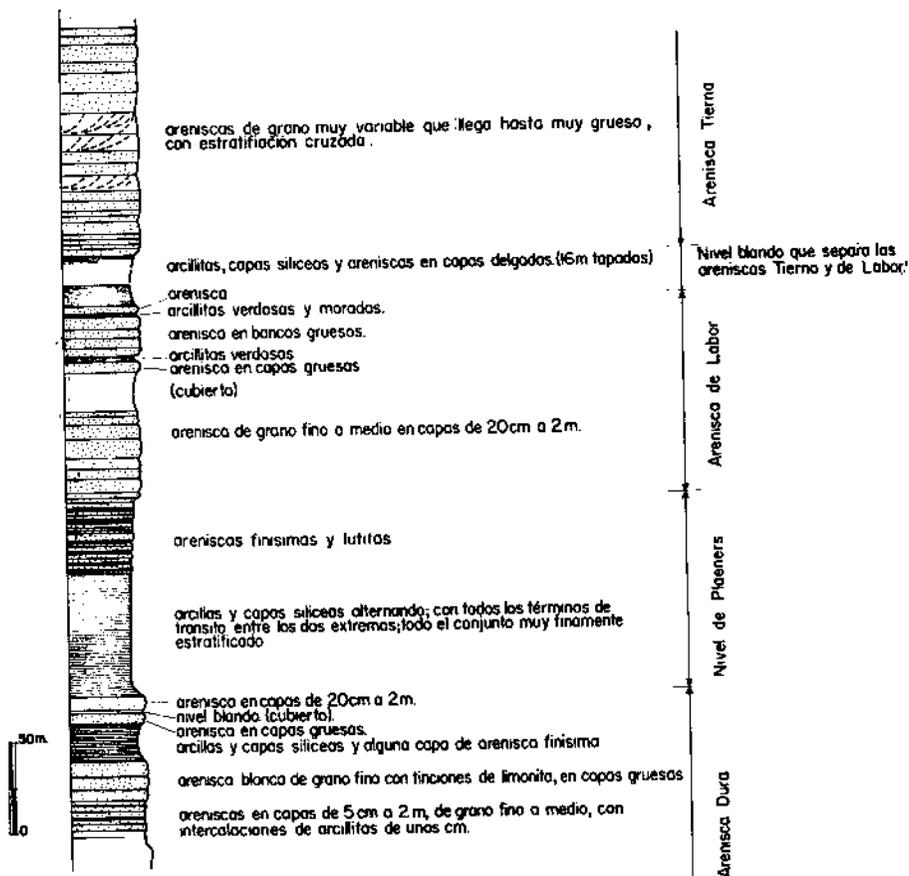


Fig. 1.—Estratigrafía del Guadalupe Superior en la quebrada frente a La Bella Suiza (Usaquén).

tes, una inferior, de areniscas de grano medio a fino, en bancos gruesos, con intercalaciones de capas bien estratificadas, arcillosas o silíceas, pero en conjunto con un predominio de las areniscas, a este conjunto se le llamará Arenisca de Labor; por encima se encuentran unas areniscas de tamaño de grano muy variable pero llegando a grano muy grueso, con estratificación cruzada, generalmente bastante incoherentes y sin capas silíceas intercaladas, aunque con algún nivel arcilloso delgado; estas areniscas se explotan como arena (areneras a todo lo largo de la carretera de Usaquén hacia el N) y son muy distintas a las inmediatamente inferiores (Areniscas de Labor), que por su grano más fino no son explotables como arena, a estas areniscas se las llamará Arenisca Tierna. Entre la Arenisca de Labor y la Arenisca Tierna se sitúa un nivel blando, arcilloso, de unos 30 m que en esta sección no aflora bien.

Esta división modifica ligeramente la de Hubach ya que se valoriza la Arenisca de Labor como un nivel litológico importante mientras que Hubach considera estas areniscas simplemente como intercalaciones en el Nivel de Plaeners (Hubach 1957, pp. 101-102); para seguir más fielmente la división de Hubach podría considerarse el nivel de plaeners hasta la base de la Arenisca Tierna y dividirlo en dos partes; una inferior sin intercalaciones de areniscas y una superior con intercalaciones de Arenisca de Labor. No obstante la división establecida de este modo queda menos natural ya que en el nivel de Arenisca de Labor, la arenisca predomina grandemente sobre las capas arcillo-silíceas y este predominio es mayor aun en la cuesta del Guadalupe Superior sobre Choachí, donde el nivel de Arenisca de Labor está formado casi exclusivamente por areniscas; tal vez en algunas localidades (Terreros) la importancia de las capas silíceas se acentúa, no obstante la presencia de gruesos bancos de arenisca es siempre el hecho más destacado; morfológicamente además, la Arenisca de Labor forma fuertes relieves (La Moya), muchas veces sin diferenciarse morfológicamente de la Arenisca Tierna conjuntamente con la cual forma a veces una cuesta única.

