

FALLAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES EN LA SABANA DE BOGOTÁ, COLOMBIA

Velandia Patiño F.A.¹, De Bermoudes O.¹

RESUMEN

Se presenta un esquema estructural de la Sabana de Bogotá, logrado a partir de la interpretación de imágenes Landsat, sondeos eléctricos verticales, registros litológicos de pozos y cartografía geológica conocida. Las fallas longitudinales en sentido NE corresponden con cabalgamientos y retrocabalgamientos o pueden ser fallas inversas con componente de rumbo asociadas a una tectónica de transpresión; algunas se interpretan con prolongación bajo la cubierta inconsolidada. Las fallas transversales con dirección NW se relacionan con rampas laterales de cabalgamiento o con estructuras de rumbo tipo sinistral. La interacción de estas fallas configuró un paleorelieve de bloques con unidades cretácicas y paleógenas, cubierto por depósitos inconsolidados del Neógeno-Cuaternario. Este esquema permite, entre otros aspectos, dar pautas sobre el modelo hidrogeológico para la Sabana de Bogotá, descartando una continuidad lateral de unidades semipermeables del Paleógeno. Algunas de estas fallas sugieren actividad neotectónica.

Palabras clave: Geología estructural, neotectónica, hidrogeología, Sabana de Bogotá.

ABSTRACT

A structural model for the Sabana de Bogotá area was obtained from interpreting Landsat images, vertical electrical soundings, well lithological logs and existing geological maps. NE longitudinal faults are related to thrust and backthrust, they may also be reversed faults with lateral displacements as a result of transpressional tectonics. For some of them, some continuity under the unconsolidated cover is inferred. NW transverse faults can be interpreted as lateral thrust ramps or sinistral strike slip structures. This fault interaction shaped a paleo-topography where blocks, including Cretaceous and Paleogene units, were indistinctly covered by Neogene-Quaternary deposits. This proposal allows some understanding on the hydrogeological system for the Sabana de Bogotá area, disproving the idea of lateral continuity of Paleogene units. Some of these faults suggest neotectonic activity.

Key words: Structural geology, neotectonics, hydrogeology, Sabana de Bogotá area.

¹Ingeominas, Sede Central. Diag. 53 N° 34-53 Bogotá.
Correo electrónico: fcovelan@ingeomin.gov.co, obermud@ingeomin.gov.co

INTRODUCCIÓN

La Sabana de Bogotá ubicada en la parte central de la Cordillera Oriental de Colombia, comprende la parte alta de la cuenca del río Bogotá. Presenta una extensión aproximada de 4300 km². Es el centro agroindustrial más importante de Colombia, donde se localizan la capital y alrededor de 20 centros urbanos más, que en total alcanzan a concentrar cerca del 20% de la población del país.

El objetivo del presente trabajo es presentar un esquema estructural de la Sabana de Bogotá, especialmente bajo la cubierta de depósitos cuaternarios ampliamente distribuidos en la región, considerando la complejidad tectónica que se refleja en el intenso fracturamiento de las rocas aflorantes. Inicialmente se obtuvo una visión regional del área de estudio a partir de imágenes Landsat TM, las cuales fueron procesadas en forma digital con ecualización de histogramas, realce de bordes y combinación en falso color (Rojo-Verde-Azul), usando las bandas TM4, TM5 – TM2 y TM7. La imagen obtenida fue interpretada en escala 1:100.000 con énfasis en lineamientos geológicos.

Los lineamientos interpretados fueron corroborados con la cartografía de campo existente en Ingeominas (FIGURA 1), especialmente del estudio realizado entre 1989 y 1993 (Convenio Car-Ingeominas), además con los registros litológicos de pozos y los sondeos geoeléctricos verticales que en la Sabana permiten una confianza de interpretación hasta los 500 m de profundidad. Con estos datos se logró una densa red de puntos (FIGURA 2), que facilitó la definición de muchos de los lineamientos trazados al nivel de fallas y la no valoración de otros, que fueron considerados apenas como fracturas o desestimados para el esquema estructural de la zona. El análisis tuvo en cuenta también mapas de gravimetría del Estudio de Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá (Ingeominas, Universidad de Los Andes, 1997).

MARCO TECTÓNICO

La Cordillera Oriental de Colombia es el resultado de complejos procesos sedimentarios y tectónicos, como la propuesta de un origen transpresivo de

Kammer (1999), los cuales son de difícil interpretación, especialmente cuando espesos depósitos cuaternarios cubren las unidades litológicas, como en la Sabana de Bogotá. La parte central de la Cordillera Oriental está conformada por unidades sedimentarias del Cretácico y Paleógeno (Mc Laughlin & Arce, 1968; Ingeominas, 1999a y 1999b), dispuestas en amplios sinclinales y estrechos anticlinales, algunos invertidos, con sus ejes en sentido NE. Las rocas de estas unidades están fracturadas y sus contactos desplazados por fallas, en especial de cabalgamiento, con dirección predominante al NE, correspondiendo con la tendencia principal de deformación de los Andes del Norte. Información sobre los depósitos inconsolidados que caracterizan la Sabana, se presentan en trabajos de cartografía como el de Helmens & van der Hammen (1995).

Según Julivert (1963), la región de la Sabana es donde se desarrolla en mayor grado una combinación de mecanismos de tectónica de zócalo, halocinesis, gravedad y erosión, es decir, una tectónica de fallas que cortan un zócalo basculado, conformando sinclinales amplios y anticlinales estrechos, asimétricos, con sus flancos inversos, pliegues tumbados, replegamientos, inyección salina y discordancias angulares.