Los tres niveles de areniscas así establecidos: Dura, Labor, Tierna, coinciden con los tres tipos de explotaciones a que están sometidas las areniscas de la región de la Sabana. La Arenisca Dura, de grano fino, compacta e intensamente diaclasada, se explota solamente como piedra de triturado. La Arenisca de Labor es adecuada para cortar en ella grandes bloques paralelepíedicos que se usan en construcción, se presenta en bancos gruesos, separados frecuentemente por niveles más blandos y la diaclasación es más espaciada, la explotación más importante tiene lugar al S de la Sabana, especialmente en Terreros. En la zona del anticlinal de Bogotá se encuentran bloques cortados en los alrededores de Pico Piedras pero no existe en la actualidad explotación alguna. La Arenisca de Labor se explota también como triturado. La Arenisca Tierna es de grano más grueso y menos coherente, es la única del Guadalupe que se explota como arena aunque no todas sus capas son aptas para esta explotación.

Esta división es fundamentalmente la de Hubach con la única modificación ya señalada para la Arenisca de Labor. Sin entrar en una discusión a fondo cabe señalar para evitar confusiones que lo que Bürgl llama Arenisca Dura en su sección de Tabio-Chía (1959) y lo que R. de la Espriella y Villegas llaman Arenisca Dura en la cuesta sobre Choachí corresponde a la Arenisca de Labor.

El contacto Guadalupe-Guaduas.—Un hecho al que no se presta la atención que merece es que en el contacto Guadalupe-Guaduas faltan muy

frecuentemente niveles. Este es el caso para este contacto en el flanco W del anticlinal de Bogotá. En toda la zona desde Guadalupe, y aún más al S hasta la quebrada de Los Molinos, en la carretera a La Calera, falta parte de la Arenisca de Labor, la Arenisca Tierna y la parte inferior y media del Guaduas. Cerca a la estación del funicular a Monserrate se encuentra el Cacho, es decir la base de la formación Bogotá (R. de la Espriella y Villegas 1960), que se sigue fácilmente tanto hacia el N como hacia el S; el espesor de Guaduas que existe en esta zona es muy inferior a su espesor total, faltan el Guaduas inferior y medio, los carbones que se explotaron en la zona pertenecen a un Guaduas bastante alto. Falta también la Arenisca Tierna y parte de la Arenisca de Labor; afloran bien en cambio los Plaeners y la Arenisca Dura. La correlación que da R. de la Espriella (1960) entre la serie de Monserrate y la que corta la carretera a Choachí en la bajada del páramo al pueblo, no puede aceptarse; en la bajada a Choachí la serie es completa, tanto por lo que se refiere a la parte más alta del Guadalupe como a la base del Guaduas, el error de correlación se debe a que no se fijó la atención en la falta de niveles en el contacto Guadalupe-Guaduas al pie de Monserrate; las areniscas que forman los cerros de Guadalupe, Monserrate y Cable son la Arenisca Dura (*), para cortar una serie completa hay que ir más al N; al N de Usaquén como ya se ha dicho, en la quebrada frente a La Bella Suiza aflora una buena serie, prácticamente completa; la Arenisca Tierna no aflora en el borde E de la Sabana sino a partir de Usaquén y hacia el N, por este motivo es de Usaquén hacia el N que se sitúan todas las areneras. Señalada ya la falta de niveles en el contacto Guadalupe-Guaduas cabe preguntarse cuál es su causa; las posibilidades son dos, una falla o una discordancia por parte de los niveles altos del Guaduas, las observaciones de campo no aportan datos definitivos al respecto.

LOS FENOMENOS DE INVERSION

El sector al S del río San Cristóbal.—Al S. del río San Cristóbal la inversión del flanco occidental del anticlinal de Bogotá es total, esta afecta tanto a la Arenisca Dura como al Nivel de Plaeners, a la Arenisca de Labor y a la Arenisca Tierna que aparece más al S; incluso el Guaduas y como se dijo antes hasta el Bogotá y a veces el Usme están en posición inversa; hay una uniformidad total no solo en el hecho de la inversión sino en el valor del buzamiento; todas las capas del Guadalupe Superior se conservan paralelas entre sí.

El Sector de Guadalupe.—En este sector el flanco W del anticlinal de Bogotá está en posición normal mientras el flanco E está en posición inversa; no obstante existen inversiones del Nivel de Plaeners, esto se observa especialmente en la carretera de Bogotá a Choachí, al pie del cerro de Guadalupe (Fig. 2). La Arenisca Dura está en este sector en posición normal pero los Plaeners localmente despegan de la Arenisca Dura y se invierten hasta quedar horizontales y en posición inversa. Este tipo de estructura es gravitacional, del tipo de las "collapse structures" descritas por Harrison y Falcon (1934); la Arenisca Dura está en posición normal

* En el sentido que se da aquí a este término, no hay que olvidar que R. de la Espriella y Villegas dan a este nombre otro sentido.

pero con un buzamiento muy pronunciado, los Plaeners han resbalado por gravedad favorecidos por su mayor plasticidad.

El Sector de Monserrate-Cable.—Al N de Guadalupe todo el flanco W del anticlinal de Bogotá toma de nuevo posición inversa, una falla oblicua al anticlinal y de desplazamiento direccional separa este sector, del de Guadalupe (De la Espriella y Villegas 1960), el paso de una a otra posición es pues brusca. En la zona de Monserrate-Cable todo el Guadalupe Supe-

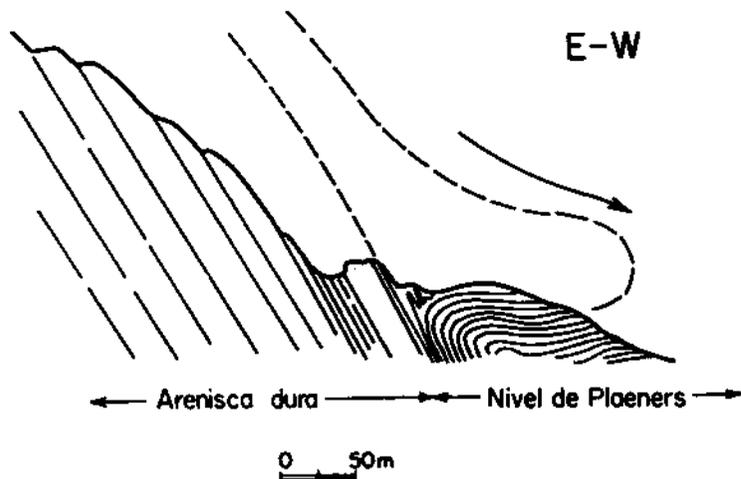


Fig. 2.—Corte por la ladera W del cerro de Guadalupe; frente al cerro los Plaeners se encuentran en posición inversa.

rior está en posición inversa, de modo igual que ocurría al S del río San Cristóbal (Fig. 3).

El Sector de la carretera a La Calera.—El flanco inverso que forma los cerros de Monserrate y Cable se va haciendo normal hacia el N pero conserva interesantes fenómenos de inversión; los más notables se observan a lo largo de la carretera a La Calera. Un corte interesante lo da el filo al S de la quebrada del Chicó; la Arenisca de Labor buza 20° al SE en posición inversa, los Plaeners que se le superponen tienen igual buzamiento pero la inversión se va haciendo cada vez menos acentuada hasta llegar a la Arenisca Dura que está normal en el filo e inversa en la base del cerro, estas capas están arqueadas y además se van abriendo de modo que pasan gradualmente, de normales al NE a inversas al SW (Fig. 4), esta estructura es claramente gravitacional, el despegue no se efectúa como en los Plaeners de Guadalupe de un modo brusco sino que los bancos de la Arenisca Dura van invirtiéndose poco a poco, no obstante un despegue e inversión más acentuados se encuentran a partir del Nivel de Plaeners.

Un fenómeno semejante se encuentra siguiendo la carretera entre la quebrada del Chicó y el punto por donde la carretera atraviesa el eje del anticlinal (Fig. 5).

El Sector de Usaquén.—Al N de la estructura transversal sinclinal de la quebrada de Los Molinos, el anticlinal de Usaquén tiene su flanco W normal aunque existen inversiones parciales de importancia, especialmente en Usaquén. En el sector entre la quebrada de Los Molinos y la que-

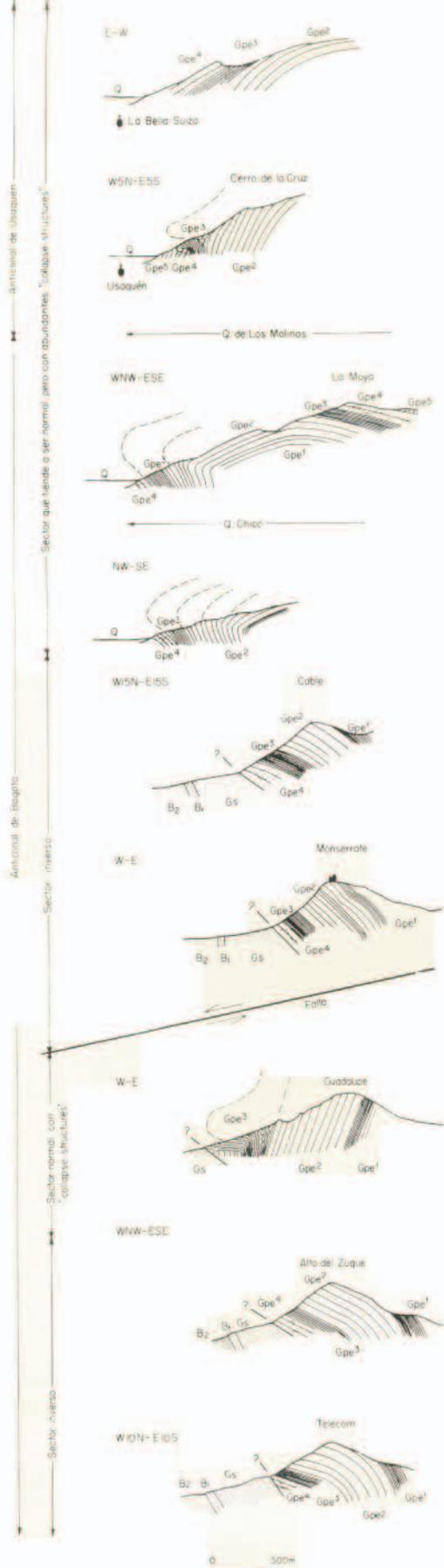


Fig. 3.—Cortes en serie del flanco occidental del anticlinal de Bogotá-Usqachén.