Los principales rasgos tectónicos conocidos en los alrededores de la Sabana de Bogotá, son los que tienen una dirección NE y que se distinguen en los Cerros Orientales de la Sabana y en los escarpes que la bordean hacia el occidente. La mayoría de trabajos de la parte central de la Cordillera Oriental y de la Sabana, han tenido en cuenta sólo esta dirección de fallamiento y plegamiento, pero autores como Gómez (1985 y 1991), Reyes (1993) y Ujueta (1993) han involucrado como factor importante el fallamiento o lineamientos regionales en sentido NW. Autores como Caro et al. (1996), también dan importancia a fallas NW, atribuyéndoles movimiento de rumbo.

Camargo (1995) está de acuerdo con la idea de un estilo tectónico de despellejo de piel delgada para la parte central de la Cordillera Oriental, asociando los pliegues NE de los alrededores de la Sabana, con fallas de cabalgamiento que tienen vergencia al NW y SE;

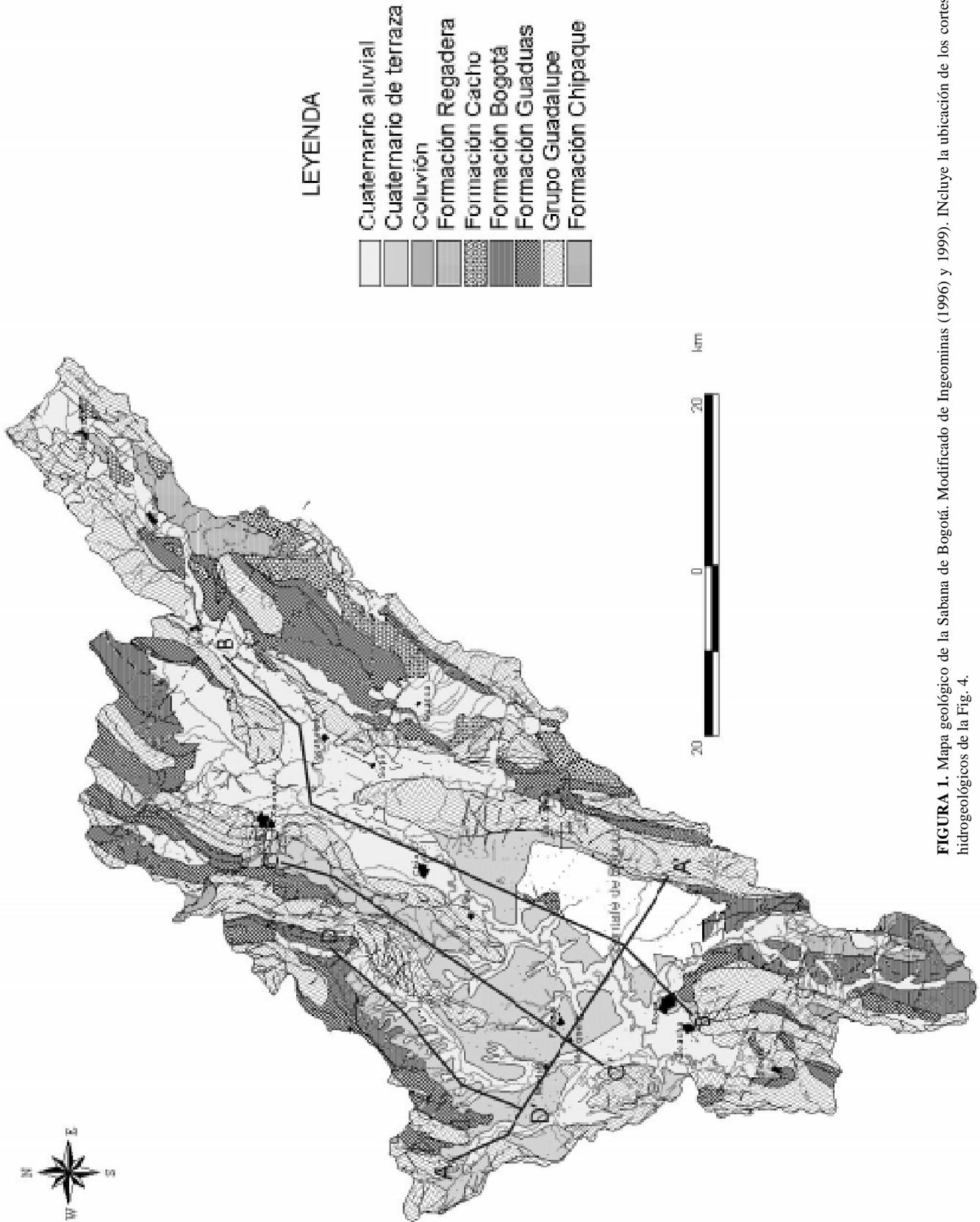


FIGURA 1. Mapa geológico de la Sabana de Bogotá. Modificado de Ingeominas (1996) y 1999). Incluye la ubicación de los cortes hidrogeológicos de la Fig. 4.