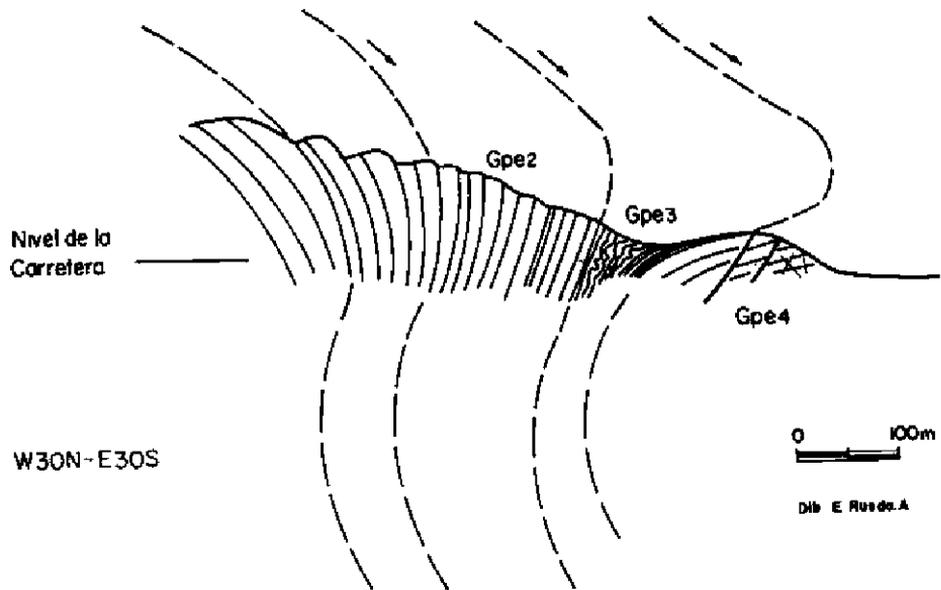


Fig. 4.—Inversiones por gravedad en la carretera a La Calera, al S de la quebrada del Chicó.

brada frente a La Bella Suiza, inmediatamente al N de Usaquén, existe una inversión muy pronunciada que se desarrolla sobre todo en el nivel de Plaeners, al W del Cerro de la Cruz. La Arenisca Dura se encuentra en posición normal pero a partir del Nivel de Plaeners tiene lugar una inversión hasta llegar a la horizontalidad de la serie inversa; entre la Arenisca Dura normal, buzando al W y la serie horizontal inversa hay una zona con replegamientos de detalle que se desarrolla en la base del Nivel de

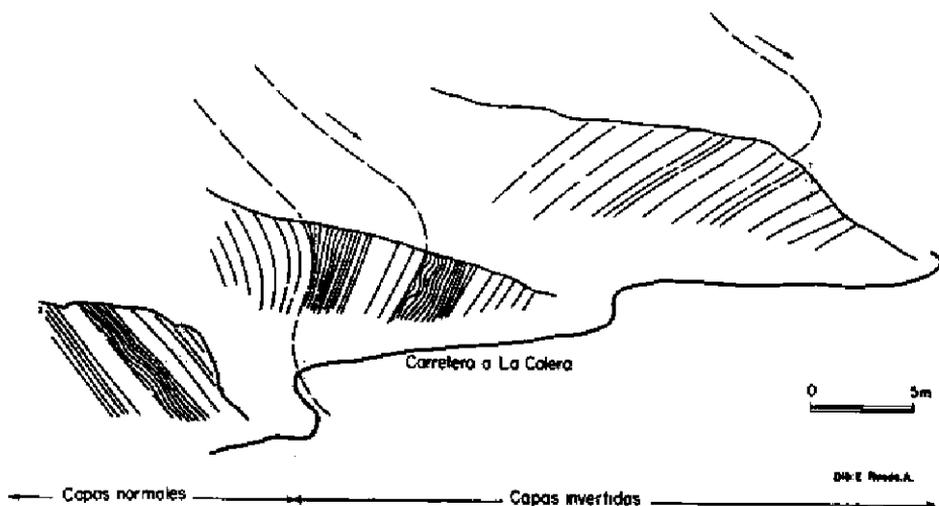


Fig. 5.—Inversiones a lo largo de la carretera a La Calera.

Placners; el vacío que se produciría entre las capas que van divergiendo para pasar de la posición normal a la inversa se va llenando con pequeños plegamientos (Fig. 6). Más al N todo el flanco es ya normal.

Relación entre las Inversiones y la sucesión litológica del Guadalupe.— Si se analiza la litología del Guadalupe Superior se observa que existen dos niveles de areniscas, la Arenisca Dura en su parte baja y el conjunto Arenisca de Labor y Arenisca Tierna en el techo, entre ambos conjuntos se sitúa el Nivel de Placners, bien estratificado y en buena parte arcilloso.

Si se analizan las inversiones que presenta el flanco occidental del anticlinal de Bogotá-Usaquén se observa que las hay de dos clases. De un lado inversiones totales, de todo el flanco, la Arenisca Dura está en posición inversa y con ella todo el resto del Guadalupe Superior. Por otro lado existen inversiones parciales del flanco, en este caso las capas más bajas, o sea las más internas en el anticlinal, están normales y a medida que se pasa a capas más superiores, estas se verticalizan y finalmente se van invirtiendo gradualmente hasta llegar a veces a la horizontalidad, este fenómeno va acompañado de plegamientos de detalle, disarmónicos. Este tipo de inversiones está favorecido por la presencia de niveles plásticos, de los cuales el más importante es el Nivel de Placners, por consiguiente este tipo de estructuras se presenta principalmente en este nivel, pero a veces son incluso los bancos de Arenisca Dura los que despegan y se invierten, en este caso son las intercalaciones de capas silíceas y arcillosas, presentes en la Arenisca Dura y especialmente en su parte alta, las que favorecen los despegues e inversiones.

El papel de la gravedad, mecanismo de formación.— El papel de la gravedad es evidente para el segundo tipo de inversiones descrito; como ya se dijo, se trata de fenómenos de gravedad del tipo de las "collapse structures" de Harrison y Falcon. La inversión debió verificarse al deslizarse los estratos según sus superficies de estratificación. Para que este deslizamiento, siguiendo el buzamiento de los estratos sea posible, el peso de la masa deslizante debe vencer una resistencia a la deformación, normal a la dirección de los estratos. La época en que se produjeron estos deslizamientos gravitacionales no se puede precisar por el momento pero si puede pensarse que se originaron cuando la erosión había actuado ya muy intensamente en el área de la Sabana de modo que los anticlinales del área de la Sabana estarían notablemente erosionados; de este modo la falta de un espesor grande de sedimentos en el flanco del anticlinal, por encima de las capas deslizantes y la falta incluso de la continuación de estas capas en la bóveda anticlinal conduce a unas condiciones favorables para el deslizamiento gravitacional (Fig. 7). Las deformaciones producidas por este mecanismo son no solo superficiales sino que puede decirse incluso que están condicionadas en gran parte por la erosión ya que se encuentran limitadas al sector del flanco anticlinal en el que la erosión ha dejado muy superficiales las capas aptas para deslizarse; el Nivel de Placners en el caso del anticlinal de Bogotá a Usaquén.

Las inversiones se producen como consecuencia del deslizamiento de las capas según su buzamiento el cual da lugar a que se desarrolle en la capa que se desliza un pliegue tumbado que va progresando a veces hasta llegar a una inversión total (Figs. 6 y 7); esto va acompañado de un plegamiento de detalle que llena los vacíos que se formarían en el núcleo del pliegue. En las inversiones a lo largo del borde oriental de la Sabana de Bogotá se observa bien solo el flanco inverso de estas estructuras ya sea por erosión del flanco normal o por inversión total de la masa desli-