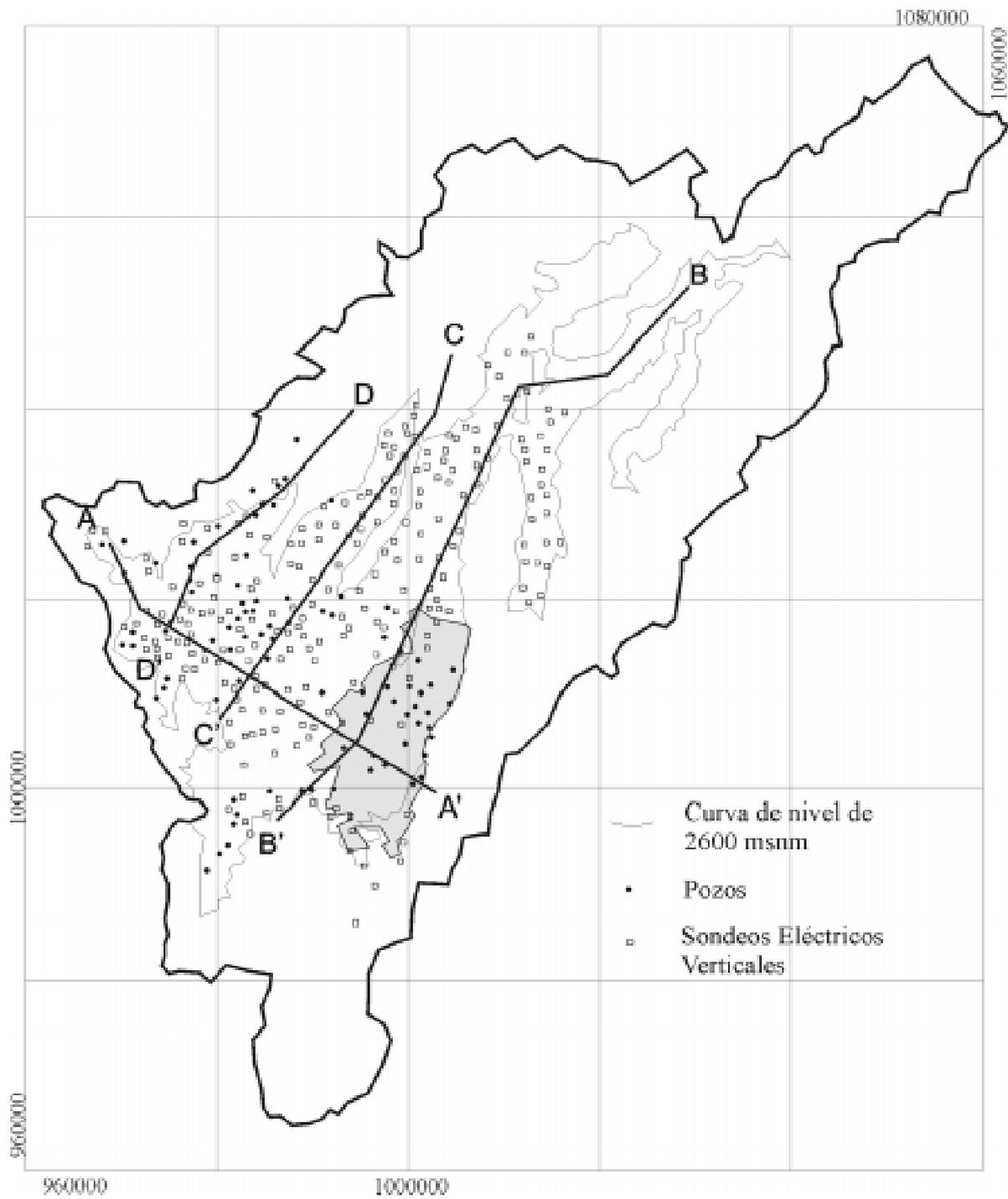


FIGURA 2. Red de pozos y sondeos eléctricos verticales utilizados para la interpretación tectónica. Ubicación de los cortes hidrogeológicos de la FIGURA 4.

igualmente, reconoce la presencia de fallas NW con movimiento de rumbo sinistral. A partir de su participación en el estudio de Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá (Ingeominas, Univ. de Los Andes, 1997), Vergara *et al.* (1996) presentan las características neotectónicas de las fallas activas identificadas en un área de 200 km alrededor de Bogotá.

ESQUEMA ESTRUCTURAL DE LA SABANA DE BOGOTÁ

El presente esquema estructural (FIGURA 3) complementa la cartografía conocida. Además, propone la existencia de fallas bajo la cobertera cuaternaria, las cuales pueden ejercer control en el comportamiento hidrogeológico y cuyo efecto reciente sobre los depósitos cuaternarios estaría por evaluarse con estudios más detallados de neotectónica y geofísica. Los lineamientos interpretados en imágenes Landsat se pueden asociar con relativa facilidad a las fallas de dirección NE, las cuales denominaremos fallas longitudinales. Además, se observaron lineamientos que se interpretaron como fallas en sentido NW (fallas transversales), que no necesariamente coinciden con las propuestas en trabajos anteriores de otros autores. Estos dos sistemas de fallas conforman un enrejado en la región de la Sabana, cuyo análisis se presenta a continuación.

Fallas Longitudinales

En general, las fallas en sentido NE se han interpretado como de cabalgamiento y retrocabalgamiento, correspondientes con el estilo estructural conocido como de escama delgada (despellejo de piel delgada), con el que autores como Camargo (1995) están de acuerdo, localizando la zona de despegue en las rocas del Cretácico Inferior, inclusive con posible incidencia de los depósitos salinos. Diferentes modelos evolutivos sobre la Cordillera Oriental de Colombia, como los de Colletta *et al.* (1990), Dengo & Covey (1993) y Cooper *et al.* (1995) coinciden en la idea de la complejidad del estilo tectónico que le dio origen, aceptando que existió una fase de inversión tectónica, en la cual las

fallas de tipo normal, que afectaban las secuencias sedimentarias del Mesozoico, se convirtieron en fallas inversas cuando se produjo el mayor levantamiento de la cordillera (Fabre, 1983), por efecto de eventos compresivos ocurridos especialmente durante el Mioceno y Plioceno y con despegues en rocas del Cretácico y Terciario. Mantilla (1998) presenta un resumen de diversos artículos, entre ellos los tres mencionados anteriormente, que consideran estos aspectos y presenta los diversos grados de acortamiento durante la orogénesis de la Cordillera Oriental que obtienen por diferentes métodos; en su trabajo estima un acortamiento mínimo de 63 km, equivalente al 59%, a lo largo de la sección transversal que pasa por la Sabana de Bogotá. Las fallas longitudinales observables en la región de la Sabana han servido de base para proponer y explicar estos modelos y se han caracterizado como fallas inversas con distinto ángulo de inclinación, en su mayoría de cabalgamiento, y con dirección de transporte tectónico al SE y NW, según correspondan con el frente principal de cabalgamiento de la Cordillera Oriental o a fallas de retrocabalgamientos, respectivamente.

Si consideramos que la principal dirección de transporte de la cordillera ocurre hacia el Oriente, fallas como la de Bogotá, que limita los Cerros Orientales de los depósitos cuaternarios de la Sabana, se interpretaría regionalmente como una falla de retrocabalgamiento, al igual que las fallas que conforman la parte más inclinada de los escarpes occidentales de la Sabana y las que flanquean por el occidente los Cerros de Tabio-Tenjo, Cota y Suba. Las fallas que limitan estos cerros hacia el oriente, corresponderían entonces con los cabalgamientos a lo largo de los cuales se han dado los movimientos más representativos de la cordillera. Otra posible interpretación es que se trate de fallas inversas con algún componente de rumbo, producidas por una tectónica de transpresión.

Vergara (1997) identifica ciertos indicios de neotectónica en los trazos de la Falla de Bogotá, que por su incertidumbre apenas permiten catalogar la actividad de la falla como incierta, siendo necesarios estudios detallados y especializados. Con la misma orientación al NE, se identifican hacia el sur de la Sabana, las fallas del río Tunjuelito y de La Cajita,

Fallas longitudinales y transversales en la Sabana de Bogotá, Colombia

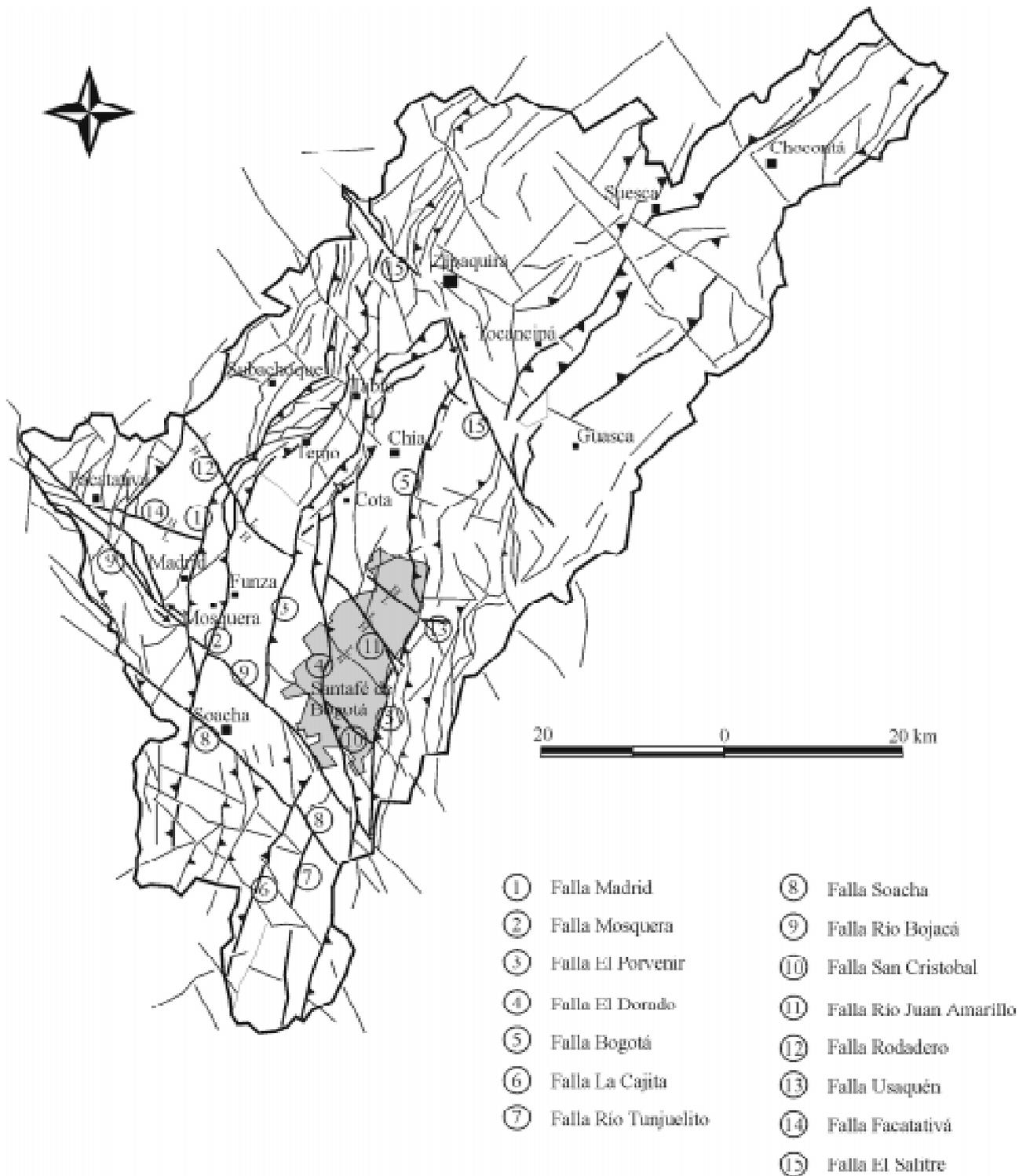


FIGURA 3. Esquema estructural de la sabana de Bogotá. Muestra las fallas longitudinales y transversales que afectan principalmente las rocas cretácicas y paleógenas.