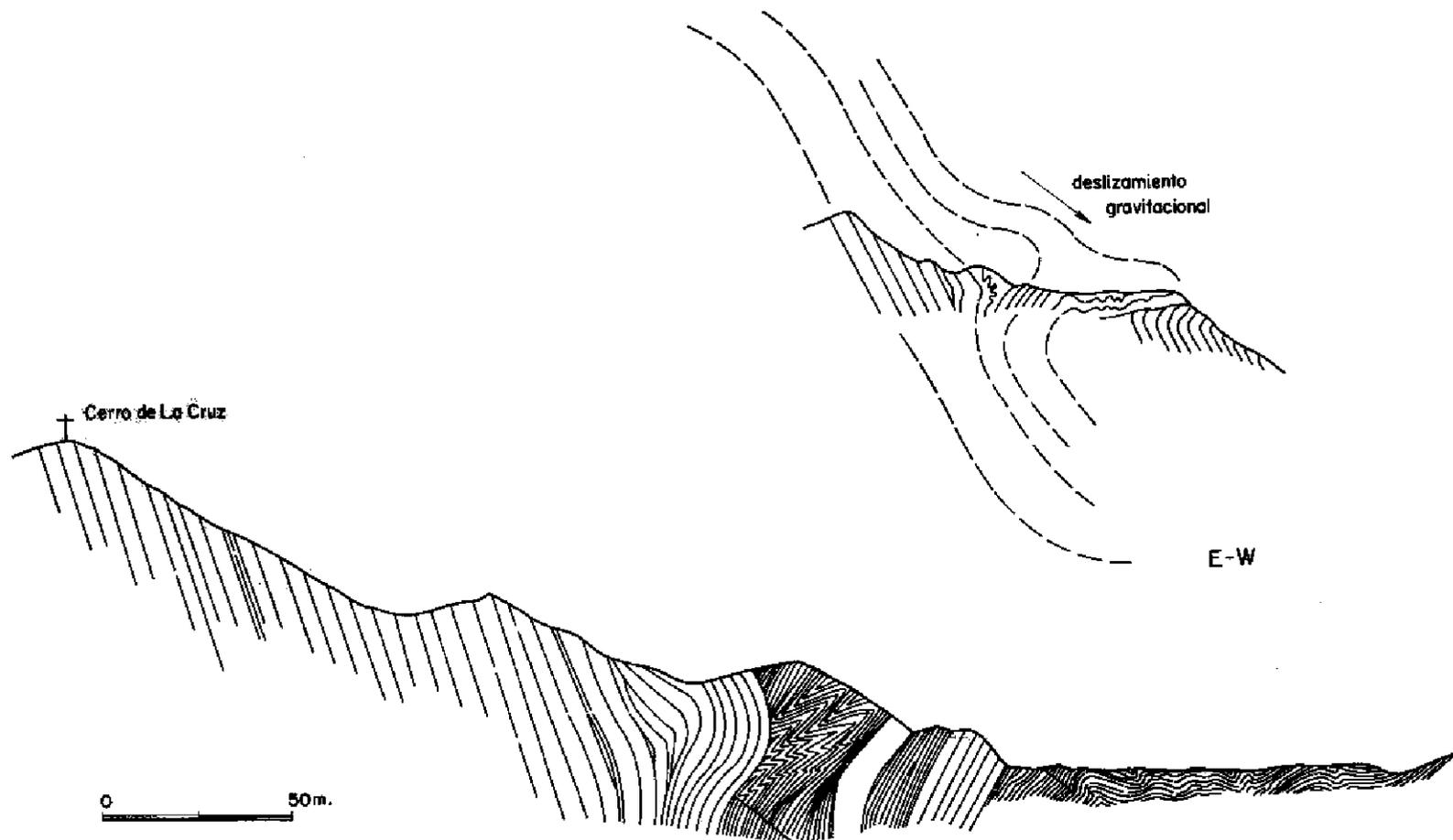


Fig. 6.—“Collapse Structures” al W del Cerro de La Cruz (Usaquén).

zante, no obstante en algunos puntos puede observarse cómo se inicia el mecanismo descrito, tal al W del Cerro de la Cruz (Usaquén) o en el filo al S de la quebrada del Chicó; allí se ve cómo mientras por la carretera la serie está invertida, por la cresta de la loma las mismas capas están normales (Fig. 5). La inversión se verifica por un abombamiento de las capas deslizantes según el mecanismo descrito; el desplazamiento tiene lugar según los planos de estratificación, no según la pendiente topográfica, a modo de lo que en pequeña escala es el "hill side creep".

Un problema distinto es el caso de las inversiones de todo el flanco, es decir el caso de la zona al S del río San Cristóbal y de Monserrate y Cable. En este caso todo el flanco del anticlinal es inverso, la interpretación de este otro tipo de inversiones requiere el estudio de un área más amplia; de momento va a hacerse notar que el anticlinal de Bogotá-Usaquén deja de ser un pliegue tumbado o inclinado a partir de La Moya hacia el N, es decir donde la bóveda anticlinal de las areniscas del Guadalupe no ha sido completamente erosionada. Por otra parte si se trazan dos cortes paralelos, uno por la región de La Moya y otro por la zona de Cable, es decir unos 2 a 3 Km. más al S, se observa cómo en la región de Cable la reconstrucción ideal de la bóveda del pliegue da un pliegue de grandes dimensiones en el cual la longitud del arco es bastante mayor que en La Moya, lo mismo ocurre en Monserrate; en Guadalupe la forma del anticlinal es todavía más notable, el pliegue está inclinado hacia el E, pero su flanco E, inverso, está más próximo a la horizontal que su flanco W normal, lo cual da un trazado del pliegue aún más exagerado, una longitud del arco mayor; al S del río San Cristóbal el pliegue vuelve a tomar una forma semejante a la zona de Monserrate-Cable, pero sus dimensiones son mucho mayores (Fig. 7). El anticlinal de Bogotá cambia longitudinalmente no solo entre estar inclinado hacia el E o el W sino de forma y también tiene notables cambios en la longitud del arco reconstruido del pliegue (Fig. 8). Una parte de estos cambios se explican por el hecho de que el anticlinal hunde su eje hacia el N y por tanto su bóveda está cada vez más baja y la anchura del afloramiento del Guadalupe cada vez menor pero lo brusco de algunos cambios de forma y de longitud del arco hacen pensar en que