como fallas potencialmente activa y activa respectivamente. Con respecto de la Falla La Cajita, Acosta & Hernández (2000) muestran rasgos de su actividad neotectónica en los alrededores de la población de Pasca.

La interacción de los movimientos de estas fallas hacia el SE y NW, conformó las alturas y depresiones topográficas que se extienden longitudinalmente en la Sabana, en sentido NE y N. La base de datos utilizada para el presente estudio, permite establecer diferentes espesores de los depósitos del Neógeno y Cuaternario que rellenaron estas depresiones (FIGURA 4) y se pudo determinar que tal interacción de las fallas propició un relativo máximo abatimiento topográfico entre los cerros de Cota y Tabio-Tenjo (Cuenca del Chicú) y su correspondiente bloque hacia el sur, donde se detectaron espesores de más de 500 m (profundidad máxima de exploración por geoelectrónica) en los depósitos.

Los cerros de Suba, Cota y Tabio-Tenjo parecen coincidir en su culminación topográfica abrupta hacia el SW, para desaparecer bajo los depósitos cuaternarios de la parte central de la Sabana. Sin embargo, las fallas que delimitan longitudinalmente el Cerro de Tabio-Tenjo, tienen continuación hacia el Sur (Fallas de Madrid y Mosquera), bajo la cobertera de depósitos inconsolidados, manteniendo su comportamiento tectónico para conformar cuñas, donde las unidades del Cretácico y Paleógeno se detectan a diferentes profundidades. Igualmente, fallas longitudinales que se desprenden del Cerro de Cota, continúan bajo la cobertera cuaternaria, conectándose con la Falla de Bogotá al sur, como en el caso de la Falla de El Dorado, o como la Falla de El Porvenir, que termina abruptamente contra un rasgo transversal. Entre las fallas de Mosquera y El Porvenir, bajo los depósitos cuaternarios, se mantiene el mismo comportamiento de la cuenca del río Chicú, explicándose así los máximos espesores de inconsolidados encontrados bajo Funza.

Fallas Transversales

Las fallas transversales son quizás el aspecto que mayor controversia puede generar en una discusión

sobre la tectónica de la Sabana de Bogotá; inicialmente porque no todos los autores coinciden en sus trazos y este trabajo no es la excepción, ya que las fallas interpretadas, especialmente en la parte central y más extensa de la Sabana, difieren de las propuestas conocidas. Tampoco hay acuerdo sobre los mecanismos tectónicos que las generan y su incidencia en la actual estructura de la Sabana.

En este trabajo se acogen las ideas de Gómez (1985 y 1991) y Reyes (1993) acerca del importante control de las fallas transversales dentro de cualquier esquema tectónico que se proponga para la Sabana de Bogotá. Se atribuye a la mayoría de estas fallas un movimiento de rumbo y la conformación de bloques tectónicos transversales, que a su vez pueden ser subdivididos por fallas longitudinales. Además se acepta que en algunos sectores de la Sabana, las fallas que aparecen como transversales, pueden estar asociadas a fallas longitudinales y actuar como rampas laterales de los cabalgamientos, en el sentido de Camargo (1995). Es probable que durante la evolución tectónica se hayan involucrado ambos mecanismos de formación, es decir, que correspondan con fallas de rumbo que se convirtieron en rampas de cabalgamientos o viceversa.

Hacia el norte de la Sabana sobresale la Falla El Salitre, que afecta los Cerros Orientales, controla el valle del río Teusacá, atraviesa el complejo marco tectónico del sector de Zipaquirá y sigue hacia el norte de Pacho, siendo un rasgo regional prominente. Gómez (1991), Reyes (1993) y Camargo (1995) coinciden en que se trata de una falla de rumbo con desplazamiento de tipo sinistral.

La falla más representativa hacia el sur, es la denominada Río Bojacá, cuyo trazo se dirige al SE desde el sur de Facatativá, controlando en parte el curso del río Tunjuelito. Se considera que ésta constituye un límite de la depresión que dio origen a la Sabana; tiene una expresión compleja, pero característica de su carácter de rumbo sinistral, con fallas menores sintéticas y antitéticas asociadas.