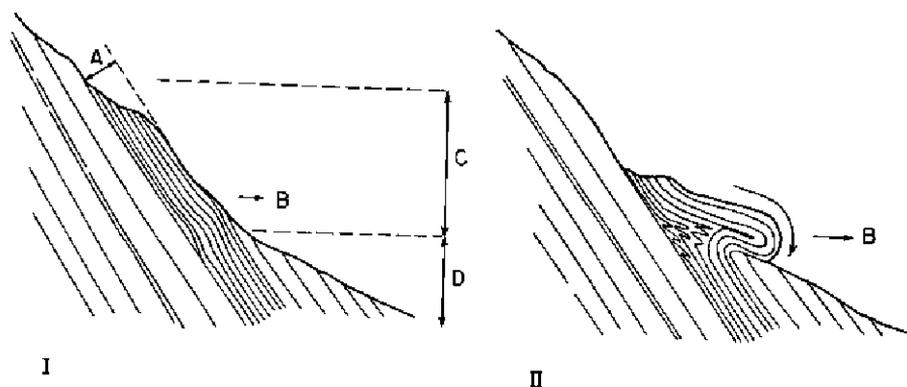


Fig. 7.—Mecanismo de formación de las inversiones del borde E de la Sabana de Bogotá. A, estratos plásticos deslizantes; B, zona de formación del pliegue tumbado; C, zona donde la erosión ha destruido los estratos superiores al nivel plástico eliminando toda resistencia a la progresión de una estructura lateral; D, zona donde la presencia de niveles superiores no erosionados elimina la posibilidad de deslizamientos.

por lo menos las últimas etapas de la evolución de este pliegue se han realizado con cierta independencia de sus flancos, es decir que en la cresta del pliegue las areniscas del Guadalupe habían sido ya erosionadas en las etapas finales de la evolución del pliegue, con lo cual los dos flancos pudieron, faltos de bóveda de unión, moverse con cierta independencia. De no haber sido así, las grandes diferencias de longitud en el arco del pliegue, en espacios bastante cortos deberían ir acompañadas de dislocaciones transversales y oblicuas que prácticamente faltan, si se exceptúa la falla

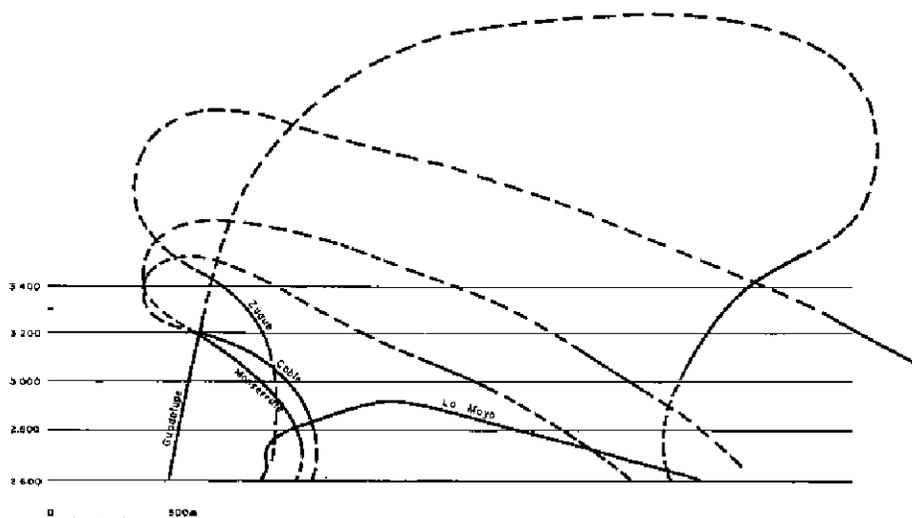


Fig. 8.—Reconstrucción teórica y comparación de la forma del anticlinal de Bogotá en Zuque, Guadalupe, Monserrate, Cable y La Moya. Las líneas continuas se refieren a los datos objetivos de campo y las líneas punteadas a los sectores reconstruidos. En todos los casos se ha trazado el pliegue según el límite entre el Guadalupe superior e inferior. Considerando que por lo menos en su etapa final de formación los flancos del anticlinal se movieron después de haber sido erosionada ya su bóveda, las formas reconstruidas en esta figura no deben considerarse formas reales del pliegue.

entre Monserrate y Guadalupe. La reconstrucción ideal del pliegue tiene pues en sí escaso valor estructural ya que la bóveda que se reconstruye nunca existió en la forma en que queda reconstruida.

El papel que la gravedad puede haber jugado en estos movimientos, no puede precisarse bien en el anticlinal de Bogotá.

CONCLUSIONES

En el flanco W del anticlinal de Bogotá-Usaquén se observan dos tipos de inversiones; de una parte inversiones totales, de todo el flanco, todas las capas que forman el flanco W están en posición inversa y son aproximadamente paralelas entre sí; de otra parte inversiones parciales, se observan en aquellos sectores en que el flanco W del anticlinal de Bogotá tiende a ser normal, en este caso las capas más bajas del Guadalupe Superior (Arenisca Dura) tienen posición normal mientras que el Nivel de

Plaeners que se le superpone (y a veces también parte de la Arenisca Dura) va tomando una posición inversa hasta llegar a la horizontalidad.

Las inversiones parciales son fenómenos de gravedad, del tipo de las "collapse structures" y se originan por deslizamiento sobre todo de los estratos plásticos del Nivel de Plaeners, siguiendo las superficies de estratificación y por consiguiente el buzamiento, éste deslizamiento da lugar a un pliegue tumbado en el sentido del buzamiento y en despegue con las capas que permanecen en posición normal, pliegue que va progresando con un movimiento rotacional. En el desencadenamiento de este proceso ha jugado un papel fundamental la erosión al dejar en posición muy superficial las capas que se deslizan y eliminar así la resistencia al deslizamiento y replegamiento que representaría un gran espesor de capas superiores adosadas a ellas.

En las inversiones totales no es posible con los solos datos del anticlinal de Bogotá definir qué papel ha jugado la gravedad, pero sí puede decirse que por lo menos en las etapas finales de su formación, la cresta del anticlinal había sido ya intensamente erosionada llegándose a la destrucción de la bóveda del Guadalupe Superior, lo que permitió a sus flancos, faltos de bóveda de unión, comportarse con cierta independencia.

La erosión es en buena parte responsable de las características del anticlinal de Monserrate-Usaquén, de una parte por haber creado condiciones adecuadas para el desencadenamiento de "collapse structures", por otra parte porque al destruir el Guadalupe Superior de la bóveda anticlinal respetándolo en sus flancos, hizo posible el comportamiento en parte independiente de estos flancos.

La gravedad juega un papel importante en la formación de las estructuras del borde E de la Sabana ya que las "collapse structures" llegan a alcanzar un desarrollo notable, especialmente en la zona de la carretera a La Calera y Usaquén.

BIBLIOGRAFIA

- BÜRGL, H., 1955. — La formación Guadalupe entre Tabio y Chía en la Sabana de Bogotá, Depto. de Cundinamarca, Ser. Geol. Nal., informe 1108 (inédito) Bogotá.
- BÜRGL, H., 1958. — Estratigrafía y estructuras entre Chía y Tenjo, Cundinamarca, Serv. Geol. Nal., informe 1299 (inédito) Bogotá.
- BÜRGL, H., 1959. — Estratigrafía y estructura de la Región entre Chía y Tenjo, Cundinamarca, (Revisión del informe 1299), Serv. Geol. Nal., informe 1331 (inédito), Bogotá.
- ESPRIELLA, R. de la, VILLEGAS, 1960. — Geología de la carretera Bogotá-Choachí, Serv. Geol. Nal., informe 1356 (inédito), Bogotá.
- HARRISON, J. V. y FALCON, N. L., 1934. — Collapse structures, *Geol. Mag.*, v. 71, pp. 529-539.
- HARRISON, J. V., y LESLIE, N., 1936. — Collapse structures and mountain ranges, as exemplified in SW Iran, *Quart. Journ. London*, v. 12, p. 91, London.
- HUBACH, E., 1945-a. — La formación Cáqueza, región de Cáqueza (Oriente de Cundinamarca), *Comp. Est. Geol. Ofic. Col.*, Serv. Geol. Nal., t. 6, pp. 23-26, 1 Im., Bogotá.
- HUBACH, E., 1945-b. — La región de Panga Panga al Noroeste de Choachí (Departamento de Cundinamarca), *Comp. Est. Geol. Ofic. Col.*, Serv. Geol. Nal., t. 6, pp. 27-37, 1 f., 3 ls., Bogotá.
- HUBACH, E., 1947-a. — Estudio geológico de la Acequia Río Blanco de Gutiérrez, des-

- tinado al abastecimiento de agua para Bogotá, *Comp. Est. Geol. Ofic. Col.*, Serv. Geol. Nal., t. 7, pp. 39-61, 2 fs., 5 ls., Bogotá.
- HUBACH, E., 1947-b. — Proyecto del río Teusaca destinado al abastecimiento de agua para Bogotá, *Comp. Est. Geol. Ofic. Col.*, Serv. Geol. Nal., t. 7, pp. 63-75, 10 ls., Bogotá.
- HUBACH, E., 1950. — Reconocimiento del área de La Calera-Sopó-Guatavita-Guasca, Cundinamarca, *Comp. Est. Geol. Ofic. Col.*, t. 8, pp. 85-97, 3 ls., Bogotá.
- HUBACH, E., 1957. — (publicado 1958). — Estratigrafía de la Sabana de Bogotá, y alrededores, *Bol. Geol.*, Inst. Geol. Nal., v. 5, n. 2, pp. 93-112, 3 ls., Bogotá.
- RAMIREZ, J. E. y DURAN, L. G., 1957. — Nociones de Prospección Geofísica, Tomo I: Métodos Sísmico y Magnético e Introducción Geológica, 254 pp. 134 fs., 1 lm., Bogotá.
- ROYO GOMEZ, J., 1942. — Las explotaciones de materiales rocosos y el ornato y seguridad de Bogotá, *Comp. Est. Geol. Ofic. Col.*, Serv. Geol. Nal., t. 5, pp. 375-387, 3 ls., Bogotá.