La Falla de Soacha es otro rasgo notorio y converge hacia la anterior en el Páramo de Sumapaz, por ello podría considerarse como una falla de tipo sintético asociada al mismo sistema de rumbo y con

Fallas longitudinales y transversales en la Sabana de Bogotá, Colombia

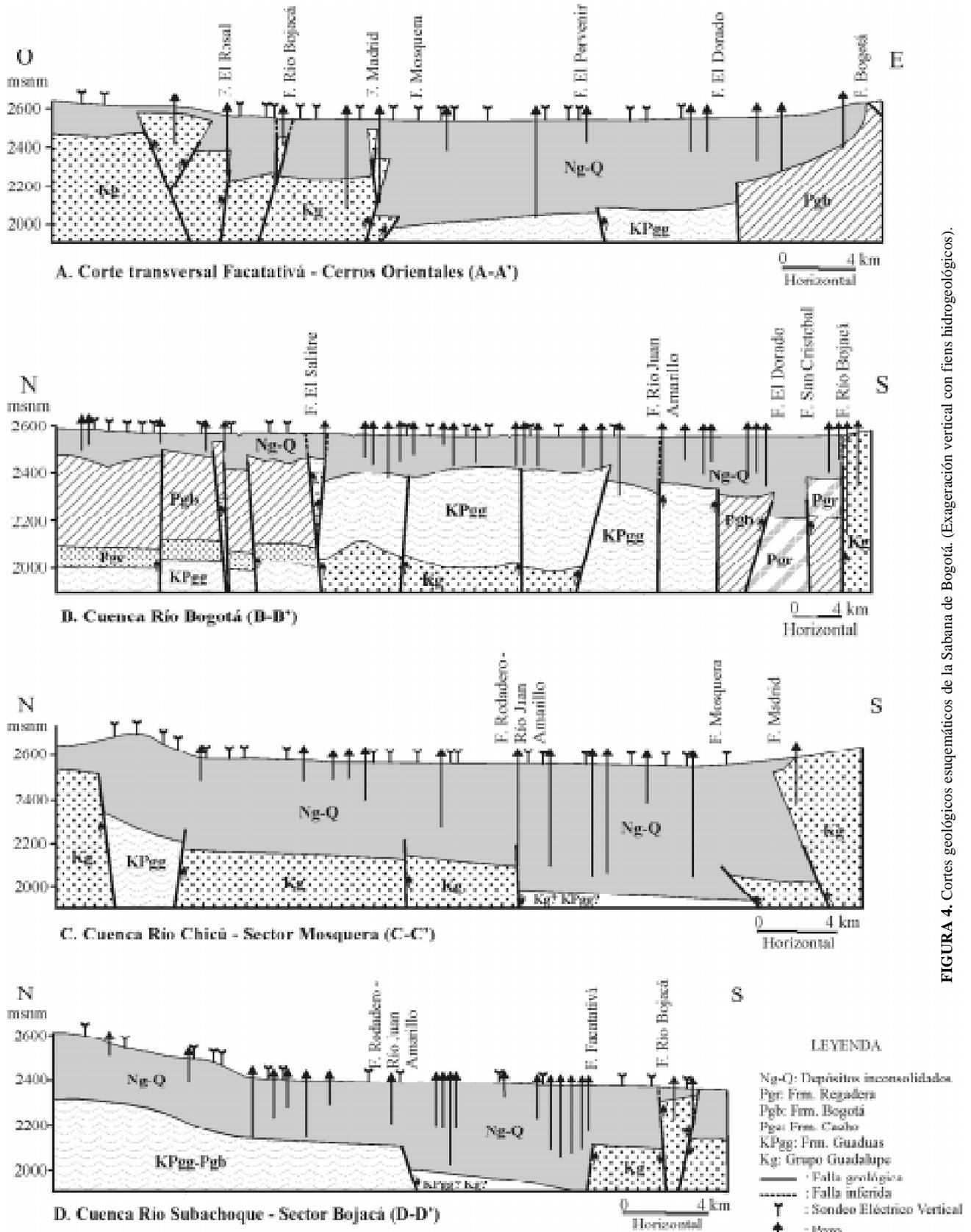


FIGURA 4. Cortes geológicos esquemáticos de la Sabana de Bogotá. (Exageración vertical con fiens hidrogeológicos).

movimiento general también lateral izquierdo. Vergara (1997) denomina al conjunto de fallas asociadas al rasgo principal del río Bojacá, como Sistema de Facatativá y detecta alineamiento de los cursos de los ríos Bojacá, Bogotá y Tunjuelito; además, por rasgos observados en rocas precuaternarias, las categoriza como potencialmente activas.

Las fallas de El Salitre y Río Bojacá constituyen quizás, los límites transversales de acumulación de los depósitos inconsolidados. El sector de la Sabana propiamente dicho, localizado entre estas dos fallas, está cruzado transversalmente por otras que no tienen la misma continuidad, sino una longitud menor y son interrumpidas por fallas longitudinales, sugiriendo que podrían corresponder con un evento anterior a las fallas de cabalgamiento; en algunas zonas no se descarta su reactivación posterior o coetánea con relación a las longitudinales.

La Falla Río Juan Amarillo, limita al sur el Cerro de Suba y controla el curso del río. Asociado a ella se encuentran los termales del Club Los Lagartos, por lo que Lobo-Guerrero (1996) la identifica como Falla de Los Lagartos, con un desplazamiento lateral asociado al cabalgamiento de fallas NE. Puede ser la misma propuesta por Caro *et al.* (1996) como Falla de Usaquén, la cual es clasificada por Vergara (1997) como una falla potencialmente activa. En el presente trabajo denominamos Falla de Usaquen, otra falla transversal que afecta los cerros orientales y que continúa bajo los depósitos inconsolidados hacia la parte media del Cerro de Suba.

La Falla Río Juan Amarillo hace parte de la que Gómez (1985) denomina Falla Transversal del Norte. Su trazo no coincide en la longitud y continuidad que estos autores le atribuyen hacia el NW, limitando en forma neta los cerros de Cota y Tabio-Tenjo. En nuestro concepto, esta falla está interrumpida por las fallas de El Dorado y El Porvenir y sólo después de cruzar la cuenca del río Chicú y el Cerro de Tabio-Tenjo, se une con la Falla Rodadero en la cuenca del río Subachoque.

La Falla San Cristobal tampoco presenta la continuidad que Caro *et al.* (1996) sugieren,

atravesando la Sabana hasta Facatativá. Igual continuidad le atribuye Gómez (1985) cuando la denomina Falla de Faca-Madrid. En el presente trabajo, esta falla presenta segmentos cortados por fallas longitudinales en los cerros orientales, la Falla Bogotá y hacia la Sabana, por la Falla El Dorado, culminando en la Falla El Porvenir, sin extenderse hasta Facatativá.

Se nombra en este trabajo como Falla Facatativá a un segmento orientado NWW, que pasa por la localidad, partiendo desde el sistema de fallas de rumbo del Río Bojacá, hasta la Falla Madrid. Esta falla es el límite transversal de diferentes espesores de depósitos inconsolidados (aprox. 300 m al sur y más de 500 m al norte).

IMPLICACIONES HIDROGEOLÓGICAS

La interacción de estos dos sistemas de fallas, forma bloques tectónicos que influyen en el sistema del agua subterránea. El aspecto principal se basa en los distintos espesores de los depósitos inconsolidados del Neógeno-Cuaternario, según las condiciones establecidas estructuralmente. Se destaca la importancia de las fallas longitudinales y transversales, en la conformación del paleorelieve, donde se establecen contactos fallados del Cretácico y del Paleógeno. Los cortes geológicos esquemáticos (FIGURA4) ilustran el efecto de las fallas y distribución en bloques de las rocas cretácicas con relación a las paleógenas, reevaluando el concepto de continuidad lateral de una unidad “terciaria” semipermeable entre el Grupo Guadalupe y los depósitos del Neógeno-Cuaternario, en la Sabana de Bogotá. Esta distribución paleogeográfica, determina una relación hidráulica entre los complejos acuíferos del Guadalupe y Neógeno-Cuaternario, especialmente hacia el occidente de la Sabana y en la cuenca del río Chicú.

Las grandes diferencias topográficas entre la zona de recarga del complejo acuífero Guadalupe y la parte plana de la cuenca, que en algunos casos supera los 1000 m, generan dentro de este complejo, sistemas de agua subterránea de alta presión, los cuales contribuyen a la alimentación adicional de los

acuíferos del Neógeno-Cuaternario, aprovechando el alto fracturamiento de las rocas del Guadalupe en sitios de contacto directo entre las dos sucesiones litológicas, conformando “ventanas hidrogeológicas” (de Bermoudes & Quiroz, 2000).

El esquema también puede dar pautas sobre el papel de las fallas de cabalgamiento en el sentido de actuar como barreras o sellos, aislando las zonas de recarga. A las fallas transversales en cambio se les podría atribuir un carácter distensivo si localmente corresponden con las fallas normales dentro del campo de esfuerzos del levantamiento andino, convirtiéndose en excelentes conductoras y propicias para la recarga de acuíferos, especialmente en zonas de intenso fracturamiento. El caso de los Cerros Orientales resume estos puntos de vista, ya que la Falla de Bogotá (longitudinal) estaría actuando como barrera para la recarga de los acuíferos de los depósitos inconsolidados de la Sabana, la cual se daría más bien a lo largo de las abundantes fallas transversales que afectan los cerros, especialmente las que tienen una continuidad bajo esta cobertera hacia el NW. Aguas termominerales también se encuentran asociadas a estas fracturas de los Cerros Orientales, lo mismo que en el cerro de Tabio-Tenjo.

A lo largo de las fallas de rumbo principales también se favorece la recarga, especialmente cuando la precipitación en la zona es alta, como el caso de la Falla El Salitre. Las condiciones de fracturamiento son similares en el Sistema de fallas de rumbo del Río Bojacá, pero la baja precipitación en áreas como Soacha, son una desventaja para la recarga de los acuíferos.

CONCLUSIONES

La interpretación de imágenes de satélite, sondeos eléctricos verticales (SEV) y registros litológicos de pozos permitió obtener un esquema estructural de la Sabana de Bogotá. Las fallas longitudinales con orientación al NE son cabalgamientos y retrocabalgamientos y conforman alturas y depresiones topográficas extendidas en el mismo sentido; también pueden ser fallas inversas como resultado de una tectónica de transpresión. La Cuenca

del río Chicú, ubicada entre los cerros de Cota y Tabio-Tenjo y su continuación en el bloque contiguo al sur, es la más profunda de estas depresiones y donde se presentan los mayores espesores de las unidades inconsolidadas. Las fallas transversales identificadas en sentido NW, se interpretan bien como rampas laterales de las fallas de cabalgamiento, o como fallas de rumbo.

Se han reportado rasgos de neotectónica relacionados con fallas longitudinales como las de Bogotá, Río Tunjuelito y La Cajita, y con fallas transversales como la del Río Bojacá y Río Juan Amarillo, que permiten clasificarlas como activas o potencialmente activas; sin embargo, no existen estudios detallados que permitan confirmarlo. Se recomienda la investigación en las fallas mencionadas y en sus trazos asociados, lo mismo que en la Falla El Salitre.

La interacción de las fallas longitudinales y transversales configuró un paleorelieve de unidades cretácicas y paleógenas que posteriormente fue cubierto por depósitos inconsolidados del Neógeno y Cuaternario. No existe una continuidad lateral de unidades semipermeables del Paleógeno en la Sabana de Bogotá, lo que implica que en algunos sectores existe una relación hidráulica entre los complejos acuíferos del Guadalupe y del Neógeno-Cuaternario.

AGRADECIMIENTOS

A Ingeominas por las facilidades e infraestructura. Agradecemos a los geólogos Germán Reyes y Hugo Forero por el procesamiento digital de las imágenes Landsat y por su aporte a través de la discusión geológica. Gracias a Hugo Forero también por la revisión del manuscrito, al igual que al evaluador anónimo del Boletín de Geología. La colaboración de los geólogos Mauricio Quiroz y Francisco Castrillón también fue fundamental en los aspectos hidrogeológicos, lo mismo que Luis Vásquez en la interpretación de SEV.

REFERENCIAS

- Acosta, J., Hernández, O. (2000). Análisis neotectónico de un área ubicada al oriente del Municipio de Pasca, Departamento de Cundinamarca. *Geología Colombiana*, Vol. 25, pp. 241-249.
- De Bermoudes, O., Quiroz, M. (2000). Contribución a la hidrogeología de la Sabana de Bogotá. *Memorias Simposio Manejo integrado de aguas subterráneas: un reto para el futuro*. San José. Costa Rica.
- Camargo, G. (1995). Elementos Estructurales del Área de la Sabana de Bogotá y Alrededores. VI Congreso Colombiano del Petróleo. Bogotá, p. 8.
- Caro, P., Padilla, J., Vergara, H. (1996). Geología de Santafé de Bogotá y Alrededores. VII Congreso Colombiano de Geología, Vol. II. Bogotá, p. 278-288.
- Colletta, B., Hebrard, F., Letouzey, J., Werner, P., Rudkiewicz, J. 1990. Tectonic style and crustal structure of the Eastern Cordillera (Colombia) from a balanced cross-section. In Letouzey, J., ed., *Petroleum and tectonics in mobile belts*: Paris, Editions Technip, pp. 81-100.
- Cooper, M. et al. (1995). Basin development and tectonic history of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia. *AAPG Bulletin*, Vol. 79, No. 10, pp. 1421-1443.
- Dengo, C., Covey, M. (1993). Structure of the Eastern Cordillera of Colombia: implications for trap styles and regional tectonics. *AAPG Bulletin*, Vol. 77, No. 8, pp. 1315-1337.
- Fabre, A. (1983). La subsidencia de la Cuenca del Cocuy (Cordillera Oriental de Colombia) durante el Cretáceo y el Terciario. Segunda Parte: Esquema de evolución tectónica. *Geología Norandina*, No. 8, pp. 21-27.
- Gómez, H. (1985). Principales Rasgos Estructurales al Suroccidente de la Sabana de Bogotá. *Revista CIAF.*, Bogotá, Vol. 10 (1), pp 45-57.
- Gómez, H. (1991). La Paleomegacizalla Transversal de Colombia, Base para un Nuevo Esquema Geotectónico. *Revista CIAF.*, Bogotá, Vol. 12 (1), pp. 49-61.
- Helmens, K., Van der Hammen, T. (1995). Mapas del Neógeno y Cuaternario de la Sabana de Bogotá – Cuenca Alta del Río Bogotá. Análisis Geográficos 24, Plioceno y Cuaternario del Altiplano de Bogotá y Alrededores. IGAC. Santafé de Bogotá.
- Ingeominas (1996). Atlas geológico digital de Colombia. Escala 1:500.000. Santafé de Bogotá.
- Ingeominas (1999a). Mapa Geológico del Departamento de Cundinamarca. Escala 1:250.000. Santafé de Bogotá.
- Ingeominas (1999b). Mapa geológico de la Sabana de Bogotá. Escala 1:100.000. Inédito. Bogotá.
- Ingeominas, Universidad de los Andes, (1997). Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá.
- Julivert, M. (1963). Rasgos Tectónicos de la Región de la Sabana de Bogotá y los Mecanismos de Formación de las Estructuras. *Bol. Geol. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga*, Vol. 13-14, pp.1-104.
- Kammer, A. (1999). Observaciones acerca del origen transpresivo de la Cordillera Oriental. *Geología Colombiana*, Santafé de Bogotá, Vol. 24, pp. 29-53.
- Lobo-Guerrero, A. (1996). Algunos aspectos tectónicos del Cerro de Suba al nororiente de la ciudad de Bogotá (Colombia). *Memorias VII Congreso Colombiano de Geología*, Vol. II, Bogotá, pp. 202-215.
- McLaughlin, D. , Arce H. (1968). Mapa Geológico del Cuadrángulo K-11 Zipaquirá. Escala 1:100.000. Ingeominas. Bogotá.
- Mantilla, A. (1998). Sección Regional Balanceada Valle Medio del Magdalena – Cordillera Oriental–Llanos. Tesis de Grado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.
- Reyes, I. (1993). La Tectónica y su Influencia en la recarga de los Acuíferos Profundos de la Sabana de Bogotá, Colombia. IV Simposio Colombiano de Hidrogeología, Tomo I, Cartagena, p. 32-42.
- Ujueta, G. (1993). Lineamientos Muzo, Tunja y Paipa en los Departamentos de Boyacá y Casanare. *Geología Colombiana*, Vol. 18, pp. 65-73.

Vergara, H. (1997). Estudios de neotectónica para la microzonificación sísmica de Bogotá. II Seminario Colombiano de Ingeniería Sismológica y Geotécnica. Universidad Nacional de Colombia – AICUN. Bogotá.

Vergara, H., Taboada, A., Romero, J., Castro, E., París, G. (1996). Actividad neotectónica de las principales fuentes sismogénicas de la región central de Colombia. Memorias VII Congreso Colombiano de Geología, Vol. III, Bogotá, pp. 517-528.

Trabajo recibido: noviembre 16 de 2002

Trabajo aceptado: enero 30 de 2002